

Rheinwassertransportleitung

Errichtung eines Entnahmebauwerks am Rhein bei FKM 712.6

2D hydraulische Untersuchungen

Technischer Bericht

AUTOR

DI Dr. techn. Clemens Dorfmann

Graz, am 11.01.2024

Projektbeteiligte

Dorsch International Consultants GmbH
Landsberger Str. 368
D- 80687 München

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Markus Koch

und

flow engineering e.U.
Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
Brockmanngasse 108
A-8010 Graz

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Dr. techn. Clemens Dorfmann

Verwendete Unterlagen

- Genehmigungsplanung - Entnahmebauwerk, Absperrschächte, Schächte Hydroburstverteilstation und Stahlbetonschutzrohre, Übersichtslageplan
Plan.Nr.: RWTL-DISI-10001_G-00
- Genehmigungsplanung - Entnahmebauwerk, Absperrschächte und Schächte Hydroburstverteilstation, Lageplan und Schnitte
Plan.Nr.: RWTL-DISI-10002_G-00
- Neufestsetzung des Bemessungshochwassers für den Rhein, Erlass der Bezirksregierung Düsseldorf, 19.09.2003,
20030918 Erlass BHQ.pdf
- Wasserspiegellagen zum BHQ 2004, Regierungsbezirk Düsseldorf, AMW 90
20041201 BHQ-2004 Zusammenstellung WSP-Lagen.pdf
- Orthophotos (Format jp2)
- Flussachse Rhein, 3901-Rhein-Stromachse-km690-740.txt, Stationierungsabstand 100 m
- Digitales Geländemodell (Punktwolke mit Punktabstand 1 m) von Rhein FKM 700 bis 735, ASCII Datei im xyz Format, Flusssohle und Vorland, Ausführungszeitraum 11/2009 bis 12/2010
- Abstimmungsunterlage: Untersuchungsumfang 2D-Strömungssimulation, Version 1.4, 08.09.2023, RWE Power AG bzw. ARGE Dorsch Gruppe RWTL
- Fachanwendung FLYS: Wasserspiegelhöhen von FKM 703.5 bis 729.8, Abstand 100 m
- Hochwassergefahrenkarte, Mittlere Wahrscheinlichkeit (HQ100): Grenzen Überschwemmungsgebiete und Überschwemmungsgefährdete Gebiete
ESRI Shape Format

Verwendete Simulationssoftware

Die 2D hydronumerischen tiefengemittelten Simulationen wurden mittels der Software H_SIM-2D v1.7.2 durchgeführt (<http://www.ib-nujic.de>).

H_SIM-2D berechnet die horizontalen Fließgeschwindigkeitskomponenten sowie die Wassertiefe basierend auf der knotenzentrierten Finiten Volumen Methode. Für die räumliche Diskretisierung verwendet die Software ein unstrukturiertes Berechnungsnetz, welches aus Dreiecks- und Viereckselementen besteht. Für die Turbulenzmodellierung verwendet H_SIM-2D das tiefengemittelte parabolische Wirbelviskositätsmodell. Die Sohlreibung wird mittels des quadratischen Widerstandsgesetzes berücksichtigt. Ein implizites Verfahren erster Ordnung wird für die Zeitintegration benutzt. Im vorliegenden Projekt wurde die CFL-Zahl mit 10 festgelegt.

Verwendetes Koordinaten- und Höhenbezugssystem

Im vorliegenden Projekt wurden das Koordinatenbezugssystem **ETRS89 UTM 32N** (EPSG: 3044) und das Höhenbezugssystem **DHHN92** verwendet.

Datengrundlagen im Koordinatenbezugssystem DHDN Gauß-Krüger Zone 2 (EPSG: 31466) wurden mittels der Bibliothek pyproj (<https://pyproj4.github.io/pyproj/stable>) unter Verwendung des Transformationsgitters BETA2007.gsb in das Koordinatenbezugssystem ETRS89 UTM 32N (EPSG: 3044) transformiert.

Datengrundlagen im Höhenbezugssystem DHHN2016 wurden mittels der HOETRA 2016 Webanwendung (<https://www.hoetra2016.nrw.de>) in das Höhenbezugssystem DHHN92 transformiert.

Inhaltsangabe

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Aufgabenstellung	1
1.2.	Inhalt des Berichts	2
2.	Projektgebiet und Berechnungsnetze	3
2.1.	Festlegung der Modellgrenzen.....	3
2.2.	Erstellung der Berechnungsnetze.....	3
3.	Voruntersuchungen	8
3.1.	Netzunabhängigkeit der Lösung.....	8
3.2.	Modellierung der Bauzustände (Spundwände)	12
4.	Untersuchte Abflüsse und hydraulische Randbedingungen.....	16
5.	Definition von Rauheitszonen	17
6.	Kalibrierung der Rauheiten.....	18
7.	Berechnungsergebnisse.....	22
7.1.	Festlegung des Untersuchungsbereichs.....	22
7.2.	Längsschnitte Wasserspiegelhöhen	24
7.3.	Wasserspiegeldifferenzen.....	28
7.3.1.	Bauphase 1 – Ist-Zustand	29
7.3.2.	Bauphase 2 – Ist-Zustand	33
7.3.3.	Plan-Zustand – Ist-Zustand.....	37
7.4.	Fließgeschwindigkeiten und Differenzen der Fließrichtungen	41
7.4.1.	Lastfall NNQ2003.....	41
7.4.2.	Lastfall MQ.....	45
7.4.3.	Lastfall $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	49
7.4.4.	Lastfall HQ1	53
7.4.5.	Lastfall HQ5	57
7.4.6.	Lastfall HQ100.....	61
7.4.7.	Lastfall BHQ2004	65
7.5.	Sohlschubspannungen.....	69
7.5.1.	Lastfall NNQ2003.....	69
7.5.2.	Lastfall MQ.....	74
7.5.3.	Lastfall $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	79
7.5.4.	Lastfall HQ1	84
7.5.5.	Lastfall HQ5	89
7.5.6.	Lastfall HQ100.....	94
7.5.7.	Lastfall BHQ2004	99

8. Zusammenfassung.....	104
Abbildungsverzeichnis	106
Tabellenverzeichnis	112
Anlage 1: Lagepläne, Wassertiefen im Projektgebiet für den Ist-Zustand	113
Lastfall NNQ2003.....	114
Lastfall MQ.....	115
Lastfall Q = 2756 m ³ /s	116
Lastfall HQ1	117
Lastfall HQ5	118
Lastfall HQ100.....	119
Lastfall BHQ2004	120
Anlage 2: Lagepläne, Wassertiefen im Bereich des Entnahmebauwerks	121
Lastfall NNQ2003	122
Lastfall MQ	125
Lastfall Q = 2756 m ³ /s.....	128
Lastfall HQ1	131
Lastfall HQ5.....	134
Lastfall HQ100.....	137
Lastfall BHQ2004.....	140
Anlage 3: Lagepläne, Fließgeschwindigkeiten im Bereich des Entnahmebauwerks	143
Lastfall NNQ2003	144
Lastfall MQ	147
Lastfall Q = 2756 m ³ /s.....	150
Lastfall HQ1	153
Lastfall HQ5.....	156
Lastfall HQ100.....	159
Lastfall BHQ2004.....	162
Anlage 4: Tabellarischer Vergleich der berechneten Wasserspiegelhöhen mit den Wasserspiegelhöhen aus der Fachanwendung FLYS, FKM 703.5 bis 729.8.....	165

1. Einleitung

1.1. Aufgabenstellung

Das Projekt Rheinwassertransportleitung sieht den Bau eines Entnahmebauwerks am orographisch linken Ufer des Rheins bei Flusskilometer (FKM) 712.6 vor.

Im vorliegenden Projekt wurden das Niederwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserabflussgeschehen im Ist-Zustand, Bauzustand und Plan-Zustand (nach Errichtung des Entnahmebauwerks) mittels 2D tiefengemittelten hydraulischen Modellierungen untersucht, um die Auswirkungen der Bauzustände und des zu errichtenden Entnahmebauwerks auf das Abflussgeschehen zu beurteilen.

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen im Lageplan und im Schnitt das geplante Entnahmebauwerk sowie die zwei Bauphasen 1 und 2, Baugrube Schachtbauwerk und Baugrube Entnahmebauwerk.

In der Bauphase 1 wird das Schachtbauwerk und in der Bauphase 2 das Entnahmebauwerk errichtet. Mit der Bauphase 2 wird erst begonnen, sobald Bauphase 1 abgeschlossen ist.

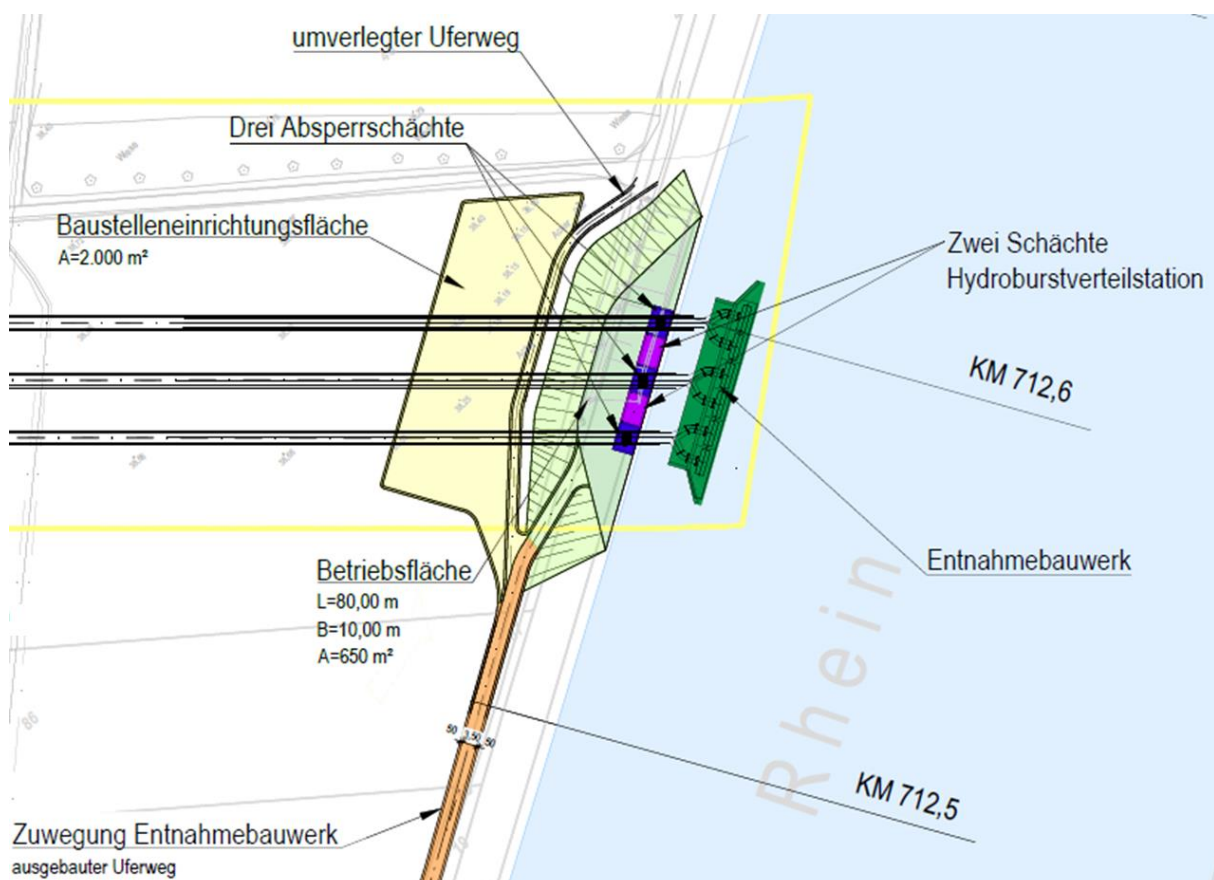


Abbildung 1: Lageplan Entnahmebauwerk

2. Projektgebiet und Berechnungsnetze

2.1. Festlegung der Modellgrenzen

Die Festlegung der Modellgrenzen, d.h. die Positionen der Zufluss- und Auslassrandbedingung sowie die Abgrenzung der linken und rechten Vorländer, wurde mittels der Voranalyse der Hochwassergefahrenkarte Mittlere Wahrscheinlichkeit (HQ100) aus dem Geoportal www.geoportal.nrw durchgeführt. Abbildung 3 zeigt die im Geoportal ausgewiesenen Überschwemmungsgebiete bzw. überschwemmungsgefährdeten Gebiete.

Die Zuflussrandbedingung wurde bei Rhein-FKM 703.5 (Hitdorf) und die Auslassrandbedingung bei Rhein-FKM 729.8 (Himmelgeist) festgelegt. Die Wahl dieser hydraulisch offenen Modellgrenzen erlaubt korrekte hydraulische Einlass- und Auslassrandbedingungen im numerischen Modell. Die links- und rechtsufrigen Vorlandabgrenzungen wurden gemäß des ausgewiesenen Überschwemmungsgebietes (blau) definiert. Damit befinden sich beim Hochwasserlastfall HQ100 die berechneten Wasseranslagslinien, bis auf wenige Abschnitte im Einlassbereich von FKM 703.5 bis ca. 708.0, innerhalb der gewählten Modellgrenzen.

Abbildung 4 zeigt das im vorliegenden Projekt definierte Modellgebiet für die hydraulischen Simulationen mit den Sohlhöhen aus dem digitalen Geländemodell (DGM). Die Fläche des Modellgebiets beträgt rund 33.06 km².

2.2. Erstellung der Berechnungsnetze

Die Berechnungsnetze wurden mit der Software BlueKenue (v3.3.4) erstellt, welche Dreiecksvermaschungen erzeugt. Als generelle Einstellungen wurden für den Bereich des Flussschlauches sowie für maßgebende lineare Strukturen Zelllängen von 5 m gewählt. Die Vorländer wurden mit Zelllängen von 20 m räumlich diskretisiert. Im Bereich des geplanten Entnahmebauwerks bei FKM 712.6 wurden Zelllängen von 2 m gewählt. Die Sohlhöhen aus dem 1x1 m digitalen Geländemodell wurden linear auf die Netzknoten interpoliert.

Bauphase 1 und Bauphase 2 sehen die Einhausung der Baugruben mittels Spundwänden mit jeweils einer Oberkantenhöhe von 40.0 NN + m vor. Die Breite der jeweiligen Baugrube in Hauptströmungsrichtung beträgt 13.0 m. Gemäß den Wasserspiegellagen aus dem Geoportal FLYS werden bis zum Hochwasserabfluss HQ5 = 8222 m³/s die Baugruben nicht überströmt. Beim Hochwasserabfluss HQ100 = 12000 m³/s werden die Baugruben mit einer Wasserüberdeckung von 1.77 m überströmt. Der abflusswirksame Querschnitt ist demnach sehr gering, womit entschieden wurde, die Baugrube Schachtbauwerk und die Baugrube Entnahmebauwerk als nicht durchströmbare Bereiche zu modellieren. Der andere Modellierungsansatz würde die Notwendigkeit von sehr kleinen Zelllängen bedeuten, um die vertikalen Spundwände geometrisch richtig darzustellen. In Kapitel 3.2 werden die zwei Modellierungsansätze verglichen und der im Referenznetz gewählte Modellierungsansatz der nicht durchströmbaren Wände begründet.

Das Berechnungsnetz für den **Plan-Zustand** (Implementierung des Entnahmebauwerks) wurde gemäß der Genehmigungsplanung lokal angepasst, mit minimalen Zelllängen von rund 0.4 m. Die

vertikalen und horizontalen Abschirmungen der Entnahmeleitungen bzw. der Passivrechen wurden als nicht durchströmbare Flächen definiert. Diese Vereinfachung ist aus Sicht des Autors zulässig, da die Abflusswirksamkeit des Entnahmebereichs nur sehr gering ist. Zudem kann diese mittels einer 2D tiefengemittelten Modellierung kaum reproduziert werden.

Anmerkung: in den Berechnungsnetzen wurden keine Häuser oder sonstige Strukturen bzw. keine Bruchkanten geometrisch berücksichtigt.

Die Berechnungsnetze bestehen aus rund 795000 Knoten bzw. 1580000 Dreieckselementen. Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen in 3D Ansichten (2-fach überhöht) die Berechnungsnetze im Bereich des Entnahmebauwerks für den jeweiligen Zustand.

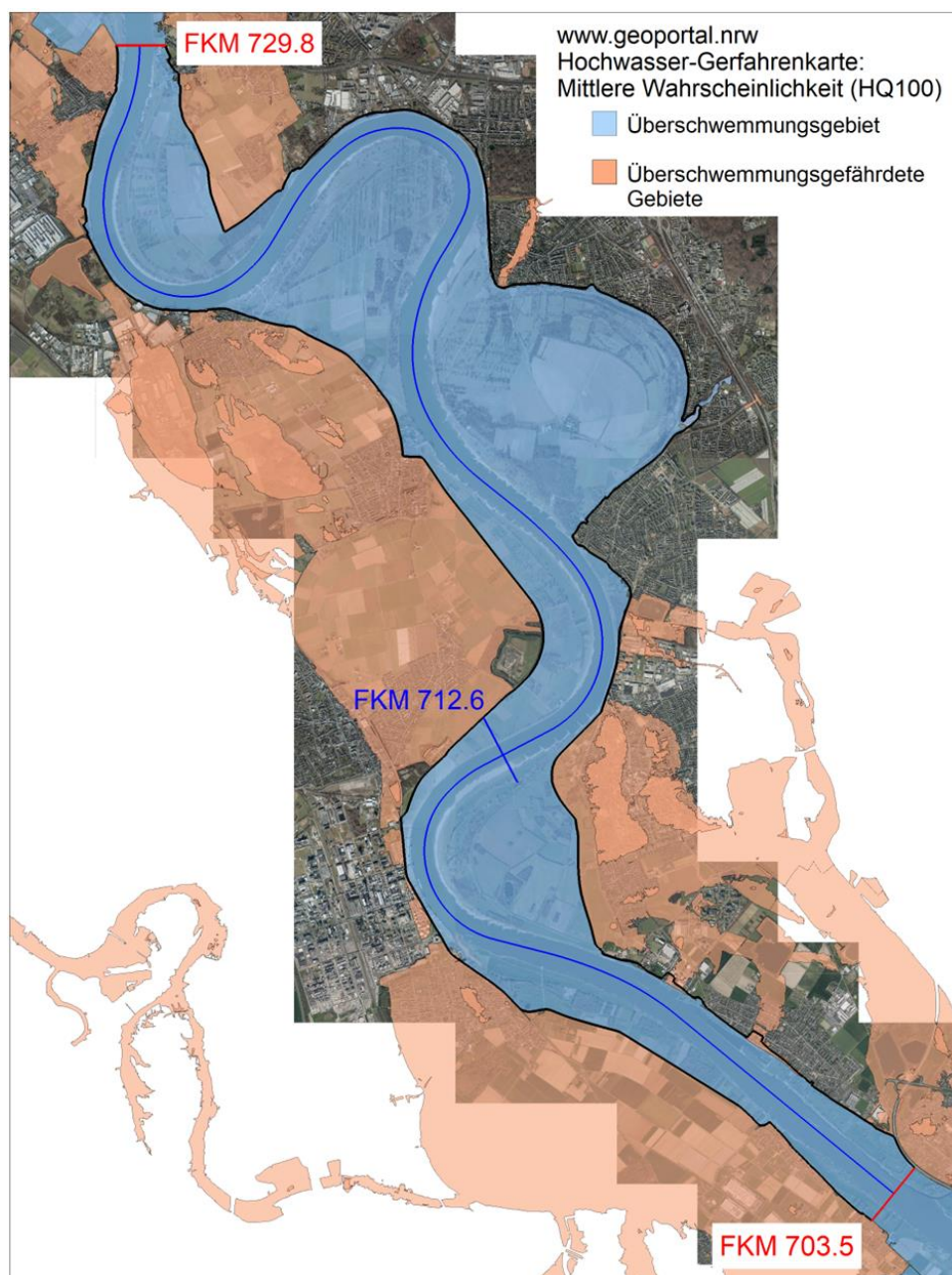


Abbildung 3: Lageplan mit Überschwemmungsgebieten aus www.geoportal.nrw, rote Linien: Zufluss- und Auslassrandbedingungen, schwarze Linien: linke- und rechte Vorlandabgrenzung

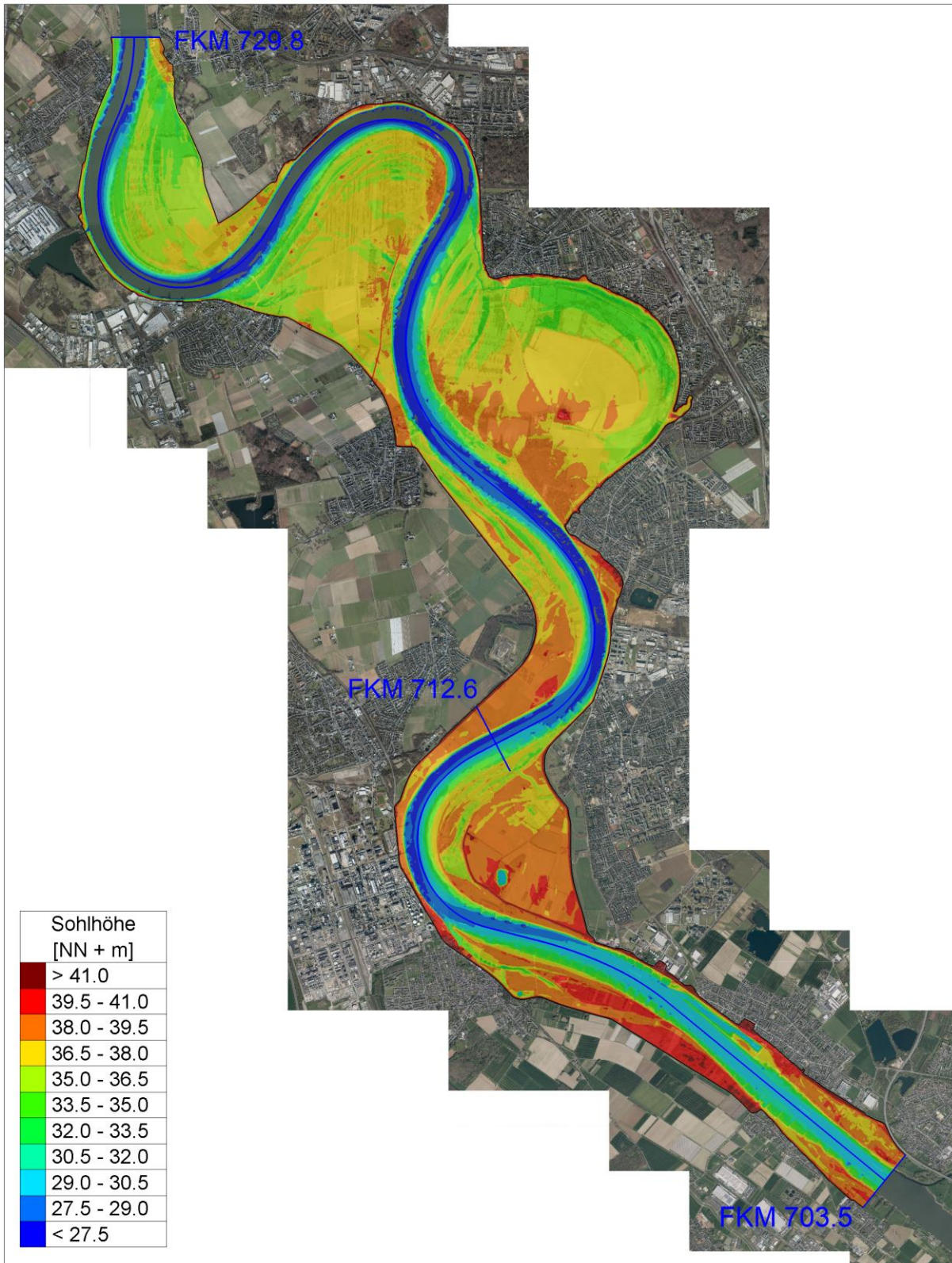


Abbildung 4: Lageplan Modellgebiet

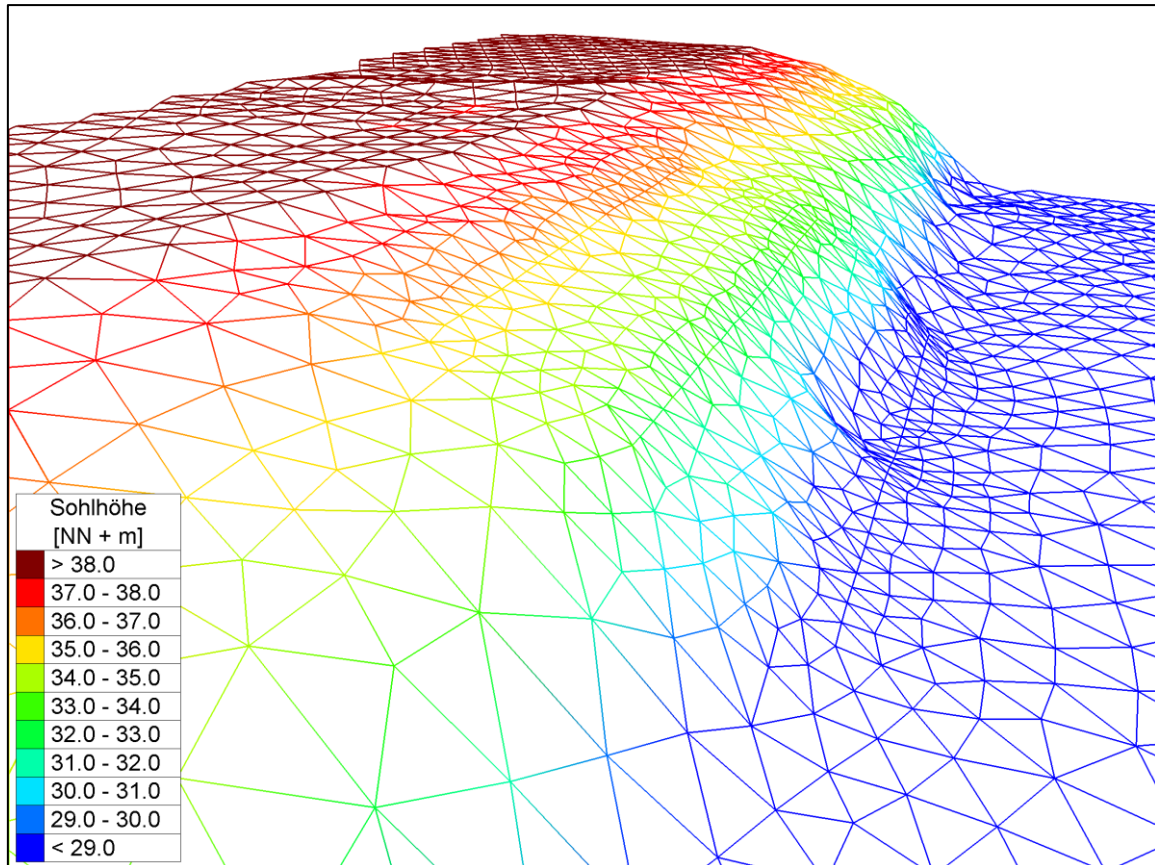


Abbildung 5: Berechnungsnetz Ist-Zustand, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung

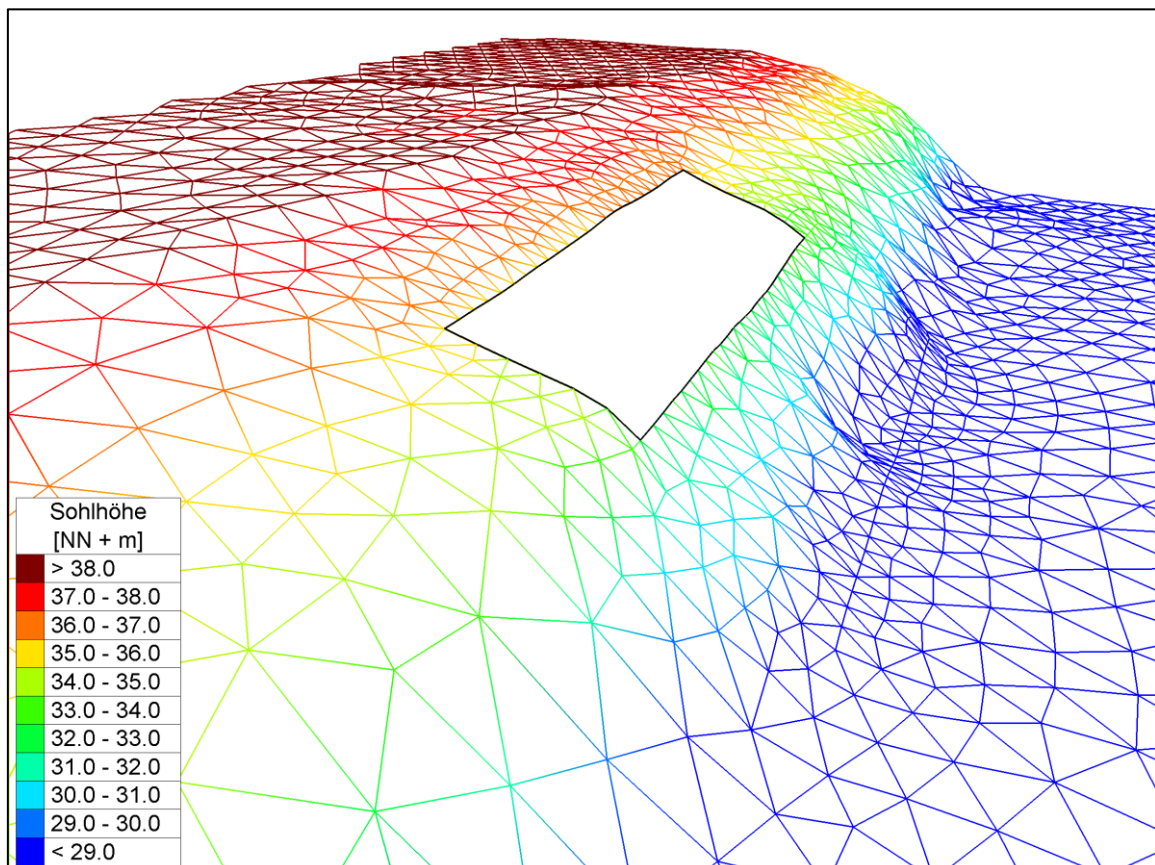


Abbildung 6: Berechnungsnetz Bauphase 1, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung

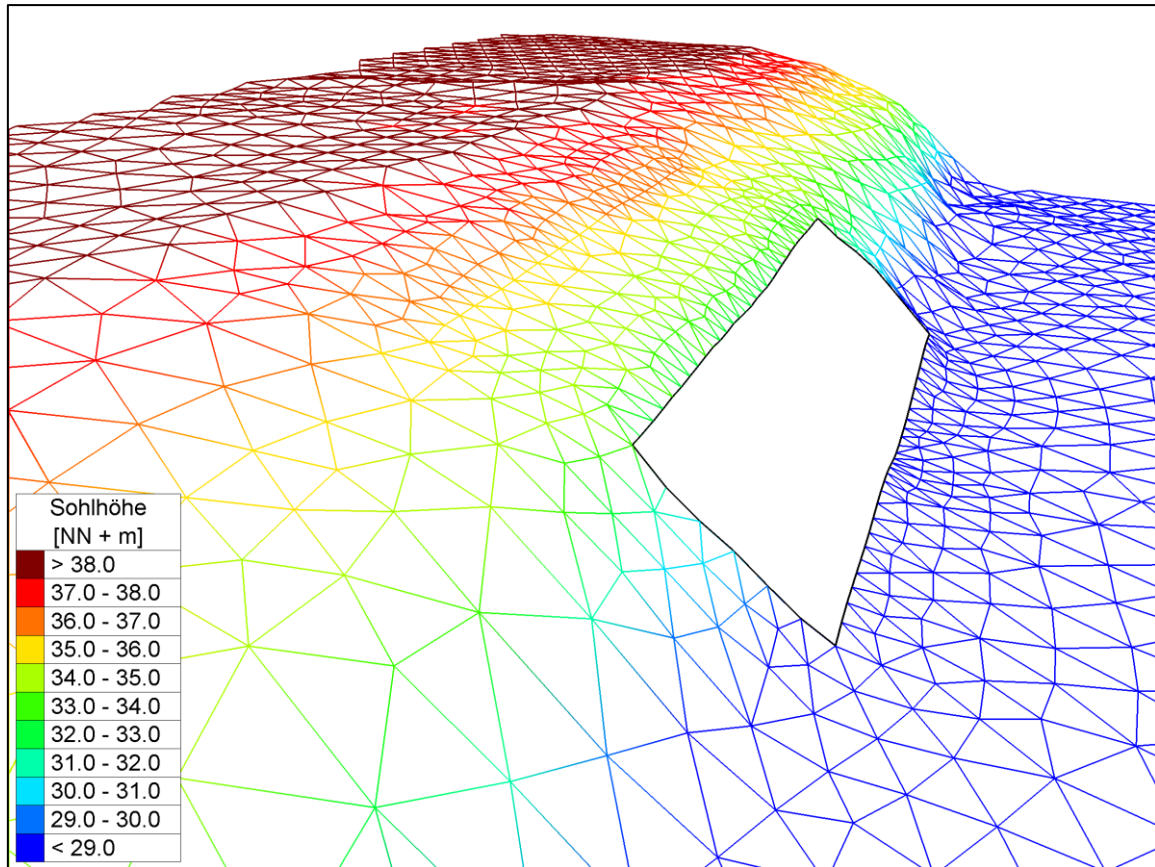


Abbildung 7: Berechnungsnetz Bauphase 2, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung

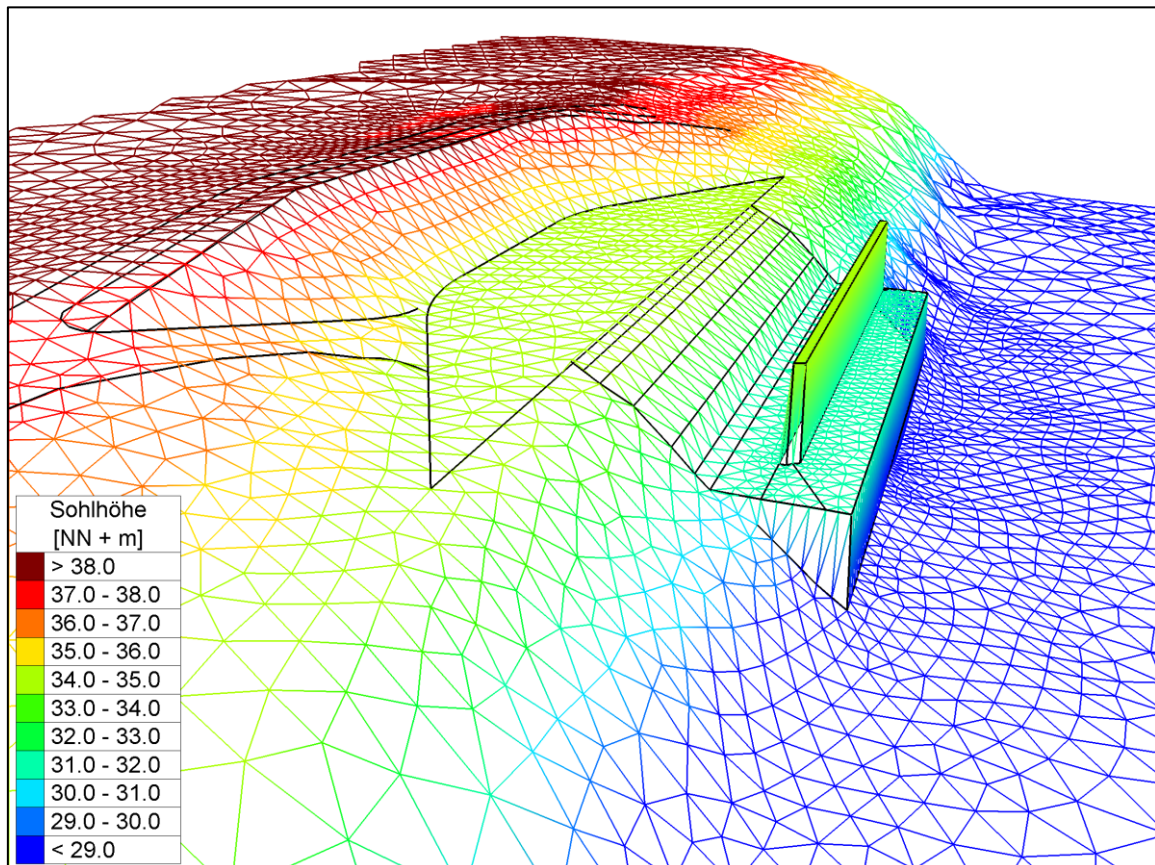


Abbildung 8: Berechnungsnetz Plan-Zustand, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung

3. Voruntersuchungen

3.1. Netzunabhängigkeit der Lösung

In einer ersten Voruntersuchung wurde die Netzunabhängigkeit der Lösung überprüft. Herangezogen wurde das Berechnungsnetz für den Ist-Zustand (Referenz, Kapitel 2.2) und der Hochwasserlastfall HQ100 = 12000 m³/s. Die Rauheit wurde für das gesamte Modellgebiet vereinfacht als konstant mit einer Strickler-Rauheit von 35 m^{1/3}/s angesetzt. Für die Auslassrandbedingung wurde eine Wasserspiegelhöhe, gemäß FLYS, von 38.47 NN + m angesetzt.

Für die Überprüfung der Netzunabhängigkeit der Lösung wurde ein Berechnungsnetz mit einer konstanten Zelllänge von 2.5 m generiert. Dieses Netz mit einer sehr hohen Auflösung besteht aus rund 5706000 Knoten bzw. 11391000 Dreieckselementen. Den Netzknoten wurden, wie beim Referenznetz, die Sohlhöhen aus dem 1x1 m digitalem Geländemodell mittels linearer Interpolation zugewiesen.

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind für den Bereich des Entnahmebauwerks die Berechnungsnetze Referenz und 2.5 m dargestellt. Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die mit dem Berechnungsnetz Referenz und Berechnungsnetz 2.5 m berechneten Wasserspiegelhöhen im Bereich zwischen FKM 711.0 bis FKM 713.5. Wie zu erkennen, und in Abbildung 13 mittels Auswertung der Wasserspiegeldifferenzen zwischen Berechnungsnetz Referenz und Berechnungsnetz 2.5 dargestellt, werden mit beiden Netzen praktisch identische Wasserspiegelhöhen berechnet. Die Wasserspiegeldifferenzen sind im Bereich des Entnahmebauwerks durchwegs geringer als 0.01 m.

Die Netzunabhängigkeit wurde mittels visuellem Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich der berechneten Wasserspiegellagen und der Fließgeschwindigkeiten überprüft. Des Weiteren wurde der gewichtete mittlere absolute Fehler WMAE der berechneten Wasserspiegelhöhen für das gesamte Modellgebiet sowie für den Interessensbereich zwischen FKM 711.0 und 713.5 gemäß folgender Formel berechnet. Dabei ist A_i die Kontrollfläche um den jeweiligen Netzknoten i , $WSP_{ref,i}$ die mit dem Referenznetz berechnete Wasserspiegelhöhe im Netzknoten i und $WSP_{s=2.5m,i}$ die mit dem hochaufgelöstem Netz berechnete Wasserspiegelhöhe im Netzknoten i .

$$WMAE = \frac{1}{\sum A_i} \sum_{i=1}^n A_i |WSP_{ref,i} - WSP_{s=2.5m,i}|$$

Die mittlere absolute Abweichung WMAE für das gesamte Modellgebiet beträgt 0.007 m. Im Bereich des geplanten Entnahmebauwerks zwischen FKM 711.0 und 713.5 beträgt die Abweichung zwischen Berechnungsnetz Referenz und Berechnungsnetz 2.5 m lediglich 0.002 m.

Mit der Überprüfung der Netzunabhängigkeit der Lösung kann festgestellt werden, dass die mit dem Berechnungsnetz Referenz erzeugten Berechnungsergebnisse 1) netzunabhängig sind und 2) die Sohlhöhen aus dem DGM im Flussschlauch und im Vorland ausreichend erfasst werden.

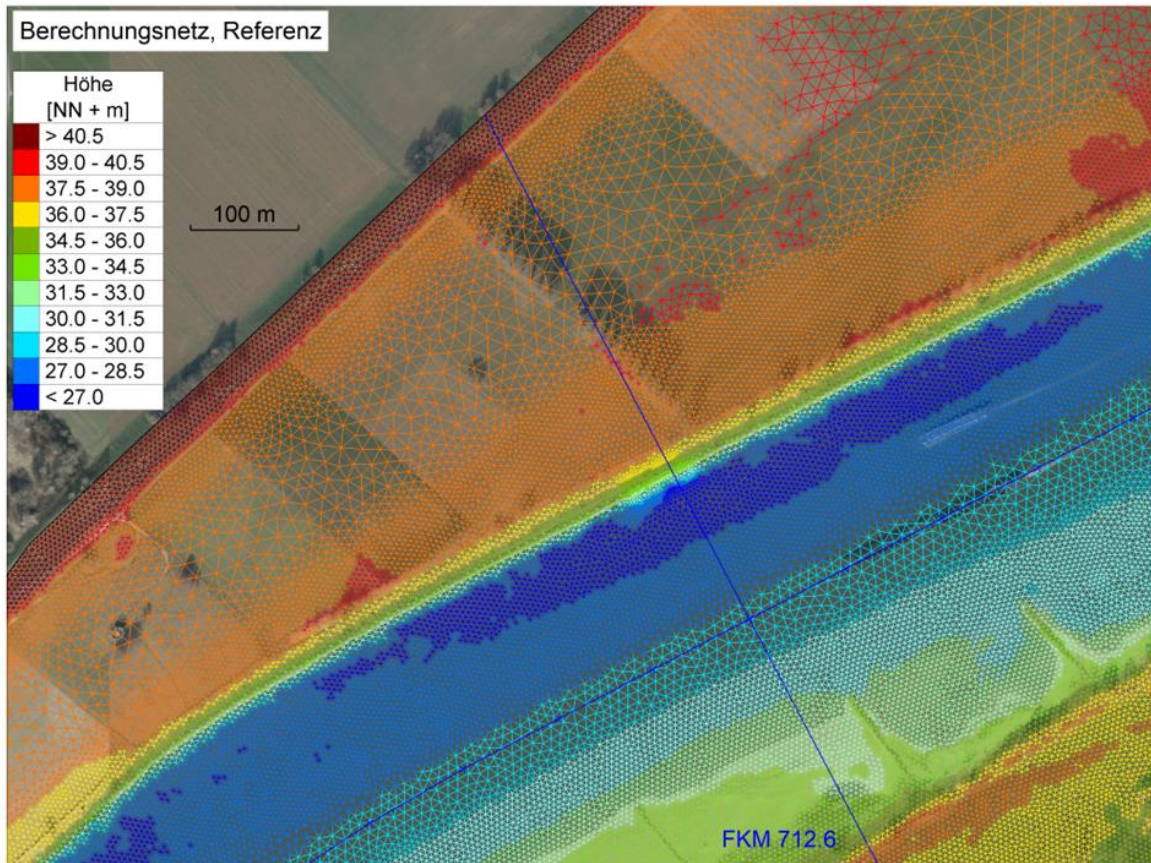


Abbildung 9: Berechnungsnetz Referenz im Bereich des Entnahmebauwerks bei FKM 712.6

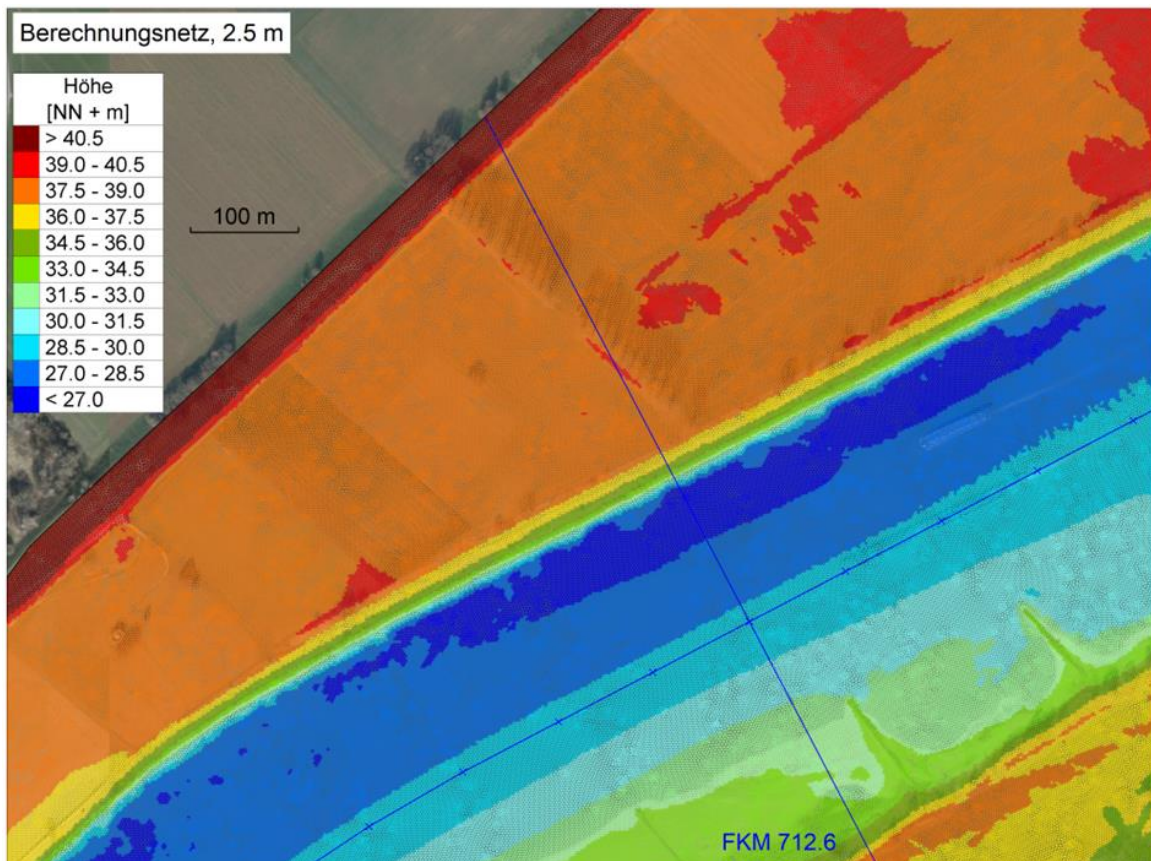


Abbildung 10: Berechnungsnetz 2.5 m im Bereich des Entnahmebauwerks bei FKM 712.6

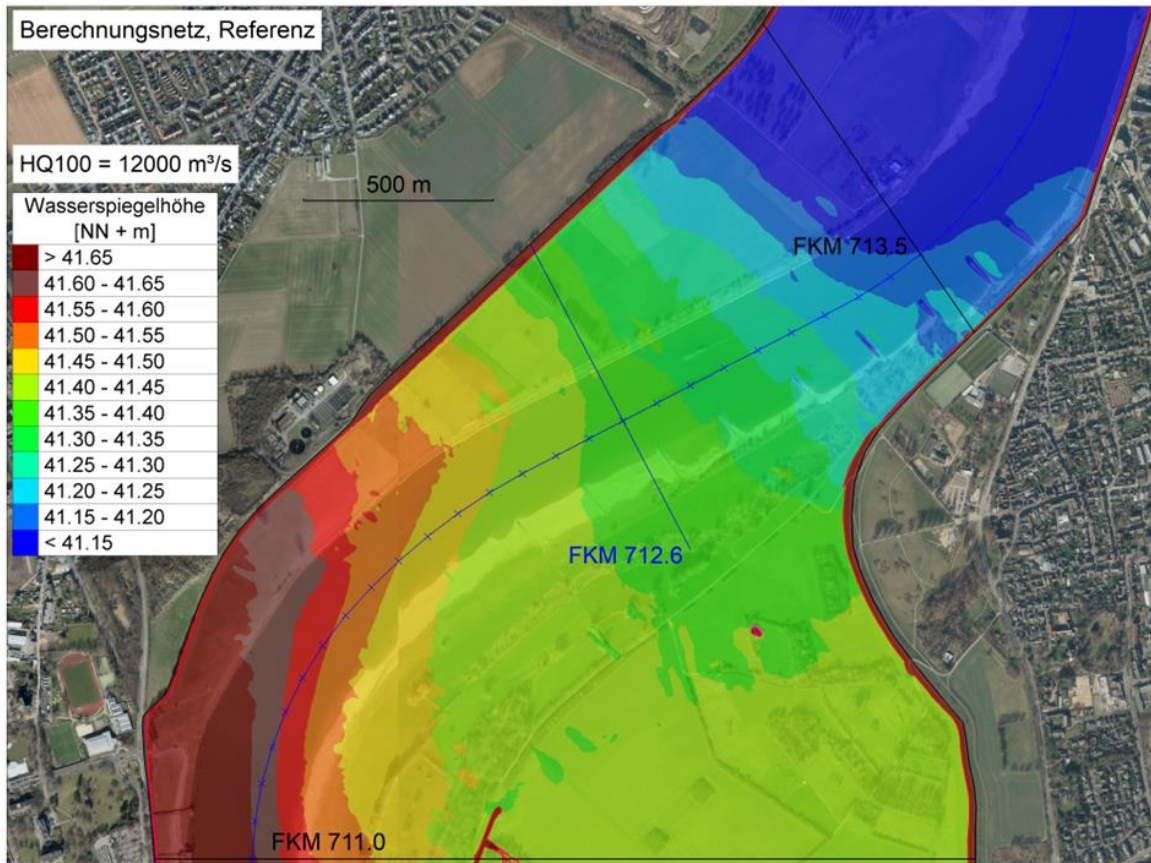


Abbildung 11: Berechnete Wasserspiegelhöhen, Berechnungsnetz Referenz, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5

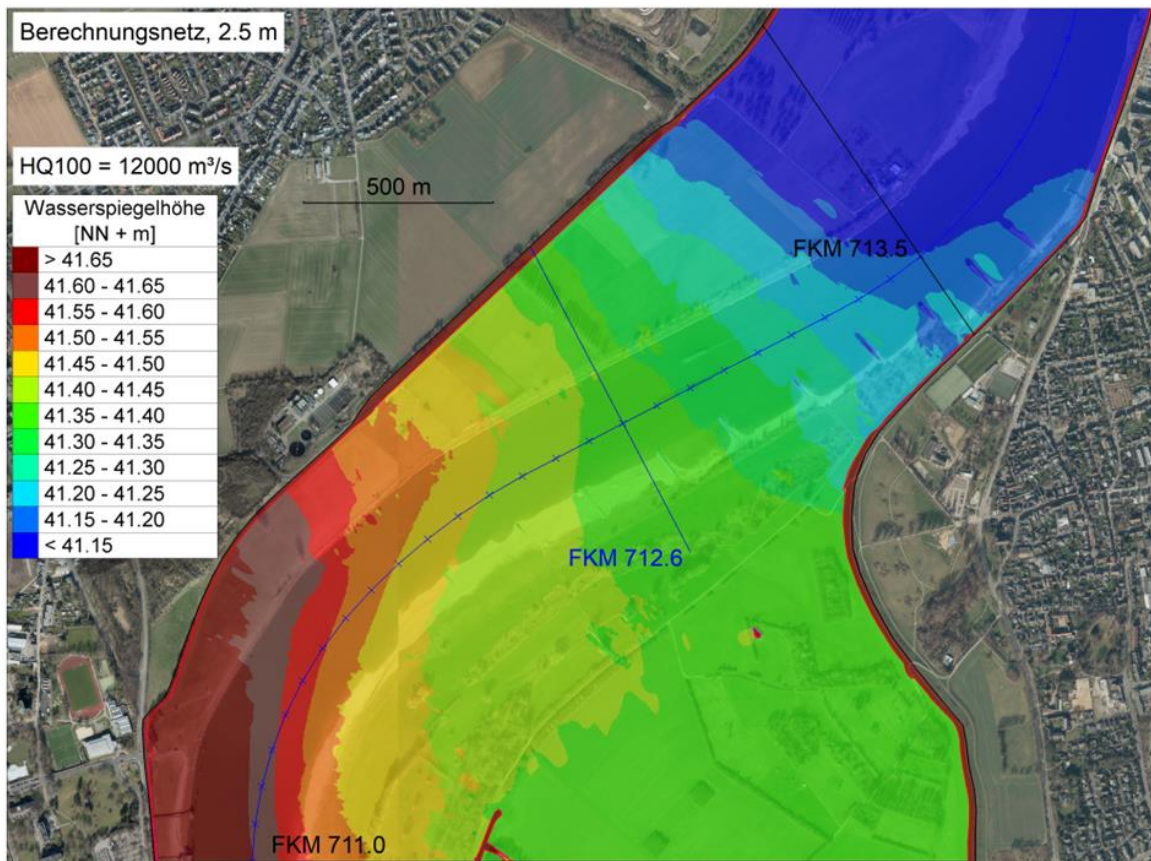


Abbildung 12: Berechnete Wasserspiegelhöhen, Berechnungsnetz 2.5 m, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5

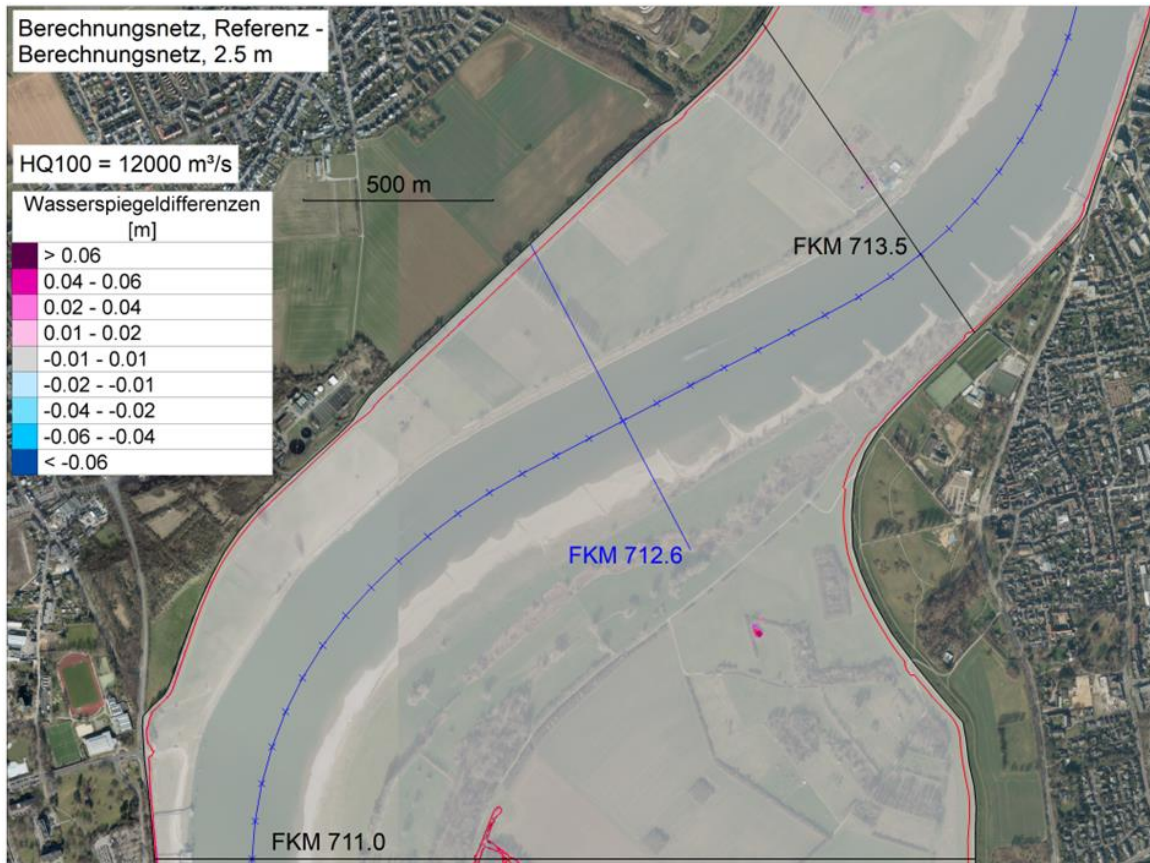


Abbildung 13: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen zwischen Berechnungsnetz Referenz und Berechnungsnetz 2.5 m, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5

3.2. Modellierung der Bauzustände (Spundwände)

In Bauphase 1 und Bauphase 2 werden die Baugruben mit Spundwänden eingehaust. Die Oberkante der Spundwände beträgt dabei 40.0 NN + m. Die Breite der jeweiligen Baugrube in Hauptströmungsrichtung beträgt 13.0 m. Im Referenznetz werden die Baugruben als nicht durchströmbare Bereiche definiert. Gemäß den Wasserspiegellagen aus dem Geoportal FLYS werden bis zum Hochwasserabfluss HQ5 = 8222 m³/s die Baugruben nicht überströmt. Beim Hochwasserabfluss HQ100 = 12000 m³/s werden gemäß den FLYS-Daten die Baugruben bei FKM 712.6 mit einer Wasserüberdeckung von 1.77 m überströmt.

Im Folgenden werden für den Hochwasserlastfall HQ100 = 12000 m³/s die Unterschiede zwischen den Modellierungsansätzen, 1) nicht durchströmbare Flächen und 2) geometrische Modellierung der Spundwände, gezeigt. Für die Auslassrandbedingung bei FKM 729.8 wurde eine Wasserspiegelhöhe, gemäß FLYS, von 38.47 NN + m angesetzt.

Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen in 3D-Ansichten (2-fach überhöht) die Berechnungsnetze für die zwei Bauphasen bei geometrischer Modellierung der Spundwände. Man vergleiche diese jeweils mit Abbildung 6 und Abbildung 7.

Die resultierenden Wasserspiegeldifferenzen zwischen Bauphase 1 und Ist-Zustand mit den unterschiedlichen Modellierungsansätzen sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass mit beiden Modellierungsansätzen praktisch identische Wasserspiegeldifferenzen berechnet werden. Die Wasserspiegeldifferenzen zwischen Bauphase 2 und Ist-Zustand mit den zwei Modellierungsansätzen sind in Abbildung 18 und Abbildung 19 dargestellt. Die Ergebnisse legen dar, dass für Bauphase 2 die Modellierung der Baugrube als nicht durchströmbare im Vergleich zur geometrischen Modellierung der Spundwände geringfügig größere Wasserspiegeldifferenzen bewirkt, welche mit einer größeren Ausdehnung der Wasserspiegeldifferenzen sichtbar werden.

Die geometrische Modellierung der Spundwände bewirkt lokal sehr hohe Fließgeschwindigkeiten. In Kombination mit den erforderlichen sehr geringen Zelllängen wird dadurch der numerische Zeitschritt stark reduziert, wodurch die Rechenzeiten sehr lang werden. Des Weiteren kann festgehalten werden, dass die Überströmung der Spundwände ein dreidimensionales Problem darstellt, mit maßgeblichen Vertikalgeschwindigkeiten und Sekundärströmungen. Diese können mittels einer 2D tiefengemittelten hydraulischen Simulation nicht abgebildet werden.

Die Ergebnisse dieser Voruntersuchung zeigen, dass im vorliegenden Projekt beide Modellierungsansätze für die Bearbeitung der Fragestellungen als gleichwertig angesehen werden können. Die Modellierung der Baugrube mit nicht durchströmbaren Wänden im Referenznetz kann beim Vergleich zwischen Maßnahme und Ist-Zustand dabei als konservativerer Ansatz betrachtet werden.

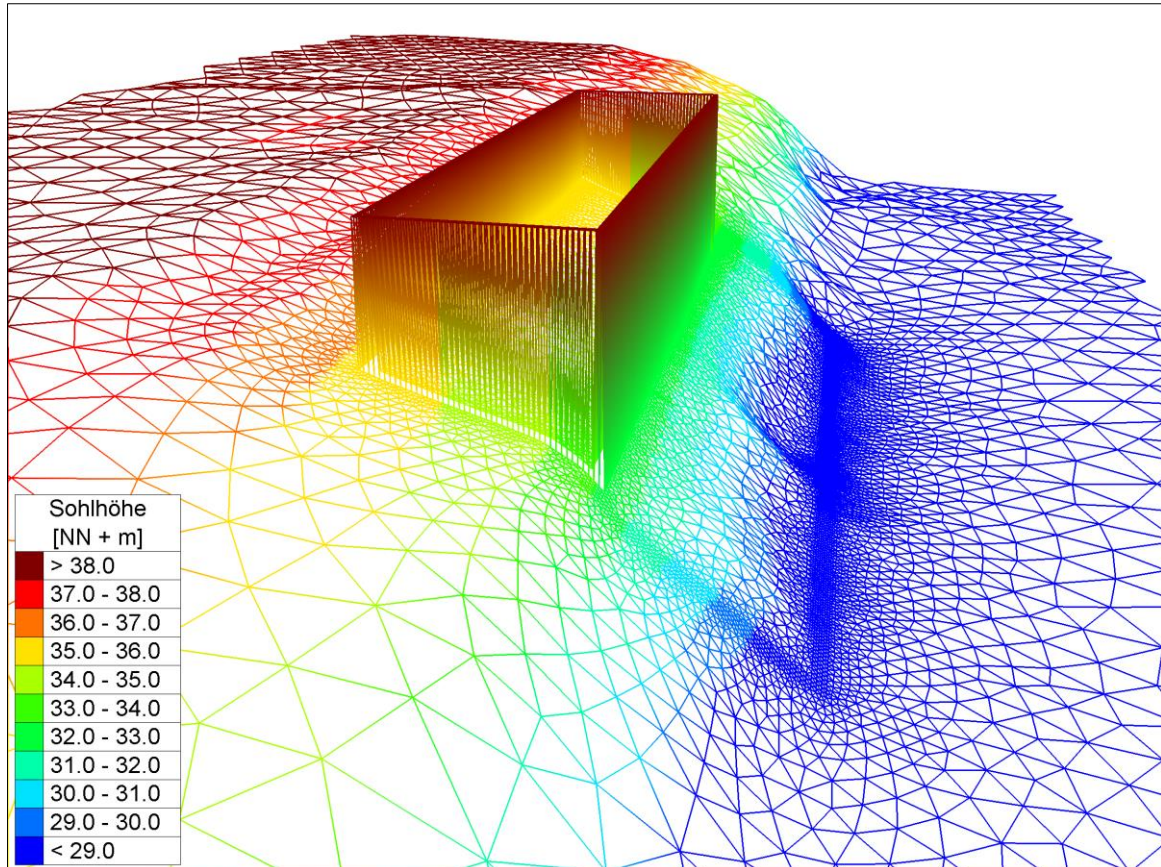


Abbildung 14: Berechnungsnetz Bauphase 1, Spundwände modelliert, 3D Ansicht in Fließrichtung

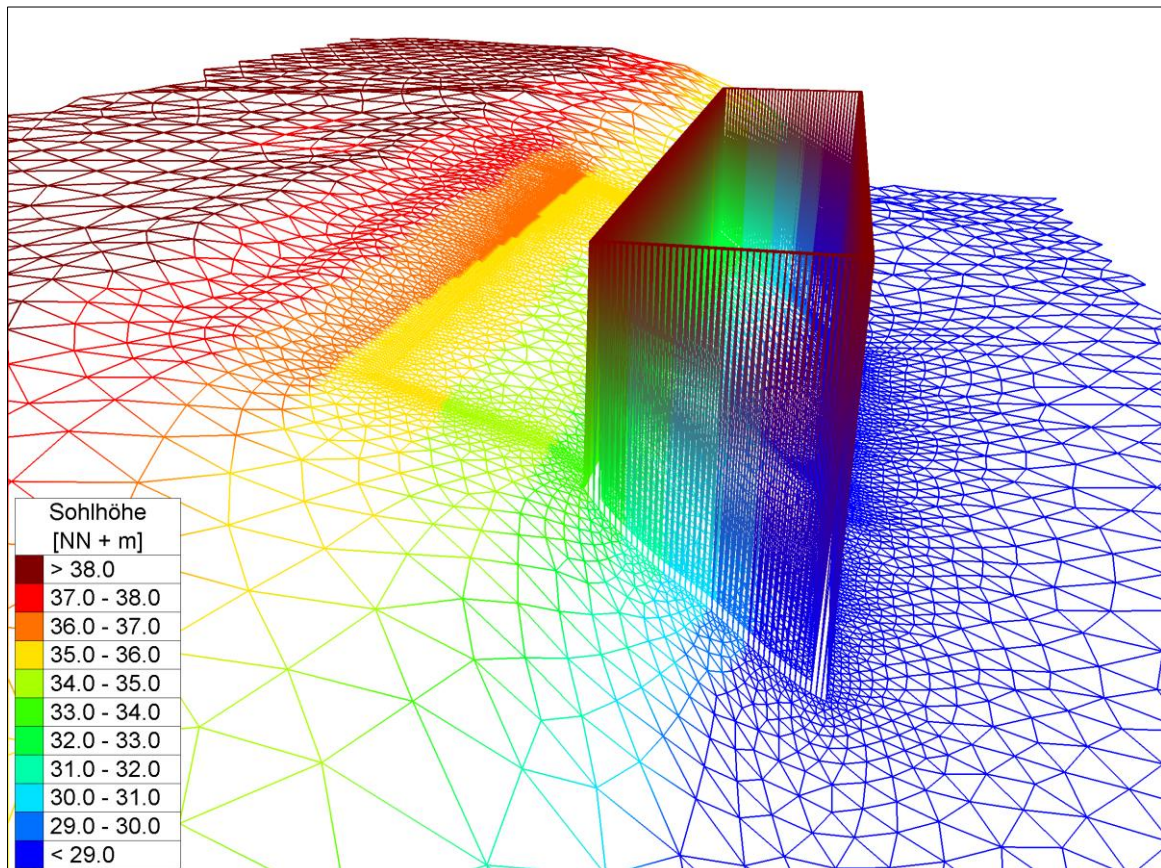


Abbildung 15: Berechnungsnetz Bauphase 2, Spundwände modelliert, 3D Ansicht in Fließrichtung

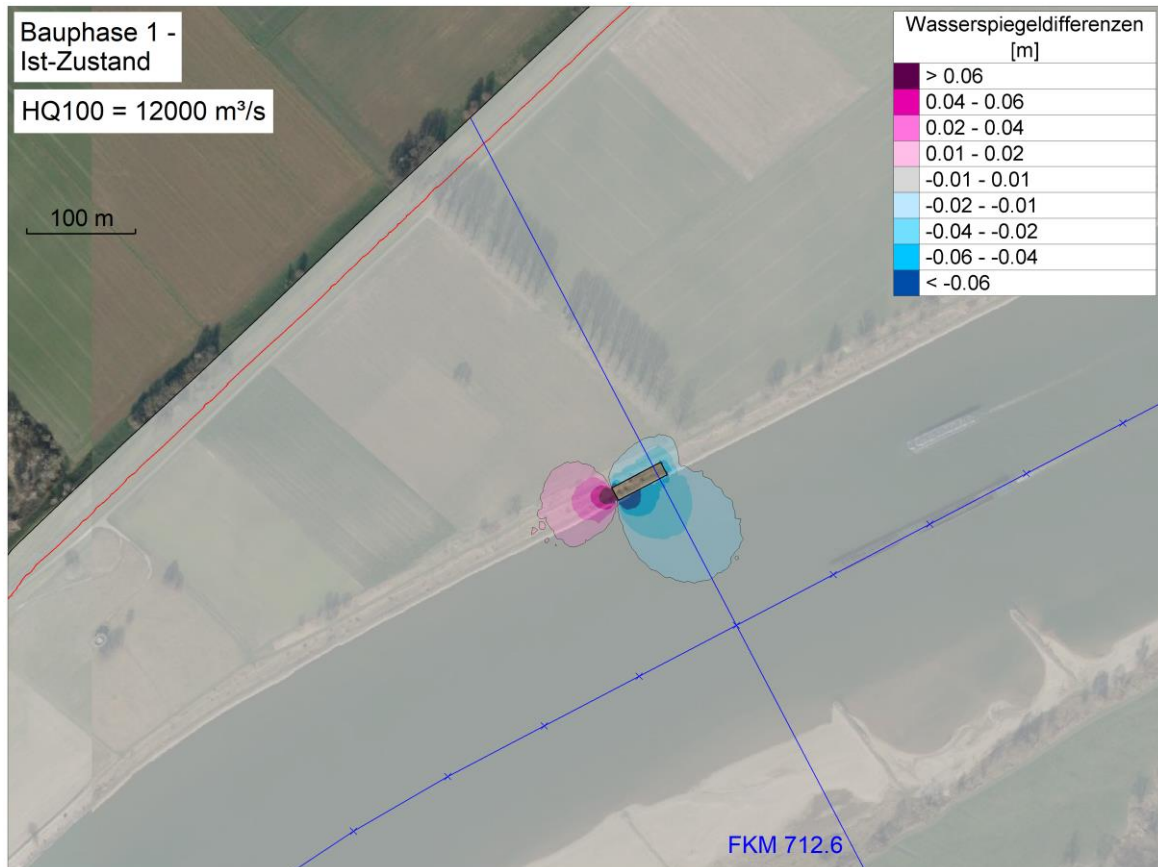


Abbildung 16: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen mit Referenznetz, Bauphase 1 – Ist-Zustand

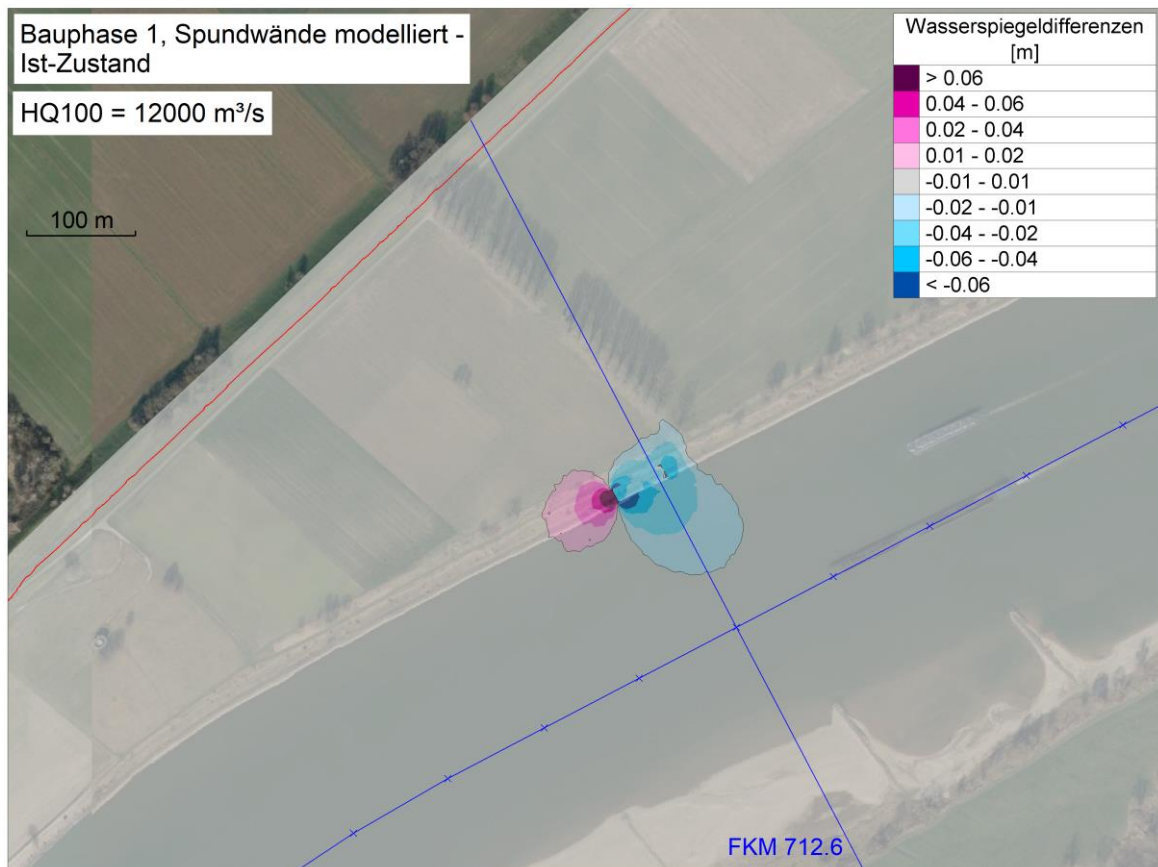


Abbildung 17: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1, Spundwände modelliert – Ist-Zustand

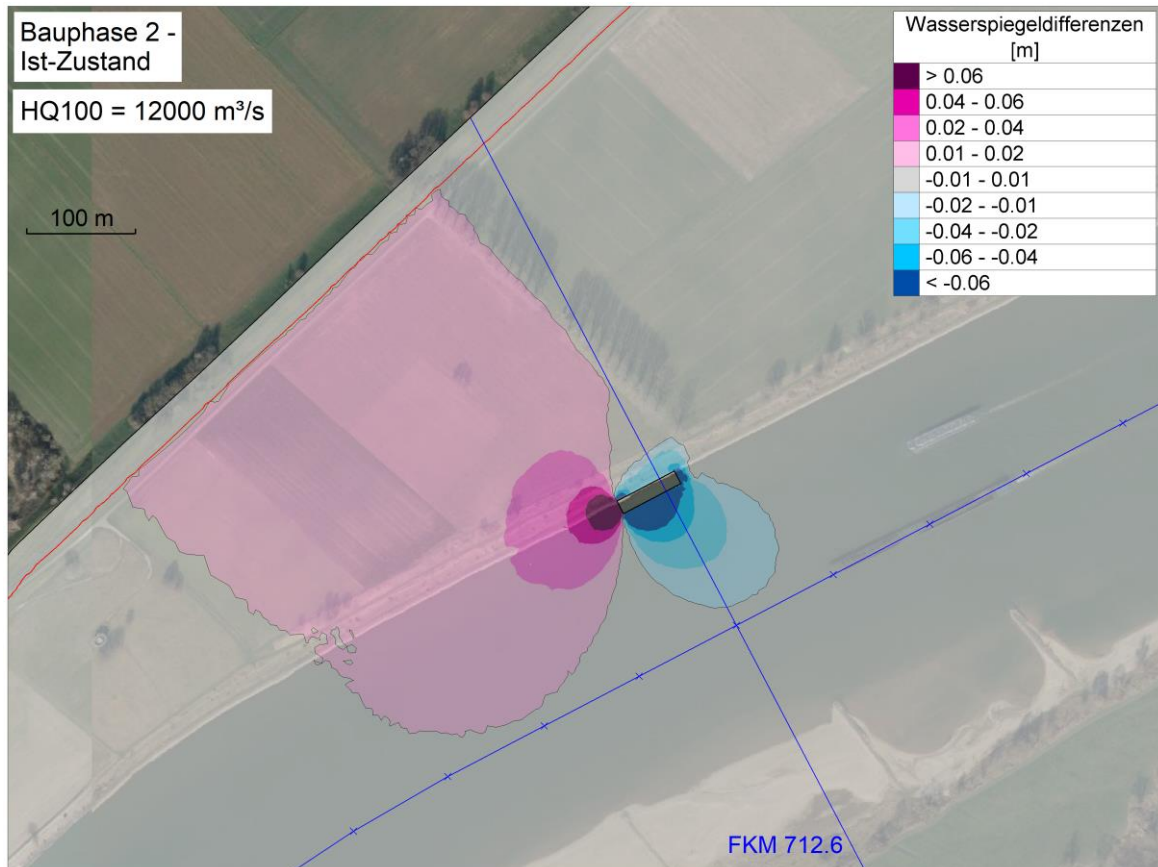


Abbildung 18: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen mit Referenznetz, Bauphase 2 – Ist-Zustand

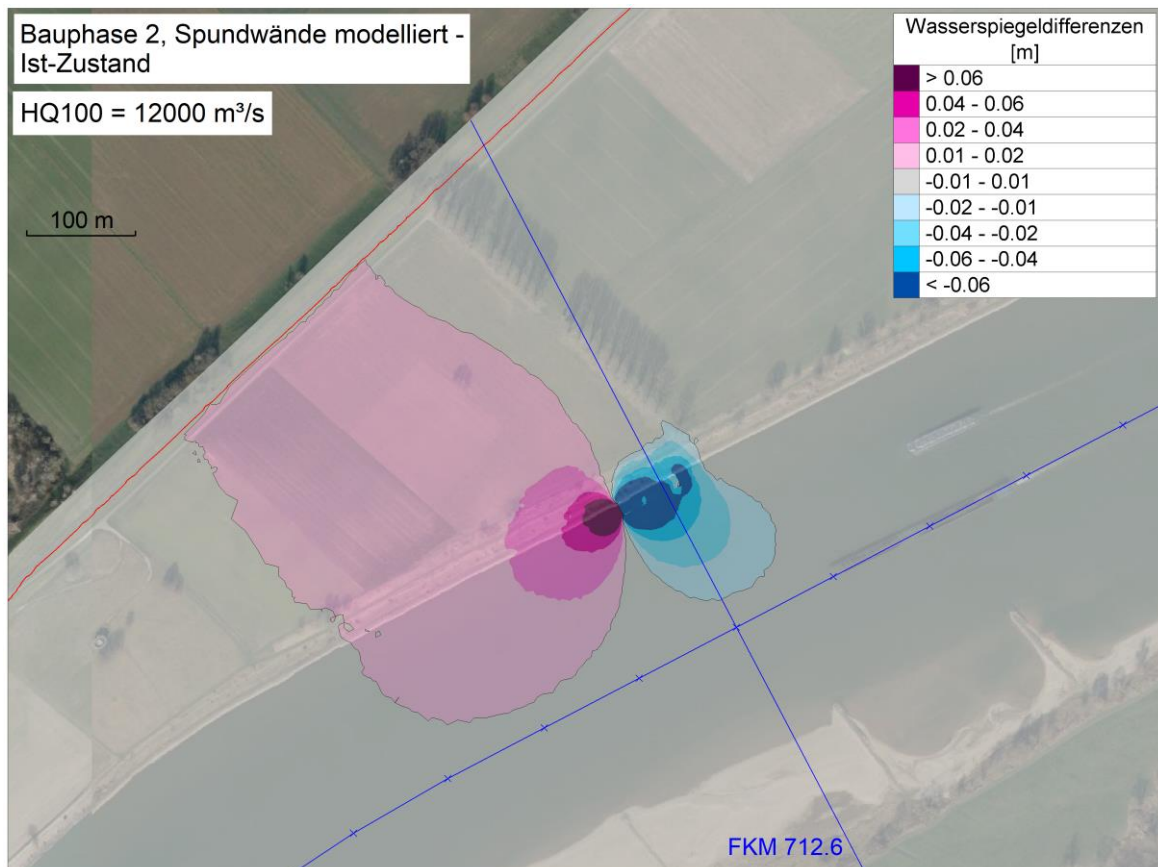


Abbildung 19: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2, Spundwände modelliert – Ist-Zustand

4. Untersuchte Abflüsse und hydraulische Randbedingungen

Im vorliegenden Projekt wurden sieben Abflüsse untersucht. In Tabelle 1 sind die bei FKM 703.5 definierten Zuflüsse als obere hydraulische Randbedingung und die bei FKM 729.8 definierten Wasserspiegelhöhen als Auslassrandbedingung aufgelistet.

Die Abflusswerte wurden aus der Abstimmungsunterlage „Untersuchungsumfang 2D-Strömungssimulation, Version 1.4“ entnommen. Die Wasserspiegelhöhen wurden aus dem Geoportal der BfG, Fachanwendung FLYS bzw. für das BHQ2004 aus AMW 90 entnommen.

Die Entnahmewassermenge von maximal 18 m³/s am Entnahmebauwerk ist im Vergleich des Rheinabflusses von mindestens 1841 m³/s bei maximaler Entnahme aus fachlicher Sicht nicht relevant. Deshalb wurde die Entnahmewassermenge in den Simulationen nicht berücksichtigt.

Lastfall	Zufluss [m ³ /s]	Auslasswasserspiegelhöhe [NN + m]
NNQ2003	706	27.62
MQ	2106	30.27
Q = 2756	2756	31.09
HQ1	5591	34.08
HQ5	8222	36.12
HQ100	12000	38.47
BHQ2004	12900	39.07

Tabelle 1: Untersuchte Lastfälle mit hydraulischen Randbedingungen

Die Simulationen wurden jeweils bis zu einem stationären Strömungszustand im gesamten Modellgebiet durchgeführt. Die Simulationen wurden mit trockener Sohle initialisiert, der Zufluss graduell gesteigert bis zum jeweiligen Zielwert und dieser dann konstant gehalten. Am Auslass wurde jeweils ein Pegelschlüssel mit der definierten Auslasswasserspiegelhöhe angesetzt. Die Simulationsdauer wurde mit 30 Stunden festgelegt, innerhalb welcher sich bei jedem untersuchten Lastfall ein stationärer Strömungszustand im gesamten Modellgebiet einstellte.

5. Definition von Rauheitszonen

Basierend auf den Ergebnissen von ersten Vergleichssimulationen wurden zwei Rauheitszonen definiert: Flussschlauch und Vorland. Die Abgrenzung zwischen Flussschlauch und Vorland wurde anhand der berechneten Wasseranschlagslinien bei Mittelwasser MQ und visuell anhand der Orthophotos vorgenommen. Aus Sicht des Verfassers ist diese vereinfachte Rauheitszonierung ausreichend für die Beantwortung der Fragestellungen in diesem Bericht. Lediglich für den Plan-Zustand wurde der Stützmauer aus Beton eine Strickler-Rauheit von $k_{st} = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ zugewiesen. Diese lokal unterschiedliche Rauheitszuweisung im Plan-Zustand hat jedoch mit höchster Wahrscheinlichkeit keine merkliche Auswirkung auf die Berechnungsergebnisse. Abbildung 20 zeigt im Lageplan das Modellgebiet mit der gewählten zonalen Aufteilung der Rauheitswerte.

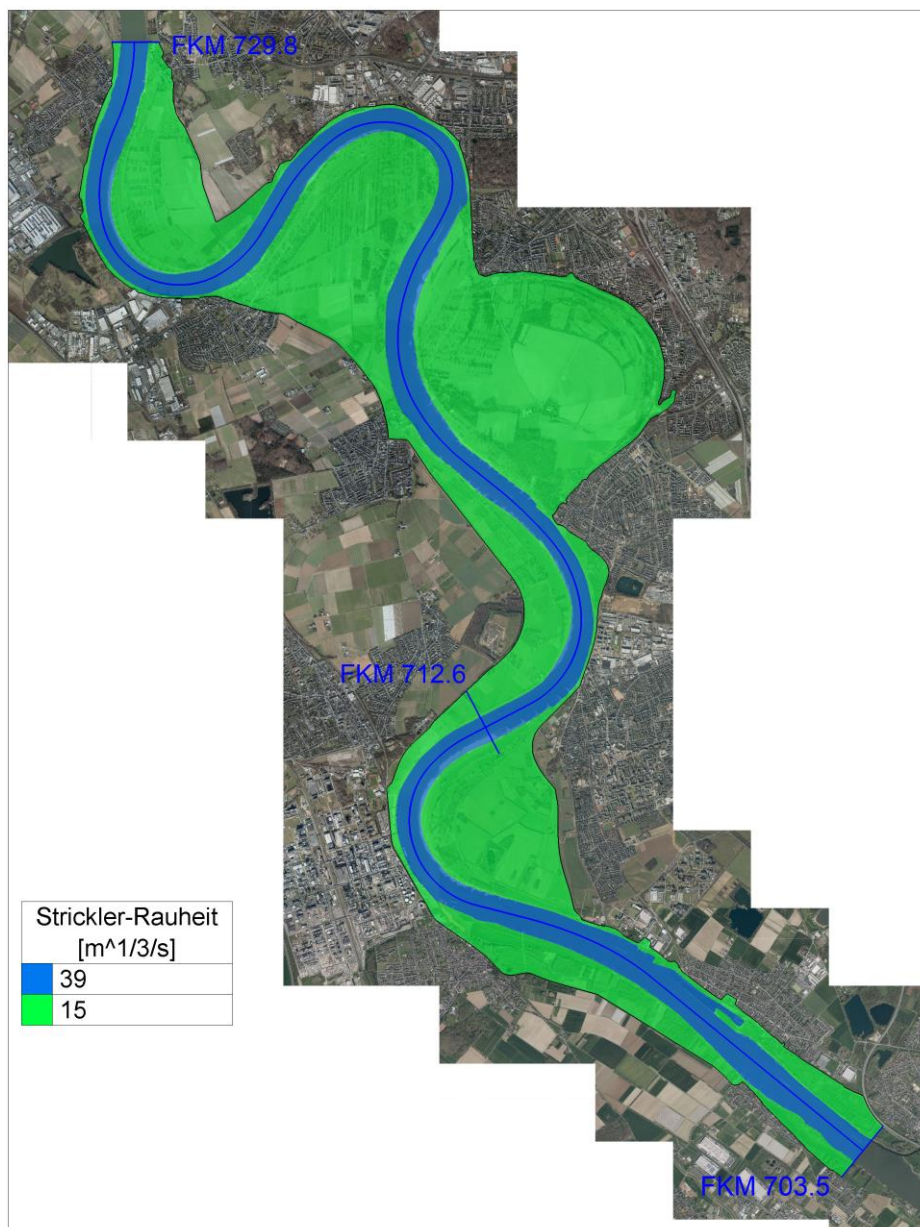


Abbildung 20: Lageplan Modellgebiet mit Rauheitszonen

6. Kalibrierung der Rauheiten

Die Festlegung der Strickler-Rauheitswerte für die Zonen Flussschlauch und Vorland wurde mittels Vergleich der berechneten Wasserspiegelhöhen mit den aus der Fachanwendung FLYS entnommenen Wasserspiegelhöhen durchgeführt. Die Vergleichssimulationen auf Basis des Ist-Zustandes wurden für den Mittelwasserabfluss $MQ = 2106 \text{ m}^3/\text{s}$ und den Hochwasserabfluss $HQ100 = 12000 \text{ m}^3/\text{s}$ durchgeführt. Beim Lastfall MQ und Wahl einer Rauheit von $k_{st} = 39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den Flussschlauch können die in der Fachanwendung FLYS angegebenen Wasserspiegelhöhen im numerischen Modell sehr gut reproduziert werden (Abbildung 21).

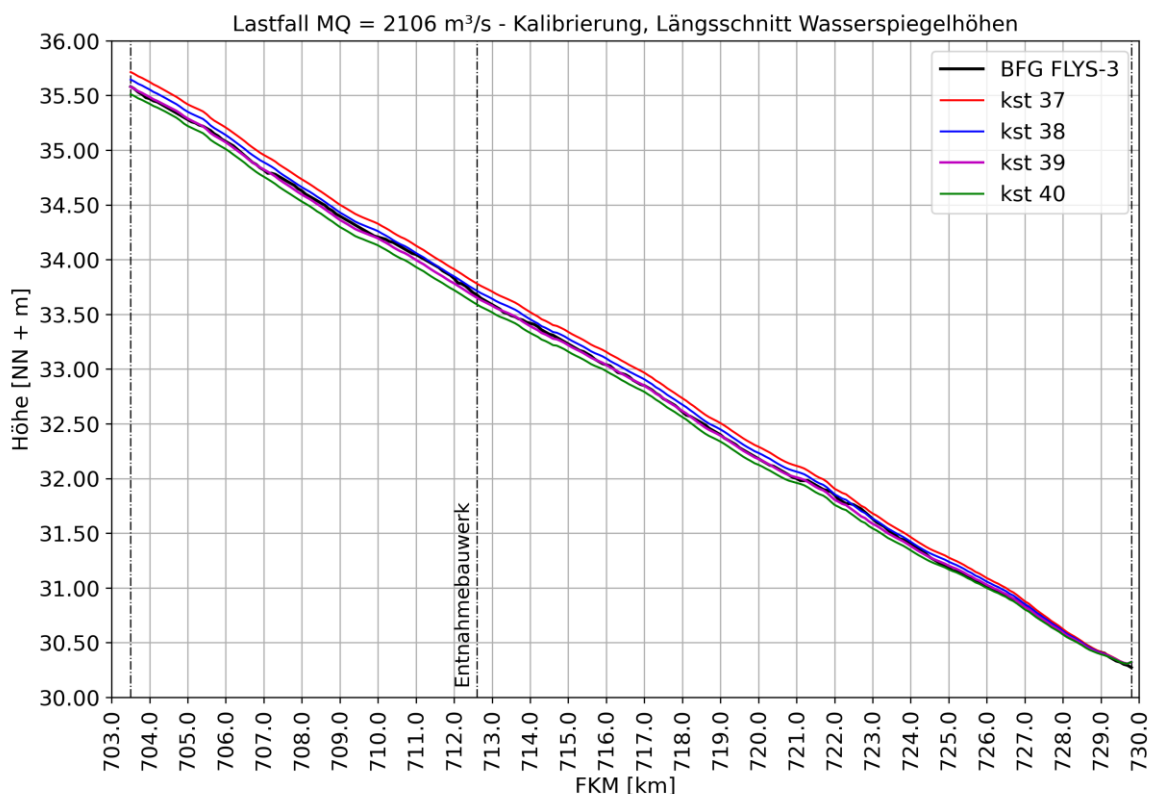


Abbildung 21: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Lastfall MQ, Variation der Rauheit im Flussschlauch

Für den Hochwasserlastfall HQ100 wurde zu Vergleichszwecken die Rauheit im Flussschlauch und im Vorland variiert. Abbildung 22 zeigt die berechneten Wasserspiegelhöhen bei Variation der Rauheiten und die der Fachanwendung FLYS. Wie deutlich erkennbar, hat der Vorlandabfluss einen maßgeblichen Einfluss auf die resultierenden Wasserspiegelhöhen. Eine durchwegs gute Übereinstimmung zwischen Simulationsergebnissen und FLYS-Daten kann mit Wahl einer Strickler-Rauheit von $k_{st} = 39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den Flussschlauch und $k_{st} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für das Vorland erzielt werden.

Anmerkung: die in den FLYS-Daten markante Wasserspiegelhebung zwischen FKM 716.0 und 720.0 kann in den numerischen Simulationen nicht reproduziert werden. Vielmehr scheint der in der vorliegenden 2D hydraulischen Simulation berechnete Wasserspiegellinienverlauf aufgrund der topographischen Gegebenheiten in diesem Bereich als physikalisch plausibler (Abbildung 23).

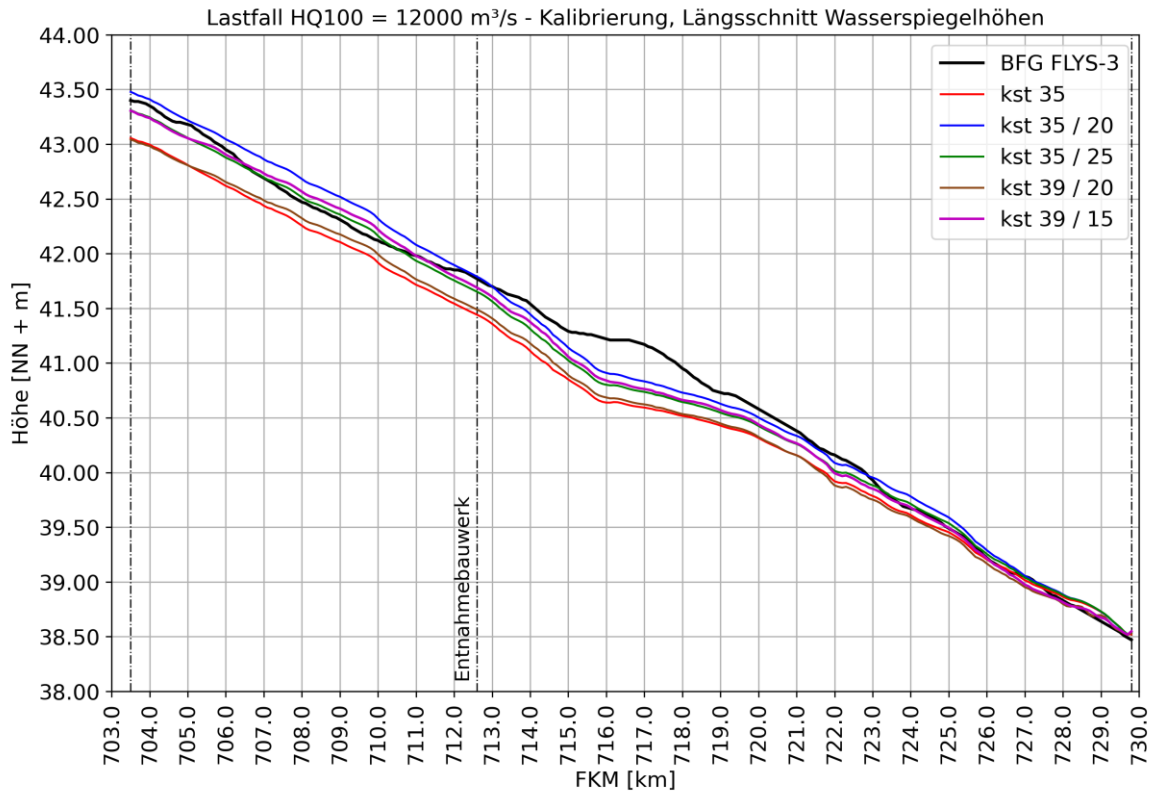


Abbildung 22: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Lastfall HQ100, Variation der Rauheit, Flussschlauch / Vorland

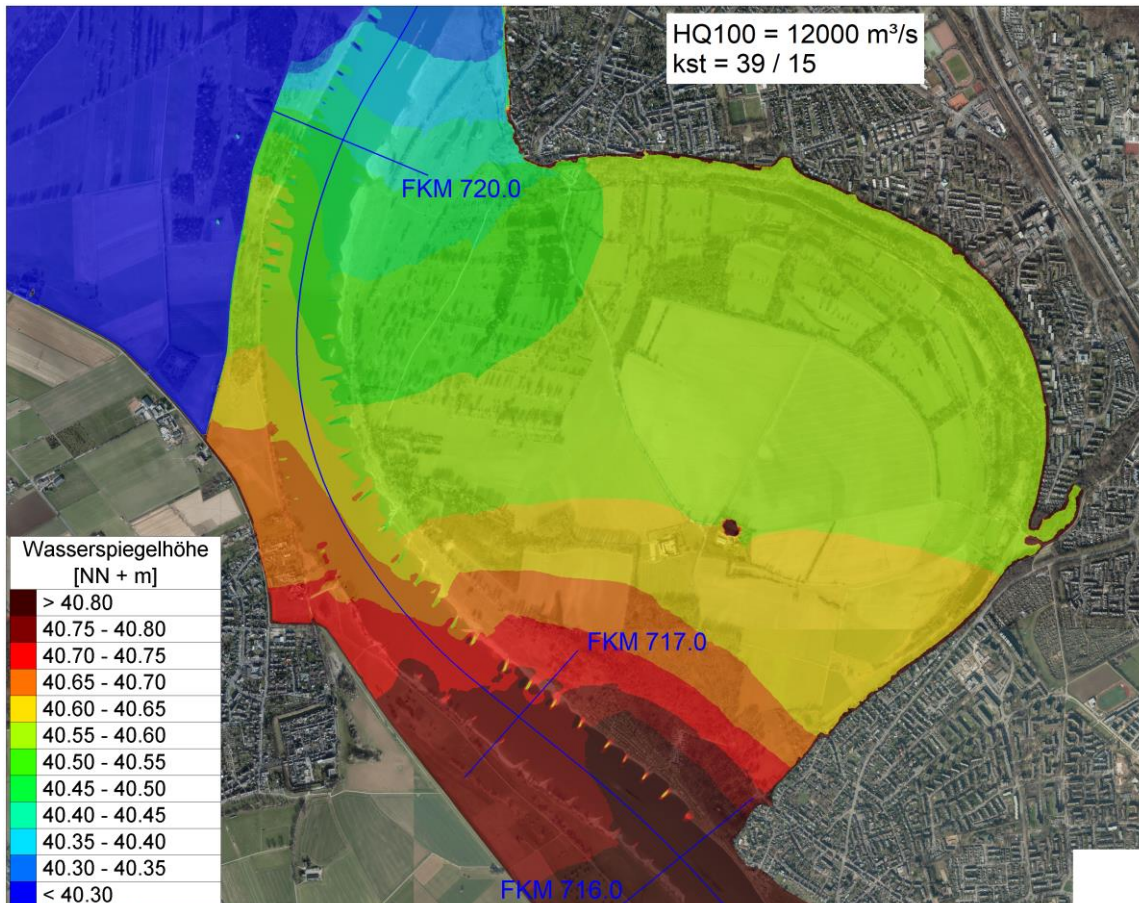


Abbildung 23: Lageplan Wasserspiegelhöhen im Bereich FKM 767.0 bis FKM 720.0

Mit der festgelegten Strickler-Rauheit $k_{st} = 39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den Flussschlauch und $k_{st} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für das Vorland wurden für die anderen zu untersuchenden Lastfälle NNQ2003, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$, HQ1, HQ5 und BHQ2004 die simulierten Wasserspiegellagen mit denen aus der Fachanwendung FLYS bzw. AMW 90 für das BHQ2004 verglichen.

Die Berechnungsergebnisse legen dar, dass mit den gewählten Rauheiten auch bei den Lastfällen NNQ2003, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$, HQ1, HQ5 und BHQ2004 eine gute bis sehr gute Übereinstimmung zwischen den berechneten Wasserspiegellagen und denen aus der Fachanwendung FLYS bzw. AMW 90 erzielt werden (Abbildung 24 und Abbildung 25).

Bei den Lastfällen vom Niederwasser NNQ2003 bis zum Hochwasser HQ5 stimmen die berechneten und die FLYS-Wasserspiegellagen über das gesamte Modellgebiet von FKM 703.5 bis FKM 729.8 sehr gut überein. Beim Hochwasserlastfall HQ100 sind teilweise größere Differenzen vor allem im Flussabschnitt zwischen FKM 716.0 und 720.0 zu erkennen, wie bereits oben beschrieben. Beim Lastfall BHQ2004 werden im Vergleich zu den amtlich festgelegten Wasserspiegellagen (AMW 90) in der 2D numerischen Simulation ab FKM 723.0 und flussauf deutlich geringere Wasserspiegellagen, mit Abweichungen zwischen 20 bis 50 cm zu den AMW 90-Daten, berechnet.

Tabelle 2 listet für den jeweiligen Lastfall den berechneten mittleren absoluten Fehler (MAE) zwischen den FLYS-Wasserspiegellagen und den berechneten Wasserspiegellagen für den Bereich des Entnahmebauwerks zwischen FKM 711.0 und FKM 713.5 auf.

Lastfall	FKM 711.0 – 713.5 MAE [m]
NNQ2003	0.05
MQ	0.03
Q = 2756	0.03
HQ1	0.07
HQ5	0.02
HQ100	0.06
BHQ2004	0.27

Tabelle 2: Mittlerer absoluter Fehler (MAE)

Die Gegenüberstellung der im gesamten Projektgebiet (FKM 703.5 – FKM 729.8) berechneten Wasserspiegellagen mit denen aus der Fachanwendung FLYS ist in Anlage 4 zu finden.

Anmerkung: Die Auswertung bzw. Darstellung der berechneten Wasserspiegellagen und der Vergleich mit den FLYS-Daten in den Längsschnitten wurden entlang der von RWE zur Verfügung gestellten Flussachse mit einem Stationierungsabstand von 100 m durchgeführt.

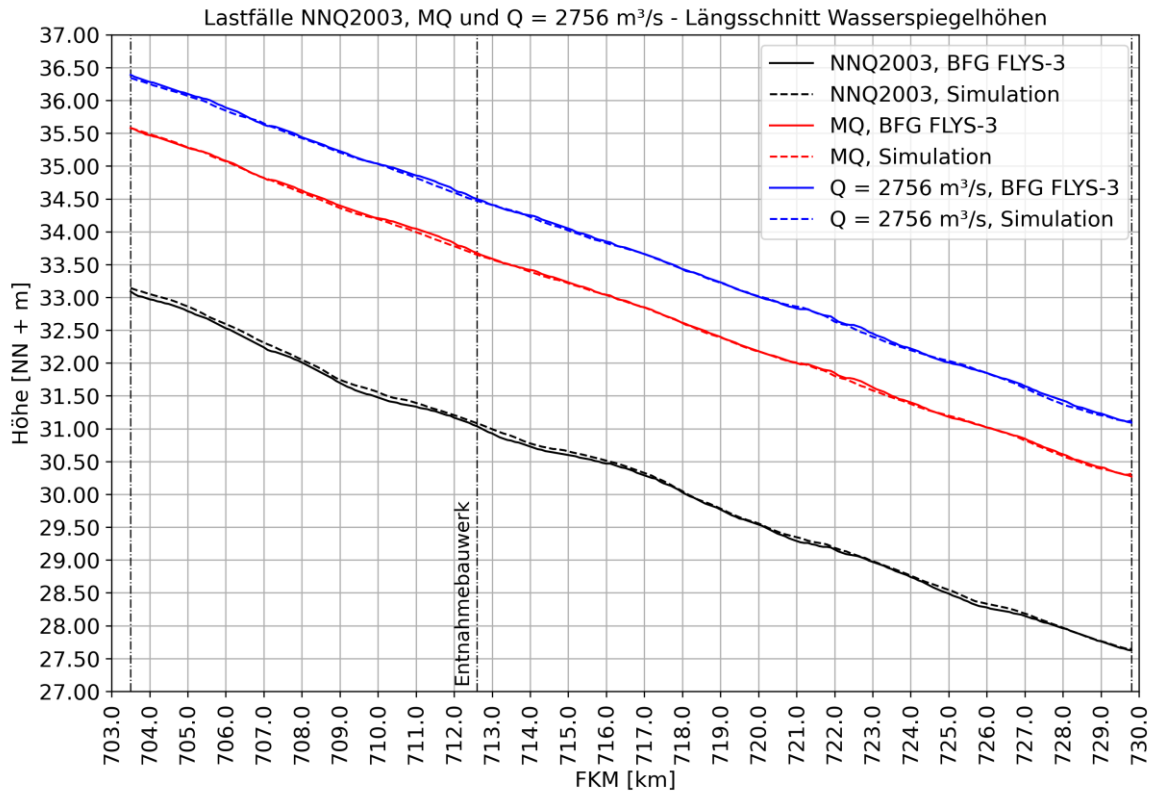


Abbildung 24: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, FLYS und berechnet, Lastfälle NNQ2003, MQ und Q = 2756 m³/s

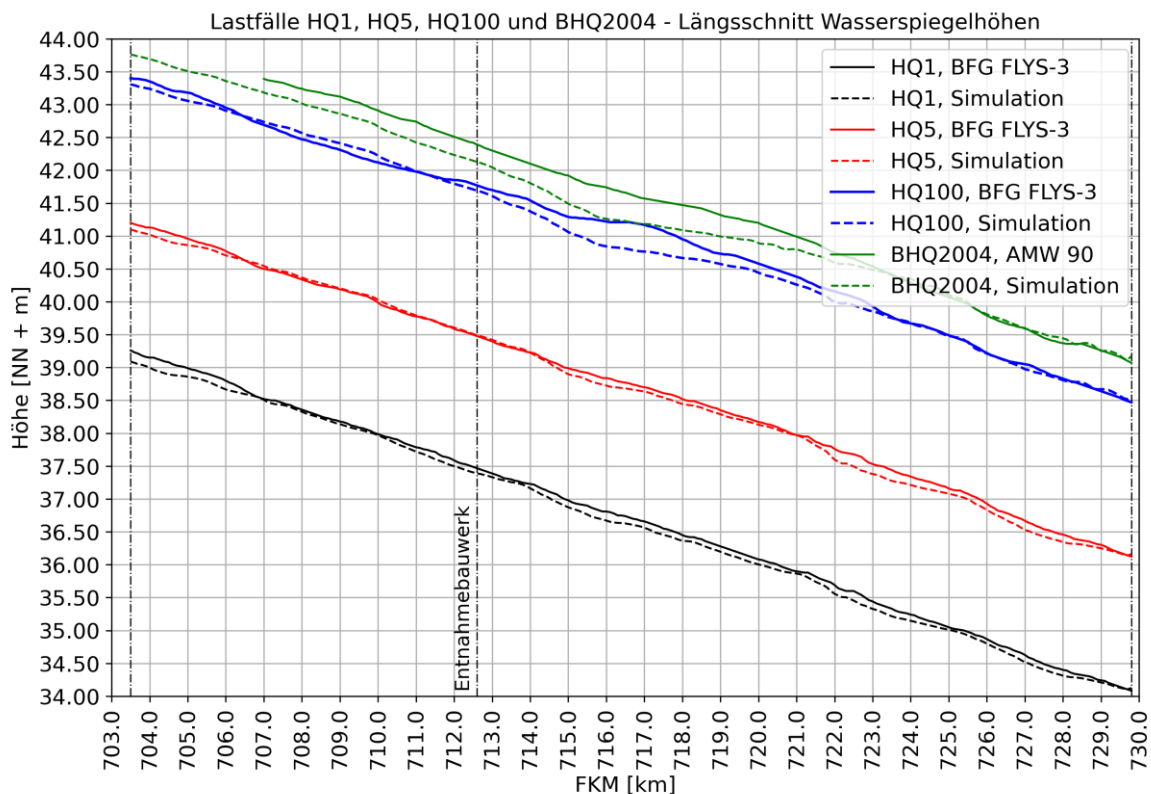


Abbildung 25: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, FLYS bzw. AMW 90 und berechnet, Lastfälle HQ1, HQ5, HQ100 und BHQ2004

7. Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse werden in Form von Längsschnitten der Wasserspiegelhöhen, Lageplänen der Wasserspiegeldifferenzen und Schubspannungen ausgewertet. Die Berechnungsergebnisse der Wasserspiegeldifferenzen und Schubspannungen werden in den jeweiligen Unterkapiteln beschrieben. Die Analysen zeigten, dass die Auswirkungen der Bauphasen und des geplanten Entnahmebauwerks auf die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten nur sehr begrenzt sind. Die im Bereich des Entnahmebauwerks berechneten Wassertiefen sind in Anlage 2 und die berechneten Fließgeschwindigkeiten in Anlage 3 zu finden.

7.1. Festlegung des Untersuchungsbereichs

Gemäß der Abstimmungsunterlage „Untersuchungsumfang 2D-Strömungssimulation, Version 1.4“ wurde der Untersuchungsbereich ursprünglich zwischen FKM 710.0 und FKM 718.0 definiert.

Nach ersten vom Verfasser der Berichts durchgeführten Auswertungen für diesen ursprünglich definierten Untersuchungsbereich, wurde dieser ja nach Untersuchungsgröße verkleinert, um die maßgebenden Ergebnisse ersichtlich darstellen zu können. Abbildung 26 zeigt als Beispiel die berechneten Wasserspiegeldifferenzen zwischen Plan-Zustand und Ist-Zustand beim Lastfall HQ100 für den ursprünglich festgelegten Untersuchungsbereich zwischen FKM 710.0 und FKM 718.0. Wie erkennbar, können mit diesem gewählten Untersuchungsbereich die durch die Bauzustände oder Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand z.B. verursachten Wasserspiegelveränderungen im Bereich des Entnahmebauwerks nicht oder nur ungenügend erfasst bzw. dargestellt werden.

Im vorliegenden Bericht wurde der Untersuchungsbereich je nach auszuwertender Größe so angepasst, dass berechneten Größendifferenzen zwischen den Zuständen in ihrer Ausdehnung jeweils erfasst werden.

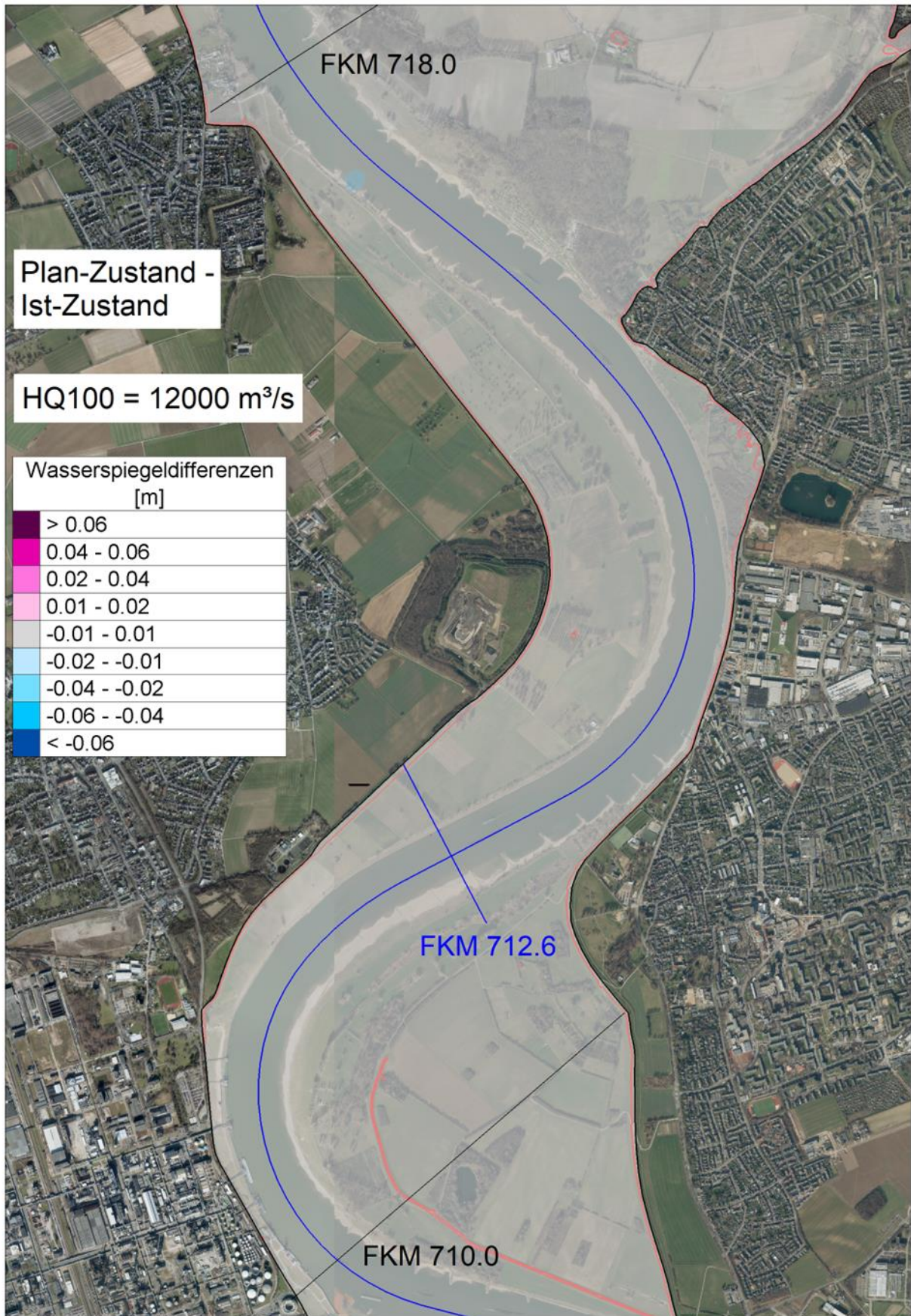


Abbildung 26: Wasserspiegeldifferenzen zwischen Plan- und Ist-Zustand, ursprünglicher Untersuchungsbereich

7.2. Längsschnitte Wasserspiegelhöhen

Die berechneten Wasserspiegelhöhen für Ist-Zustand, Bauphase 1, Bauphase 2 sowie Plan-Zustand und für die verschiedenen untersuchten Abflüsse sind anhand der Längsschnitte für den Bereich FKM 711.5 bis FKM 713.0 in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Beim Lastfall NNQ2003 werden in allen Zuständen praktisch identische Wasserspiegelhöhen entlang der Flussachse berechnet.

Bei den Lastfällen von MQ bis BHQ2004 werden im Ist-Zustand, Bauphase 1 und Plan-Zustand ebenfalls nahezu identische Wasserspiegelhöhen entlang der Flussachse berechnet. In der Bauphase 2 werden flussauf der geplanten Baugrube des Entnahmebauwerks gegenüber dem Ist-Zustand bei den Lastfällen MQ bis BHQ2004 geringfügig höhere Wasserspiegellagen berechnet, wobei die Erhöhungen entlang der Flussachse maximal 0.8 cm betragen.

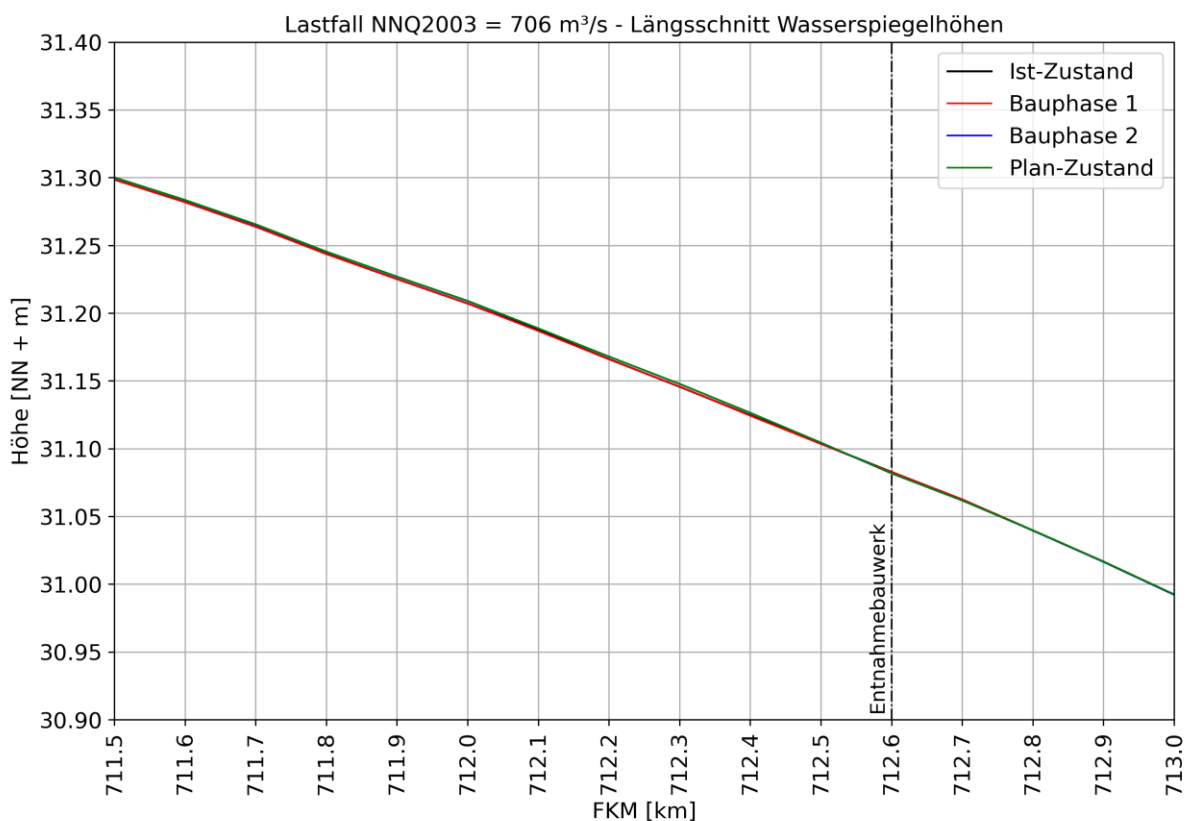


Abbildung 27: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, NNQ2003

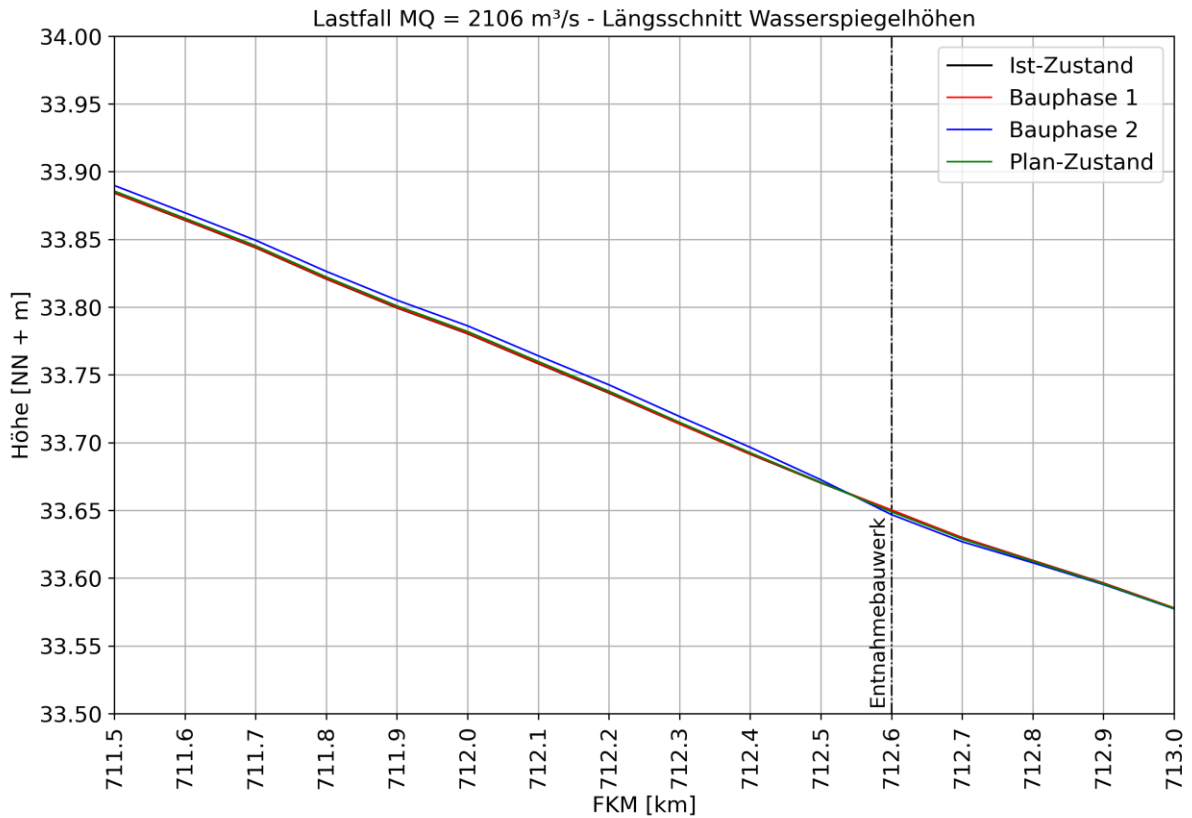


Abbildung 28: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, MQ

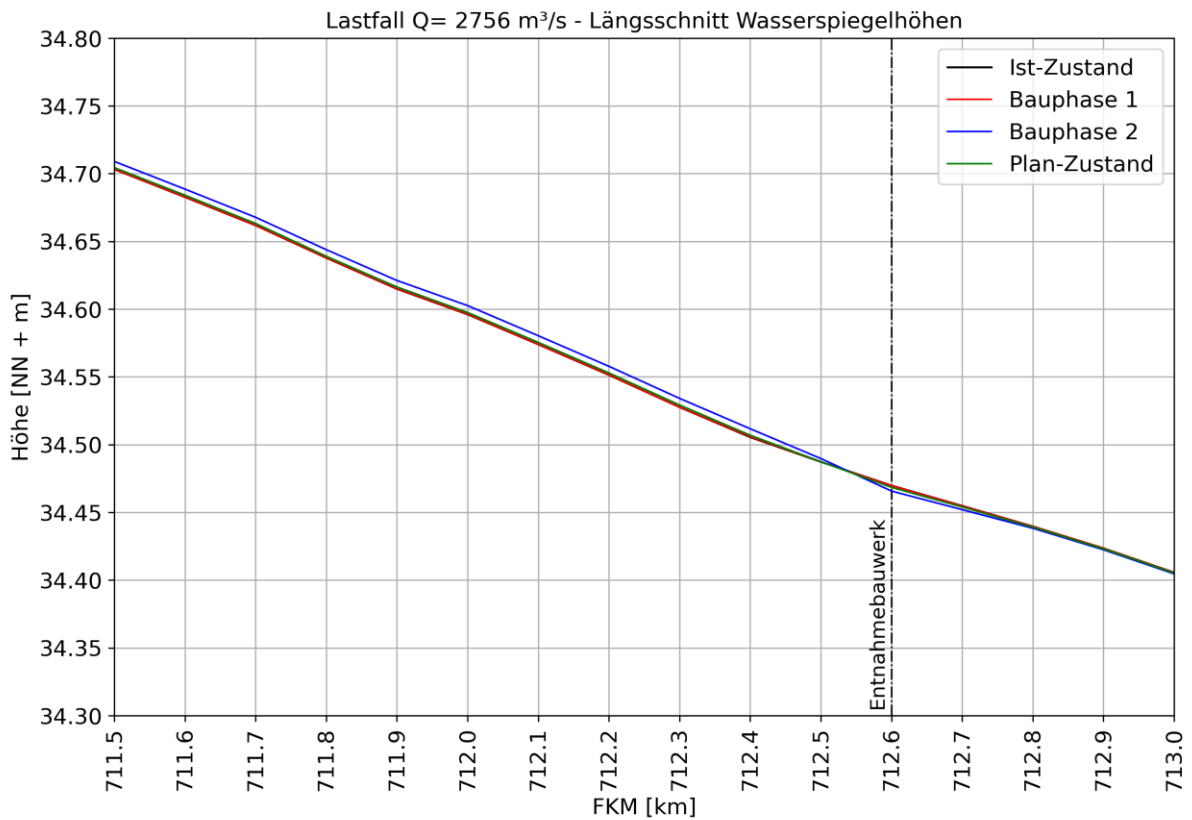


Abbildung 29: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, Q = 2756 m³/s

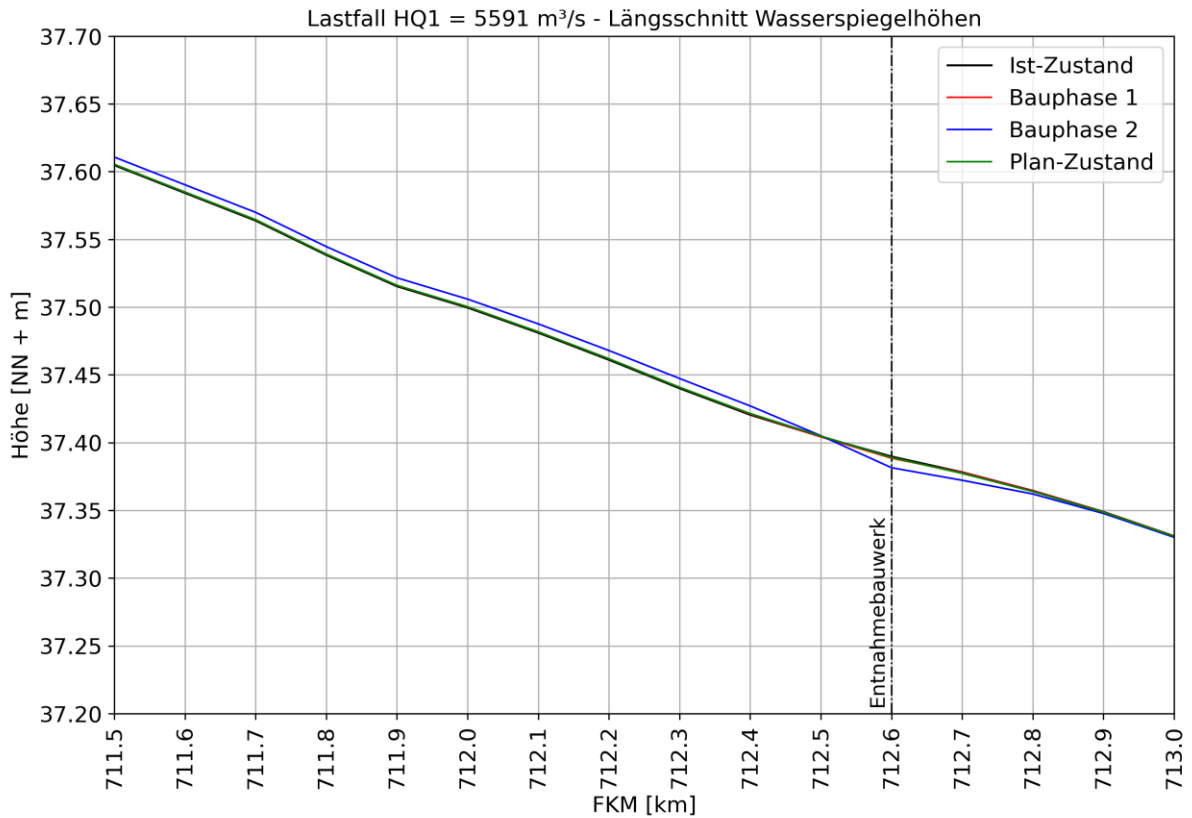


Abbildung 30: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, HQ1

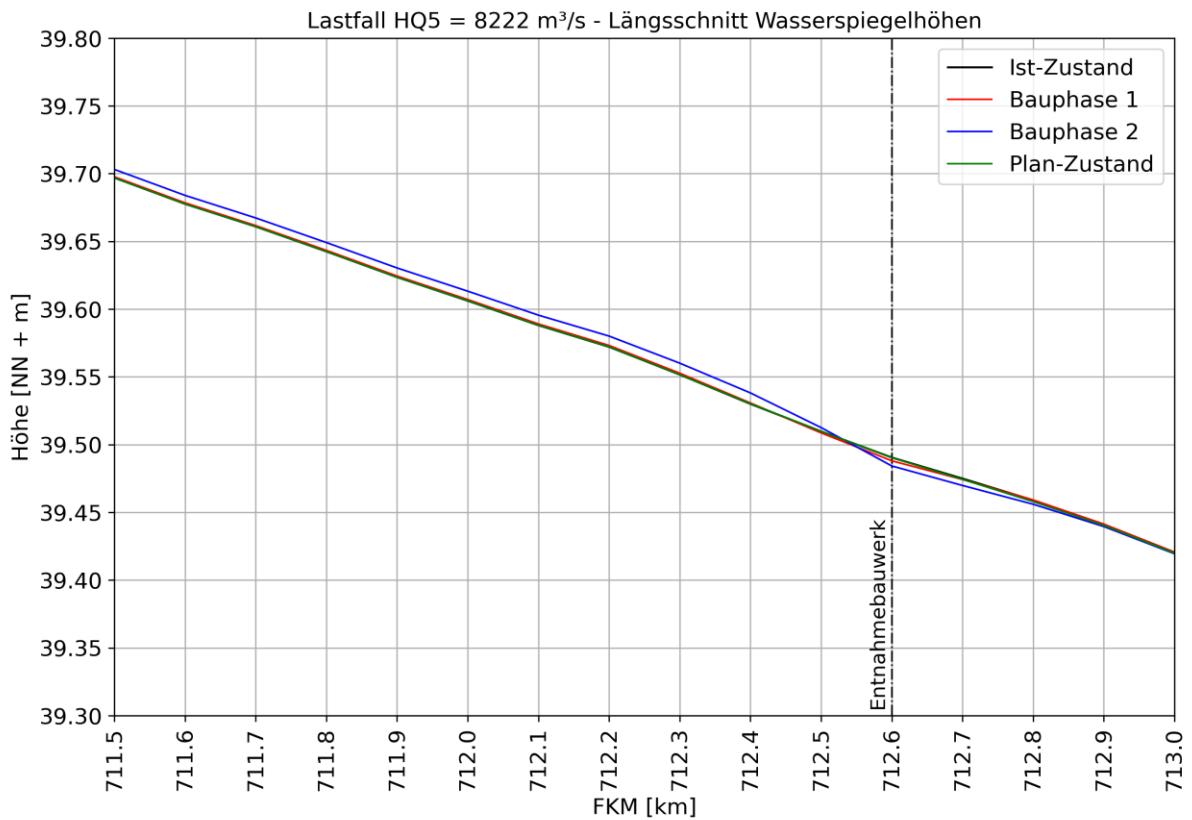


Abbildung 31: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, HQ5

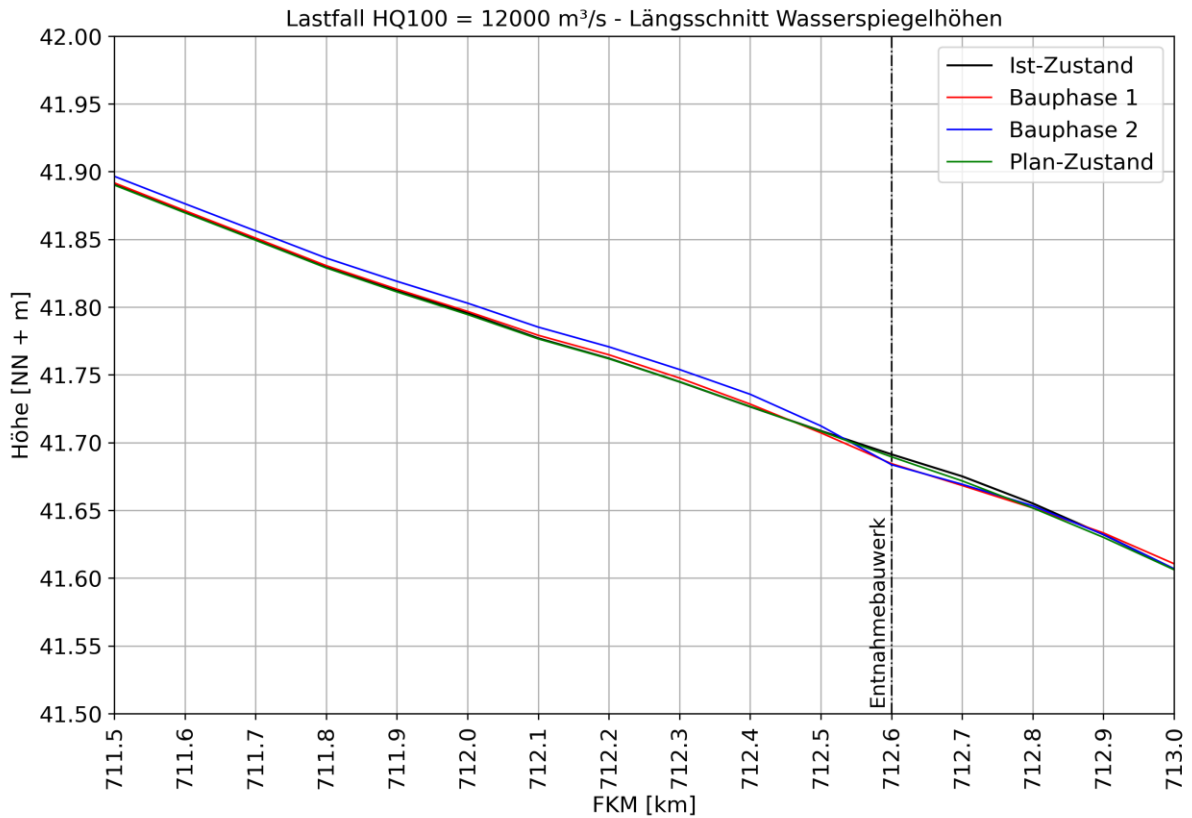


Abbildung 32: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, HQ100

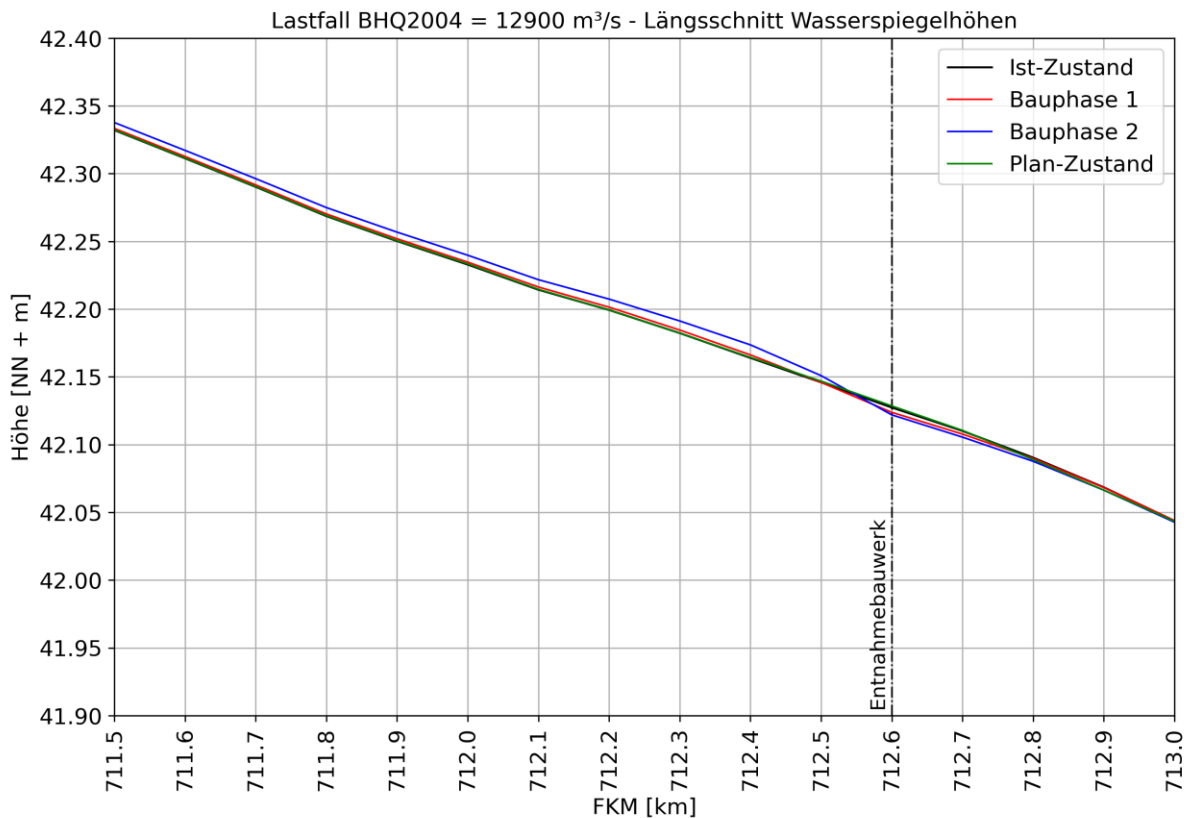


Abbildung 33: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 - 713.0, BHQ2004

7.3. Wasserspiegeldifferenzen

Die maßgebenden Berechnungsergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln in Lageplänen vom Bereich des Entnahmebauwerks in Form der berechneten Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Bauphasen sowie Plan-Zustand und dem Ist-Zustand für alle untersuchten Abflüsse dargestellt. Die grünen Linien markieren die jeweiligen Wasseranschlagslinien im Ist-Zustand, die roten Linien markieren die jeweiligen Wasseranschlagslinien in der Bauphase 1, Bauphase 2 oder im Plan-Zustand. Damit können die Auswirkungen der Bauphase 1, Bauphase 2 und Plan-Zustand auf das lokale Abflussgeschehen dargestellt und bewertet werden.

7.3.1. Bauphase 1 – Ist-Zustand

Die Baugrube des Schachtbauwerks in Bauphase 1 verursacht beim Niederwasserlastfall und in den Mittelwasserabflüssen MQ und $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$ keine bzw. nur sehr lokal geringfügige Wasserspiegeländerungen gegenüber dem Ist-Zustand.

Bei den Hochwasserlastfällen HQ1 bis BHQ2004 bewirkt die Baugrube einen typischen lokalen Aufstau unmittelbar flussauf und Wasserspiegelabsenkungen orographisch rechts der Baugrube in Richtung Flussmitte. Die Ausdehnung der Wasserspiegeländerungen ($\pm 1 \text{ cm}$) sind bei den Hochwasserlastfällen HQ5, HQ100 und BHQ2004 ähnlich, wobei beim Lastfall HQ100 die größte Ausdehnung der Wasserspiegeländerungen berechnet wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Einhausung der Baugrube Schachtbauwerk in Bauphase 1 keine bzw. nur eine sehr geringe Auswirkung auf das lokale Abflussgeschehen im Projektgebiet hat. Insbesondere werden bei allen untersuchten Lastfällen die benetzten Flächen bzw. Überflutungsflächen des Ist-Zustandes durch die Maßnahme in Bauphase 1 nicht verändert.

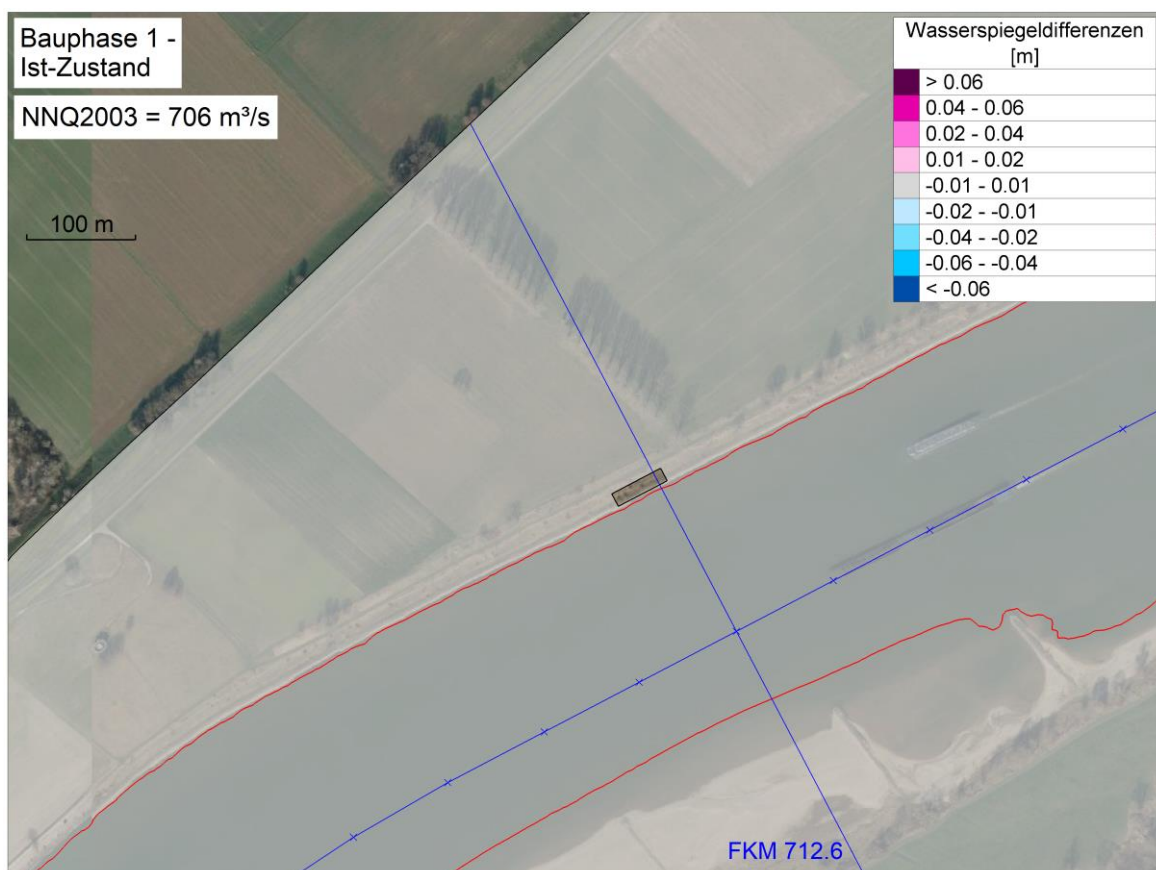


Abbildung 34: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, NHHQ2003

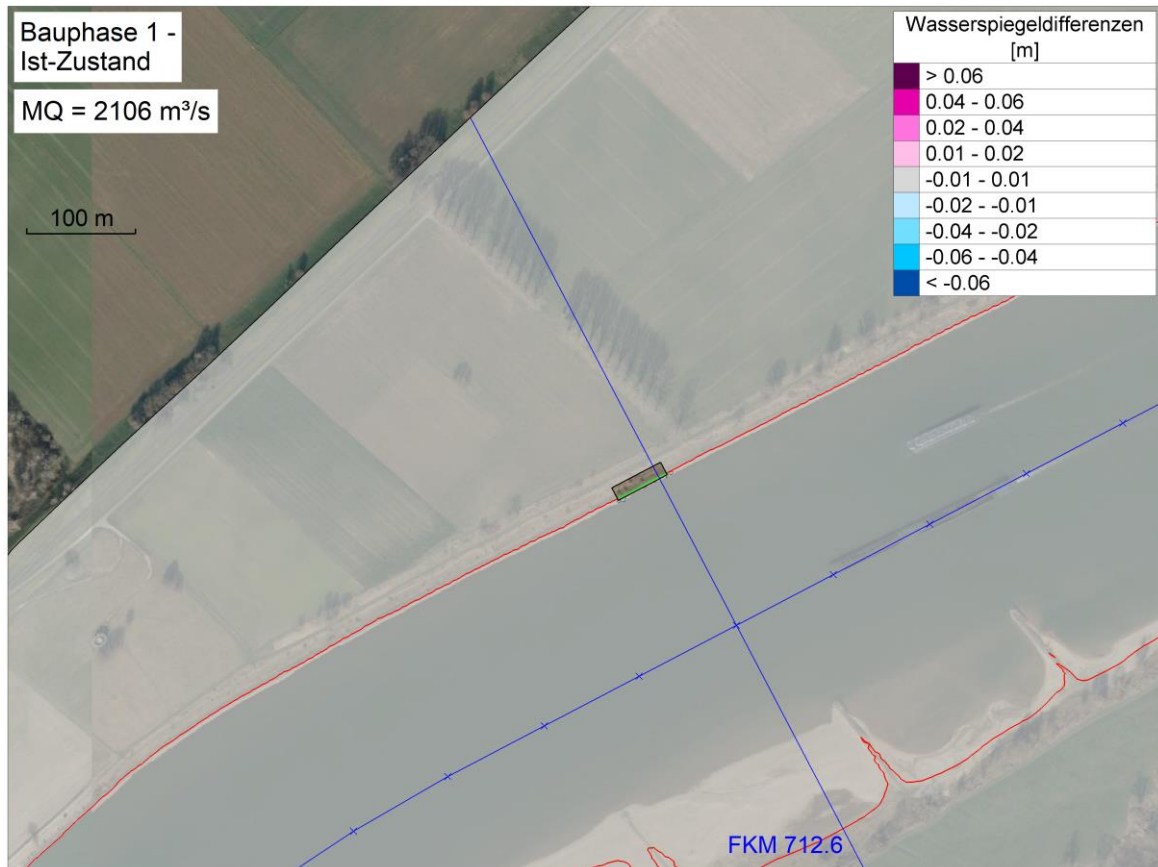


Abbildung 35: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, MQ

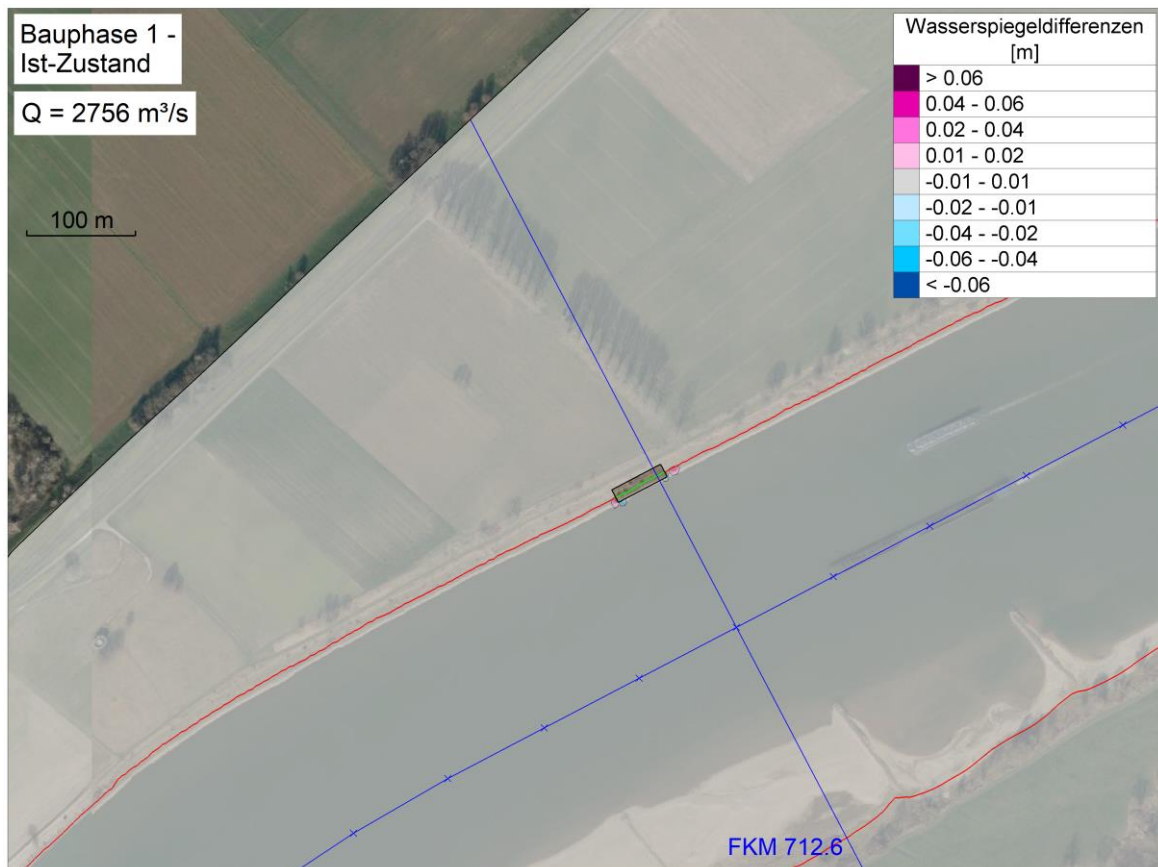


Abbildung 36: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, Q = 2756 m³/s

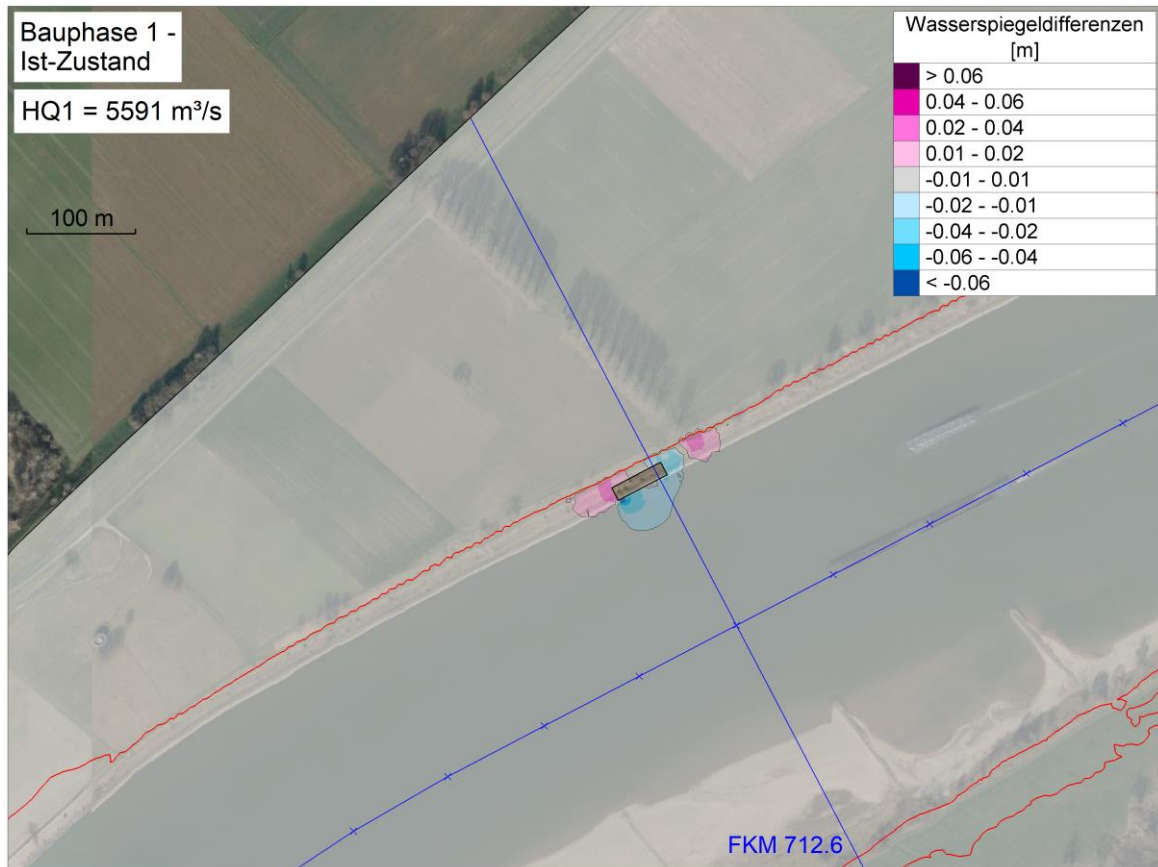


Abbildung 37: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ1

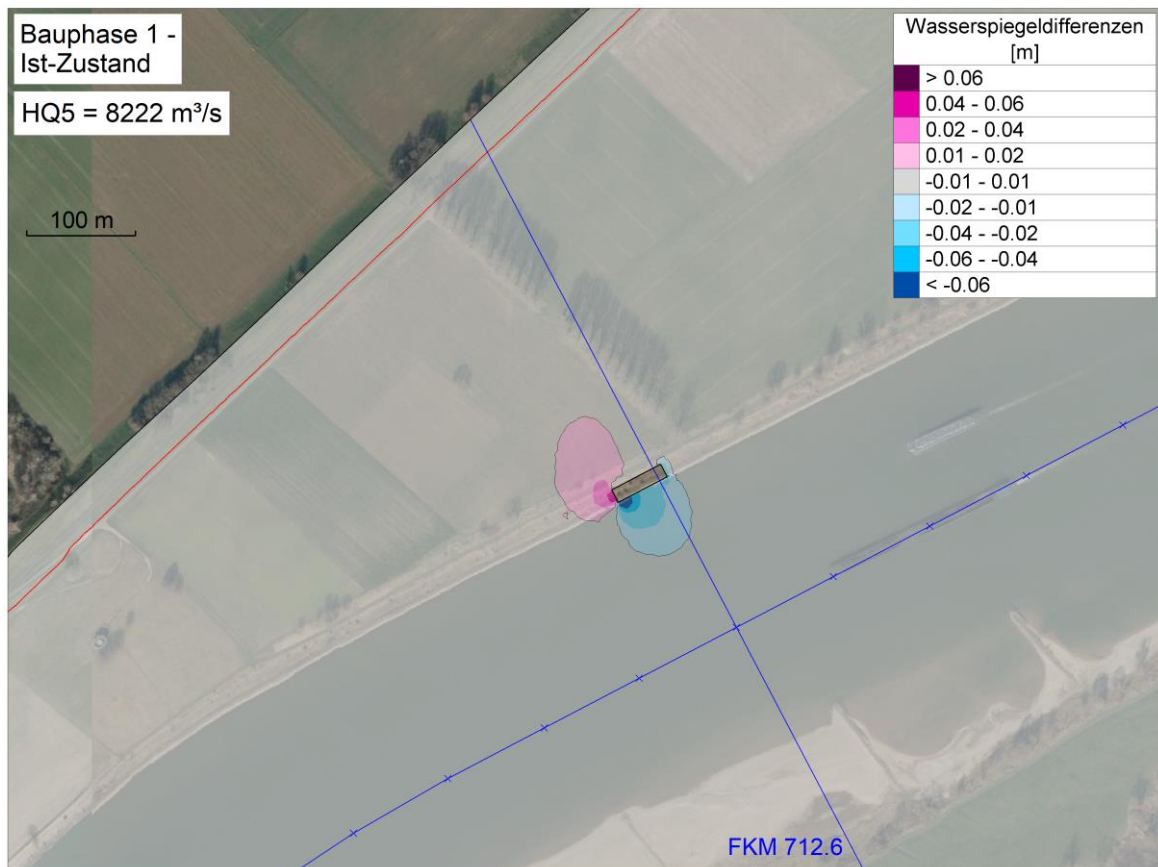


Abbildung 38: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ5

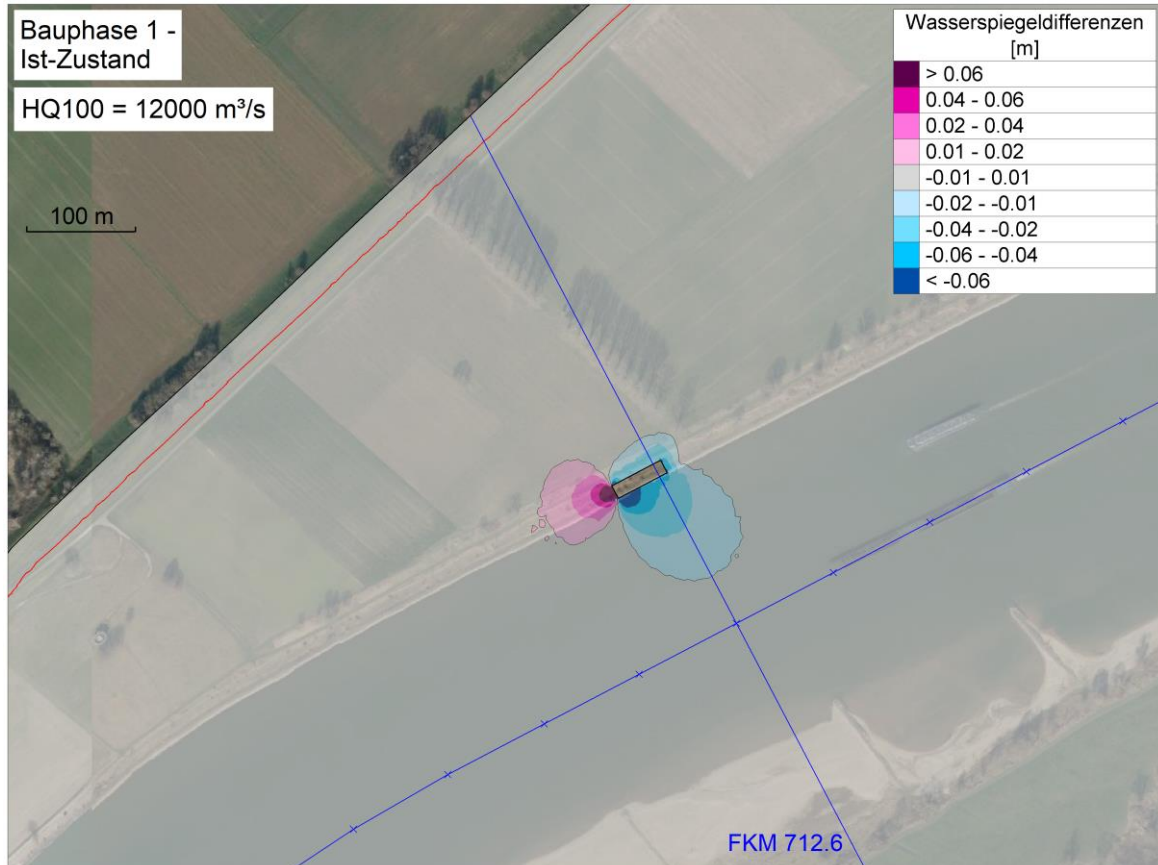


Abbildung 39: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ100

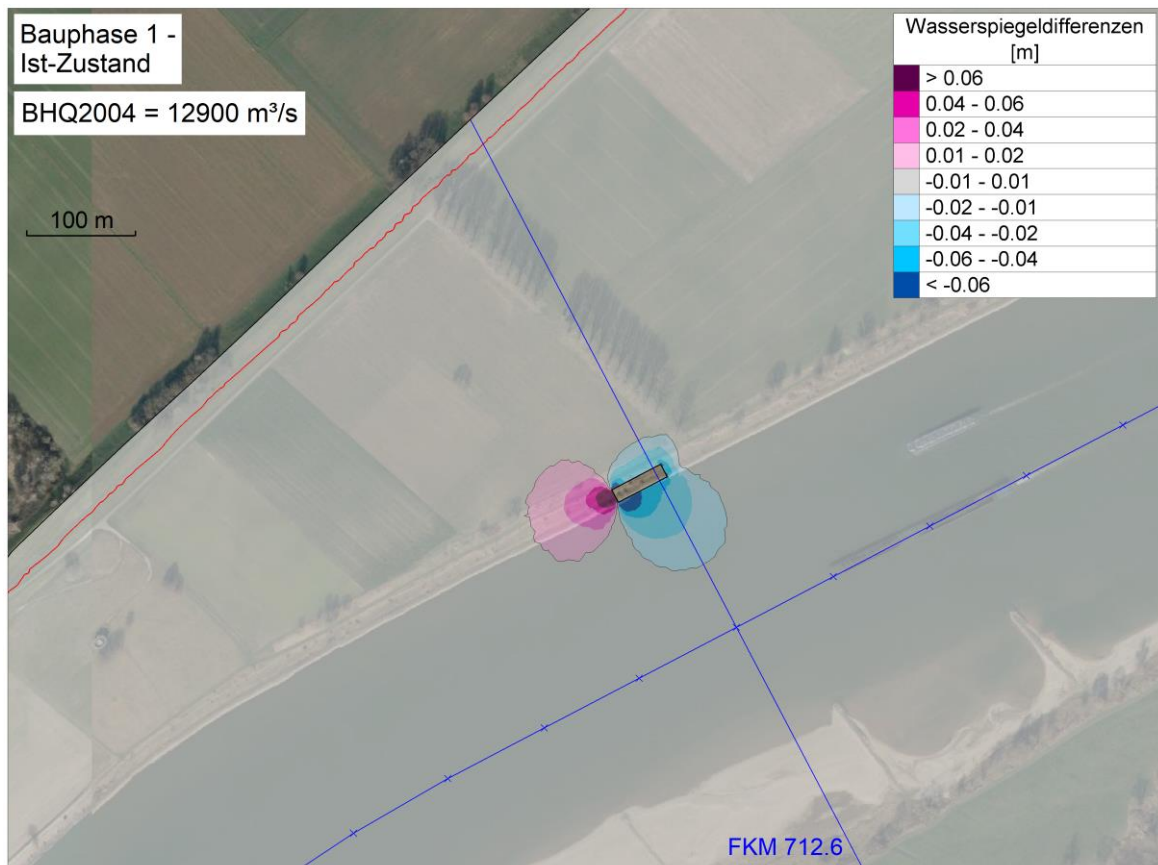


Abbildung 40: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, BHQ2004

7.3.2. Bauphase 2 – Ist-Zustand

Die Baugrube des Entnahmebauwerks in Bauphase 2 bewirkt beim Niederwasserlastfall NNQ2003 lediglich sehr lokal begrenzte Wasserspiegeländerungen gegenüber dem Ist-Zustand. Bei den Mittelwasserlastfällen MQ und $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$ verursacht die Einhausung einen lokalen Aufstau flussauf der Baugrube mit Wasserspiegelabsenkungen in Richtung Flussmitte in der Größenordnung von 1 bis 2 cm. Daraus lässt sich schließen, dass während dieser Bauphase bei Nieder und Mittelwasserabflüssen keine größeren Strömungsumlenkungen gegenüber dem Ist-Zustand zu erwarten sind.

Beim Lastfall HQ1 werden durch die Baugrube lokale Wasserspiegeländerungen verursacht, jedoch kommt es gegenüber dem Ist-Zustand zu keiner Änderung der Überflutungsflächen. Beim Lastfall HQ5 bewirkt die Baugrube im Vorland bis zum orographisch links situierten Deich geringe Wasserspiegelerhöhungen von 1 bis maximal 2 cm gegenüber dem Ist-Zustand, während in Richtung Flussmitte geringere Wasserspiegelhöhen berechnet werden. Bei den Hochwasserlastfällen HQ100 und BHQ2004 werden in Bauphase 2 gegenüber dem Ist-Zustand, ähnlich wie beim Lastfall HQ5, Wasserspiegelerhöhungen von 1 - 2 cm im Vorland berechnet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Einhausung der Baugrube Entnahmebauwerk in Bauphase 2 nur eine geringe Auswirkung auf das lokale Abflussgeschehen im Projektgebiet hat. Insbesondere werden bei allen untersuchten Lastfällen die benetzten Flächen bzw. Überflutungsflächen des Ist-Zustandes durch die Maßnahme in Bauphase 2 nicht verändert.

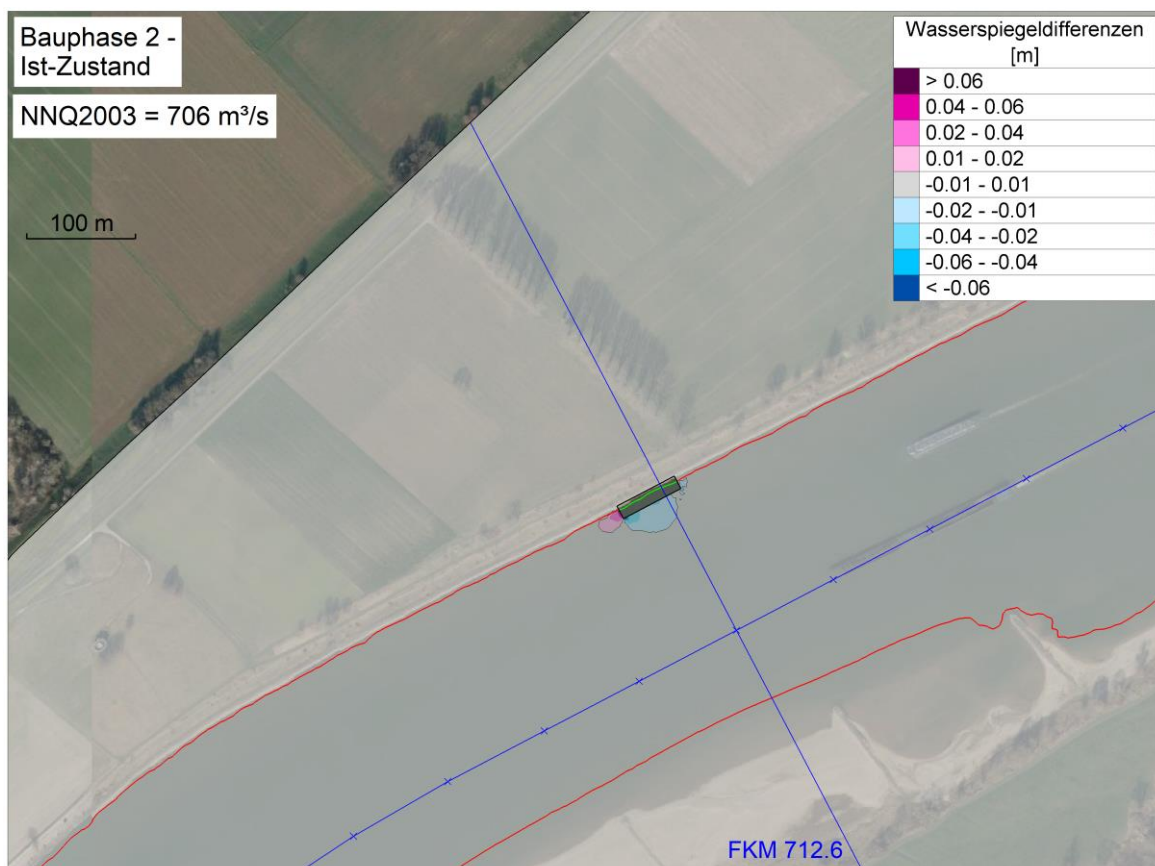


Abbildung 41: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, NNQ2003

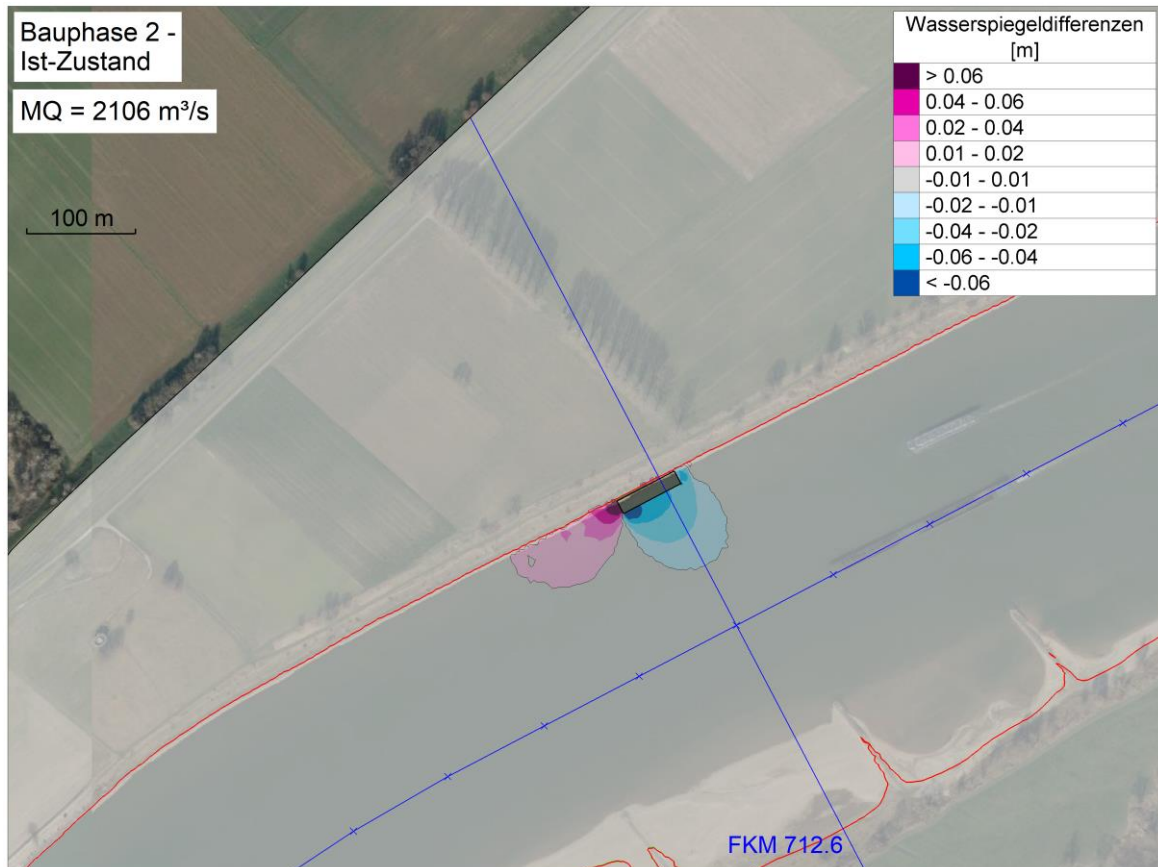


Abbildung 42: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, MQ

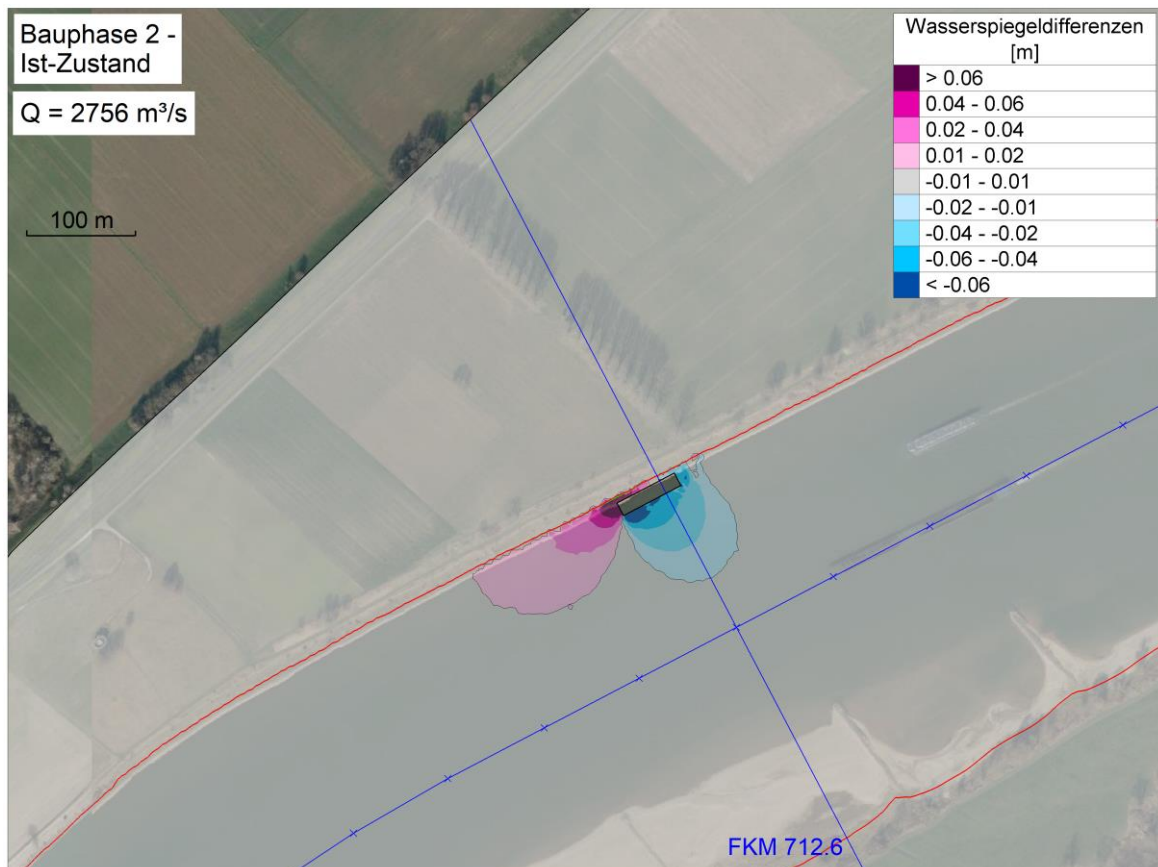


Abbildung 43: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, Q = 2756 m³/s

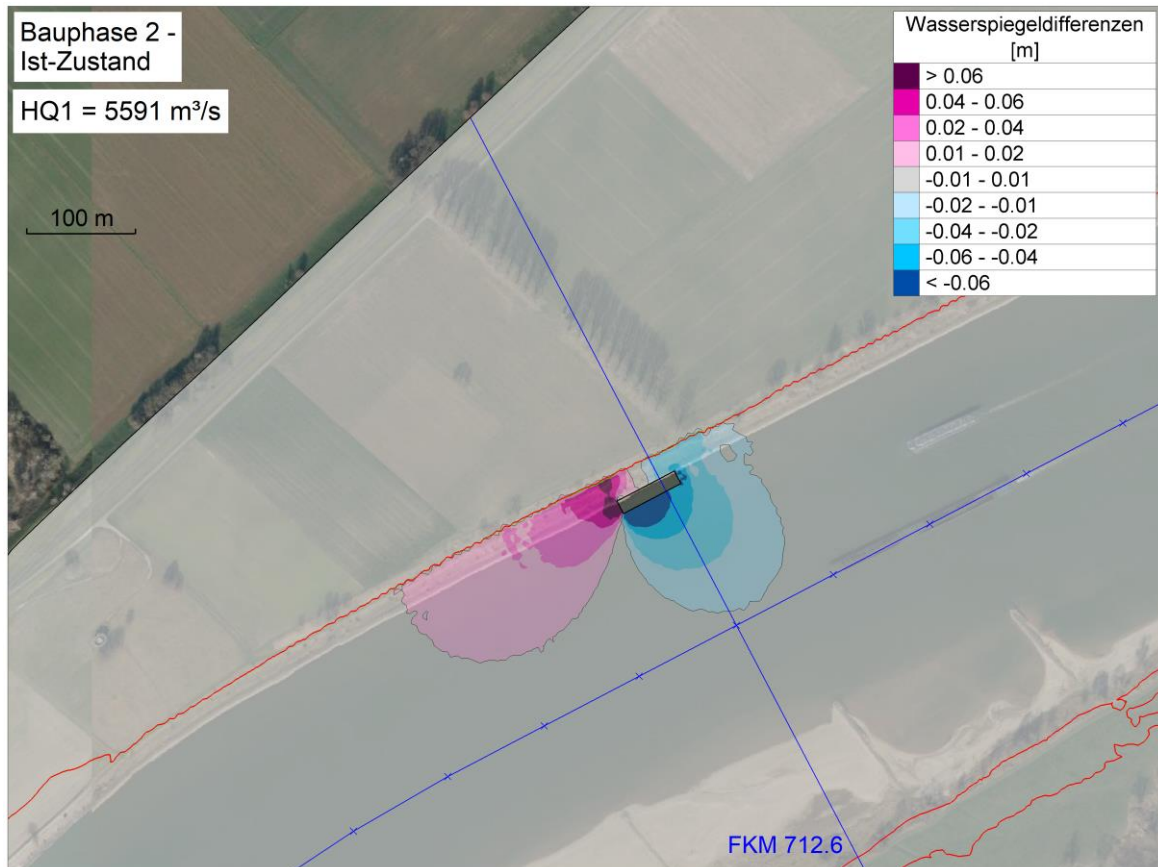


Abbildung 44: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ1

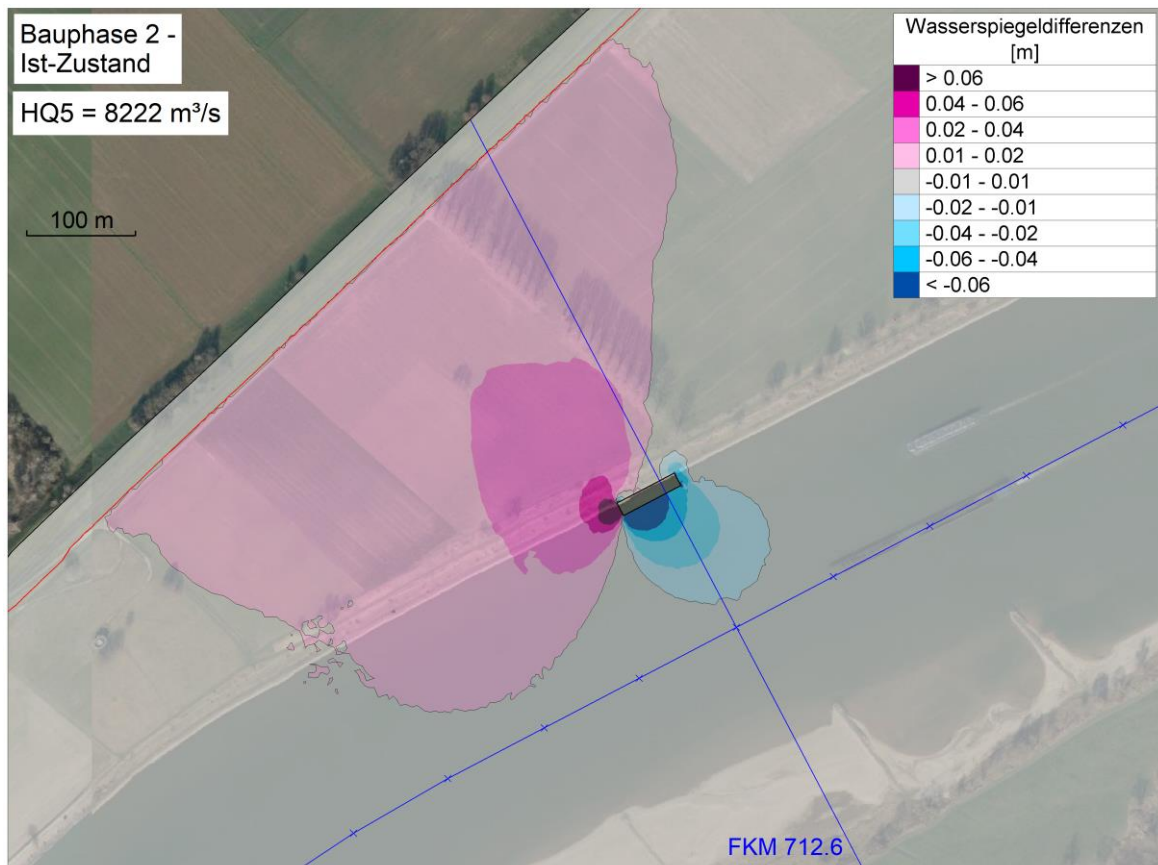


Abbildung 45: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ5

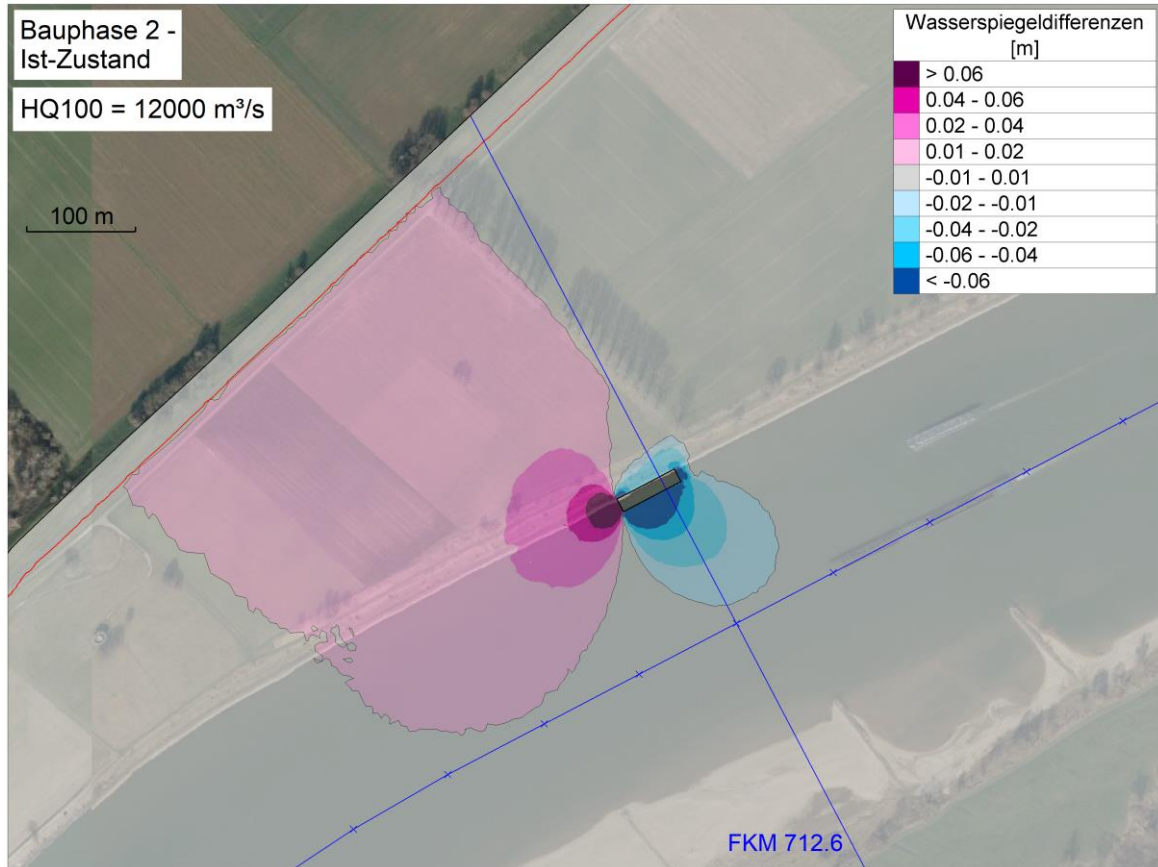


Abbildung 46: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ100

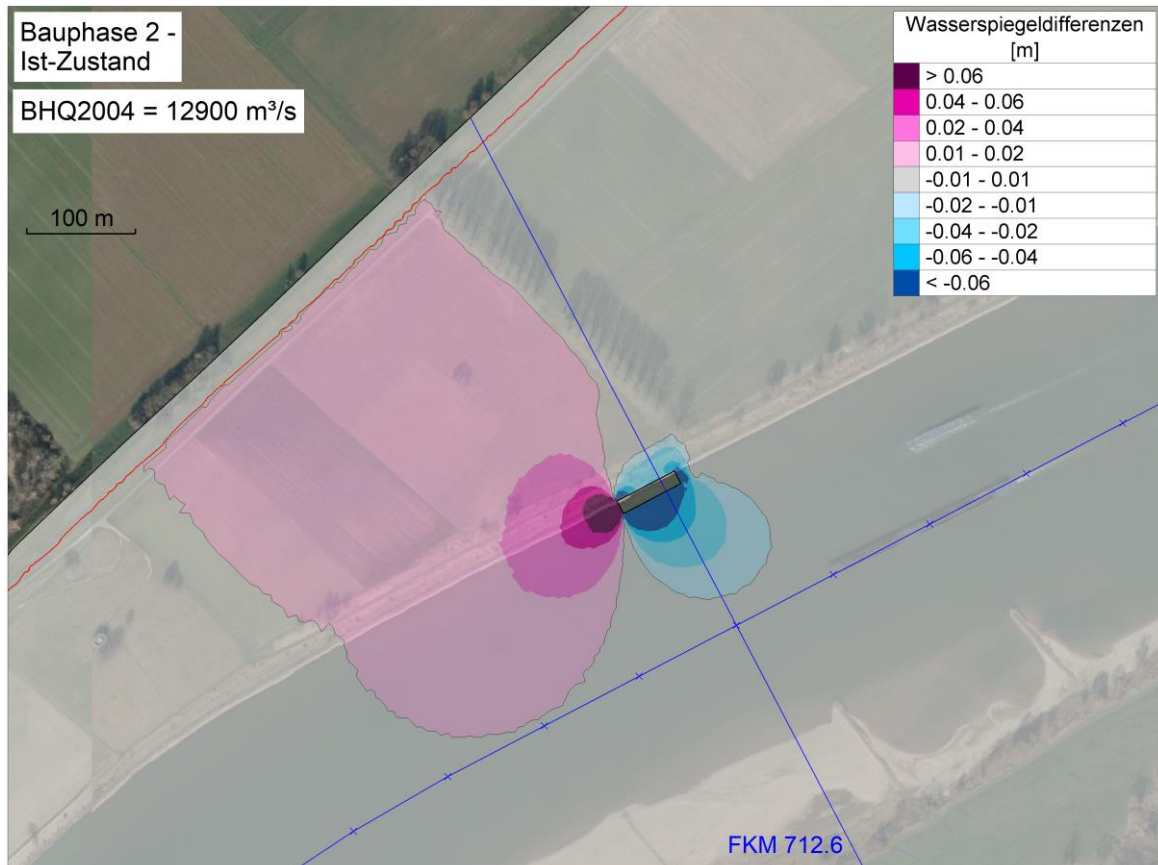


Abbildung 47: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, BHQ2004

7.3.3. Plan-Zustand – Ist-Zustand

Das geplante Entnahmebauwerk bewirkt gegenüber dem Ist-Zustand beim Niederwasserlastfall NNQ2003 und bei den Mittelwasserlastfällen MQ und $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$ einen geringen Aufstau flussauf der Maßnahme. In Richtung Flussmitte wird eine lokal begrenzte Wasserspiegelabsenkung von wenigen Zentimetern berechnet. Die berechneten Wasserspiegeldifferenzen lassen den Schluss zu, dass es nur zu sehr lokal begrenzten Strömungsumlenkungen gegenüber dem Ist-Zustand kommt. Es sei an dieser Stelle nochmal darauf hingewiesen, dass die Abschirmungen der Entnahmeleitungen als nicht durchströmbare Flächen modelliert wurden, während diese in Realität teilweise durchflossen werden können. Die Modellierung der Abschirmungen als nicht durchströmbare Flächen kann hinsichtlich der Evaluierung der Wasserspiegeländerungen bzw. auch der Strömungsumlenkungen als konservativerer Ansatz betrachtet werden.

Bei den Hochwasserlastfällen HQ1 bis BHQ2004 werden sehr ähnliche und geringe Wasserspiegeldifferenzen zwischen Plan-Zustand und Ist-Zustand berechnet. Diese legen dar, dass das Entnahmebauwerk bei allen Hochwasserabflüssen nur eine sehr lokal begrenzte Auswirkung auf das Hochwasserabflussgeschehen in diesem Bereich hat. Insbesondere werden bei allen untersuchten Lastfällen die benetzten Flächen bzw. Überflutungsflächen des Ist-Zustandes durch die Errichtung des Entnahmebauwerks nicht verändert.

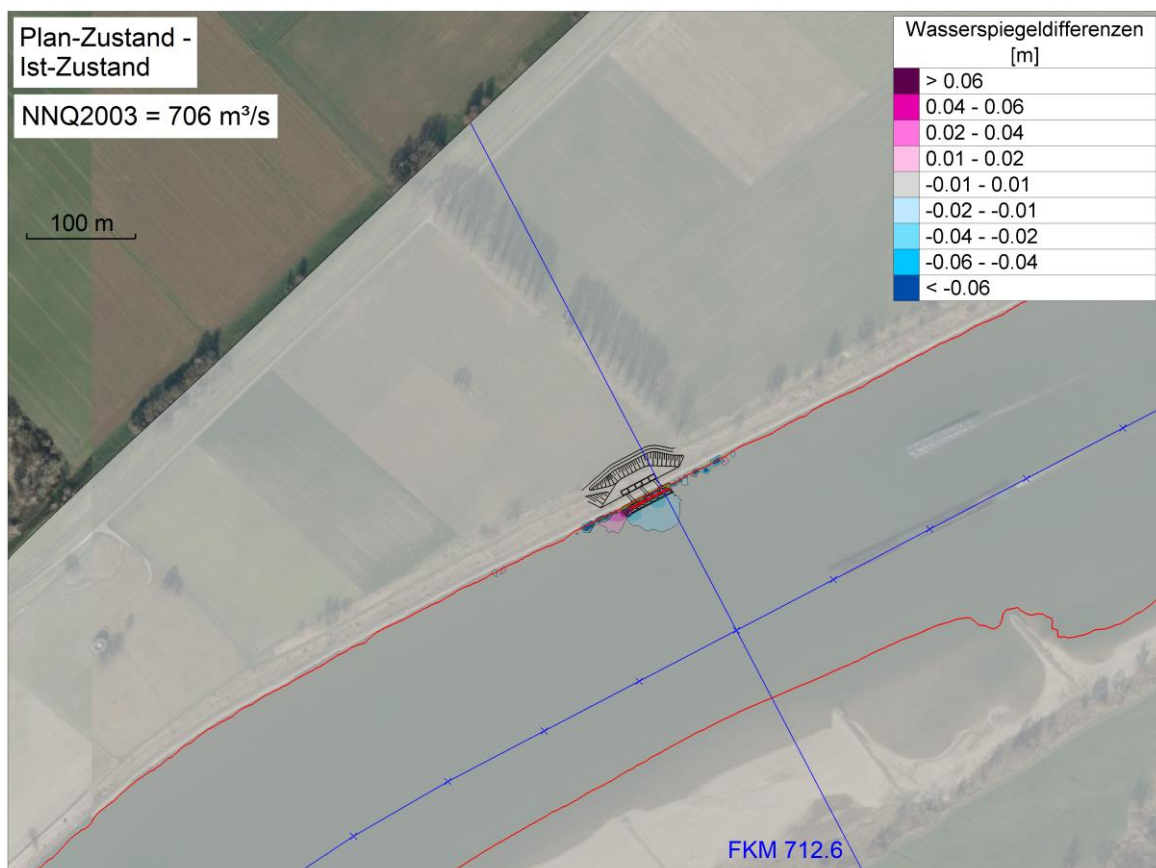


Abbildung 48: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, NNQ2003

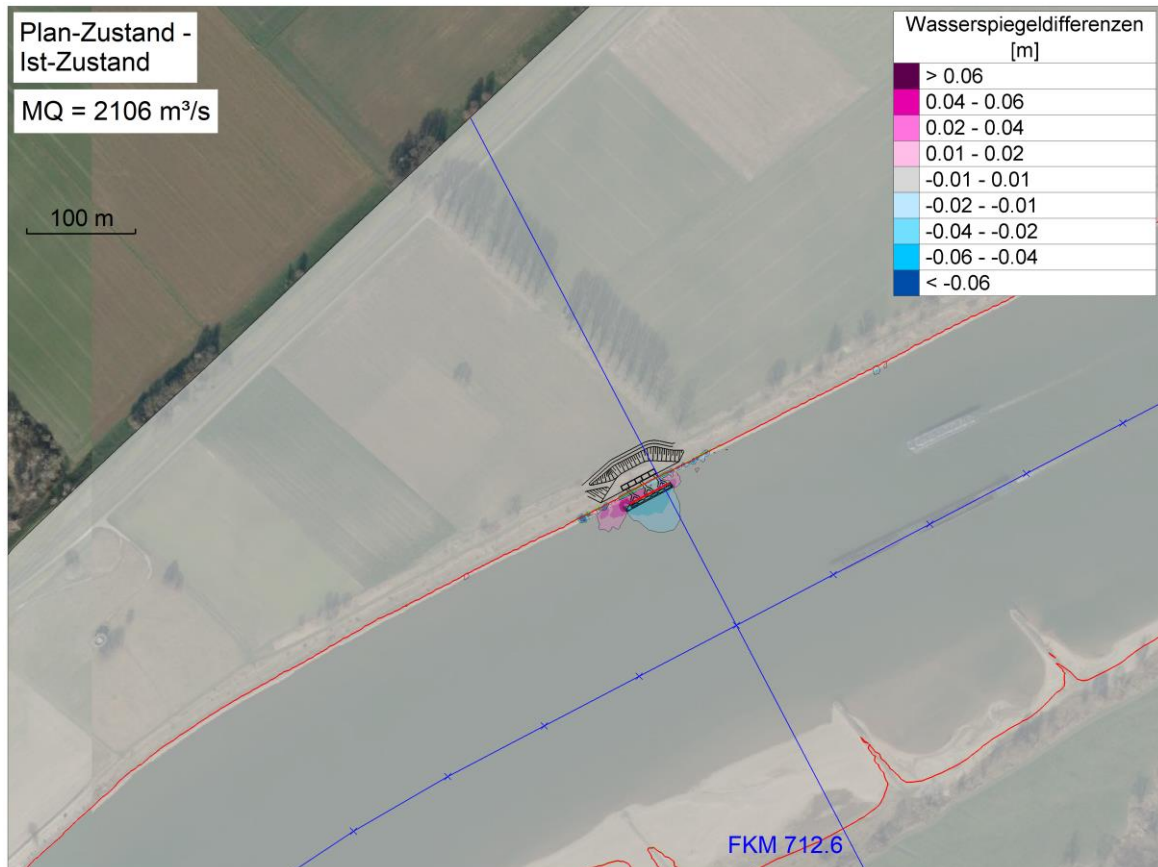


Abbildung 49: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, MQ

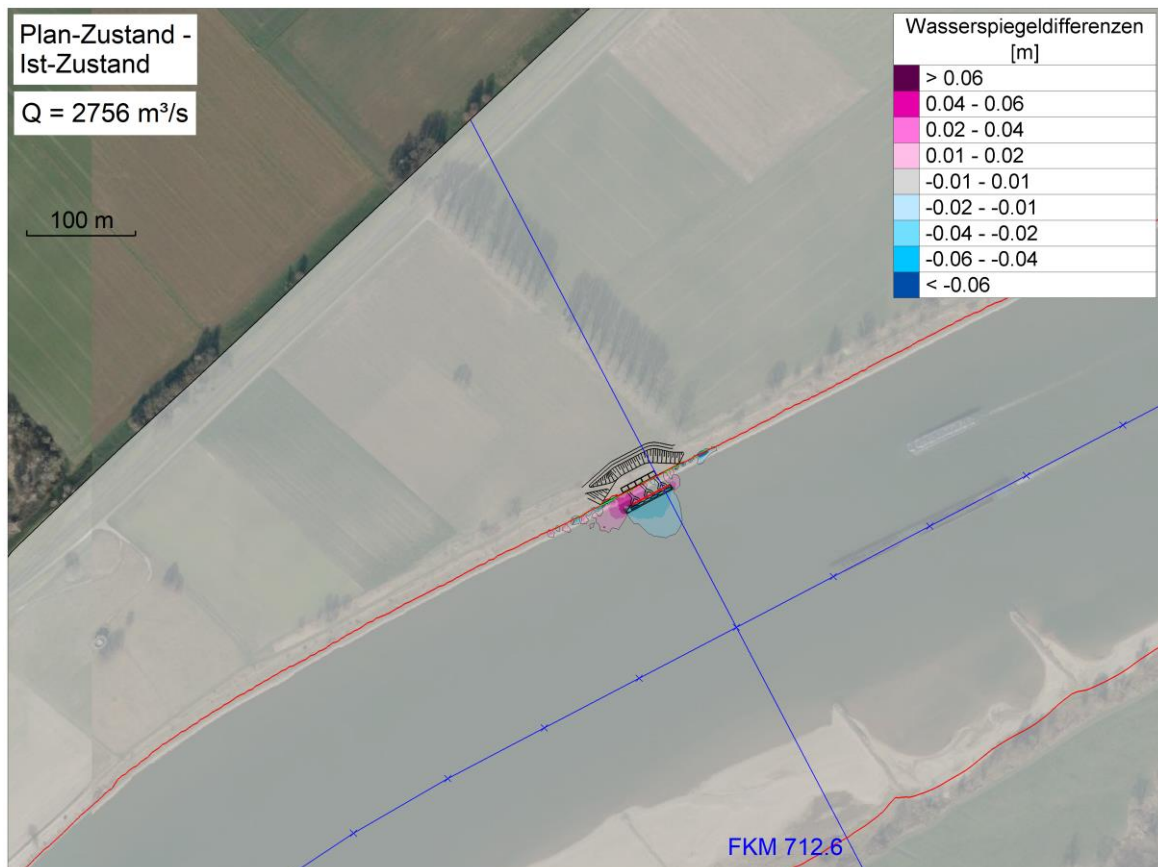


Abbildung 50: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, Q = 2756 m³/s

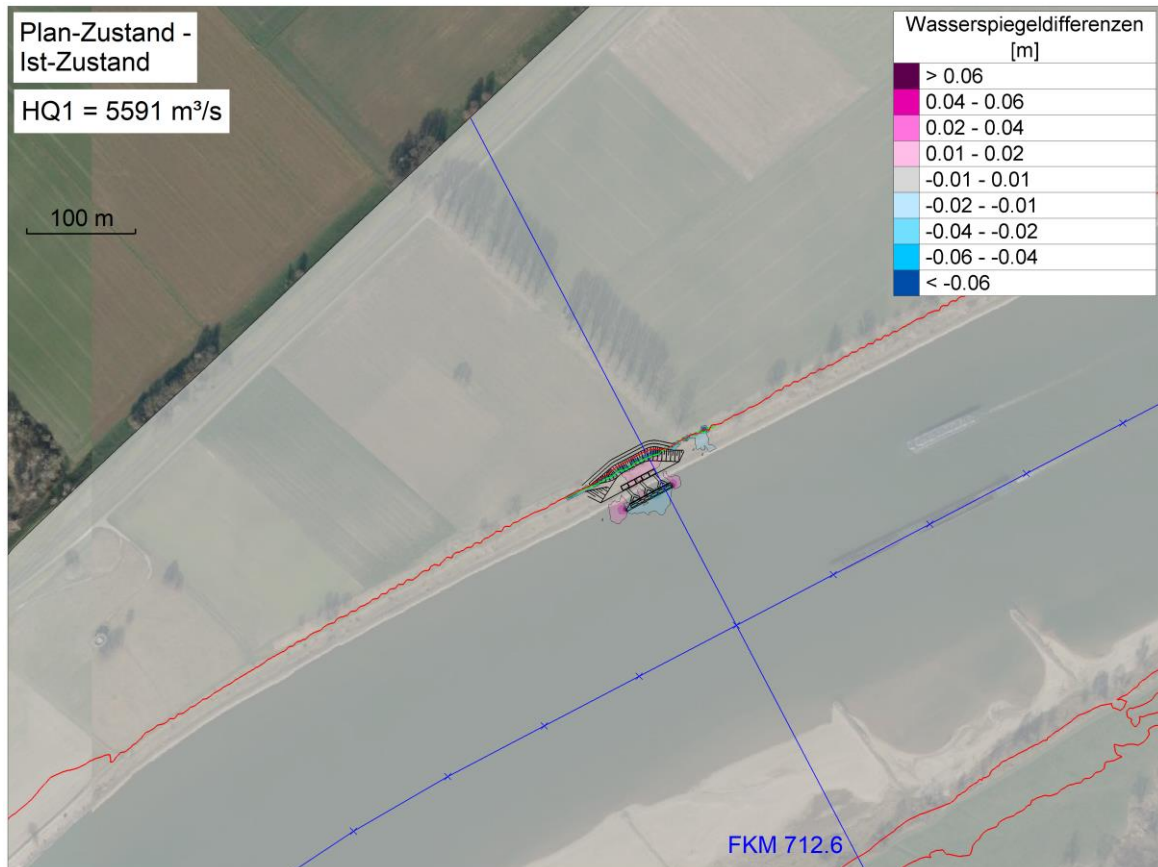


Abbildung 51: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ1

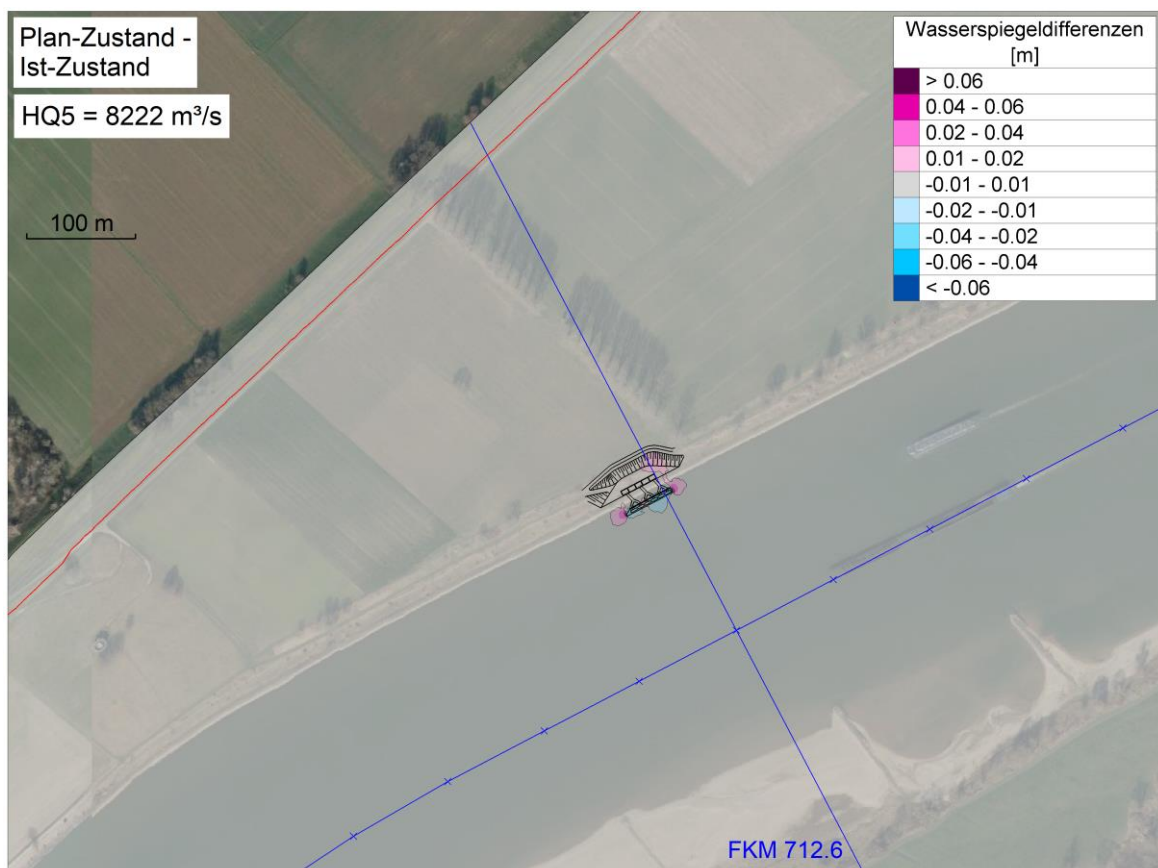


Abbildung 52: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ5

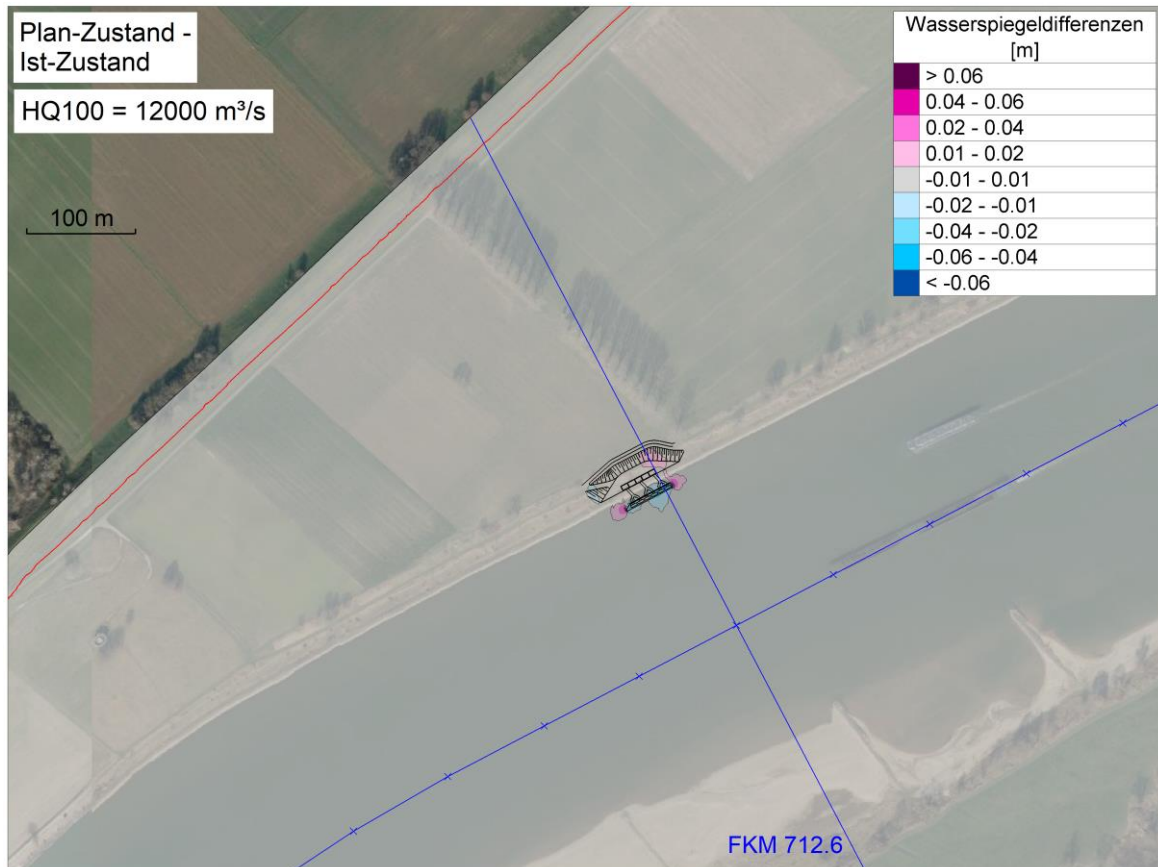


Abbildung 53: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ100

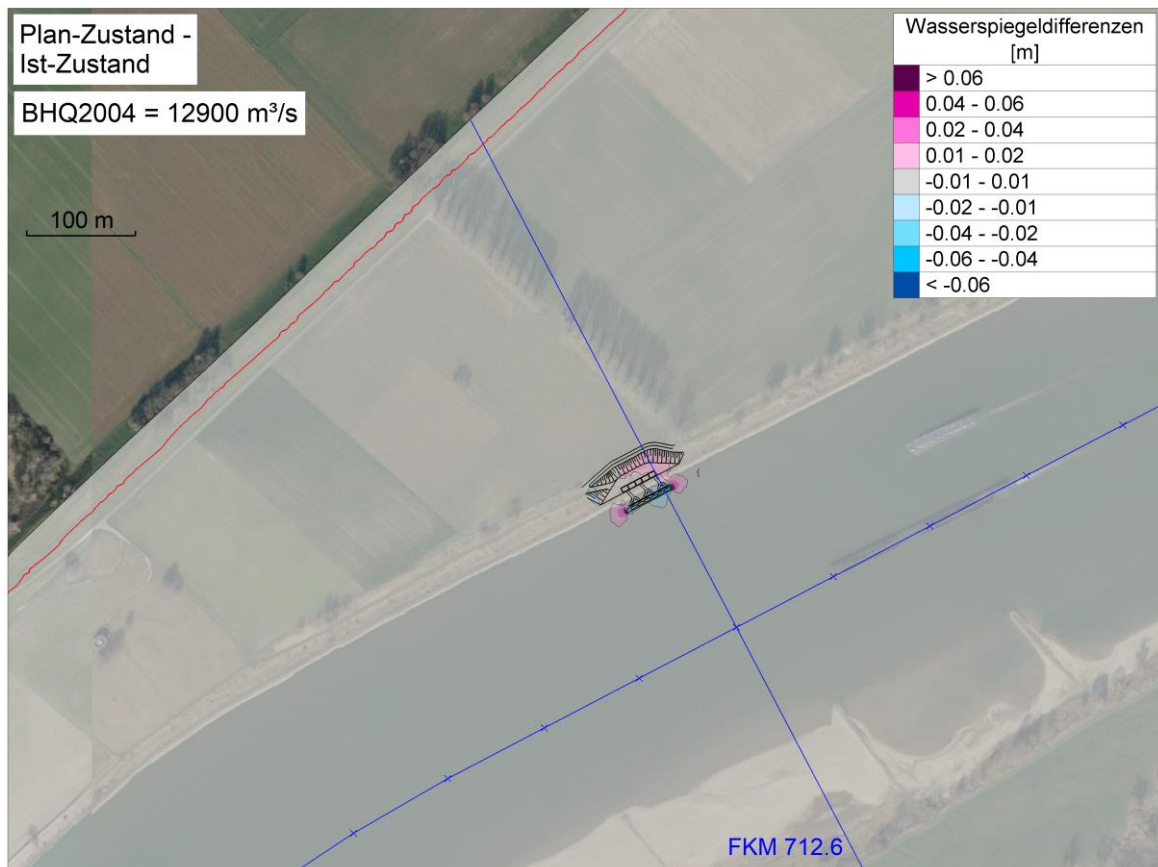


Abbildung 54: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, BHQ2004

7.4. Fließgeschwindigkeiten und Differenzen der Fließrichtungen

In den folgenden Unterkapiteln werden die berechneten Fließgeschwindigkeiten für die untersuchten Abflüsse und Zustände anhand der Vektoren im Bereich des Entnahmebauwerks dargestellt. Des Weiteren werden die berechneten Fließrichtungsdifferenzen zwischen Bauphase bzw. Plan-Zustand und Ist-Zustand gezeigt.

Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass im Berechnungsnetz für den Plan-Zustand die vertikalen und horizontalen Abschirmungen der Entnahmeleitungen bzw. der Passivrechen als nicht durchströmbare Flächen definiert wurden. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die im Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand bauwerksinduzierten Strömungsumlenkungen im numerischen Modell überschätzt werden. Ohnehin zeigen die Berechnungen, dass insbesondere im Plan-Zustand aber auch in den Bauphasen 1 und 2 nur sehr geringe bzw. kaum merkliche Strömungsumlenkungen in Richtung Fahrrinne zu erwarten sind.

7.4.1. Lastfall NNQ2003

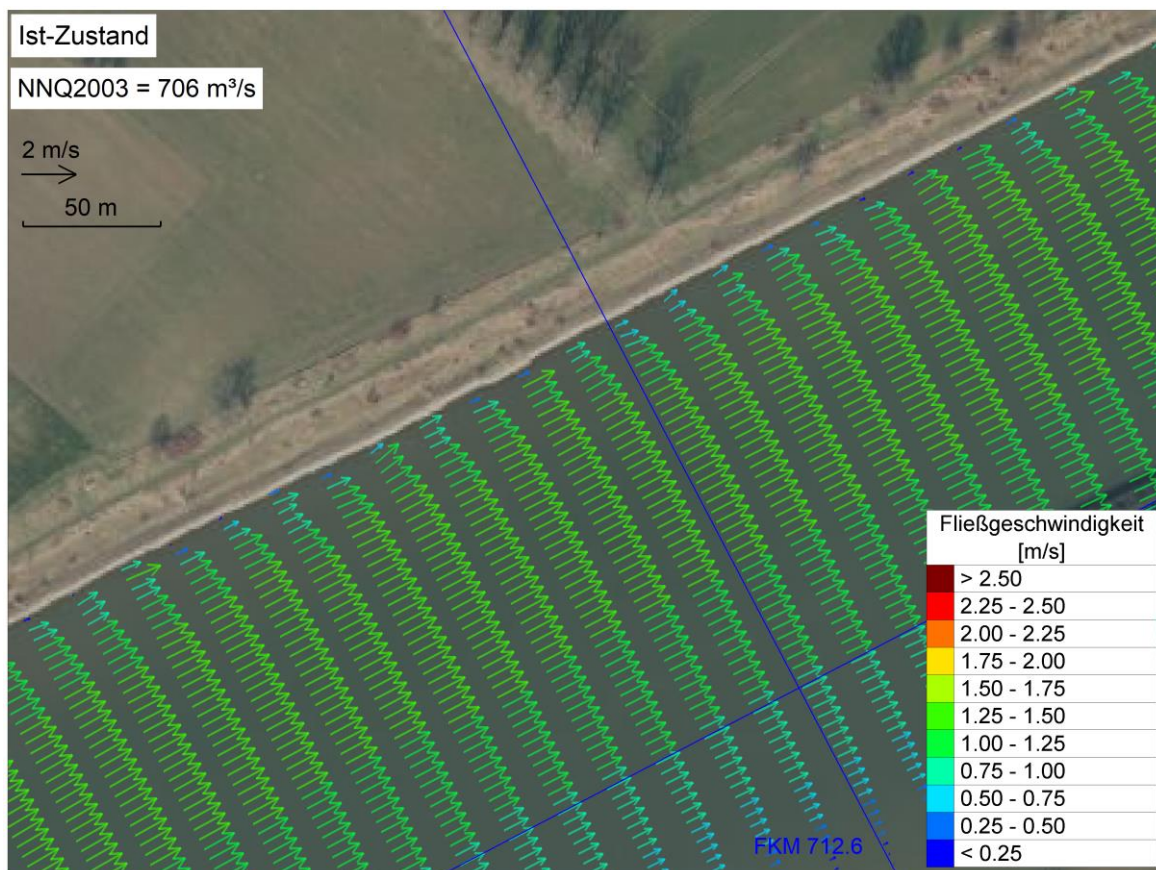


Abbildung 55: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, NNQ2003

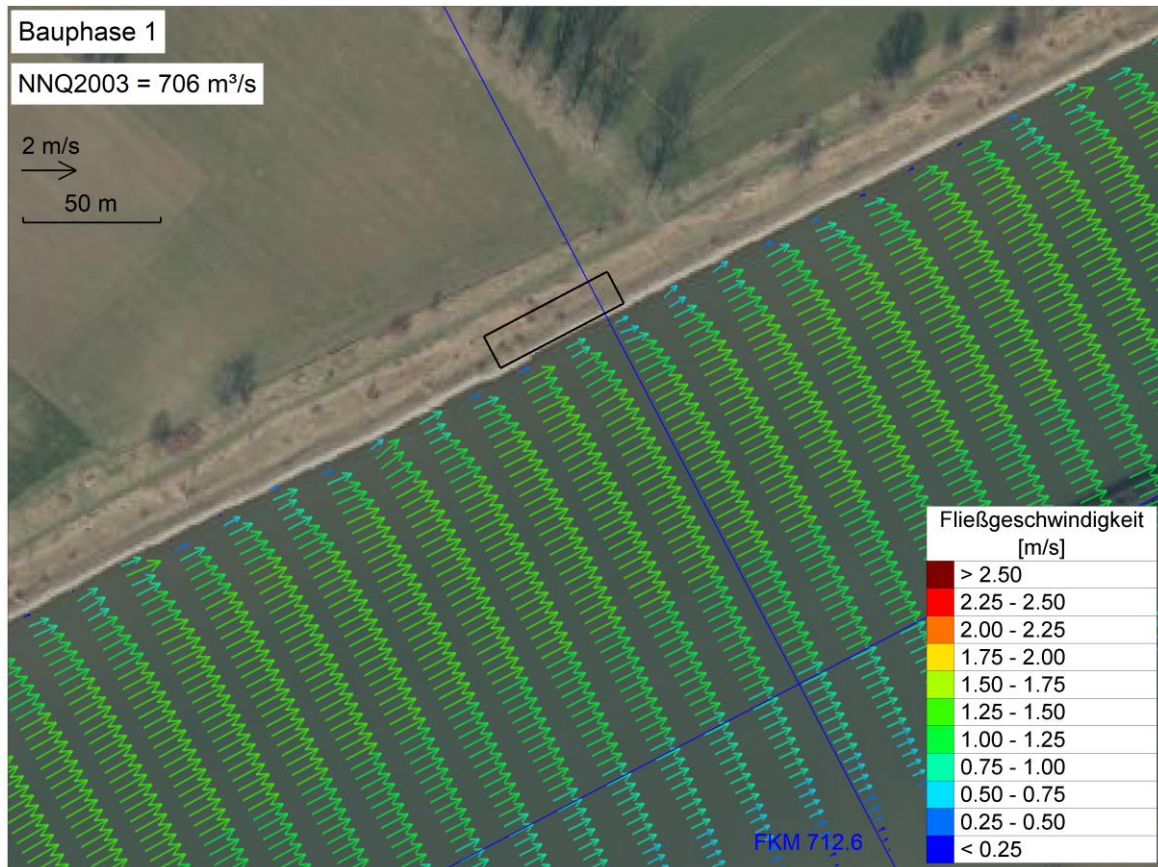


Abbildung 56: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, NNQ2003

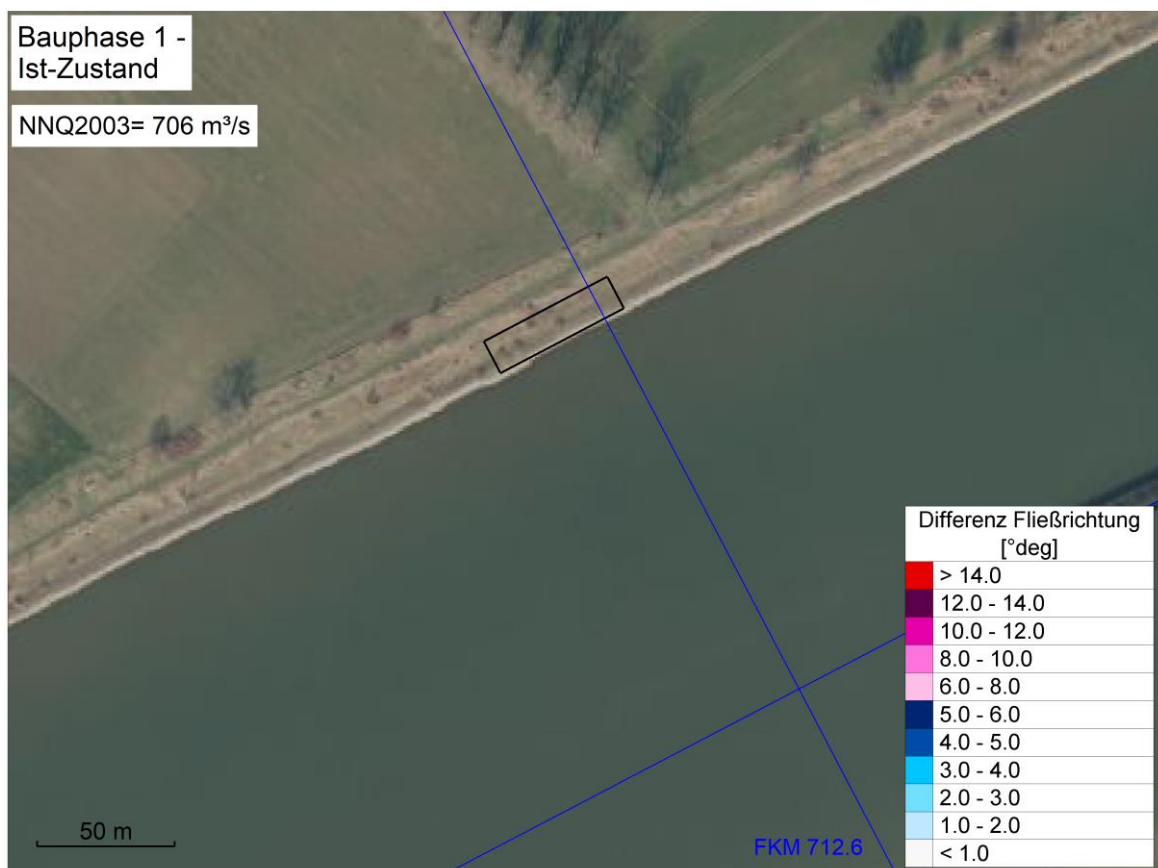


Abbildung 57: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, NNQ2003

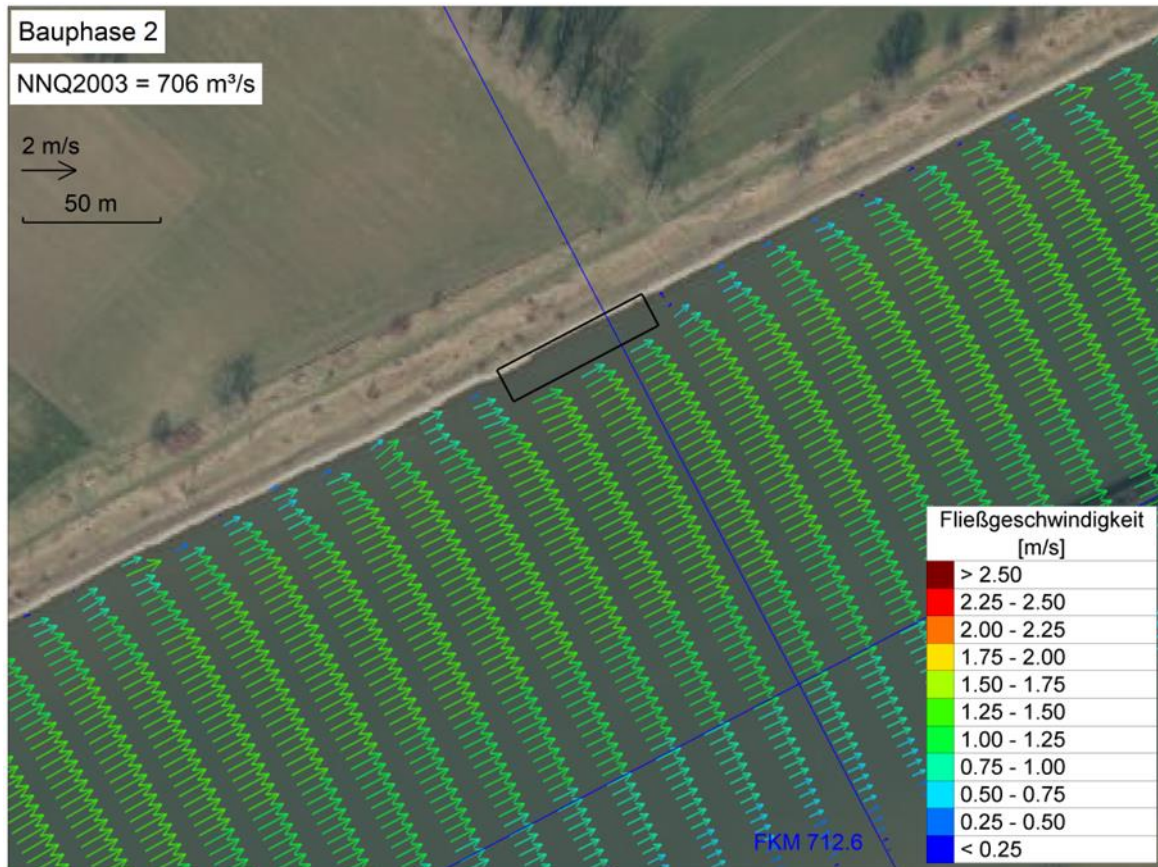


Abbildung 58: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, NNQ2003

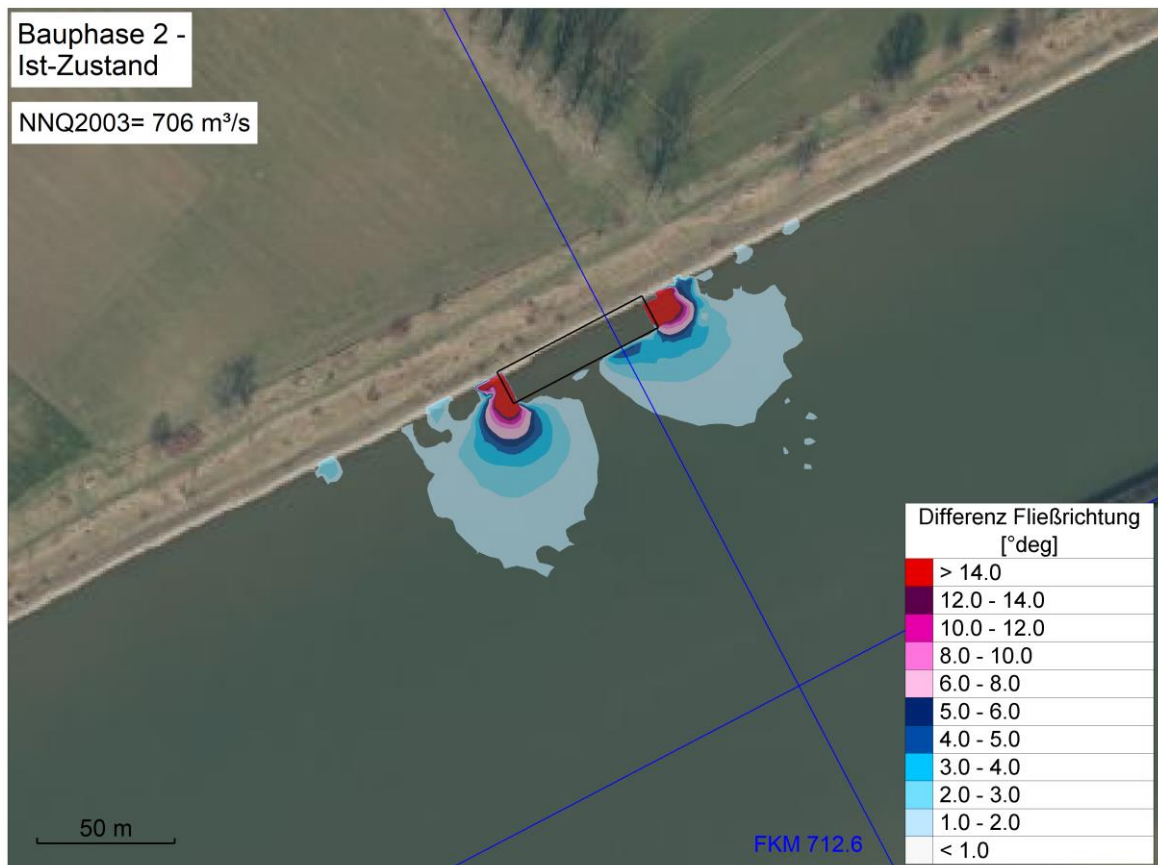


Abbildung 59: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, NNQ2003

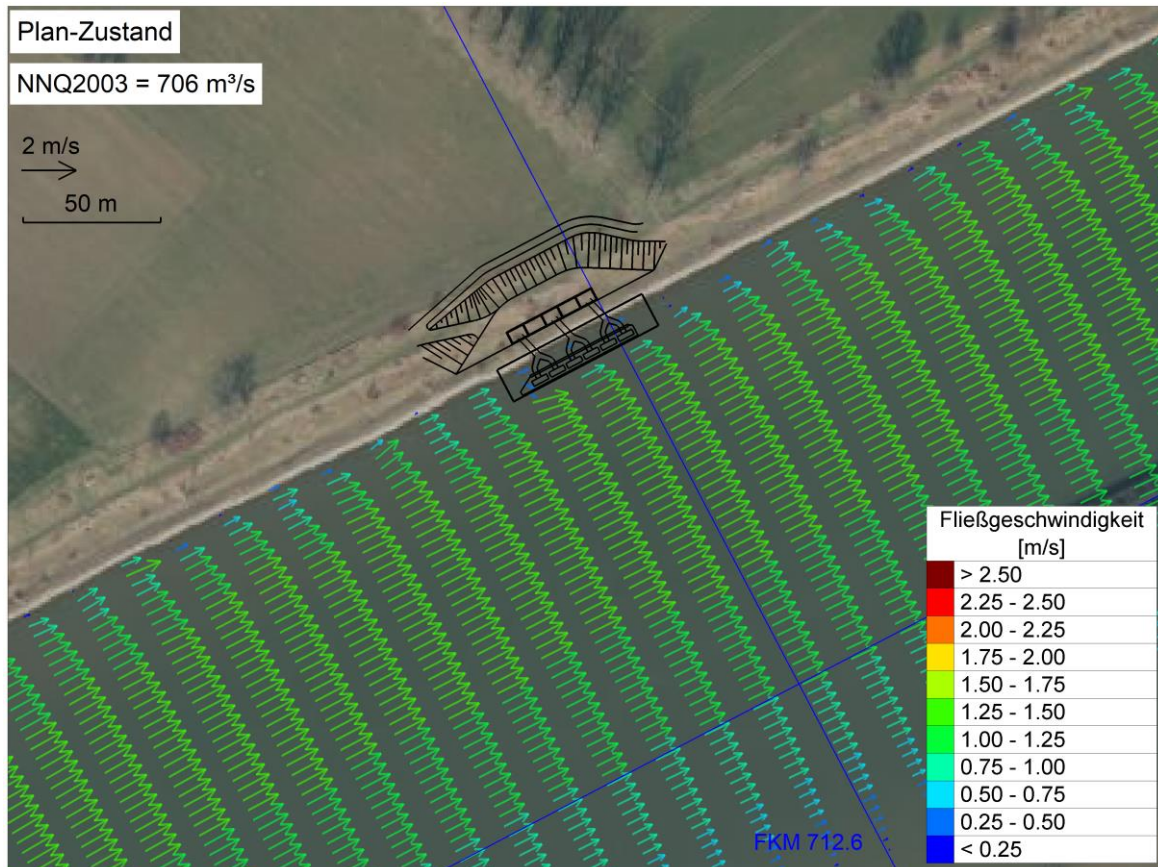


Abbildung 60: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, NNQ2003

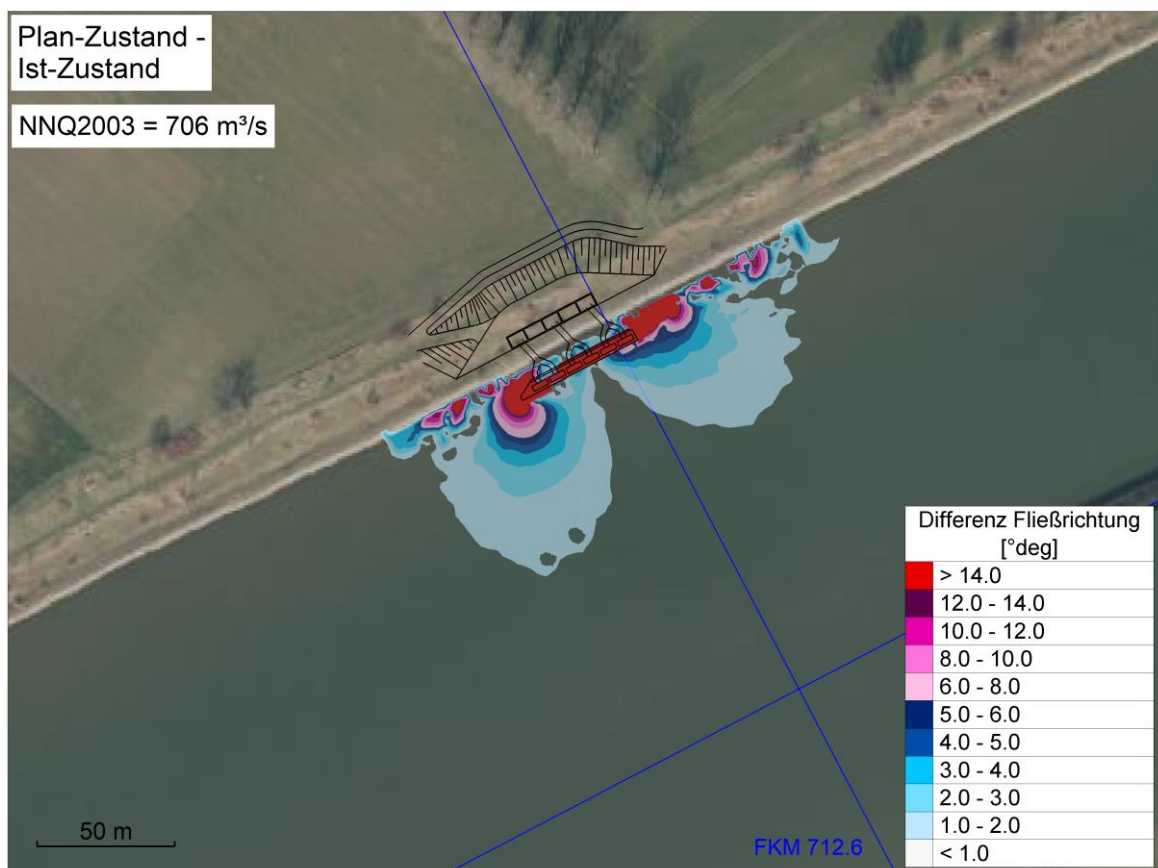


Abbildung 61: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, NNQ2003

7.4.2. Lastfall MQ

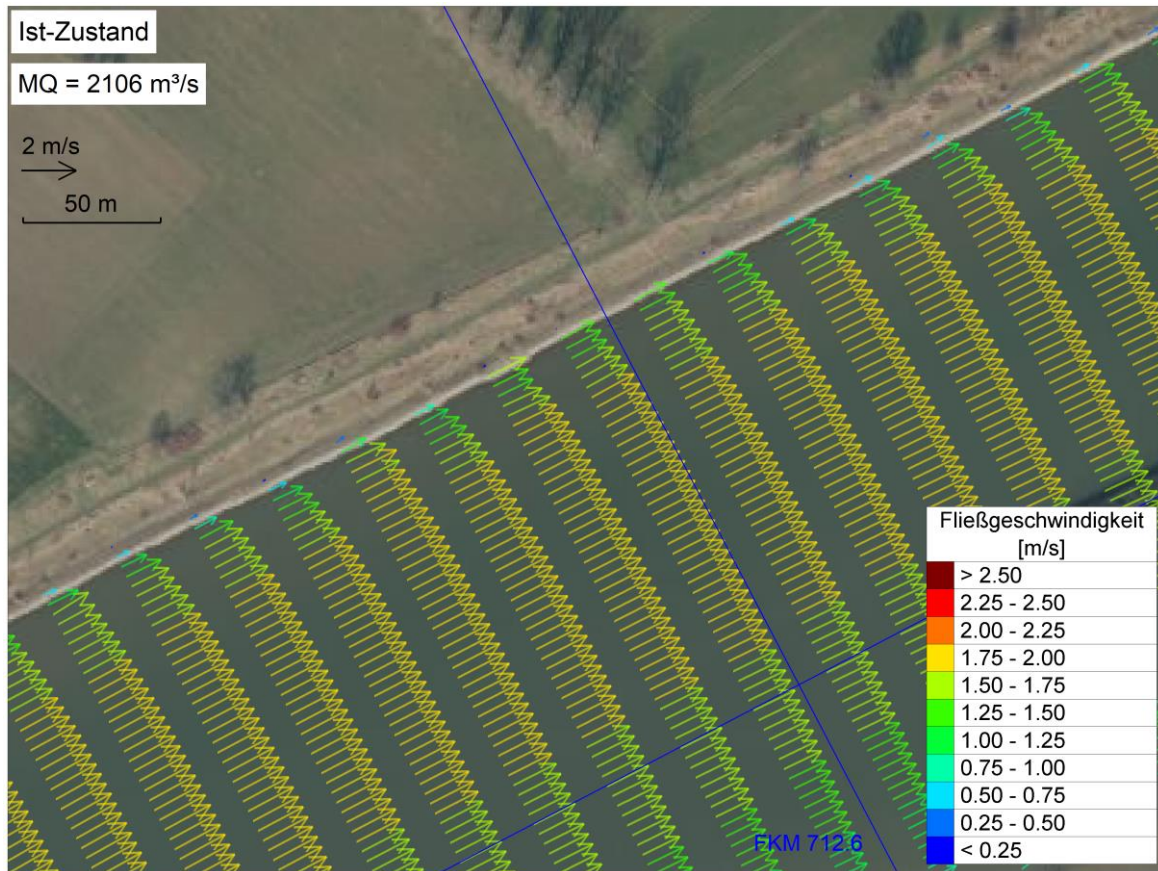


Abbildung 62: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, MQ

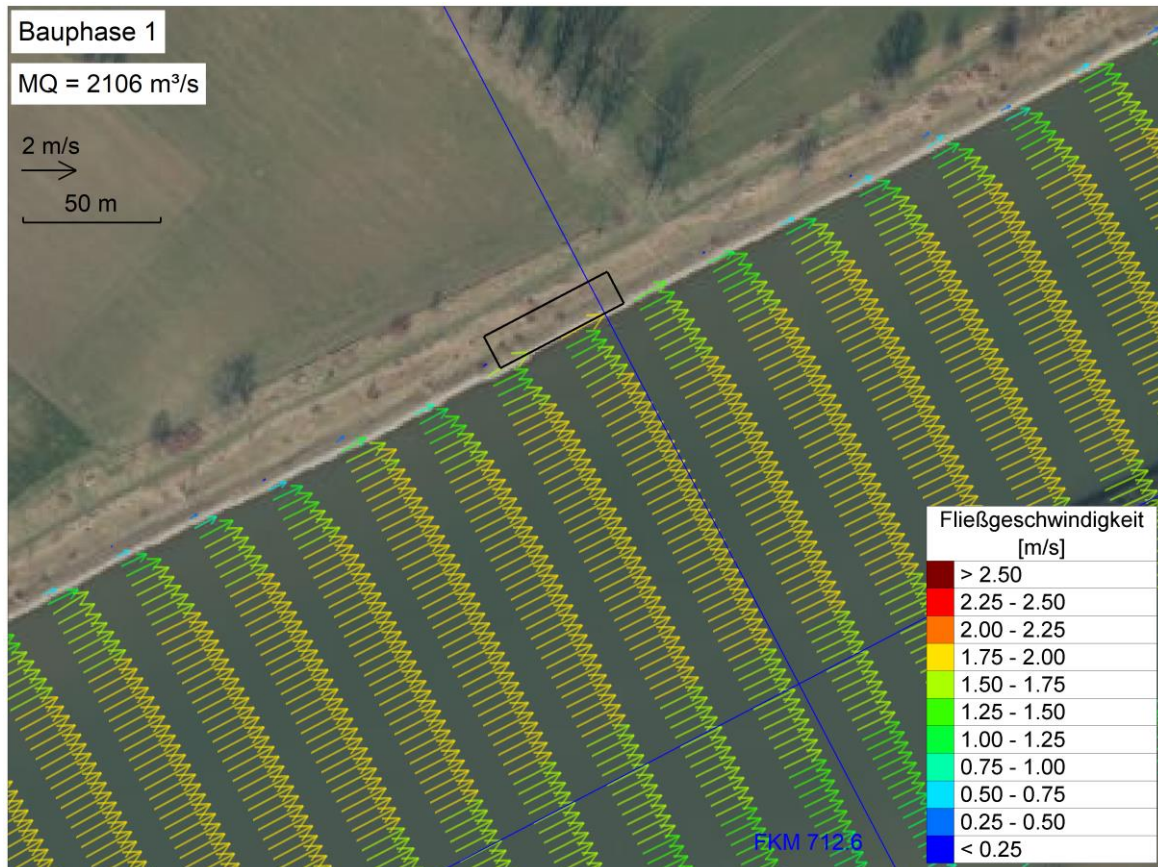


Abbildung 63: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, MQ

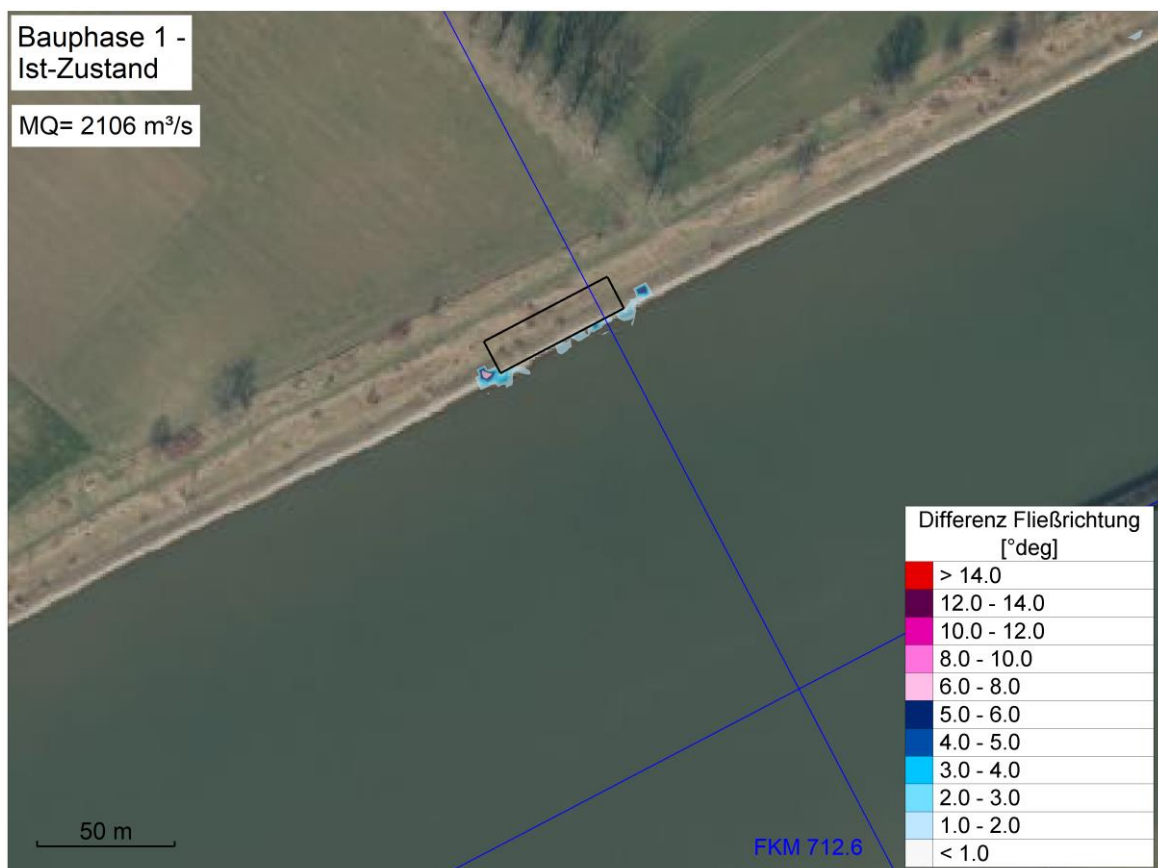


Abbildung 64: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, MQ

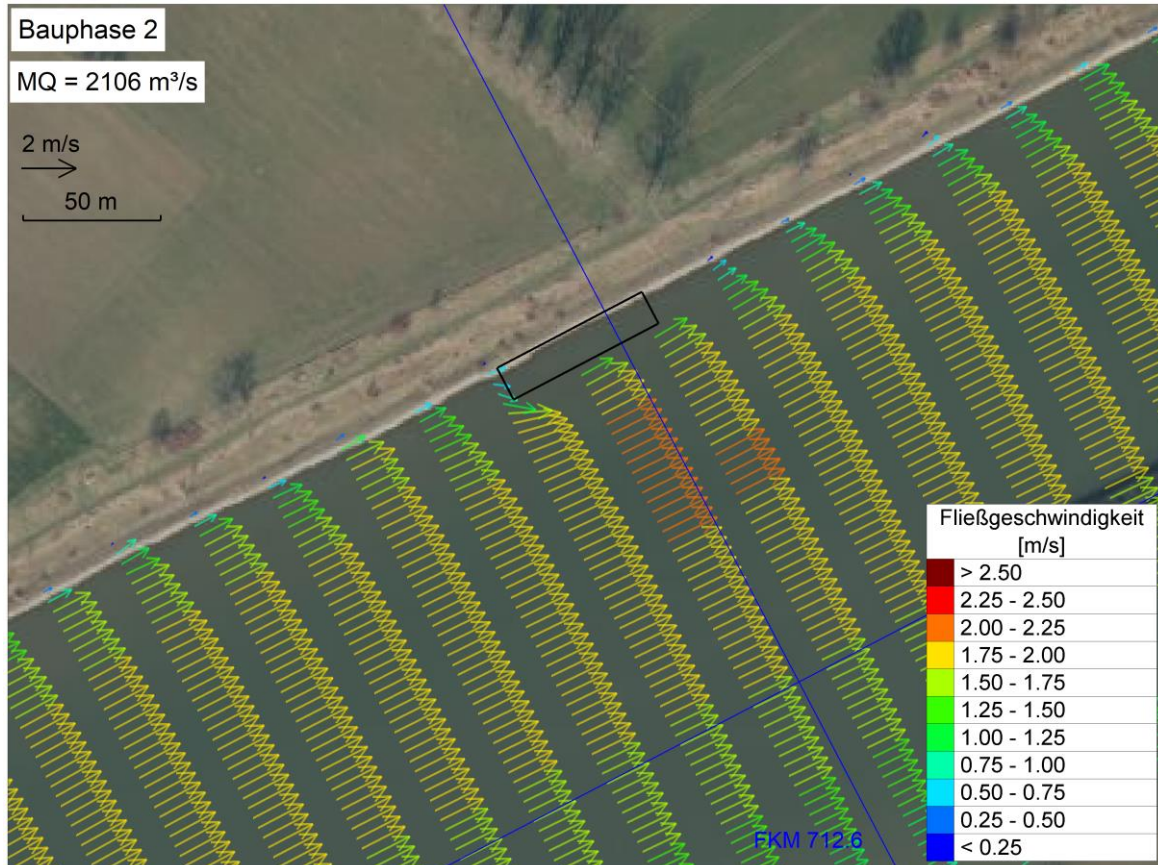


Abbildung 65: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, MQ

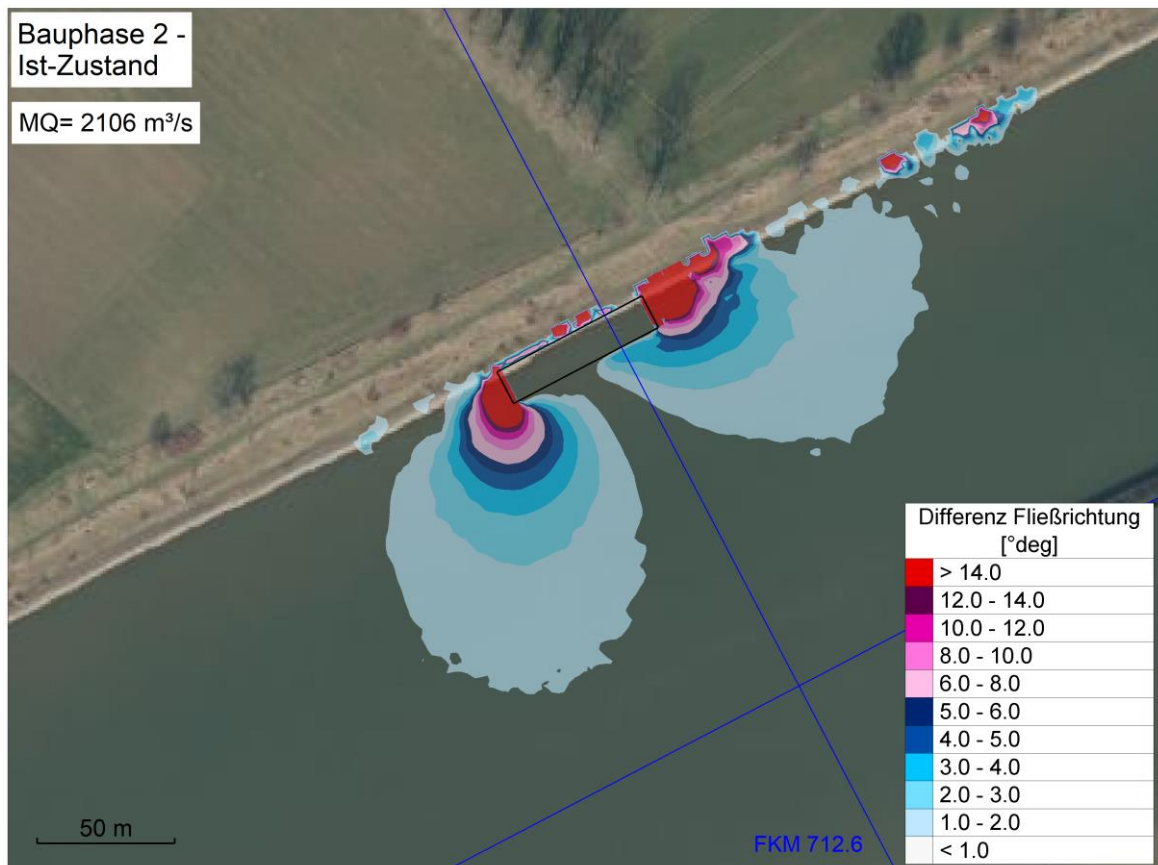


Abbildung 66: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, MQ

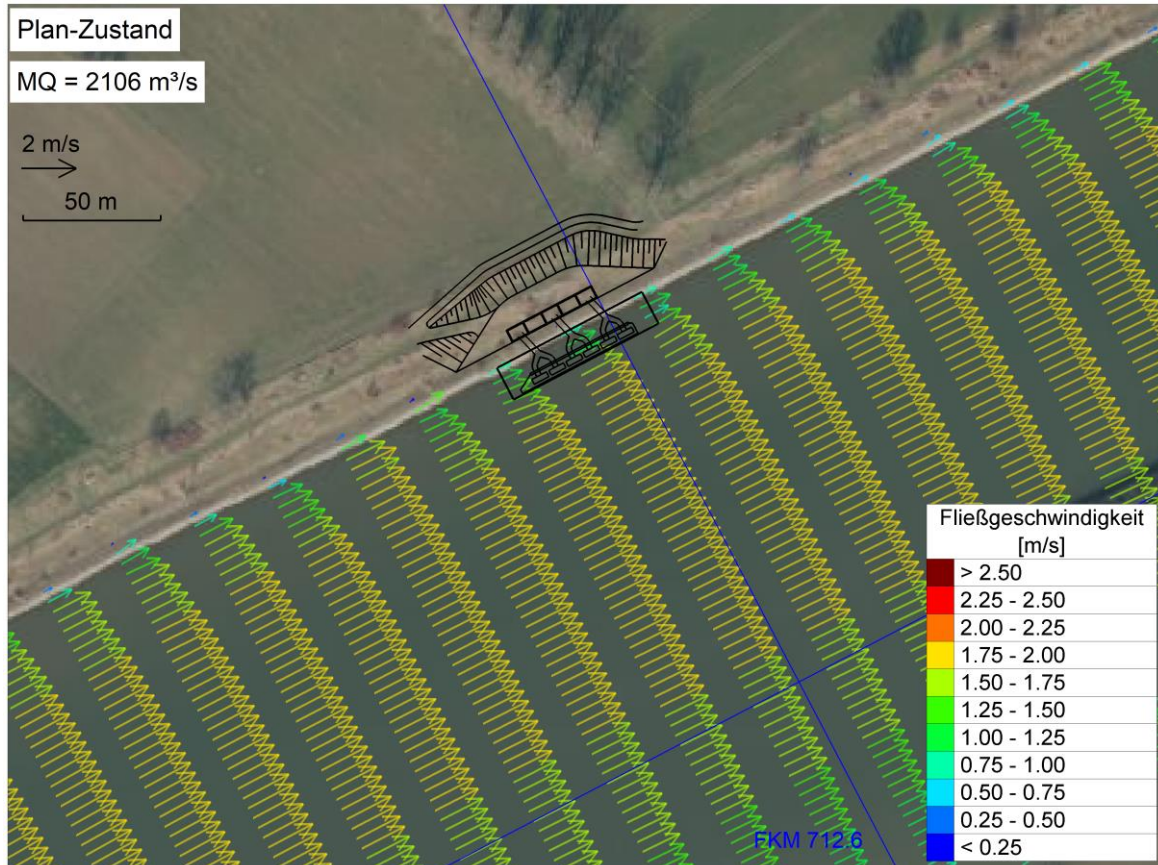


Abbildung 67: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, MQ

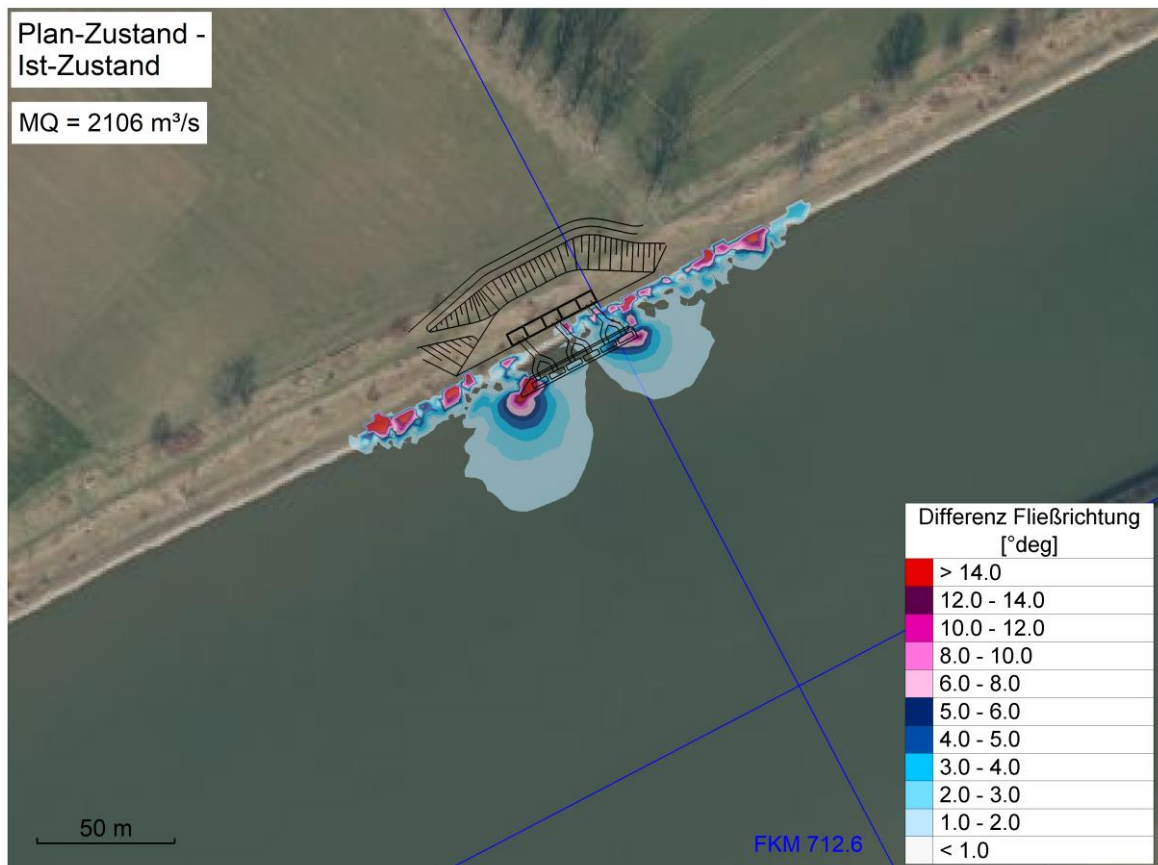


Abbildung 68: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, MQ

7.4.3. Lastfall $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

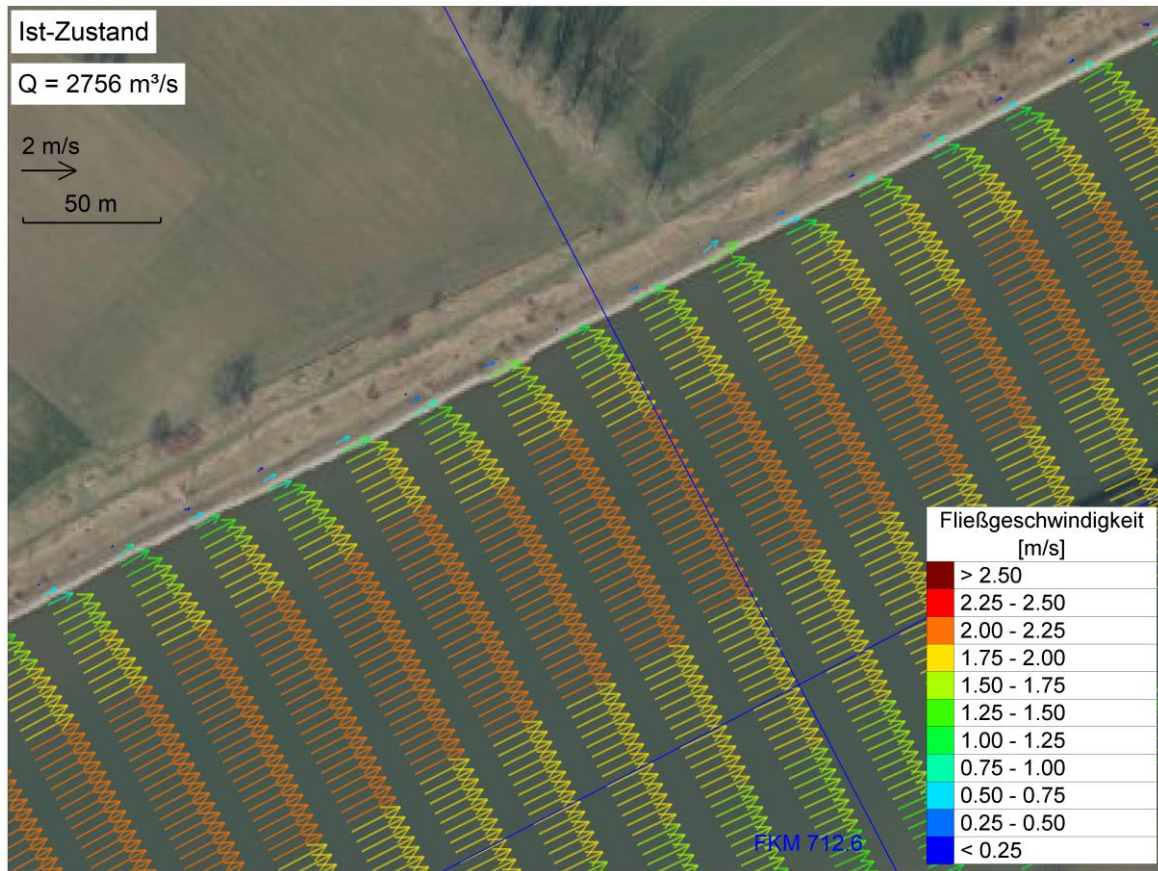


Abbildung 69: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

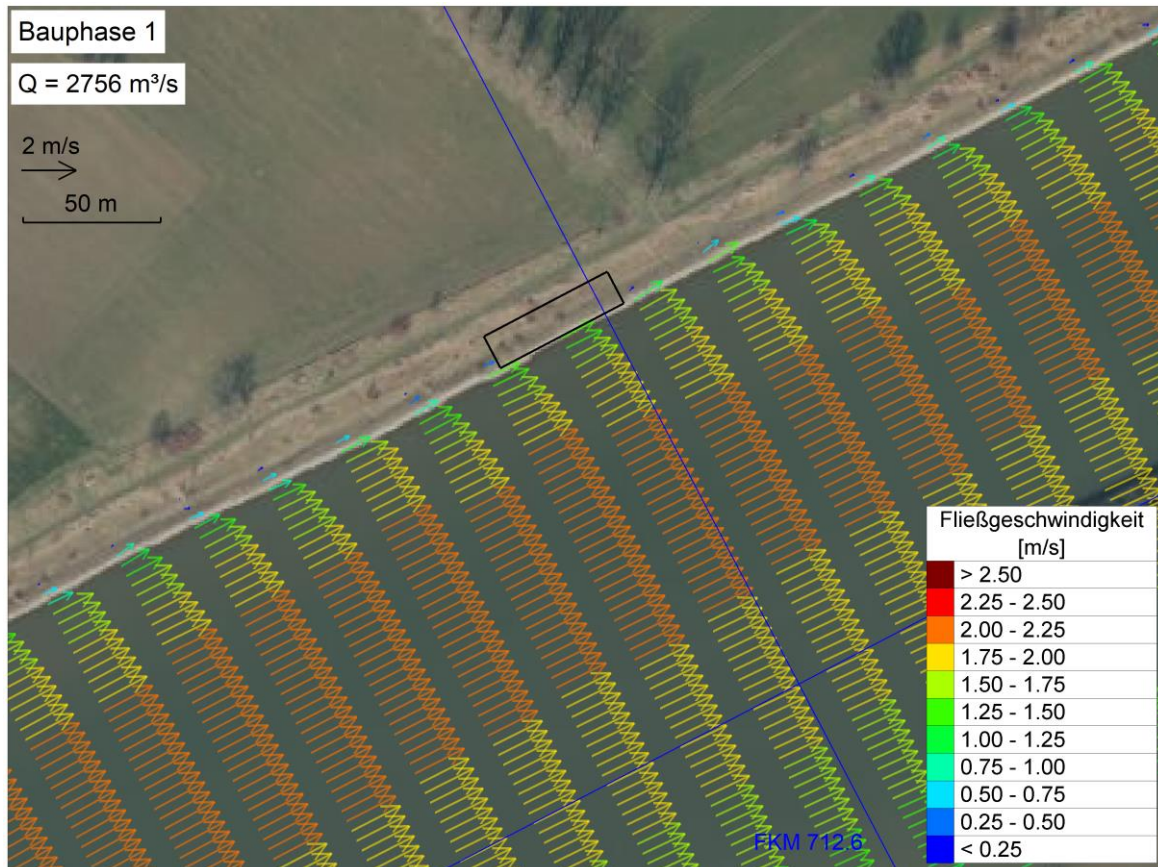


Abbildung 70: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

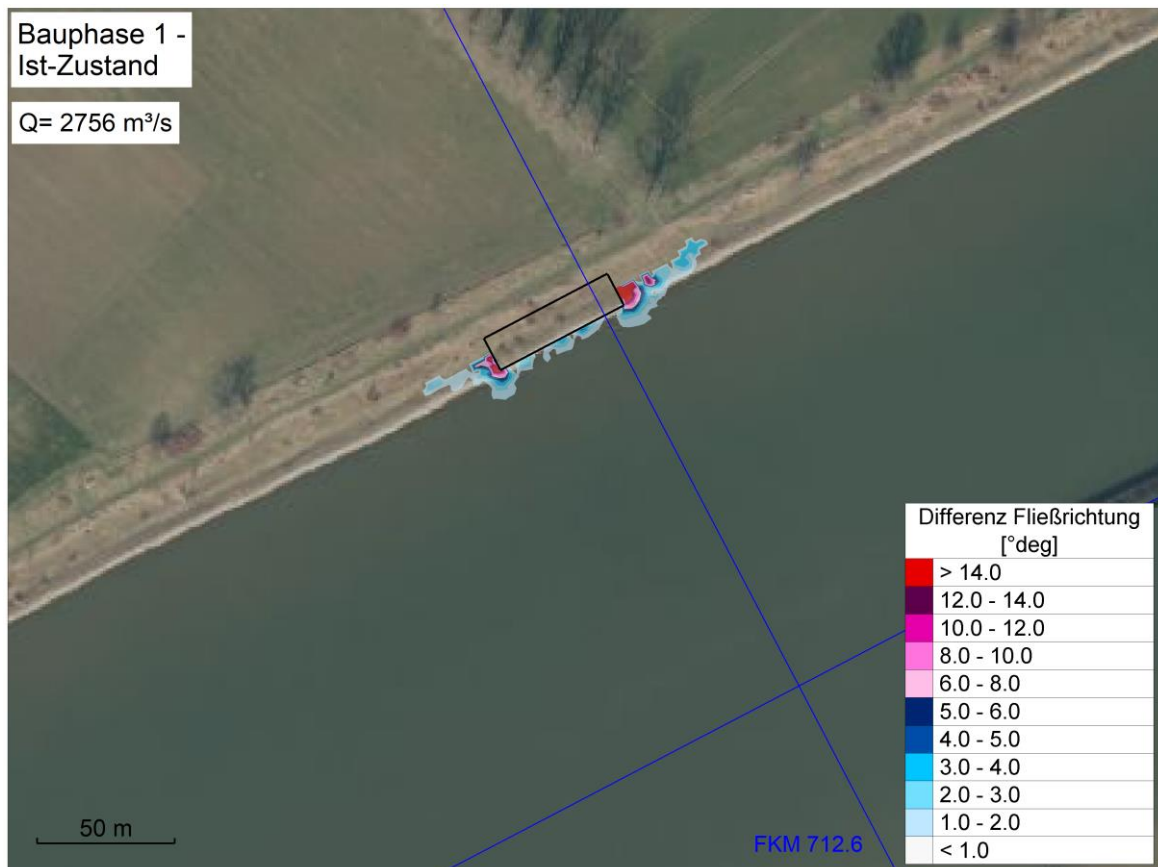


Abbildung 71: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

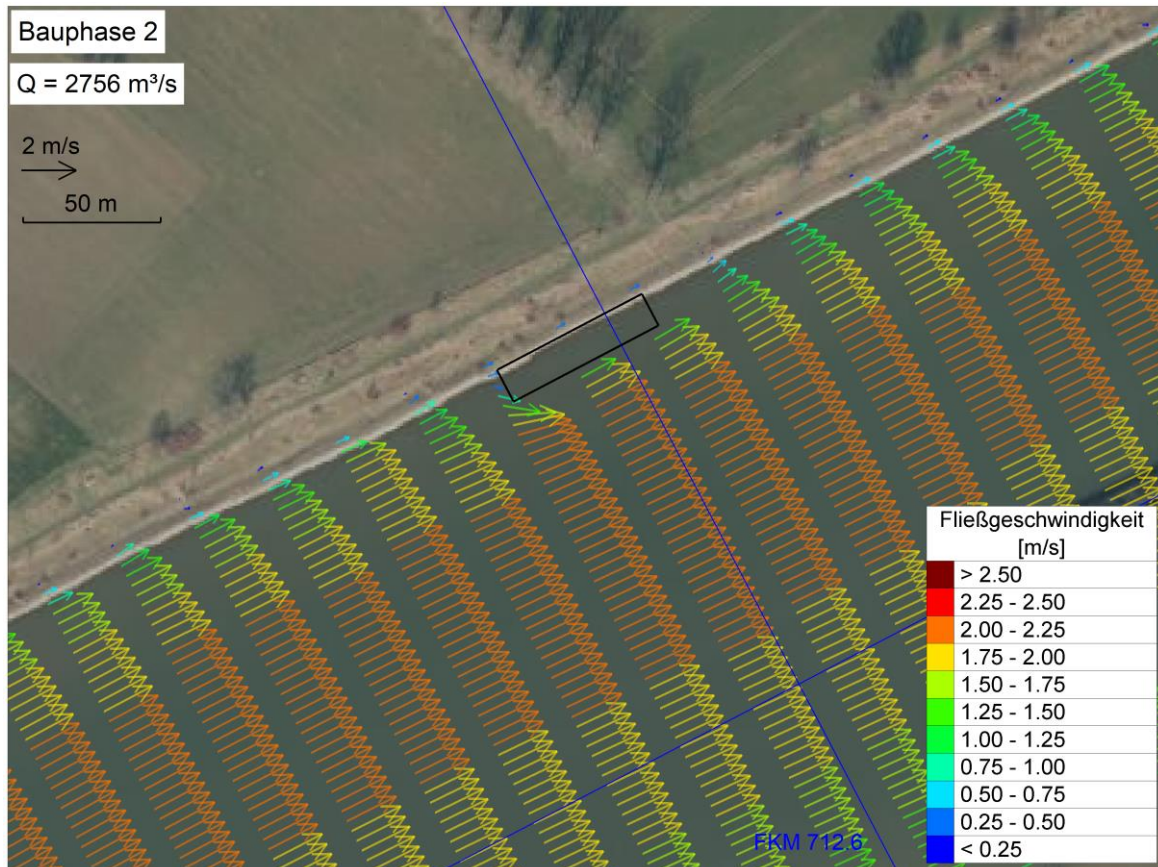


Abbildung 72: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

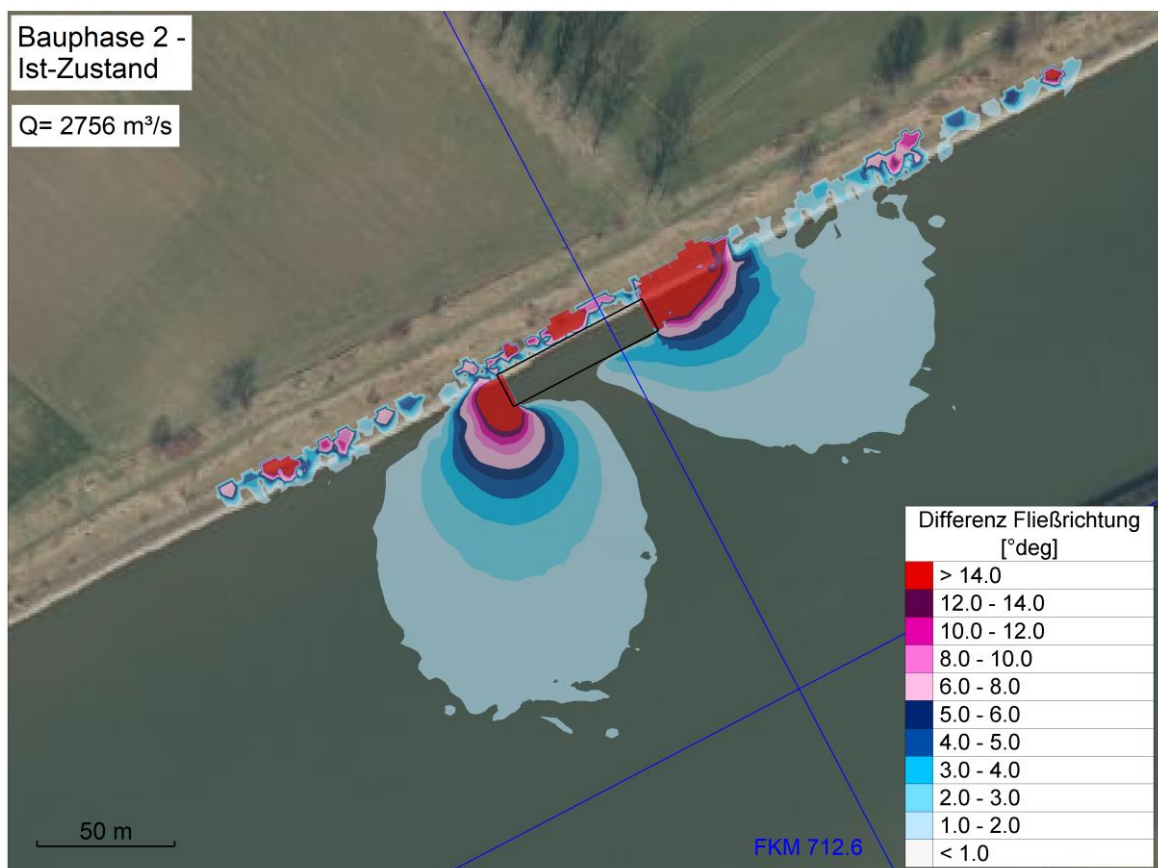


Abbildung 73: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$



Abbildung 74: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

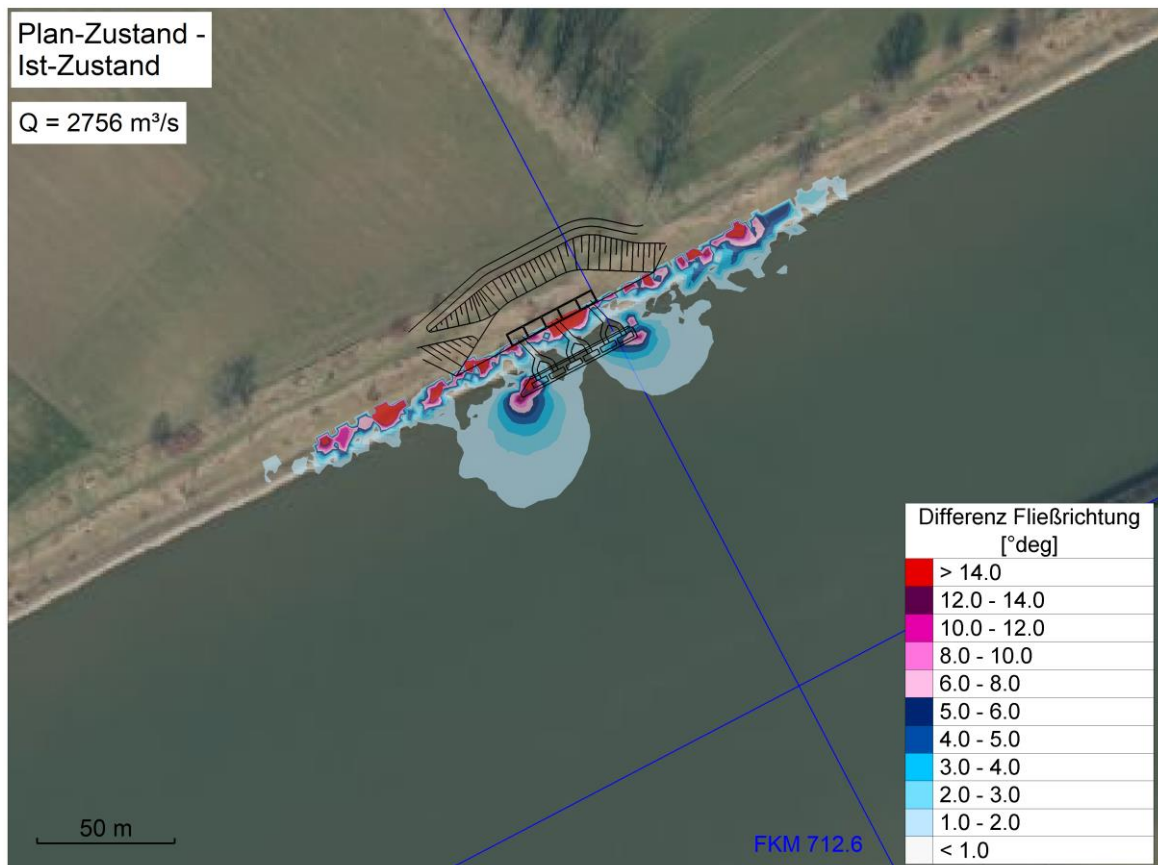


Abbildung 75: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

7.4.4. Lastfall HQ1

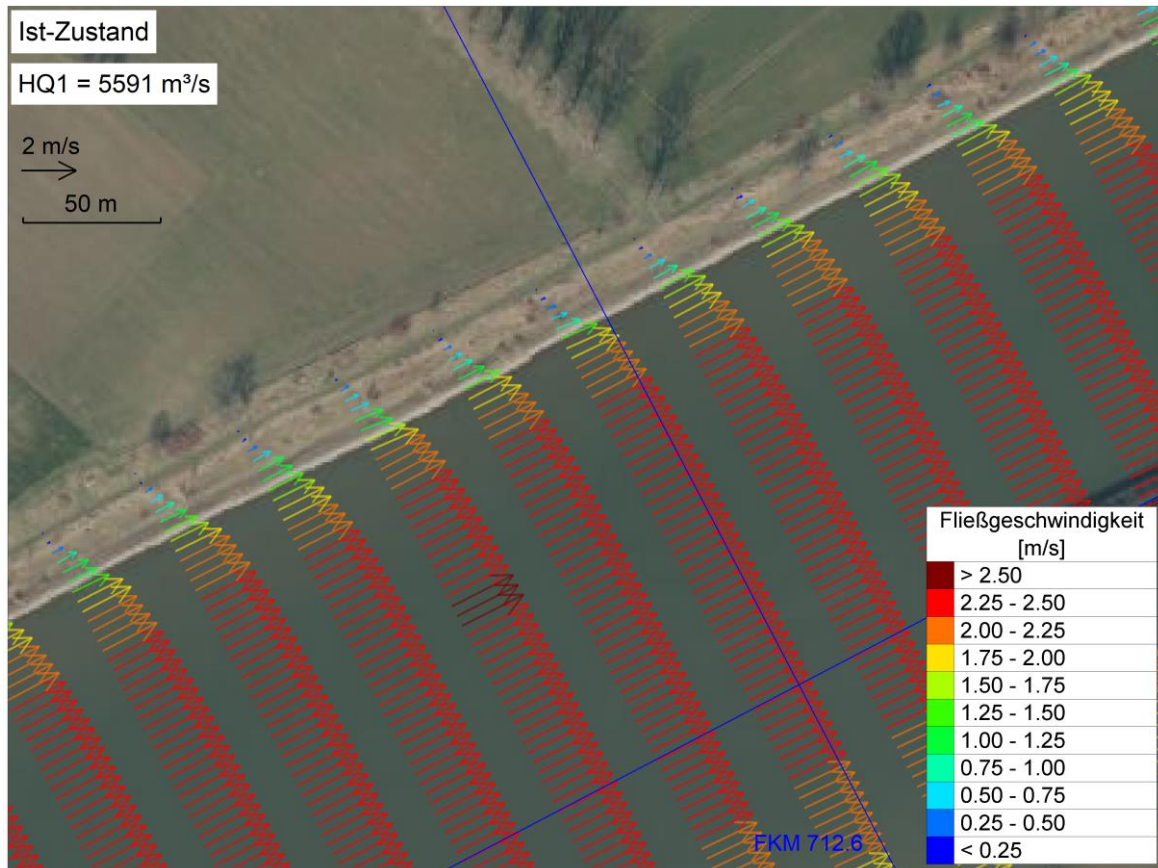


Abbildung 76: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ1

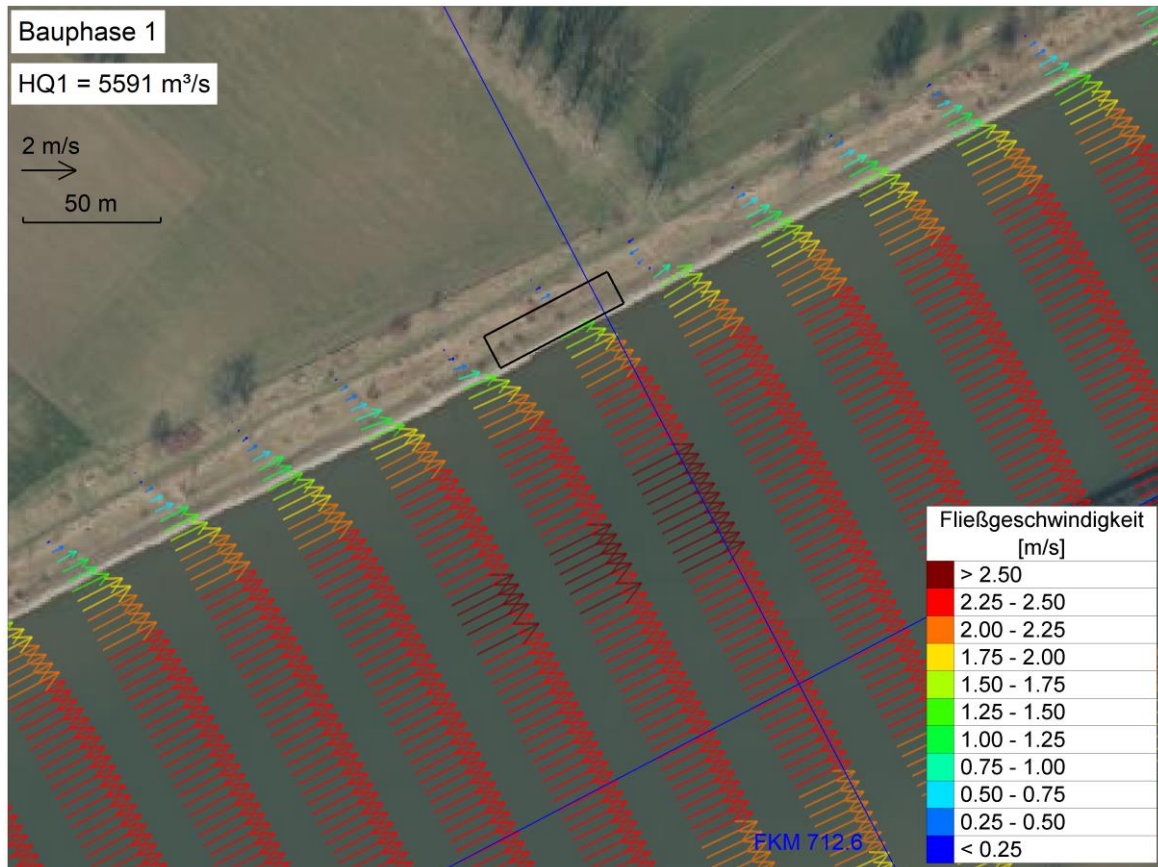


Abbildung 77: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ1

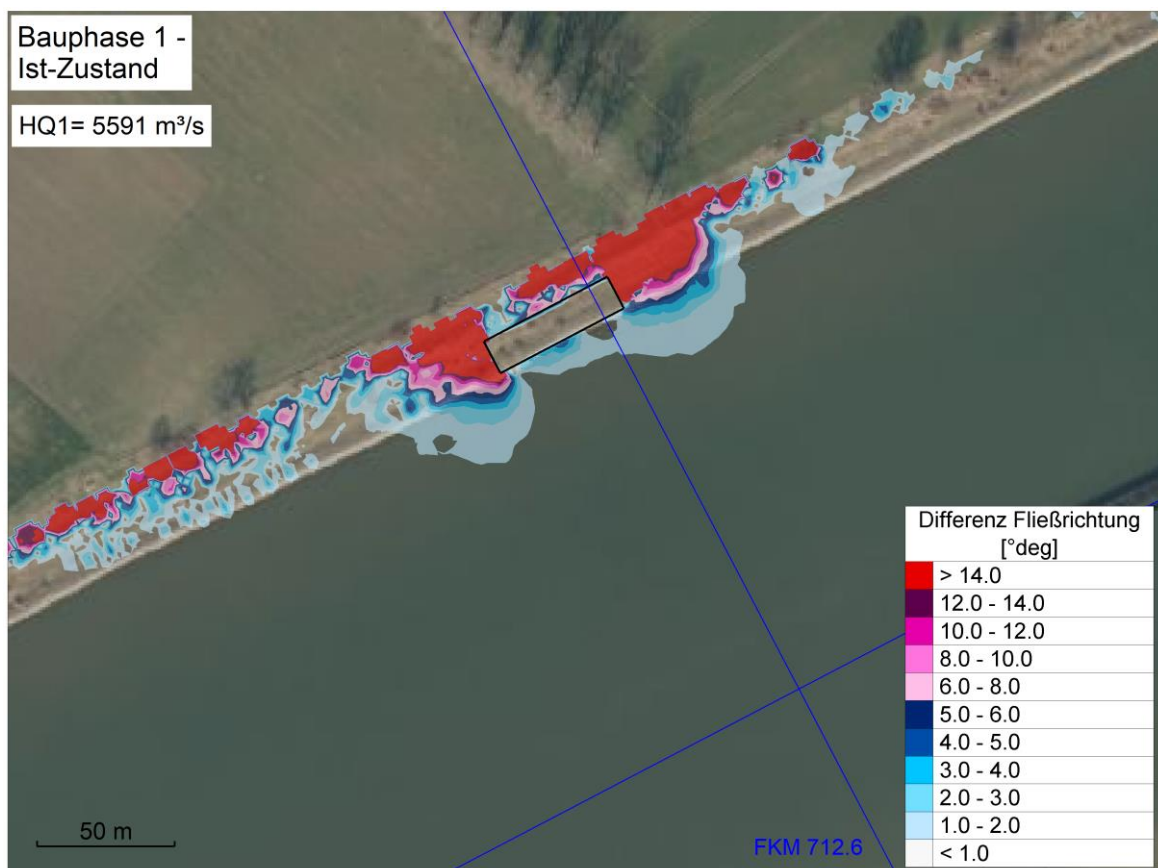


Abbildung 78: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ1

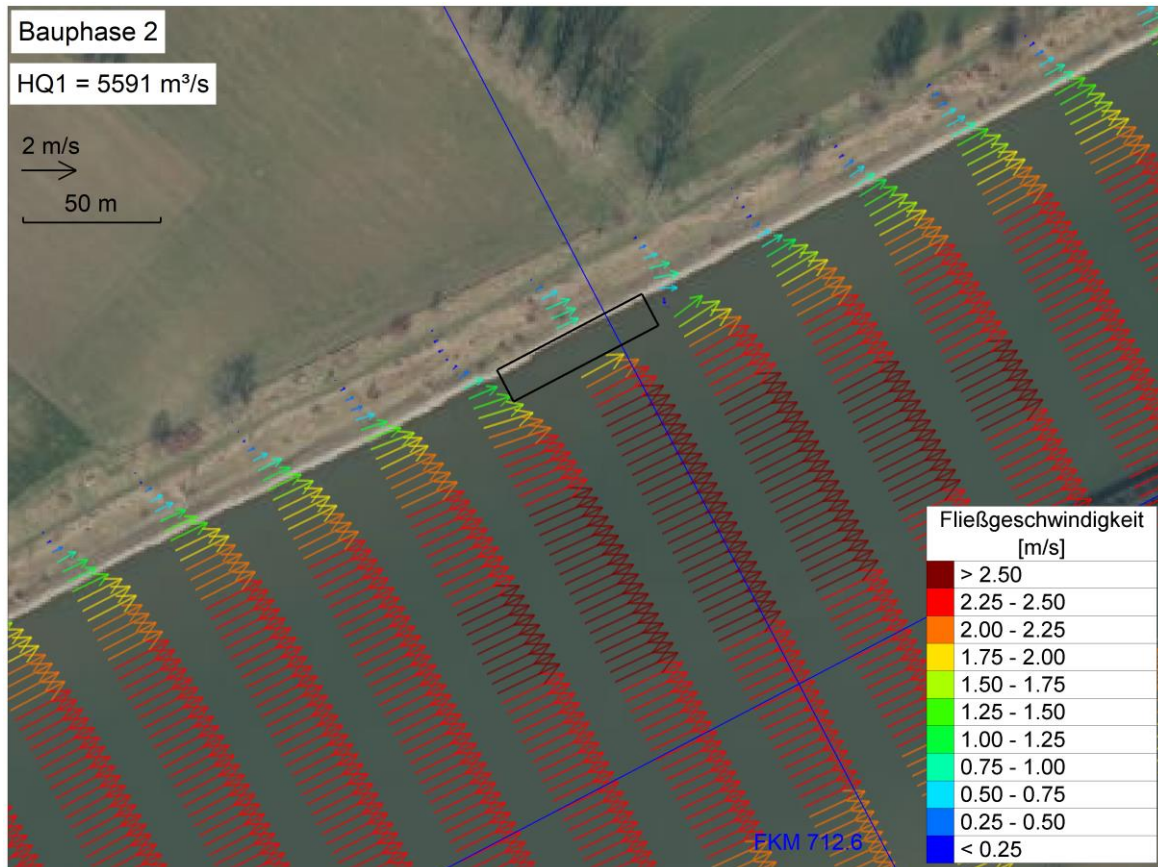


Abbildung 79: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ1

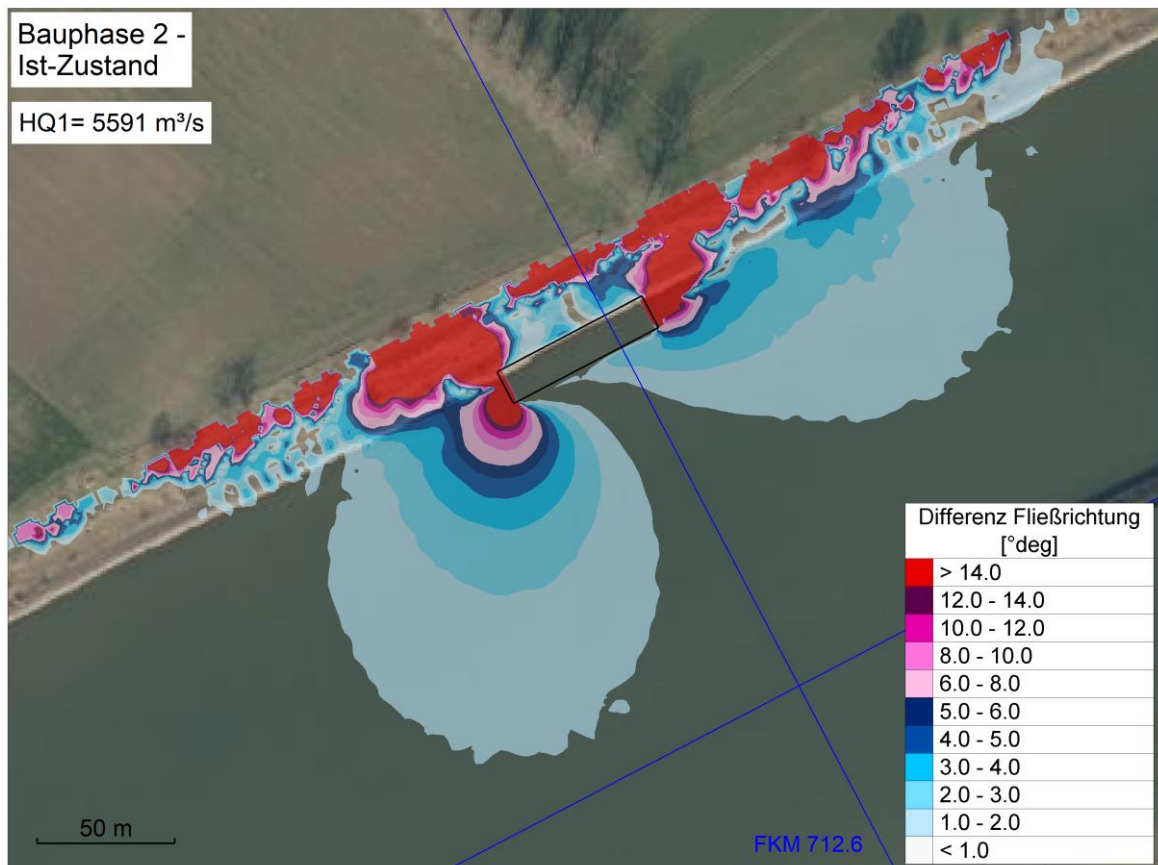


Abbildung 80: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ1

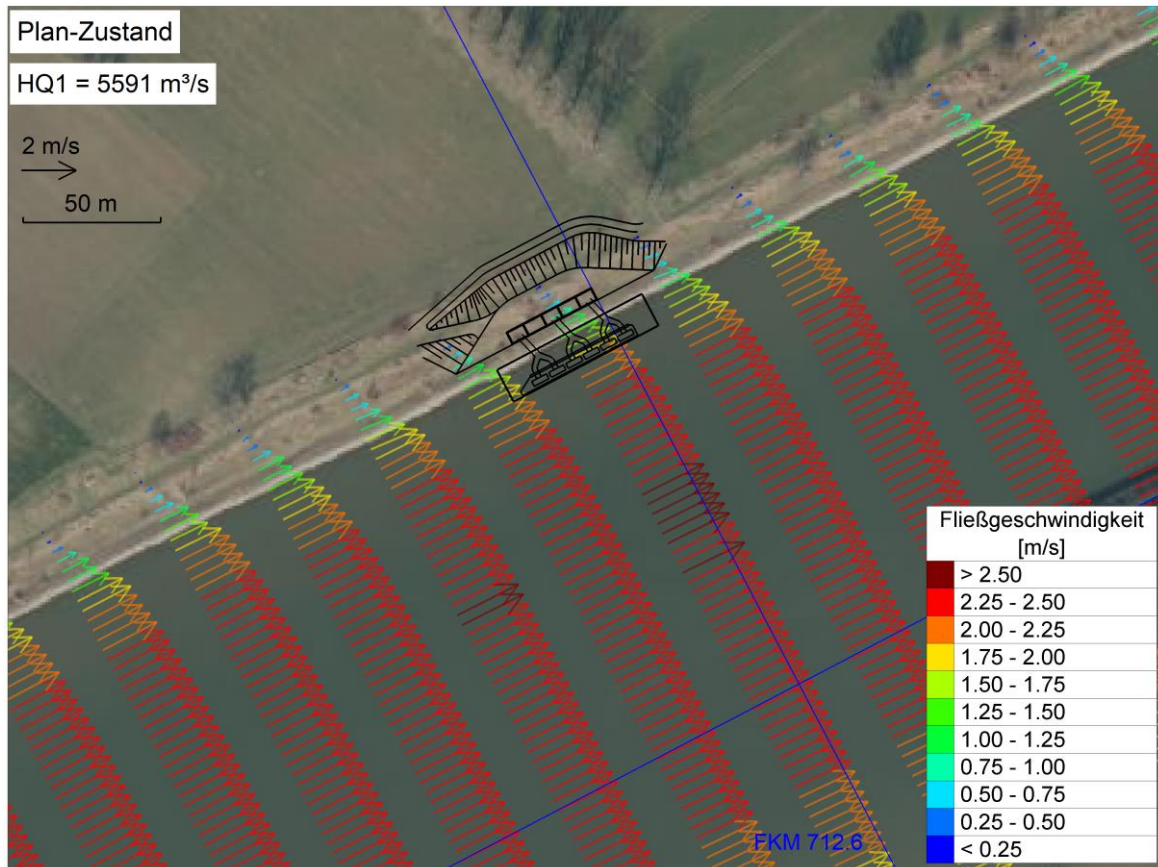


Abbildung 81: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ1

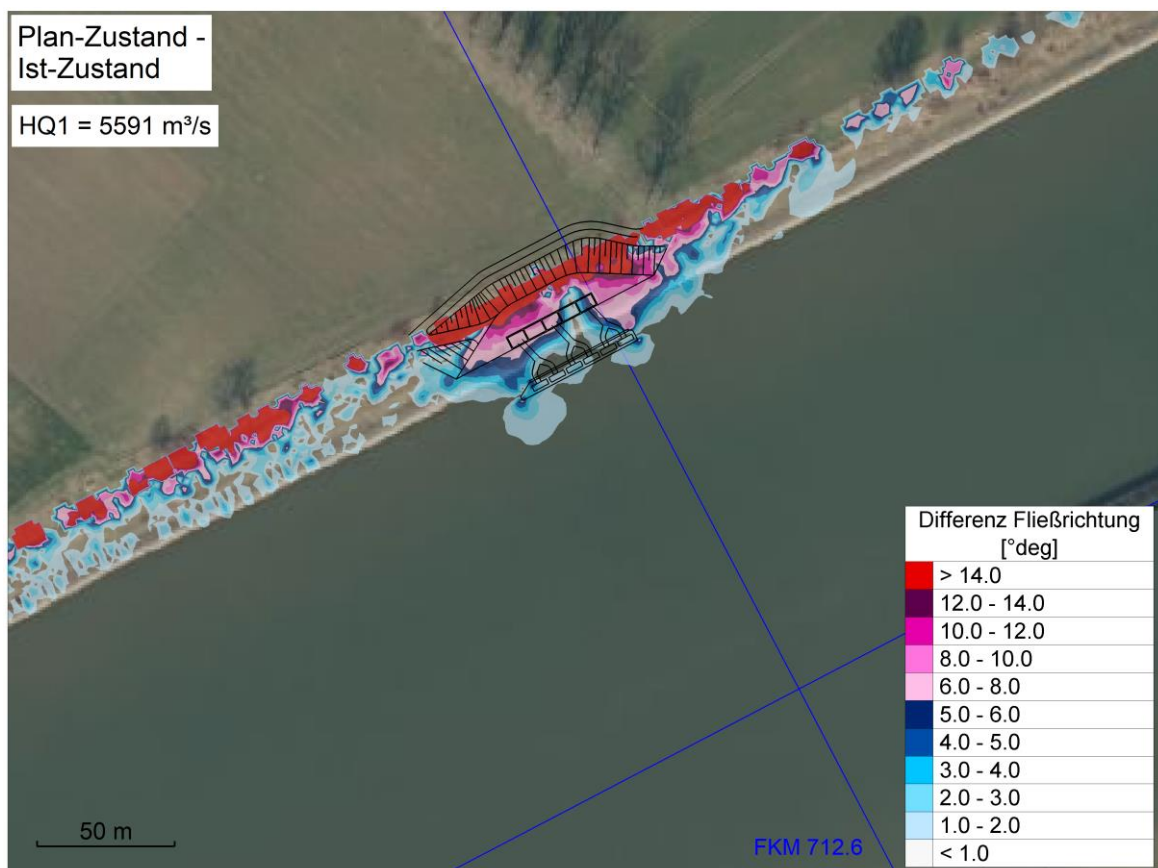


Abbildung 82: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ1

7.4.5. Lastfall HQ5

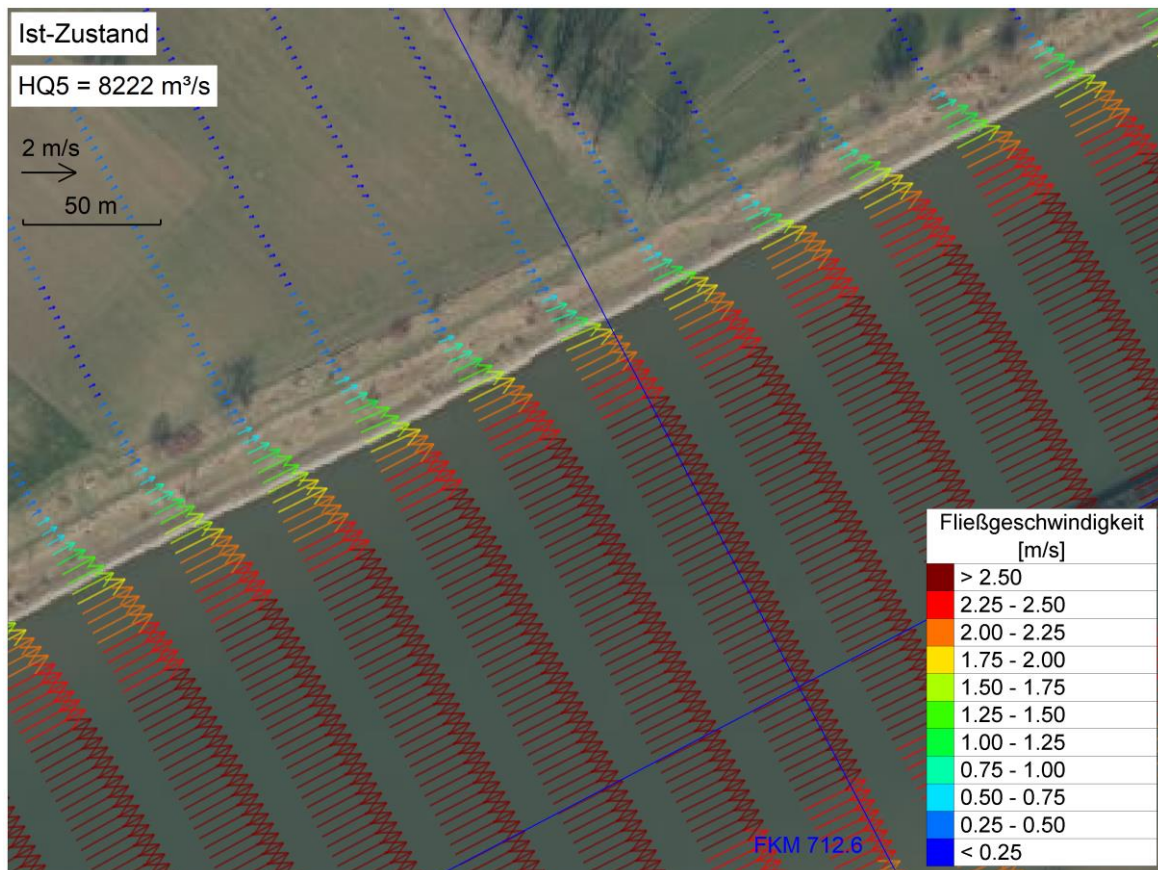


Abbildung 83: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ5

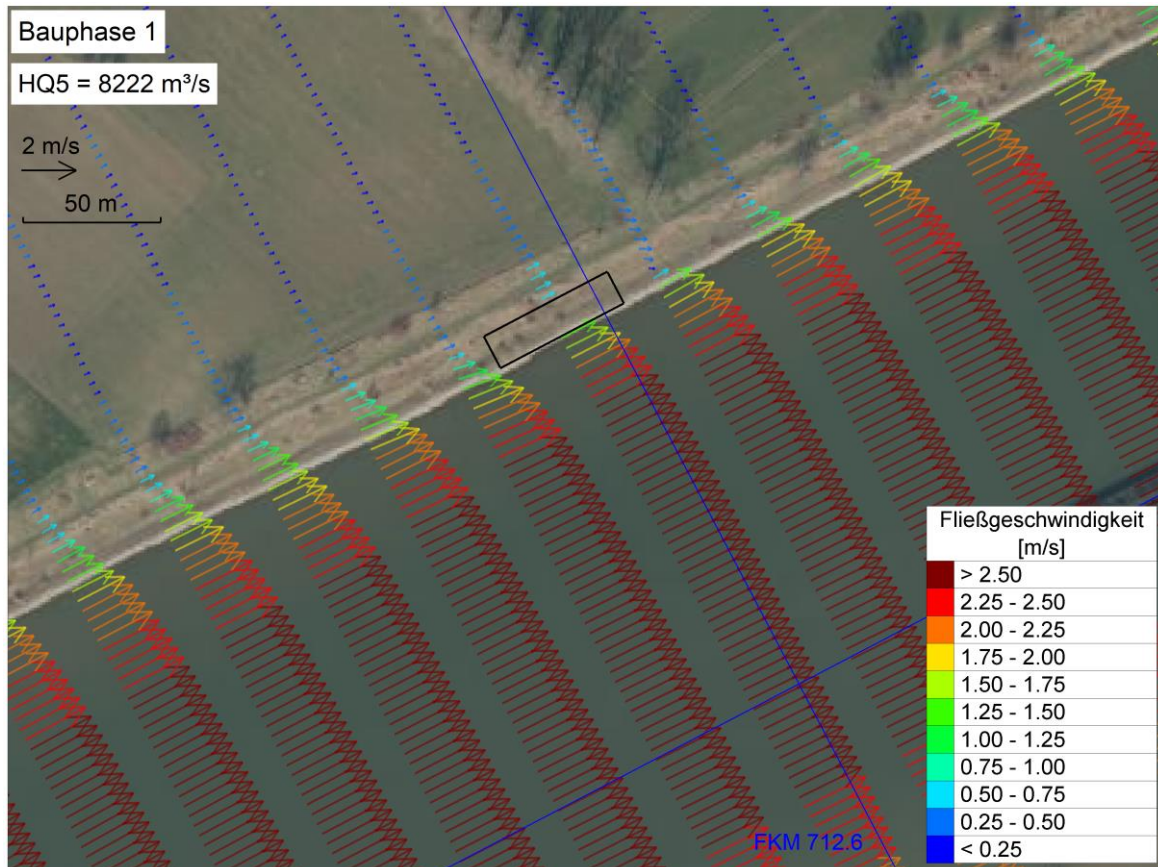


Abbildung 84: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ5

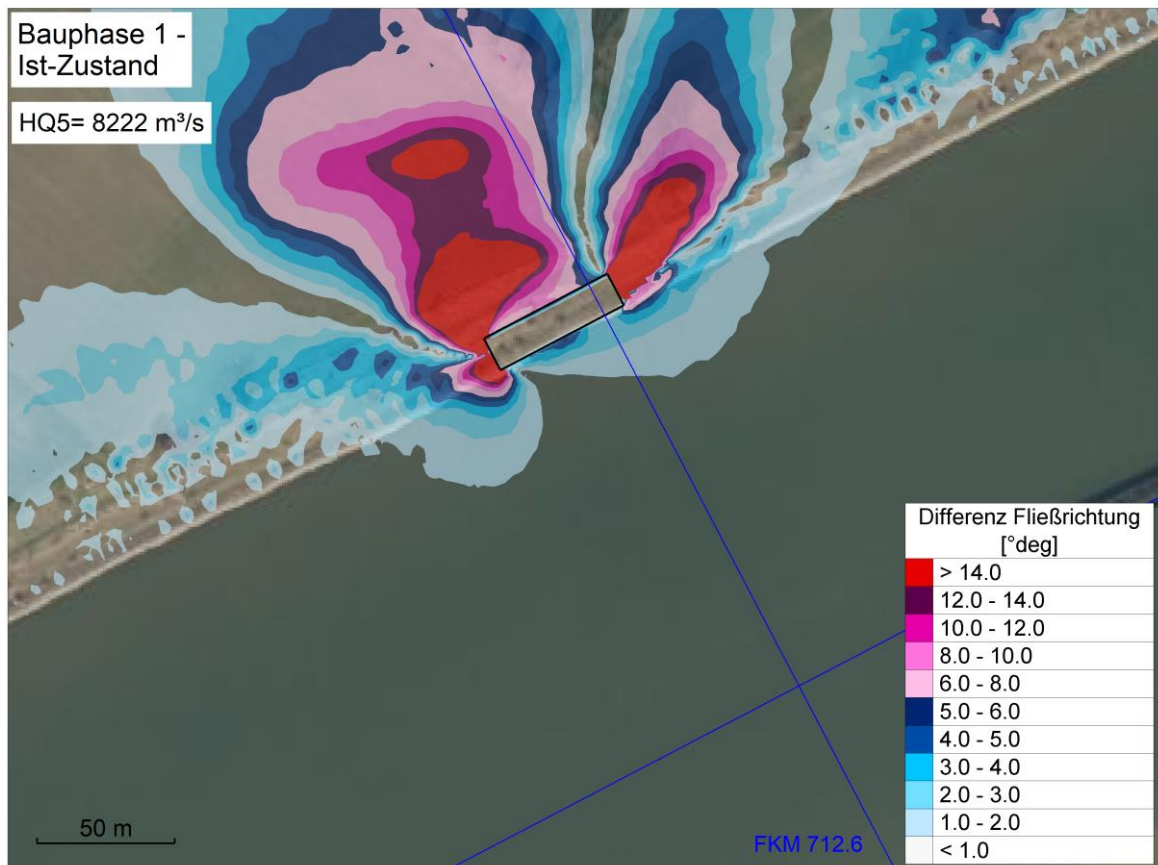


Abbildung 85: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ5

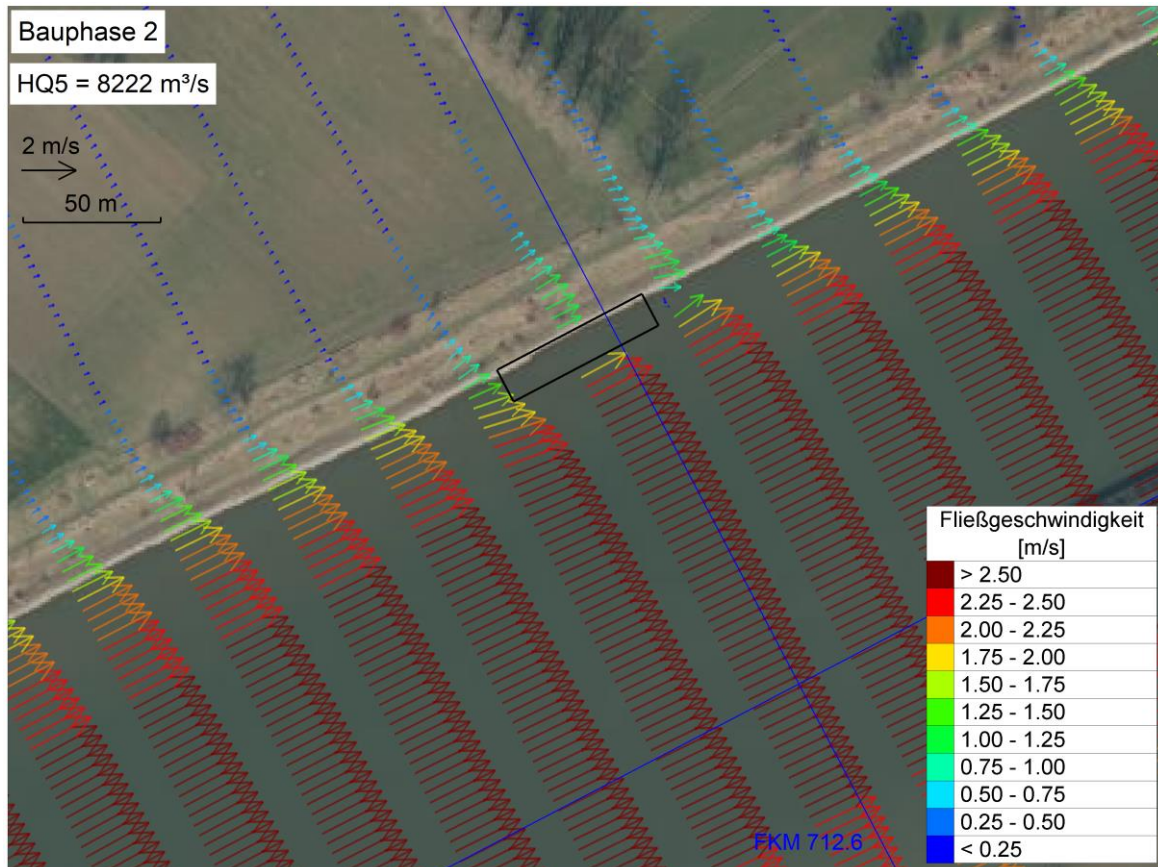


Abbildung 86: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ5

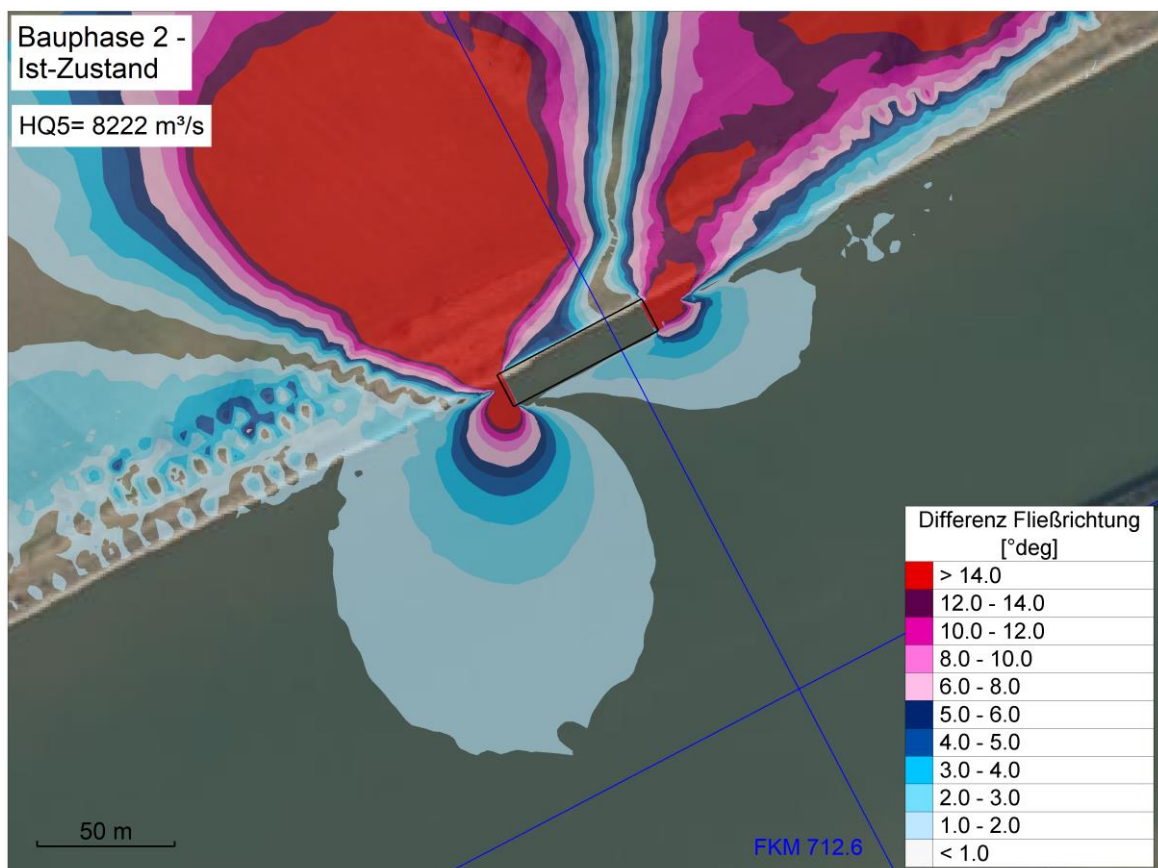


Abbildung 87: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ5

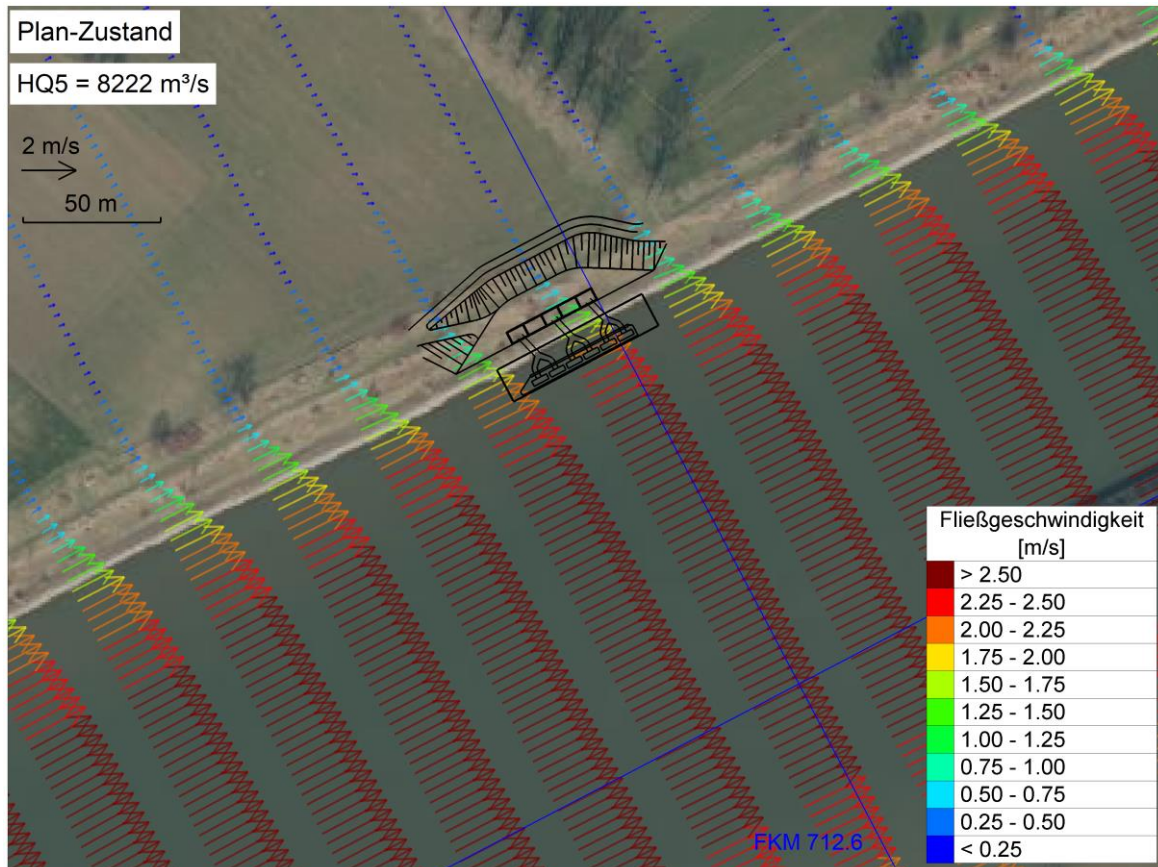


Abbildung 88: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ5

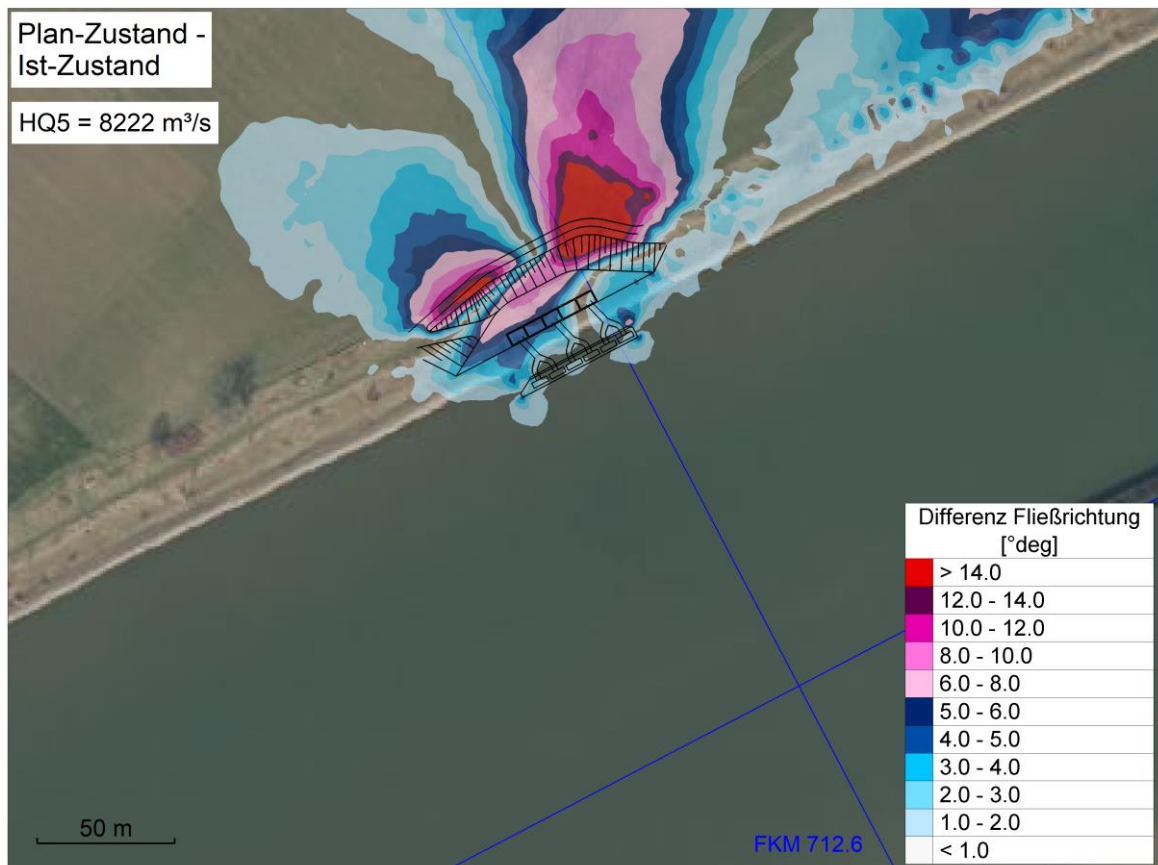


Abbildung 89: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ5

7.4.6. Lastfall HQ100

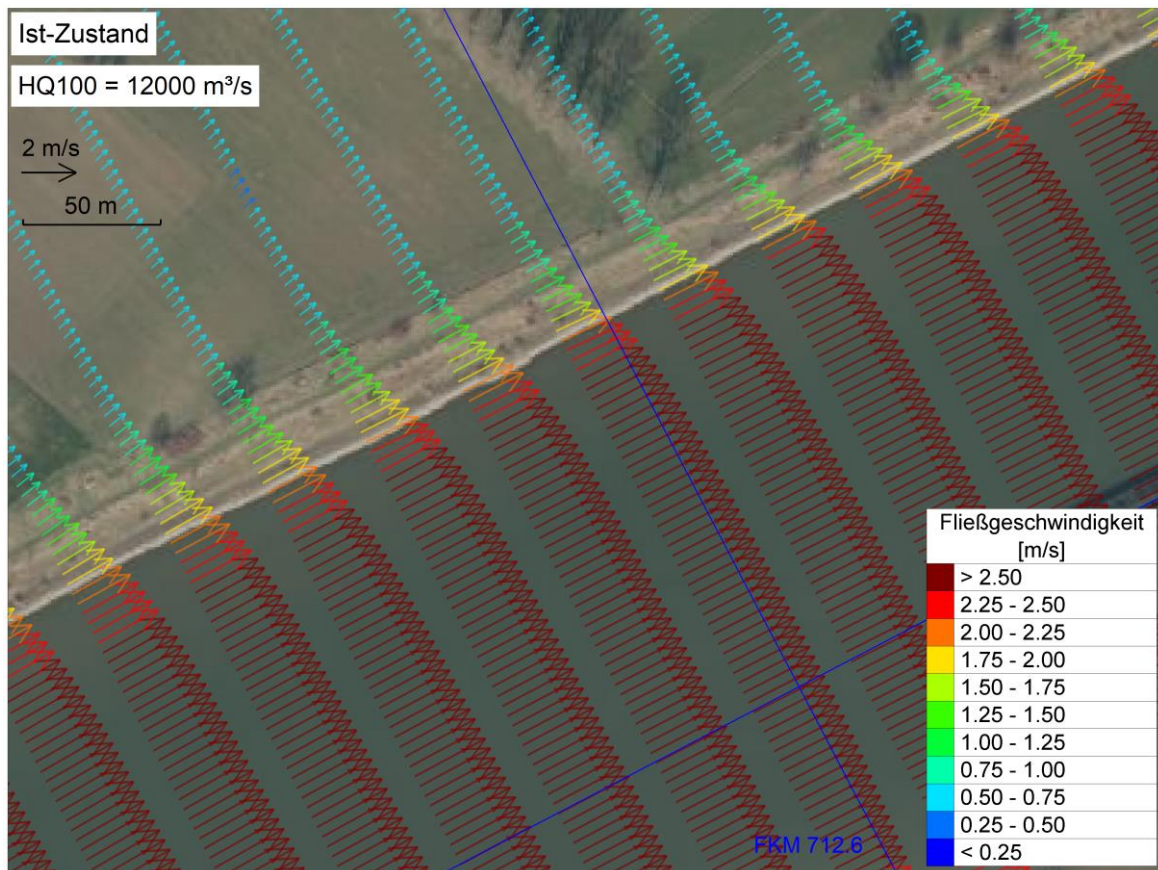


Abbildung 90: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ100

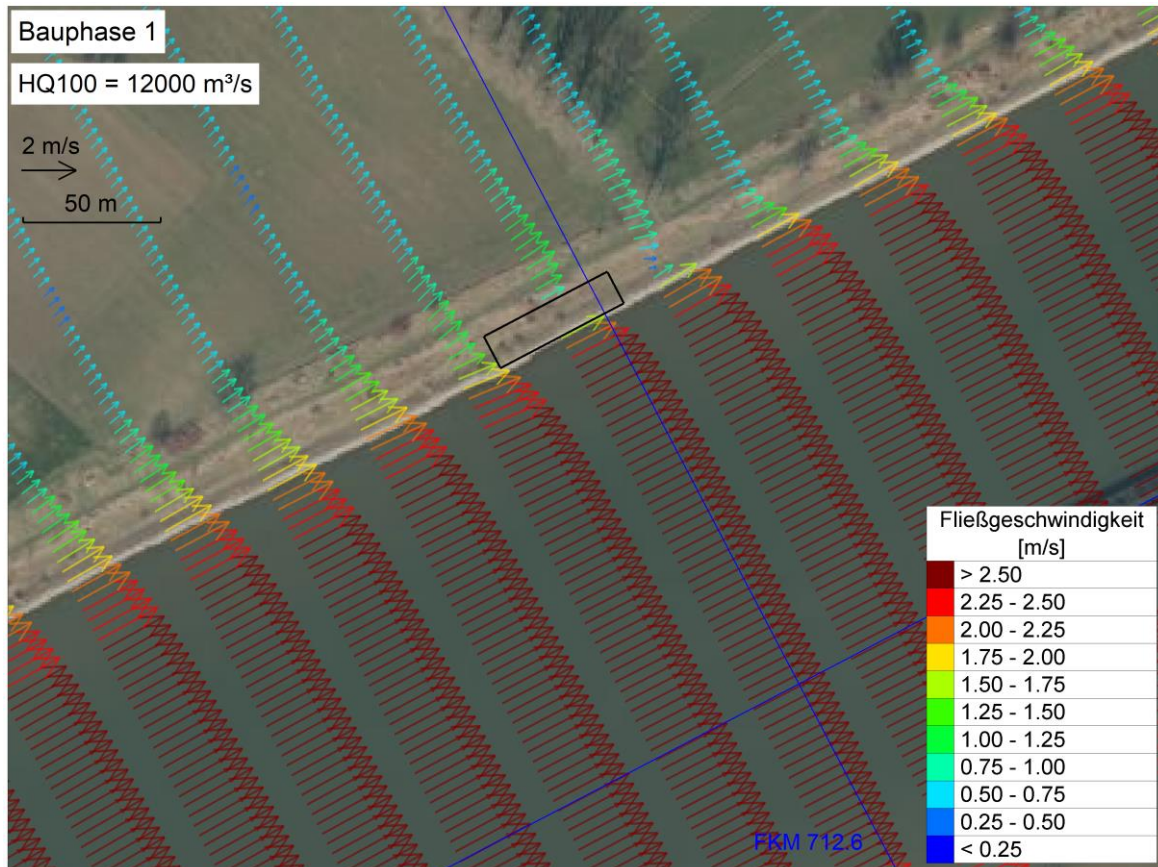


Abbildung 91: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ100

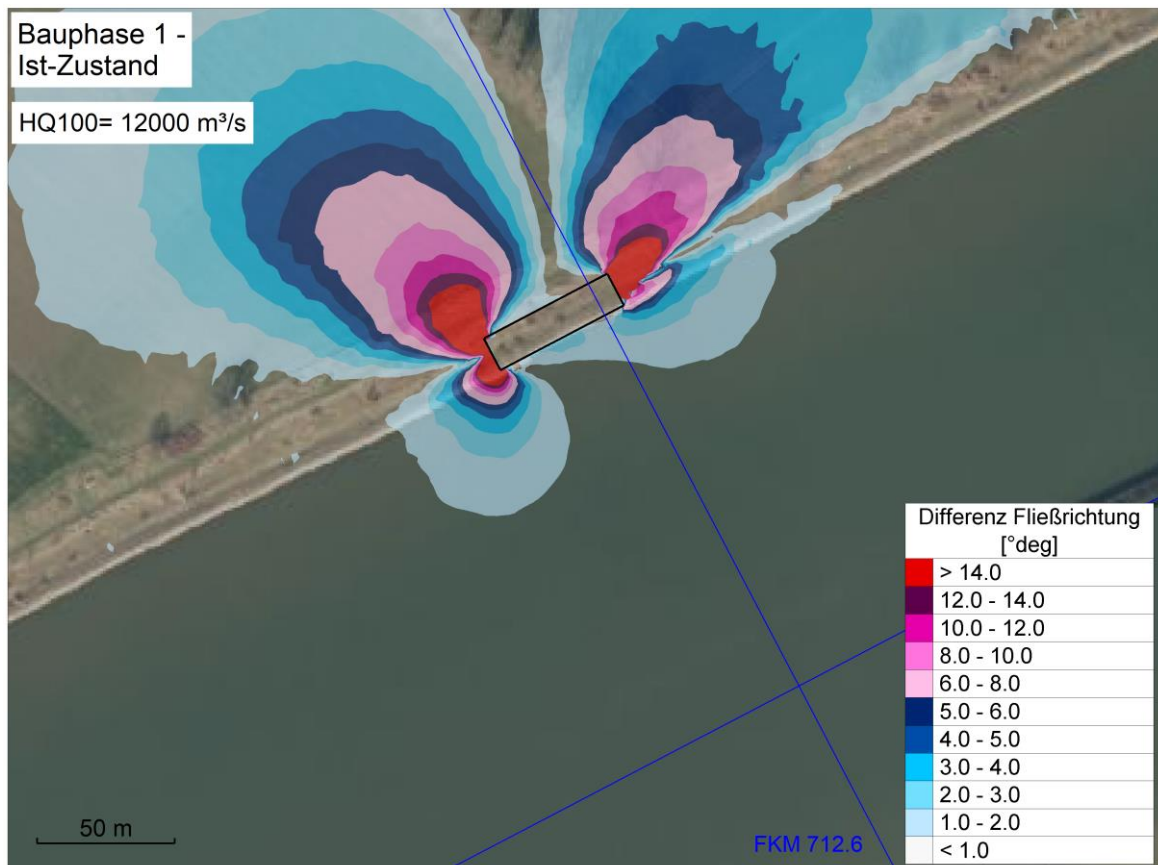


Abbildung 92: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ100

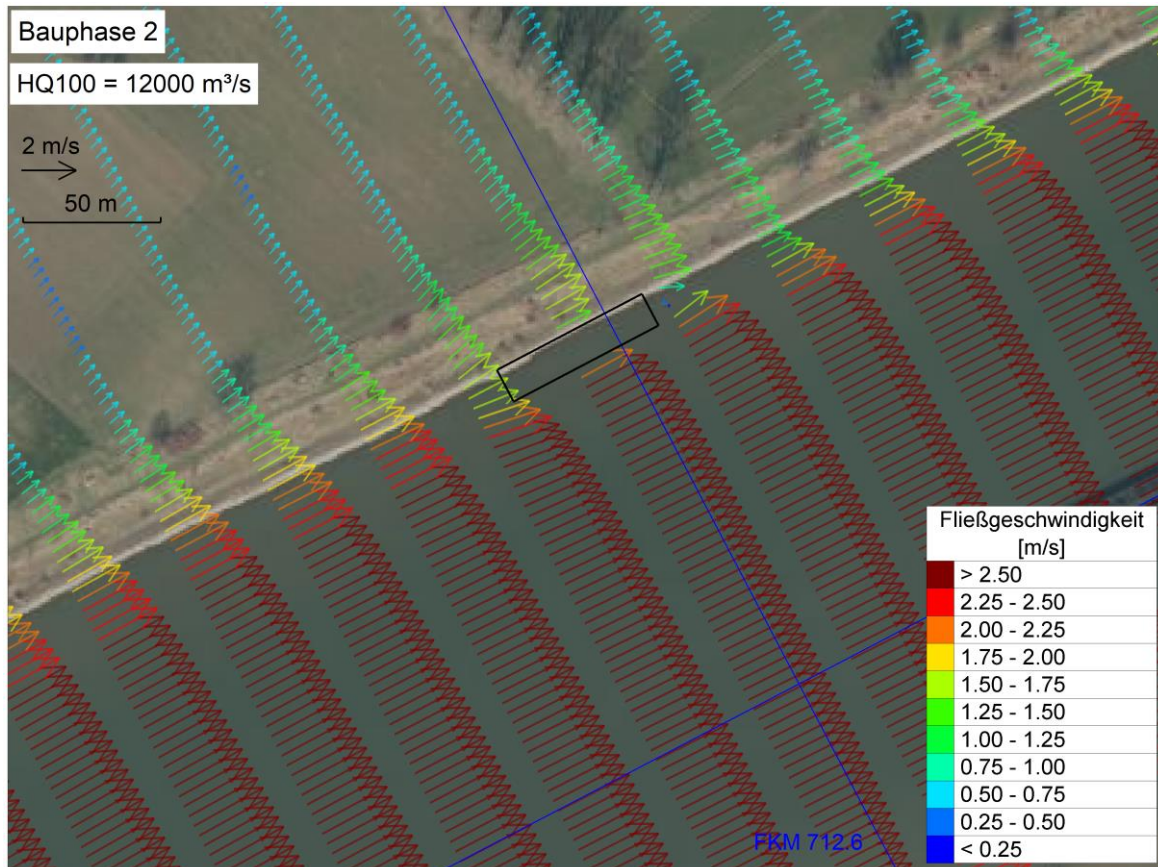


Abbildung 93: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ100

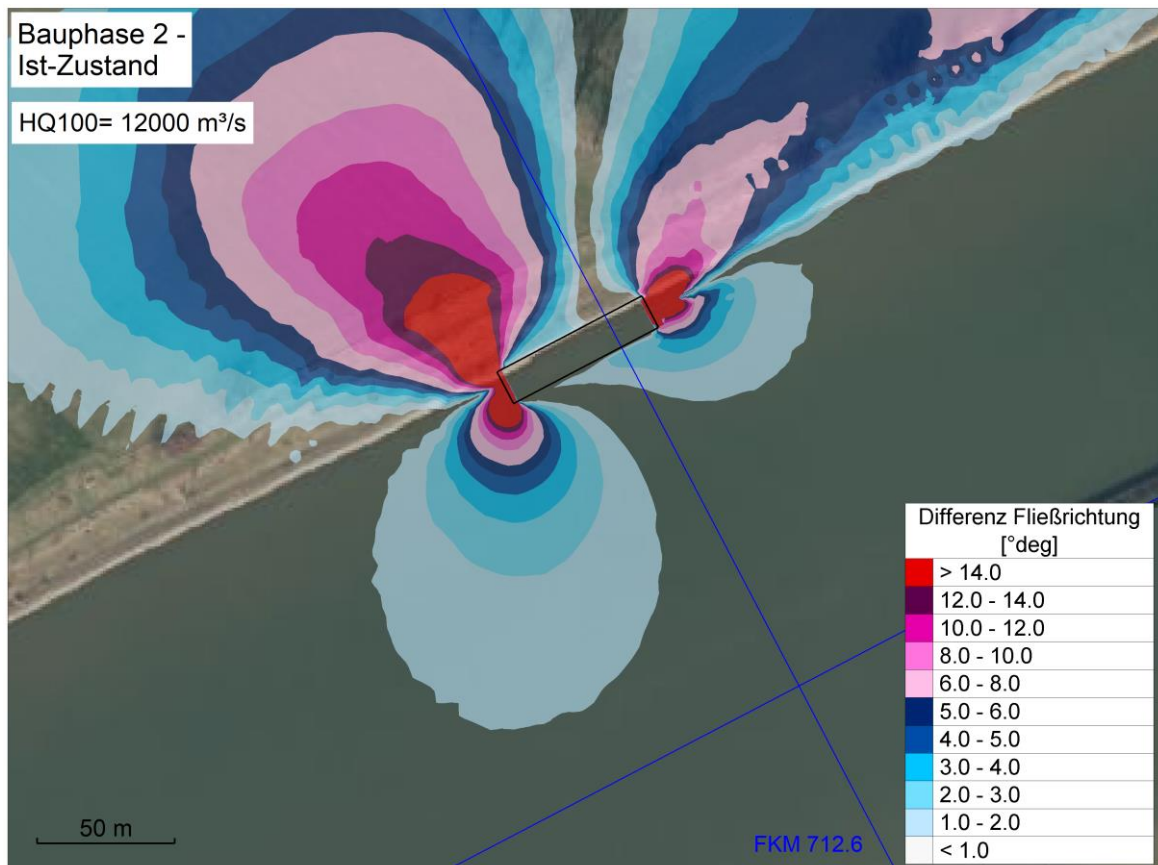


Abbildung 94: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ100

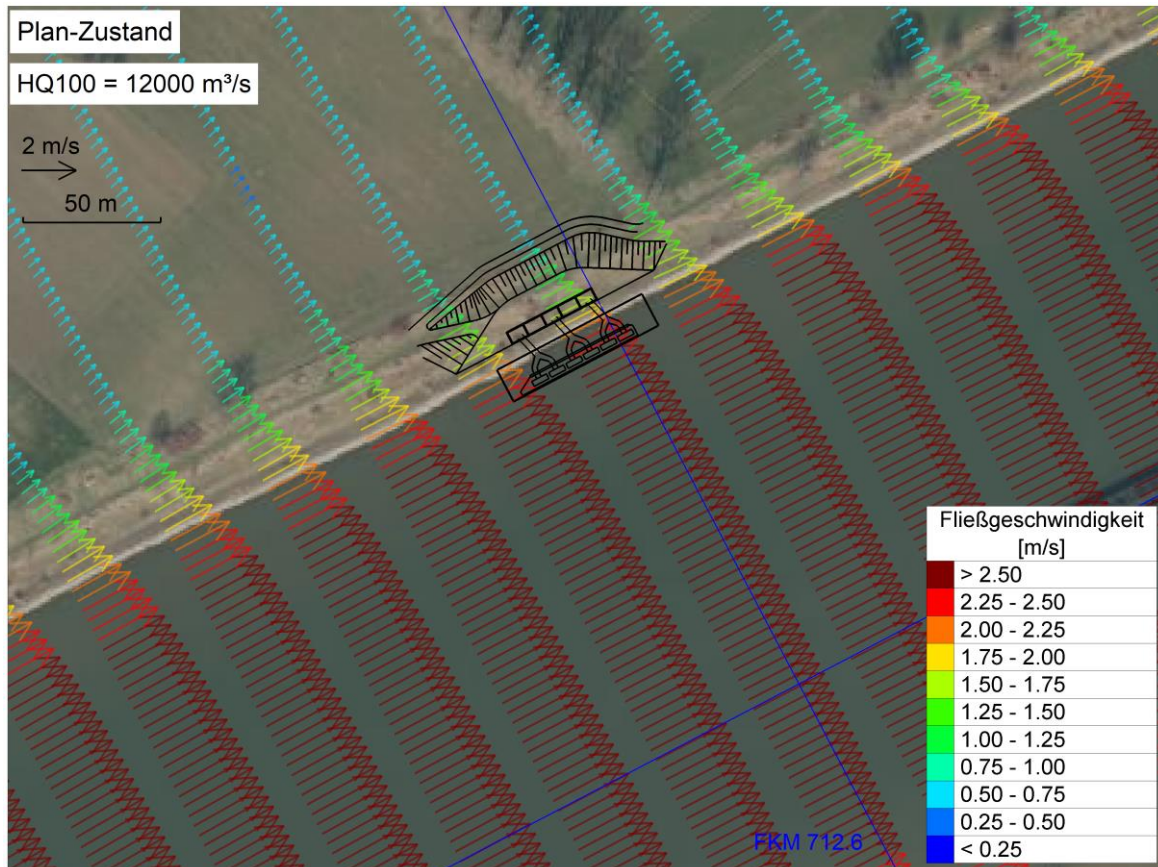


Abbildung 95: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ100

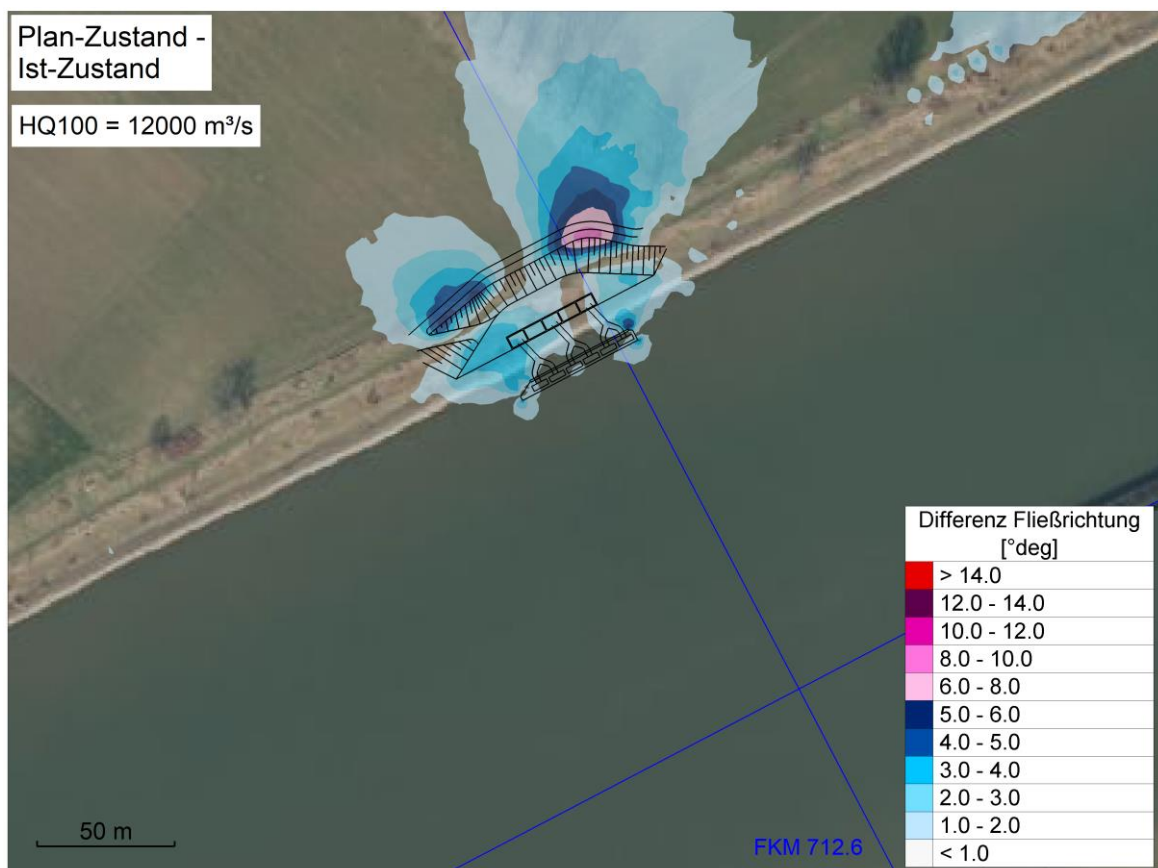


Abbildung 96: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ100

7.4.7. Lastfall BHQ2004

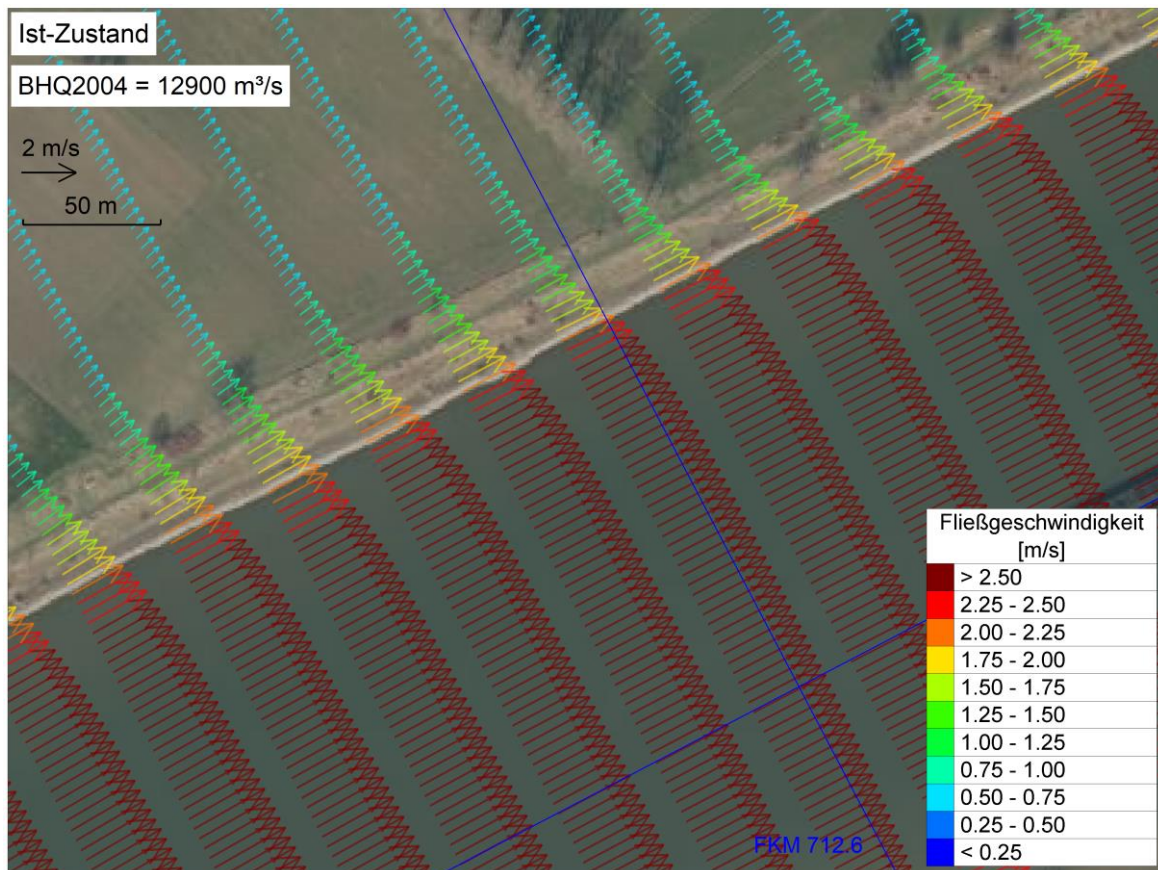


Abbildung 97: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, BHQ2004

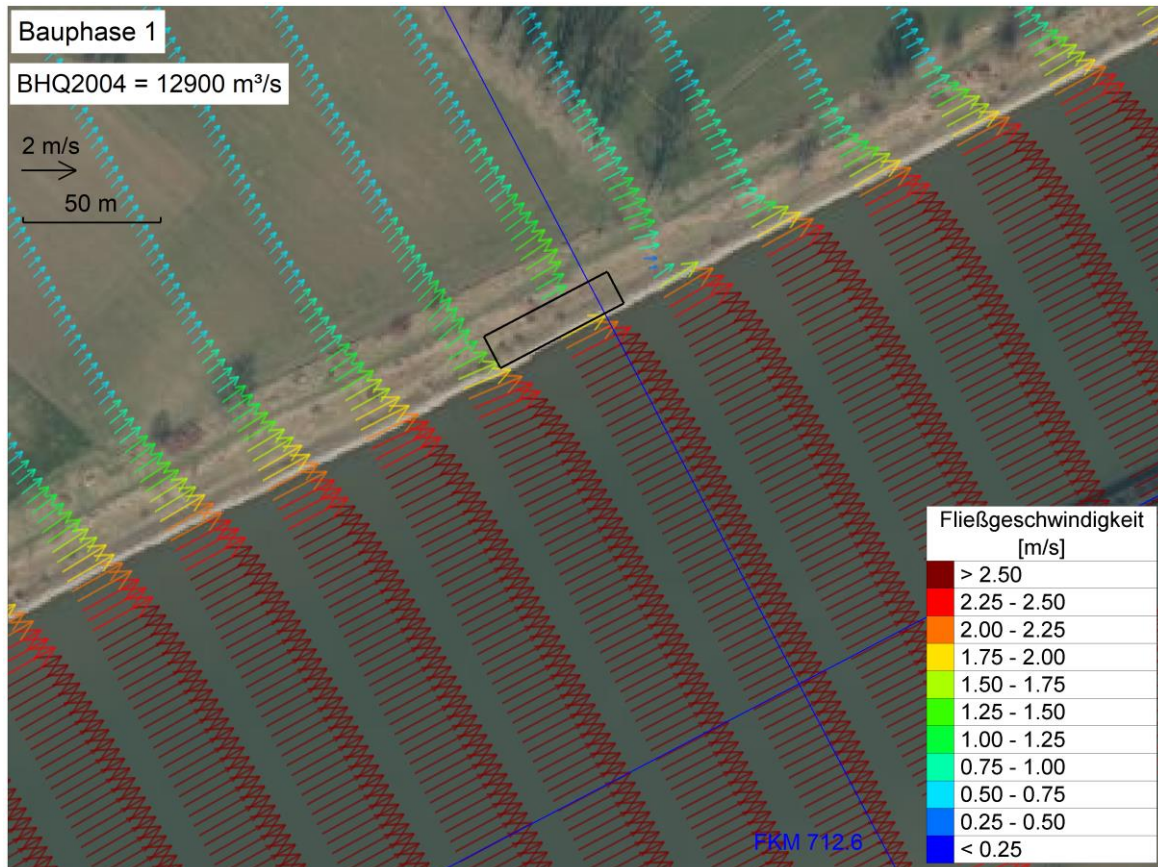


Abbildung 98: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, BHQ2004

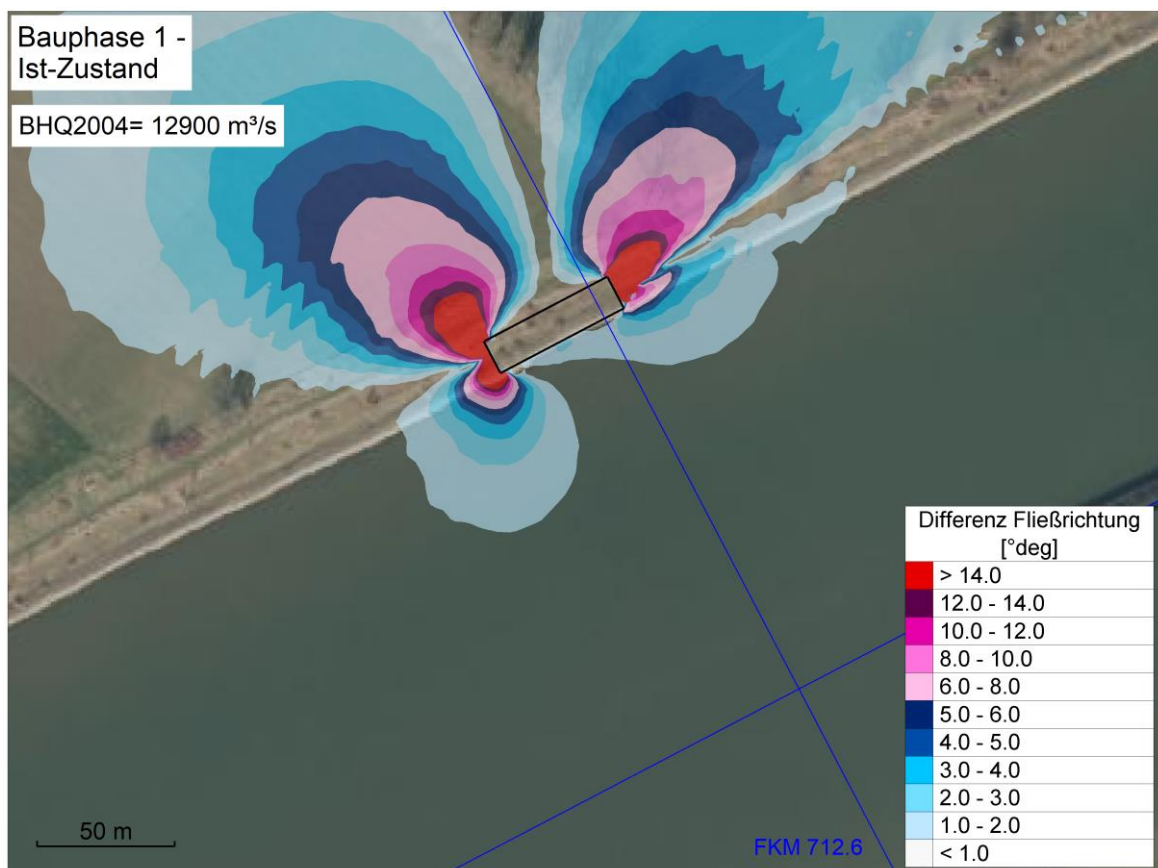


Abbildung 99: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 - Ist-Zustand, BHQ2004

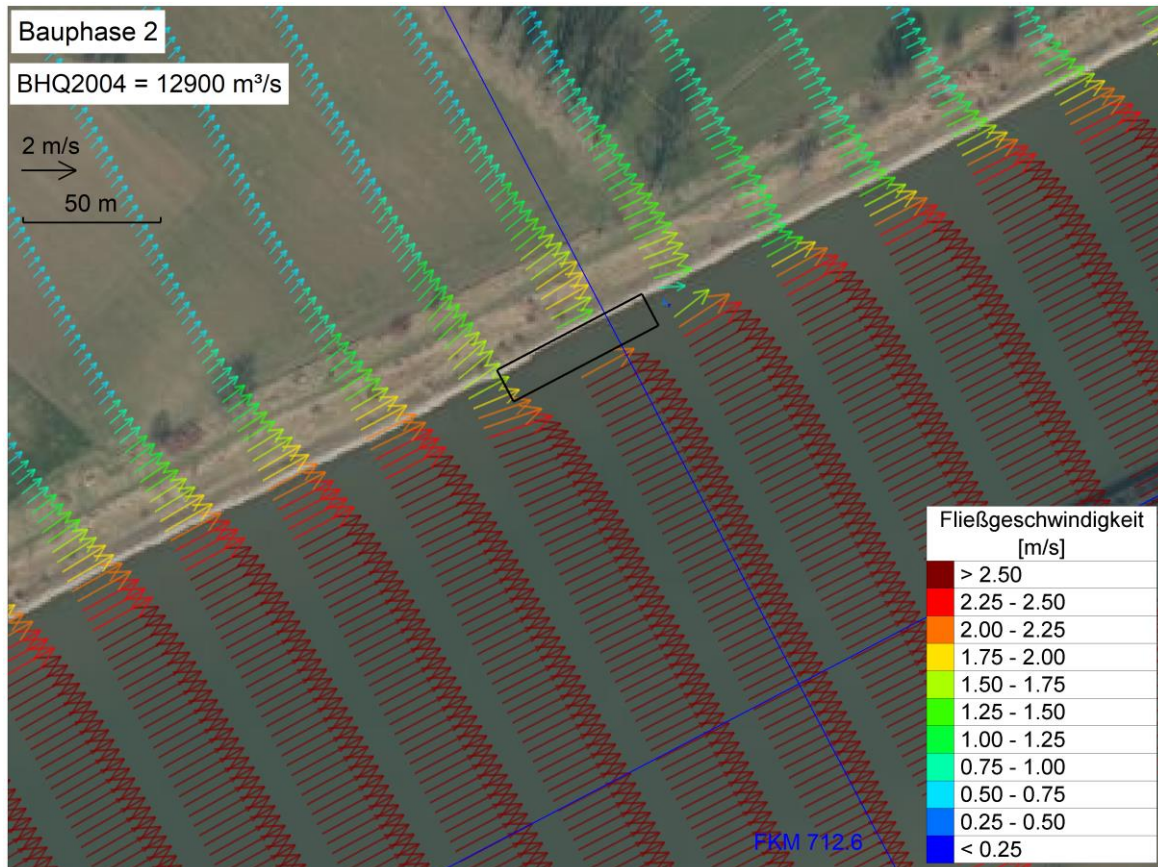


Abbildung 100: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, BHQ2004

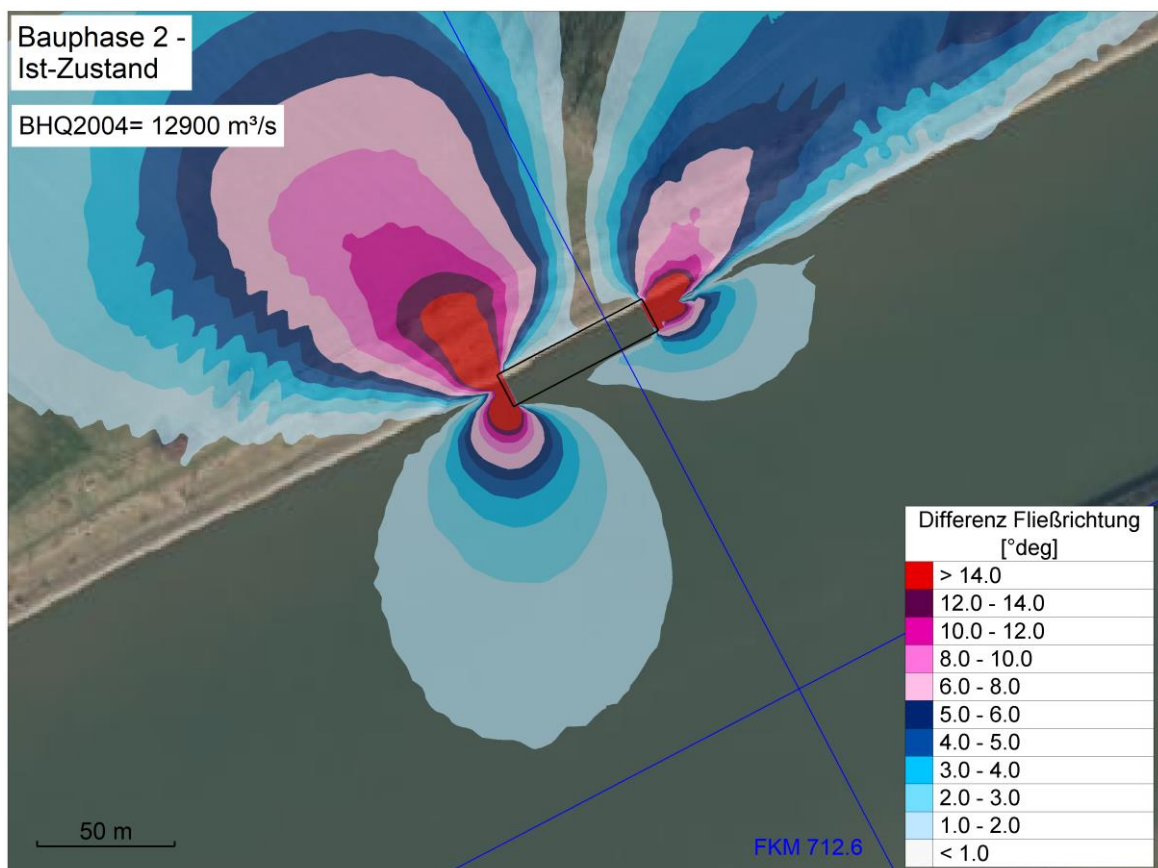


Abbildung 101: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 - Ist-Zustand, BHQ2004

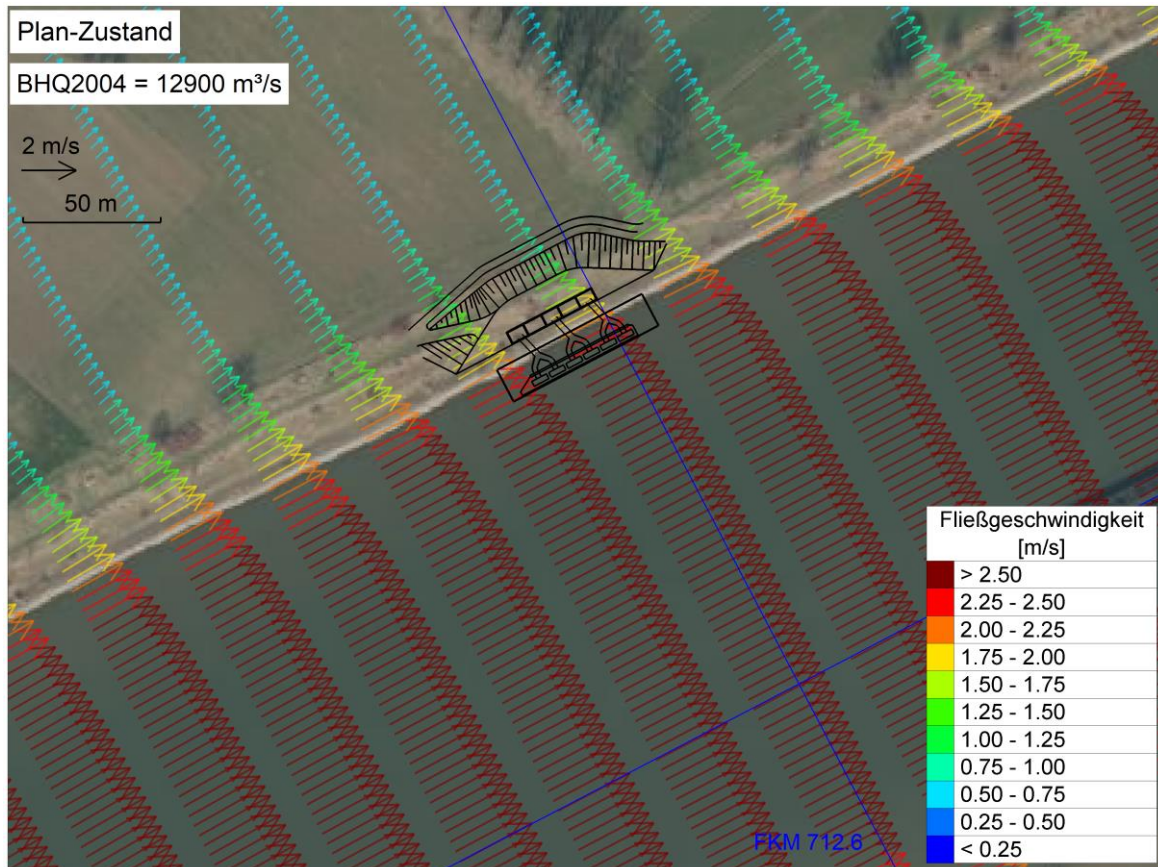


Abbildung 102: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, BHQ2004

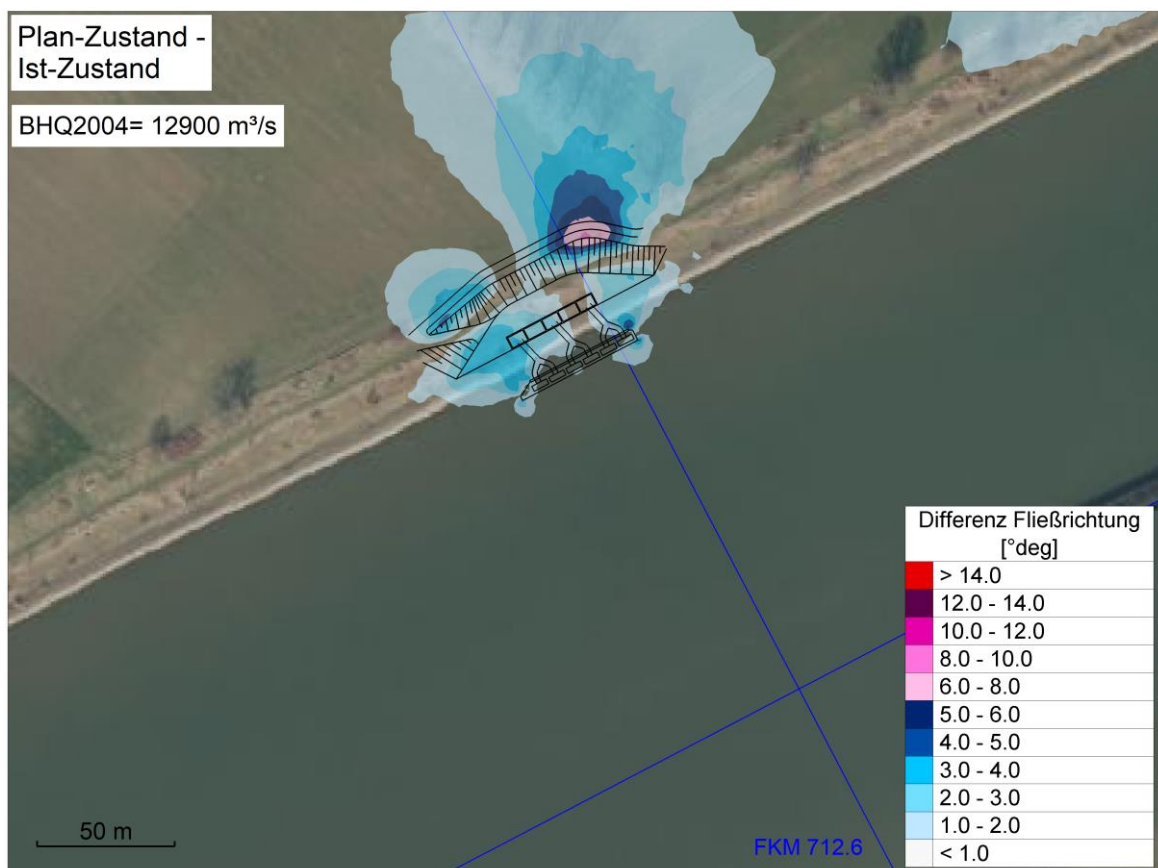


Abbildung 103: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, BHQ2004

7.5. Sohlschubspannungen

In den folgenden Unterkapiteln werden die berechneten Sohlschubspannungen sowie Sohlschubspannungsdifferenten zwischen Bauphase bzw. Plan-Zustand und Ist-Zustand für die untersuchten Abflüsse dargestellt und beschrieben. Zusätzlich wird mittels der Shields-Formel und der Annahme eines kritischen Shields-Parameters von 0.047 eine Abschätzung für den Grenzkorndurchmesser durchgeführt. Dabei wird die berechnete hydraulische Schubspannung angesetzt und nicht die auf das Korn effektiv einwirkende Schubspannung, welche um die auftretenden Formverluste reduziert ist.

Die hier durchgeführte Abschätzung des Grenzkorndurchmessers mittels der Shields-Formel und der hydraulischen Schubspannung soll nur dazu dienen, Größenordnungen der Grenzkorndurchmesser in den einzelnen Phasen und Lastfällen zu erhalten. Der tatsächliche Sedimenttransportbeginn ist von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig.

Anzumerken ist, dass das eingesetzte numerische Modell in einzelnen Netzknoten in den Wasserwechselzonen teilweise Schubspannungsspitzen berechnet, die eventuell nicht physikalisch sind. Auf diese wird in den Beschreibungen nicht eingegangen.

7.5.1. Lastfall NNQ2003

Beim Lastfall NNQ2003 treten im Ist-Zustand, in den Bauphasen 1 und 2 sowie im Plan-Zustand im Bereich des Entnahmebauwerks Sohlschubspannungen mit maximalen Werten von rund 10 N/m^2 auf. Der Grenzkorndurchmesser beträgt rund 0.013 m .

Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand keine merklichen Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

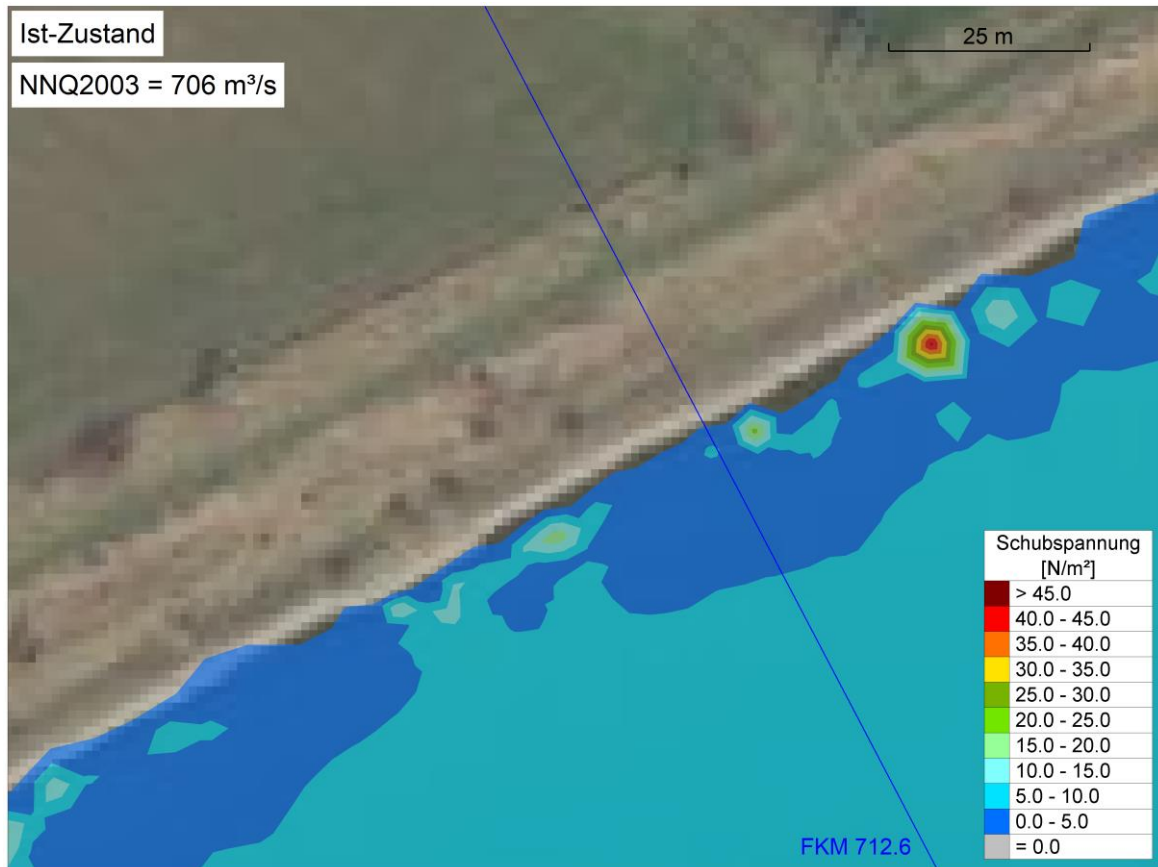


Abbildung 104: Schubspannungen, Ist-Zustand, NNQ2003

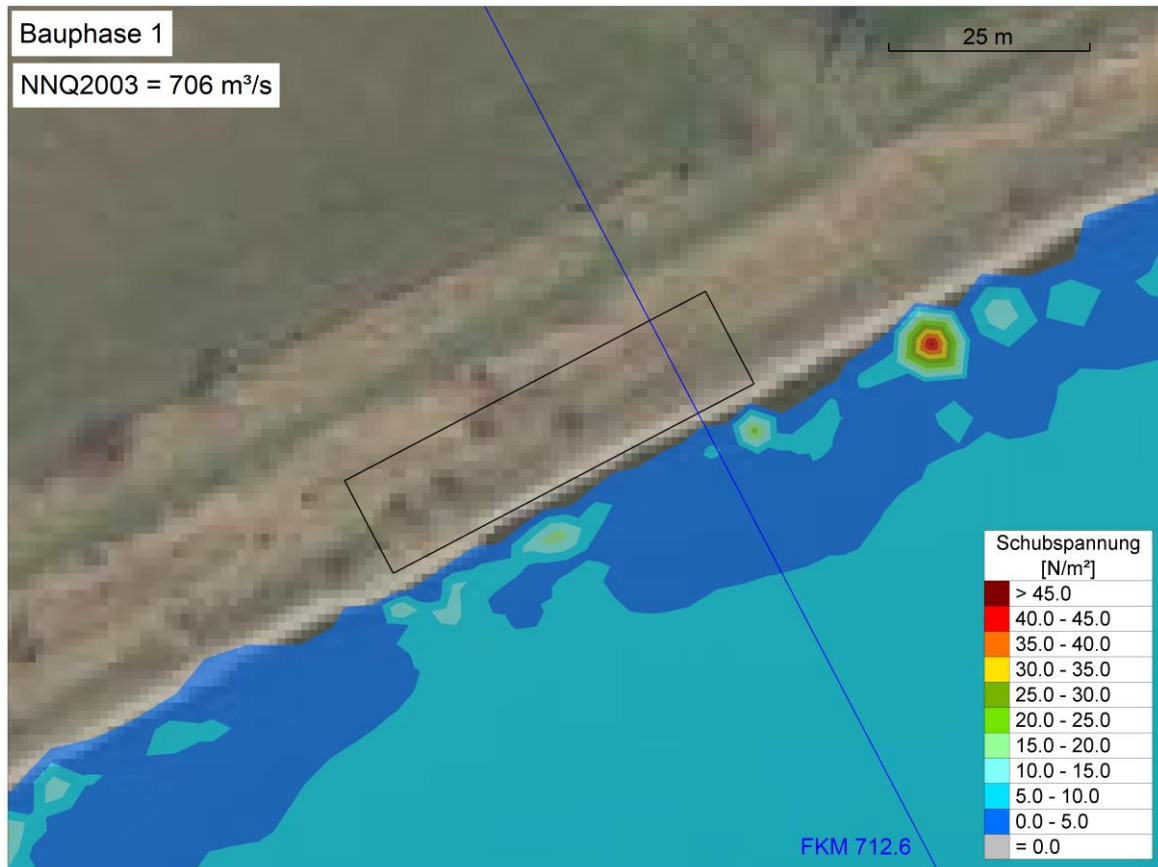


Abbildung 105: Schubspannungen, Bauphase 1, NNQ2003



Abbildung 106: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, NNQ2003

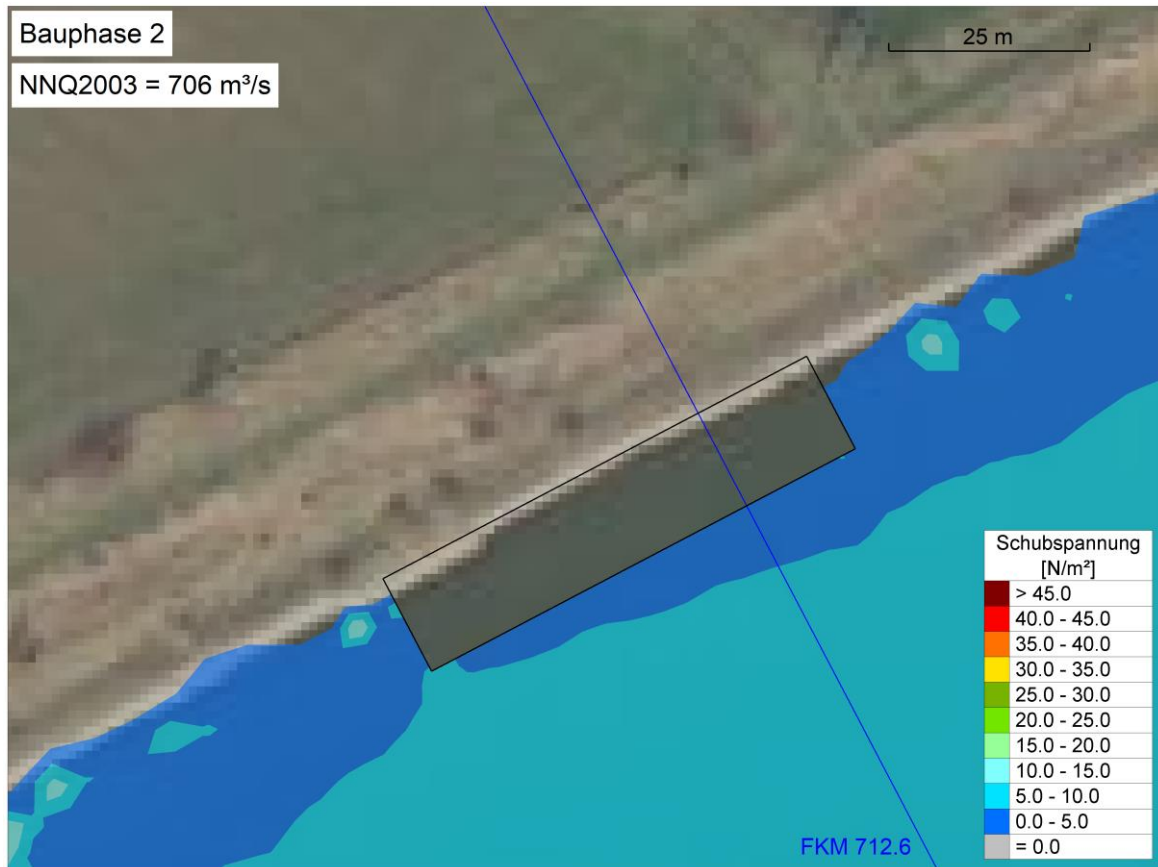


Abbildung 107: Schubspannungen, Bauphase 2, NNQ2003



Abbildung 108: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, NNQ2003

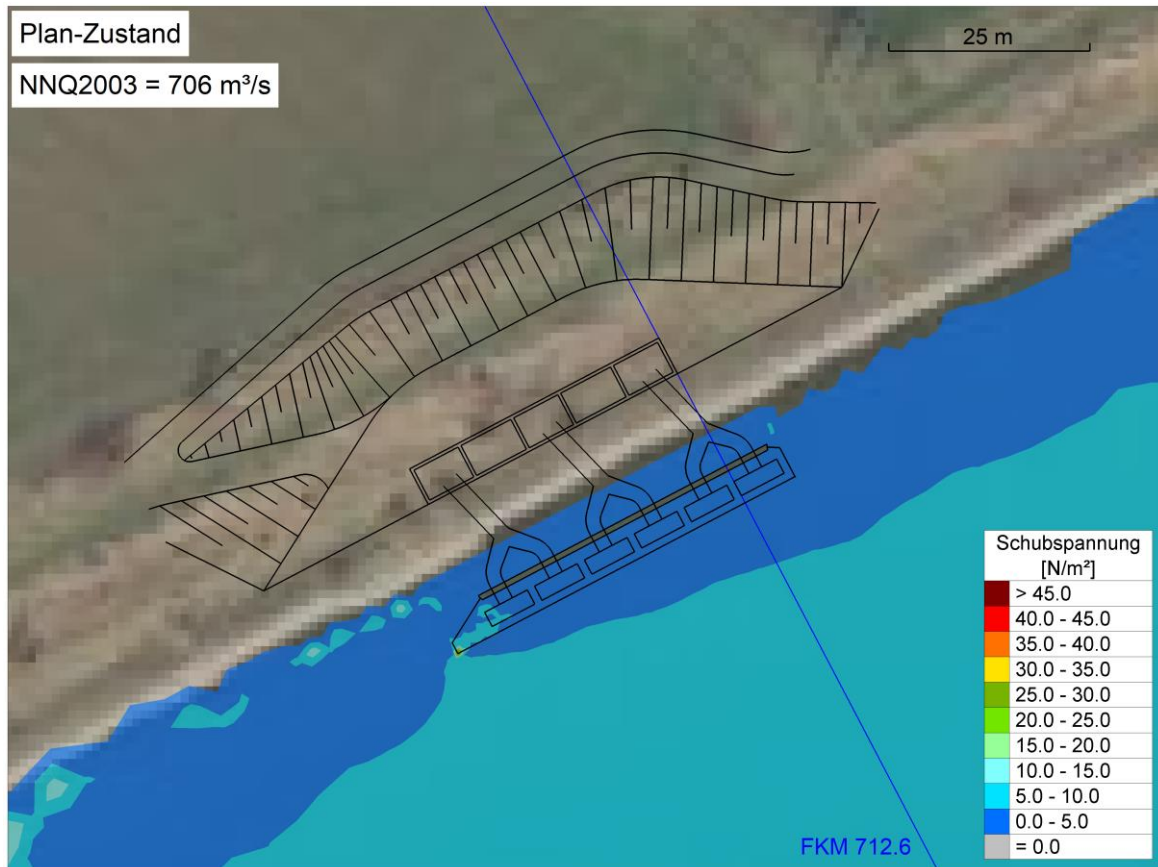


Abbildung 109: Schubspannungen, Plan-Zustand, NNQ2003



Abbildung 110: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, NNQ2003

7.5.2. Lastfall MQ

Beim Mittelwasserlastfall MQ werden im Ist-Zustand, in den Bauphasen 1 und 2 sowie im Plan-Zustand im Bereich des Entnahmebauwerks Sohlschubspannungen mit maximalen Werten von rund 15 N/m^2 berechnet. Der Grenzkorndurchmesser beträgt rund 0.020 m .

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich In Bauphase 2 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 2 N/m^2 . In Bauphase 1 und im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m^2 . Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

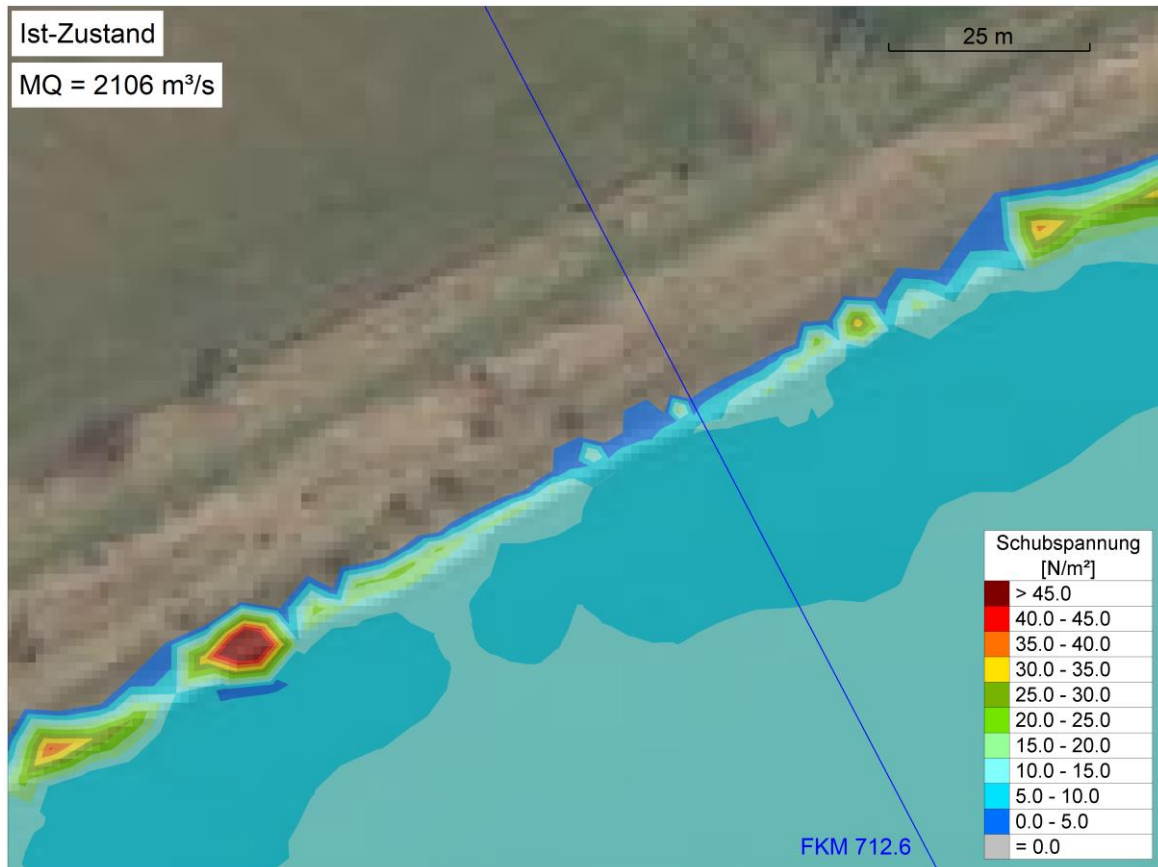


Abbildung 111: Schubspannungen, Ist-Zustand, MQ

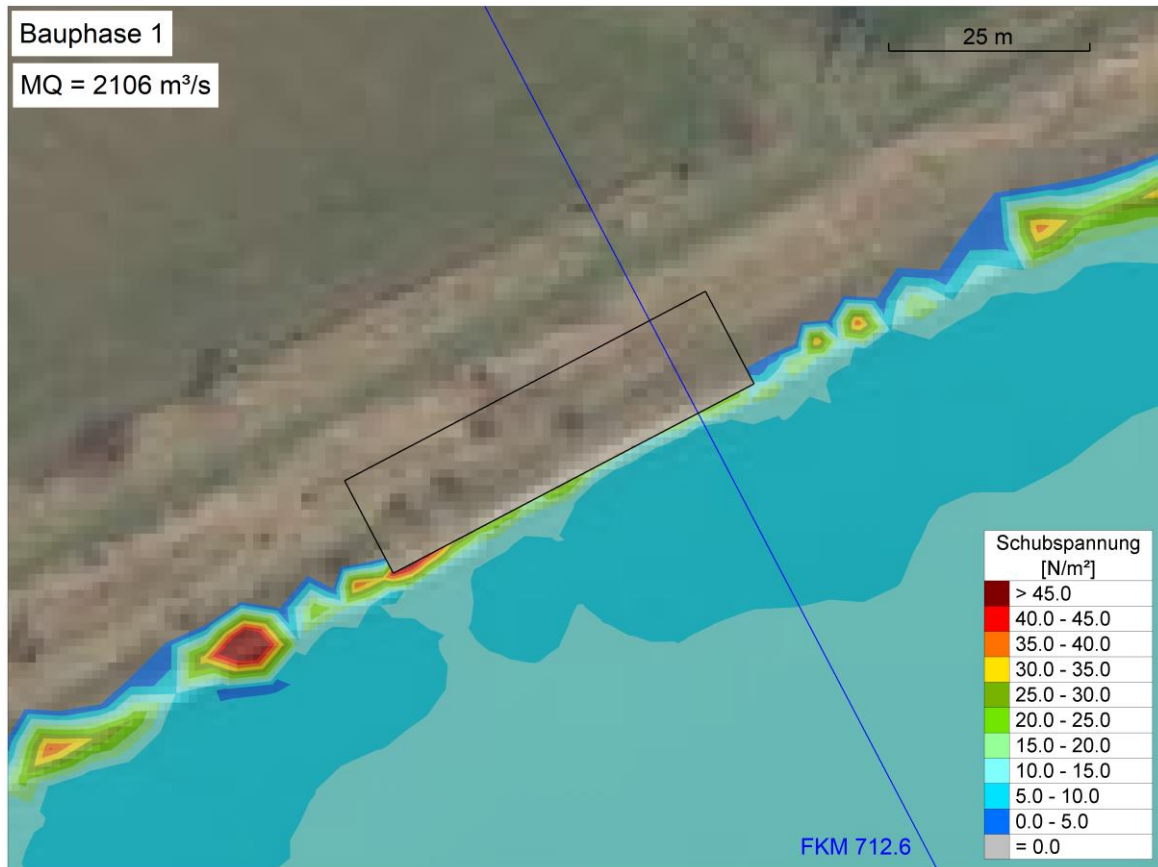


Abbildung 112: Schubspannungen, Bauphase 1, MQ



Abbildung 113: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, MQ

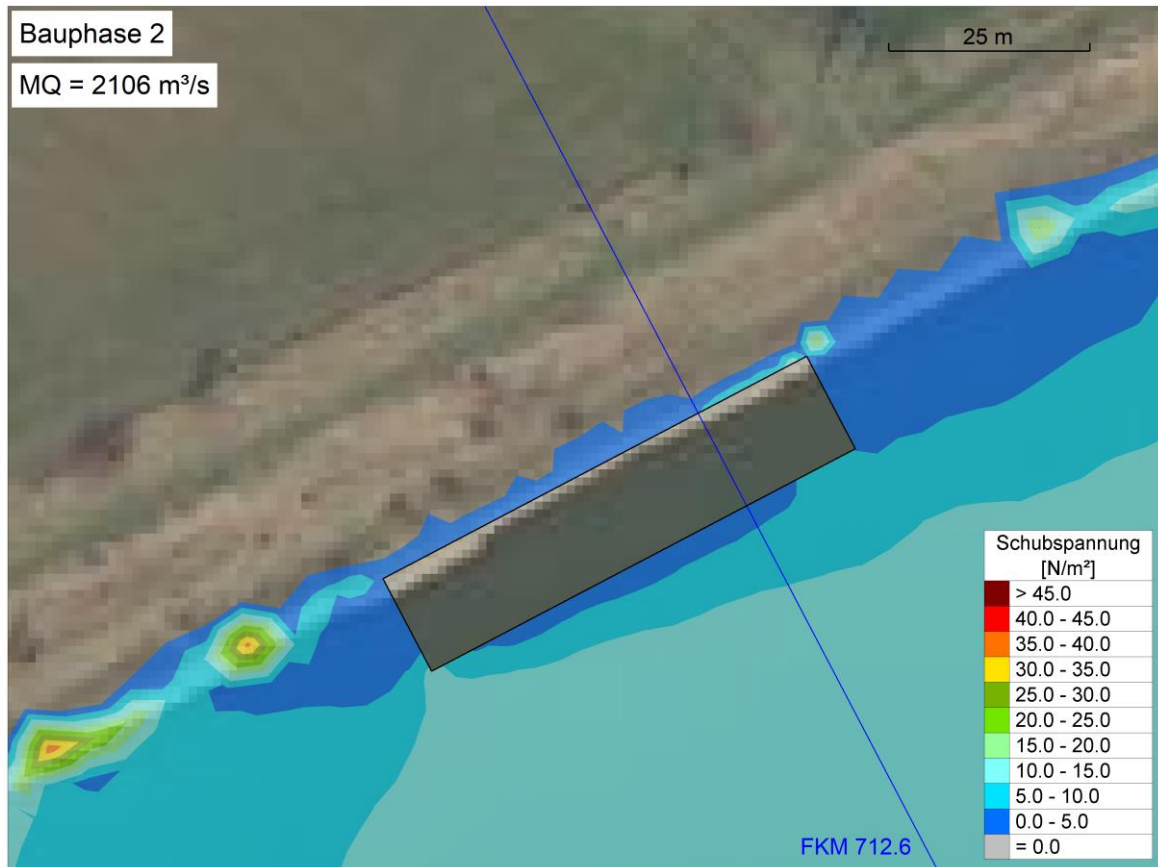


Abbildung 114: Schubspannungen, Bauphase 2, MQ



Abbildung 115: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, MQ

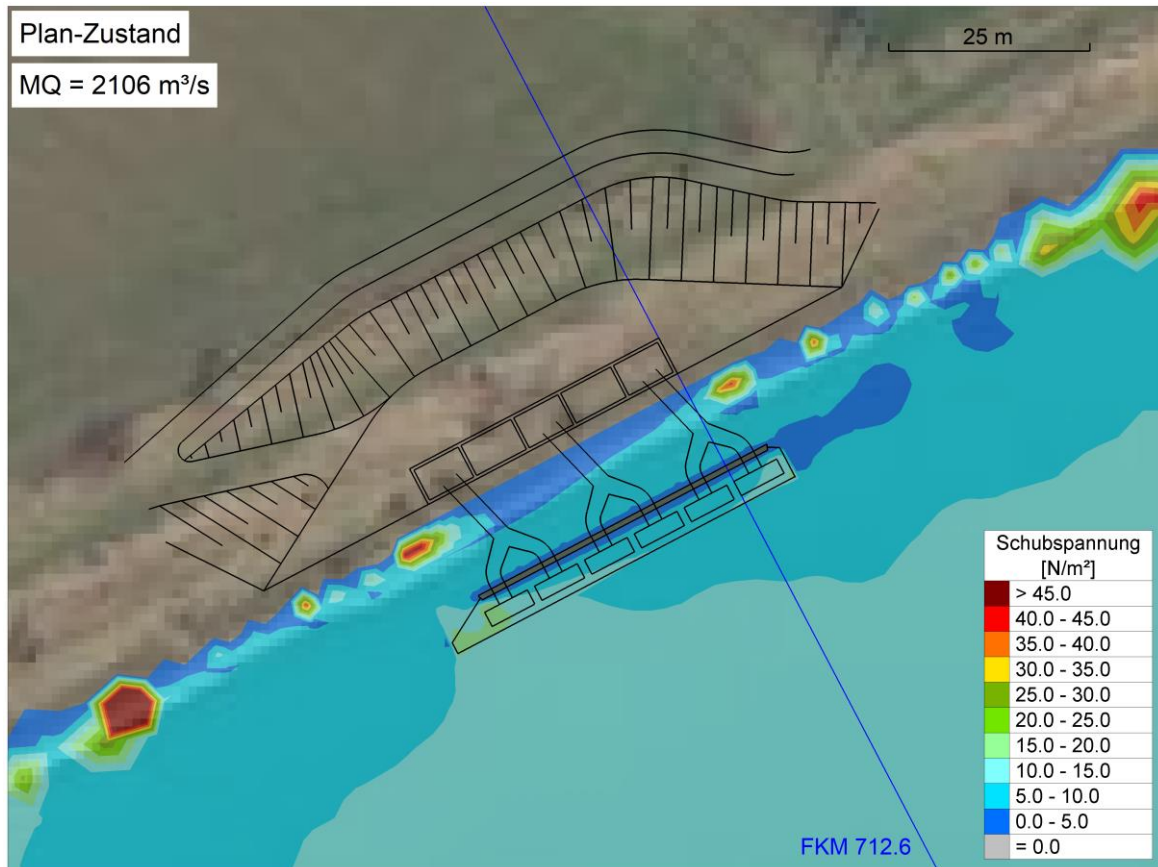


Abbildung 116: Schubspannungen, Plan-Zustand, MQ



Abbildung 117: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, MQ

7.5.3. Lastfall $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

Beim Mittelwasserlastfall $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$ werden im Ist-Zustand, in den Bauphasen 1 und 2 sowie im Plan-Zustand im Bereich des Entnahmebauwerks Sohlschubspannungen mit maximalen Werten von rund 20 N/m^2 berechnet. Der Grenzkorndurchmesser beträgt rund 0.026 m .

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich In Bauphase 2 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 2.5 N/m^2 . In Bauphase 1 und im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m^2 . Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

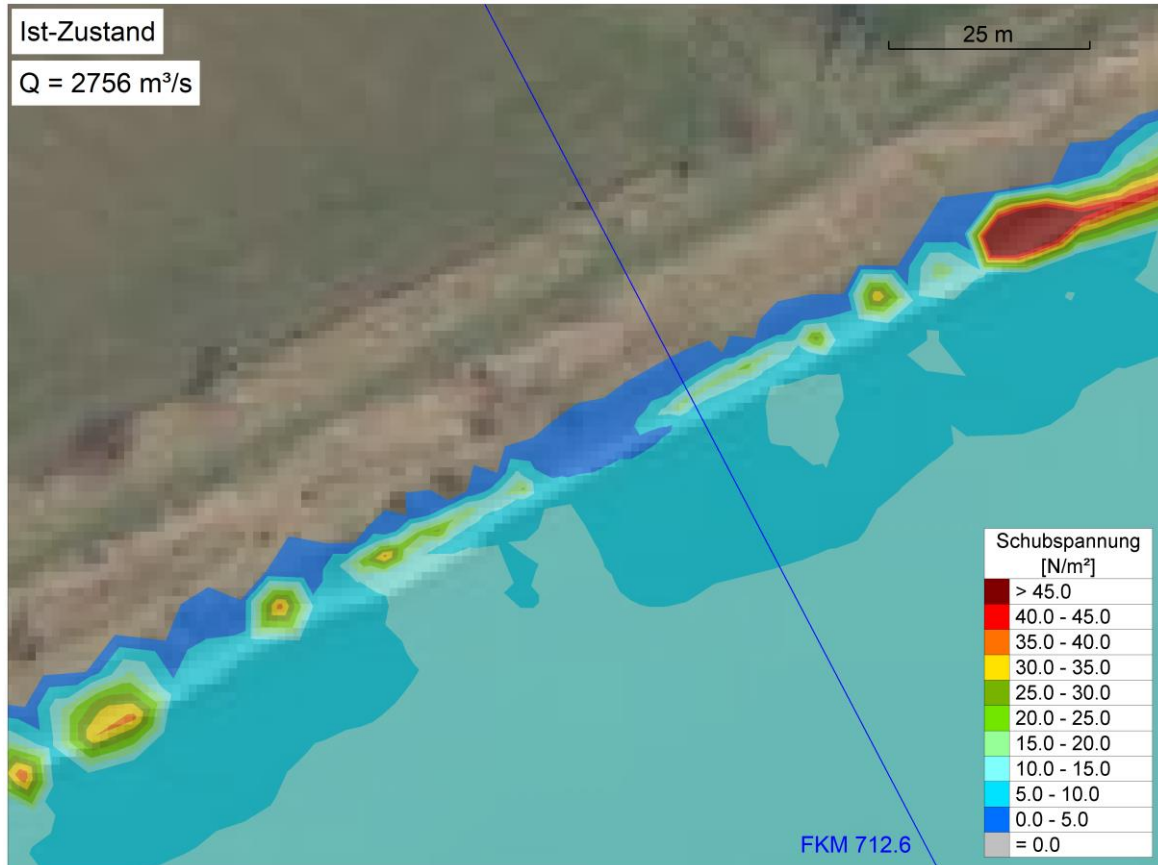


Abbildung 118: Schubspannungen, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

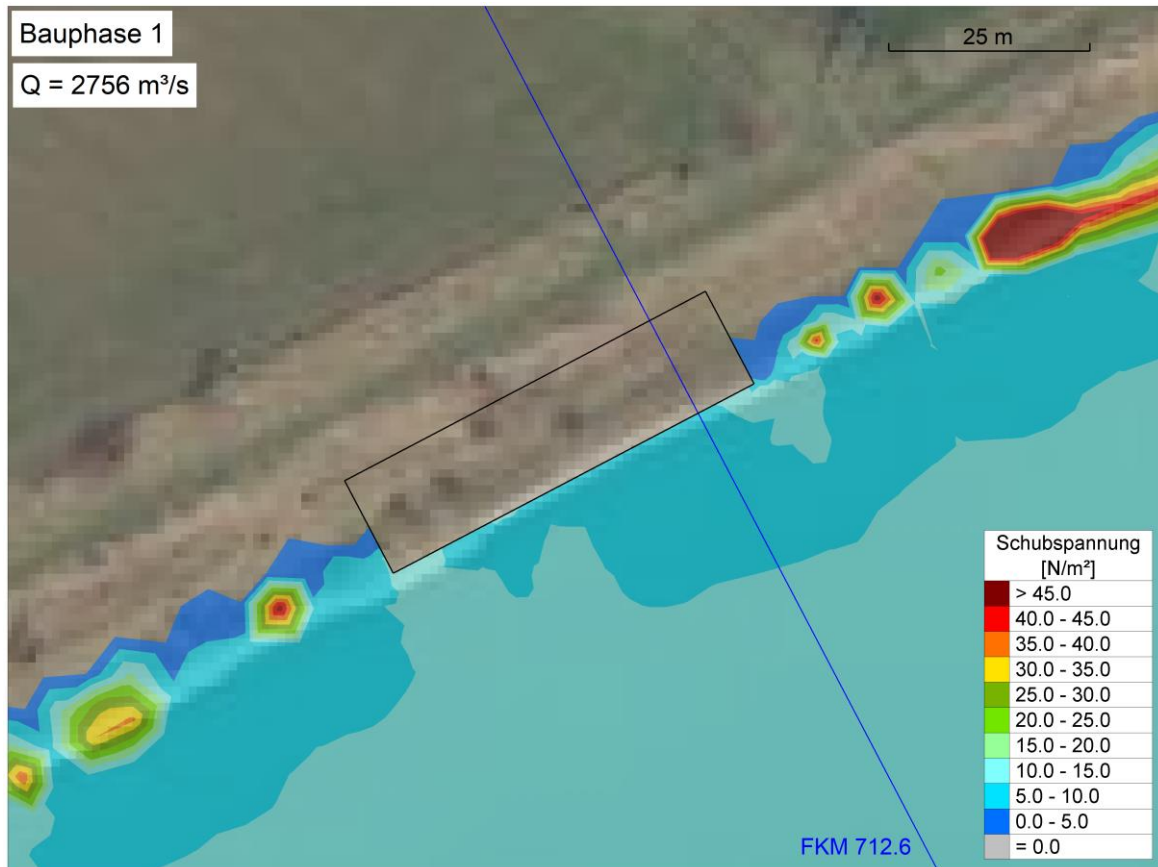


Abbildung 119: Schubspannungen, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$



Abbildung 120: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

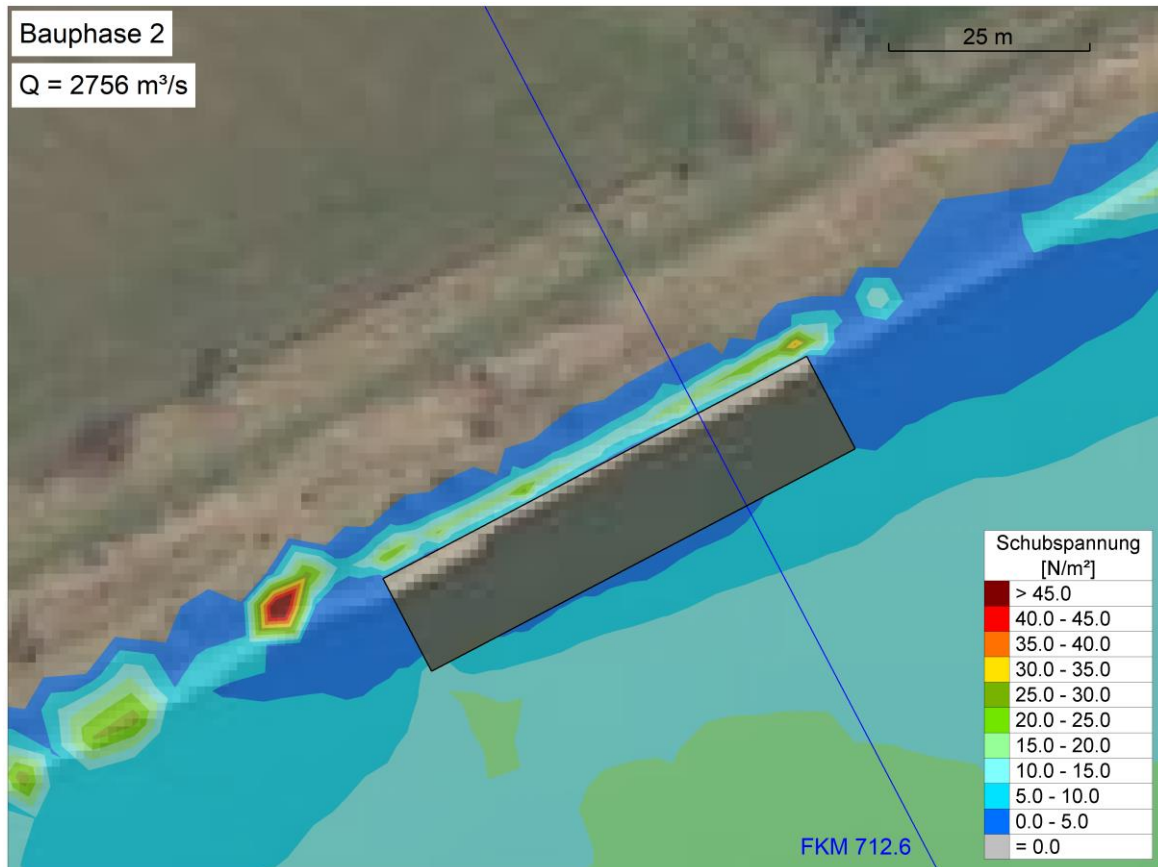


Abbildung 121: Schubspannungen, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

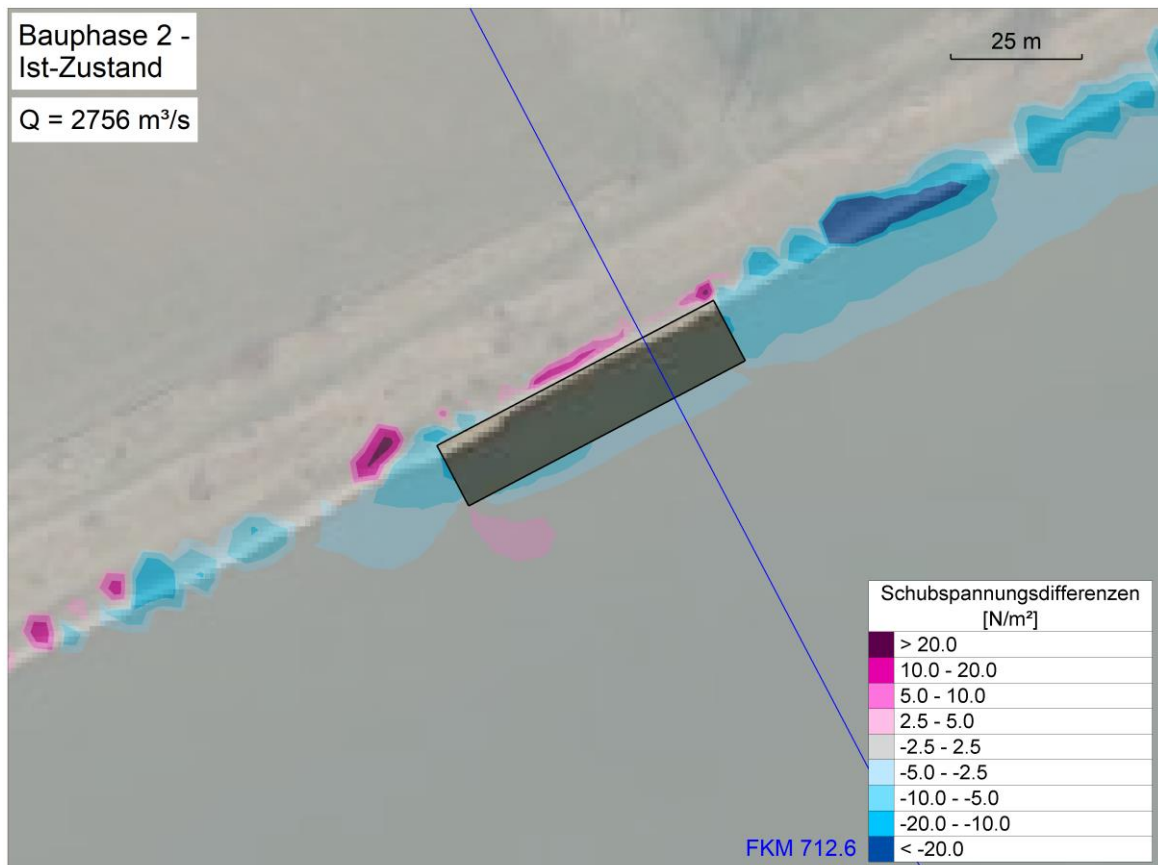


Abbildung 122: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

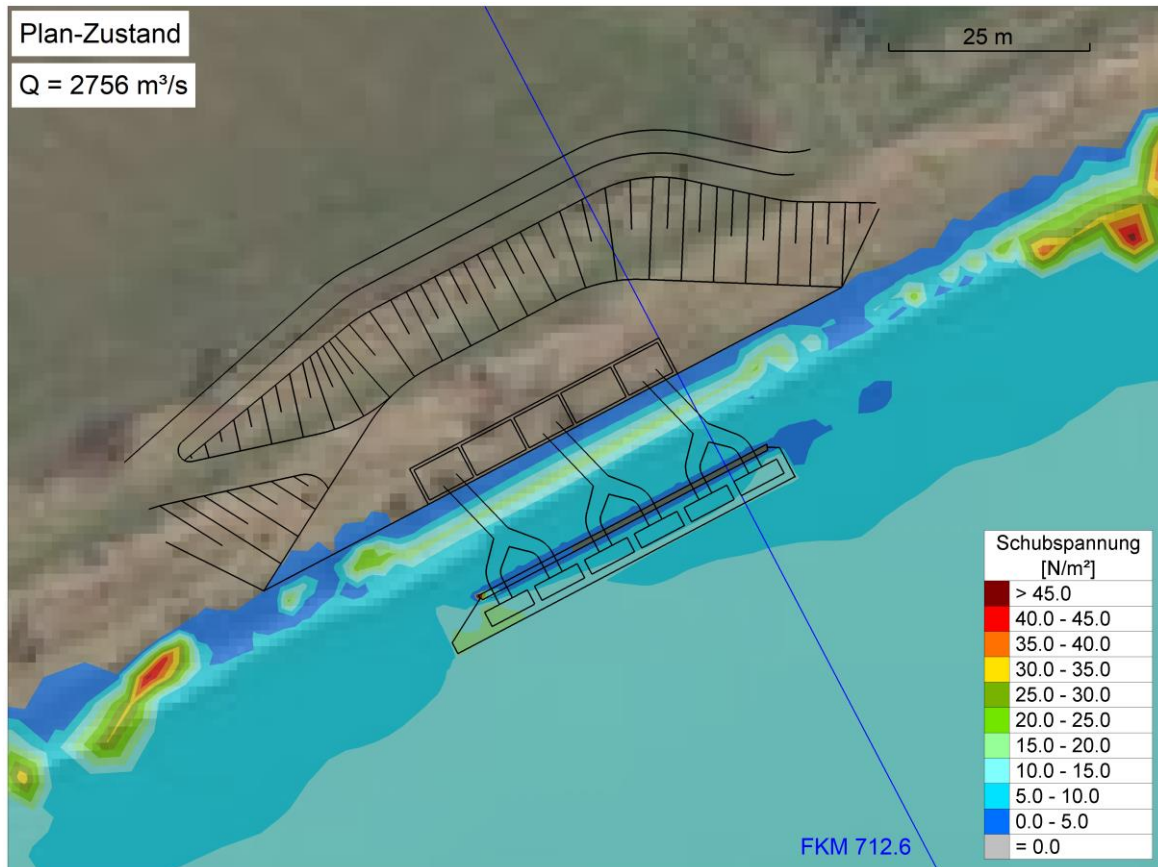


Abbildung 123: Schubspannungen, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

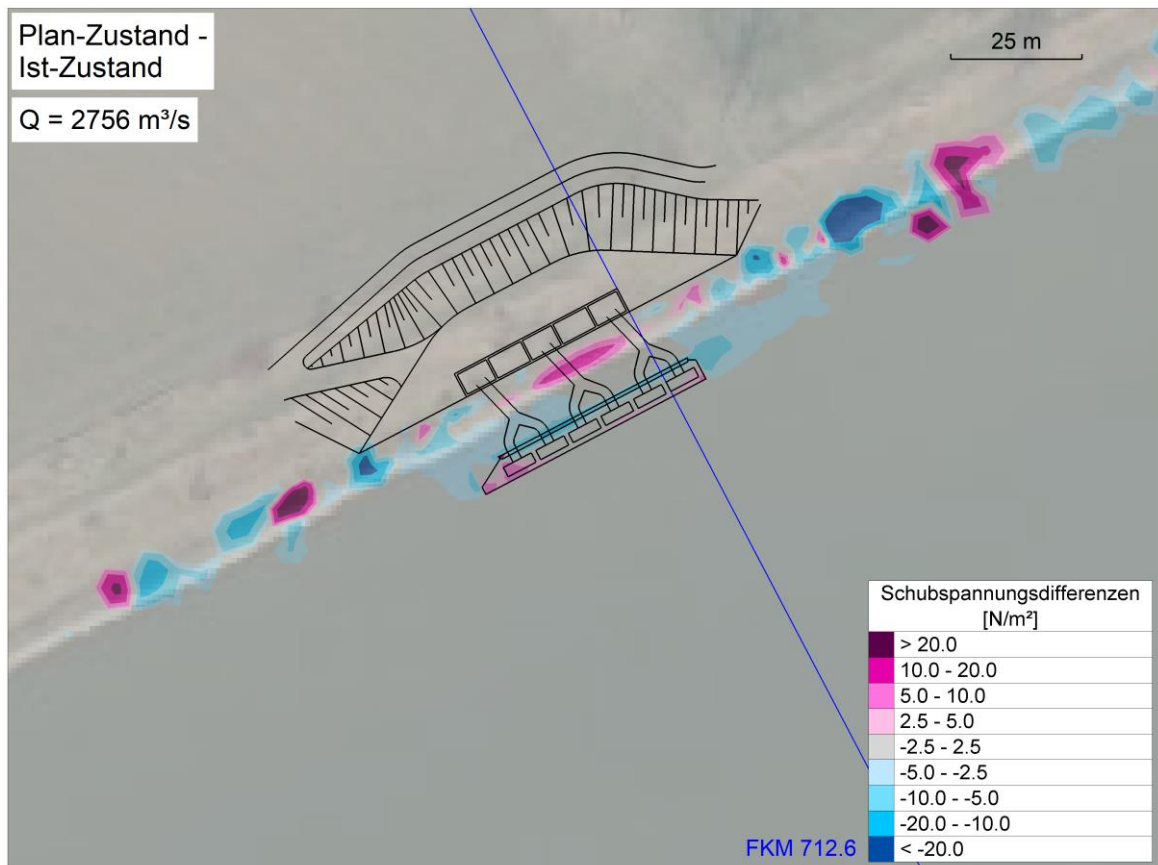


Abbildung 124: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

7.5.4. Lastfall HQ1

Beim Hochwasserlastfall HQ1 werden in Bauphase 1 gegenüber dem Ist-Zustand geringere Sohlschubspannungen im Bereich der Baugrube berechnet. In Bauphase 2 bewirkt die Einhausung gegenüber dem Ist-Zustand eine geringe Erhöhung der Schubspannungen orographisch links der Baugrube. Im Ist-Zustand betragen dort die maximalen Schubspannungen rund 30 N/m^2 und der Grenzkorndurchmesser beträgt rund 0.04 m . Die Schubspannungen betragen in Bauphase 2 maximal 40 N/m^2 , mit einem Grenzkorndurchmesser von 0.05 m .

Im Plan-Zustand kommt es gegenüber dem Ist-Zustand lokal ebenfalls zu geringen Erhöhungen der Schubspannungen von rund 10 N/m^2 im Bereich des Entnahmebauwerks. Die maximalen Schubspannungen betragen dabei 50 bis 60 N/m^2 . Der im Ist-Zustand lokale Grenzkorndurchmesser von rund 0.07 m wird im Plan-Zustand auf 0.08 m vergrößert.

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich in Bauphase 2 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 3.0 N/m^2 . In Bauphase 1 und im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m^2 . Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

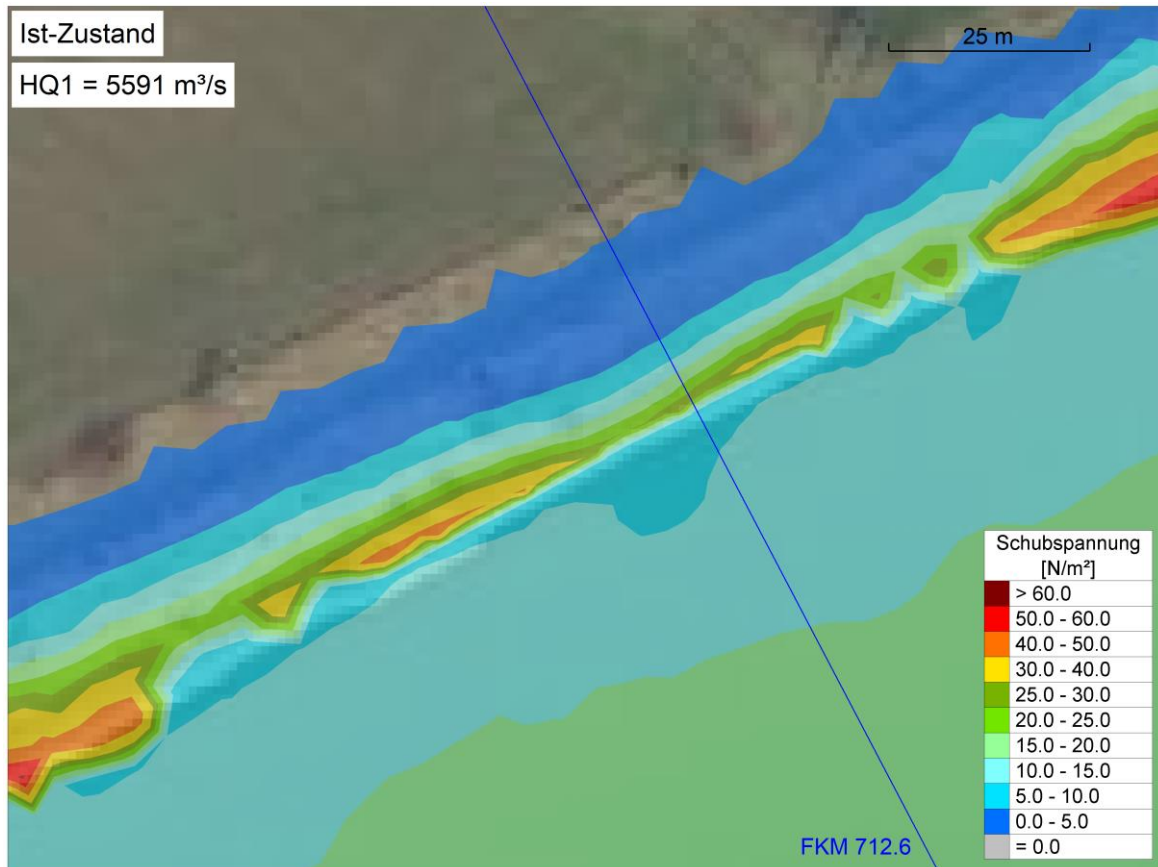


Abbildung 125: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ1

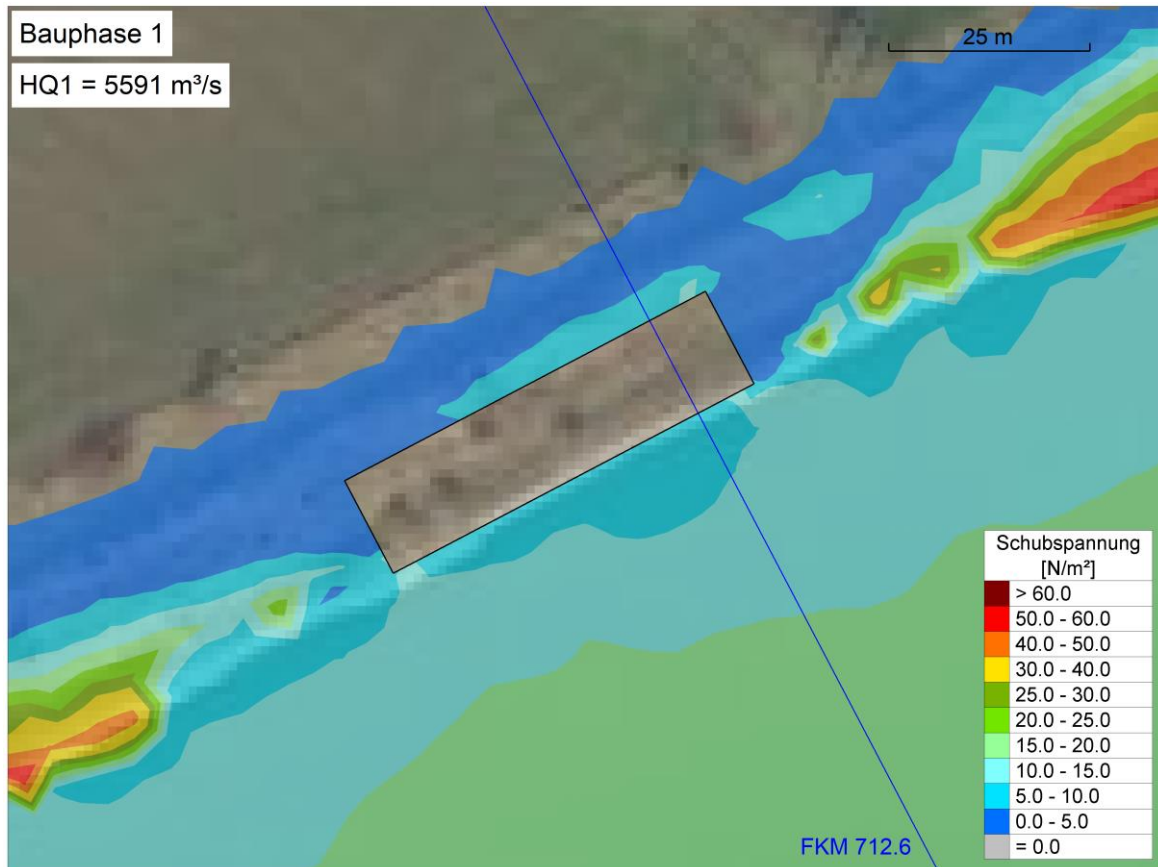


Abbildung 126: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ1

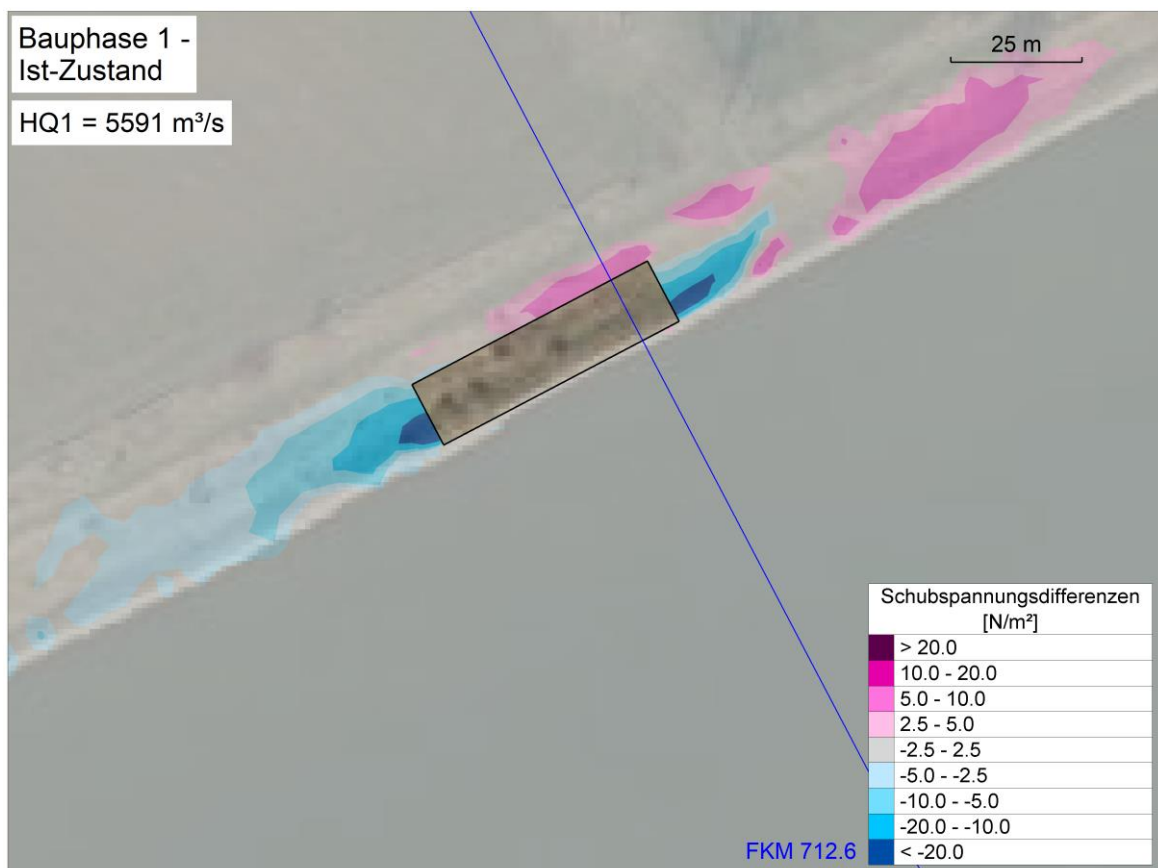


Abbildung 127: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ1

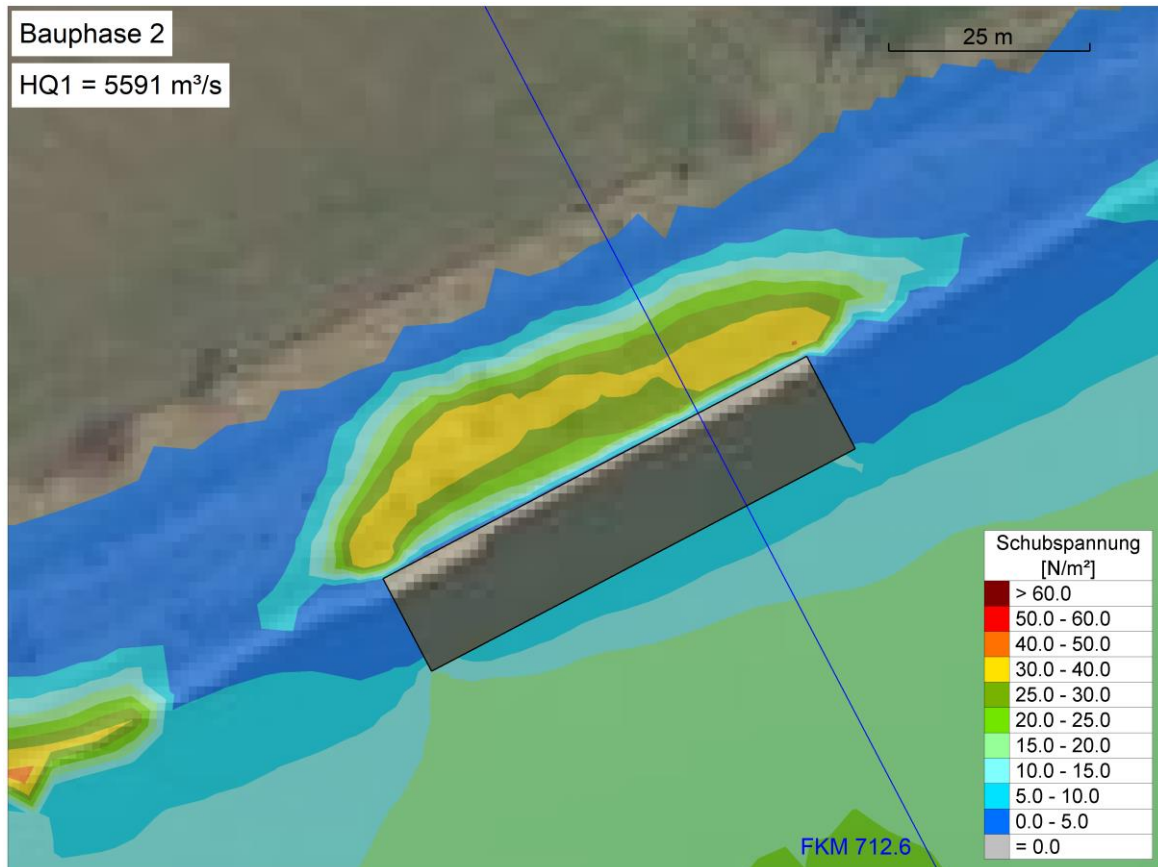


Abbildung 128: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ1

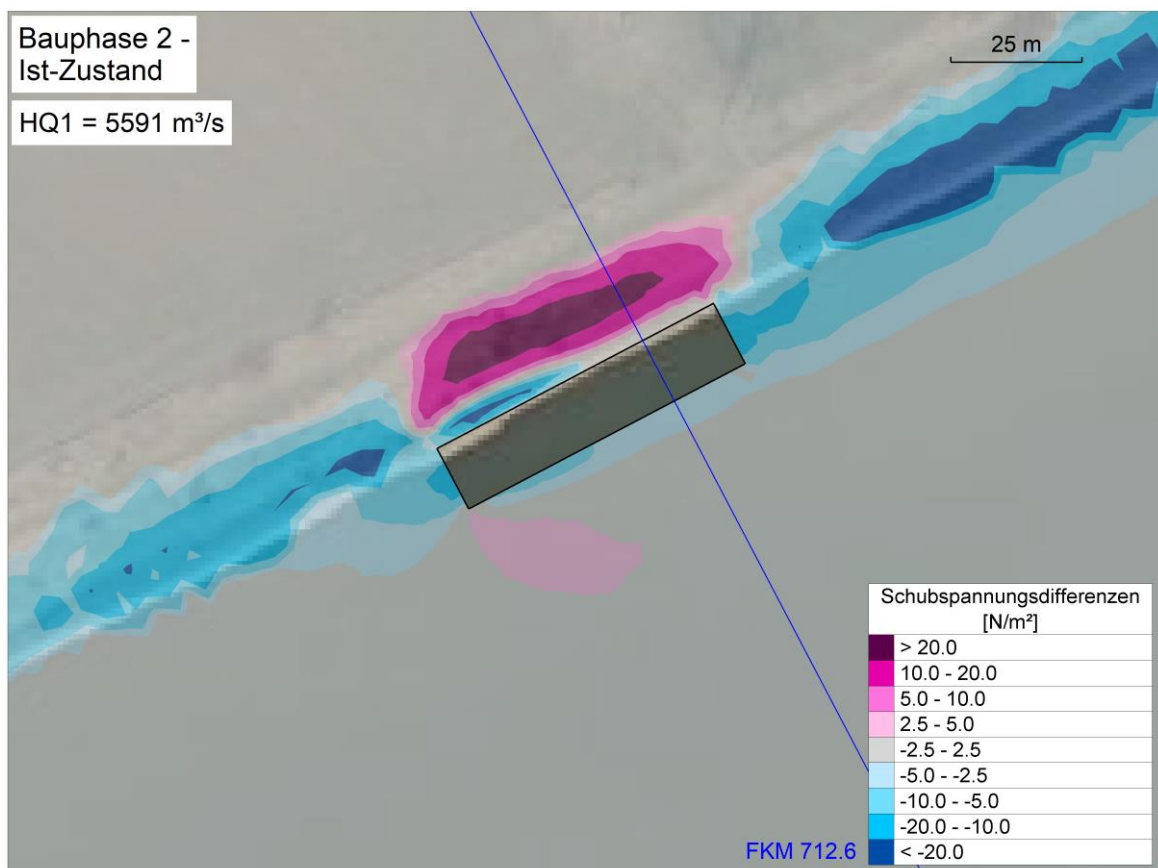


Abbildung 129: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ1

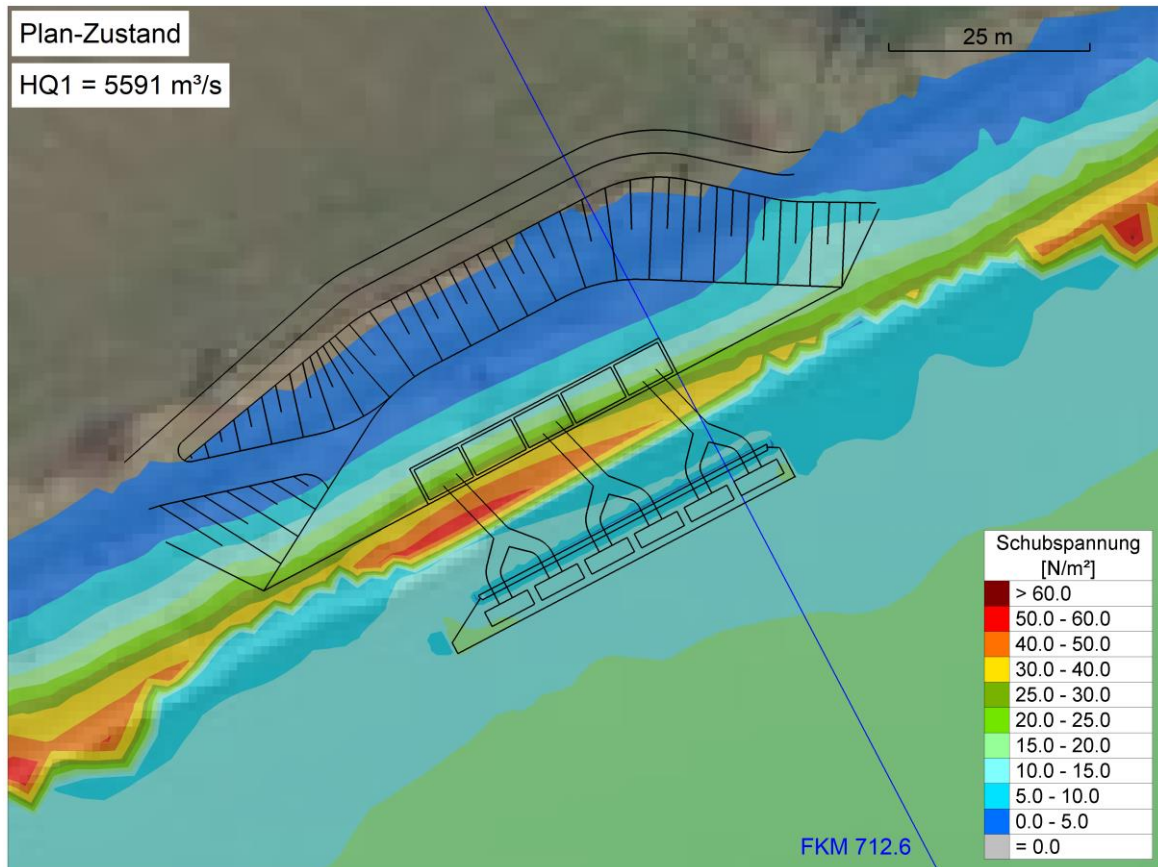


Abbildung 130: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ1



Abbildung 131: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, HQ1

7.5.5. Lastfall HQ5

Beim Hochwasserlastfall HQ5 werden in Bauphase 1 gegenüber dem Ist-Zustand geringere Sohlschubspannungen im Bereich der Baugrube berechnet. In Bauphase 2 bewirkt die Einhausung gegenüber dem Ist-Zustand eine geringe Erhöhung der Schubspannungen von rund 10 N/m^2 orographisch links der Baugrube. Im Ist-Zustand betragen die Schubspannungen maximal 50 N/m^2 mit einem Grenzkorndurchmesser von 0.07 m . Die Schubspannungen betragen in Bauphase 2 maximal 60 N/m^2 mit einem Grenzkorndurchmesser von rund 0.08 m .

Im Plan-Zustand kommt es gegenüber dem Ist-Zustand ebenfalls zu geringen Erhöhungen der Schubspannungen von rund 10 N/m^2 im Bereich des Entnahmebauwerks. Die maximalen Schubspannungen betragen dabei 50 bis 60 N/m^2 mit einem maximalen Grenzkorndurchmesser von 0.08 m .

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich In Bauphase 2 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 3.5 N/m^2 . In Bauphase 1 und im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m^2 . Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

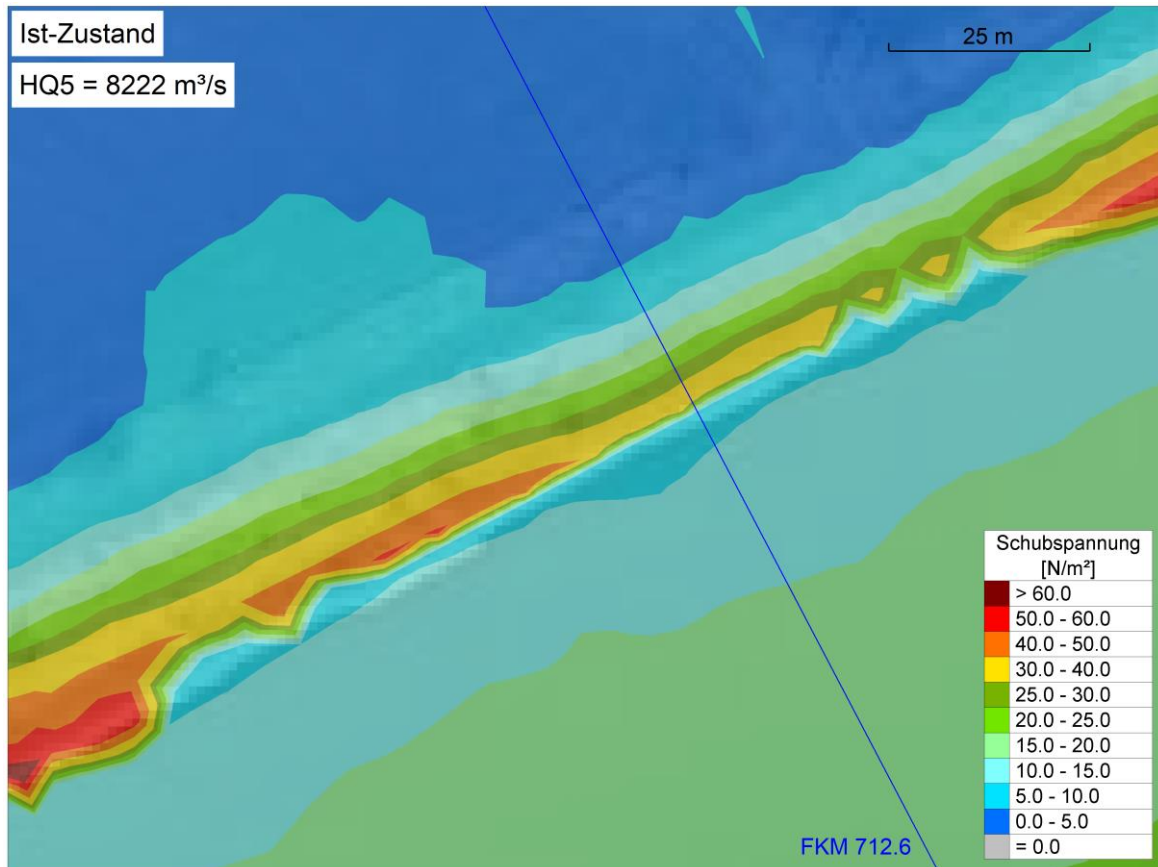


Abbildung 132: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ5

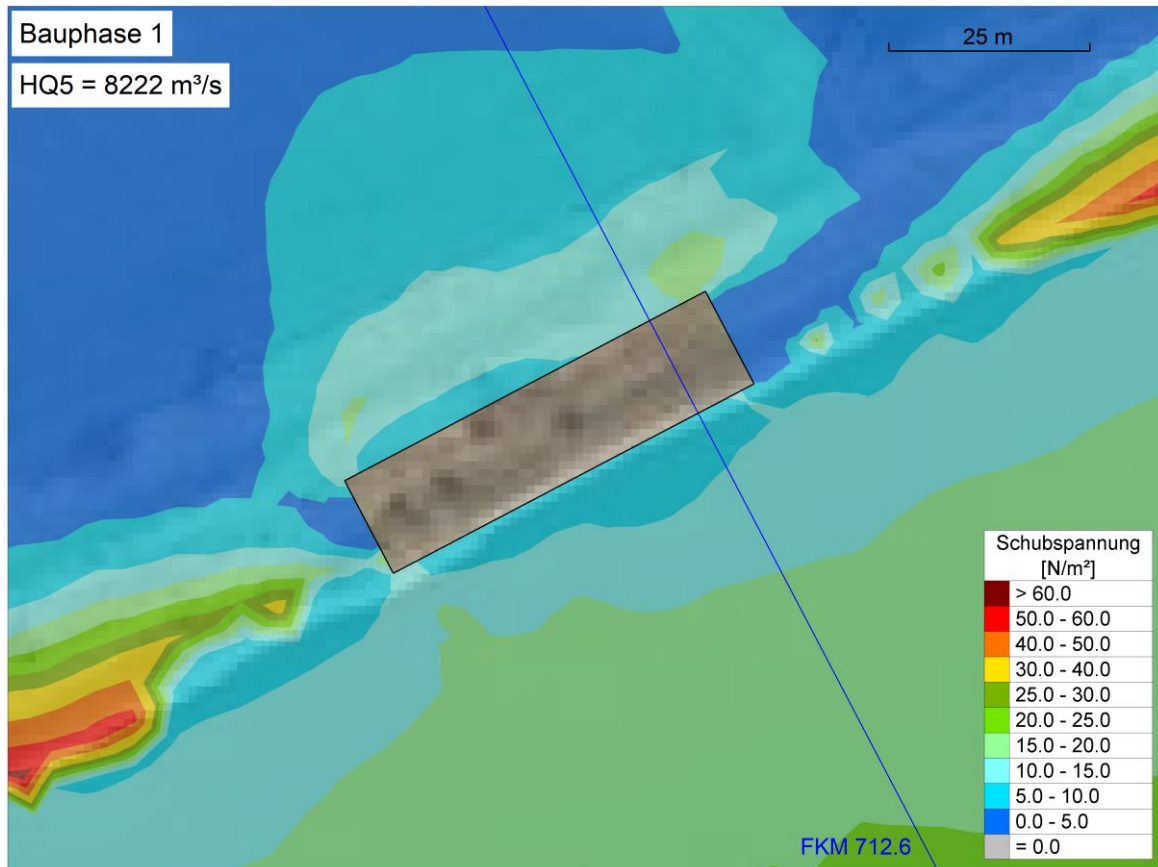


Abbildung 133: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ5

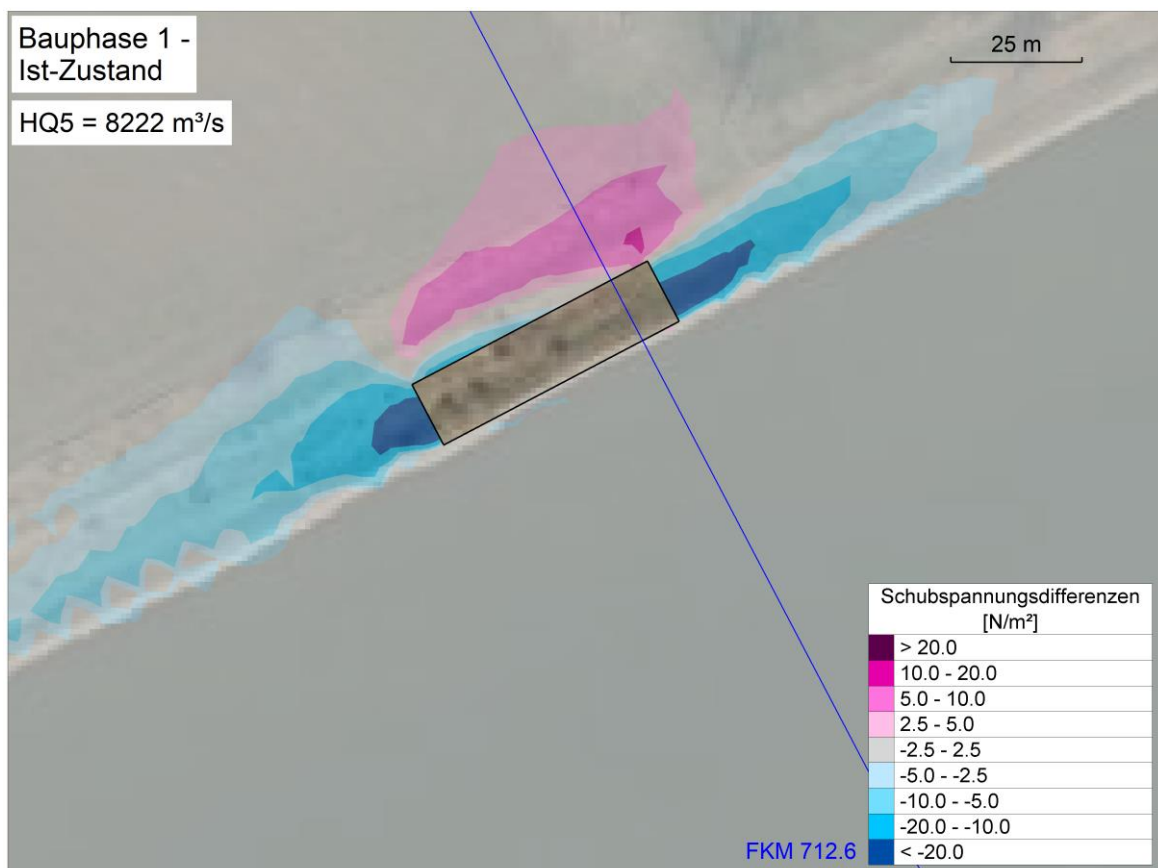


Abbildung 134: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ5

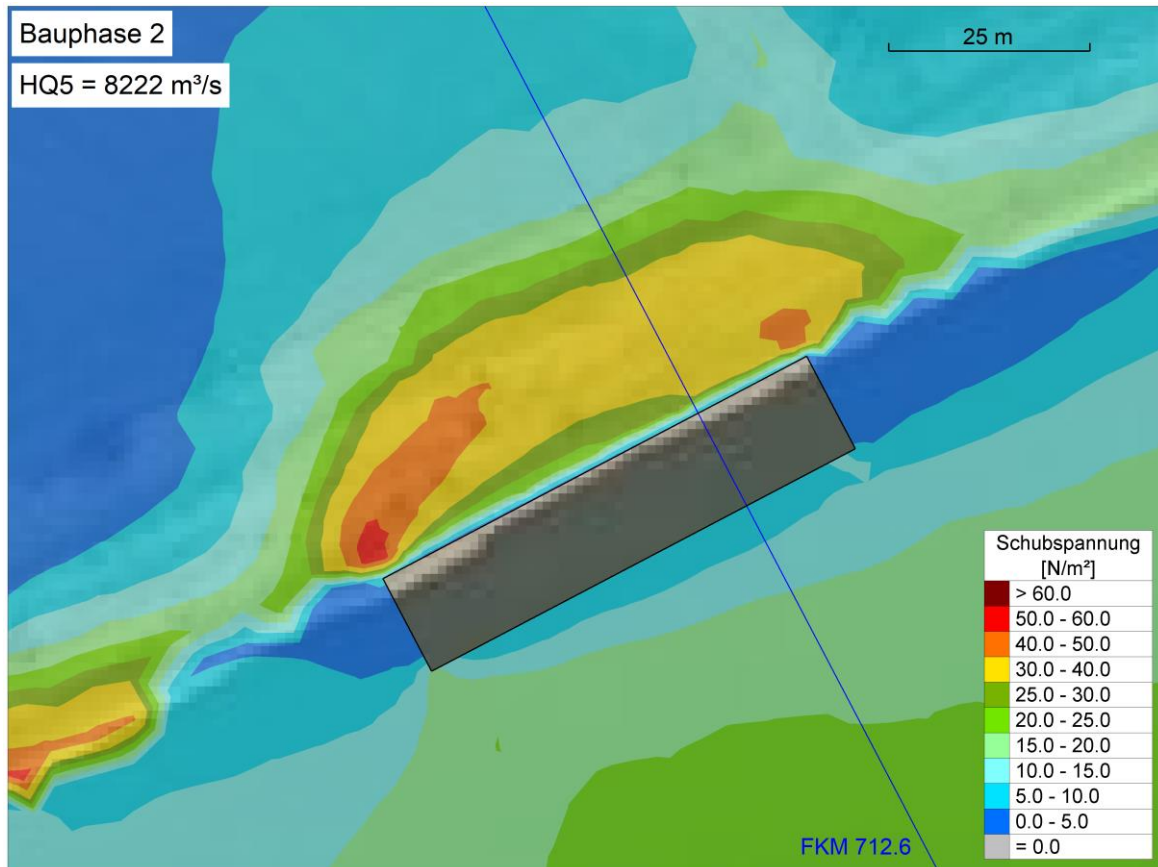


Abbildung 135: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ5

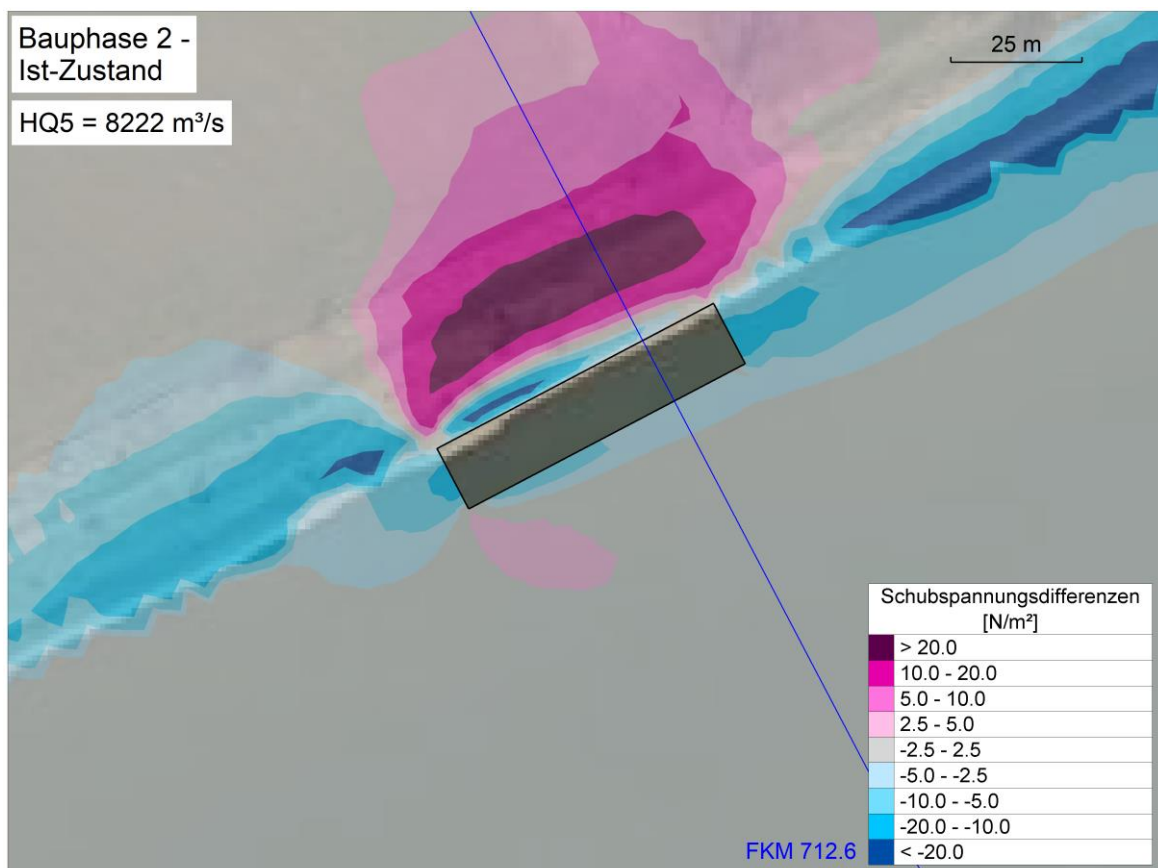


Abbildung 136: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ5

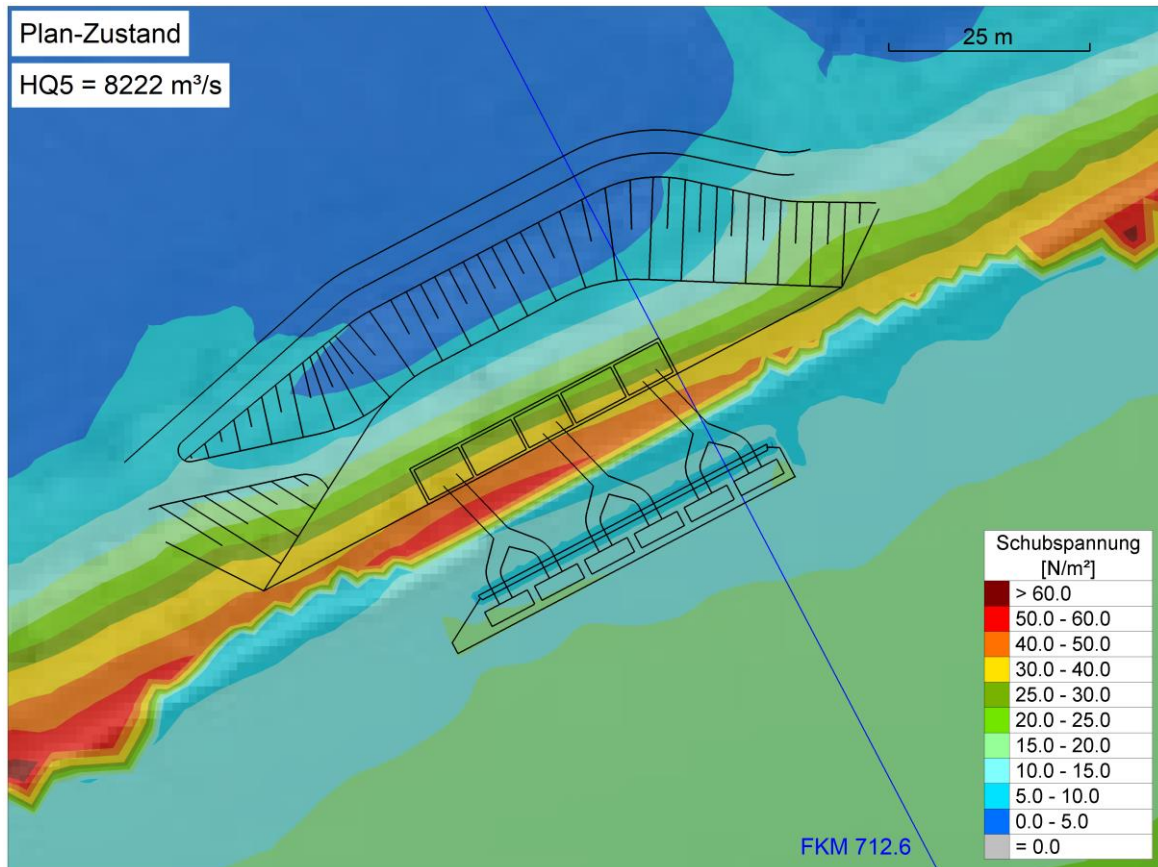


Abbildung 137: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ5

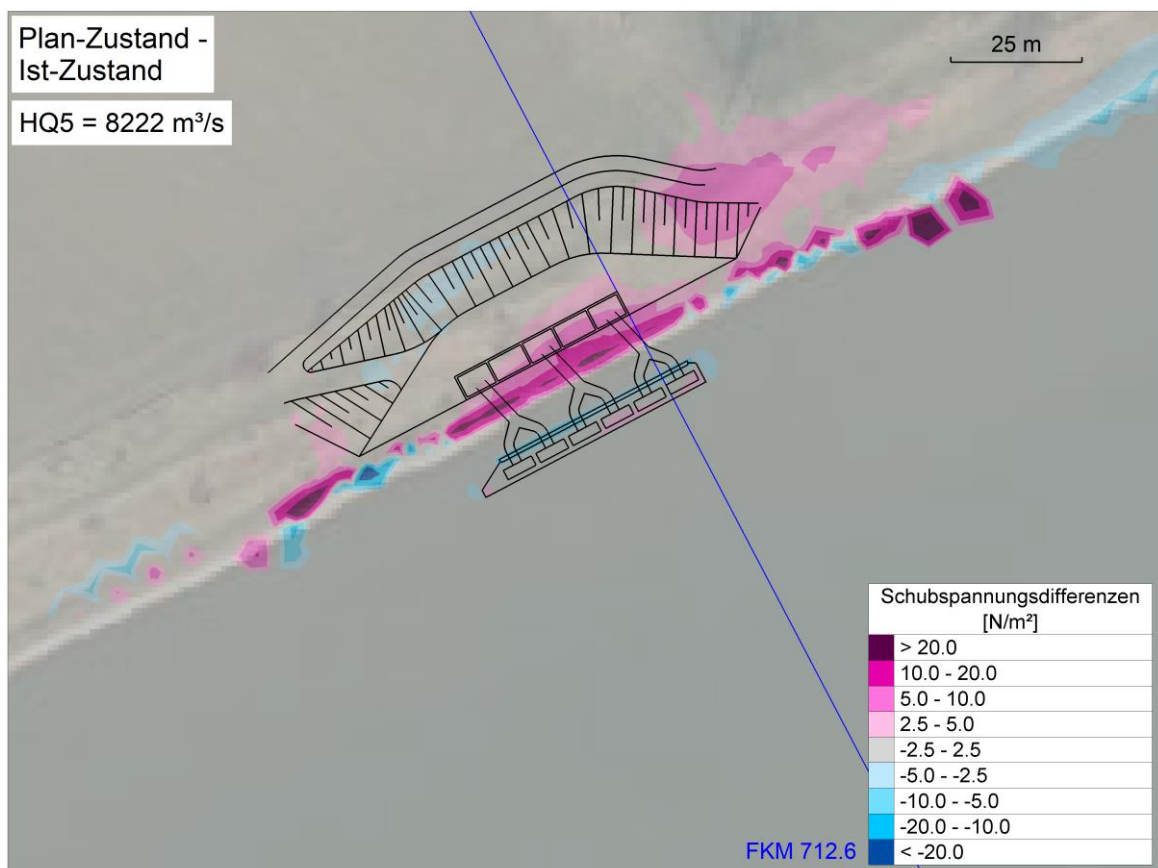


Abbildung 138: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ5

7.5.6. Lastfall HQ100

Beim Hochwasserlastfall HQ100 werden in Bauphase 1 gegenüber dem Ist-Zustand geringere Sohlschubspannungen im Bereich der Baugrube berechnet. In Bauphase 2 bewirkt die Einhausung gegenüber dem Ist-Zustand eine Erhöhung der Schubspannungen von 15 bis 20 N/m² orographisch links der Baugrube. Im Ist-Zustand betragen die maximalen Schubspannungen rund 80 N/m² mit einem Grenzkorndurchmesser von 0.11 m. Die Schubspannungen betragen in Bauphase 2 maximal 100 N/m². Der dazugehörige Grenzkorndurchmesser beträgt 0.13 m.

Im Plan-Zustand kommt es gegenüber dem Ist-Zustand zu geringen Erhöhungen der Schubspannungen im Bereich des Entnahmebauwerks im Ausmaß von rund 10 bis 20 N/m². Die maximalen Schubspannungen im Plan-Zustand betragen dabei 80 bis 100 N/m². Der Grenzkorndurchmesser beträgt maximal 0.13 m.

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich in Bauphase 1 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 1.5 N/m². In Bauphase 2 sind im Bereich der Fahrrinne um maximal 3 N/m² höhere Schubspannungen zu erwarten. Im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m². Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

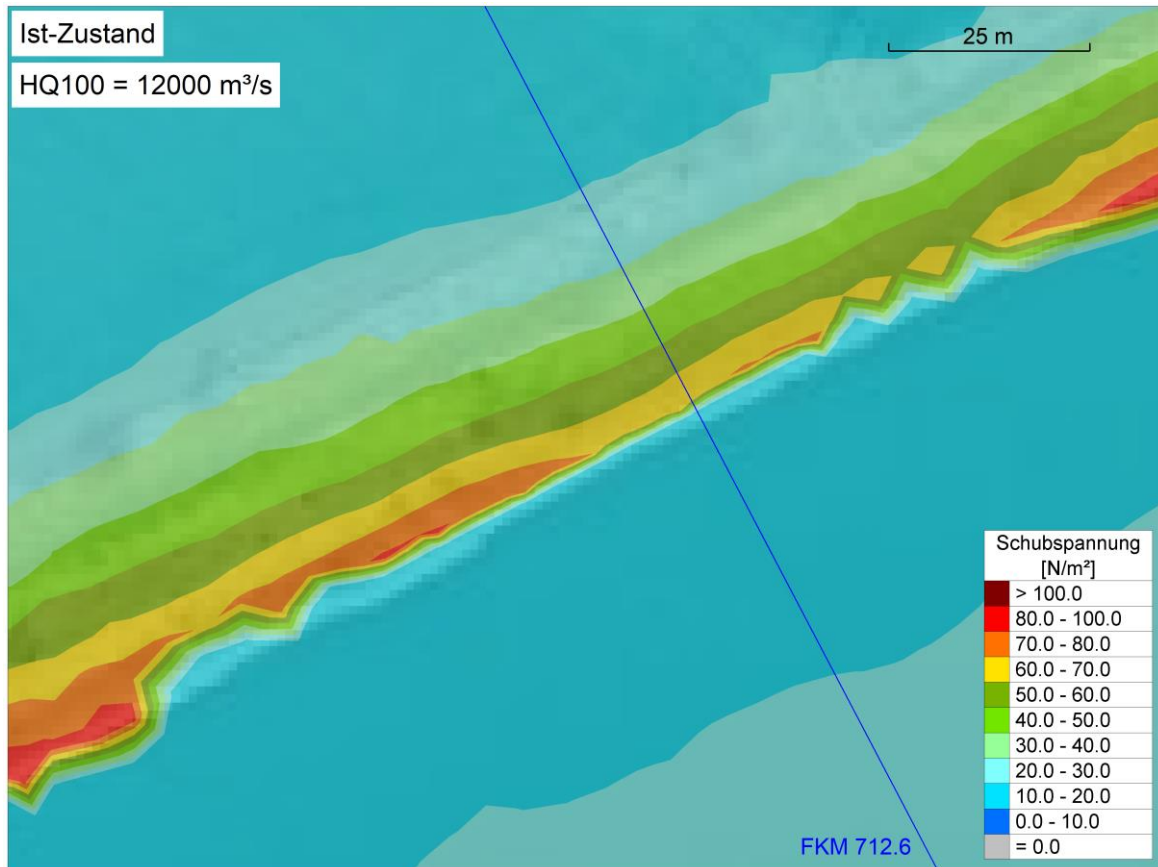


Abbildung 139: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ100

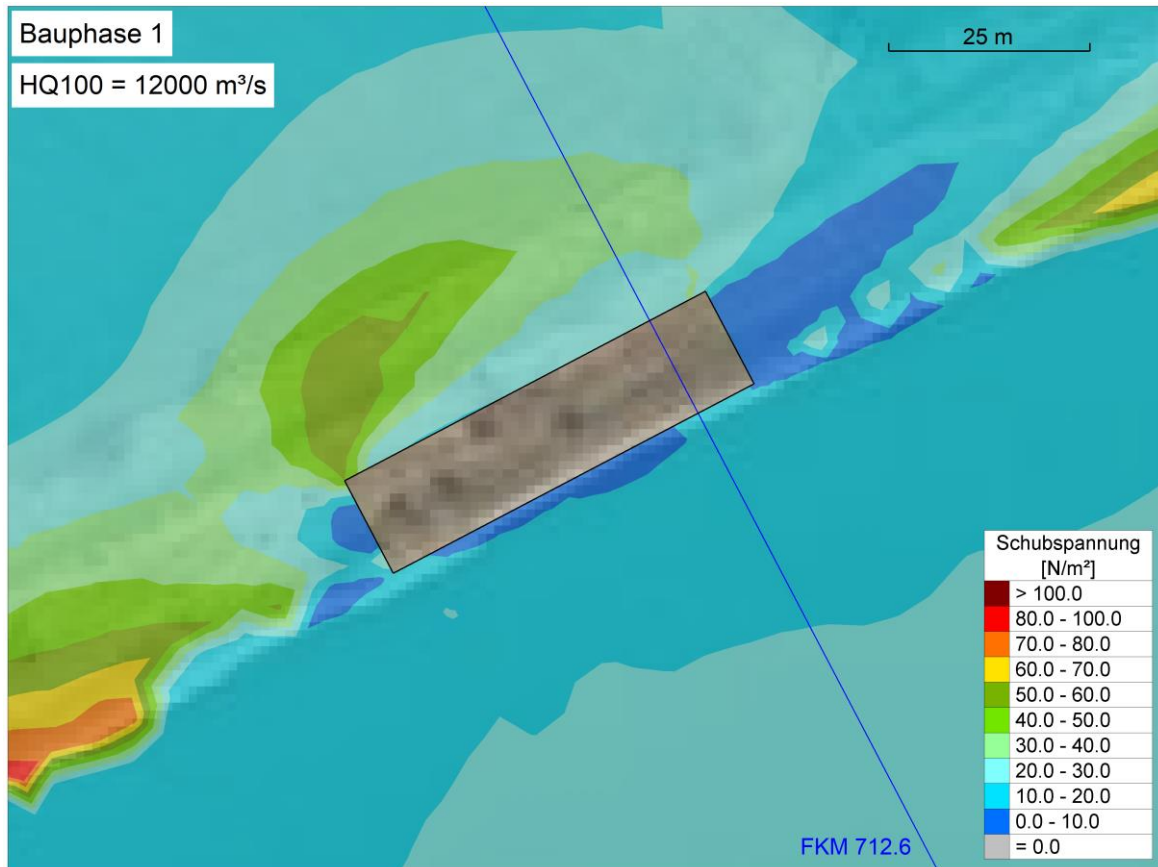


Abbildung 140: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ100

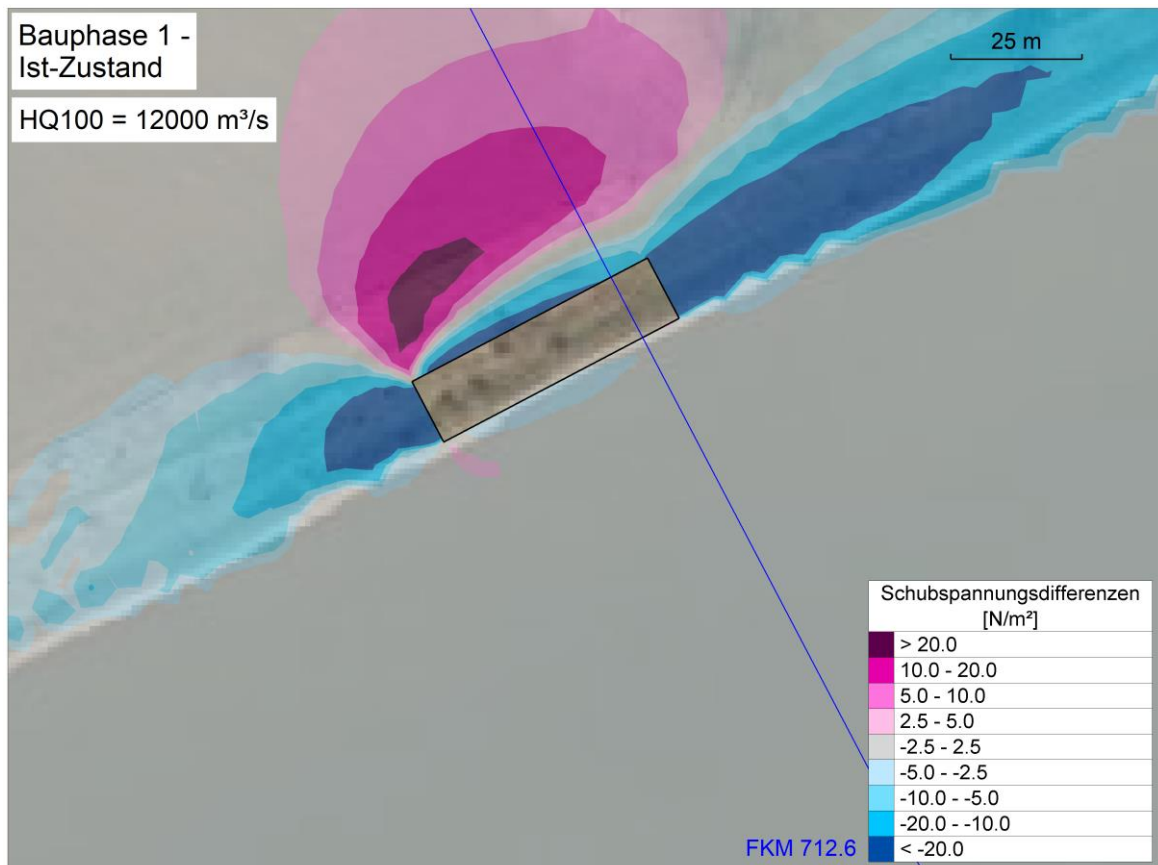


Abbildung 141: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, HQ100

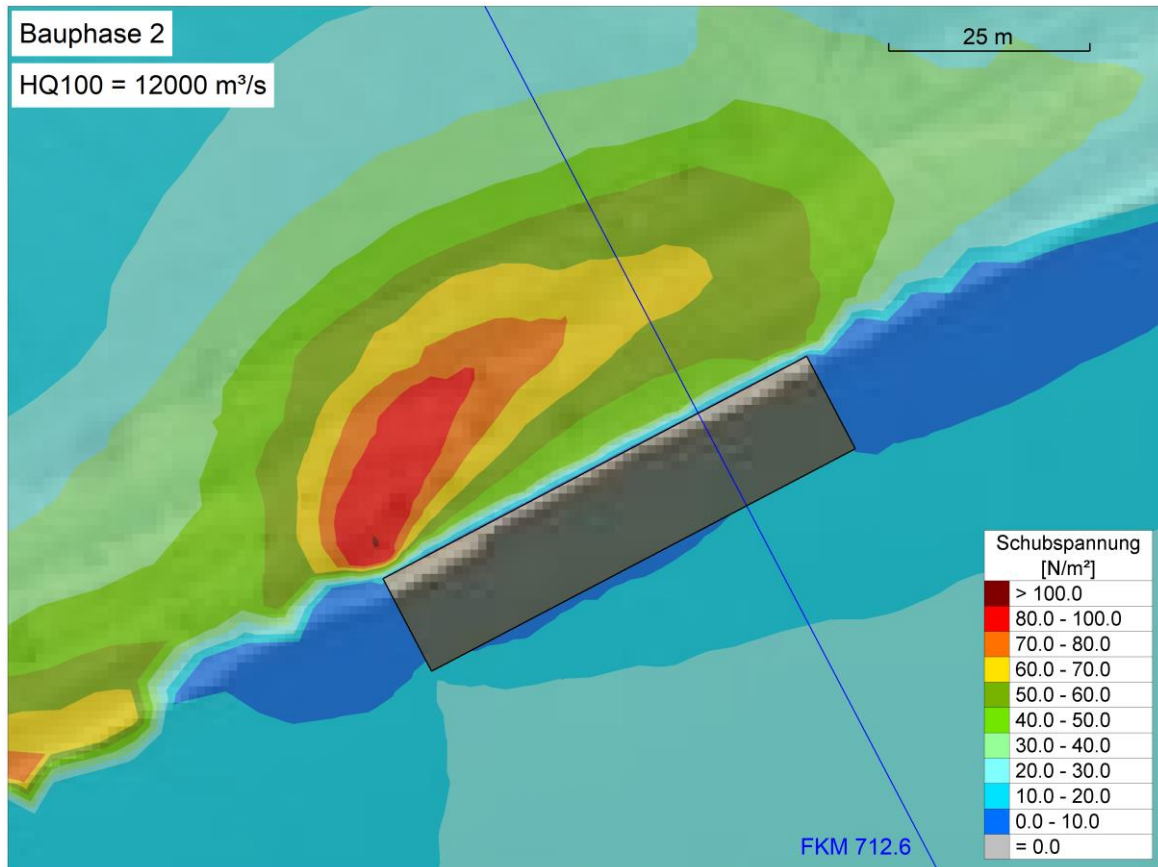


Abbildung 142: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ100

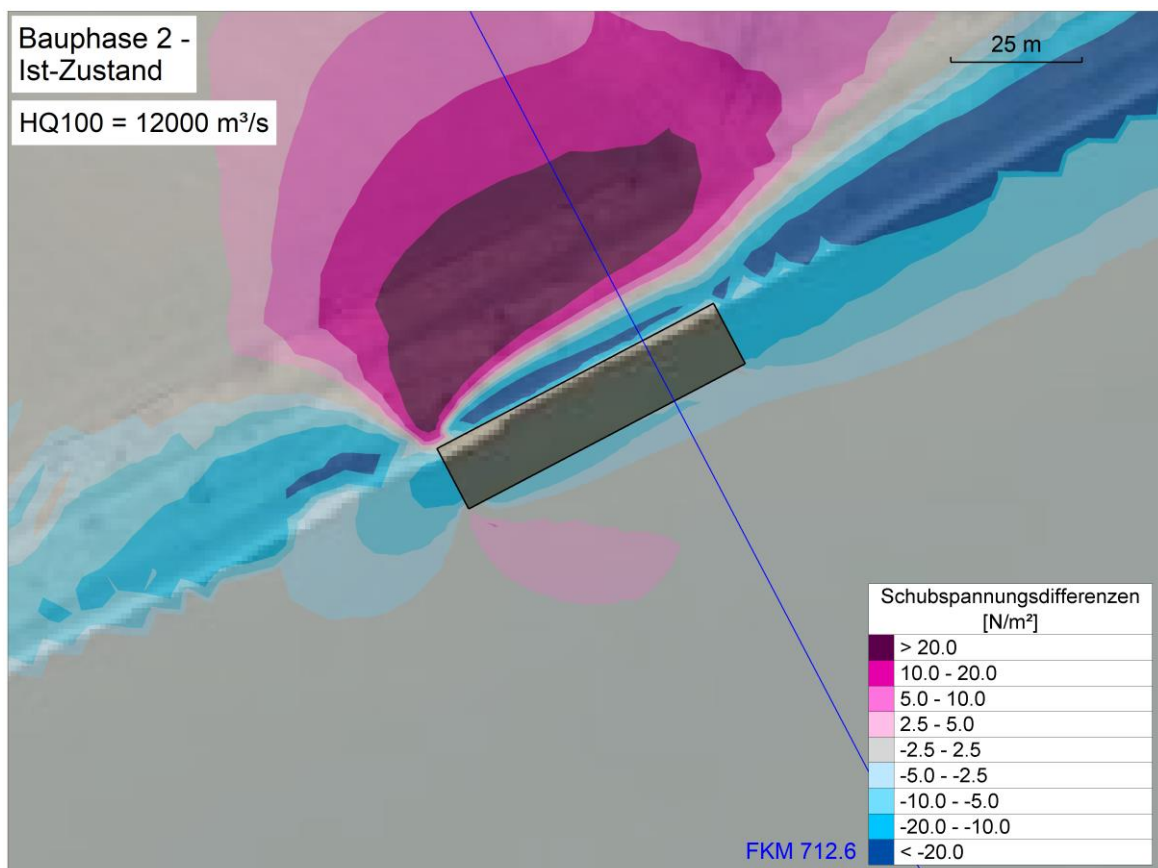


Abbildung 143: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, HQ100

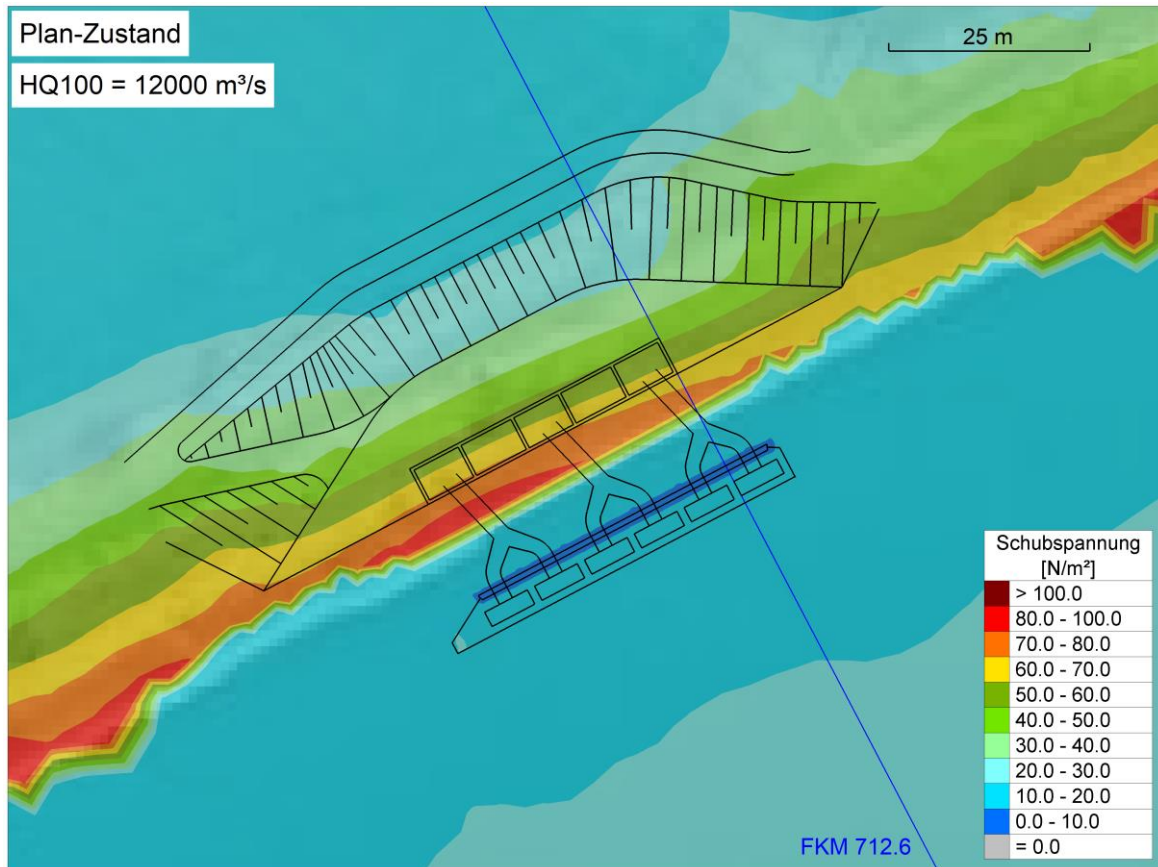


Abbildung 144: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ100

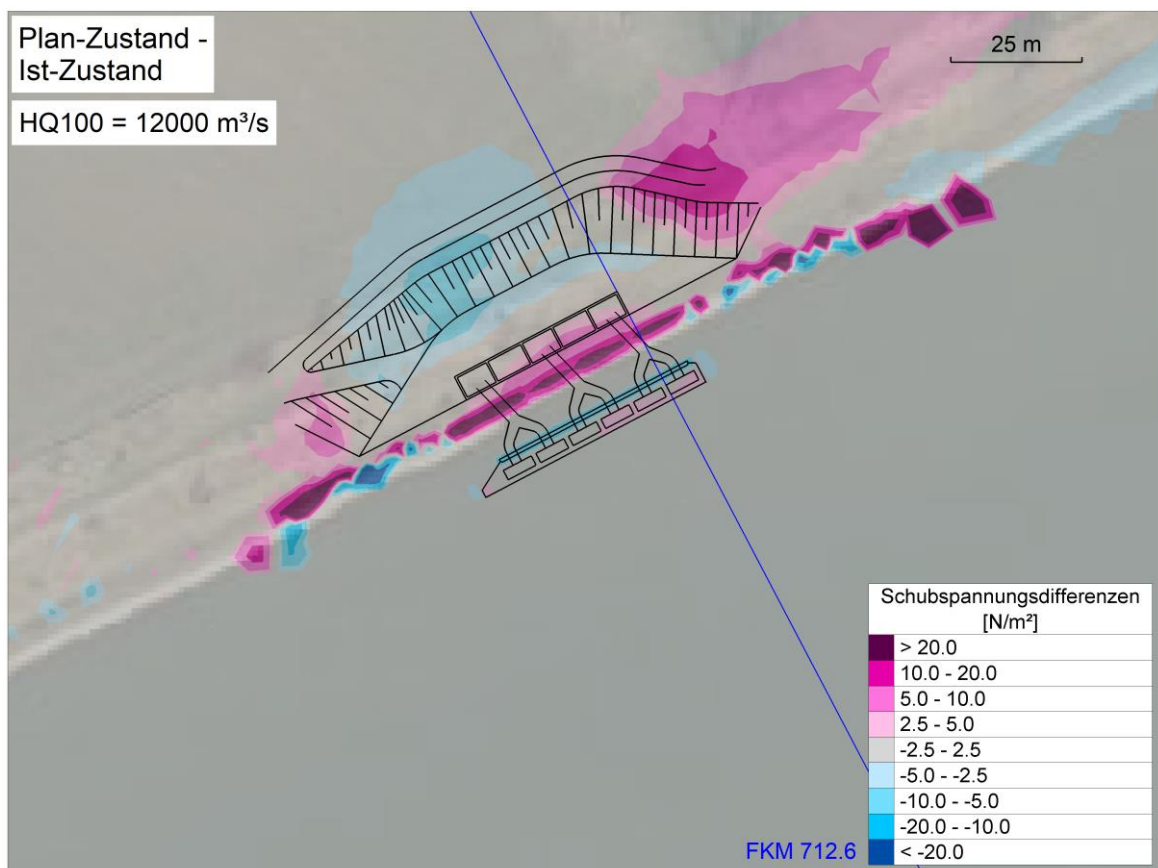


Abbildung 145: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ100

7.5.7. Lastfall BHQ2004

Beim Hochwasserlastfall BHQ2004 werden in Bauphase 1 gegenüber dem Ist-Zustand geringere Sohlschubspannungen im Bereich der Baugrube berechnet. In Bauphase 2 bewirkt die Einhausung gegenüber dem Ist-Zustand eine Erhöhung der Schubspannungen von rund 20 N/m^2 orographisch links der Baugrube. Im Ist-Zustand betragen die maximalen Schubspannungen 100 N/m^2 mit einem Grenzkorndurchmesser von 0.13 m . Die Schubspannungen betragen in Bauphase 2 maximal 120 N/m^2 . Der dazugehörige Grenzkorndurchmesser beträgt 0.16 m .

Im Plan-Zustand kommt es gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich des Entnahmebauwerks zu keinen merklichen Erhöhungen der Schubspannungen. Die maximalen Schubspannungen im Plan-Zustand betragen dabei 100 N/m^2 und der Grenzkorndurchmesser 0.13 m .

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich In Bauphase 1 die Sohlschubspannungen lokal um maximal 2 N/m^2 . In Bauphase 2 sind im Bereich der Fahrrinne um maximal 3.5 N/m^2 höhere Schubspannungen zu erwarten. Im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne geringer als 1 N/m^2 . Bei diesem Lastfall sind in den Bauphasen und Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand somit keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen zu erwarten.

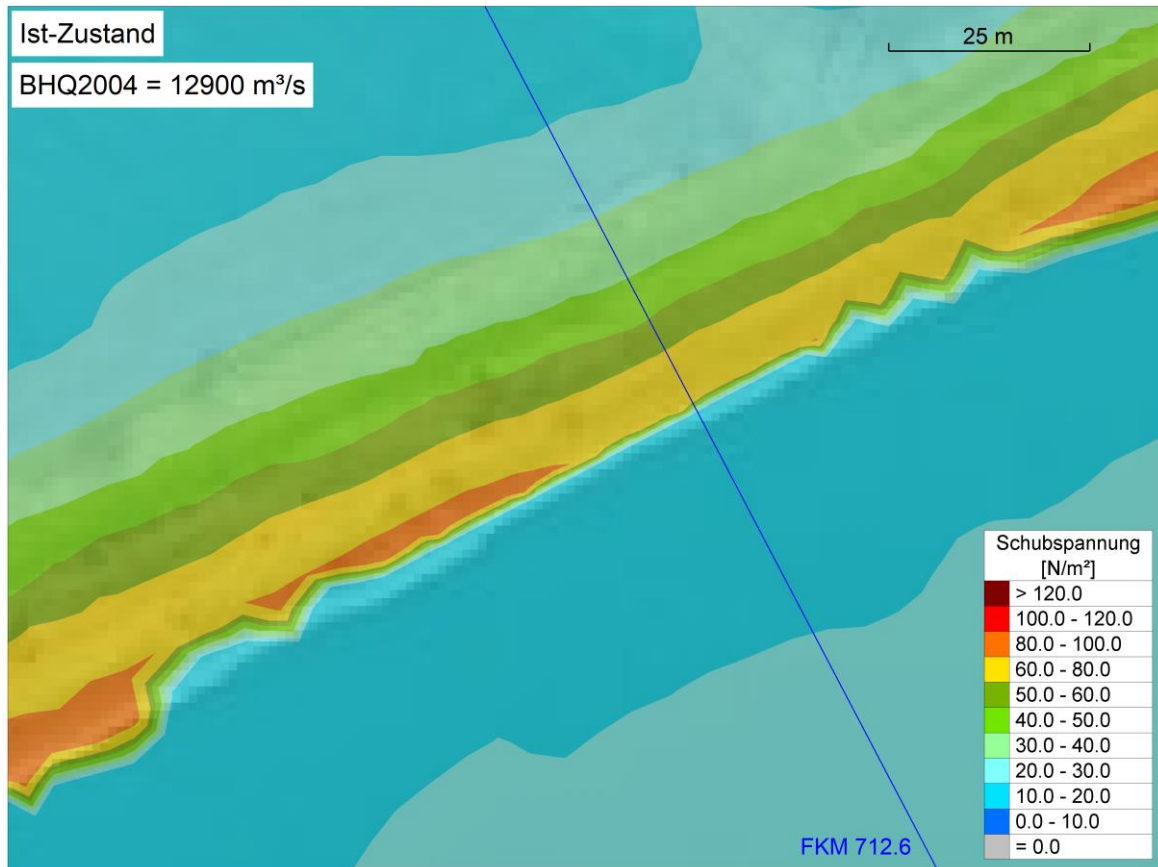


Abbildung 146: Schubspannungen, Ist-Zustand, BHQ2004

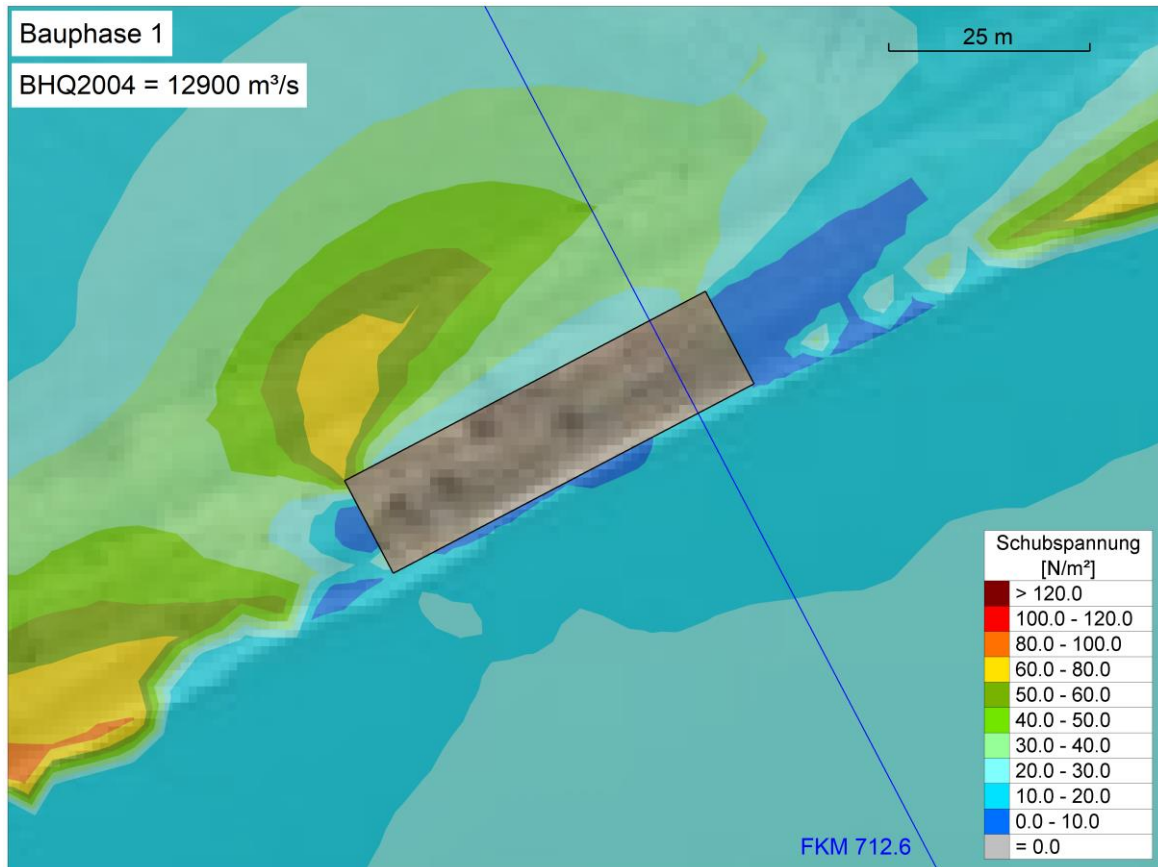


Abbildung 147: Schubspannungen, Bauphase 1, BHQ2004

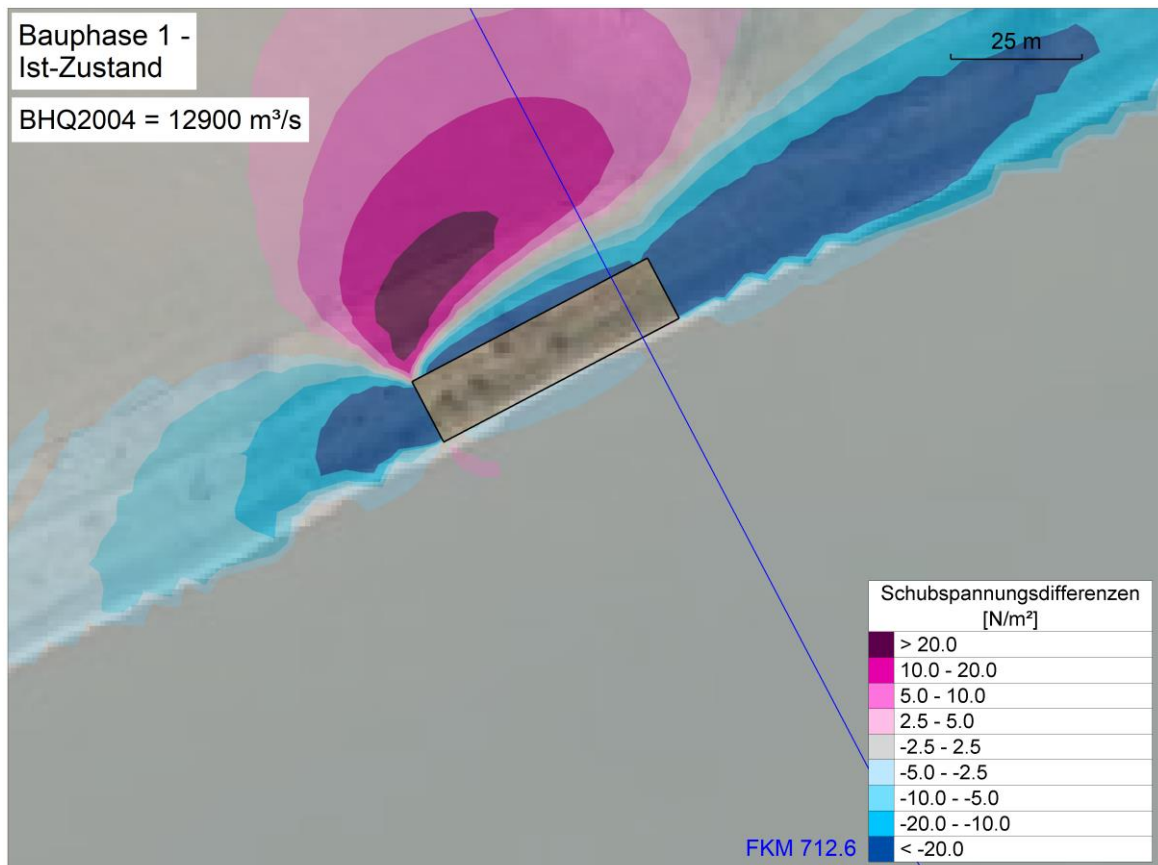


Abbildung 148: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 - Ist-Zustand, BHQ2004

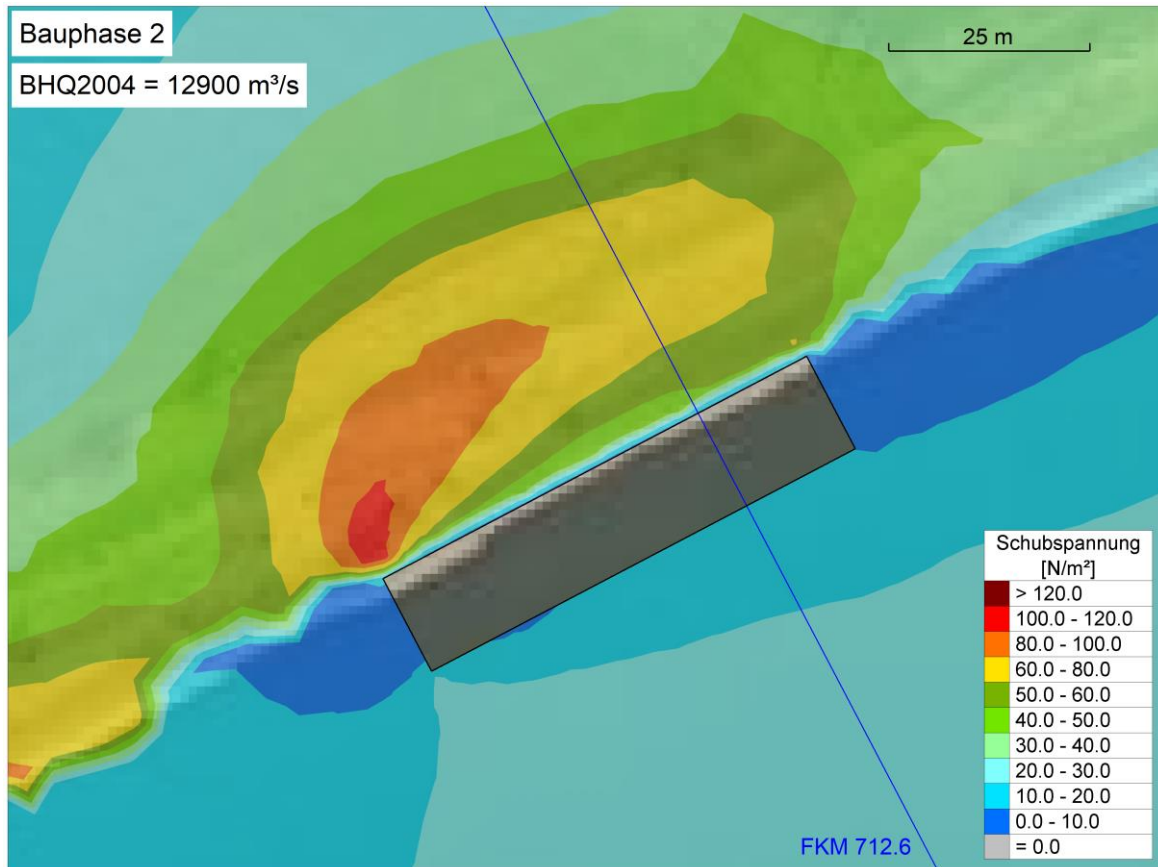


Abbildung 149: Schubspannungen, Bauphase 2, BHQ2004

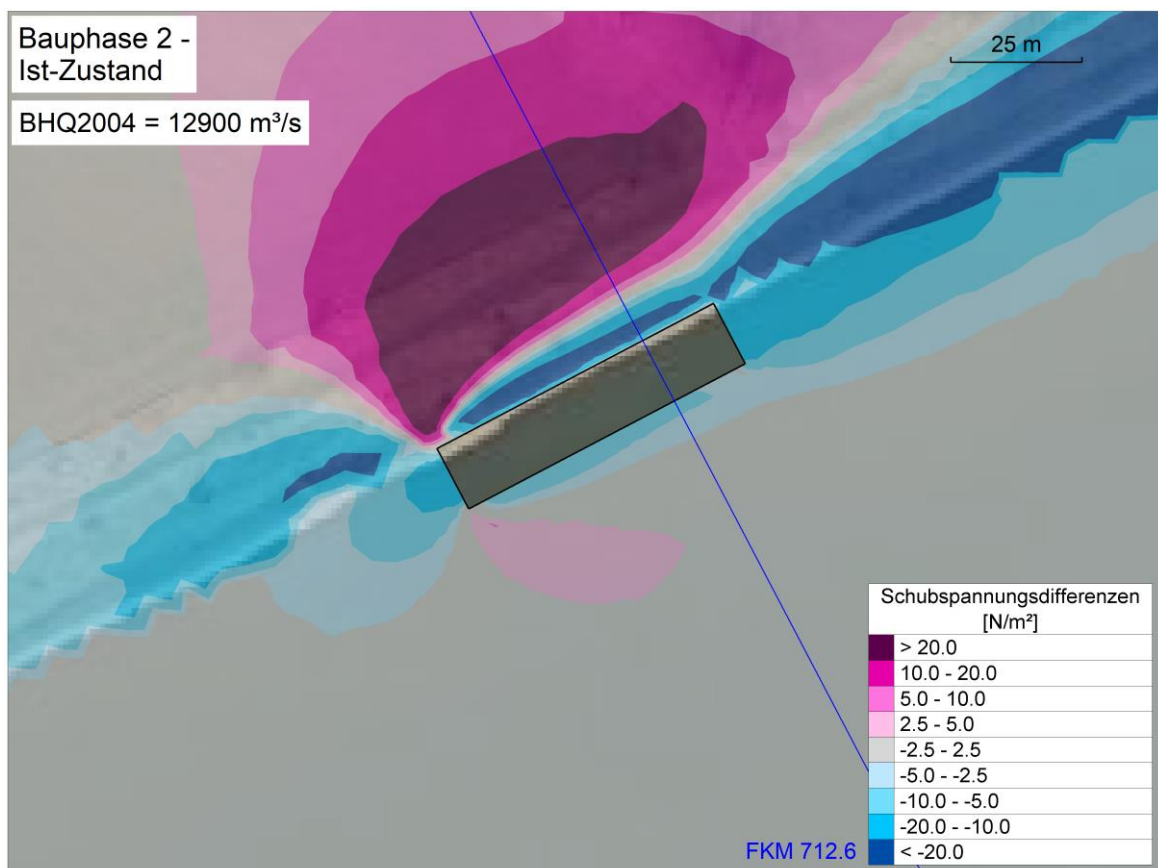


Abbildung 150: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 - Ist-Zustand, BHQ2004

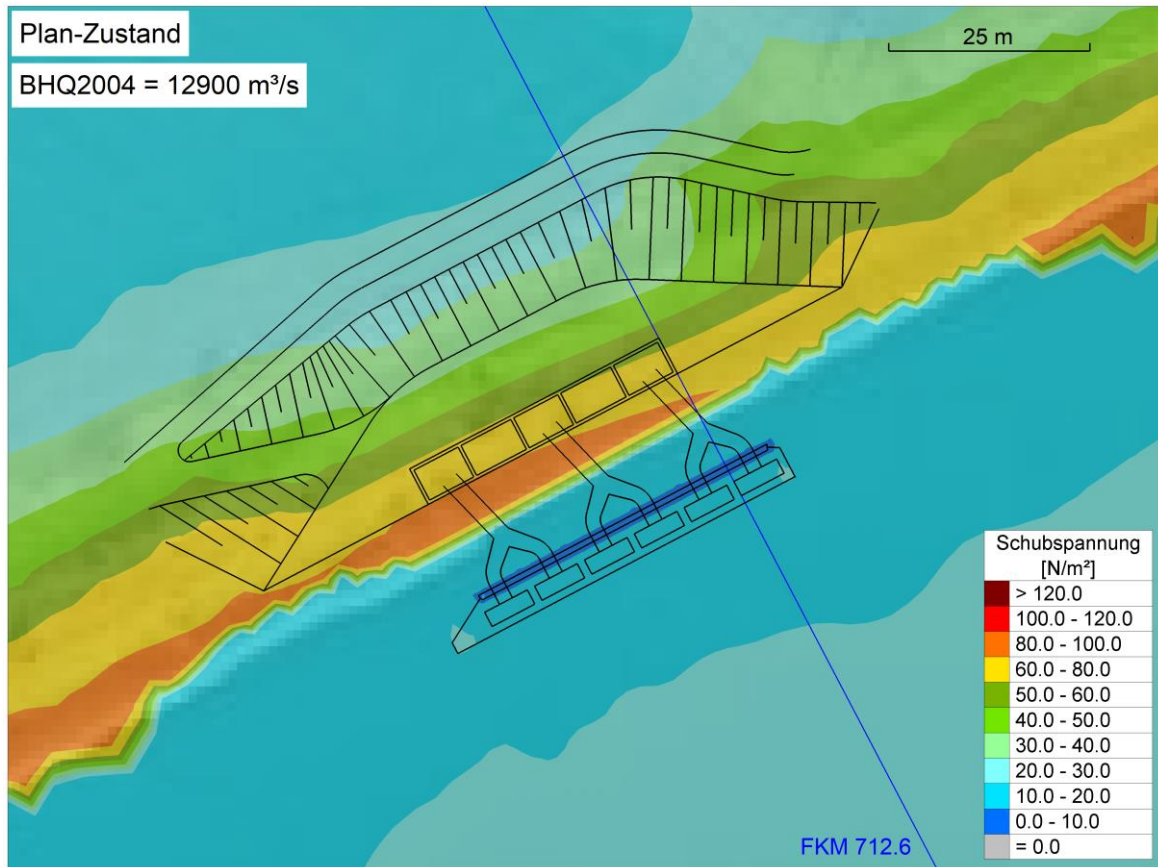


Abbildung 151: Schubspannungen, Plan-Zustand, BHQ2004

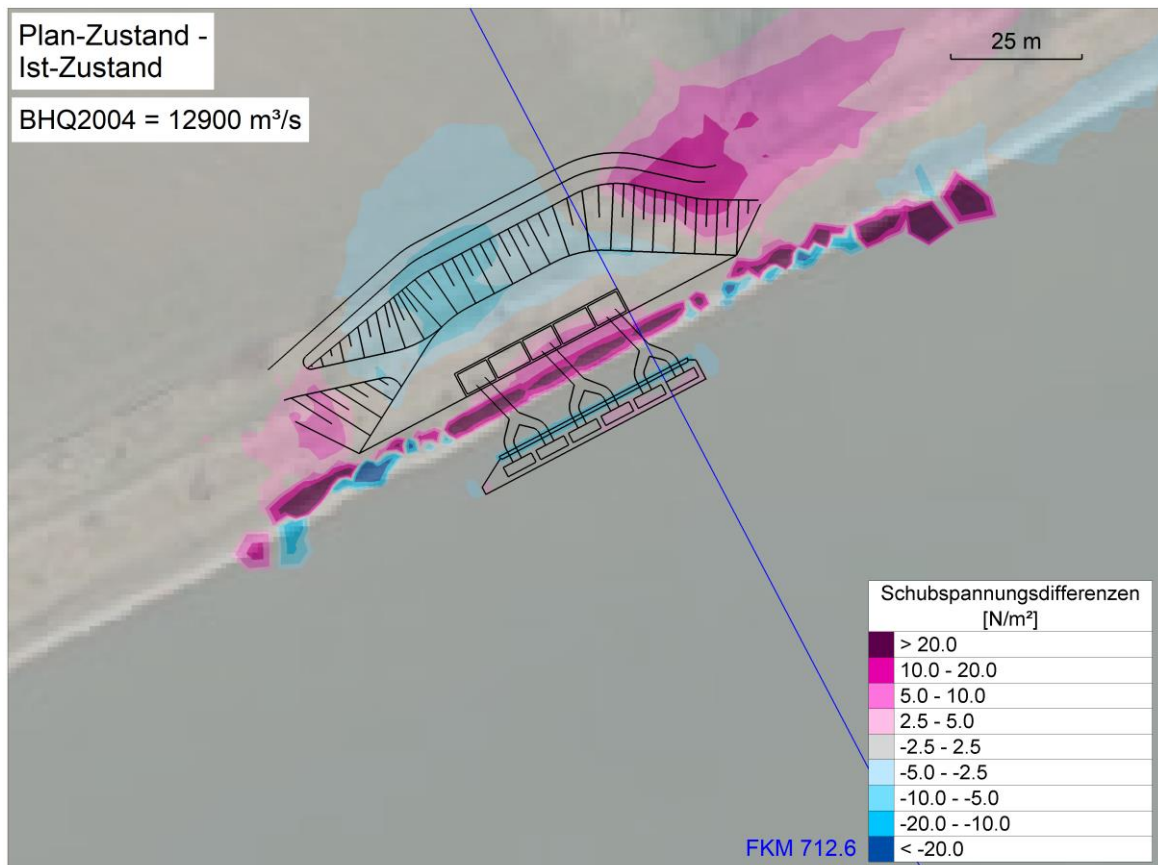


Abbildung 152: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand - Ist-Zustand, BHQ2004

8. Zusammenfassung

Die Errichtung der Rheinwassertransportleitung sieht den Bau eines Entnahmebauwerks am orographisch linken Ufer des Rheins bei Flusskilometer 712.6 vor.

Im vorliegenden Projekt wurde das Hochwasserabflussgeschehen im Ist-Zustand, Bauphase 1, Bauphase 2 und Plan-Zustand (nach Errichtung des Entnahmebauwerks) mittels 2D tiefengemittelten hydraulischen Modellierungen untersucht, um die Auswirkungen der Bauzustände und des zu errichtenden Entnahmebauwerks auf das Nieder- Mittel- und Hochwasserabflussgeschehen zu beurteilen.

Die Ergebnisse der berechneten Wasserspiegelhöhen legen dar, dass es gegenüber dem Ist-Zustand während den Bauphasen und im Plan-Zustand bei allen untersuchten Abflüssen nur zu lokal begrenzten Wasserspiegeländerungen kommt. Lediglich in der Bauphase 2 während der Errichtung des Entnahmebauwerks kommt es bei den Hochwasserlastfällen HQ5, HQ100 und BHQ2004 zu kaum merklichen Wasserspiegelerhöhungen in der Größenordnung von 1 bis maximal 2 cm im orographisch linken Vorland. Jedoch sei festgehalten, dass bei der geometrischen Modellierung der Bauphasen kein Geländeabtrag (Bauzufahrt, etc.) angenommen wurde, weshalb die Wasserspiegelerhöhungen aus einer konservativen Annahme heraus berechnet werden.

In den Bauphasen und im Plan-Zustand werden bei allen untersuchten Lastfällen die benetzten Flächen bzw. Überflutungsflächen gegenüber dem Ist-Zustand nicht verändert. Die Auswertung der Fließgeschwindigkeiten sowie der berechneten Wasserspiegeldifferenzen lassen den Schluss zu, dass in den Bauphasen und im Plan-Zustand die Bauwerke nur lokal begrenzte Strömungsumlenkungen gegenüber dem Ist-Zustand bewirken.

Die sohlnahe Entnahme des Wassers kann in der 2D tiefengemittelten Modellierung nicht abgebildet werden. Bei Niederwasser NNQ2003 beträgt der Anteil der Entnahmewassermenge 0.25 %, bei Mittelwasser MQ beträgt der Anteil 0.85 %. Die tiefengemittelte Modellierung dieser geringen Entnahmemengen in Sohlhöhe würde die Beurteilung des Einflusses der Entnahme auf das lokale Strömungsgeschehen verfälschen. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Entnahme aufgrund der sohlnahen Anordnung und der geringen Wassermenge nur eine geringe Auswirkung auf das lokale Strömungsverhalten hat.

Die Analyse der berechneten Schubspannungen im Bereich des Entnahmebauwerks zeigt, dass im Ist-Zustand die maximalen Schubspannungen mit Werten bis maximal 100 N/m^2 beim Lastfall BHQ2004 auftreten. In Bauphase 1 werden gegenüber dem Ist-Zustand bei allen untersuchten Lastfällen gering niedrigere Schubspannungen berechnet. In Bauphase 2 treten die maximalen Schubspannungen beim Lastfall BHQ2004 mit Werten bis zu 120 N/m^2 auf. Während dieser Bauphase erhöhen sich bei allen untersuchten Lastfällen die Schubspannungen um 5 bis maximal 20 N/m^2 gegenüber dem Ist-Zustand. Im Plan-Zustand treten rechnerisch die maximalen Schubspannungen mit Werten von 100 N/m^2 beim Lastfall BHQ2004 auf. Gegenüber dem Ist-Zustand sind im Plan-Zustand somit keine merklichen Erhöhungen der Schubspannungen im

Bereich des Entnahmebauwerks zu erwarten. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass bereits mit einer moderaten, aber ausreichenden Sicherung die Bauwerks- sowie Böschungstabilität gewährleistet werden kann.

Im Bereich der rechtsseitigen Fahrrinne erhöhen sich in Bauphase 1 die Sohlschubspannungen beim Lastfall BHQ2004 lokal um maximal 2 N/m^2 . In Bauphase 2 sind im Bereich der Fahrrinne um maximal 3.5 N/m^2 höhere Schubspannungen in den Lastfällen HQ5 und BHQ2004 zu erwarten. Im Plan-Zustand sind die Veränderungen in den berechneten Sohlschubspannungen gegenüber dem Ist-Zustand im Bereich der Fahrrinne bei allen untersuchten Lastfällen geringer als 1 N/m^2 .

Zusammenfassend kann bezüglich der zu erwartenden Veränderungen in den Sohlschubspannungen im Bereich der Fahrrinne festgehalten werden, dass in allen Bauphasen sowie im Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand bei allen untersuchten Lastfällen keine maßgebenden Auswirkungen auf die Sohlschubspannungen und somit auf die Mobilisierung von Sediment zu erwarten sind.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan Entnahmebauwerk	1
Abbildung 2: Querschnitt Bauzustände und Entnahmebauwerk (Blick in Fließrichtung).....	2
Abbildung 3: Lageplan mit Überschwemmungsgebieten aus www.geoportal.nrw, rote Linien: Zufluss- und Auslassrandbedingungen, schwarze Linien: linke- und rechte Vorlandabgrenzung ...	4
Abbildung 4: Lageplan Modellgebiet.....	5
Abbildung 5: Berechnungsnetz Ist-Zustand, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung	6
Abbildung 6: Berechnungsnetz Bauphase 1, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung.....	6
Abbildung 7: Berechnungsnetz Bauphase 2, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung.....	7
Abbildung 8: Berechnungsnetz Plan-Zustand, Bereich Entnahmebauwerk, 3D Ansicht in Fließrichtung.....	7
Abbildung 9: Berechnungsnetz Referenz im Bereich des Entnahmebauwerks bei FKM 712.6	9
Abbildung 10: Berechnungsnetz 2.5 m im Bereich des Entnahmebauwerks bei FKM 712.6.....	9
Abbildung 11: Berechnete Wasserspiegelhöhen, Berechnungsnetz Referenz, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5	10
Abbildung 12: Berechnete Wasserspiegelhöhen, Berechnungsnetz 2.5 m, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5	10
Abbildung 13: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen zwischen Berechnungsnetz Referenz und Berechnungsnetz 2.5 m, Bereich FKM 711.0 - FKM 713.5	11
Abbildung 14: Berechnungsnetz Bauphase 1, Spundwände modelliert, 3D Ansicht in Fließrichtung	13
Abbildung 15: Berechnungsnetz Bauphase 2, Spundwände modelliert, 3D Ansicht in Fließrichtung	13
Abbildung 16: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen mit Referenznetz, Bauphase 1 – Ist-Zustand	14
Abbildung 17: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1, Spundwände modelliert – Ist- Zustand	14
Abbildung 18: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen mit Referenznetz, Bauphase 2 – Ist-Zustand	15

Abbildung 19: Berechnete Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2, Spundwände modelliert – Ist-Zustand	15
Abbildung 20: Lageplan Modellgebiet mit Rauheitszonen	17
Abbildung 21: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Lastfall MQ, Variation der Rauheit im Flussschlauch	18
Abbildung 22: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Lastfall HQ100, Variation der Rauheit, Flussschlauch / Vorland	19
Abbildung 23: Lageplan Wasserspiegelhöhen im Bereich FKM 767.0 bis FKM 720.0	19
Abbildung 24: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, FLYS und berechnet, Lastfälle NNQ2003, MQ und $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	21
Abbildung 25: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, FLYS bzw. AMW 90 und berechnet, Lastfälle HQ1, HQ5, HQ100 und BHQ2004.....	21
Abbildung 26: Wasserspiegeldifferenzen zwischen Plan- und Ist-Zustand, ursprünglicher Untersuchungsbereich.....	23
Abbildung 27: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, NNQ2003	24
Abbildung 28: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, MQ	25
Abbildung 29: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	25
Abbildung 30: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, HQ1	26
Abbildung 31: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, HQ5.....	26
Abbildung 32: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, HQ100	27
Abbildung 33: Längsschnitt Wasserspiegelhöhen, Bereich FKM 711.5 – 713.0, BHQ2004.....	27
Abbildung 34: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, NHHQ2003.....	29
Abbildung 35: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, MQ	30
Abbildung 36: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	30
Abbildung 37: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ1	31
Abbildung 38: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ5.....	31
Abbildung 39: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ100	32
Abbildung 40: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, BHQ2004.....	32
Abbildung 41: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, NNQ2003	33
Abbildung 42: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, MQ	34
Abbildung 43: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	34
Abbildung 44: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ1	35
Abbildung 45: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ5.....	35
Abbildung 46: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ100	36

Abbildung 47: Wasserspiegeldifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, BHQ2004.....	36
Abbildung 48: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, NNQ2003.....	37
Abbildung 49: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, MQ.....	38
Abbildung 50: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	38
Abbildung 51: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ1.....	39
Abbildung 52: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ5.....	39
Abbildung 53: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ100.....	40
Abbildung 54: Wasserspiegeldifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, BHQ2004.....	40
Abbildung 55: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, NNQ2003.....	41
Abbildung 56: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, NNQ2003.....	42
Abbildung 57: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, NNQ2003.....	42
Abbildung 58: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, NNQ2003.....	43
Abbildung 59: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, NNQ2003.....	43
Abbildung 60: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, NNQ2003.....	44
Abbildung 61: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, NNQ2003.....	44
Abbildung 62: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, MQ.....	45
Abbildung 63: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, MQ.....	46
Abbildung 64: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, MQ.....	46
Abbildung 65: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, MQ.....	47
Abbildung 66: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, MQ.....	47
Abbildung 67: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, MQ.....	48
Abbildung 68: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, MQ.....	48
Abbildung 69: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	49
Abbildung 70: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	50
Abbildung 71: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	50
Abbildung 72: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	51
Abbildung 73: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	51
Abbildung 74: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	52
Abbildung 75: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	52
Abbildung 76: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ1.....	53
Abbildung 77: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ1.....	54
Abbildung 78: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ1.....	54
Abbildung 79: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ1.....	55
Abbildung 80: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ1.....	55

Abbildung 81: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ1	56
Abbildung 82: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ1	56
Abbildung 83: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ5.....	57
Abbildung 84: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ5.....	58
Abbildung 85: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ5.....	58
Abbildung 86: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ5.....	59
Abbildung 87: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ5.....	59
Abbildung 88: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ5	60
Abbildung 89: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ5.....	60
Abbildung 90: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ100.....	61
Abbildung 91: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ100.....	62
Abbildung 92: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ100	62
Abbildung 93: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ100.....	63
Abbildung 94: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ100	63
Abbildung 95: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ100	64
Abbildung 96: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ100.....	64
Abbildung 97: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, BHQ2004.....	65
Abbildung 98: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, BHQ2004	66
Abbildung 99: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 1 – Ist-Zustand, BHQ2004.....	66
Abbildung 100: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, BHQ2004.....	67
Abbildung 101: Differenzen Fließrichtung, Bauphase 2 – Ist-Zustand, BHQ2004	67
Abbildung 102: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, BHQ2004	68
Abbildung 103: Differenzen Fließrichtung, Plan-Zustand – Ist-Zustand, BHQ2004.....	68
Abbildung 104: Schubspannungen, Ist-Zustand, NNQ2003	70
Abbildung 105: Schubspannungen, Bauphase 1, NNQ2003	71
Abbildung 106: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, NNQ2003	71
Abbildung 107: Schubspannungen, Bauphase 2, NNQ2003	72
Abbildung 108: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, NNQ2003	72
Abbildung 109: Schubspannungen, Plan-Zustand, NNQ2003.....	73
Abbildung 110: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, NNQ2003.....	73
Abbildung 111: Schubspannungen, Ist-Zustand, MQ	75
Abbildung 112: Schubspannungen, Bauphase 1, MQ	76
Abbildung 113: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, MQ	76
Abbildung 114: Schubspannungen, Bauphase 2, MQ	77

Abbildung 115: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, MQ	77
Abbildung 116: Schubspannungen, Plan-Zustand, MQ	78
Abbildung 117: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, MQ	78
Abbildung 118: Schubspannungen, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	80
Abbildung 119: Schubspannungen, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	81
Abbildung 120: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	81
Abbildung 121: Schubspannungen, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	82
Abbildung 122: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	82
Abbildung 123: Schubspannungen, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	83
Abbildung 124: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	83
Abbildung 125: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ1	85
Abbildung 126: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ1	86
Abbildung 127: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ1	86
Abbildung 128: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ1	87
Abbildung 129: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ1	87
Abbildung 130: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ1	88
Abbildung 131: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ1	88
Abbildung 132: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ5	90
Abbildung 133: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ5	91
Abbildung 134: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ5	91
Abbildung 135: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ5	92
Abbildung 136: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ5	92
Abbildung 137: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ5	93
Abbildung 138: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ5	93
Abbildung 139: Schubspannungen, Ist-Zustand, HQ100	95
Abbildung 140: Schubspannungen, Bauphase 1, HQ100	96
Abbildung 141: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, HQ100	96
Abbildung 142: Schubspannungen, Bauphase 2, HQ100	97
Abbildung 143: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, HQ100	97
Abbildung 144: Schubspannungen, Plan-Zustand, HQ100	98
Abbildung 145: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, HQ100	98
Abbildung 146: Schubspannungen, Ist-Zustand, BHQ2004	100
Abbildung 147: Schubspannungen, Bauphase 1, BHQ2004	101
Abbildung 148: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 1 – Ist-Zustand, BHQ2004	101

Abbildung 149: Schubspannungen, Bauphase 2, BHQ2004.....	102
Abbildung 150: Schubspannungsdifferenzen, Bauphase 2 – Ist-Zustand, BHQ2004.....	102
Abbildung 151: Schubspannungen, Plan-Zustand, BHQ2004	103
Abbildung 152: Schubspannungsdifferenzen, Plan-Zustand – Ist-Zustand, BHQ2004	103
Abbildung 153: Wassertiefen, Ist-Zustand, NNQ2003	123
Abbildung 154: Wassertiefen, Bauphase 1, NNQ2003	123
Abbildung 155: Wassertiefen, Bauphase 2, NNQ2003	124
Abbildung 156: Wassertiefen, Plan-Zustand, NNQ2003.....	124
Abbildung 157: Wassertiefen, Ist-Zustand, MQ	126
Abbildung 158: Wassertiefen, Bauphase 1, MQ	126
Abbildung 159: Wassertiefen, Bauphase 2, MQ	127
Abbildung 160: Wassertiefen, Plan-Zustand, MQ.....	127
Abbildung 161: Wassertiefen, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	129
Abbildung 162: Wassertiefen, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	129
Abbildung 163: Wassertiefen, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	130
Abbildung 164: Wassertiefen, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	130
Abbildung 165: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ1	132
Abbildung 166: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ1	132
Abbildung 167: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ1	133
Abbildung 168: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ1	133
Abbildung 169: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ5.....	135
Abbildung 170: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ5.....	135
Abbildung 171: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ5.....	136
Abbildung 172: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ5	136
Abbildung 173: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ100	138
Abbildung 174: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ100	138
Abbildung 175: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ100	139
Abbildung 176: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ100.....	139
Abbildung 177: Wassertiefen, Ist-Zustand, BHQ2004.....	141
Abbildung 178: Wassertiefen, Bauphase 1, BHQ2004.....	141
Abbildung 179: Wassertiefen, Bauphase 2, BHQ2004.....	142
Abbildung 180: Wassertiefen, Plan-Zustand, BHQ2004	142
Abbildung 181: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, NNQ2003	145
Abbildung 182: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, NNQ2003	145

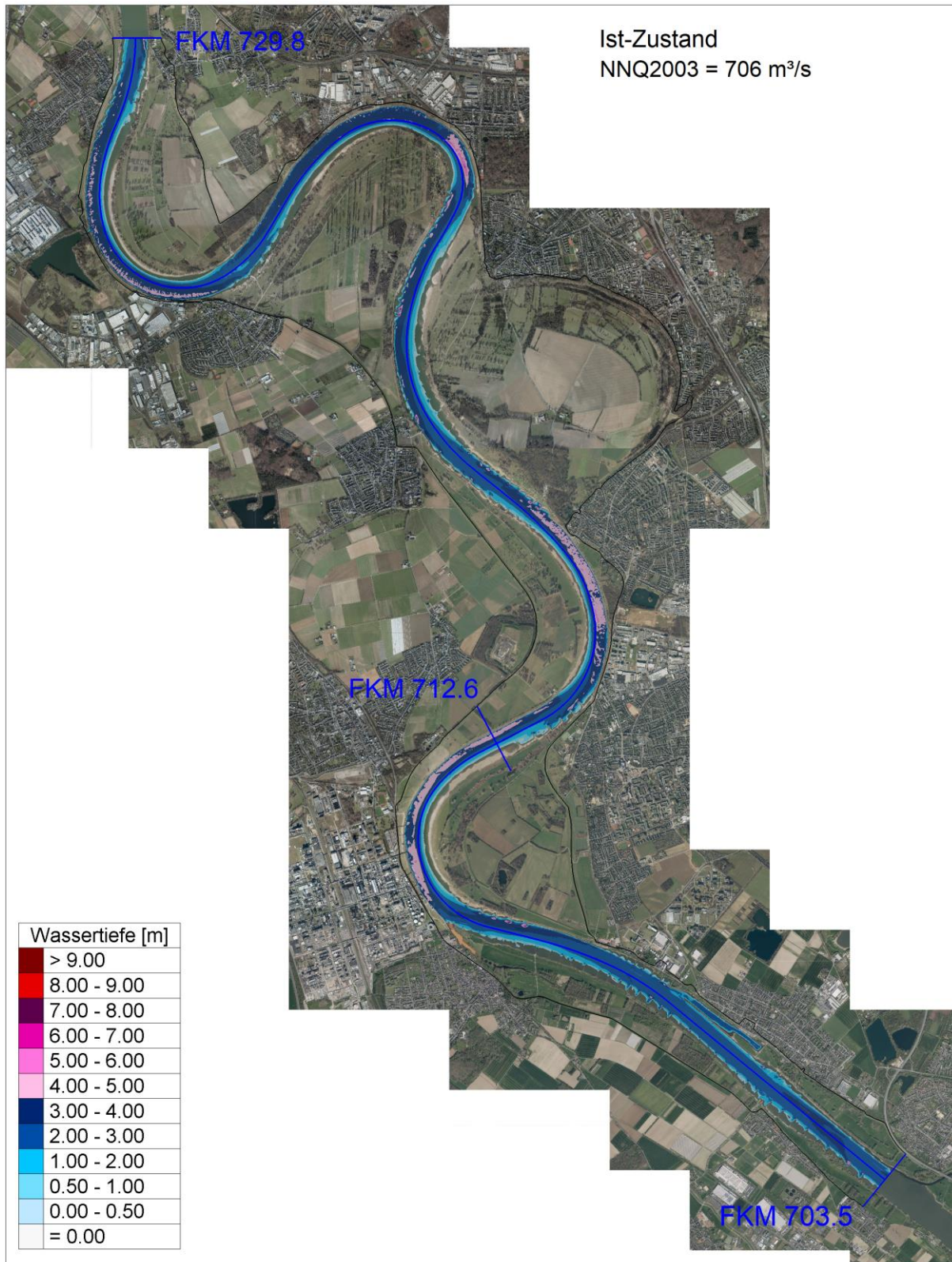
Abbildung 183: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, NNQ2003	146
Abbildung 184: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, NNQ2003	146
Abbildung 185: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, MQ	148
Abbildung 186: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, MQ	148
Abbildung 187: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, MQ	149
Abbildung 188: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, MQ	149
Abbildung 189: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	151
Abbildung 190: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	151
Abbildung 191: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	152
Abbildung 192: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$	152
Abbildung 193: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ1	154
Abbildung 194: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ1	154
Abbildung 195: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ1	155
Abbildung 196: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ1	155
Abbildung 197: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ5	157
Abbildung 198: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ5	157
Abbildung 199: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ5	158
Abbildung 200: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ5	158
Abbildung 201: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ100	160
Abbildung 202: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ100	160
Abbildung 203: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ100	161
Abbildung 204: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ100	161
Abbildung 205: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, BHQ2004	163
Abbildung 206: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, BHQ2004	163
Abbildung 207: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, BHQ2004	164
Abbildung 208: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, BHQ2004	164

Tabellenverzeichnis

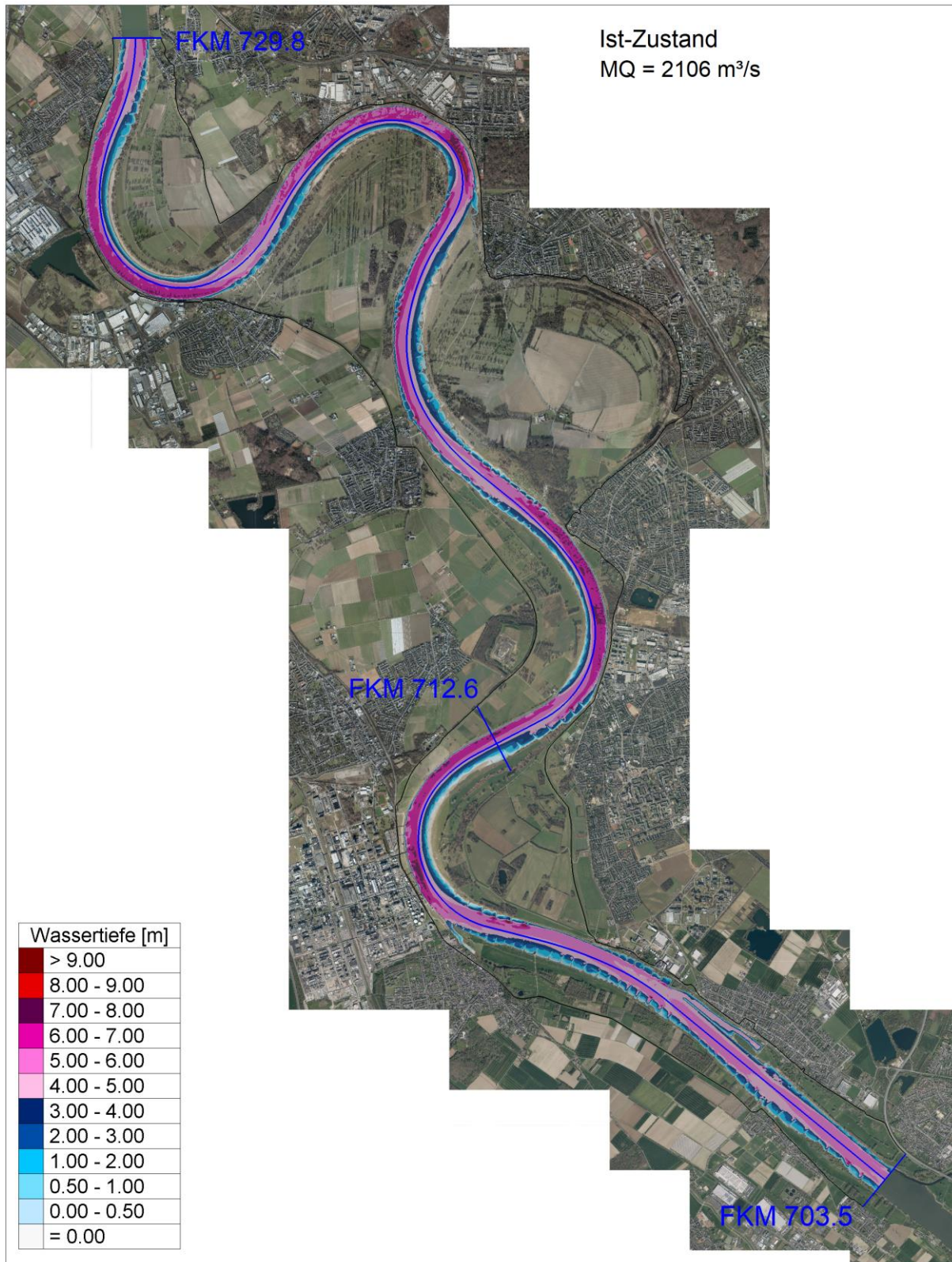
Tabelle 1: Untersuchte Lastfälle mit hydraulischen Randbedingungen	16
Tabelle 2: Mittlerer absoluter Fehler (MAE)	20

Anlage 1: Lagepläne, Wassertiefen im Projektgebiet für den Ist-Zustand

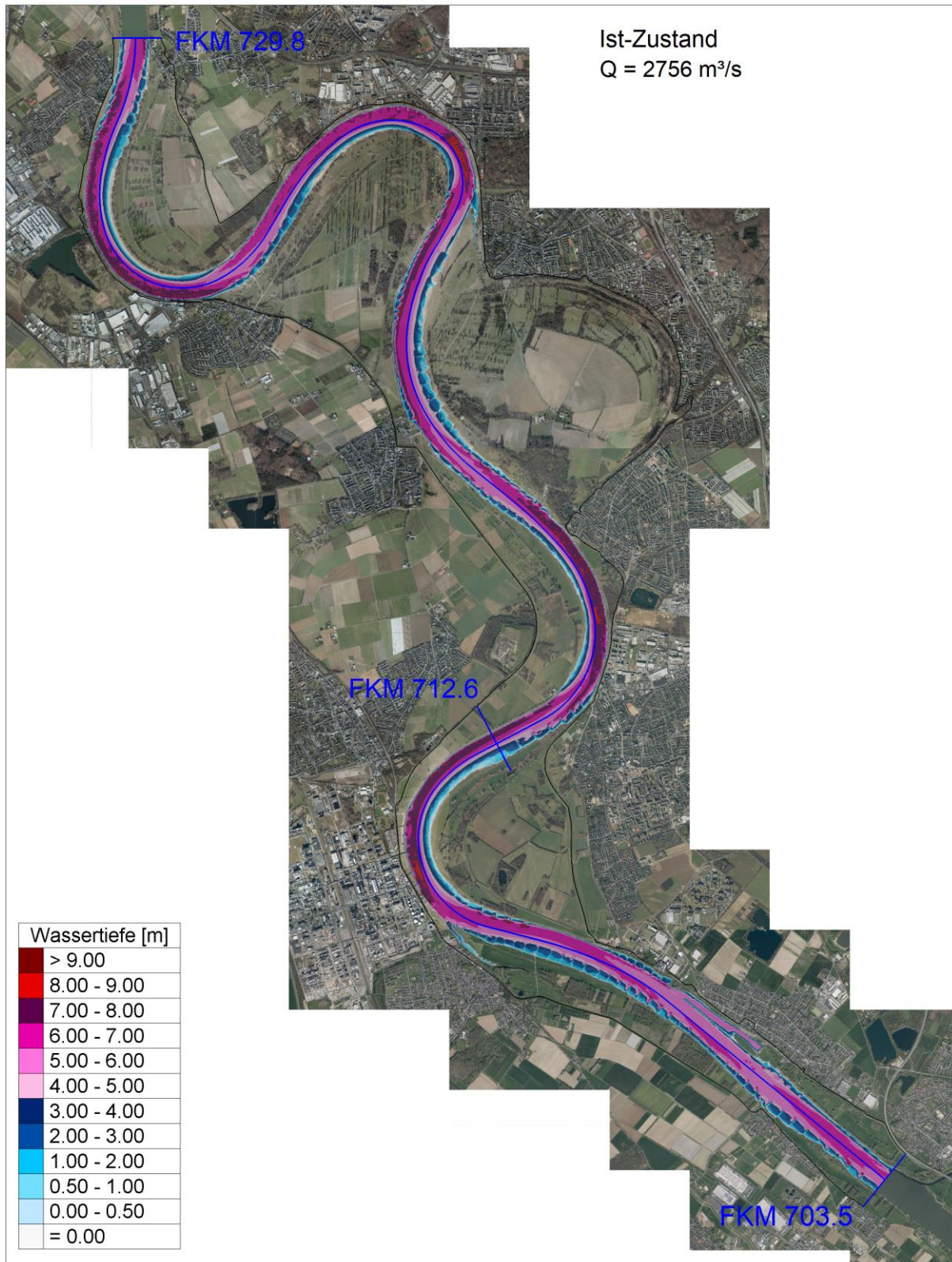
Lastfall NNQ2003



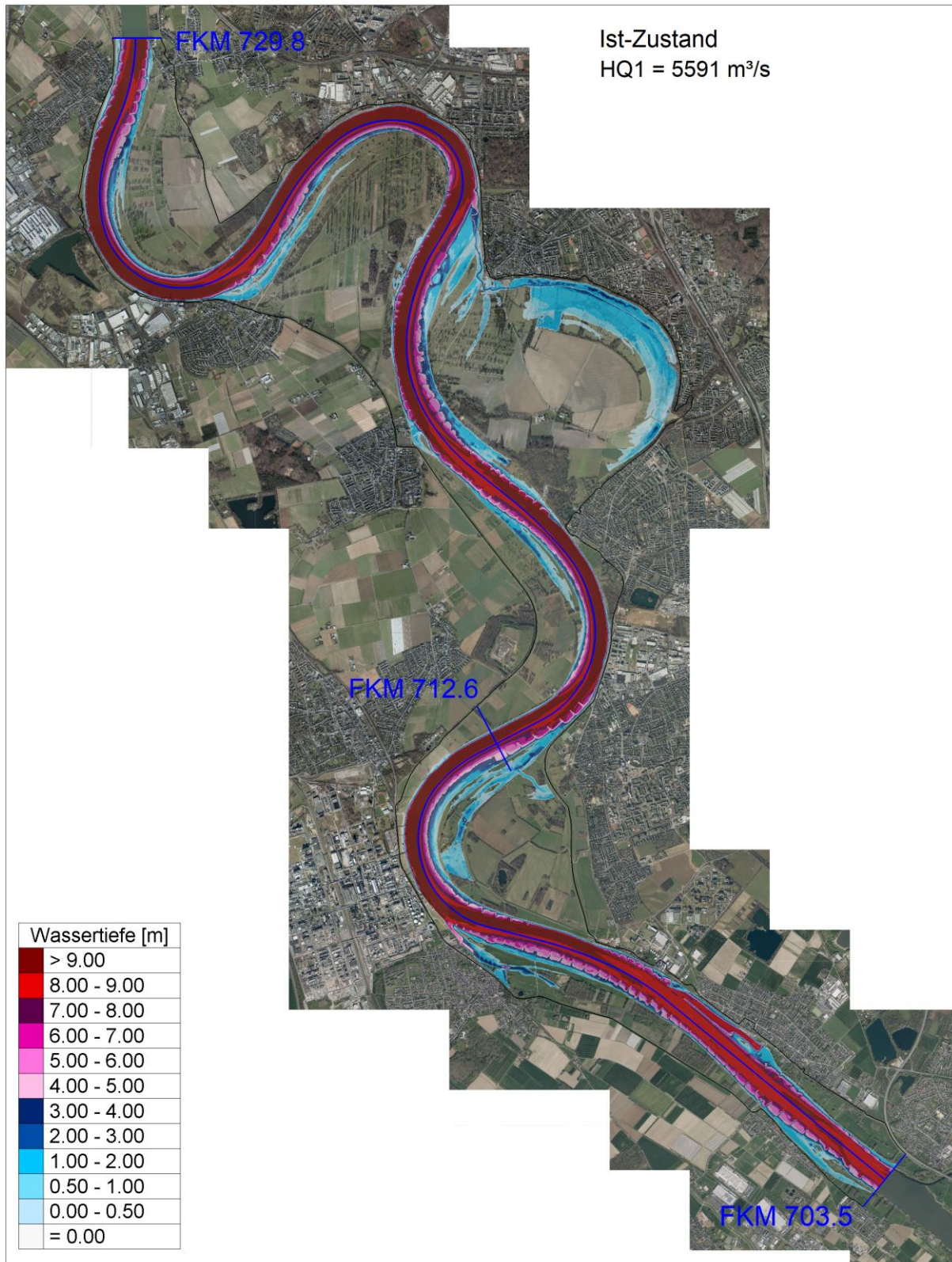
Lastfall MQ



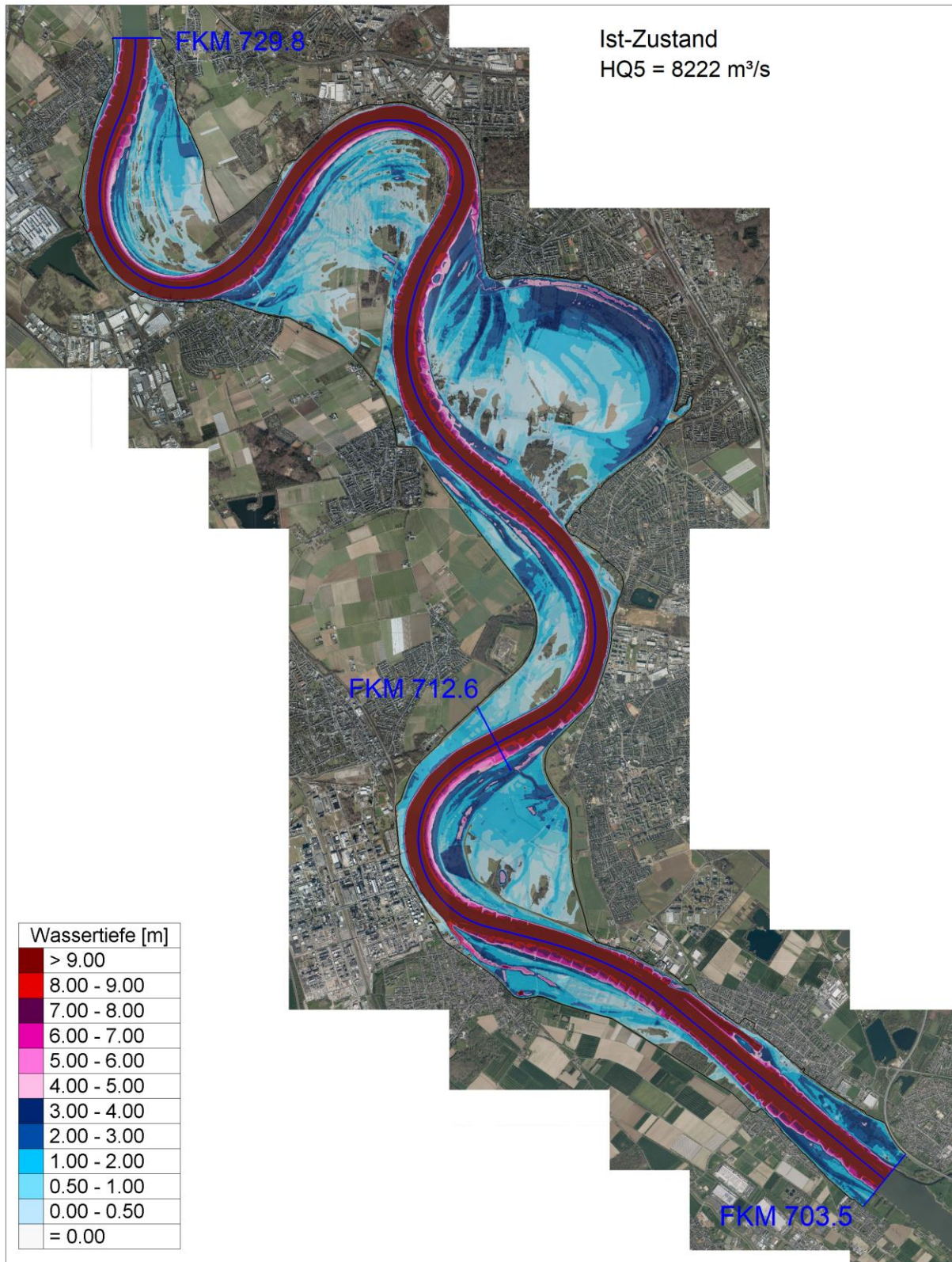
Lastfall Q = 2756 m³/s



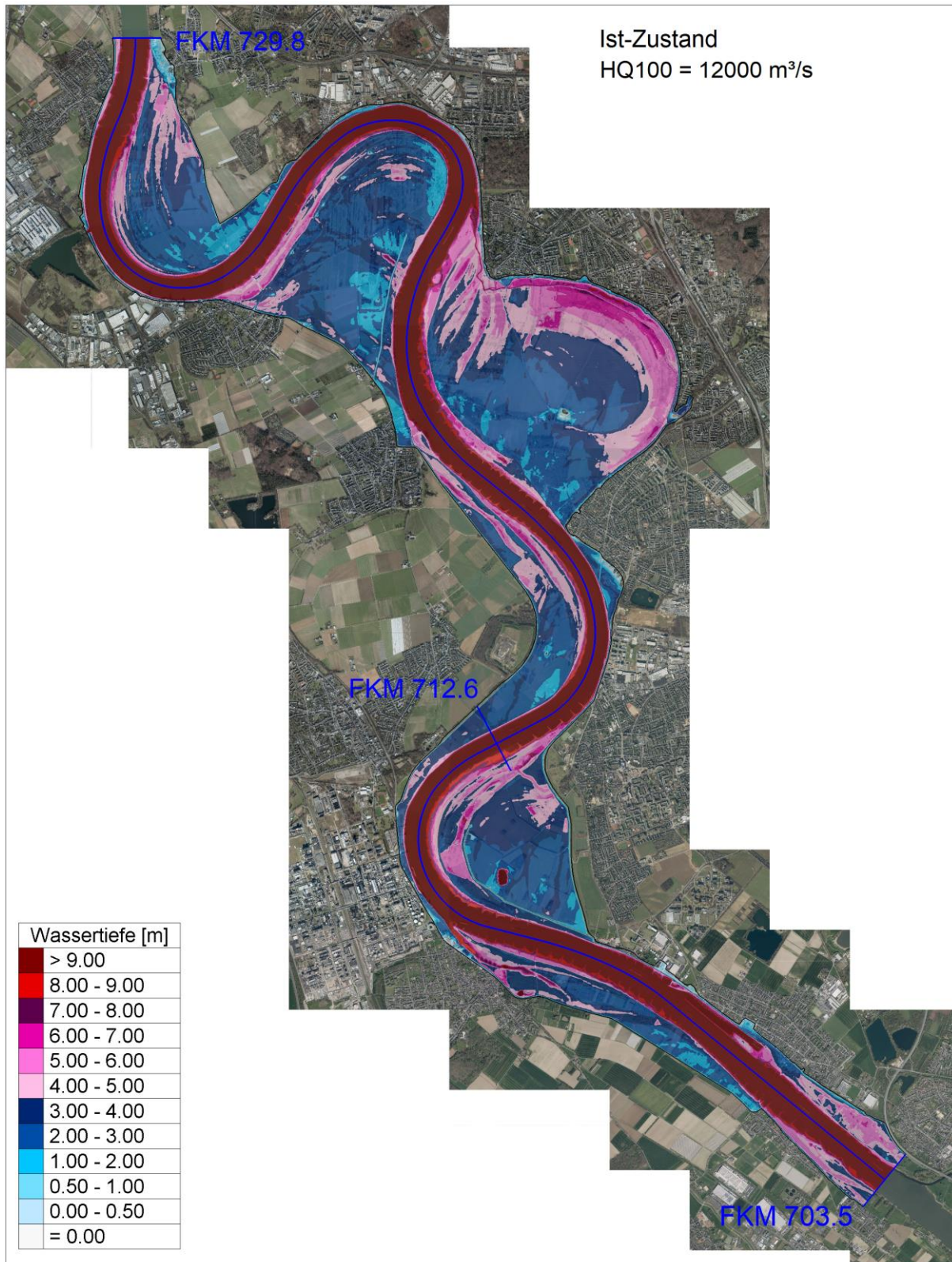
Lastfall HQ1



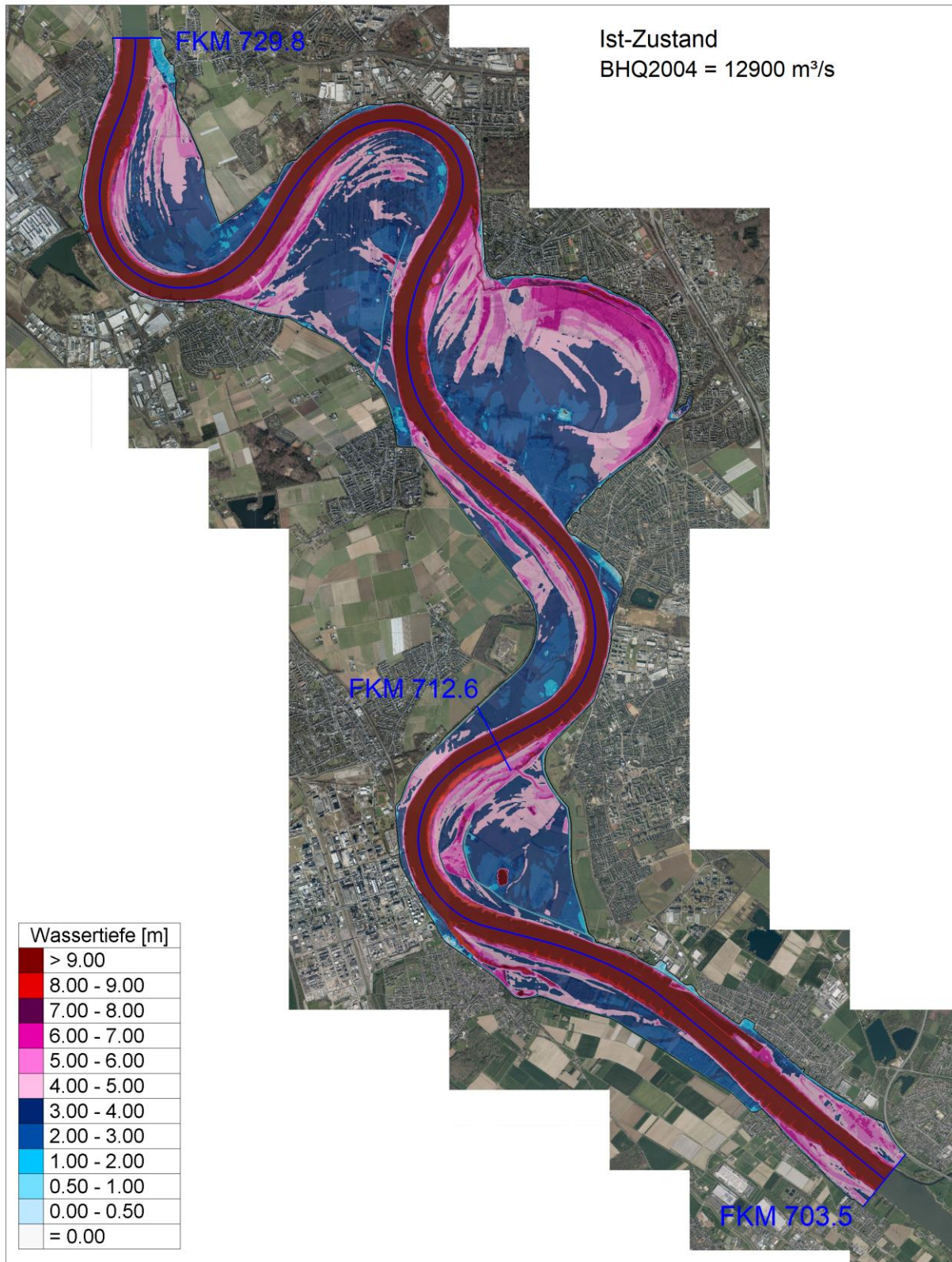
Lastfall HQ5



Lastfall HQ100



Lastfall BHQ2004



Anlage 2: Lagepläne, Wassertiefen im Bereich des Entnahmebauwerks

Lastfall NNQ2003

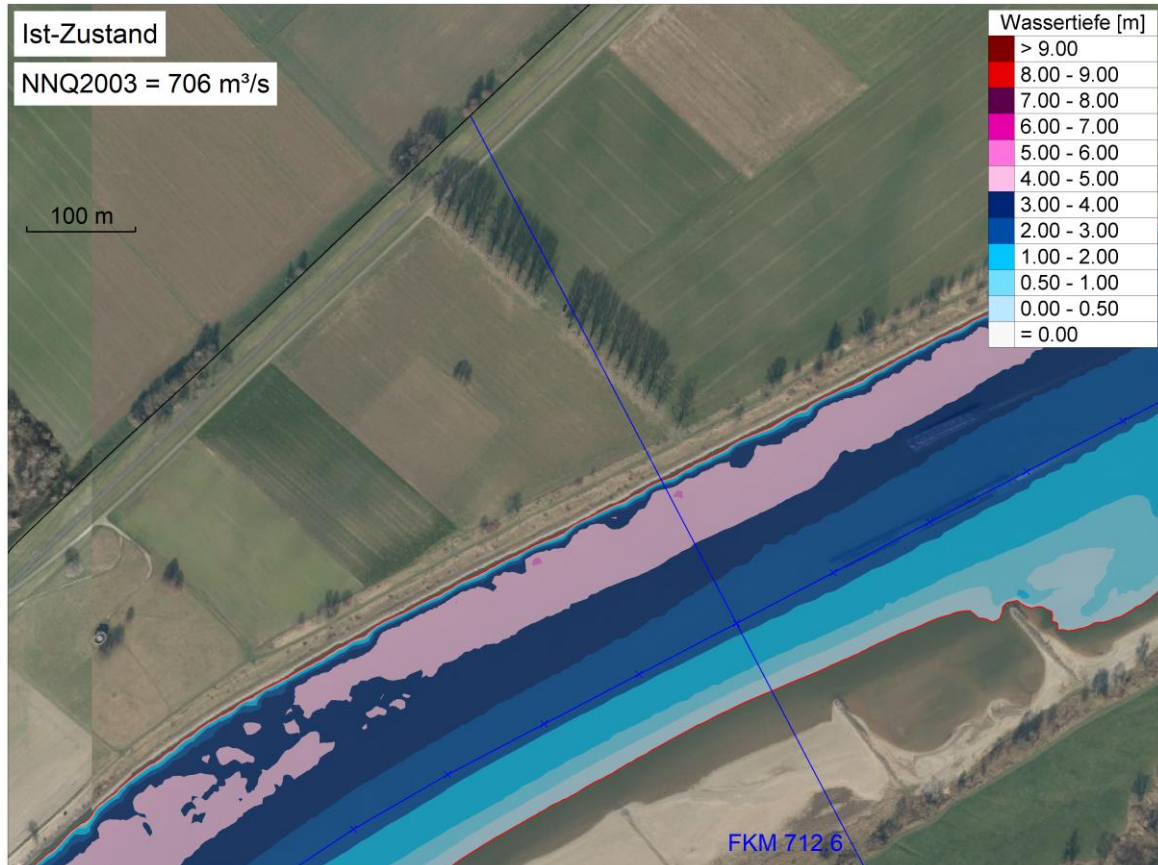


Abbildung 153: Wassertiefen, Ist-Zustand, NNQ2003

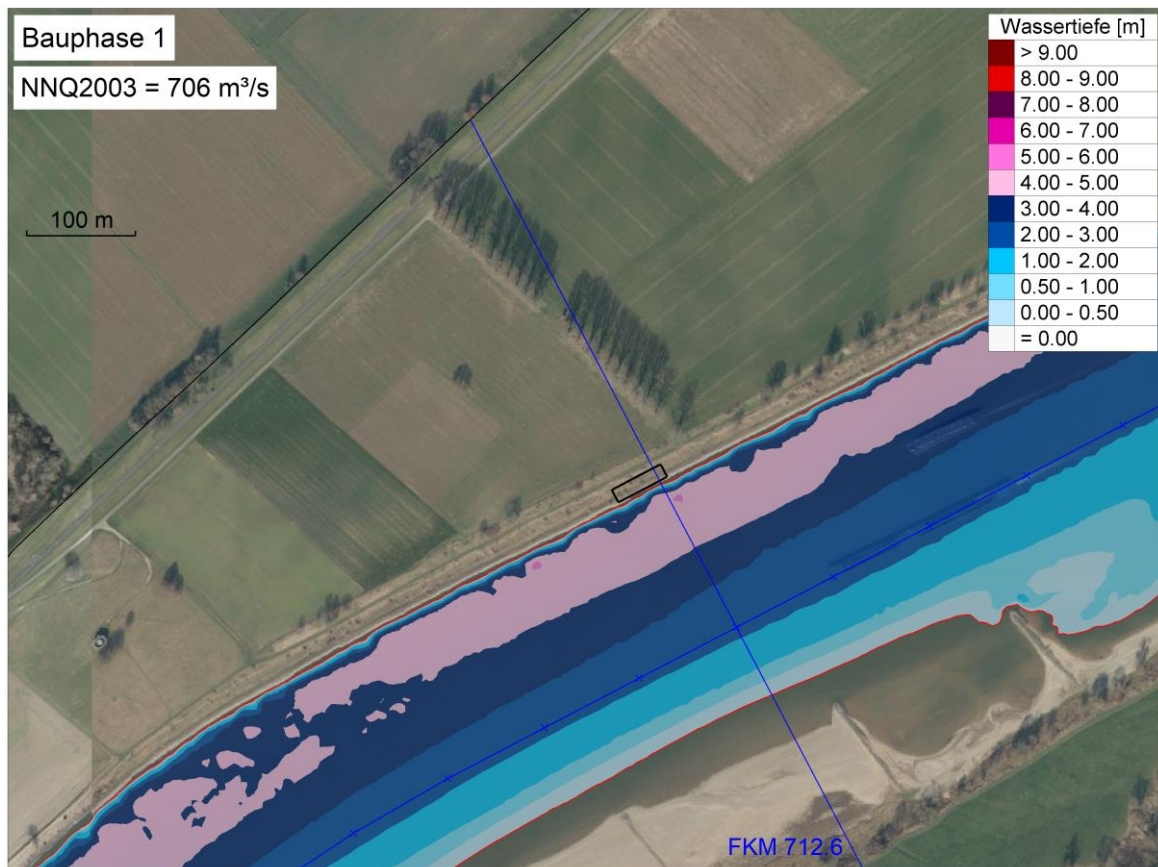


Abbildung 154: Wassertiefen, Bauphase 1, NNQ2003

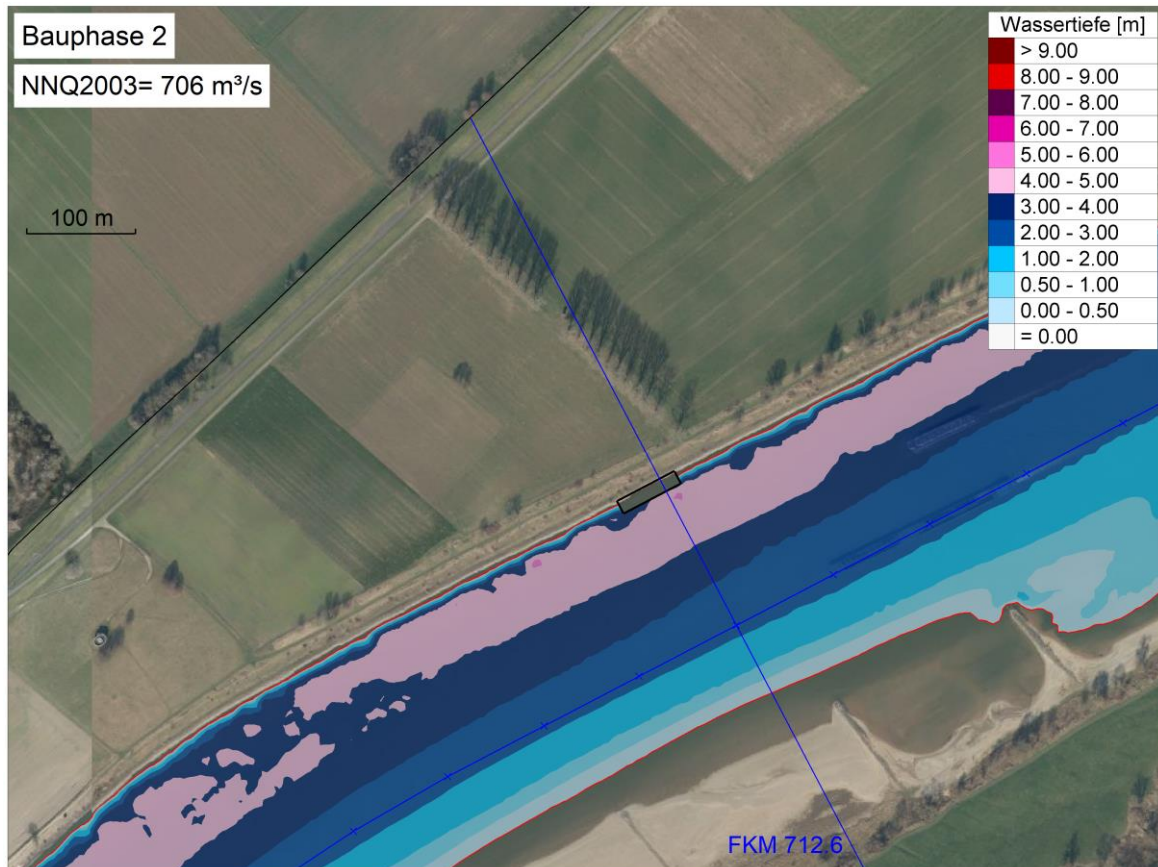


Abbildung 155: Wassertiefen, Bauphase 2, NNQ2003



Abbildung 156: Wassertiefen, Plan-Zustand, NNQ2003

Lastfall MQ

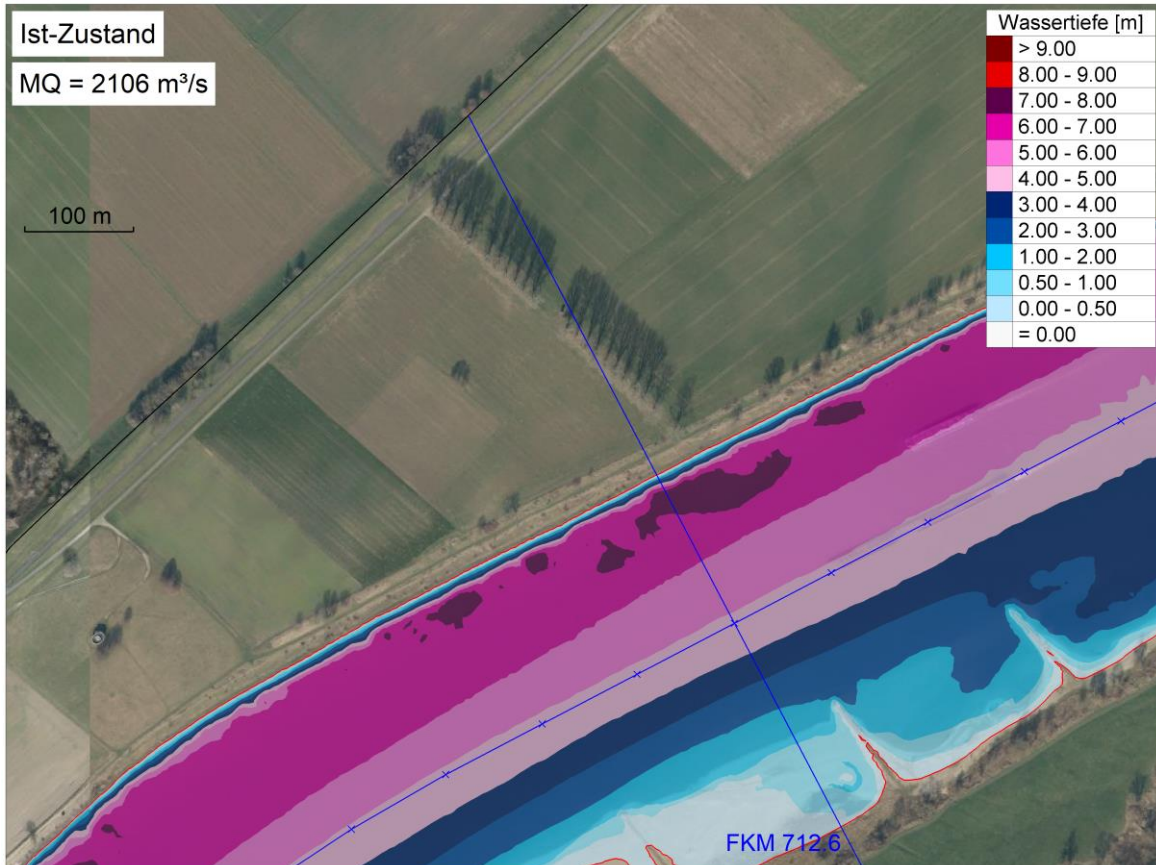


Abbildung 157: Wassertiefen, Ist-Zustand, MQ

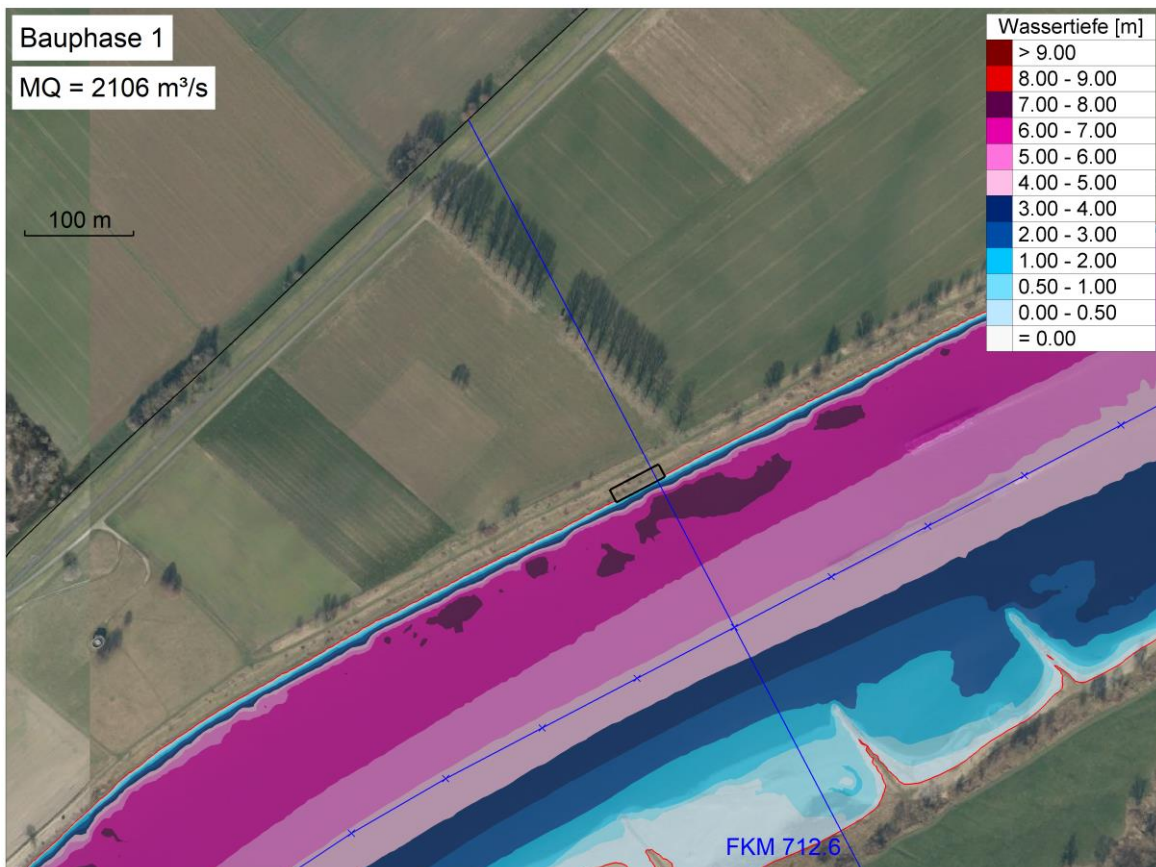


Abbildung 158: Wassertiefen, Bauphase 1, MQ

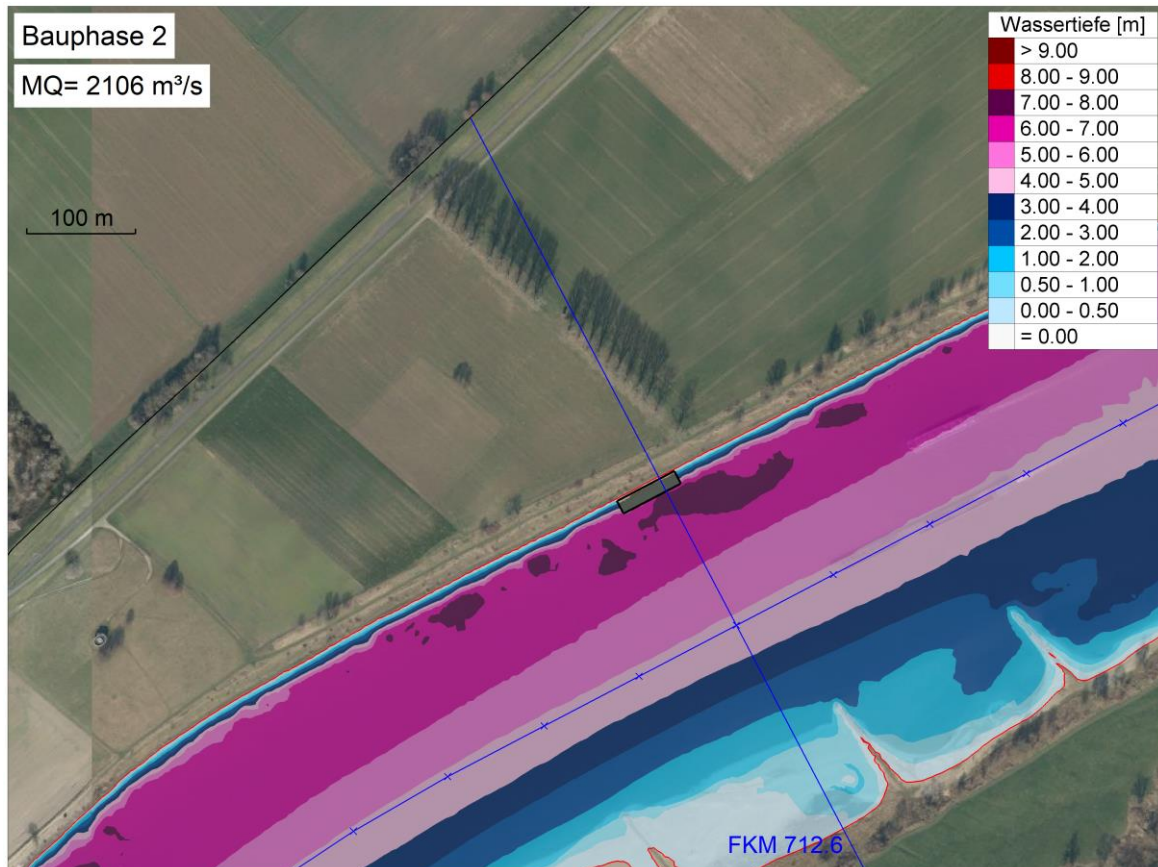


Abbildung 159: Wassertiefen, Bauphase 2, MQ

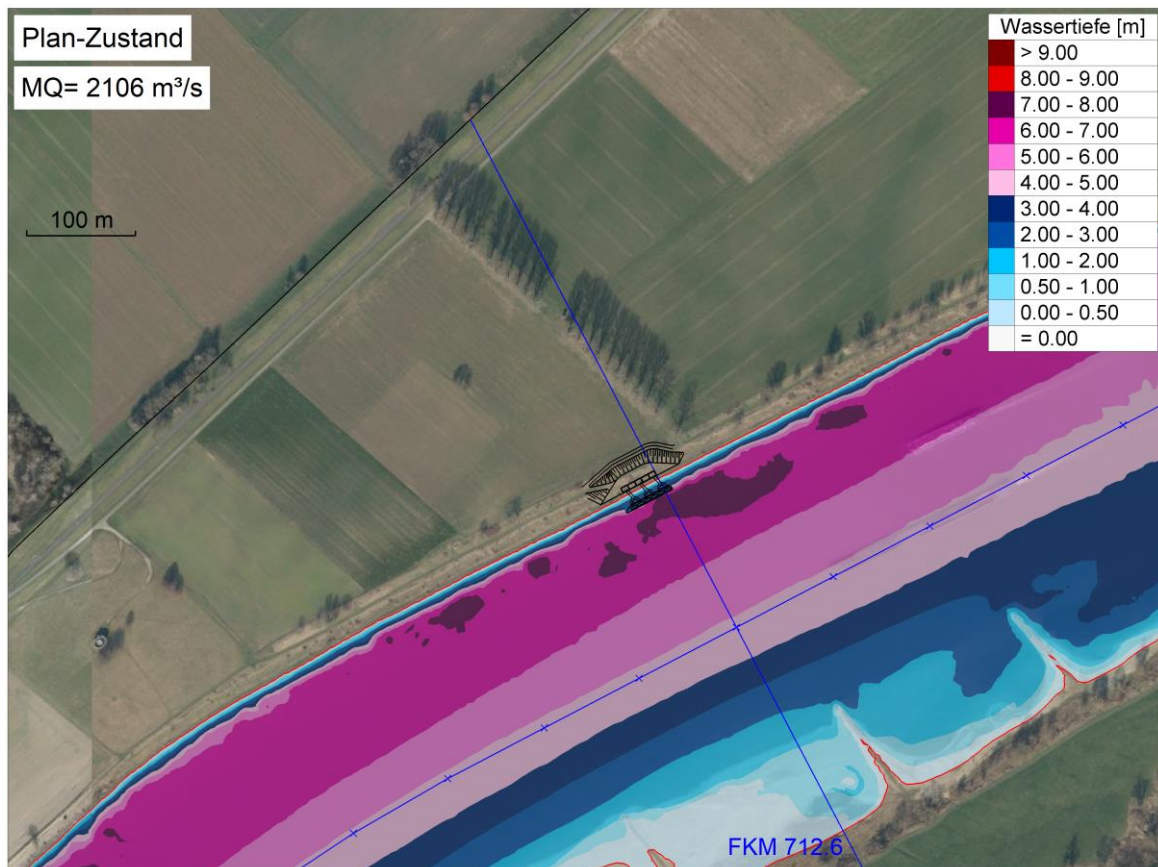


Abbildung 160: Wassertiefen, Plan-Zustand, MQ

Lastfall Q = 2756 m³/s

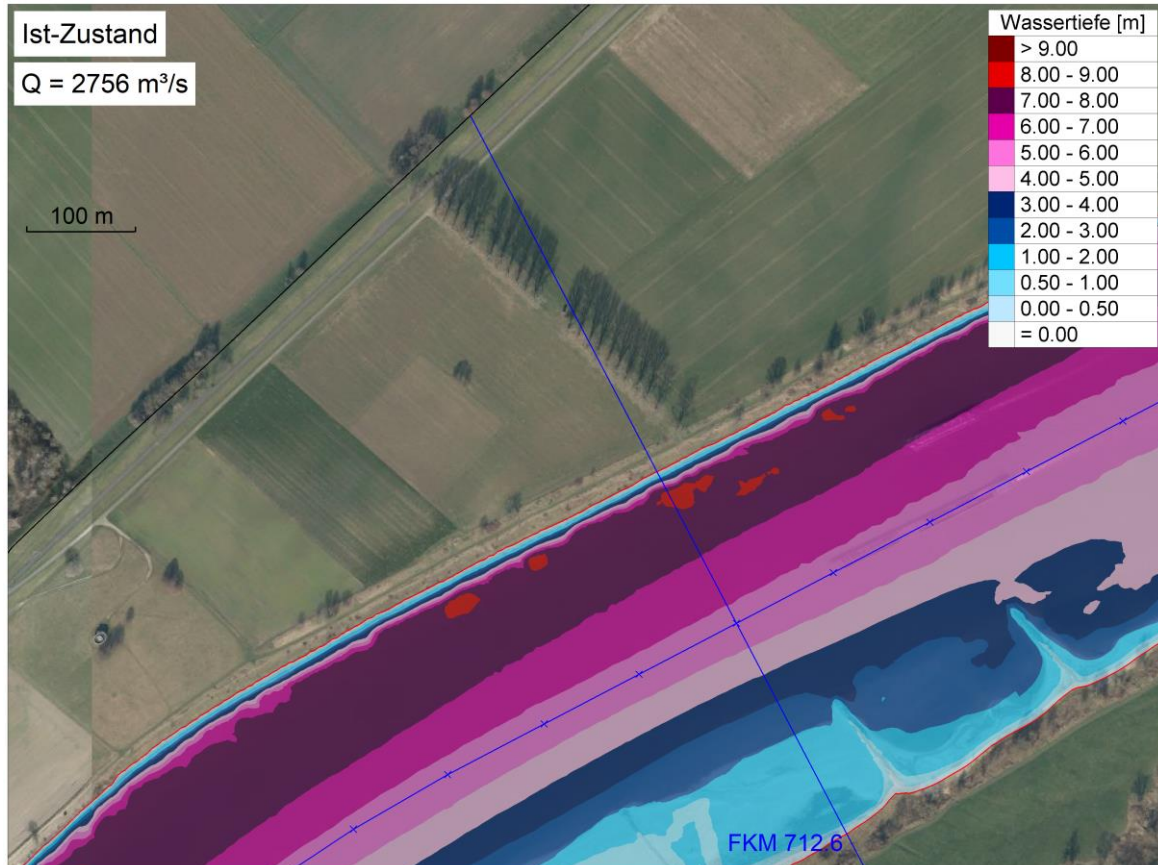


Abbildung 161: Wassertiefen, Ist-Zustand, Q = 2756 m³/s

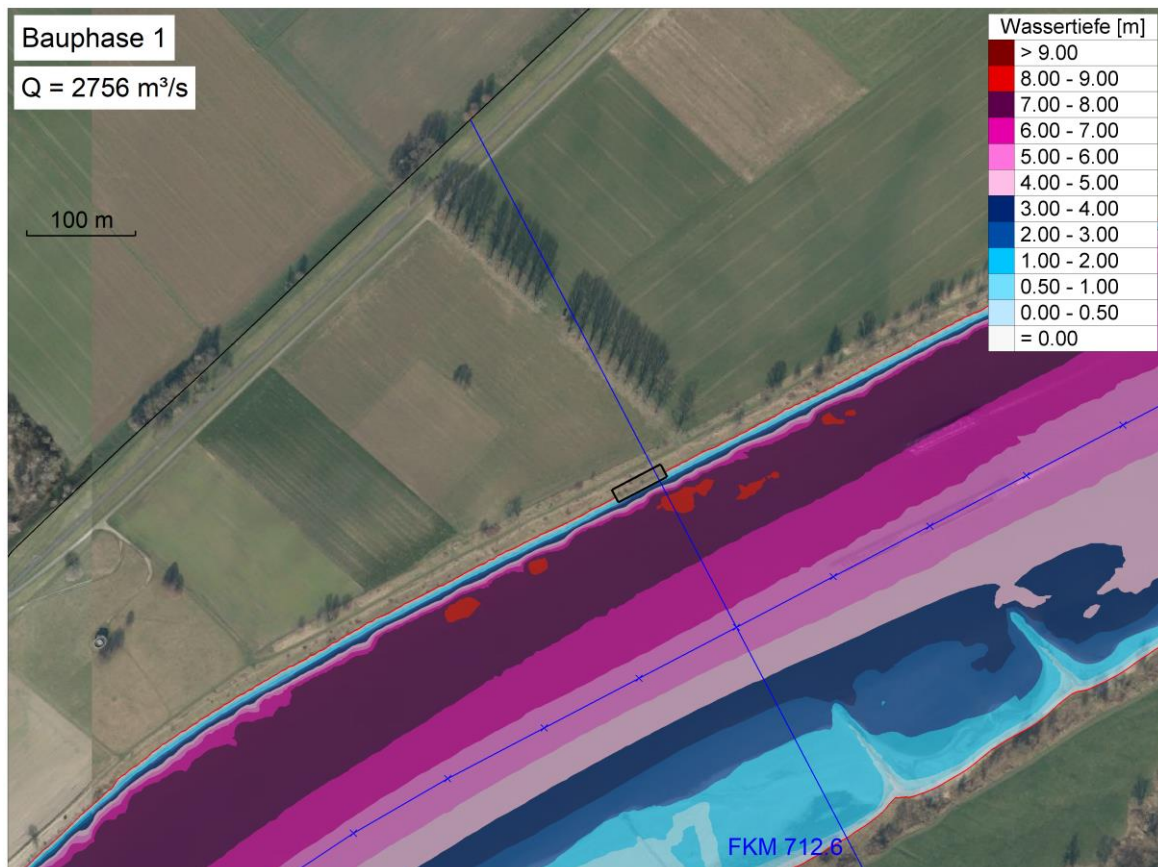


Abbildung 162: Wassertiefen, Bauphase 1, Q = 2756 m³/s

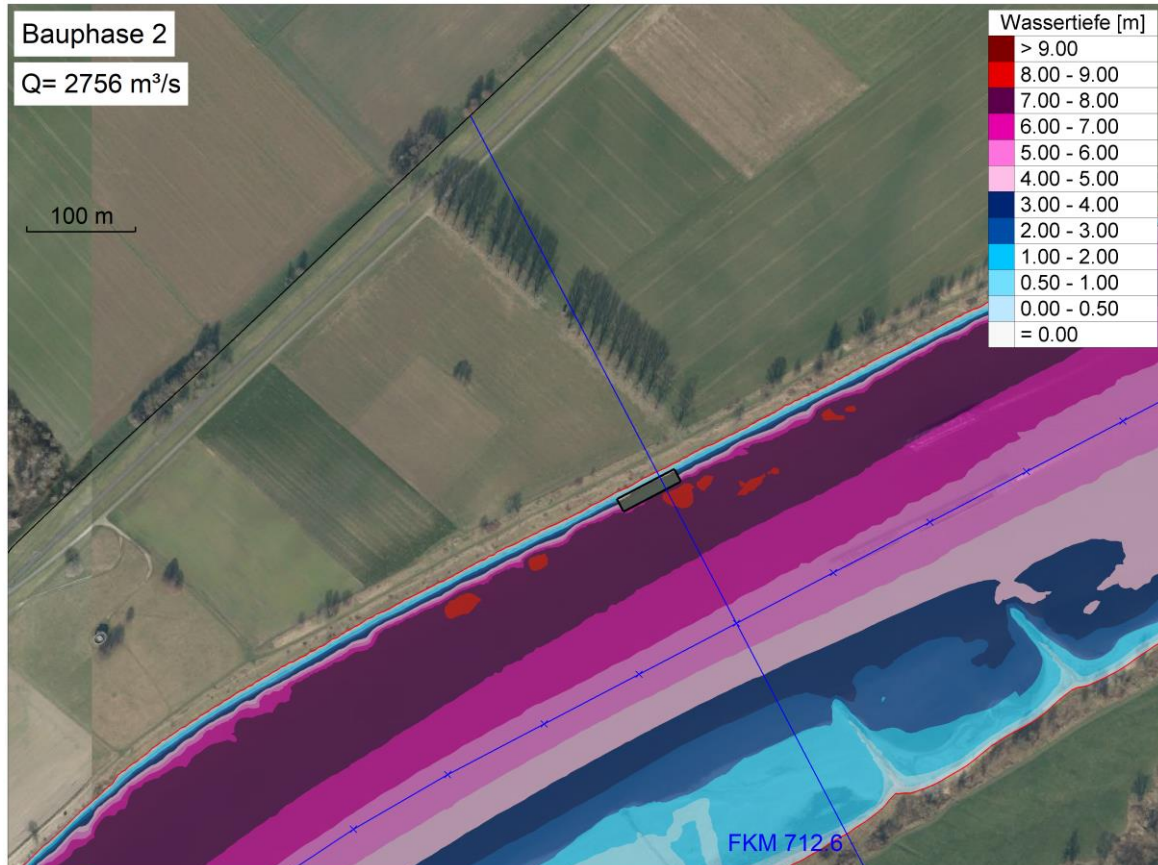


Abbildung 163: Wassertiefen, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

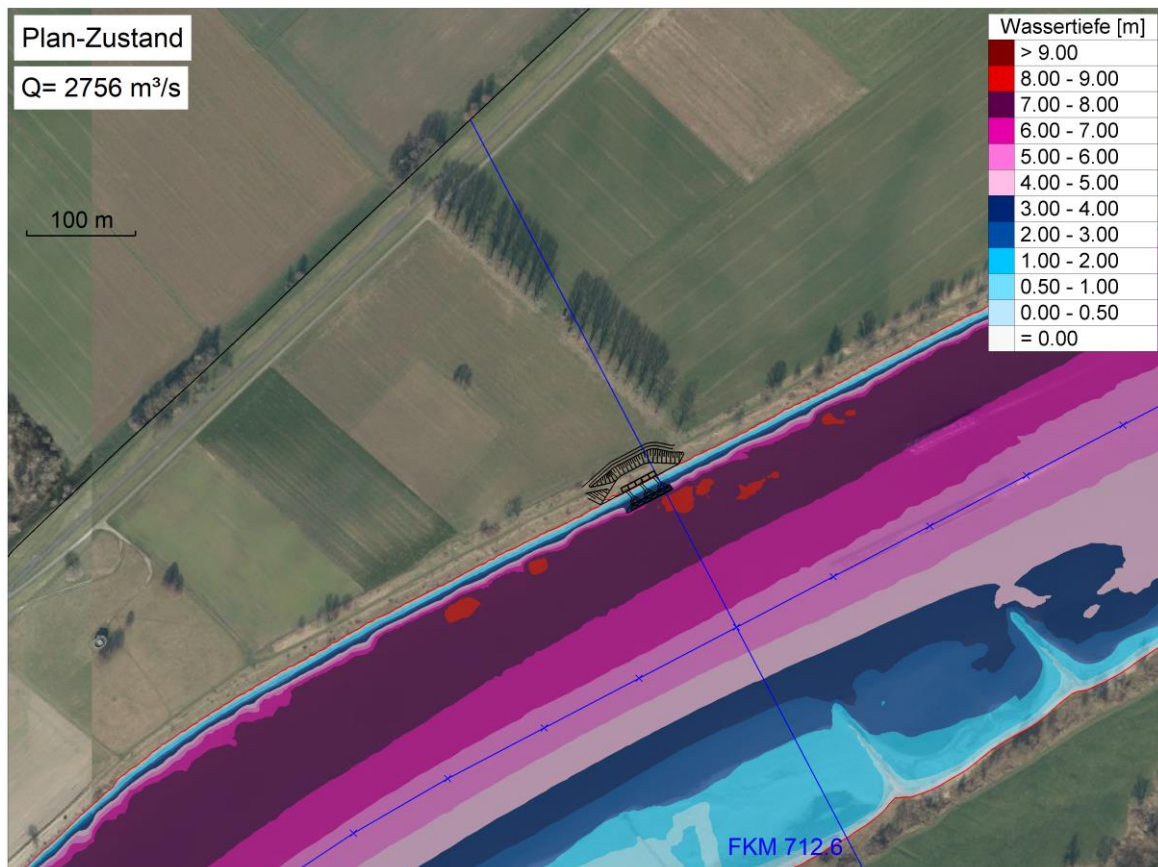


Abbildung 164: Wassertiefen, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

Lastfall HQ1

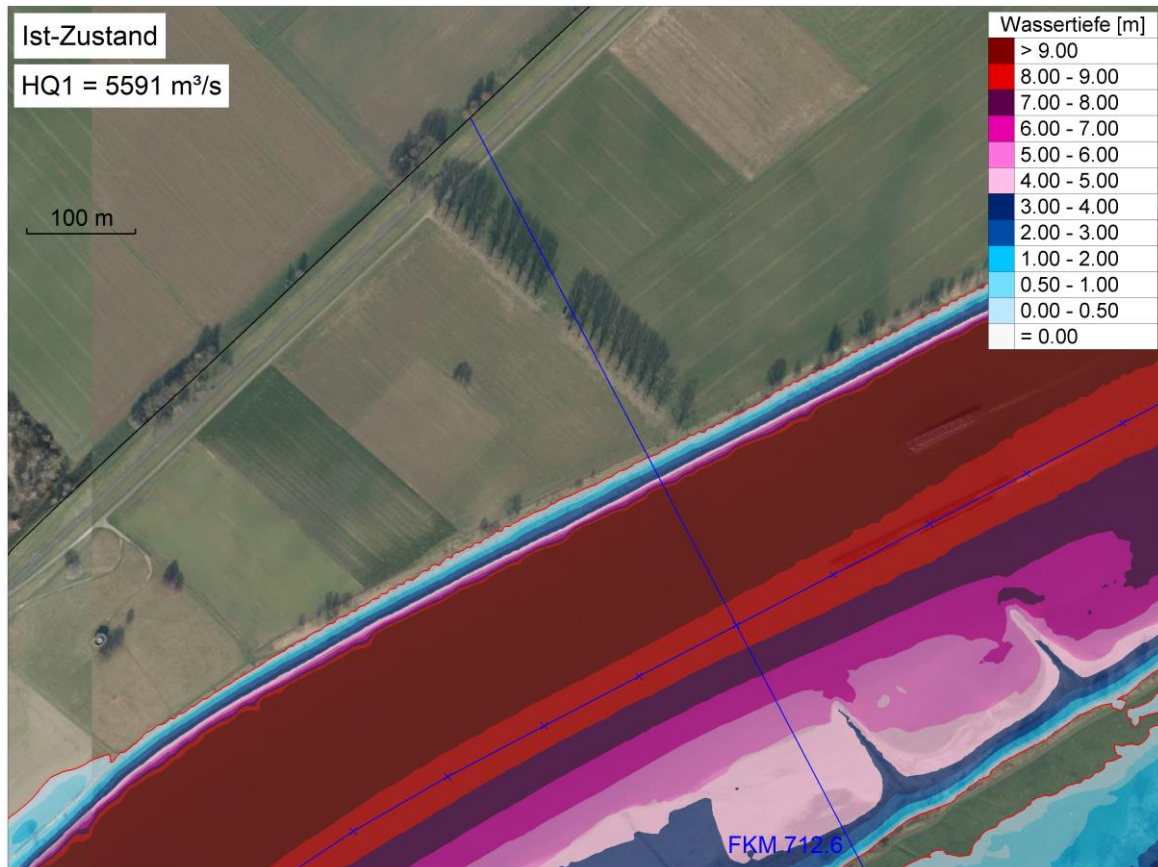


Abbildung 165: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ1

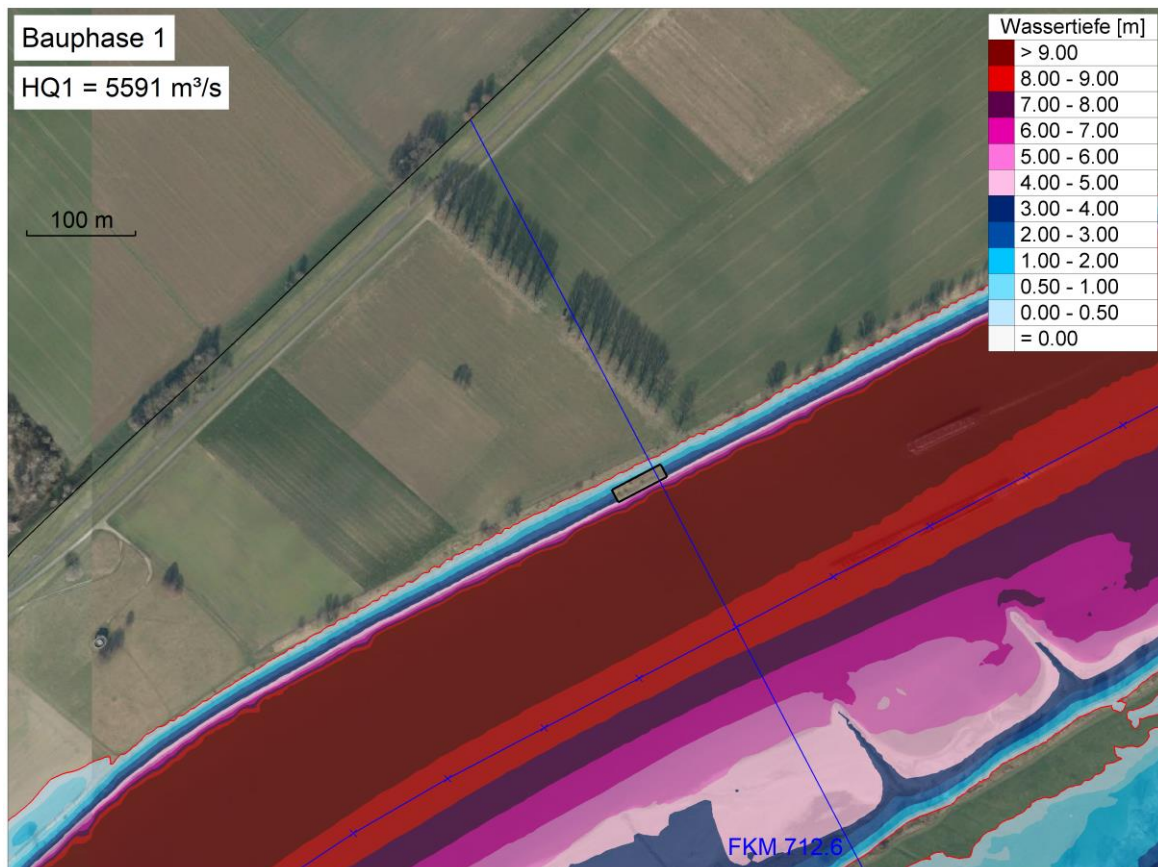


Abbildung 166: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ1

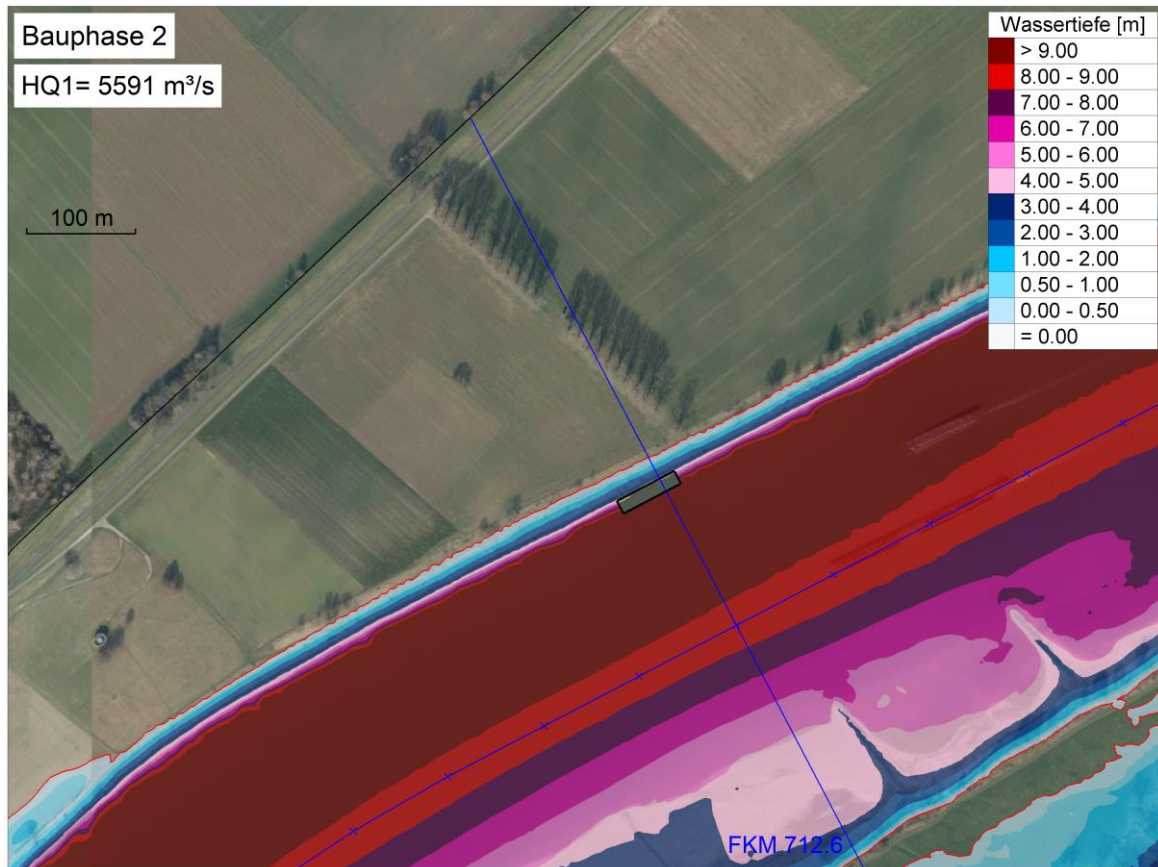


Abbildung 167: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ1

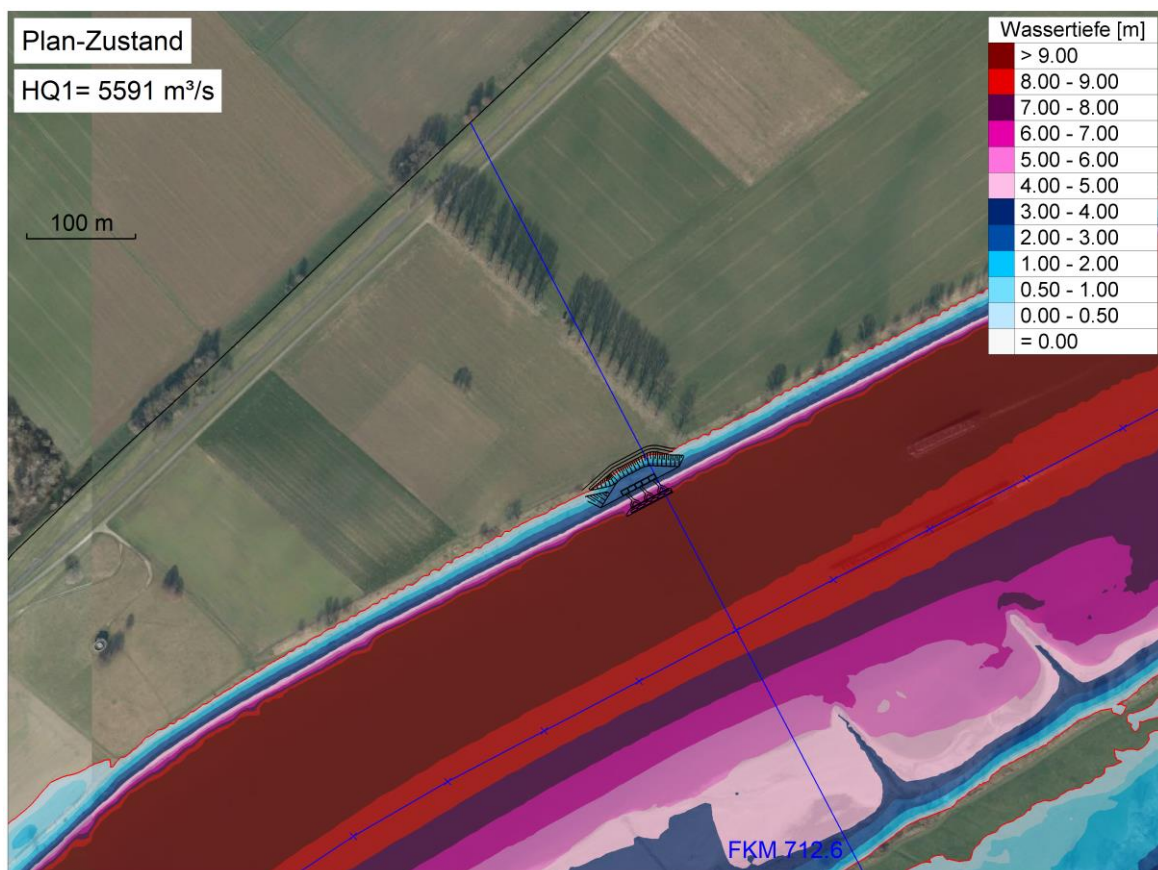


Abbildung 168: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ1

Lastfall HQ5

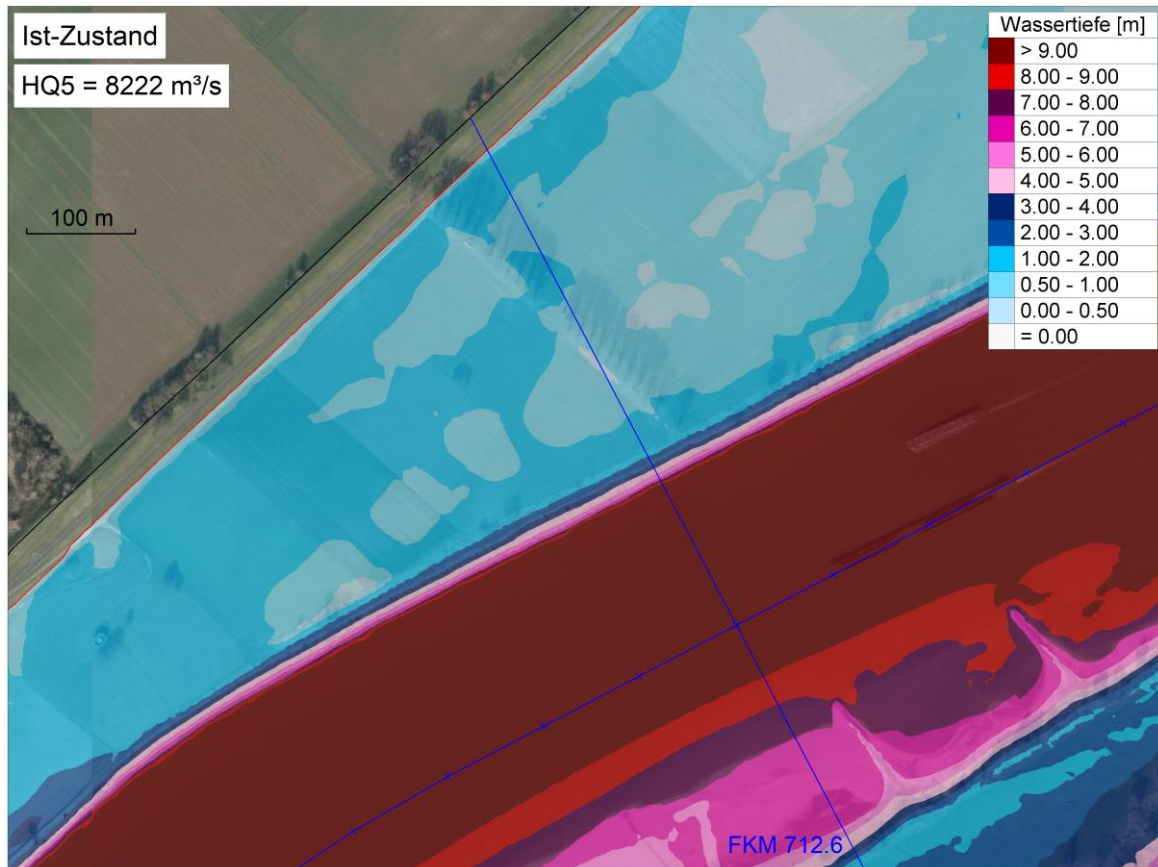


Abbildung 169: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ5

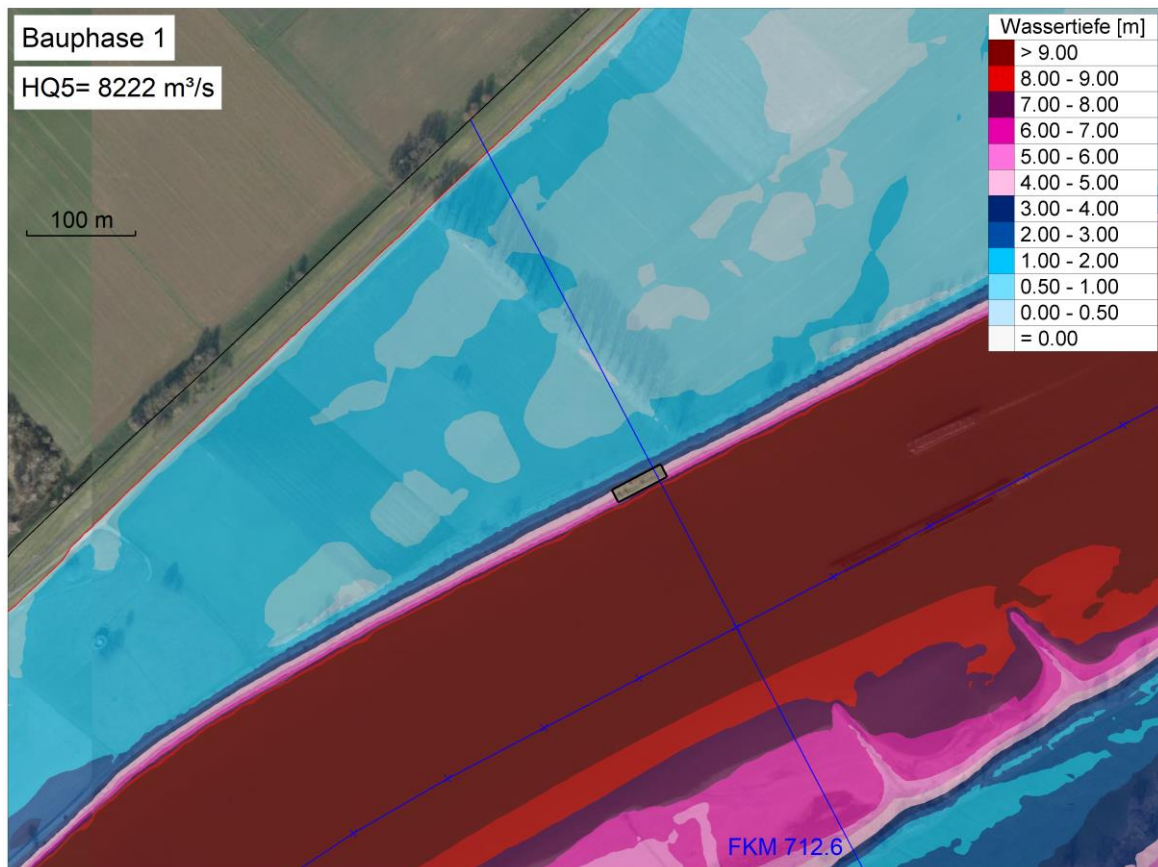


Abbildung 170: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ5

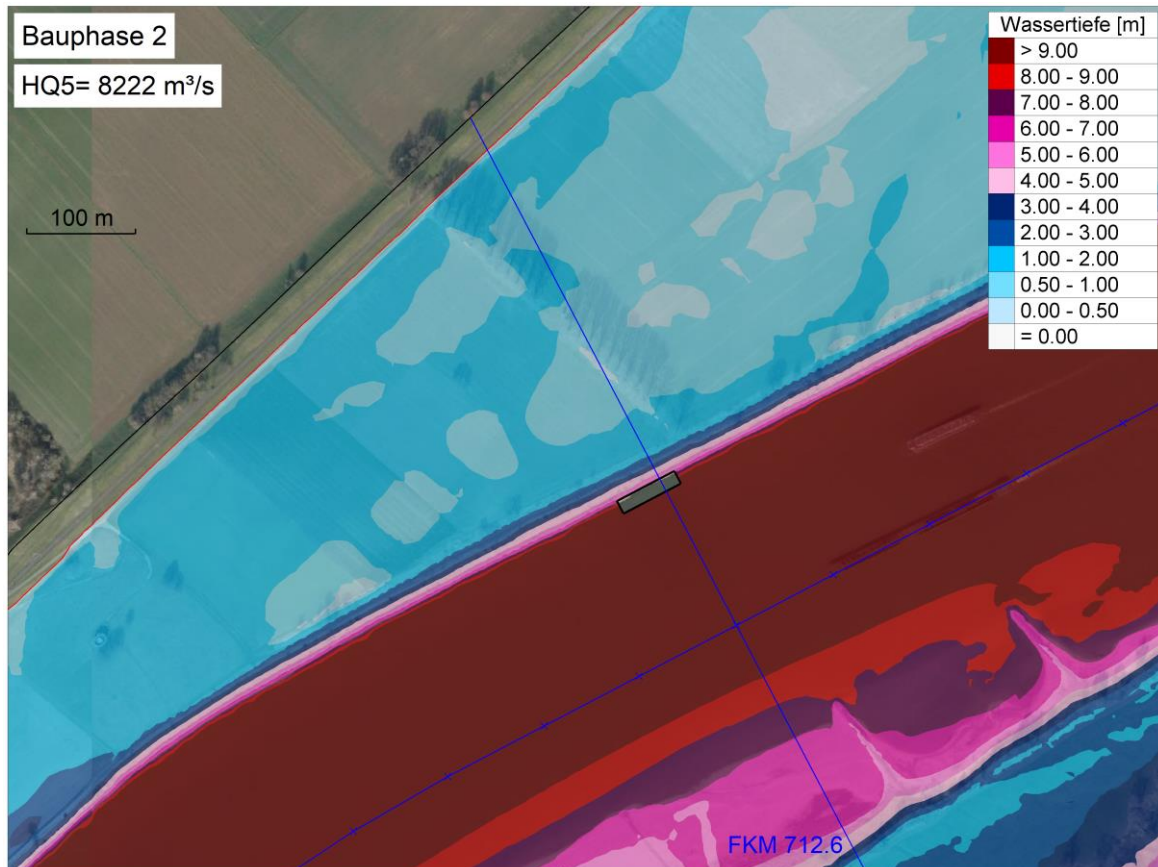


Abbildung 171: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ5

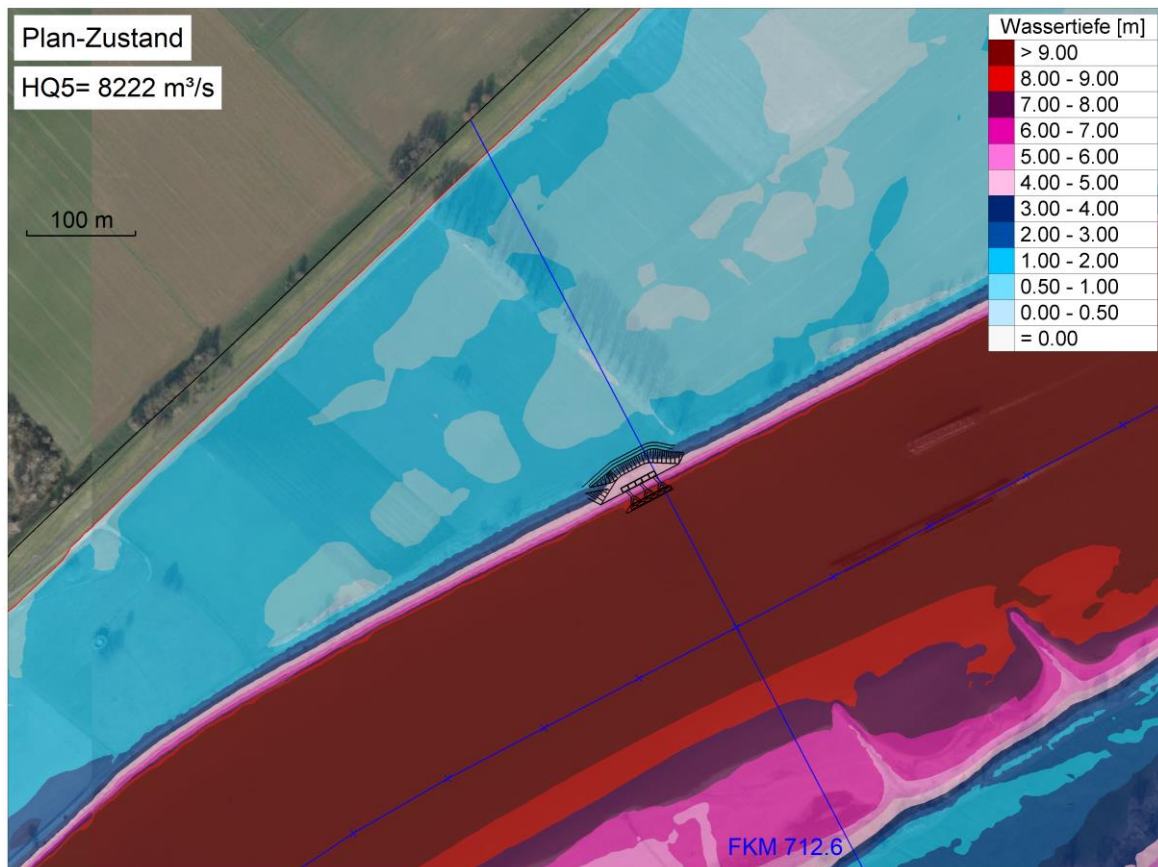


Abbildung 172: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ5

Lastfall HQ100

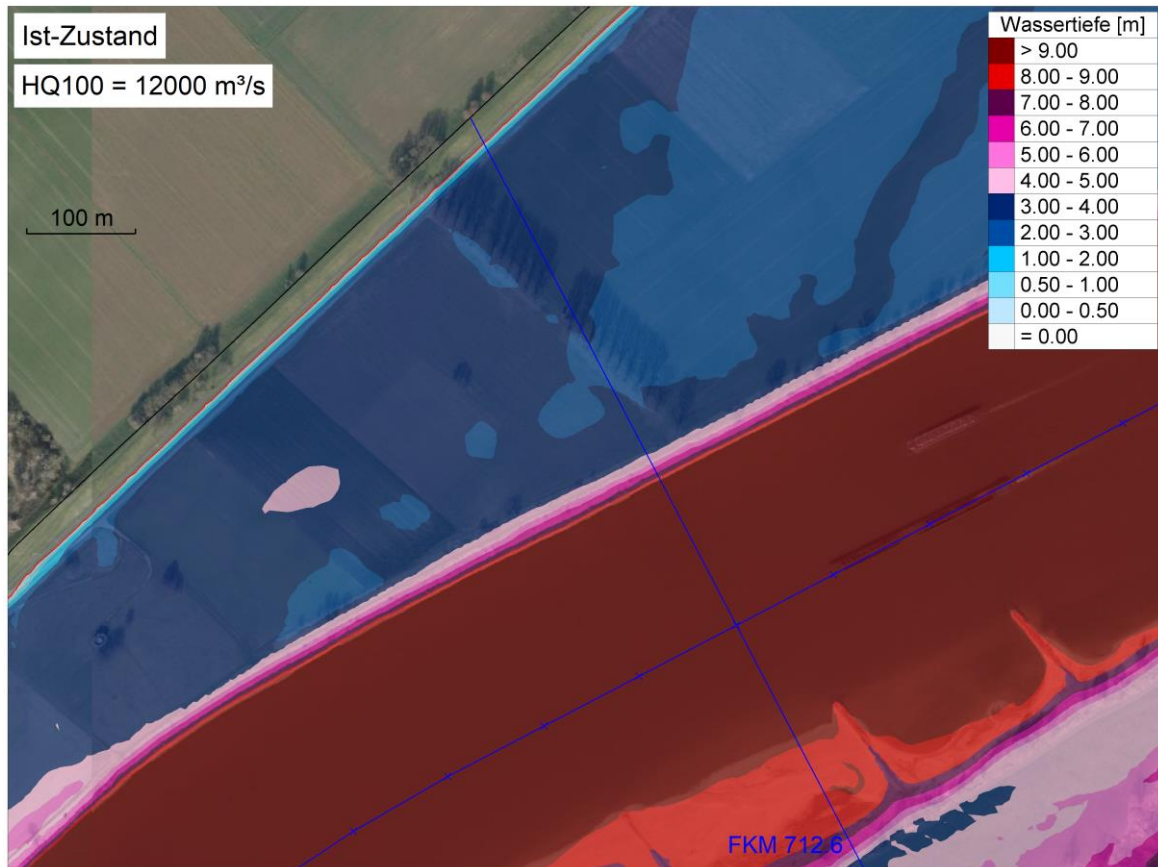


Abbildung 173: Wassertiefen, Ist-Zustand, HQ100

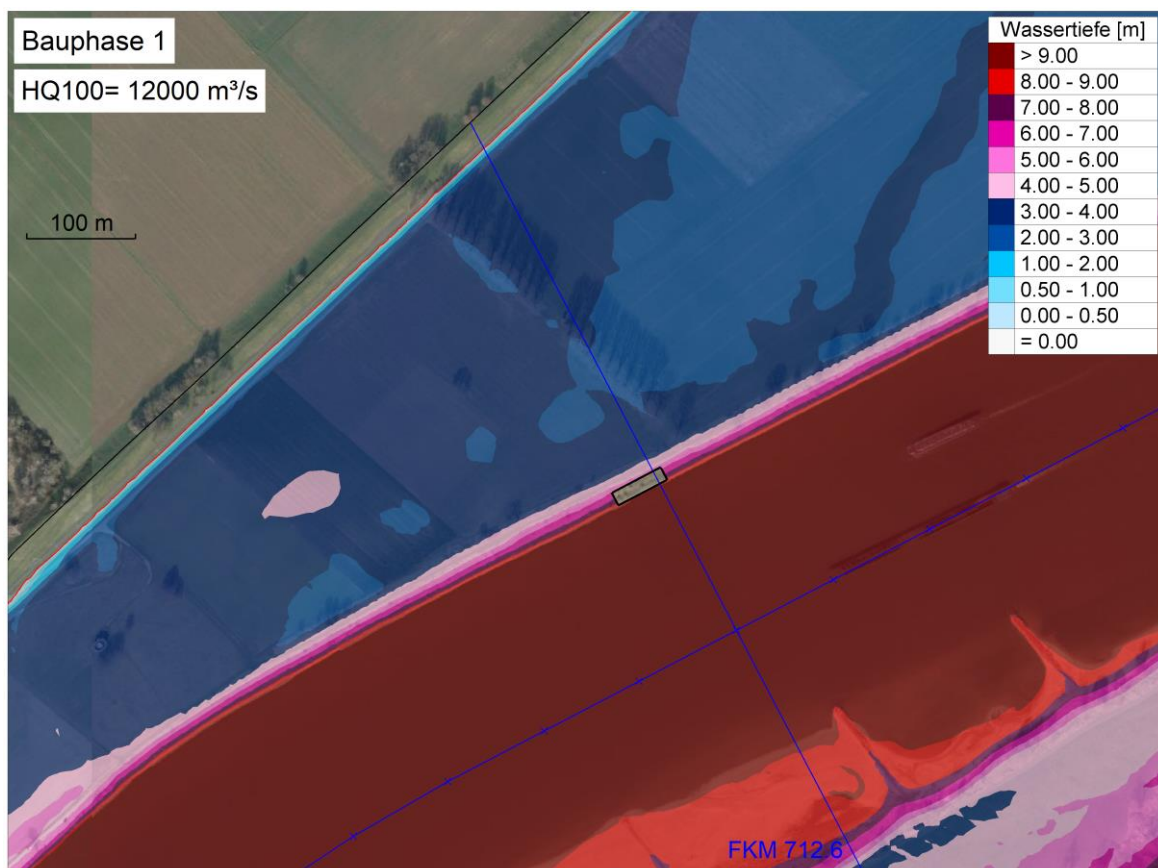


Abbildung 174: Wassertiefen, Bauphase 1, HQ100

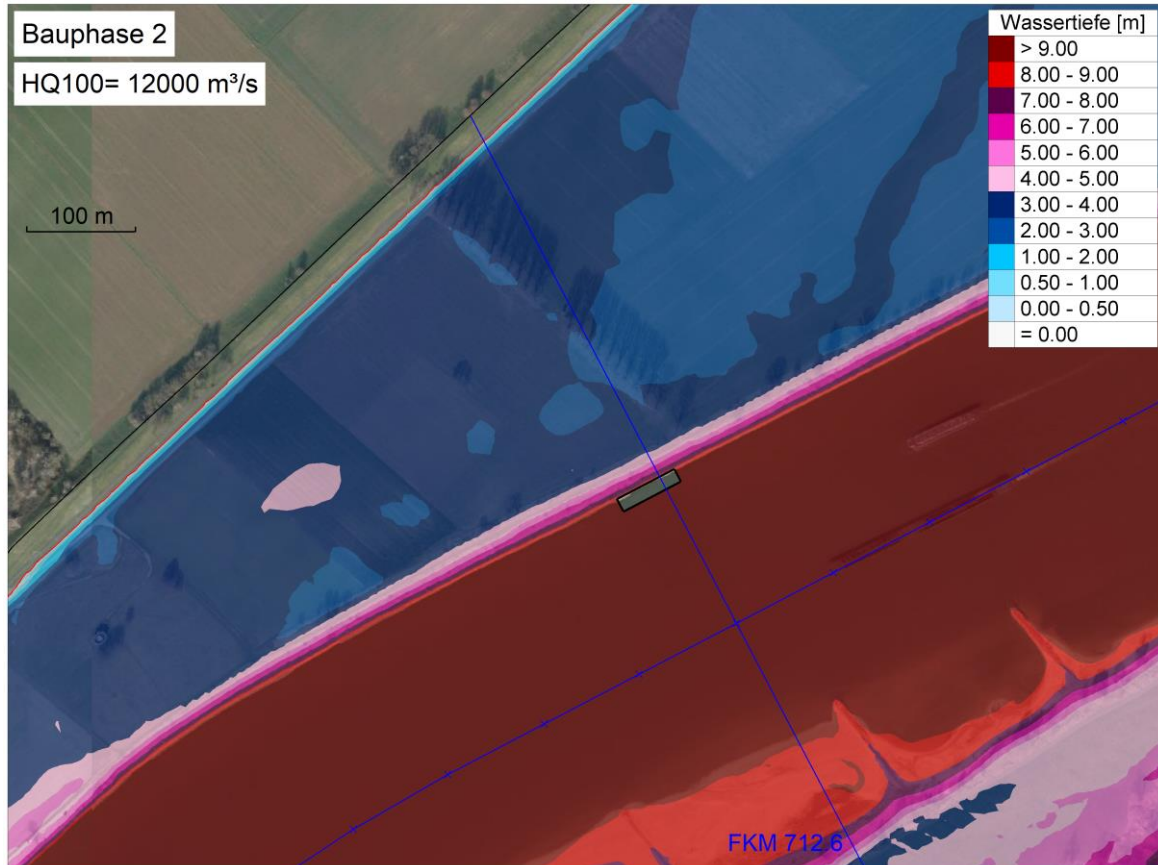


Abbildung 175: Wassertiefen, Bauphase 2, HQ100

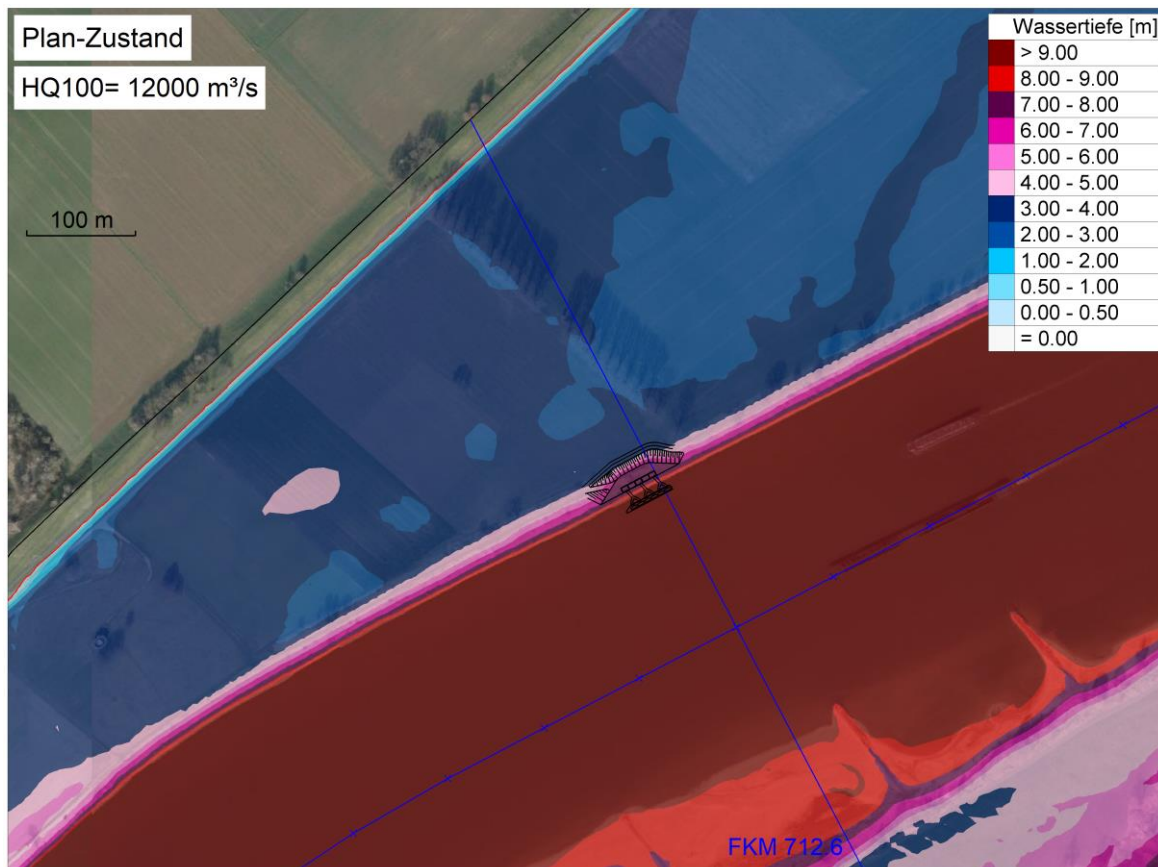


Abbildung 176: Wassertiefen, Plan-Zustand, HQ100

Lastfall BHQ2004

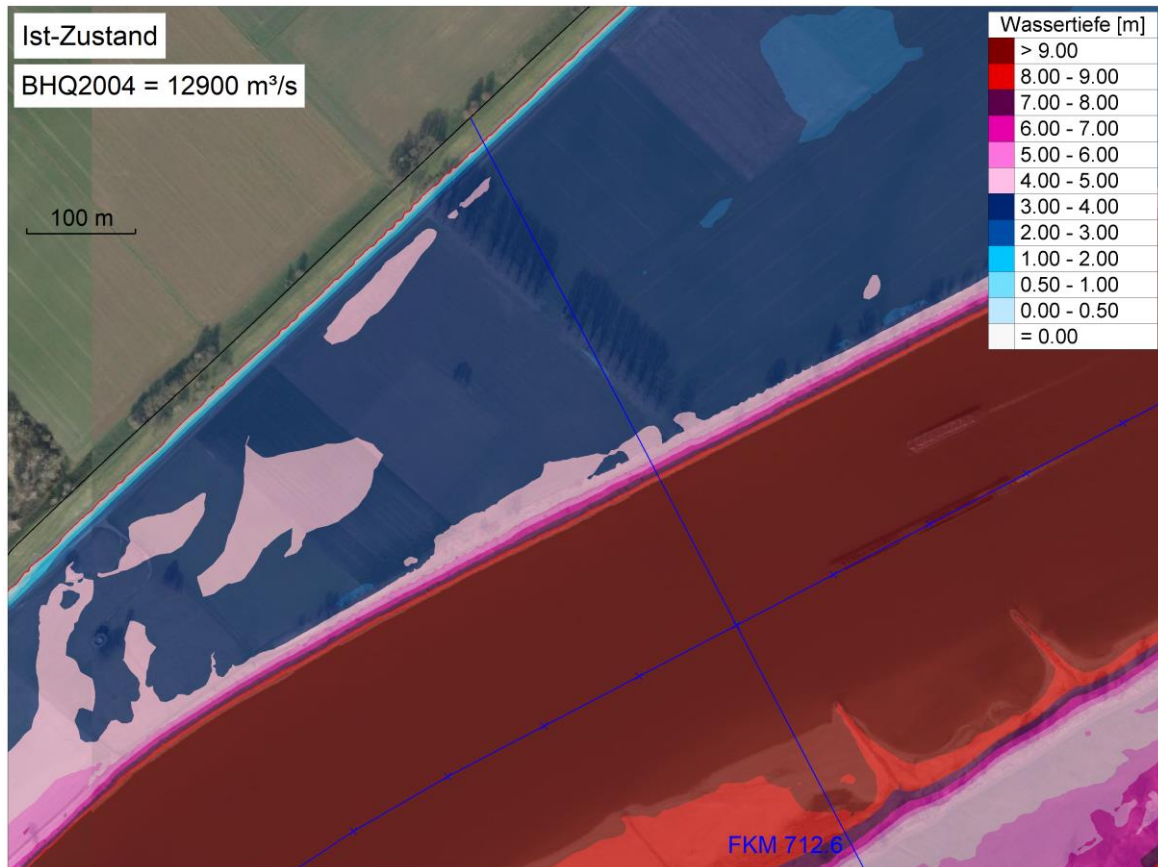


Abbildung 177: Wassertiefen, Ist-Zustand, BHQ2004

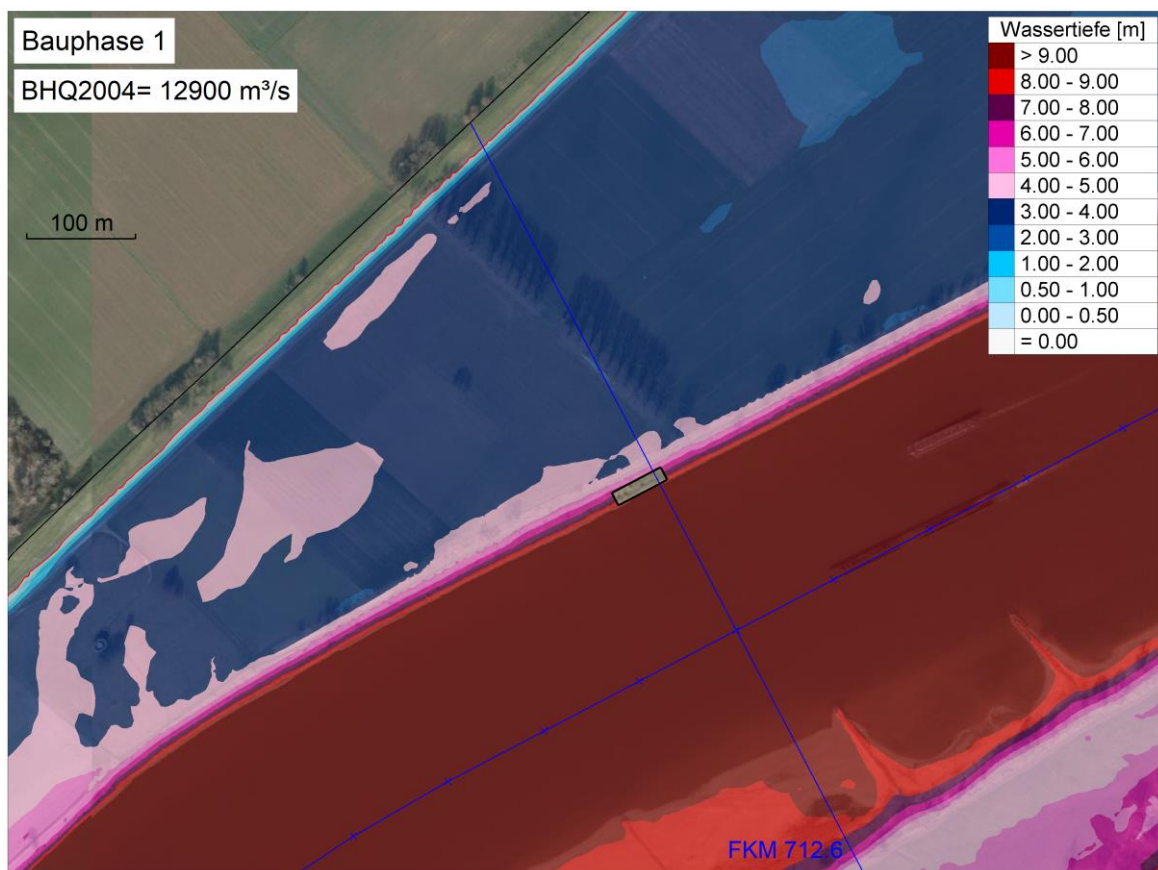


Abbildung 178: Wassertiefen, Bauphase 1, BHQ2004

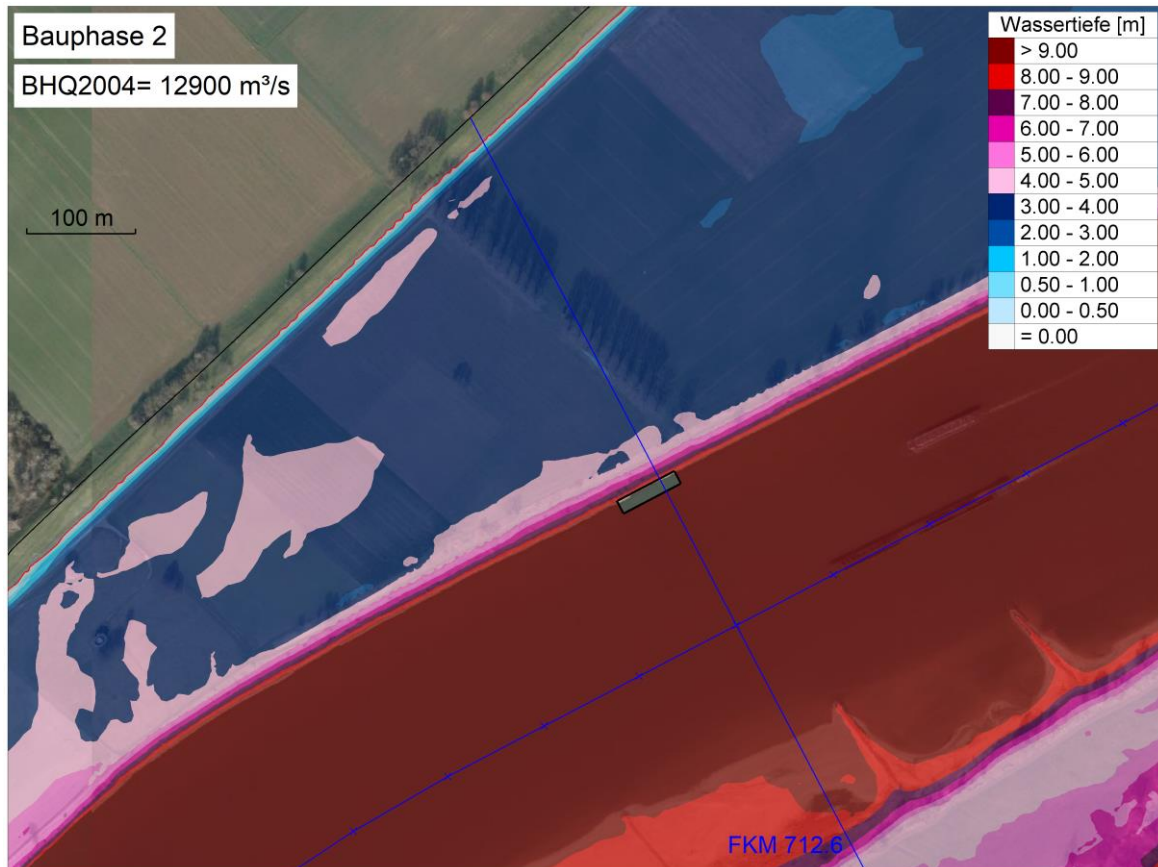


Abbildung 179: Wassertiefen, Bauphase 2, BHQ2004

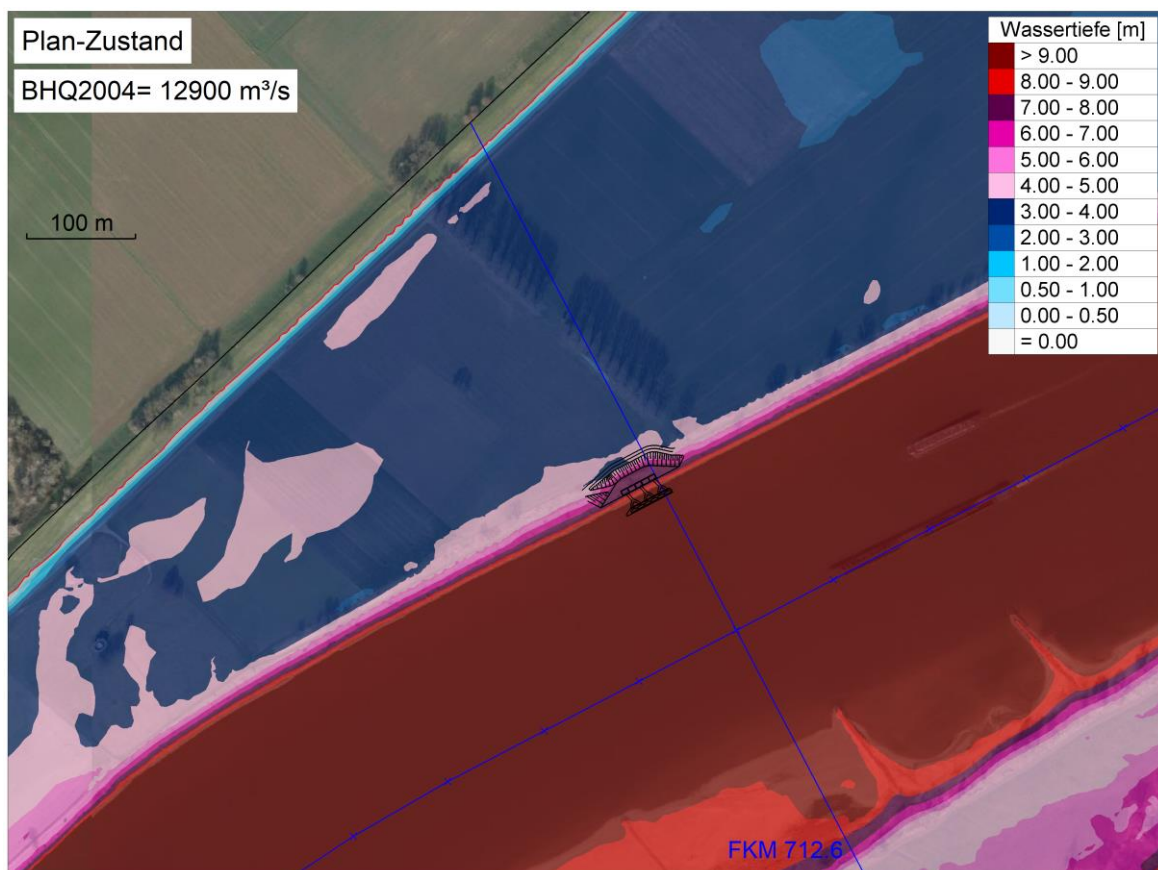


Abbildung 180: Wassertiefen, Plan-Zustand, BHQ2004

Anlage 3: Lagepläne, Fließgeschwindigkeiten im Bereich des Entnahmebauwerks

Lastfall NNQ2003

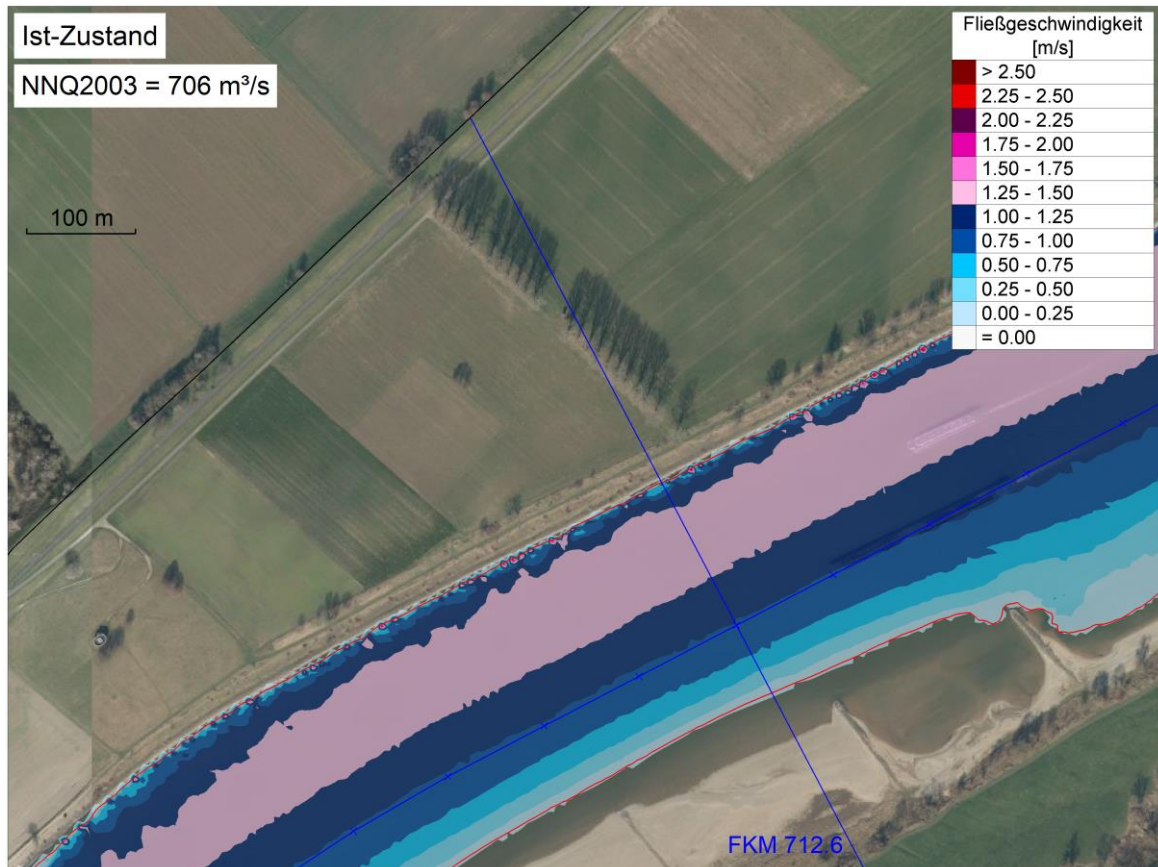


Abbildung 181: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, NNQ2003

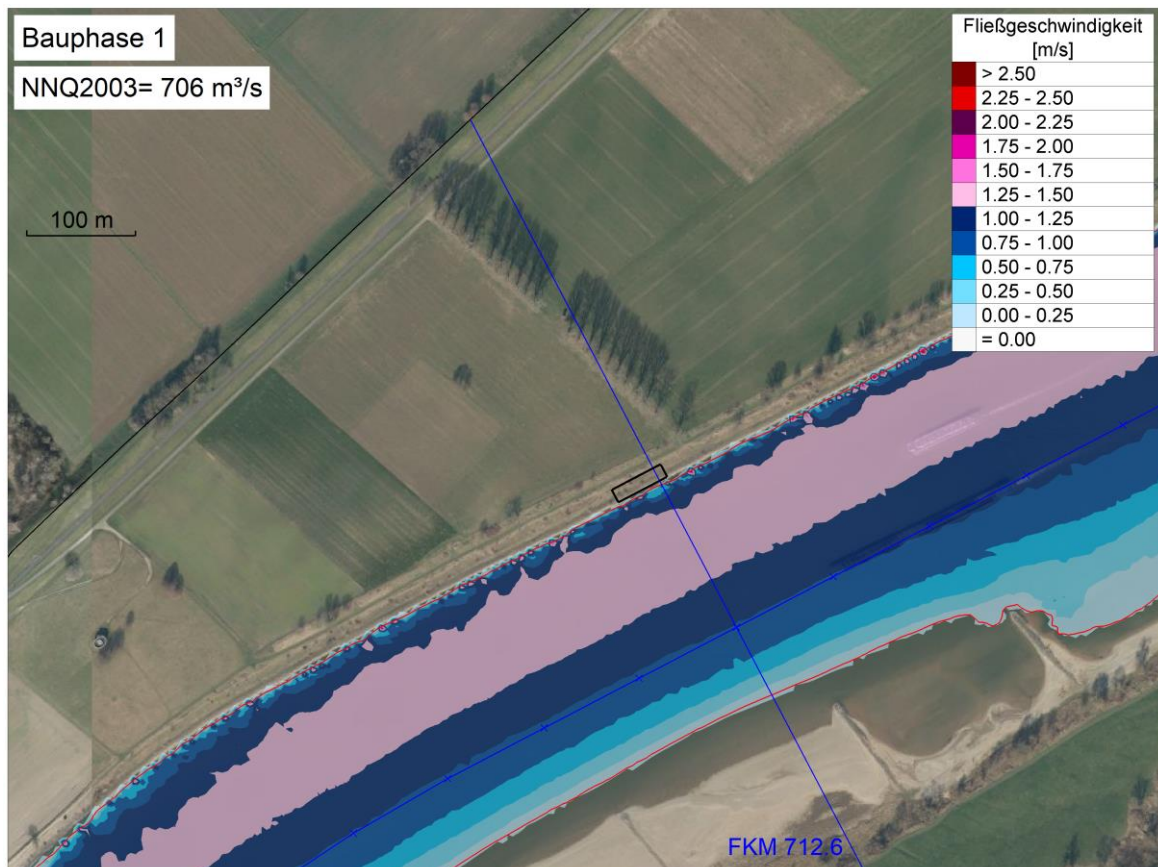


Abbildung 182: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, NNQ2003

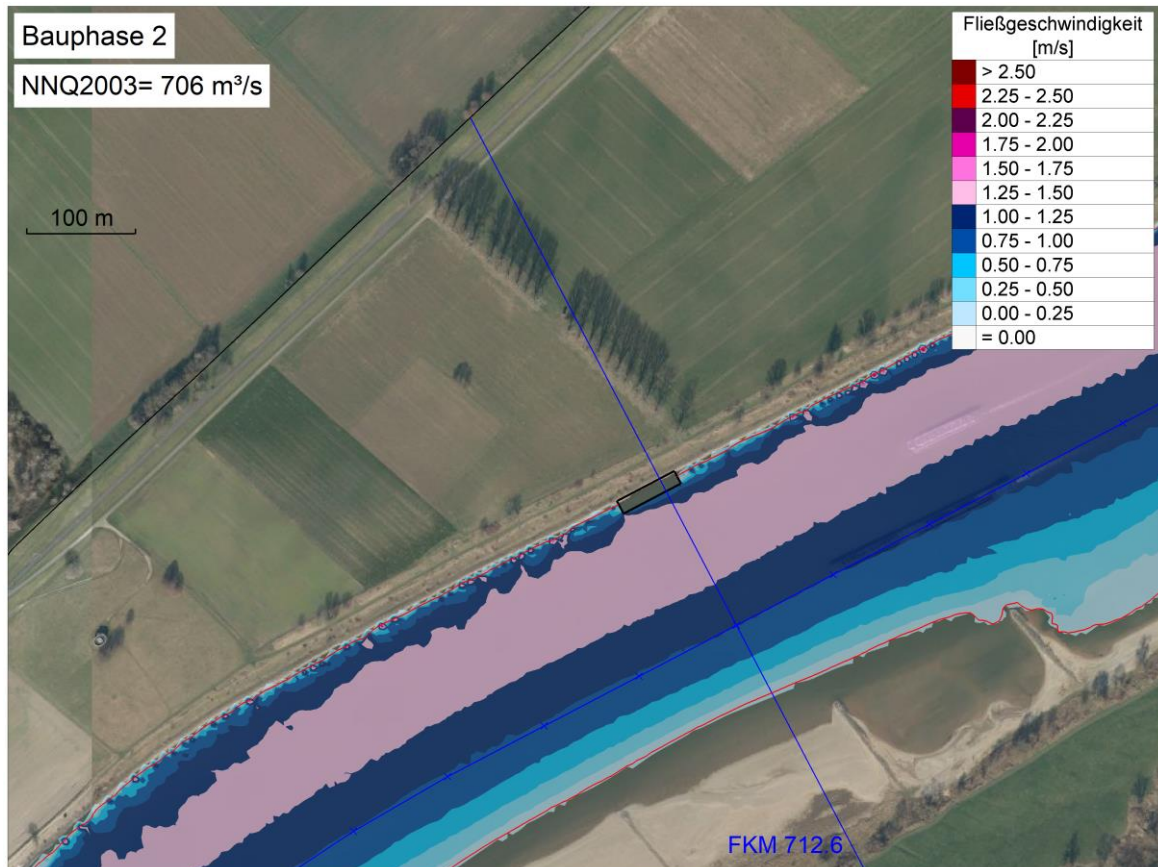


Abbildung 183: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, NNQ2003

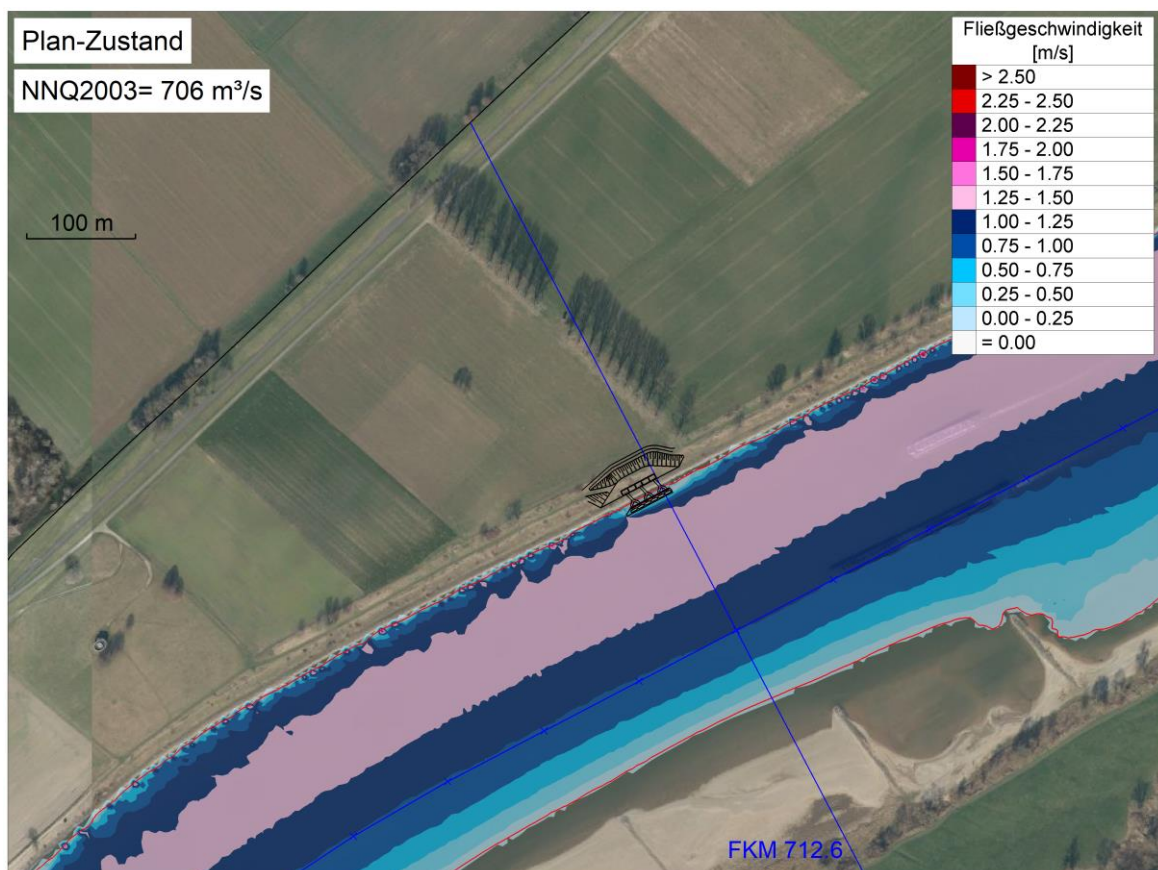


Abbildung 184: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, NNQ2003

Lastfall MQ

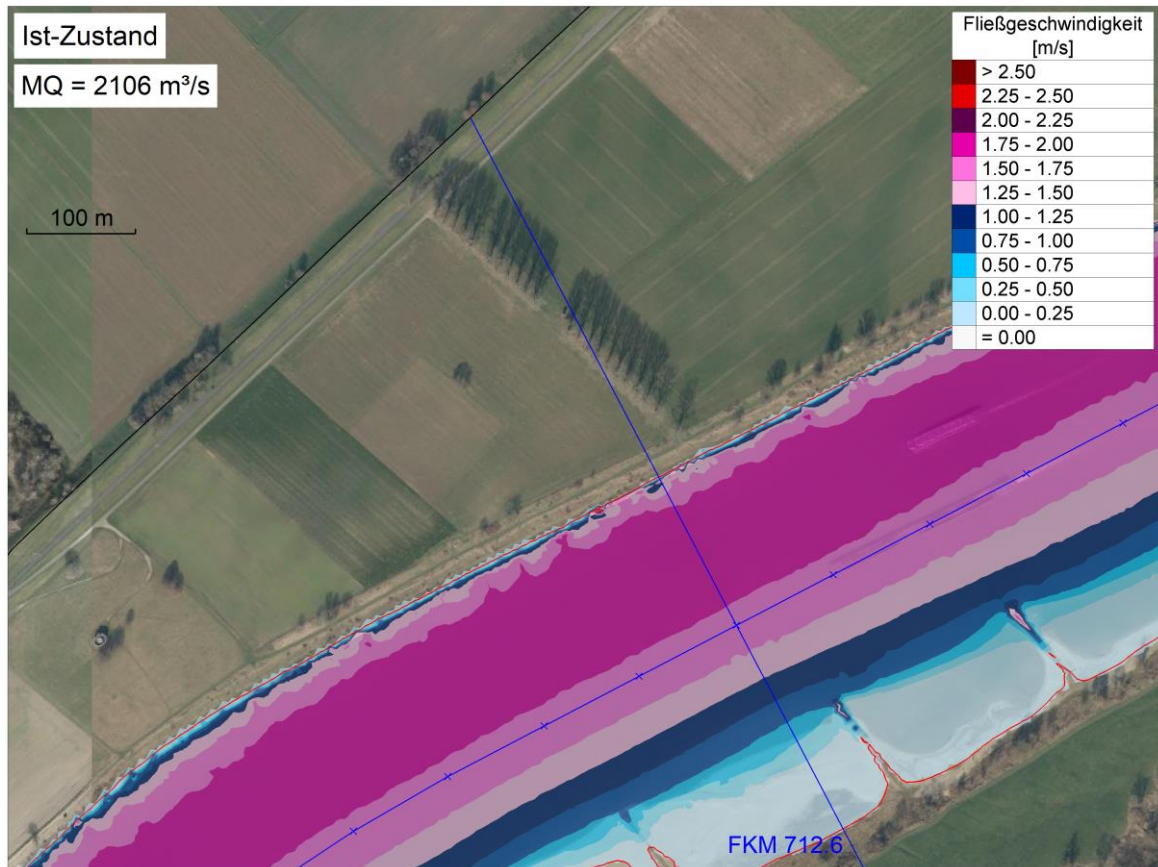


Abbildung 185: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, MQ

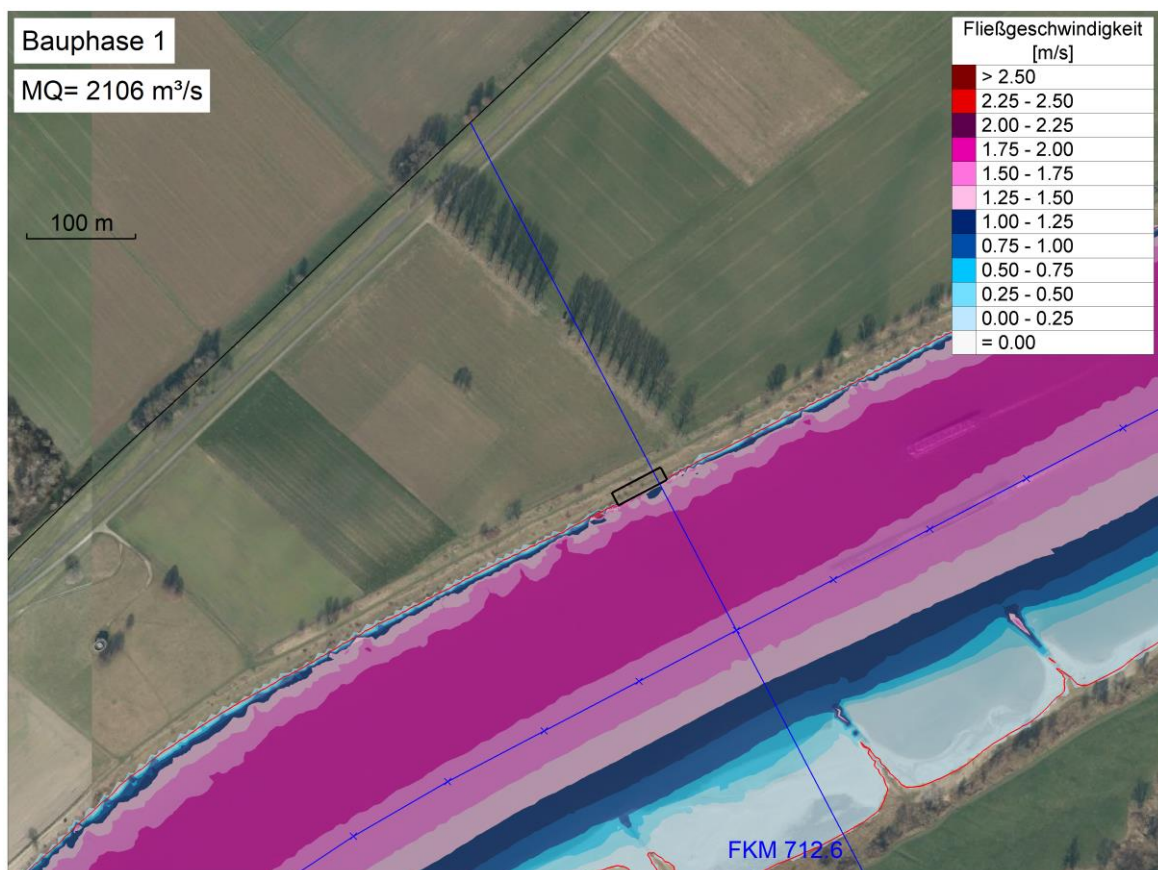


Abbildung 186: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, MQ

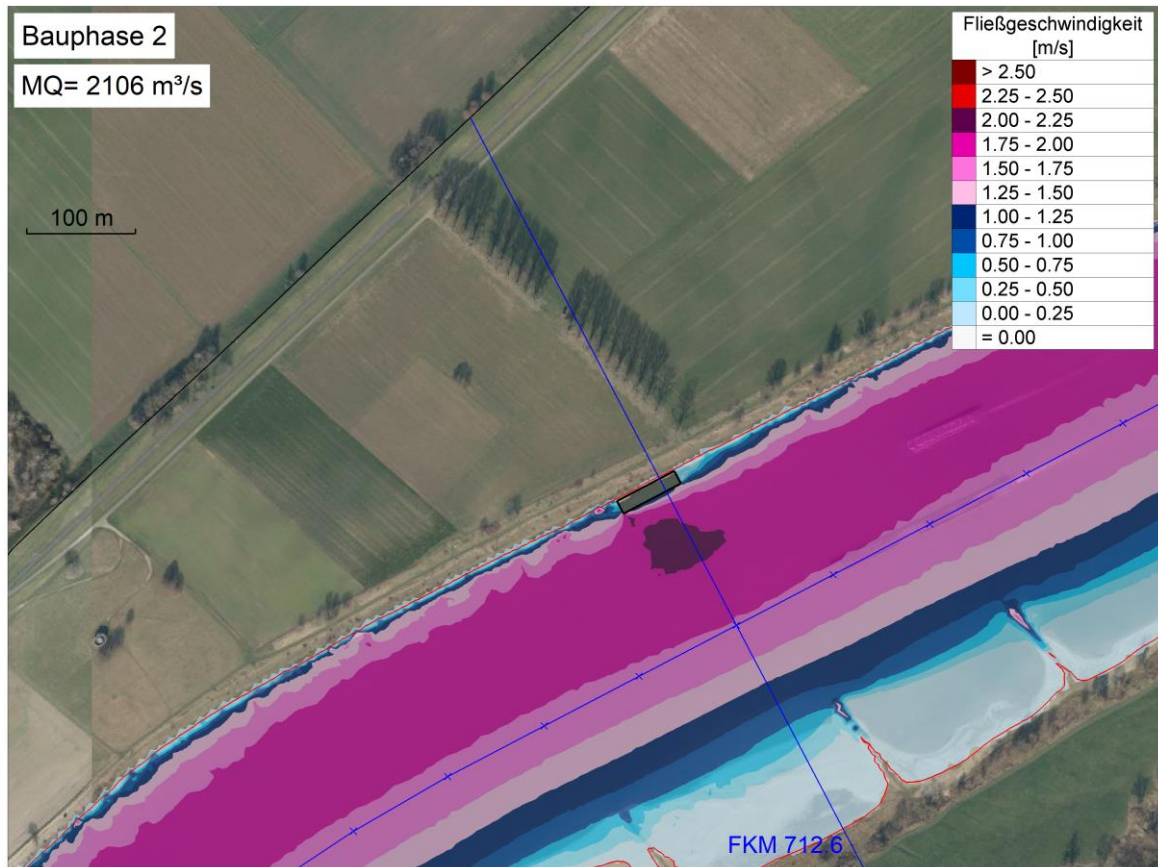


Abbildung 187: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, MQ

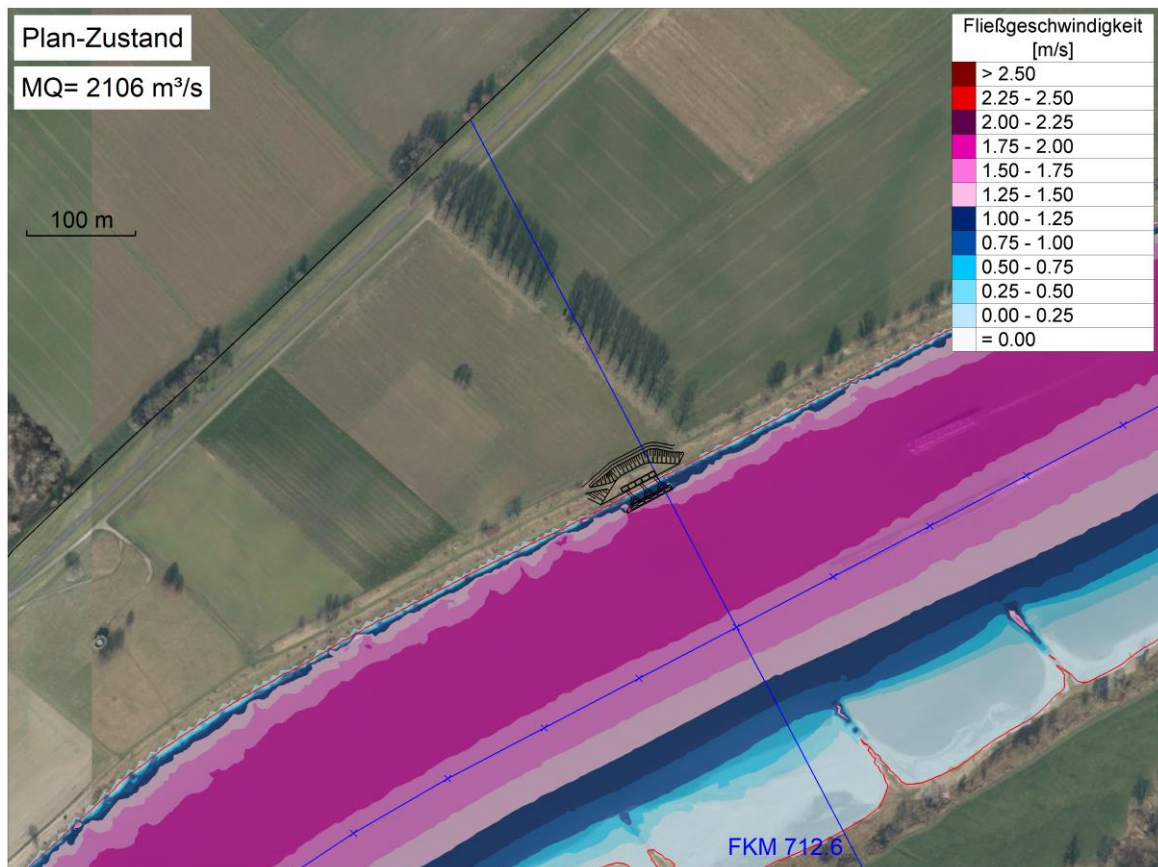


Abbildung 188: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, MQ

Lastfall Q = 2756 m³/s

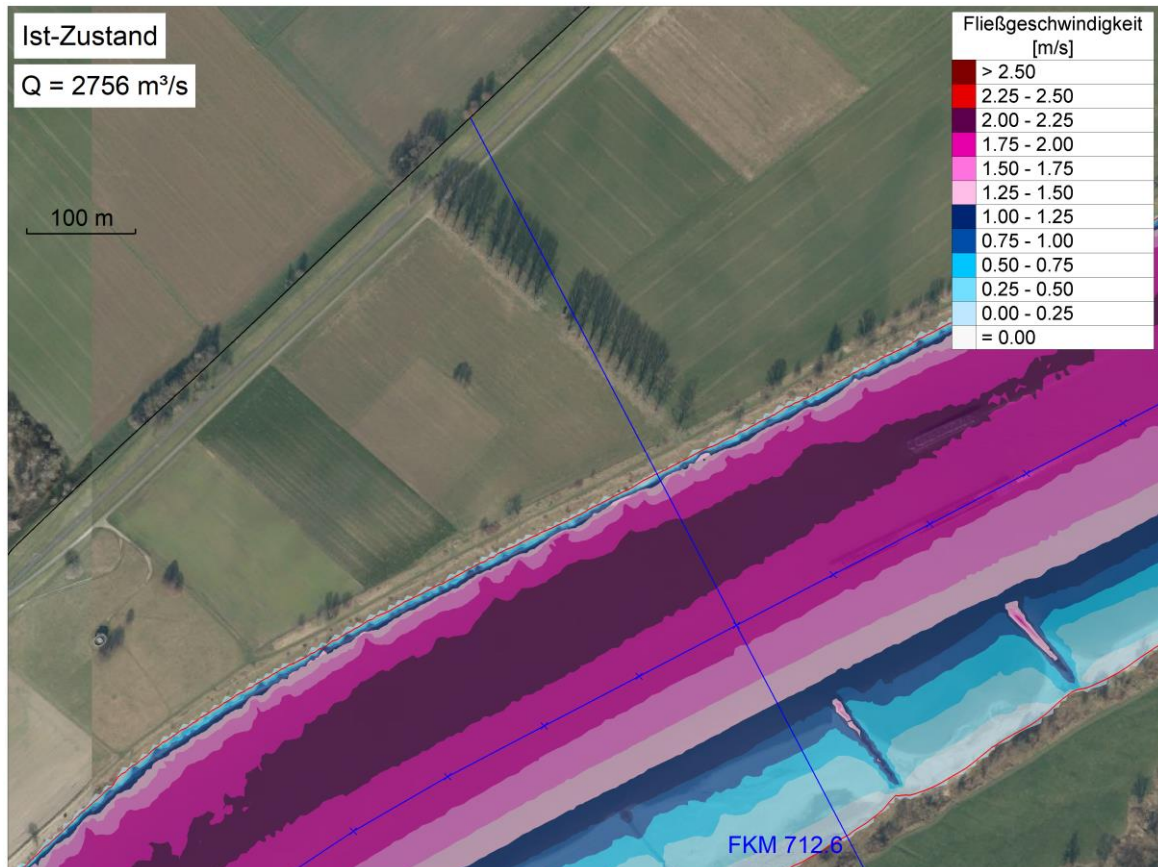


Abbildung 189: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

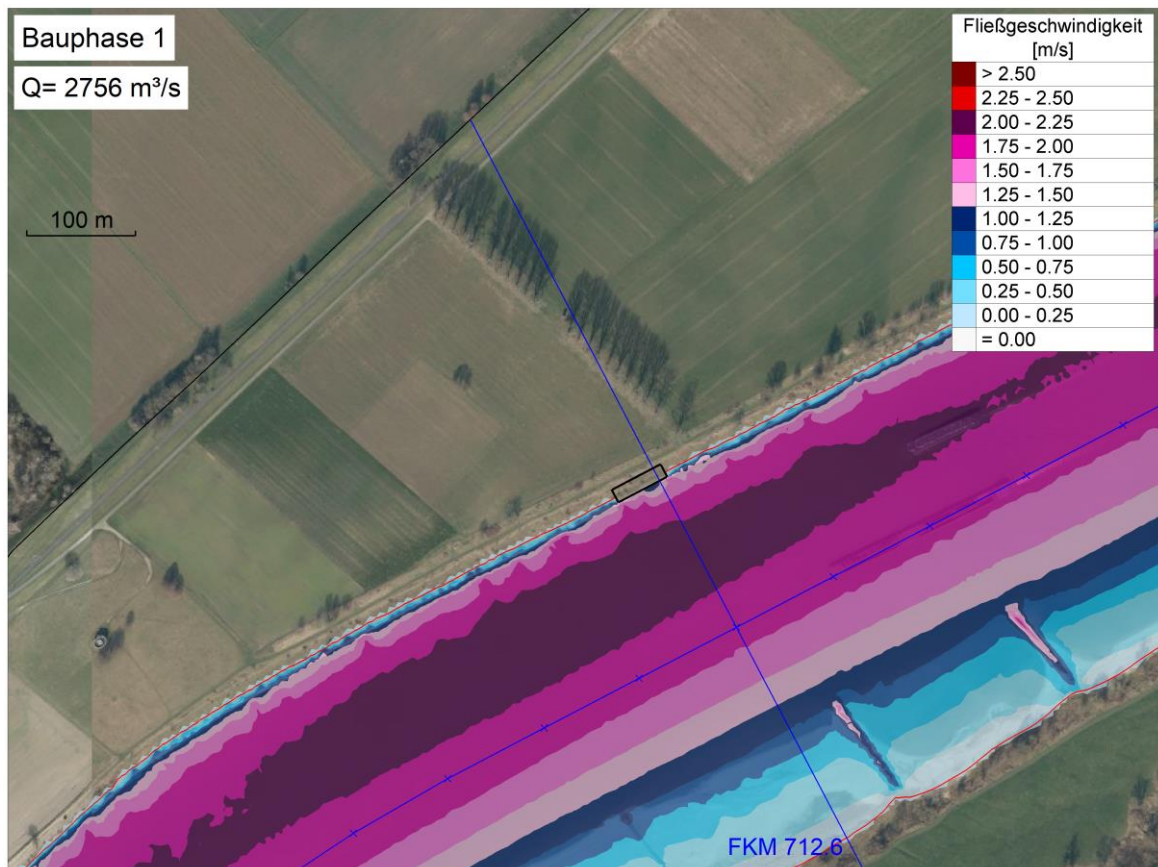


Abbildung 190: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

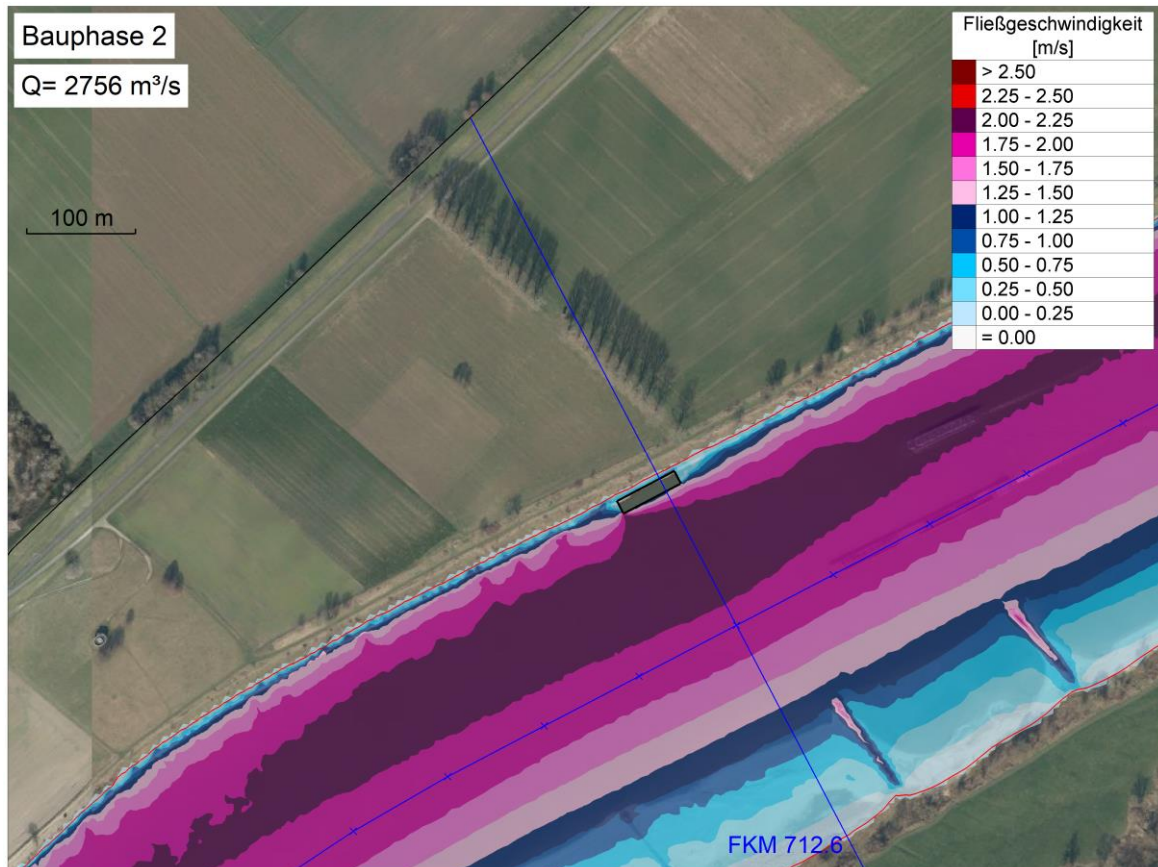


Abbildung 191: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

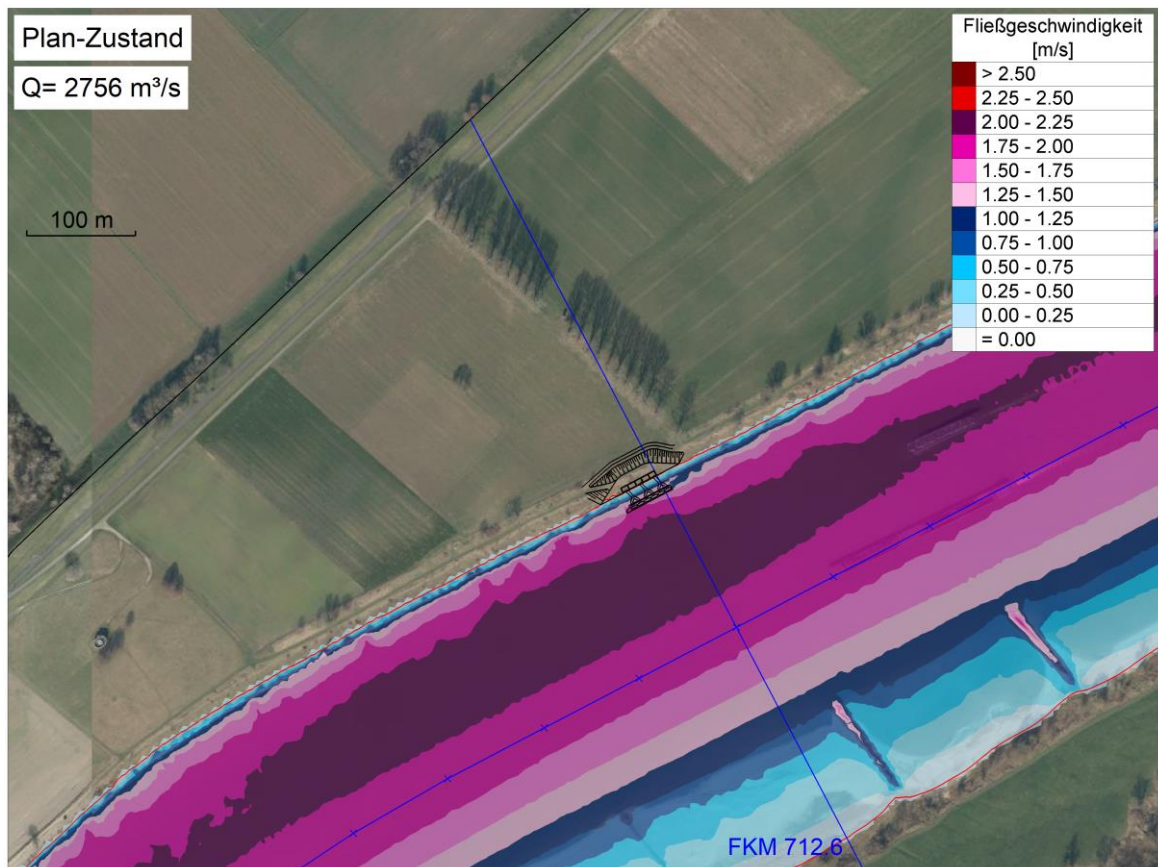


Abbildung 192: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, $Q = 2756 \text{ m}^3/\text{s}$

Lastfall HQ1

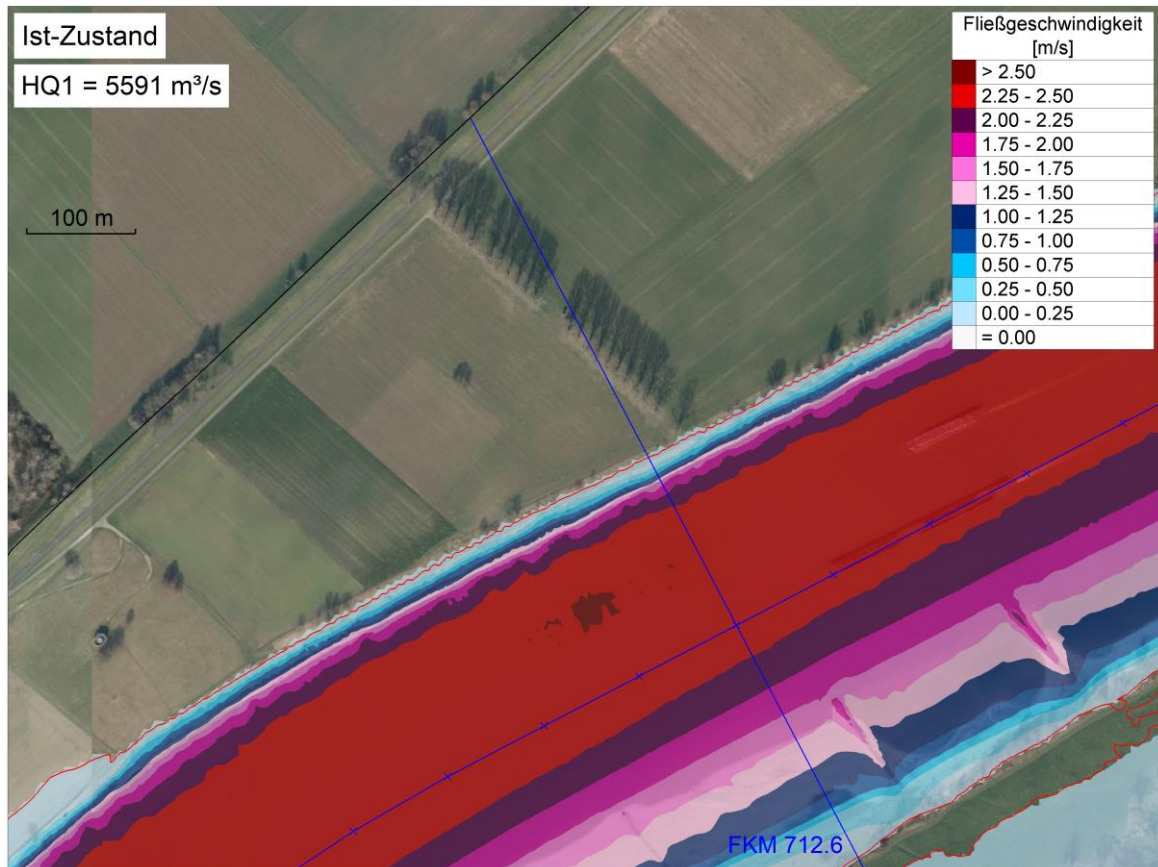


Abbildung 193: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ1

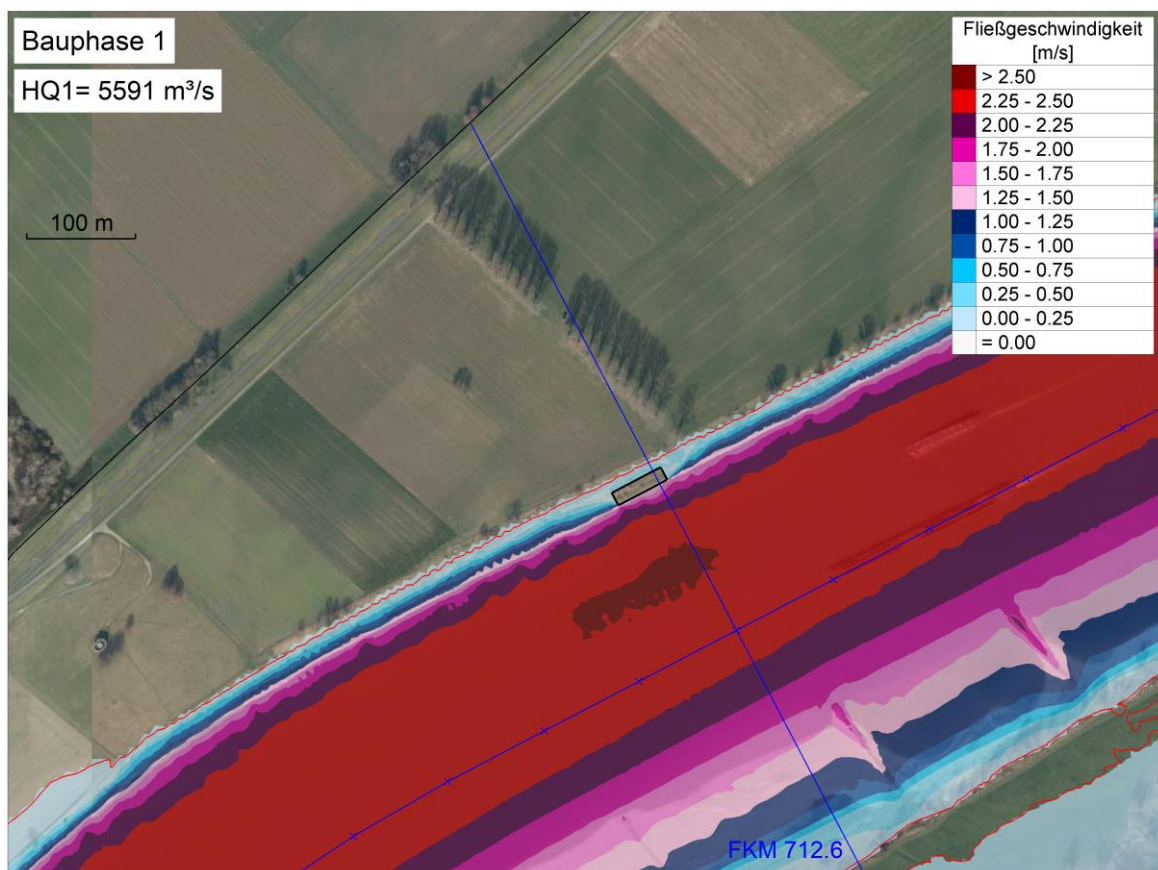


Abbildung 194: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ1

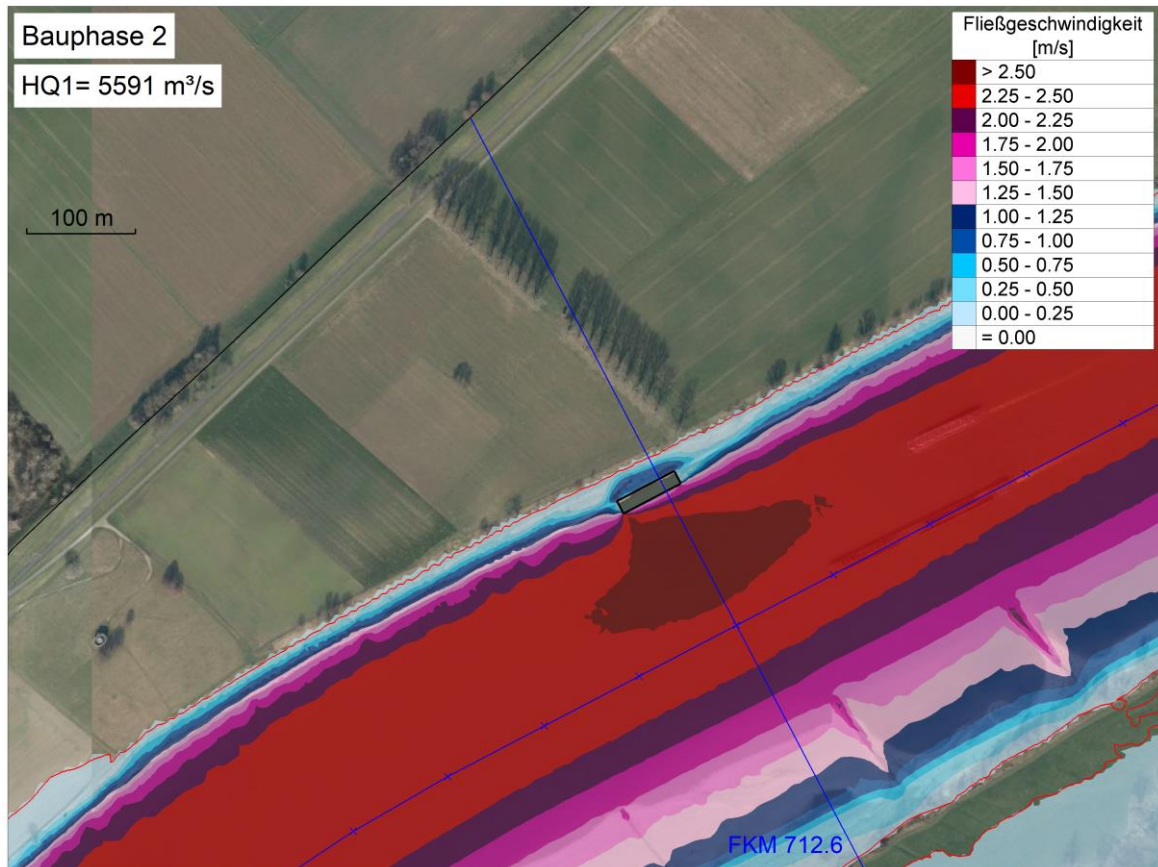


Abbildung 195: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ1

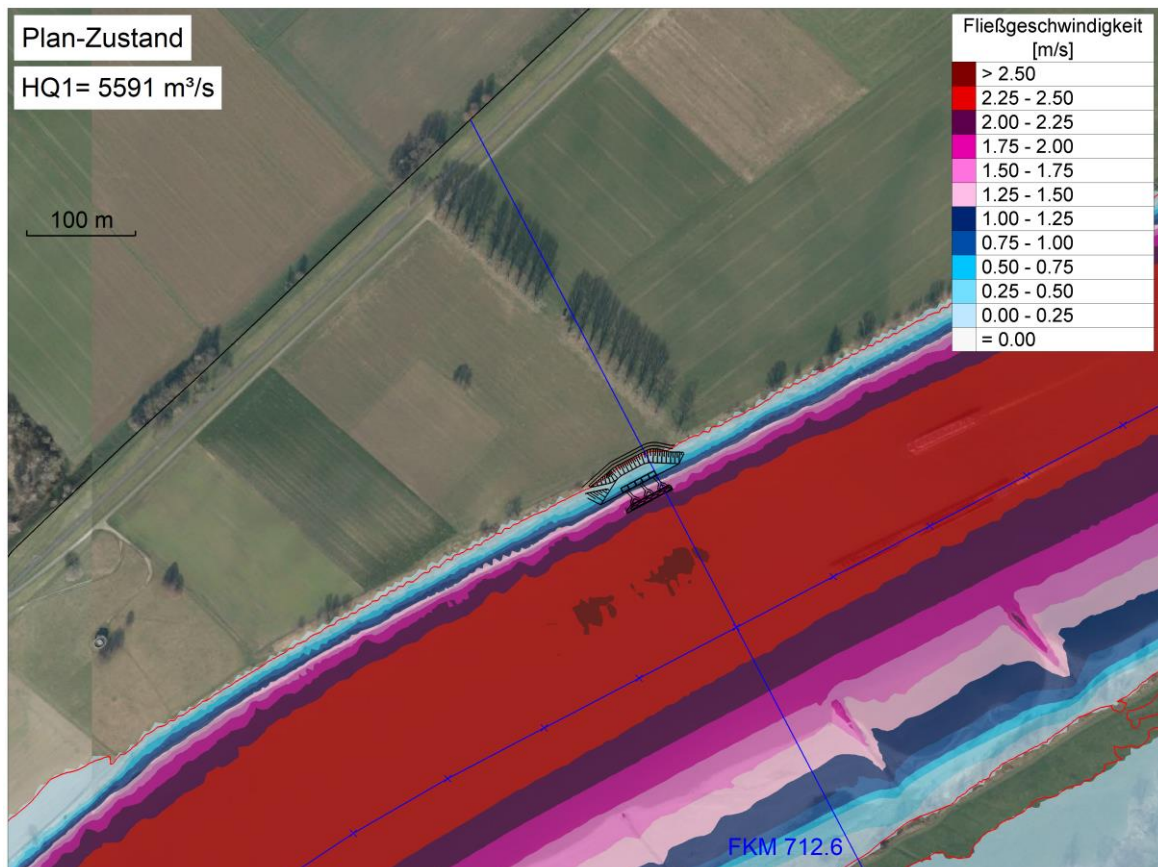


Abbildung 196: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ1

Lastfall HQ5

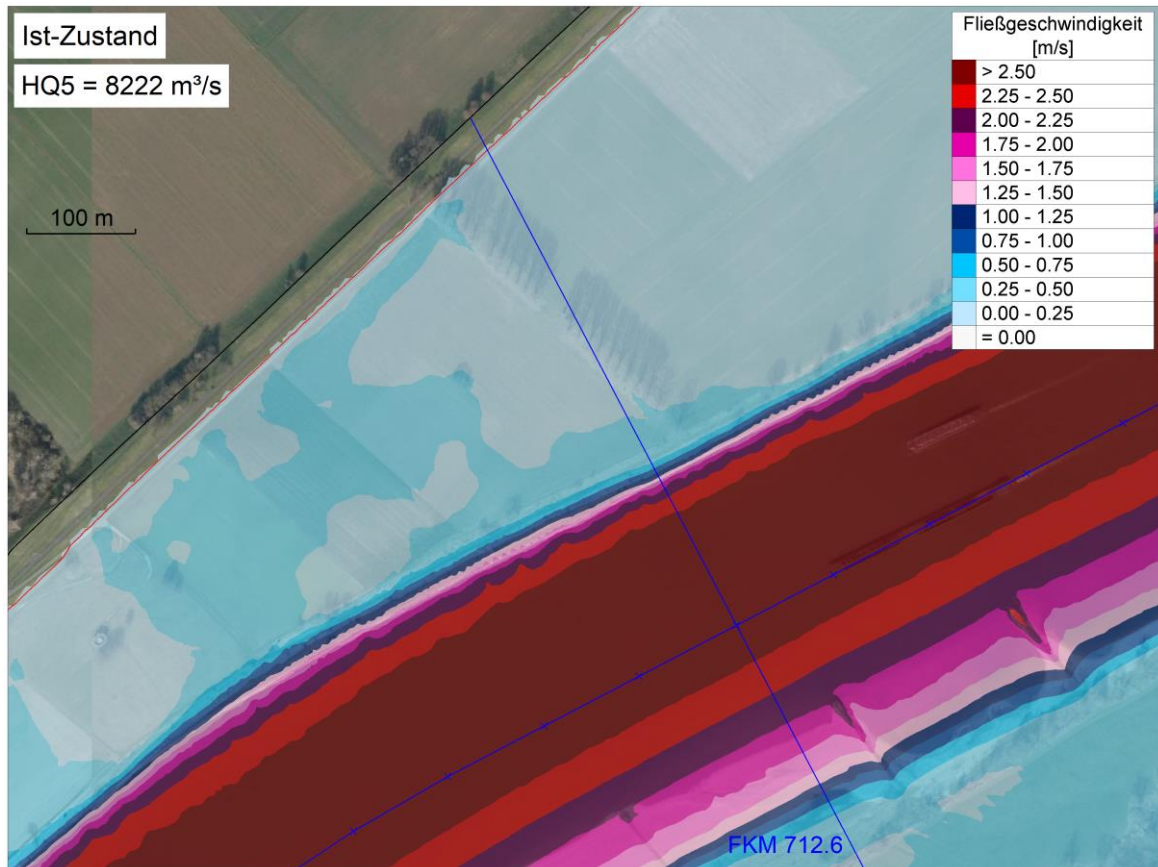


Abbildung 197: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ5

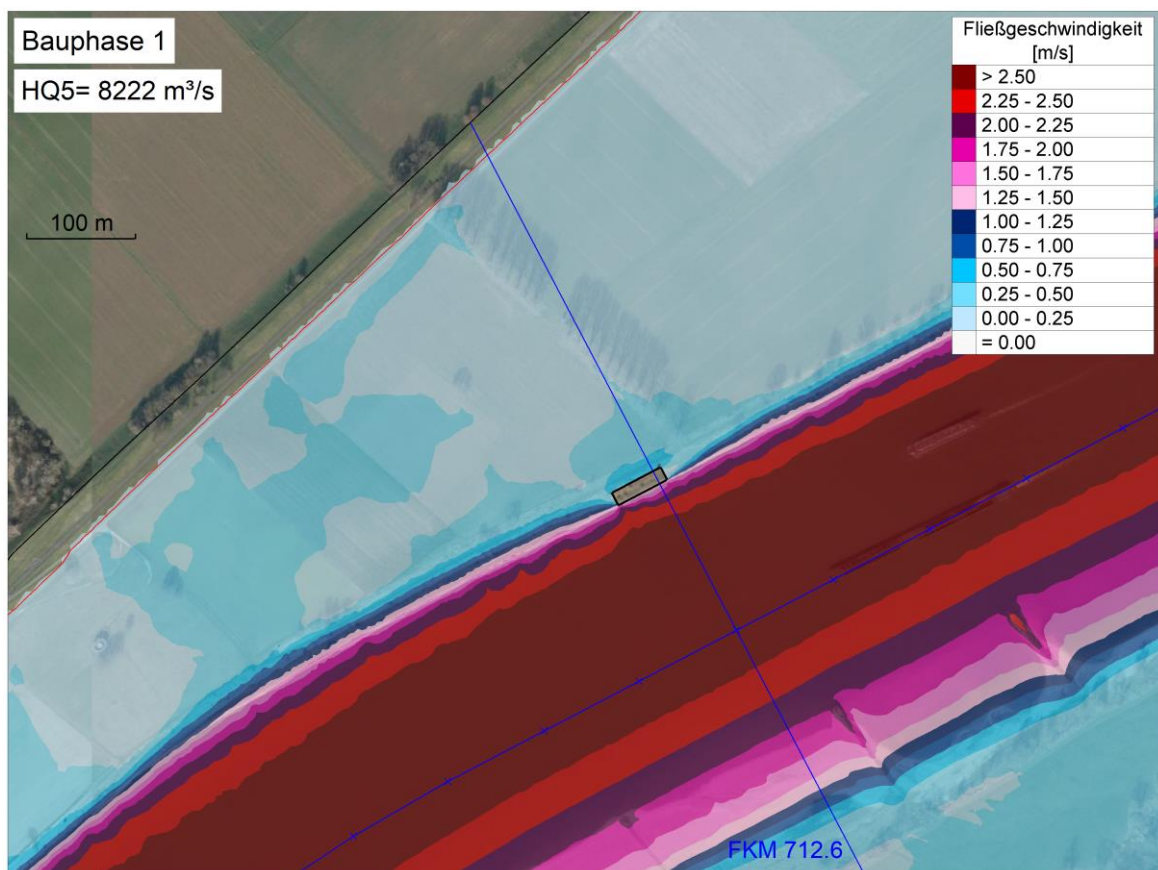


Abbildung 198: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ5

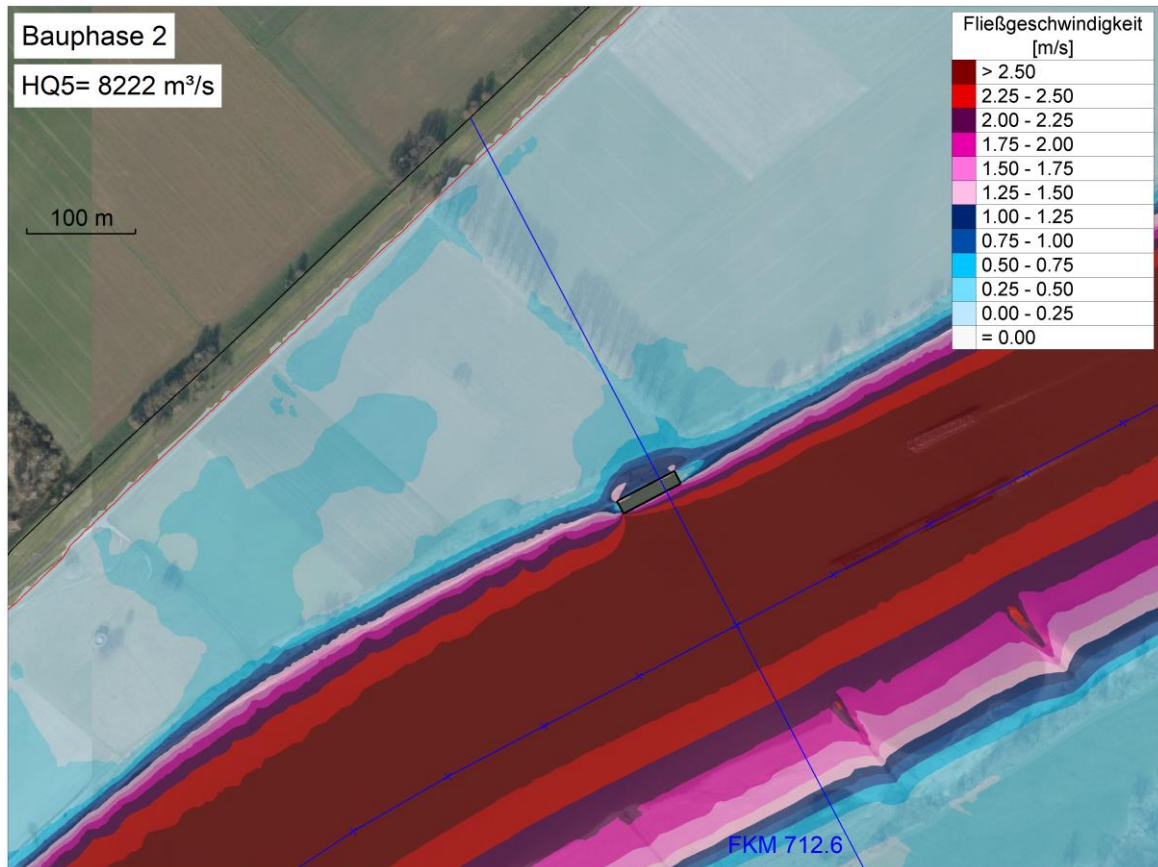


Abbildung 199: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ5

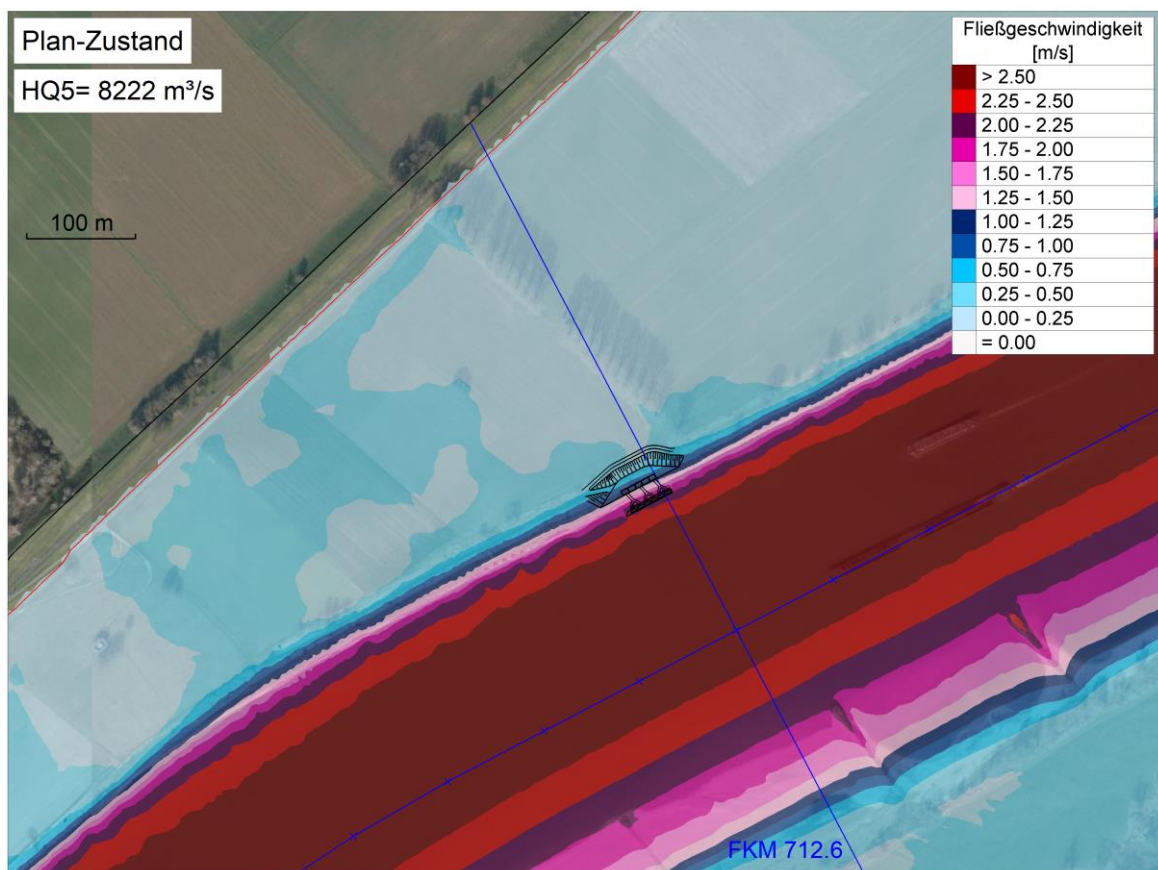


Abbildung 200: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ5

Lastfall HQ100

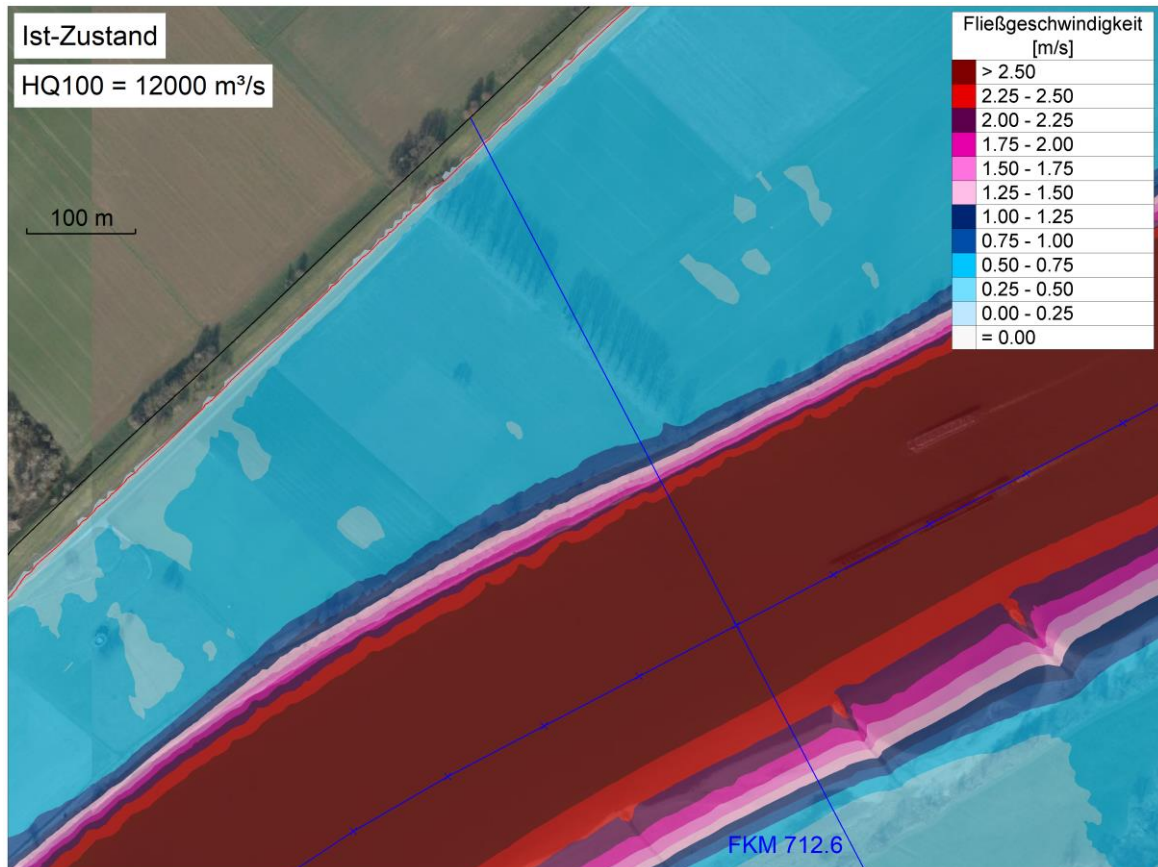


Abbildung 201: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, HQ100

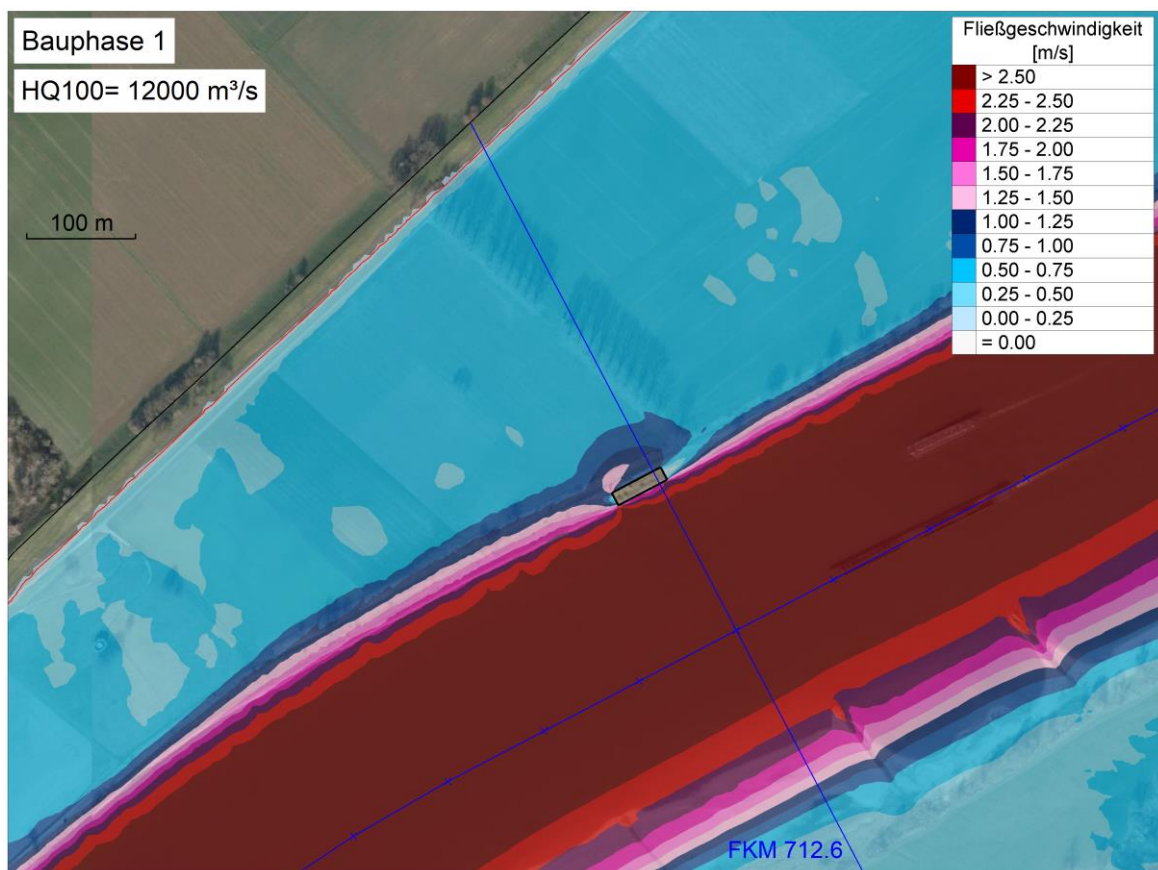


Abbildung 202: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, HQ100

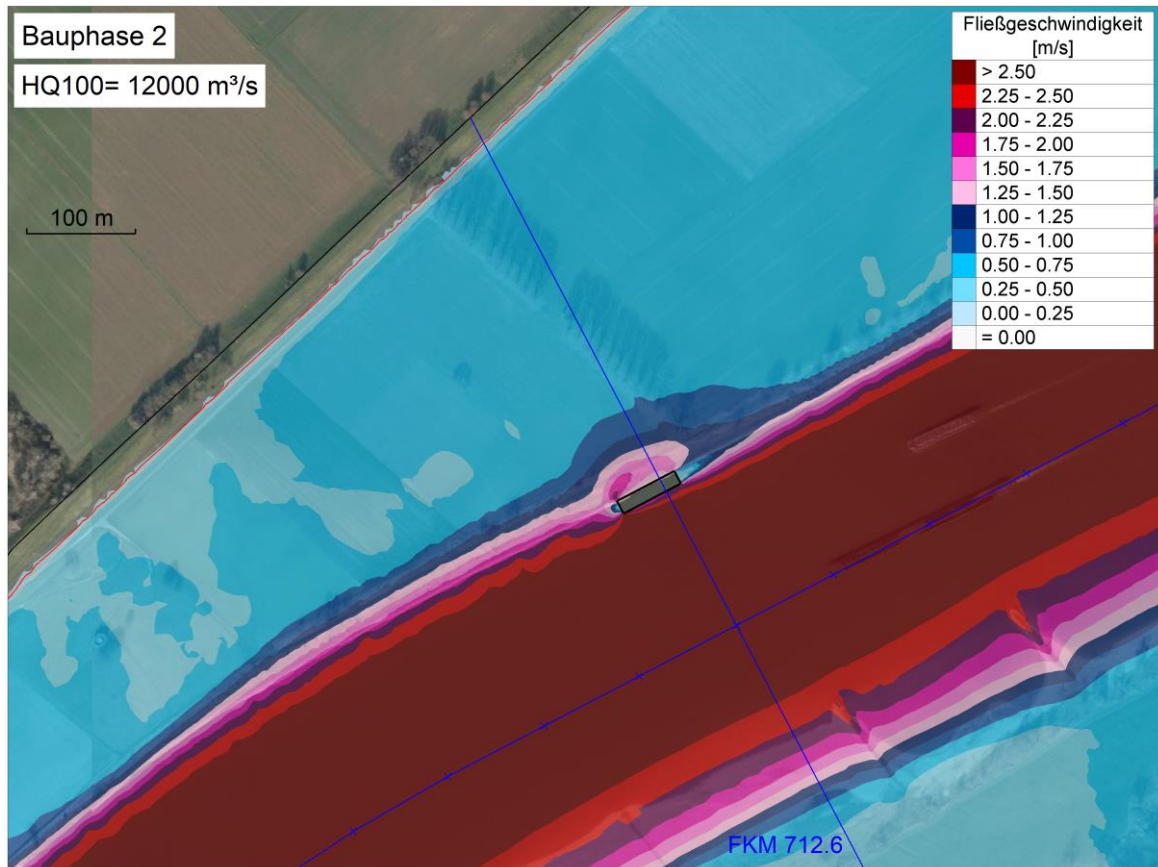


Abbildung 203: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, HQ100

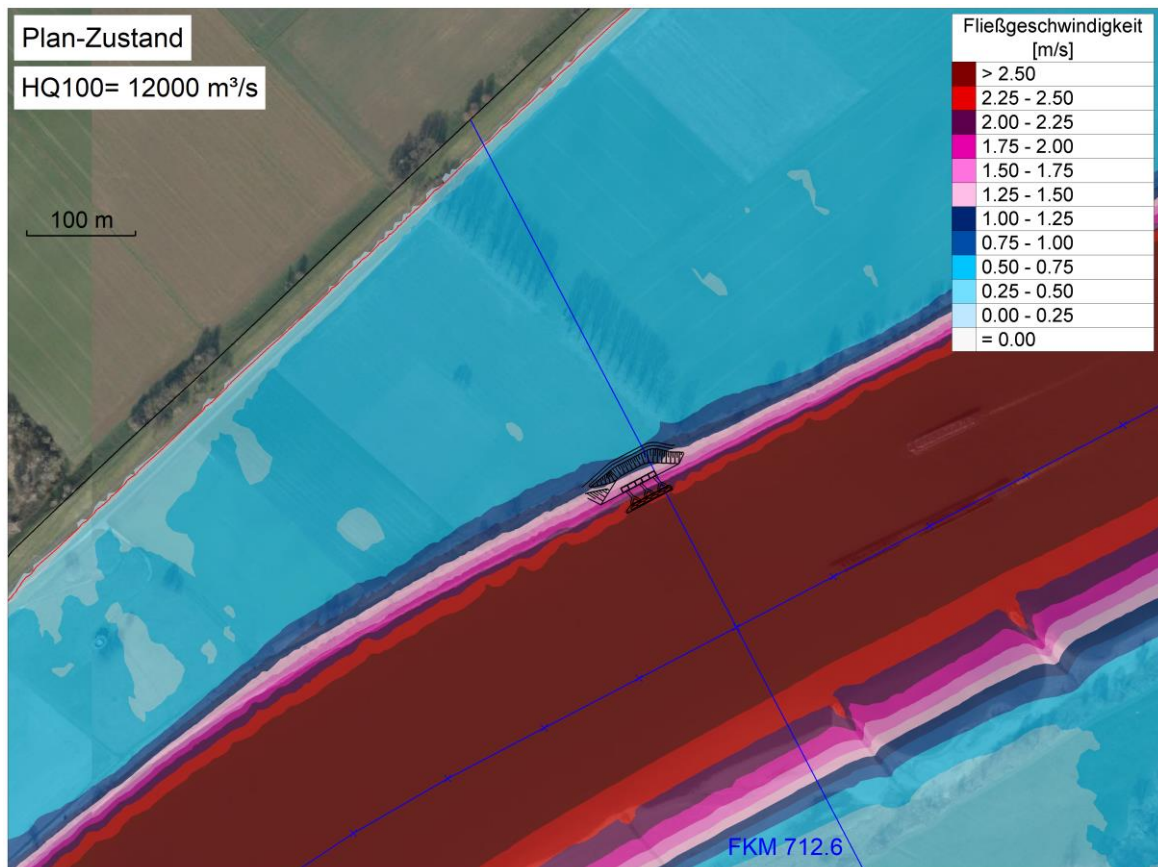


Abbildung 204: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, HQ100

Lastfall BHQ2004

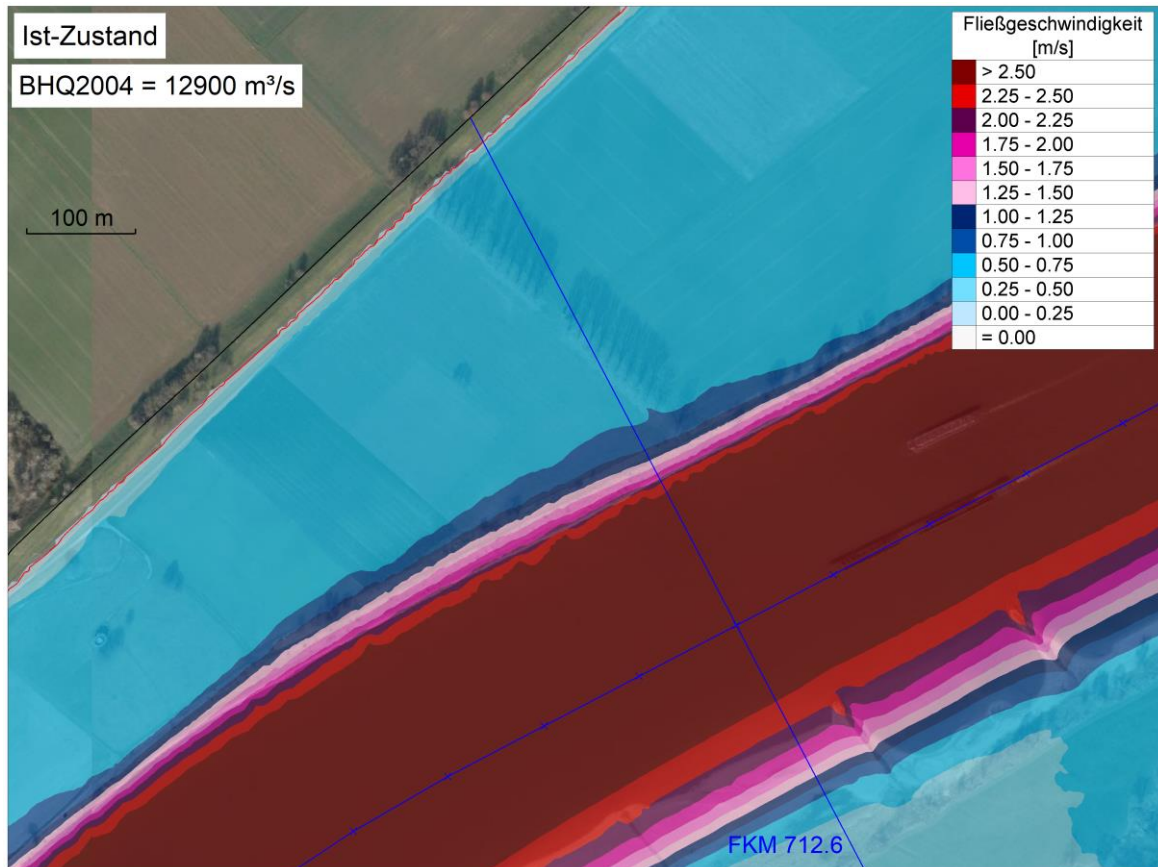


Abbildung 205: Fließgeschwindigkeiten, Ist-Zustand, BHQ2004

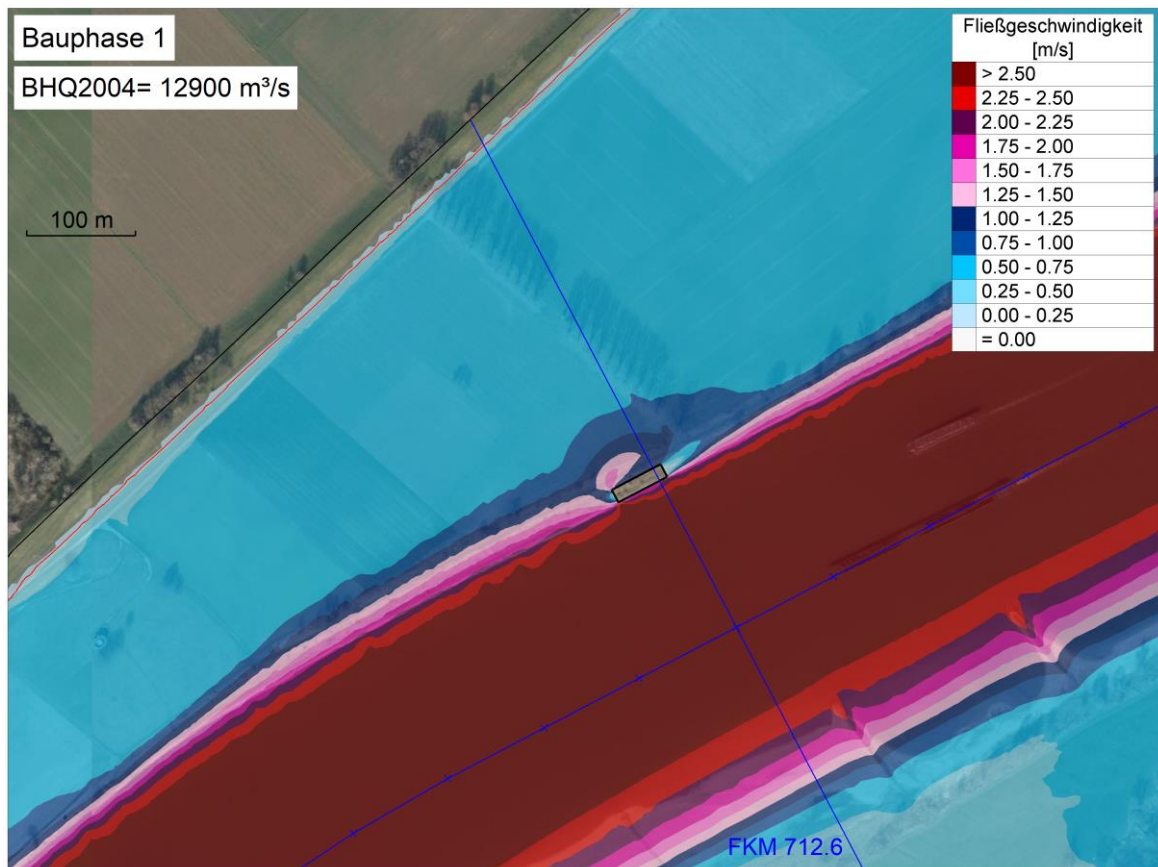


Abbildung 206: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 1, BHQ2004

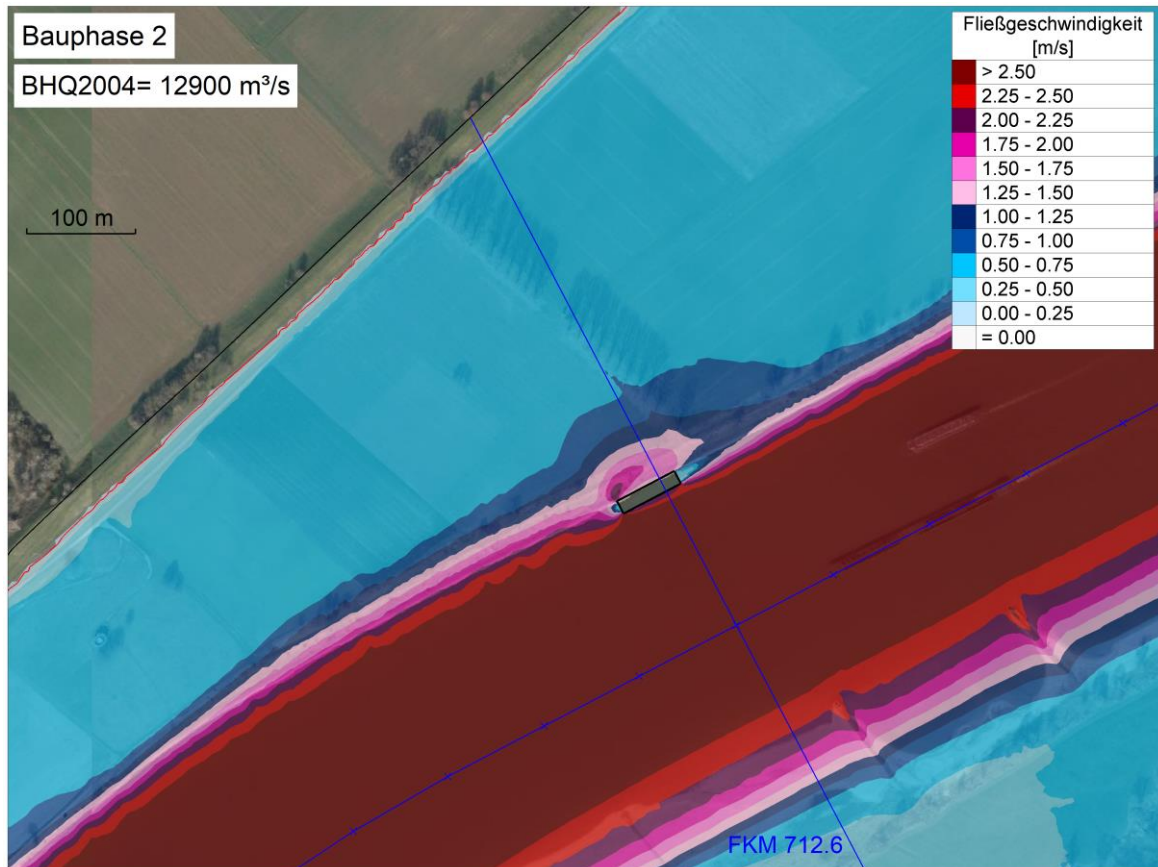


Abbildung 207: Fließgeschwindigkeiten, Bauphase 2, BHQ2004

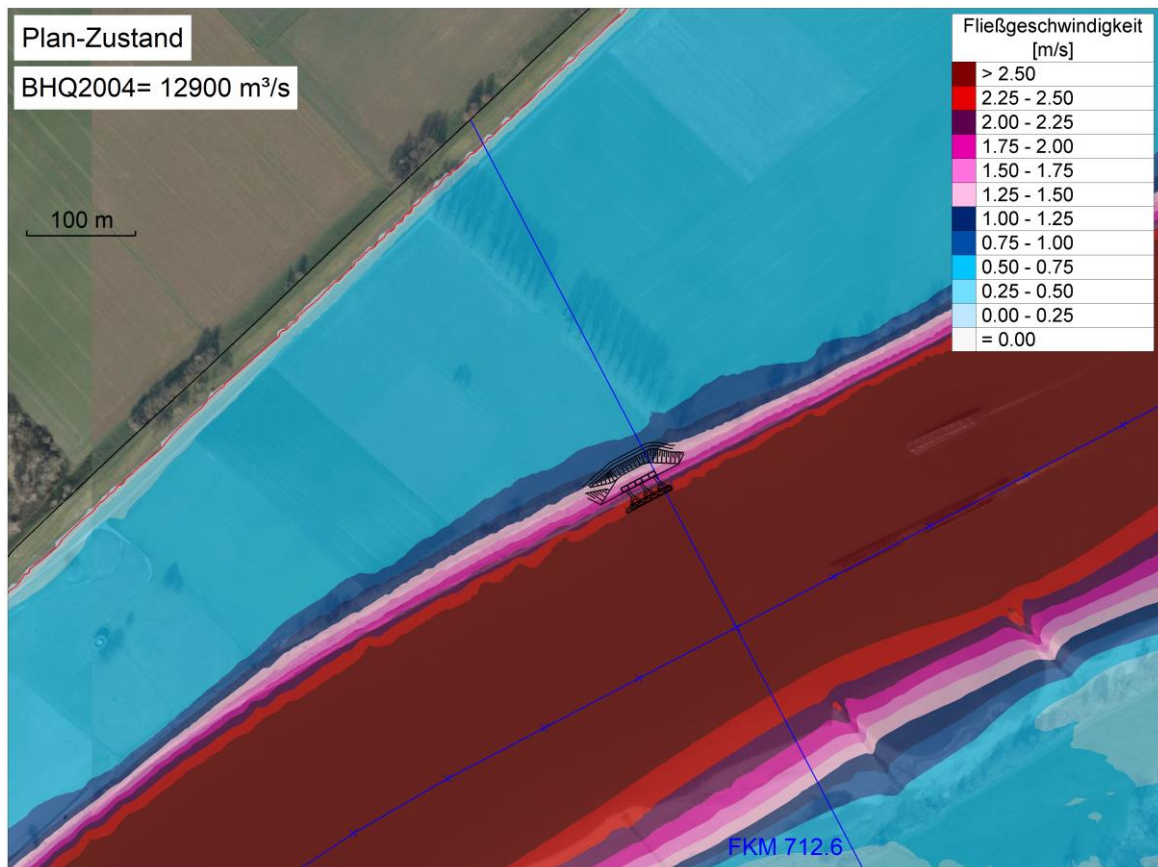


Abbildung 208: Fließgeschwindigkeiten, Plan-Zustand, BHQ2004

**Anlage 4: Tabellarischer Vergleich der berechneten
Wasserspiegelhöhen mit den Wasserspiegelhöhen aus der
Fachanwendung FLYS, FKM 703.5 bis 729.8**

FKM [km]	NNQ2003 706 m³/s		MQ 2106 m³/s		Q 2756 m³/s		HQ1 5591 m³/s		HQ5 5591 m³/s		HQ100 12000 m³/s		BHQ2004 12900 m³/s	
	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	AMW 90	Simuliert
703.5	33.09	33.14	35.58	35.58	36.39	36.34	39.26	39.09	41.20	41.10	43.40	43.31	-	43.76
703.6	33.05	33.12	35.56	35.56	36.36	36.32	39.23	39.07	41.18	41.08	43.39	43.29	-	43.75
703.7	33.02	33.10	35.53	35.54	36.34	36.30	39.21	39.05	41.16	41.06	43.39	43.27	-	43.73
703.8	33.01	33.09	35.51	35.53	36.32	36.29	39.18	39.04	41.15	41.05	43.38	43.26	-	43.72
703.9	32.99	33.07	35.48	35.51	36.30	36.27	39.16	39.02	41.13	41.04	43.37	43.25	-	43.71
704.0	32.97	33.05	35.47	35.49	36.28	36.25	39.15	39.00	41.13	41.02	43.35	43.24	-	43.70
704.1	32.96	33.03	35.45	35.47	36.27	36.23	39.15	38.97	41.12	41.00	43.33	43.22	-	43.67
704.2	32.94	33.02	35.44	35.45	36.25	36.21	39.13	38.95	41.10	40.98	43.30	43.20	-	43.66
704.3	32.93	33.00	35.42	35.43	36.23	36.20	39.11	38.93	41.08	40.96	43.28	43.18	-	43.64
704.4	32.91	32.99	35.40	35.41	36.21	36.18	39.09	38.91	41.07	40.93	43.25	43.16	-	43.62
704.5	32.90	32.97	35.38	35.39	36.19	36.16	39.08	38.90	41.05	40.92	43.23	43.14	-	43.59
704.6	32.88	32.95	35.36	35.37	36.17	36.14	39.05	38.89	41.03	40.90	43.21	43.12	-	43.57
704.7	32.86	32.93	35.34	35.35	36.15	36.13	39.03	38.88	41.01	40.89	43.20	43.10	-	43.56
704.8	32.84	32.91	35.32	35.33	36.13	36.11	39.02	38.87	41.00	40.88	43.20	43.08	-	43.54
704.9	32.82	32.88	35.30	35.31	36.12	36.09	39.01	38.87	40.98	40.87	43.19	43.07	-	43.52
705.0	32.79	32.86	35.28	35.29	36.10	36.07	38.99	38.86	40.96	40.86	43.18	43.06	-	43.51
705.1	32.77	32.84	35.26	35.27	36.08	36.05	38.97	38.85	40.94	40.85	43.17	43.04	-	43.49
705.2	32.74	32.81	35.25	35.25	36.06	36.03	38.96	38.84	40.92	40.84	43.14	43.03	-	43.48
705.3	32.72	32.78	35.23	35.24	36.05	36.01	38.94	38.83	40.90	40.83	43.12	43.02	-	43.47
705.4	32.70	32.75	35.22	35.22	36.03	36.00	38.92	38.81	40.89	40.82	43.09	43.01	-	43.46
705.5	32.68	32.72	35.20	35.19	36.02	35.97	38.91	38.79	40.87	40.81	43.07	43.00	-	43.45
705.6	32.65	32.69	35.18	35.16	36.00	35.94	38.89	38.77	40.86	40.79	43.05	42.99	-	43.44
705.7	32.62	32.67	35.15	35.13	35.97	35.91	38.87	38.74	40.84	40.77	43.02	42.97	-	43.42
705.8	32.59	32.64	35.13	35.11	35.94	35.89	38.85	38.71	40.82	40.75	43.00	42.95	-	43.40
705.9	32.56	32.62	35.10	35.09	35.92	35.87	38.83	38.69	40.80	40.73	42.98	42.93	-	43.38
706.0	32.53	32.59	35.08	35.07	35.89	35.84	38.80	38.67	40.77	40.70	42.95	42.91	-	43.36
706.1	32.51	32.57	35.06	35.05	35.87	35.82	38.77	38.65	40.74	40.69	42.93	42.89	-	43.34
706.2	32.48	32.54	35.04	35.02	35.85	35.80	38.75	38.64	40.72	40.68	42.91	42.87	-	43.32
706.3	32.45	32.52	35.01	35.00	35.83	35.78	38.72	38.62	40.69	40.66	42.87	42.86	-	43.31
706.4	32.42	32.49	34.98	34.97	35.80	35.76	38.69	38.61	40.66	40.65	42.84	42.84	-	43.29
706.5	32.39	32.46	34.95	34.94	35.77	35.74	38.65	38.60	40.63	40.63	42.81	42.82	-	43.27
706.6	32.36	32.43	34.92	34.91	35.74	35.73	38.62	38.59	40.60	40.61	42.78	42.80	-	43.25
706.7	32.33	32.40	34.89	34.89	35.71	35.71	38.59	38.57	40.57	40.60	42.75	42.78	-	43.23
706.8	32.30	32.37	34.87	34.86	35.68	35.70	38.56	38.56	40.54	40.58	42.73	42.77	-	43.22
706.9	32.27	32.34	34.84	34.84	35.66	35.68	38.54	38.54	40.52	40.57	42.71	42.76	-	43.20
707.0	32.24	32.31	34.82	34.82	35.63	35.65	38.52	38.51	40.50	40.54	42.69	42.73	43.39	43.18
707.1	32.20	32.29	34.79	34.80	35.61	35.62	38.51	38.47	40.49	40.52	42.67	42.71	43.37	43.16
707.2	32.18	32.26	34.79	34.78	35.61	35.60	38.50	38.46	40.48	40.50	42.65	42.70	43.36	43.15
707.3	32.17	32.24	34.78	34.76	35.60	35.58	38.50	38.44	40.47	40.48	42.63	42.68	43.35	43.13
707.4	32.15	32.21	34.76	34.73	35.58	35.56	38.48	38.44	40.45	40.47	42.60	42.67	43.34	43.12
707.5	32.13	32.18	34.74	34.71	35.56	35.53	38.46	38.43	40.44	40.46	42.58	42.66	43.33	43.11
707.6	32.11	32.16	34.72	34.69	35.54	35.51	38.44	38.42	40.42	40.45	42.56	42.65	43.31	43.10
707.7	32.09	32.13	34.70	34.66	35.52	35.49	38.43	38.40	40.40	40.43	42.53	42.63	43.29	43.08
707.8	32.06	32.11	34.68	34.64	35.50	35.47	38.40	38.37	40.38	40.41	42.51	42.61	43.27	43.06
707.9	32.04	32.08	34.65	34.62	35.47	35.44	38.38	38.35	40.36	40.39	42.49	42.59	43.25	43.04
708.0	32.01	32.05	34.63	34.59	35.44	35.43	38.36	38.33	40.34	40.37	42.47	42.57	43.24	43.02
708.1	31.98	32.02	34.60	34.57	35.42	35.40	38.34	38.30	40.32	40.35	42.46	42.54	43.22	42.99
708.2	31.95	32.00	34.58	34.55	35.40	35.38	38.32	38.28	40.30	40.33	42.44	42.53	43.21	42.97
708.3	31.92	31.97	34.56	34.53	35.38	35.36	38.30	38.27	40.28	40.31	42.42	42.51	43.20	42.96
708.4	31.89	31.94	34.54	34.50	35.36	35.34	38.28	38.25	40.26	40.30	42.41	42.50	43.19	42.95
708.5	31.86	31.91	34.52	34.48	35.34	35.32	38.26	38.23	40.25	40.28	42.39	42.49	43.18	42.94
708.6	31.83	31.88	34.50	34.46	35.32	35.30	38.24	38.21	40.24	40.27	42.38	42.47	43.16	42.92
708.7	31.80	31.84	34.47	34.43	35.29	35.27	38.23	38.19	40.23	40.25	42.36	42.46	43.15	42.91
708.8	31.77	31.81	34.45	34.41	35.27	35.25	38.21	38.17	40.22	40.23	42.34	42.44	43.14	42.89
708.9	31.73	31.77	34.42	34.38	35.25	35.23	38.20	38.15	40.21	40.22	42.33	42.42	43.13	42.87
709.0	31.70	31.75	34.40	34.36	35.23	35.21	38.18	38.14	40.19	40.21	42.31	42.41	43.12	42.86

FKM [km]	NNQ2003 706 m³/s		MQ 2106 m³/s		Q 2756 m³/s		HQ1 5591 m³/s		HQ5 5591 m³/s		HQ100 12000 m³/s		BHQ2004 12900 m³/s	
	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	AMW 90	Simuliert
709.1	31.67	31.72	34.38	34.34	35.21	35.19	38.17	38.12	40.18	40.19	42.29	42.40	43.10	42.84
709.2	31.64	31.70	34.36	34.32	35.19	35.17	38.15	38.10	40.16	40.17	42.27	42.38	43.08	42.83
709.3	31.62	31.68	34.34	34.30	35.16	35.15	38.12	38.08	40.14	40.15	42.24	42.36	43.06	42.81
709.4	31.59	31.66	34.32	34.28	35.14	35.12	38.11	38.07	40.13	40.14	42.22	42.34	43.04	42.79
709.5	31.57	31.65	34.30	34.26	35.12	35.11	38.09	38.06	40.12	40.13	42.20	42.33	43.03	42.78
709.6	31.55	31.63	34.28	34.25	35.10	35.09	38.08	38.04	40.10	40.12	42.18	42.31	43.00	42.76
709.7	31.53	31.61	34.26	34.23	35.08	35.08	38.06	38.03	40.09	40.10	42.17	42.30	42.98	42.75
709.8	31.52	31.60	34.24	34.22	35.07	35.06	38.04	38.01	40.06	40.09	42.15	42.28	42.95	42.73
709.9	31.50	31.58	34.22	34.21	35.05	35.05	38.01	37.99	40.03	40.06	42.13	42.26	42.93	42.70
710.0	31.48	31.56	34.21	34.19	35.04	35.03	37.99	37.97	39.99	40.03	42.12	42.22	42.91	42.67
710.1	31.46	31.53	34.20	34.17	35.02	35.01	37.97	37.94	39.95	40.00	42.10	42.19	42.88	42.63
710.2	31.44	31.51	34.19	34.15	35.01	34.99	37.95	37.92	39.93	39.97	42.09	42.16	42.86	42.61
710.3	31.42	31.49	34.17	34.13	34.99	34.97	37.94	37.89	39.91	39.95	42.07	42.14	42.84	42.58
710.4	31.41	31.47	34.16	34.11	34.98	34.95	37.92	37.87	39.89	39.92	42.06	42.12	42.82	42.56
710.5	31.40	31.46	34.14	34.09	34.96	34.92	37.91	37.84	39.88	39.90	42.04	42.10	42.80	42.54
710.6	31.38	31.45	34.12	34.07	34.94	34.90	37.88	37.81	39.85	39.87	42.03	42.07	42.78	42.52
710.7	31.37	31.44	34.10	34.06	34.92	34.89	37.85	37.79	39.83	39.86	42.02	42.06	42.77	42.50
710.8	31.36	31.43	34.08	34.04	34.90	34.87	37.83	37.77	39.81	39.83	42.00	42.03	42.76	42.47
710.9	31.35	31.41	34.06	34.02	34.88	34.84	37.81	37.74	39.79	39.81	41.99	42.00	42.75	42.45
711.0	31.34	31.39	34.05	33.99	34.86	34.82	37.79	37.72	39.78	39.79	41.98	41.98	42.74	42.42
711.1	31.32	31.37	34.03	33.97	34.85	34.80	37.78	37.70	39.77	39.77	41.97	41.96	42.71	42.41
711.2	31.31	31.36	34.01	33.95	34.83	34.78	37.76	37.68	39.75	39.76	41.95	41.95	42.68	42.39
711.3	31.30	31.33	33.99	33.93	34.81	34.75	37.75	37.66	39.74	39.74	41.93	41.93	42.66	42.37
711.4	31.28	31.32	33.97	33.91	34.79	34.73	37.73	37.63	39.73	39.72	41.92	41.91	42.63	42.35
711.5	31.27	31.30	33.95	33.88	34.77	34.70	37.72	37.60	39.71	39.70	41.90	41.89	42.61	42.33
711.6	31.25	31.28	33.93	33.86	34.74	34.68	37.68	37.58	39.68	39.68	41.89	41.87	42.59	42.31
711.7	31.23	31.26	33.90	33.84	34.72	34.66	37.65	37.56	39.65	39.66	41.87	41.85	42.57	42.29
711.8	31.21	31.24	33.88	33.82	34.70	34.64	37.64	37.54	39.63	39.64	41.86	41.83	42.55	42.27
711.9	31.20	31.23	33.86	33.80	34.68	34.61	37.62	37.52	39.62	39.62	41.86	41.81	42.53	42.25
712.0	31.17	31.21	33.83	33.78	34.64	34.60	37.59	37.50	39.59	39.61	41.85	41.80	42.51	42.23
712.1	31.15	31.19	33.79	33.76	34.61	34.57	37.56	37.48	39.57	39.59	41.85	41.78	42.49	42.21
712.2	31.13	31.17	33.78	33.74	34.60	34.55	37.54	37.46	39.56	39.57	41.84	41.76	42.47	42.20
712.3	31.11	31.15	33.76	33.71	34.58	34.53	37.53	37.44	39.54	39.55	41.83	41.74	42.45	42.18
712.4	31.09	31.12	33.73	33.69	34.55	34.51	37.51	37.42	39.52	39.53	41.81	41.73	42.43	42.16
712.5	31.06	31.10	33.70	33.67	34.52	34.49	37.49	37.40	39.50	39.51	41.79	41.71	42.42	42.15
712.6	31.04	31.08	33.68	33.65	34.50	34.47	37.47	37.39	39.48	39.49	41.77	41.69	42.39	42.13
712.7	31.01	31.06	33.65	33.63	34.48	34.45	37.45	37.38	39.46	39.47	41.75	41.68	42.37	42.11
712.8	30.98	31.04	33.63	33.61	34.46	34.44	37.43	37.36	39.44	39.46	41.73	41.66	42.34	42.09
712.9	30.95	31.02	33.61	33.60	34.43	34.42	37.41	37.35	39.42	39.44	41.71	41.63	42.32	42.07
713.0	30.93	30.99	33.59	33.58	34.41	34.41	37.39	37.33	39.40	39.42	41.70	41.61	42.30	42.04
713.1	30.90	30.97	33.57	33.56	34.40	34.39	37.37	37.31	39.37	39.40	41.68	41.58	42.28	42.02
713.2	30.87	30.95	33.55	33.54	34.37	34.37	37.35	37.30	39.35	39.37	41.67	41.55	42.26	41.98
713.3	30.85	30.93	33.52	33.53	34.35	34.36	37.32	37.28	39.33	39.35	41.65	41.52	42.24	41.96
713.4	30.83	30.91	33.51	33.51	34.33	34.34	37.31	37.27	39.32	39.33	41.63	41.50	42.22	41.93
713.5	30.82	30.89	33.49	33.49	34.32	34.33	37.30	37.26	39.30	39.31	41.62	41.47	42.20	41.91
713.6	30.80	30.87	33.48	33.48	34.30	34.31	37.28	37.25	39.29	39.31	41.61	41.46	42.18	41.89
713.7	30.79	30.84	33.46	33.46	34.29	34.30	37.27	37.24	39.27	39.30	41.60	41.44	42.16	41.87
713.8	30.77	30.82	33.45	33.43	34.27	34.27	37.25	37.22	39.26	39.28	41.58	41.43	42.14	41.86
713.9	30.75	30.80	33.43	33.41	34.26	34.25	37.24	37.19	39.24	39.26	41.57	41.40	42.12	41.83
714.0	30.73	30.78	33.42	33.39	34.25	34.22	37.23	37.16	39.23	39.23	41.54	41.37	42.10	41.80
714.1	30.71	30.76	33.41	33.37	34.24	34.20	37.22	37.13	39.22	39.19	41.51	41.35	42.08	41.78
714.2	30.69	30.74	33.39	33.35	34.22	34.18	37.19	37.10	39.19	39.16	41.48	41.32	42.06	41.75
714.3	30.68	30.73	33.36	33.33	34.19	34.15	37.16	37.07	39.15	39.13	41.45	41.29	42.04	41.72
714.4	30.66	30.72	33.34	33.31	34.17	34.14	37.14	37.05	39.13	39.10	41.42	41.27	42.02	41.70
714.5	30.65	30.70	33.32	33.30	34.15	34.11	37.11	37.02	39.10	39.07	41.40	41.24	42.00	41.66
714.6	30.64	30.69	33.31	33.28	34.13	34.09	37.09	36.98	39.08	39.02	41.38	41.19	41.98	41.62

FKM [km]	NNQ2003 706 m³/s		MQ 2106 m³/s		Q 2756 m³/s		HQ1 5591 m³/s		HQ5 5591 m³/s		HQ100 12000 m³/s		BHQ2004 12900 m³/s	
	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	AMW 90	Simuliert
714.7	30.63	30.69	33.29	33.27	34.11	34.08	37.07	36.95	39.06	39.00	41.36	41.16	41.96	41.59
714.8	30.62	30.68	33.27	33.25	34.09	34.06	37.03	36.93	39.03	38.96	41.33	41.13	41.95	41.56
714.9	30.61	30.67	33.25	33.24	34.07	34.04	37.00	36.90	39.00	38.93	41.31	41.10	41.93	41.53
715.0	30.60	30.66	33.23	33.22	34.05	34.02	36.98	36.87	38.99	38.90	41.29	41.06	41.92	41.49
715.1	30.59	30.64	33.21	33.20	34.03	34.00	36.95	36.85	38.97	38.88	41.28	41.03	41.89	41.46
715.2	30.58	30.63	33.19	33.18	34.00	33.98	36.93	36.84	38.96	38.87	41.28	41.01	41.86	41.44
715.3	30.56	30.61	33.17	33.16	33.98	33.96	36.92	36.82	38.94	38.86	41.27	41.00	41.84	41.42
715.4	30.55	30.60	33.16	33.14	33.97	33.94	36.91	36.79	38.93	38.84	41.27	40.98	41.81	41.40
715.5	30.54	30.59	33.14	33.12	33.95	33.92	36.90	36.76	38.92	38.81	41.26	40.95	41.79	41.38
715.6	30.53	30.57	33.12	33.10	33.93	33.89	36.87	36.73	38.90	38.79	41.26	40.92	41.78	41.34
715.7	30.51	30.56	33.09	33.09	33.90	33.88	36.85	36.72	38.88	38.77	41.25	40.89	41.77	41.31
715.8	30.50	30.54	33.07	33.07	33.88	33.86	36.83	36.70	38.86	38.75	41.24	40.87	41.76	41.28
715.9	30.48	30.53	33.05	33.06	33.87	33.85	36.81	36.69	38.84	38.74	41.23	40.85	41.75	41.27
716.0	30.47	30.51	33.04	33.04	33.85	33.83	36.81	36.67	38.84	38.72	41.22	40.84	41.74	41.26
716.1	30.47	30.50	33.03	33.01	33.84	33.81	36.80	36.65	38.83	38.71	41.21	40.83	41.72	41.25
716.2	30.45	30.48	33.00	33.00	33.81	33.79	36.78	36.64	38.81	38.70	41.21	40.83	41.70	41.25
716.3	30.43	30.47	32.97	32.98	33.78	33.78	36.75	36.64	38.79	38.69	41.21	40.82	41.69	41.24
716.4	30.41	30.45	32.96	32.96	33.77	33.76	36.75	36.63	38.78	38.69	41.21	40.82	41.67	41.24
716.5	30.40	30.43	32.95	32.94	33.76	33.75	36.74	36.63	38.77	38.68	41.21	40.81	41.66	41.23
716.6	30.38	30.41	32.93	32.92	33.74	33.73	36.72	36.62	38.76	38.67	41.21	40.80	41.64	41.22
716.7	30.36	30.39	32.90	32.90	33.72	33.71	36.70	36.61	38.74	38.66	41.20	40.78	41.62	41.20
716.8	30.33	30.37	32.88	32.88	33.70	33.70	36.69	36.59	38.73	38.65	41.19	40.77	41.60	41.19
716.9	30.31	30.35	32.86	32.86	33.68	33.68	36.67	36.58	38.71	38.64	41.18	40.77	41.58	41.18
717.0	30.29	30.33	32.85	32.85	33.66	33.66	36.66	36.56	38.70	38.63	41.17	40.76	41.57	41.18
717.1	30.27	30.30	32.83	32.82	33.64	33.64	36.64	36.54	38.69	38.62	41.15	40.76	41.56	41.18
717.2	30.25	30.28	32.81	32.80	33.62	33.62	36.62	36.52	38.67	38.60	41.14	40.75	41.55	41.18
717.3	30.24	30.25	32.78	32.77	33.60	33.59	36.60	36.49	38.65	38.57	41.12	40.74	41.54	41.16
717.4	30.20	30.23	32.76	32.76	33.58	33.57	36.58	36.47	38.63	38.56	41.10	40.74	41.53	41.15
717.5	30.17	30.20	32.73	32.73	33.55	33.55	36.55	36.46	38.61	38.54	41.08	40.72	41.52	41.13
717.6	30.15	30.17	32.71	32.70	33.53	33.52	36.54	36.44	38.60	38.52	41.05	40.70	41.51	41.12
717.7	30.13	30.14	32.69	32.68	33.51	33.50	36.52	36.42	38.59	38.51	41.03	40.69	41.50	41.12
717.8	30.10	30.11	32.67	32.66	33.49	33.48	36.50	36.40	38.57	38.48	41.01	40.68	41.49	41.11
717.9	30.07	30.08	32.64	32.64	33.46	33.45	36.48	36.38	38.55	38.46	40.98	40.67	41.48	41.10
718.0	30.03	30.05	32.61	32.61	33.43	33.43	36.45	36.36	38.52	38.44	40.95	40.67	41.47	41.09
718.1	30.00	30.02	32.58	32.59	33.40	33.41	36.43	36.36	38.50	38.43	40.93	40.66	41.46	41.08
718.2	29.97	29.98	32.57	32.57	33.39	33.39	36.42	36.35	38.49	38.43	40.90	40.65	41.45	41.07
718.3	29.95	29.95	32.55	32.54	33.38	33.38	36.42	36.34	38.49	38.42	40.87	40.65	41.44	41.07
718.4	29.92	29.92	32.53	32.51	33.36	33.35	36.40	36.32	38.47	38.40	40.85	40.64	41.43	41.06
718.5	29.89	29.90	32.51	32.49	33.34	33.33	36.39	36.30	38.45	38.39	40.82	40.63	41.42	41.05
718.6	29.86	29.88	32.49	32.46	33.31	33.30	36.36	36.28	38.43	38.37	40.80	40.62	41.40	41.04
718.7	29.84	29.86	32.46	32.44	33.29	33.28	36.34	36.26	38.41	38.34	40.78	40.61	41.38	41.03
718.8	29.82	29.84	32.44	32.43	33.27	33.26	36.32	36.24	38.39	38.32	40.75	40.60	41.36	41.02
718.9	29.80	29.81	32.42	32.41	33.25	33.24	36.30	36.22	38.38	38.31	40.74	40.59	41.34	41.00
719.0	29.77	29.78	32.40	32.39	33.23	33.22	36.28	36.20	38.35	38.29	40.73	40.57	41.32	40.99
719.1	29.74	29.76	32.37	32.37	33.21	33.20	36.26	36.17	38.33	38.27	40.72	40.56	41.30	40.99
719.2	29.71	29.73	32.35	32.35	33.18	33.18	36.24	36.15	38.31	38.25	40.72	40.55	41.29	40.98
719.3	29.68	29.70	32.33	32.32	33.16	33.16	36.22	36.14	38.29	38.23	40.71	40.54	41.28	40.97
719.4	29.66	29.68	32.31	32.30	33.13	33.14	36.20	36.12	38.27	38.22	40.70	40.53	41.27	40.96
719.5	29.63	29.65	32.28	32.27	33.11	33.11	36.18	36.10	38.26	38.21	40.68	40.52	41.26	40.95
719.6	29.62	29.63	32.26	32.25	33.09	33.09	36.16	36.08	38.24	38.20	40.66	40.51	41.24	40.95
719.7	29.60	29.61	32.24	32.23	33.08	33.07	36.14	36.06	38.23	38.18	40.64	40.50	41.23	40.94
719.8	29.58	29.59	32.22	32.21	33.05	33.05	36.12	36.04	38.21	38.16	40.62	40.49	41.22	40.93
719.9	29.56	29.58	32.20	32.19	33.03	33.03	36.10	36.02	38.19	38.15	40.60	40.47	41.21	40.92
720.0	29.54	29.56	32.18	32.18	33.01	33.02	36.08	36.00	38.17	38.13	40.58	40.44	41.20	40.89
720.1	29.52	29.53	32.16	32.16	32.99	33.00	36.07	35.99	38.16	38.12	40.56	40.42	41.17	40.88
720.2	29.49	29.50	32.14	32.14	32.97	32.99	36.05	35.97	38.14	38.10	40.54	40.40	41.15	40.88

FKM [km]	NNQ2003 706 m³/s		MQ 2106 m³/s		Q 2756 m³/s		HQ1 5591 m³/s		HQ5 5591 m³/s		HQ100 12000 m³/s		BHQ2004 12900 m³/s	
	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	AMW 90	Simuliert
720.3	29.46	29.48	32.12	32.12	32.96	32.97	36.03	35.96	38.13	38.09	40.52	40.39	41.13	40.87
720.4	29.43	29.45	32.11	32.10	32.94	32.95	36.02	35.94	38.11	38.07	40.50	40.37	41.11	40.87
720.5	29.40	29.43	32.09	32.08	32.93	32.93	36.00	35.92	38.09	38.05	40.48	40.36	41.09	40.84
720.6	29.38	29.41	32.07	32.06	32.90	32.91	35.97	35.90	38.06	38.03	40.46	40.34	41.07	40.81
720.7	29.36	29.39	32.05	32.04	32.88	32.89	35.95	35.89	38.04	38.01	40.44	40.32	41.05	40.80
720.8	29.33	29.38	32.03	32.03	32.86	32.88	35.93	35.88	38.01	38.00	40.42	40.30	41.03	40.80
720.9	29.31	29.36	32.01	32.02	32.85	32.87	35.91	35.87	37.99	37.98	40.40	40.28	41.01	40.80
721.0	29.29	29.35	32.00	32.01	32.83	32.86	35.90	35.87	37.97	37.97	40.38	40.26	40.99	40.80
721.1	29.27	29.33	31.98	32.00	32.82	32.85	35.89	35.85	37.96	37.95	40.36	40.24	40.97	40.78
721.2	29.26	29.31	31.98	31.98	32.82	32.84	35.88	35.83	37.95	37.92	40.33	40.23	40.95	40.76
721.3	29.26	29.29	31.98	31.97	32.82	32.81	35.88	35.80	37.95	37.89	40.30	40.21	40.93	40.74
721.4	29.24	29.28	31.96	31.94	32.79	32.79	35.85	35.77	37.91	37.85	40.28	40.19	40.91	40.72
721.5	29.23	29.27	31.94	31.92	32.77	32.77	35.82	35.74	37.87	37.81	40.25	40.16	40.89	40.71
721.6	29.21	29.26	31.92	31.90	32.75	32.75	35.79	35.71	37.85	37.78	40.22	40.13	40.86	40.69
721.7	29.20	29.25	31.90	31.89	32.73	32.73	35.77	35.69	37.82	37.76	40.21	40.11	40.83	40.68
721.8	29.20	29.24	31.89	31.87	32.72	32.70	35.75	35.65	37.81	37.71	40.19	40.08	40.80	40.66
721.9	29.19	29.21	31.88	31.83	32.71	32.66	35.73	35.60	37.80	37.65	40.17	40.03	40.77	40.62
722.0	29.16	29.18	31.85	31.80	32.67	32.63	35.69	35.56	37.76	37.60	40.16	39.99	40.75	40.59
722.1	29.13	29.17	31.81	31.78	32.63	32.61	35.64	35.53	37.73	37.57	40.14	39.98	40.73	40.58
722.2	29.11	29.14	31.79	31.76	32.61	32.59	35.62	35.51	37.71	37.54	40.12	39.97	40.71	40.57
722.3	29.09	29.13	31.77	31.75	32.59	32.58	35.60	35.51	37.70	37.54	40.11	39.98	40.69	40.58
722.4	29.08	29.11	31.77	31.73	32.58	32.55	35.60	35.48	37.69	37.52	40.09	39.96	40.67	40.57
722.5	29.07	29.09	31.76	31.70	32.58	32.53	35.60	35.45	37.68	37.49	40.07	39.95	40.66	40.56
722.6	29.06	29.07	31.74	31.68	32.56	32.50	35.57	35.42	37.66	37.47	40.05	39.93	40.63	40.54
722.7	29.04	29.05	31.72	31.65	32.54	32.47	35.54	35.39	37.64	37.43	40.03	39.90	40.61	40.53
722.8	29.02	29.03	31.69	31.63	32.51	32.45	35.50	35.38	37.59	37.42	40.00	39.89	40.58	40.52
722.9	28.99	29.01	31.66	31.60	32.47	32.42	35.46	35.35	37.55	37.39	39.96	39.87	40.56	40.50
723.0	28.97	28.98	31.63	31.58	32.45	32.40	35.44	35.33	37.53	37.38	39.93	39.85	40.54	40.49
723.1	28.95	28.96	31.60	31.56	32.42	32.38	35.41	35.31	37.51	37.37	39.89	39.84	40.51	40.47
723.2	28.93	28.94	31.58	31.54	32.40	32.36	35.39	35.29	37.50	37.35	39.85	39.82	40.49	40.46
723.3	28.91	28.92	31.56	31.52	32.38	32.33	35.37	35.26	37.49	37.32	39.82	39.79	40.46	40.45
723.4	28.88	28.90	31.53	31.50	32.35	32.31	35.35	35.24	37.46	37.30	39.80	39.77	40.44	40.43
723.5	28.86	28.88	31.50	31.48	32.32	32.29	35.33	35.22	37.44	37.28	39.77	39.75	40.42	40.40
723.6	28.83	28.86	31.48	31.46	32.30	32.27	35.30	35.20	37.41	37.26	39.74	39.74	40.39	40.38
723.7	28.81	28.83	31.45	31.44	32.27	32.25	35.28	35.18	37.39	37.25	39.72	39.73	40.36	40.37
723.8	28.79	28.81	31.44	31.42	32.25	32.23	35.27	35.17	37.37	37.24	39.69	39.71	40.34	40.37
723.9	28.77	28.79	31.42	31.40	32.24	32.21	35.26	35.16	37.36	37.23	39.68	39.70	40.31	40.36
724.0	28.74	28.76	31.40	31.38	32.22	32.19	35.24	35.15	37.34	37.21	39.67	39.68	40.29	40.35
724.1	28.72	28.74	31.38	31.35	32.20	32.18	35.23	35.13	37.32	37.20	39.66	39.65	40.26	40.32
724.2	28.69	28.71	31.36	31.33	32.18	32.16	35.20	35.12	37.30	37.18	39.65	39.63	40.24	40.28
724.3	28.67	28.69	31.33	31.31	32.15	32.14	35.18	35.10	37.29	37.17	39.64	39.62	40.21	40.25
724.4	28.64	28.67	31.31	31.29	32.13	32.12	35.16	35.09	37.27	37.15	39.62	39.61	40.19	40.24
724.5	28.61	28.65	31.28	31.27	32.10	32.11	35.14	35.08	37.26	37.14	39.60	39.60	40.17	40.24
724.6	28.58	28.63	31.26	31.26	32.08	32.09	35.13	35.06	37.24	37.13	39.58	39.58	40.15	40.23
724.8	28.53	28.59	31.22	31.23	32.04	32.06	35.09	35.03	37.20	37.11	39.54	39.52	40.11	40.18
724.9	28.51	28.56	31.20	31.22	32.02	32.05	35.07	35.02	37.19	37.09	39.51	39.50	40.09	40.14
725.0	28.49	28.54	31.18	31.20	32.01	32.03	35.05	35.01	37.16	37.08	39.49	39.48	40.07	40.10
725.1	28.46	28.52	31.16	31.18	31.99	32.02	35.03	35.00	37.14	37.07	39.47	39.47	40.05	40.08
725.2	28.44	28.50	31.15	31.17	31.98	32.00	35.02	34.98	37.13	37.05	39.45	39.46	40.03	40.07
725.3	28.42	28.47	31.14	31.15	31.97	31.98	35.01	34.97	37.13	37.04	39.43	39.44	40.01	40.05
725.4	28.39	28.45	31.12	31.13	31.95	31.97	35.00	34.95	37.10	37.02	39.41	39.42	39.99	40.03
725.5	28.37	28.42	31.11	31.11	31.93	31.95	34.98	34.93	37.08	36.99	39.39	39.38	39.97	39.99
725.6	28.34	28.40	31.09	31.10	31.91	31.93	34.96	34.90	37.05	36.96	39.35	39.34	39.93	39.94
725.7	28.32	28.37	31.07	31.07	31.90	31.90	34.93	34.87	37.03	36.92	39.32	39.29	39.89	39.89
725.8	28.30	28.36	31.06	31.06	31.88	31.89	34.92	34.86	37.00	36.90	39.29	39.26	39.86	39.86
725.9	28.29	28.35	31.04	31.04	31.87	31.87	34.90	34.83	36.97	36.87	39.25	39.24	39.82	39.84

FKM [km]	NNQ2003 706 m ³ /s		MQ 2106 m ³ /s		Q 2756 m ³ /s		HQ1 5591 m ³ /s		HQ5 5591 m ³ /s		HQ100 12000 m ³ /s		BHQ2004 12900 m ³ /s	
	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	FLYS	Simuliert	AMW 90	Simuliert
726.0	28.28	28.33	31.02	31.02	31.85	31.84	34.87	34.80	36.93	36.83	39.22	39.21	39.79	39.81
726.1	28.26	28.32	31.01	31.00	31.83	31.82	34.84	34.77	36.89	36.80	39.19	39.19	39.76	39.79
726.2	28.25	28.31	30.99	30.99	31.81	31.80	34.81	34.74	36.86	36.77	39.17	39.16	39.74	39.77
726.3	28.24	28.30	30.97	30.97	31.79	31.79	34.78	34.72	36.82	36.74	39.15	39.15	39.71	39.75
726.4	28.23	28.28	30.95	30.95	31.77	31.76	34.76	34.69	36.81	36.71	39.13	39.12	39.69	39.73
726.5	28.22	28.27	30.94	30.94	31.76	31.74	34.75	34.67	36.79	36.69	39.11	39.11	39.67	39.71
726.6	28.21	28.26	30.92	30.91	31.74	31.72	34.73	34.63	36.77	36.65	39.09	39.07	39.65	39.68
726.7	28.19	28.24	30.90	30.90	31.72	31.70	34.70	34.61	36.74	36.63	39.08	39.06	39.64	39.66
726.8	28.18	28.22	30.89	30.87	31.70	31.67	34.68	34.58	36.72	36.60	39.07	39.03	39.62	39.64
726.9	28.17	28.20	30.87	30.85	31.68	31.64	34.66	34.55	36.70	36.56	39.06	39.00	39.61	39.61
727.0	28.15	28.18	30.85	30.82	31.65	31.61	34.63	34.52	36.67	36.53	39.05	38.98	39.60	39.59
727.1	28.13	28.17	30.82	30.80	31.63	31.59	34.59	34.50	36.64	36.51	39.04	38.96	39.57	39.58
727.2	28.11	28.14	30.80	30.77	31.60	31.56	34.57	34.47	36.62	36.49	39.02	38.94	39.54	39.56
727.3	28.10	28.12	30.77	30.75	31.58	31.54	34.54	34.45	36.59	36.47	38.99	38.92	39.51	39.54
727.4	28.07	28.10	30.75	30.72	31.55	31.51	34.52	34.42	36.57	36.45	38.96	38.91	39.48	39.53
727.5	28.05	28.08	30.72	30.70	31.53	31.49	34.49	34.40	36.54	36.43	38.94	38.90	39.45	39.51
727.6	28.04	28.06	30.70	30.68	31.51	31.46	34.47	34.38	36.53	36.41	38.91	38.88	39.43	39.49
727.7	28.02	28.03	30.68	30.65	31.49	31.44	34.45	34.36	36.51	36.39	38.88	38.86	39.41	39.47
727.8	28.00	28.01	30.66	30.63	31.47	31.42	34.43	34.35	36.49	36.38	38.87	38.85	39.40	39.47
727.9	27.98	27.99	30.63	30.61	31.45	31.40	34.42	34.33	36.47	36.36	38.85	38.83	39.38	39.46
728.0	27.96	27.97	30.61	30.58	31.43	31.37	34.40	34.31	36.46	36.34	38.83	38.81	39.37	39.44
728.1	27.95	27.94	30.59	30.56	31.41	31.35	34.39	34.30	36.44	36.33	38.81	38.79	39.36	39.42
728.2	27.92	27.92	30.56	30.54	31.38	31.33	34.36	34.29	36.42	36.32	38.79	38.78	39.36	39.39
728.3	27.90	27.90	30.53	30.52	31.35	31.32	34.34	34.29	36.39	36.32	38.78	38.78	39.36	39.35
728.4	27.88	27.88	30.52	30.50	31.33	31.30	34.33	34.28	36.38	36.31	38.76	38.78	39.36	39.35
728.5	27.86	27.86	30.50	30.48	31.32	31.29	34.32	34.27	36.37	36.31	38.74	38.77	39.36	39.37
728.6	27.84	27.84	30.48	30.46	31.30	31.27	34.31	34.26	36.36	36.30	38.72	38.75	39.34	39.37
728.7	27.82	27.81	30.46	30.43	31.28	31.25	34.30	34.25	36.35	36.28	38.70	38.72	39.32	39.37
728.8	27.80	27.80	30.44	30.42	31.26	31.23	34.28	34.24	36.33	36.27	38.68	38.68	39.30	39.33
728.9	27.77	27.78	30.42	30.40	31.24	31.22	34.25	34.22	36.31	36.26	38.66	38.67	39.28	39.28
729.0	27.76	27.76	30.41	30.39	31.23	31.20	34.24	34.21	36.30	36.25	38.64	38.67	39.26	39.25
729.1	27.74	27.75	30.40	30.38	31.21	31.19	34.23	34.20	36.28	36.24	38.62	38.67	39.24	39.25
729.2	27.72	27.73	30.37	30.37	31.19	31.18	34.20	34.18	36.25	36.22	38.60	38.66	39.22	39.25
729.3	27.70	27.71	30.35	30.35	31.17	31.16	34.18	34.16	36.22	36.20	38.58	38.63	39.20	39.24
729.4	27.68	27.69	30.33	30.34	31.15	31.14	34.16	34.14	36.20	36.19	38.56	38.60	39.18	39.21
729.5	27.66	27.68	30.32	30.32	31.13	31.13	34.14	34.13	36.18	36.17	38.54	38.57	39.16	39.18
729.6	27.65	27.66	30.30	30.30	31.12	31.12	34.12	34.11	36.16	36.15	38.51	38.53	39.13	39.14
729.7	27.63	27.65	30.29	30.30	31.10	31.11	34.10	34.11	36.14	36.14	38.49	38.52	39.10	39.12
729.8	27.62	27.62	30.27	30.27	31.09	31.09	34.08	34.08	36.12	36.12	38.47	38.47	39.07	39.07