

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern

Straße / Abschnitt / Station: St 2315 / 100 / 0,000 bis 1,000

St 2315 / L 2310

Verlegung bei Collenberg (OT Kirschfurt) mit Neubau einer Mainbrücke

PROJIS-Nr.:

FESTSTELLUNGSENTWURF

Unterlage 18.1

- Hydraulisches Gutachten -

Aufgestellt:

Staatliches Bauamt Aschaffenburg



S c h w a b, Ltd. Baudirektor
Aschaffenburg, den 08.09.2025

KREBS+KIEFER
Ingenieure GmbH
Raiffeisenstraße 1
63762 Großostheim

St2315-Neubau Mainbrücke bei Kirschfurt Untersuchung der Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse im Main

Technischer Bericht

PROJEKT-NR.: 5238
STAND: 09 / 2022
[5238_BER_02_220923.DOCX]

INHALT

1 EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung	1
1.2 Beschreibung der Maßnahme	1
1.3 Bearbeitungsgrundlagen	2
2 MODELLARBEITEN	2
2.1 Verwendetes Programmsystem	2
2.2 Aktualisierung/Neuaufbau des 2D-Wasserspiegellagenmodells	3
2.3 Einarbeitung der relevanten Systemzustände	4
2.4 Abflusslängsschnitte	7
2.5 Auslaufrandbedingung	8
3 HYDRAULISCHE BERECHNUNGEN	8
3.1 Durchgeführte Berechnungen	8
3.2 Abgleich mit dem Altmodell	8
4 BERECHNUNGSERGEBNISSE	10
4.1 Untersuchungen zur Abfluss situation	11
4.1.1 Überflutungsflächen, Wasserspiegellagen und Wassertiefen	11
4.1.2 Fließgeschwindigkeiten	11
4.1.3 Stromlinien	12
4.1.4 Schubspannungen	12
4.2 Gegenüberstellung von Bestand und Plan-Zustand	13
4.2.1 Überschwemmungsflächen	13
4.2.2 Wasserspiegellagendifferenzen	13
4.2.3 Geschwindigkeitsdifferenzen	14
4.3 Situation im Bau-Zustand	14
4.3.1 Überschwemmungsflächen	14
4.3.2 Wasserspiegellagendifferenzen	15
4.3.3 Geschwindigkeitsdifferenzen	16
4.4 Retentionsraumbetrachtung	17
5 FAZIT	19

Abbildungen

Abbildung 1:	Planung für die Mainbrücke in Kirschfurt bei Main-km 131,650 (Ausschnitt, Vorentwurf Planfeststellung)	1
Abbildung 2:	Übersicht der zum Modellaufbau verwendeten Daten	4
Abbildung 3:	Lage der aufbereiteten Geometriedaten für den Bau-Zustand (links) und den Plan-Zustand (rechts) mit den jeweils berechneten HQ_{100} Wassertiefen und der Anschlaglinie für den Bestand (rote Linie).	5
Abbildung 4:	Die geplante Brücke im Berechnungsmodell Bau-Zustand (oben) und Plan-Zustand (unten) – Ansicht von Unterstrom/Nordufer.	6
Abbildung 5:	Vergleich von Altmodell zu Neumodell - Längsschnitt des Wasserspiegels für HQ_5 , HQ_{20} und HQ_{100}	9
Abbildung 6:	Vergleich der Überflutungsflächen - Altmodell (Blautöne) und Neumodell (rote Linie)	10

Tabellen

Tabelle 1:	Abflüsse für die zu betrachtenden Abflusszenarien	7
Tabelle 2:	Auslaufrandbedingung – Wasserstand-Abfluss-Beziehung	8
Tabelle 3:	Retentionsraumbilanz nach Lamellen, Bereiche mit Wasserspiegellagendifferenz $\geq \pm 1$ cm.	17
Tabelle 4:	Retentionsraumbilanz nach Lamellen, 300 m Streifen um die geplante Brücke	18
Tabelle 5:	Retentionsraumverluste nach Lamellen, Staatliches Bauamt Aschaffenburg, 13.11.2020	18

Anhänge

Anhang 1:	Maximale Überflutungsflächen/Wassertiefen
Anhang 2:	Maximale Fließgeschwindigkeiten
Anhang 3:	Stromlinien
Anhang 4:	Maximale Schubspannungen in N/m ²
Anhang 5:	Wassertiefen von Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand im Vergleich zur Anschlaglinie für den Bestand
Anhang 6:	Wasserspiegellagendifferenzen zwischen Bestand und Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand in m
Anhang 7:	Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Bestand und Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand in m/s

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das Staatliche Bauamt Aschaffenburg beabsichtigt im Rahmen der Realisierung einer Ortsumgehung von Kirschfurt den Neubau einer Mainbrücke. Die Brücke soll bei Main-km 131,650 rd. 1 km unterstrom der bestehenden Mainbrücke in Kirschfurt errichtet werden (Abbildung 1).



Abbildung 1: Planung für die Mainbrücke in Kirschfurt bei Main-km 131,650 (Ausschnitt, Vorentwurf Planfeststellung)

Die Planung des Vorhabens erfolgt durch Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH, Großostheim. Ergänzend zur Planung ist in Abstimmung mit dem Bauherrn und dem Planer ein hydraulisches Gutachten zu erstellen, in dem die Auswirkungen des Vorhabens auf die Abflussverhältnisse im Main untersucht und Hinweise für die Planung erarbeitet werden. Zu betrachten ist hierbei neben dem Endzustand nach Abschluss der Bauphase auch der maßgebende Zwischenzustand während der Bauarbeiten.

1.2 Beschreibung der Maßnahme

Die geplante Mainbrücke ist Teil einer Umgehungsstraße, die die am linken Mainufer verlaufende L 2310 (Baden Württemberg) mit der rechtsseitig des Mains verlaufenden St2315neu (Bayern) verbinden soll, ohne dass der Durchgangsverkehr wie bisher durch die Stadt Freudenberg geführt wird. Der Main vollzieht in Höhe von Freudenberg einen Rechtsschwenk, um an der Stelle des Bauvorhabens einen geraden Verlauf in Richtung Westen anzunehmen. Im Bereich der geplanten Brücke befindet sich das zweite von acht parallel zum südlichen Ufer aufgeschütteten Leitwerken. Die geplante Brücke hat 4 Pfeiler, wobei das Widerlager und der Pfeiler im Norden (Bayern) nicht im Überschwemmungsgebiet des 100-jährlichen

Hochwasserabflusses (HQ_{100}) liegen. Im nördlichen Vorlandbereich liegen 2 weitere Pfeiler und der südlichste Pfeiler (Baden Württemberg) ist auf dem Leitwerk positioniert. Das südliche Widerlager sowie die in Dammlage verlaufende Zufahrt liegen im Überschwemmungsgebiet des Mains.

1.3 Bearbeitungsgrundlagen

Für die Bearbeitung standen folgende Unterlagen und Daten zur Verfügung:

- /U1/ Hochwasserrisikomanagementplan "Bayerisches Maineinzugsgebiet", Regierung von Unterfranken.
- /U2/ Bestands-Vermessungsdaten im Vorhabensbereich, Staatliches Bauamt Aschaffenburg.
- /U3/ Planungsdaten des Brückenneubaus Kirschfurt, Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH, Stand 11.2020.
- /U4/ Digitales Geländemodell im 1 m-Raster (Bayern), Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, übermittelt am 05.11.2020.
- /U5/ Digitales Geländemodell im 1 m-Raster (Baden-Württemberg), RP-Stuttgart, übermittelt am 25.01.2021.
- /U6/ Peilungsdaten der Mainsohle, WSV Schweinfurt, Stand: September 2020.
- /U7/ FLYS-Flusshydrologischer Webdienst, Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- /U8/ St 2315, Verlegung bei Collenberg (OT Kirschfurt) mit Neubau einer Mainbrücke - Ausgleich des Verlustes an Hochwasserrückhalteraum, Staatliches Bauamt Aschaffenburg, 13.11.2020.
- /U9/ Planungsdaten des Brückenneubaus Kirschfurt, Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH, Stand 05.2022.

2 MODELLARBEITEN

2.1 Verwendetes Programmsystem

Gemäß Leistungsbeschreibung sollen unter anderem Strömungslinien und Sohlschubspannungen ermittelt werden. Diese Anforderung setzt zwingend den Einsatz eines 2D-Wasserspiegellagenprogramms zur Durchführung der hydraulischen Berechnungen voraus.

Für die 2D-Wasserspiegellagenberechnungen wurde das Programmsystem HYDRO_AS-2D verwendet. HYDRO_AS-2D ermöglicht die Simulation nahezu aller zweidimensionalen Strömungs- und Abflussverhältnisse einschließlich hochgradig instationärer Dammbruch- und Flutwellenausbreitungsvorgänge. Die Berechnungen werden vollständig (d.h. Flussschlauch und Vorland) zweidimensional durchgeführt. HYDRO_AS-2D wird in Deutschland vielfach eingesetzt und hat im Bereich der 2D-Modellierung einen gewissen Standard definiert.

2.2 Aktualisierung/Neuaufbau des 2D-Wasserspiegellagenmodells

Für die Bearbeitung stand ein Modell für zweidimensionale Strömungsberechnungen aus der Erstellung des Hochwasserrisikomanagementplans "Bayerisches Maineinzugsgebiet" (/U1/) zur Verfügung. Dieses Modell ist für die überregionale Betrachtung von Hochwasserereignissen konzipiert worden und hat einen Stand von 2010.

Nach Sichtung der verfügbaren Grundlagendaten stellte sich heraus, dass der Neuaufbau des Berechnungsnetzes einer Aktualisierung des Bestandsnetzes vorzuziehen ist. Insbesondere die Verfügbarkeit von Sohlflächenpeilungen aus 2020 für den gesamten betrachteten Mainabschnitt (1m-Grids, /U6/) legte diesen Schritt nahe. Diesen Datensatz in das Bestandsnetz einzuarbeiten würde den Aufwand eines Neuaufbaus übersteigen. Des Weiteren konnten im Zuge des Neuaufbaus die Bestandsvermessung /U2/ in das Berechnungsnetz integriert und die vorliegenden Digitalen Geländemodelle im 1 m Raster (DGM-1) /U4/ und /U5/ als Grundlage für die Vorlandbereiche verwendet werden. Die naturgemäß nicht exakt in den DGM-1-Daten abgebildeten linienhaften Hochwasserschutzmaßnahmen wurden dem Bestandsmodell entnommen und in das neue Berechnungsnetz eingefügt.

Die räumliche Auflösung und Detaillierung des Berechnungsnetzes wurde so gewählt, dass das Abflussgeschehen in den zu untersuchenden Abflussszenarien mit für die zu führenden Nachweise ausreichender Genauigkeit nachgebildet wird. Um für den gesamten Untersuchungsbereich belastbare Ergebnisse zu erzeugen, wurde das 2D-Wasserspiegellagenmodell mit ausreichend langen Vor- und Nachlaufstrecken aufgebaut. Im Oberstrom wurde das Modell bis zum Modellrand des Bestandsmodells aufgebaut, sodass die Ortslagen von Kirschfurt und Freudenberg enthalten sind. Im Unterstrom wurde darauf geachtet, dass Fließwege auf dem Vorland nicht abgeschnitten werden. Das Modell beginnt somit stromab bei Fluss-km 127,4 und reicht im Oberwasser bis etwa Fluss-km 135,3. Die in dem Modell betrachtete Untersuchungsstrecke weist damit eine Länge von rund 7,9 km auf. Bei der seitlichen Abgrenzung des Modellgebiets wurde auf den Umgriff des Bestandsmodells aus /U1/ zurückgegriffen (vergleiche Abbildung 2).

Nach Festlegung des Modellumgriffs wurden aus den DGM-1 Datensätzen des Vorlands (/U4/ und /U5/) die die Wasseroberfläche des Mains repräsentierenden Bereiche herausgeschnitten. Dies war nötig, da einerseits eine Lücke für die Sohlflächenpeilungen geschaffen werden musste und andererseits im DGM-1 nicht die Gewässersohle, sondern die Wasseroberfläche abgebildet ist. Da die Sohlflächenpeilung jedoch meist nicht bis zum äußersten Gewässerrand reicht, gibt es eine Datenlücke zwischen Sohlflächenpeilung und „echten“ Geländedaten des DGM-1. Diese Datenlücke wurde mit den vorhandenen Böschungsdaten aus dem Bestandsmodell aus /U1/ geschlossen. Somit ist das neu aufgebaute Berechnungsnetz auf dem neusten verfügbaren Stand. Die Materialbelegung und die zugehörigen Rauheiten aus dem Bestandsmodell aus /U1/ wurden auf das neu erstellte Berechnungsnetz übertragen.

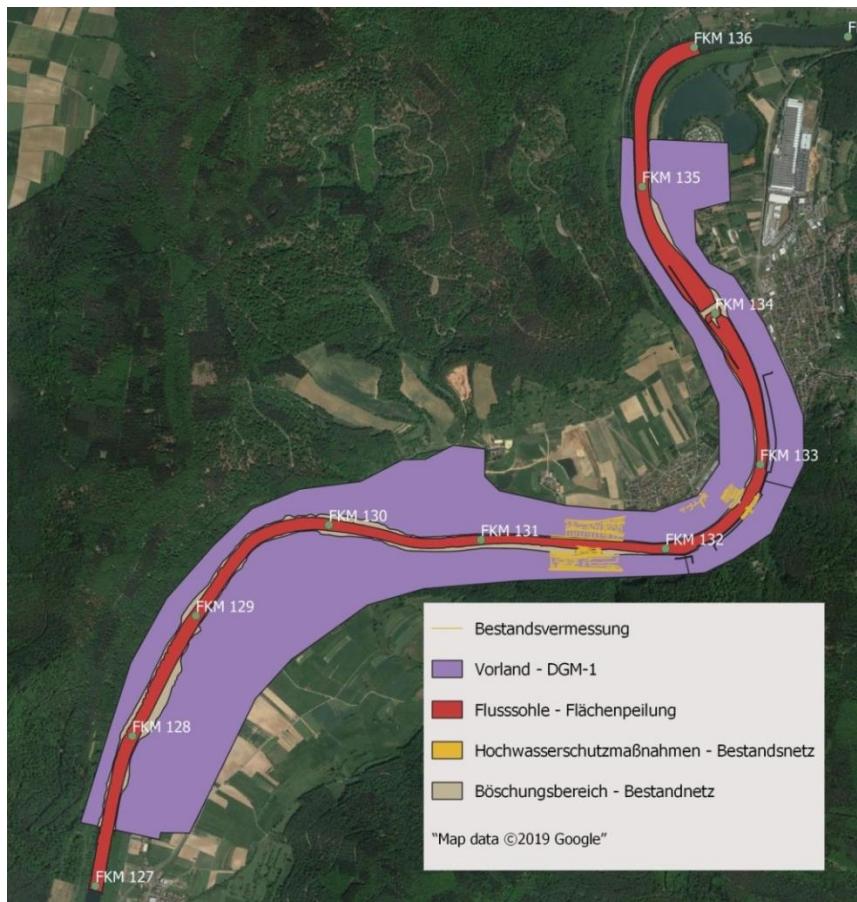


Abbildung 2: Übersicht der zum Modellaufbau verwendeten Daten

2.3 Einarbeitung der relevanten Systemzustände

In das neu aufgestellte Modell des Ist-Zustands aus Kap. 2.2 wurden jeweils die Planungen zu der kritischen Bauphase sowie des Endzustands eingearbeitet und so Berechnungsmodelle für die 2 Zustände (Bau-Zustand, Plan-Zustand) erstellt.

Anhand der Planunterlagen zu den einzelnen Bauphasen sowie der Ergebnisse des Ist-Zustands für die 6 zu untersuchenden Abflussszenarien wurde die Bauphase mit den vermutlich größten Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse bestimmt. Hierbei handelt es sich um diejenige Bauphase, in der auf beiden Ufern Zuwegungen zur Baustellenandienung eingerichtet sind und gleichzeitig die Baugruben der Pfeiler und Widerlager mittels Verbau hochwasserfrei gehalten werden.

Zur Abbildung der kritischen Bauphase (Bau-Zustand) im 2D-Wasserspiegellagenmodell wurden die Höhenlagen der Baustellenandienung aus der übermittelten Prinzipdarstellung (/U3/, Blatt 12) abgeleitet. So wurde die Höhe des in Fließrichtung gesehen rechtsseitigen Andienungsbereichs auf 127,55 müNHN und die Höhe der linksseitigen Baustellenandienung auf 126,6 müNHN gesetzt. Der Baugrubenverbau wurde als hochwassersicher angenommen (Disable). Obwohl der Verbau nur mit etwa HSW + 0,5m = 128,05 müNHN bemaßt ist, wurde dieser konservative Ansatz gewählt, weil zumindest die zu erstellenden Pfeiler und Widerlager selbst bei entsprechendem Baufortschritt ein Fließhindernis darstellen. So stellt die Annahme, dass die Baugruben vollständig hochwassersicher sind den hydraulisch

ungünstigsten Fall dar („sichere Seite“). Die zur Erstellung des Berechnungsnetzes für den Bau-Zustand verwendeten Bruchkanten (grün) und die mit „Disable“ belegten Flächen (schwarze Umrandung) sind in Abbildung 3 (links) zusammen mit den berechneten HQ₁₀₀ Wassertiefen für den Bau-Zustand und der Anschlaglinie für den Bestand (rote Linie) dargestellt. Eine Ansicht des Berechnungsnetzes für den Bau-Zustand ist in Abbildung 5 (oben) dargestellt.

Mit Fortschreiten der Planungen wurden die für die Bauphase benötigten Flächen zur Baustellenandienung und Einrichtungen nochmals angepasst und konkretisiert. Zur Abbildung dieser Variante des Bau-Zustands (V2) wurde das 2D-Wasserspiegellagenmodell entsprechend der von Krebs&Kiefer zur Verfügung gestellten Pläne (/U9/) modifiziert. Der Baugrubenverbau wurde in dieser Variante bis zur geplanten Höhe abgebildet, sodass dieser bei Hochwasser überströmt werden kann. Gleichzeitig wurden die geplanten Pfeiler und Widerlager mittels der „Disable-Option“ als „undurchfließbar“ dem Fließquerschnitt entzogen. In Abbildung 4 sind die zur Erstellung des Berechnungsnetzes für den Bau-Zustand (V2) gegenüber dem ursprünglichen Bau-Zustand angepassten Bereiche dargestellt (orange Linien).

Die Abbildung des Endzustands (Plan-Zustand) im 2D-Wasserspiegellagenmodell erfolgte anhand der Bauwerkspläne. Die Widerlager beider Seiten und der Straßendamm im linksseitigen/südlichen Uferbereich sind in dem Berechnungsnetz mit ihrer Lage und Höhe modelliert worden. Die Brückenpfeiler wurden mit ihrer Geometrie in das Berechnungsnetz eingearbeitet und die betreffenden Netzelemente zusätzlich mittels der „Disable-Option“ - die es ermöglicht einzelne Elemente des Berechnungsnetzes „undurchfließbar“ zu setzen - hydraulisch unwirksam gesetzt. Die Konstruktionsunterkante des Brückenüberbaus wurde mit der „KUK-Option“ nachgebildet. An den entsprechend belegten Berechnungsknoten kann der Wasserspiegel nicht über den jeweils festgelegten Wert ansteigen. Die Lage der zur Erstellung des Berechnungsnetzes für den Plan-Zustand verwendeten aufbereiteten Bruchkanten (lila), „Disable“-Flächen (gelb) und „KUK“-Bereichen (rot-gestrichelt) ist in Abbildung 3 (rechts) zusammen mit den berechneten HQ₁₀₀ Wassertiefen für den Plan-Zustand und der Anschlaglinie für den Bestand (rote Linie) dargestellt. Eine Ansicht des Berechnungsnetzes für den Plan-Zustand ist in Abbildung 5 (unten) dargestellt.

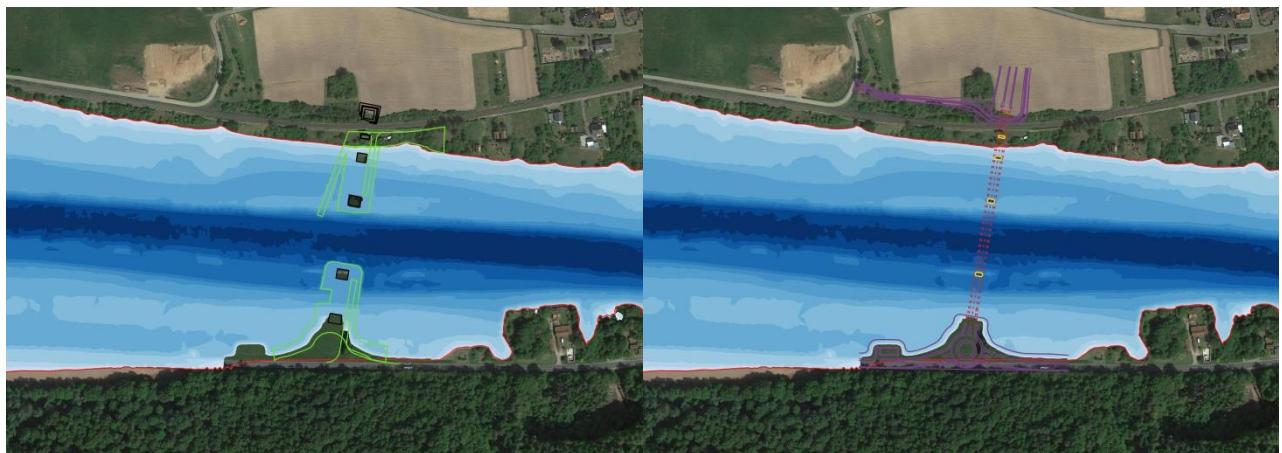


Abbildung 3: Lage der aufbereiteten Geometriedaten für den Bau-Zustand (links) und den Plan-Zustand (rechts) mit den jeweils berechneten HQ₁₀₀ Wassertiefen und der Anschlaglinie für den Bestand (rote Linie).

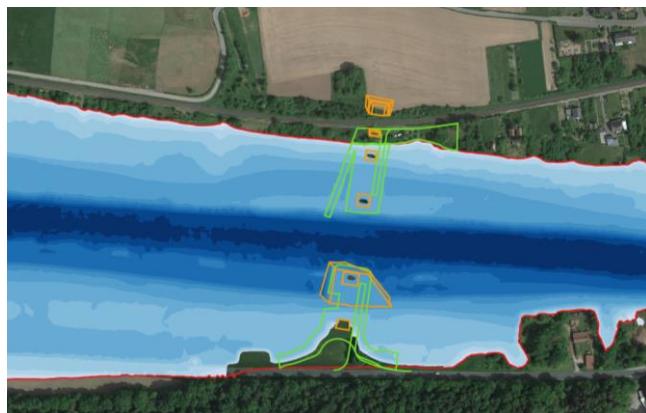


Abbildung 4: Lage der gegenüber dem Bau-Zustand (grün) veränderten Geometriedaten für den Bau-Zustand (V2) (orange) mit den berechneten HQ₁₀₀ Wassertiefen und der Anschlaglinie für den Bestand (rote Linie).

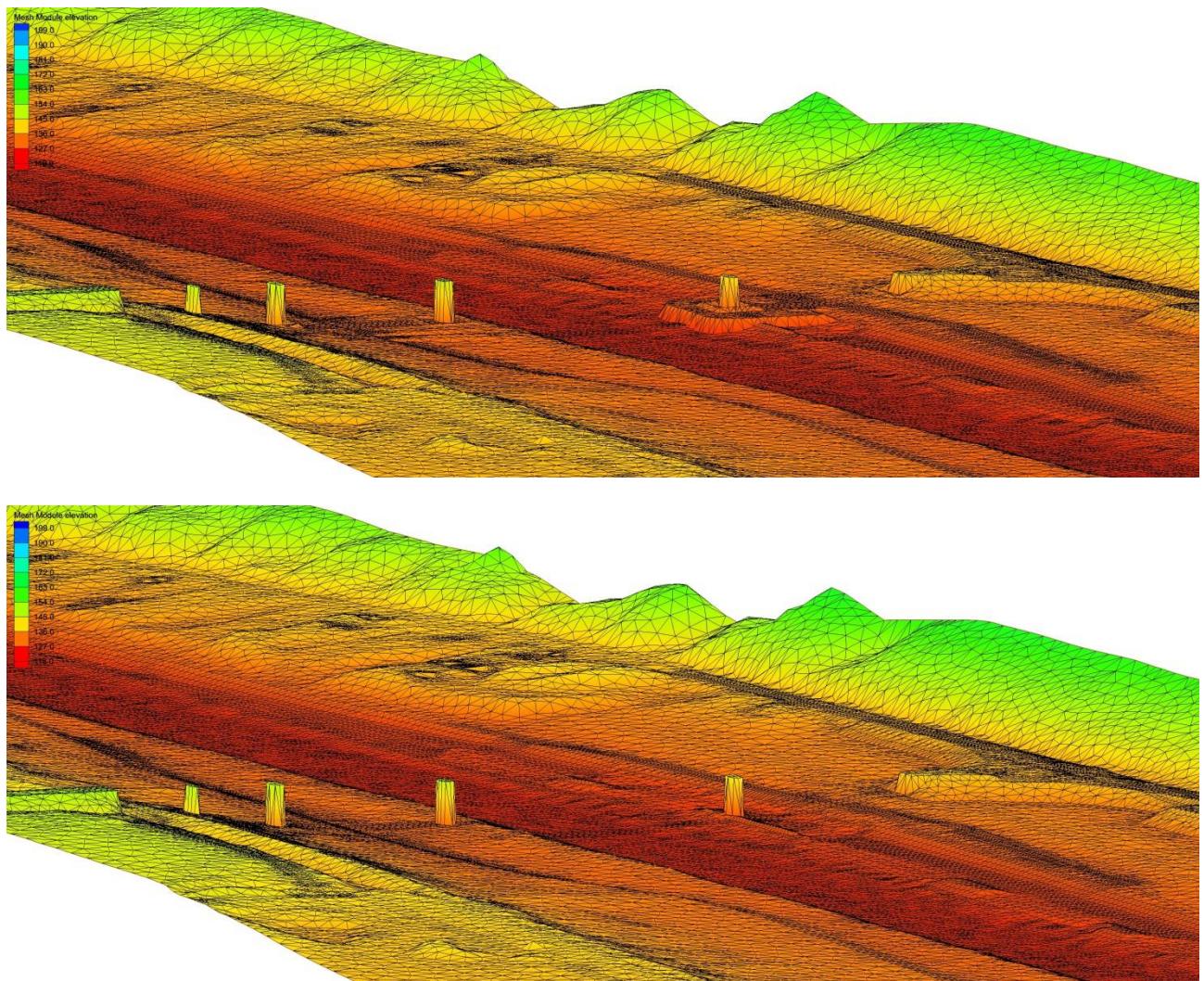


Abbildung 5: Die geplante Brücke im Berechnungsmodell Bau-Zustand (oben) und Plan-Zustand (unten) – Ansicht von Unterstrom/Nordufer.

2.4 Abflusslängsschnitte

Gemäß Leistungsbeschreibung soll das Abflussspektrum von MQ über HSQ, HQ₅, HQ₂₀, HQ₅₀ bis HQ₁₀₀, insgesamt also 6 Abflussszenarien, betrachtet werden.

Die Abflusswerte zu den Abflussszenarien HQ₅, HQ₂₀ und HQ₁₀₀ wurden aus /U1/ übernommen.

Die Abflüsse zu den drei verbleibenden Abflussszenarien (MQ, HSQ, HQ₅₀) wurden aus dem FLYS-Modell der Bundesanstalt für Gewässerkunde /U7/ übernommen und mit den Angaben der nächstgelegenen Mainpegel abgeglichen.

HSQ stellt hier jedoch eine Ausnahme dar. Der Abflusswert für den „höchsten schiffbaren Wasserstand“ (HSW) ist auf die einzelnen Stauhaltungen bezogen und kann nicht als zusammenhängender Längsschnitt gesehen werden. Da jedoch für die Pegel im Untersuchungsgebiet keine Angaben zu HSQ zur Verfügung standen, musste der Abflusswert HSQ aus den Pegeldaten von Faulbach und Kleinheubach entwickelt werden. Über die jeweiligen Abflusskurven konnte der Abfluss HSQ zu 829 m³/s bzw. 751 m³/s bestimmt werden. Als weitere Angabe stand der in den Planunterlagen zum Brückenneubau aufgeführte Wert von 127,55 m üNHN für HSW zur Verfügung. Zur Festlegung von HSQ wurden für dies Abflüsse Rechenläufe mit dem neu erstellten Modell durchgeführt, um den jeweils korrespondierenden Wasserspiegel am geplanten Brückenbauwerk zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass der Wert für Faulbach einen Wasserspiegel von 127,64 m üNHN erzeugt und sich bei dem Abfluss von Kleinheubach ein Wasserspiegel von 127,38 m üNHN im Bereich des geplanten Brückenneubaus einstellt. Daraufhin wurde eine weitere Berechnung mit 800 m³/s durchgeführt welche zu einem Wasserspiegel von rund 127,54 m üNHN am Ort des geplanten Brückenneubaus führte. Dies stimmt ausreichend genau mit der vorgegebenen Wasserspiegellage (127,55 m üNHN) überein. Im Folgenden wird HSQ für den betrachteten Mainabschnitt auf 800 m³/s festgelegt.

Da innerhalb des betrachteten Mainabschnitts keine Sprünge im Abflusslängsschnitt verzeichnet sind, wurden alle Abflüsse (siehe Tabelle 1) am Zulauf des Modells angesetzt.

Tabelle 1: Abflüsse für die zu betrachtenden Abflussszenarien

Szenario	Abfluss in [m ³ /s]
MQ	154
HSQ	800
HQ ₅	1.140
HQ ₂₀	1.710
HQ ₅₀	2.070
HQ ₁₀₀	2.360

2.5 Auslaufrandbedingung

Als Auslaufrandbedingung am unteren Rand des Berechnungsmodells wurde anhand der verfügbaren Daten aus /U1/ und FLYS /U7/ eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung aufgestellt, die dafür sorgt, dass der Wasserstand am Modellauslauf (Main-km 127,4) bei den berechneten Abflüssen dem jeweils zugeordneten Wert entspricht. Aus modelltechnischen Gründen ist es erforderlich, dass die Wasserstand-Abfluss-Beziehung über das zu berechnende Abflussspektrum hinaus geht, weshalb hier die Wertepaare für MNQ (45 m³/s) und HQ₂₀₀ (2.670 m³/s) miteinbezogen wurden.

Tabelle 2: Auslaufrandbedingung – Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Q in [m ³ /s]	W in [m+NHN]
45	124,64
154	124,83
690	126,16
760	126,35
1.140	127,30
1.420	127,97
1.710	128,58
2.070	129,29
2.360	129,75
2.670	130,01

3 HYDRAULISCHE BERECHNUNGEN

3.1 Durchgeführte Berechnungen

Für die betrachteten Systemzustände (Bestand, Bau-Zustand (2 Varianten) und Plan-Zustand) wurden jeweils Wasserspiegellagenberechnungen für die Abflussszenarien MQ, HSQ, HQ₅, HQ₂₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ durchgeführt (24 Rechenläufe).

3.2 Abgleich mit dem Altmodell

Zur Überprüfung des neu aufgebauten 2D-Wasserspiegellagenmodells wurden die Berechnungsergebnisse für HQ₅, HQ₂₀ und HQ₁₀₀ zunächst mit denen des Altmodells aus /U1/ verglichen. Dazu wurden die entlang der Flussachse berechneten Wasserspiegellagen aus den jeweiligen Ergebnisdatensätzen extrahiert und jeweils in einem Längsschnitt aufgetragen. Die in Abbildung 6 dargestellten Längsschnitte zeigen für die gesamte Untersuchungsstrecke eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten Wasserspiegellagen. Die Abweichungen liegen bei HQ₁₀₀ zwischen +3 cm und -1 cm, bei HQ₂₀ zwischen +2 cm

und -3 cm und bei HQ₅ zwischen +2 cm und -4 cm. Somit ist an den Längsschnitten abzulesen, dass keine generelle Über- oder Unterschätzung der Wasserspiegellagen im Vergleich zu dem Altmodell stattfindet.

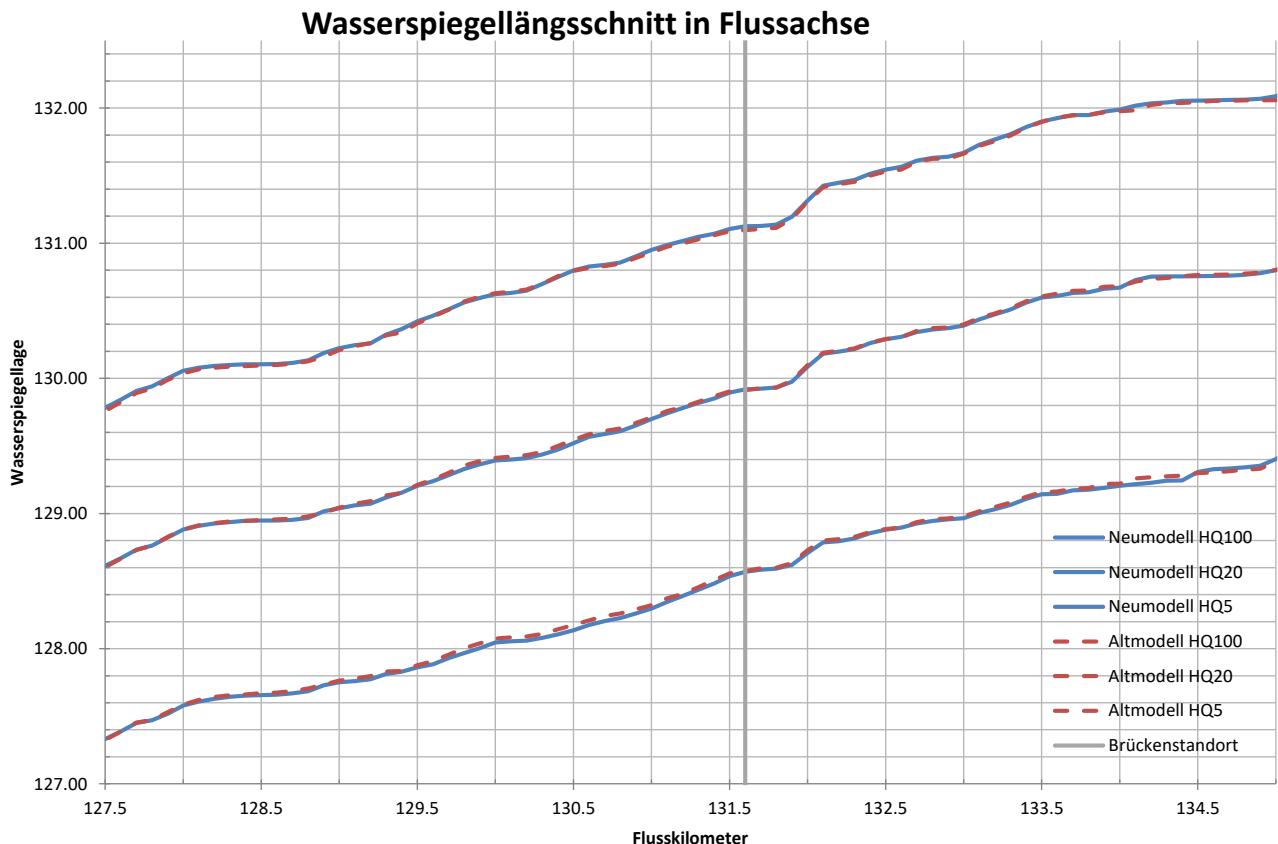


Abbildung 6: Vergleich von Altmodell zu Neumodell - Längsschnitt des Wasserspiegels für HQ₅, HQ₂₀ und HQ₁₀₀

Erwartungsgemäß zeigen auch die in Abbildung 7 dargestellten Überflutungsflächen keine relevanten Unterschiede. Die mit dem Altmodell aus /U1/ berechneten Wassertiefen sind in Blautönen ab einer Tiefe von 1 cm dargestellt. Die Anschlaglinie der mit dem Neumodell berechneten Überschwemmungsfläche ist rot dargestellt.

Aufgrund der sich nur geringfügig unterscheidenden Wasserspiegellagen ist davon auszugehen, dass die Abweichungen in der Ausdehnung der Überflutungsflächen, die zwischen Fkm 128 und Fkm 130 in der Kiesgrube auf dem linken Vorland auftreten (HQ₁₀₀), auf Unterschiede in den für das Vorland verwendeten DGM-1-Datensätzen infolge einer zwischenzeitlichen Ausdehnung des Abbaus zurückzuführen sind.

Obwohl die Ergebnisse von Altmodell und neu aufgestelltem Modell in der globalen Betrachtung für Hochwasserereignisse weitgehend übereinstimmen, war der unter Kap. 2.2 beschriebene Neuaufbau des Berechnungsmodells erforderlich. Zum einen ist die exakte Nachbildung der Gewässersohle für die Berechnung der vorwiegend auf das Gewässerbett beschränkten Abflüsse MQ und HSQ maßgebend und zum anderen ermöglicht die verfeinerte Netzstruktur die detaillierte Nachbildung der Maßnahme im Berechnungsnetz ohne gravierende Unterschiede bezüglich der Elementgrößen zu generieren.

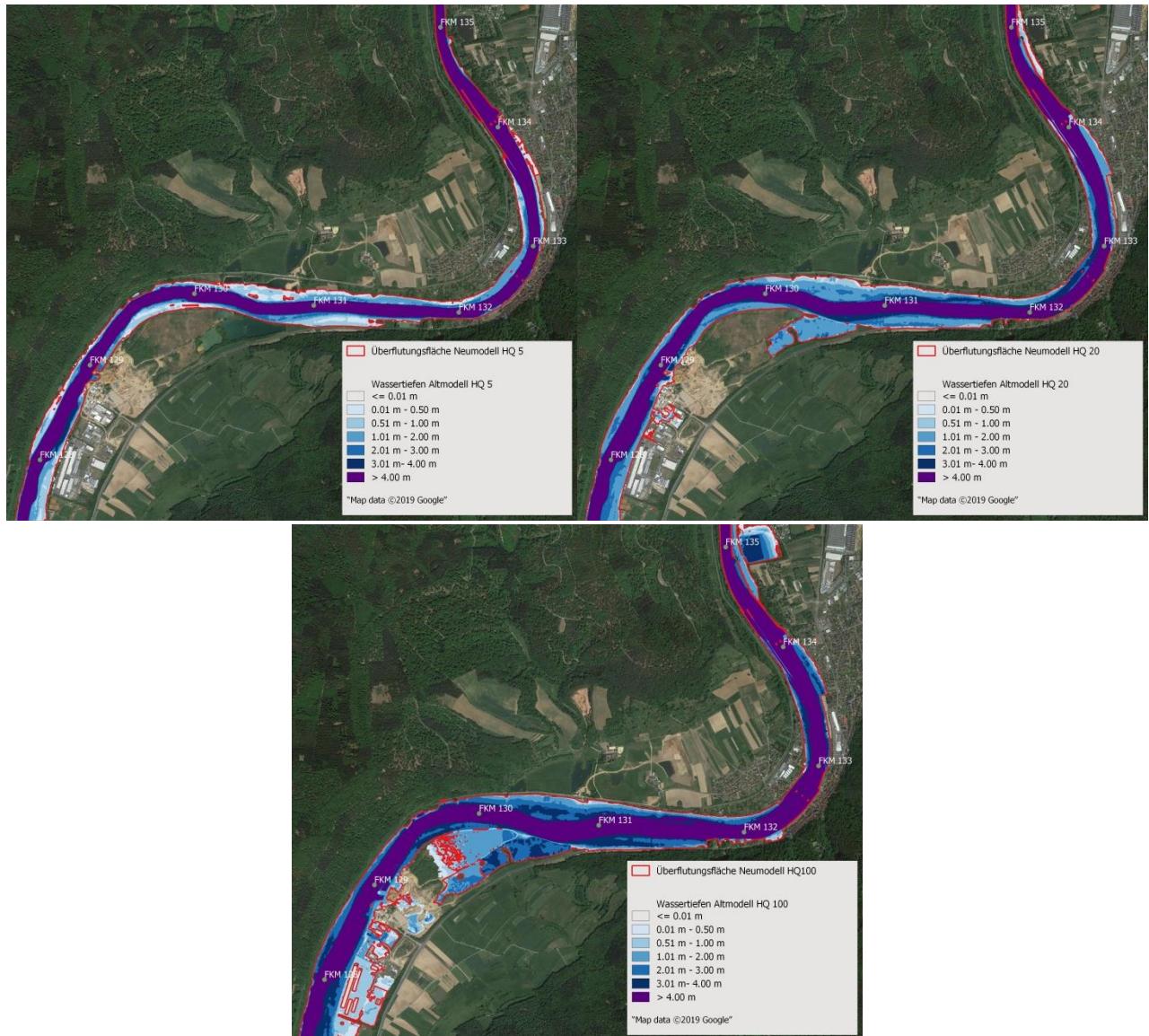


Abbildung 7: Vergleich der Überflutungsflächen - Altmodell (Blautöne) und Neumodell (rote Linie)

4 BERECHNUNGSERGEBNISSE

Nach Durchführung der Berechnungen wurden die Ergebnisse analysiert und aufbereitet, um den Einfluss des geplanten Brückenneubaus auf die Abflusssituation im Main zu verdeutlichen. Hier werden exemplarisch die Ergebnisse für HQ₁₀₀, HSQ und MQ erläutert. Die Auswahl erfolgte, weil so das gesamte untersuchte Abflussspektrum abgedeckt wird. Zudem haben die Abflussverhältnisse bei HSQ eine besondere Relevanz für den Schiffsverkehr. Die entsprechenden Abbildungen finden sich in den Anhängen. Für die Überflutungsflächen und Wassertiefen (Anhang 1), den Vergleich der Ausdehnung der Überflutungsflächen (Anhang 5) und die Wasserspiegeldifferenzen (Anhang 6) sind die Ergebnisse für die übrigen betrachteten Abflussszenarien HQ₅, HQ₂₀, HQ₅₀ ebenfalls dort dargestellt.

4.1 Untersuchungen zur Abfluss situation

Zur Untersuchung der Abfluss situation wurden die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Überflutungsflächen/Wassertiefen, der Fließgeschwindigkeiten, der Schubspannungen und der Stromlinien („Flow Traces“) untersucht und dargestellt.

4.1.1 Überflutungsflächen, Wasserspiegellagen und Wassertiefen

Zur ersten, grundsätzlichen Betrachtung der vorhabensbedingten Auswirkungen eignen sich die Überflutungsflächen. Die Überflutungsflächen sind in Anhang 1 ab einer Wassertiefe von 1 cm dargestellt. Vergleicht man nun die Ausdehnung der Überflutungsflächen, zeigt sich sofort, dass die Auswirkungen der Baumaßnahmen gering sind. Größere Unterschiede zwischen den Flächen für die verschiedenen Systemzustände (Bestand, Plan- und Bau-Zustand) sind bei allen betrachteten Abflüssen nur in unmittelbarer Nähe der veränderten Strukturen zu erkennen. Als Veränderung gegenüber dem Bestand fallen insbesondere das südliche Widerlager mit der in Dammlage verlaufenden Zuwegung sowie die Brückenpfeiler auf. Auf die Wassertiefen und Überflutungsflächen im Oberstrom und Unterstrom der Brücke sind die Auswirkungen sehr gering, sodass sie in dieser Darstellung nur schwer erkennbar sind. Weitere Aufschlüsse zu den Änderungen bezüglich der Überflutungsflächen kann der in den Kapiteln 4.2.1 und 4.3.1 gezogene Vergleich zwischen den Überflutungsflächen des Bestands und dem Plan- bzw. Bau-Zustand geben. Bezuglich der Einflüsse des geplanten Bauwerks auf die Wasserspiegellagen und die damit einhergehenden Wassertiefen können die Darstellungen der in den Kapiteln 4.2.2 und 4.3.2 behandelten Wasserspiegellagendifferenzen herangezogen werden.

4.1.2 Fließgeschwindigkeiten

Die Fließgeschwindigkeiten für MQ, HSQ und HQ₁₀₀ sind in den Abbildungen in Anhang 2 dargestellt. Im Bestand liegen die maximalen Fließgeschwindigkeiten bei MQ im Querschnitt der geplanten Brücke bei etwa 1 m/s. Zwischen den Leitwerken und dem linken Ufer treten Werte bis etwa 0,4 m/s auf. Bei HSQ liegen die Geschwindigkeiten in der Fahrrinne bei knapp 2 m/s. Zwischen den Leitwerken und dem Ufer sind Werte von etwas über 1 m/s zu beobachten. Auf den überschwemmten Vorlandbereichen sind die Geschwindigkeiten mit meist unter 0,2 m/s und maximal 0,3 m/s deutlich geringer. Bei HQ₁₀₀ herrschen in der Fahrrinne des Mains Fließgeschwindigkeiten von knapp unter 3 m/s vor. In dem Bereich zwischen Leitwerken und Ufer ergeben sich vorwiegend Werte von unter 2 m/s. Auf den Vorländern im Brücke-Querschnitt treten fast ausschließlich Geschwindigkeiten von unter 1 m/s auf.

Betrachtet man die Fließgeschwindigkeiten für den Plan-Zustand und den Bau-Zustand wird deutlich, dass der Einfluss des geplanten Bauwerks im Plan-Zustand gering ist. Im Bau-Zustand sind die Auswirkungen insbesondere aufgrund der Baustellenandienung deutlich größer, jedoch auf das Umfeld des geplanten Neubaus beschränkt.

Zu einer detaillierteren Betrachtung der durch die Baumaßnahmen hervorgerufenen Änderungen wird auf die Kapitel 4.2.3 und 4.3.3 verwiesen, da die dort besprochenen Abbildungen der Geschwindigkeitsdifferenzen dazu besser geeignet sind.

4.1.3 Stromlinien

Die Stromlinien sind für die drei Systemzustände bei MQ, HSQ und HQ₁₀₀ dargestellt (Anhang 3). Sie bieten die Möglichkeit, die Strömungsrichtungen zu beurteilen. Die veränderte Situation in Folge des geplanten Brückenneubaus ist vor allem im Bereich der Pfeiler zu erkennen. Während die Stromlinien im Bestand in diesen Bereichen ungehindert parallel verlaufen, müssen die Pfeiler im Plan-Zustand umströmt werden. Die leichten Störungen im Bereich der Pfeiler sind in den Abbildungen des Plan-Zustands zu erkennen. Die Darstellungen verdeutlichen, dass die Straßenzuführung am südlichen Widerlager bei Hochwasser den weitaus größten Einfluss auf die Stromlinien im Plan-Zustand hat. In den Abbildungen zum **Bau-Zustand** werden diese Effekte noch deutlicher. Der einschnürende Einfluss der Spundwandkästen und der Aufschüttungen zur Baustellenandienung ist hier gut zu erkennen. An den Brückenpfeilern sind teilweise deutliche Rückströmungen im jeweiligen Strömungsschatten zu erkennen und im Falle des südlichen Widerlagers entwickelt sich bei HQ₁₀₀ auch im Anströmbereich ein Wirbel, der zu Rückströmungen führt. Auch hier sind die Effekte des **Bau-Zustands (V2)** bei MQ und HSQ trotz der gegenüber dem ursprünglich betrachteten Bau-Zustand veränderten Andienungsfläche sehr ähnlich. Die Ergebnisse für HQ₁₀₀ zeigen hingegen deutlich, dass die Strömung aufgrund der Möglichkeit zur Überströmung der Baugrubenverbauten weniger Störungen als im ursprünglichen Bau-Zustand ausgesetzt ist.

4.1.4 Schubspannungen

Die Schubspannungen werden exemplarisch für MQ, HSQ und HQ₁₀₀ für die 3 betrachteten Systemzustände dargestellt (Anhang 4). Bei MQ sind im Bereich des Brückenquerschnitts in allen Systemzuständen maximale Schubspannungen von etwas über 5 N/m² zu beobachten. Wobei zwischen den Flächen mit mehr als 5 N/m² im Bestand und im Plan-Zustand keine Unterschiede zu erkennen sind. Geringfügige Änderungen sind im Vergleich zum Bau-Zustand sichtbar. Bei HSQ sind die Unterschiede zwischen Bestand und Plan-Zustand ebenfalls gering und treten hauptsächlich im Bereich der südlichen Pfeiler auf. In beiden Systemzuständen werden in der Fahrrinne maximale Werte von rund 14 N/m² erreicht. Auf den überströmten Leitwerken betragen die Schubspannungen über 20 N/m² bis maximal 35 N/m². In dem Bereich zwischen dem Leitwerk und der südlichen Böschung treten im Brückenquerschnitt Werte von unter 10 N/m² auf. Im Böschungsbereich liegen sie bei bis zu gut 20 N/m². Im **Bau-Zustand** treten in der Fahrrinne des Mains Werte von etwas über 20 N/m², am nördlichen Ufer von bis zu rund 40 N/m² auf. Auf der im Bau-Zustand zur Baustellenandienung aufgeschütteten Fläche zwischen Leitwerk und südlichem Ufer treten ebenfalls großflächig Schubspannungen von mehr als 20 N/m² mit lokalen Höchstwerten von über 40 N/m² auf. Bei HQ₁₀₀ treten im Bestand im Flussschlauch Schubspannungen von knapp 30 N/m² auf. Zwischen Leitwerk und südlicher Böschung sind die Schubspannungen mit Werten zwischen 15 und 25 N/m² etwas geringer. Schubspannungen von über 50 N/m² treten an der südlichen Böschung und am Leitwerk auf, wobei auf der Ostspitze des Leitwerks ein Spitzenwert von rund 80 N/m² berechnet wurde. Im Plan-Zustand ergibt sich ein ähnliches Bild wie im Bestand. Größere Unterschiede ergeben sich lediglich lokal aufgrund der veränderten Strömung im Umfeld der Pfeiler. So sind an der südlichen Böschung mit maximal knapp 90 N/m² etwas größere Schubspannungen und im Strömungsschatten des Pfeilers auf dem Leitwerk kleinere Schubspannungen (maximal rund 50 N/m²) als im Bestand anzutreffen. Im Bau-Zustand treten im Flussschlauch mit 35 bis 70 N/m² etwas höhere Schubspannungen als in den beiden anderen System-Zuständen auf. Das gleiche gilt für die zur Baustellenandienung aufgeschütteten Bereiche auf den Vorländern und zwischen Leitwerk und südlichem Ufer. Die mit maximal 250 N/m² höchsten Schubspannungen werden im Brückenquerschnitt zwischen dem

südlichen Widerlager und dem Pfeiler-Verbau auf dem Leitwerk erreicht. Zwischen den beiden Pfeilern auf dem nördlichen Vorland ergeben sich maximale Schubspannungen von rund 35 N/m^2 . In der aktualisierten Version des **Bau-Zustands (V2)** sind die maximalen Schubspannungen bei MQ und HSQ denen des ursprünglich betrachteten Bau-Zustands sehr ähnlich. Bei den Ergebnissen für HQ₁₀₀ fällt jedoch auf, dass die maximal auftretenden Schubspannungen im Vergleich zum ursprünglich betrachteten Bau-Zustand mit knapp 120 N/m^2 deutlich kleiner sind. Insgesamt ergibt sich für den Bau-Zustand (V2) ein homogeneres Bild bei der Verteilung der Schubspannungen um den Pfeiler am Südufer als im ursprünglichen Bau-Zustand.

4.2 Gegenüberstellung von Bestand und Plan-Zustand

Die Ergebnisse der Berechnungen für den Bestand und den Plan-Zustand (Endzustand) wurden einander gegenübergestellt. Es wurden die Auswirkungen auf die Ausdehnung der Überschwemmungsflächen, die Wasserstände und die Fließgeschwindigkeiten betrachtet.

4.2.1 Überschwemmungsflächen

Zur besseren Vergleichbarkeit der bei den berechneten Abflüssen in Bestand und Plan-Zustand auftretenden Ausdehnungen der Überschwemmungsflächen wurden die für den Plan-Zustand berechneten Wassertiefen aus Anhang 1 gemeinsam mit der Anschlaglinie der Überschwemmungen im Bestand (rote Linie) in Anhang 5 dargestellt. Die Darstellungen verdeutlichen, dass die Überflutungsflächen lediglich im direkten Umfeld des Vorhabens Veränderungen erfahren. So ist bei den kleineren Abflüssen MQ und HSQ zu erkennen, dass die geplanten Brückenpfeiler repräsentierenden Flächen im Plan-Zustand nicht überschwemmt sind, während sie im Bestand innerhalb der Überflutungsfläche liegen. Betrachtet man die Darstellungen für die Hochwasserereignisse HQ₅, HQ₂₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ ist zusätzlich der Einfluss des Widerlagers und des daran anschließenden Straßendamms auf dem südlichen Vorland zu erkennen.

4.2.2 Wasserspiegellagendifferenzen

Zur besseren Verdeutlichung der Auswirkungen des Neubaus der Brücke auf die Wasserspiegellagen im Main wurden Wasserspiegeldifferenzen berechnet und dargestellt. Hierzu wurden die im Bestand auftretenden Wasserspiegellagen von den für den Plan-Zustand berechneten Wasserspiegellagen abgezogen. Die daraus resultierenden Differenzen sind in den Abbildungen in Anlage 6 dargestellt. Bereiche mit Wasserspiegelabsenkungen werden in Grüntönen dargestellt und Blautöne repräsentieren Wasserspiegelanstiege. Werte bis $\pm 1\text{cm}$ finden keine Darstellung.

Auch in diesen Darstellungen zeigt sich, dass der Einfluss des geplanten Bauwerks auf die Wasserspiegellagen bis HQ₅ sehr gering und lokal auf die Pfeiler beschränkt ist. Im Oberwasser der Pfeiler zeigt sich ab HSQ ein leichter Aufstau während der Wasserspiegel seitlich der Pfeiler absinkt. Dies zeigt sich vor allem an dem am stärksten angeströmten südlichen Pfeiler. Ab HQ₂₀ wird auch das südliche Widerlager mit Straßendamm angeströmt. Dadurch ergeben sich hier ein Aufstau im Oberwasser und eine Wasserspiegelabsenkung im Strömungsschatten des Bauwerks. Bei HQ₅₀ sorgen die Aufstau-Effekte dafür, dass in Bereichen vor dem geplanten Bauwerk ein Aufstau von knapp über 1 cm entsteht, der sich bis rund 450 m oberstrom fortsetzt und dann wieder unter 1 cm fällt. Die Wasserspiegelabsenkung auf dem südlichen Vorland beträgt bis etwa 160 m unterstrom der geplanten Brücke knapp über 1 cm. Bei HQ₁₀₀

ergibt sich ein ähnliches Bild. Hier ist der Wasserspiegel infolge des Bauwerks bis rund 1,5 km um gut 1 cm angehoben. Die Absenkung des Wasserspiegels auf dem südlichen Ufer fällt nach etwa 170 m unter 1 cm.

Insgesamt ist der Einfluss des Brückenneubaus auf die Wasserspiegellage als lokal begrenzt oder gering anzusehen.

4.2.3 Geschwindigkeitsdifferenzen

Die Veränderung des Fließquerschnitts hat auch Auswirkungen auf die auftretenden Fließgeschwindigkeiten. Dazu wurden analog zu den Wasserspiegellagedifferenzen die Differenzen der Fließgeschwindigkeiten zwischen Bestand und Plan-Zustand gebildet und dargestellt. Die Darstellungsgrenze ist hier bei $\pm 0,1$ m/s.

Die in Anhang 7 dargestellten Geschwindigkeitsdifferenzen zeigen, dass die Fließgeschwindigkeiten vor allem im Anströmbereich sowie im Strömungsschatten der neu zu errichtenden Pfeiler abnehmen. Zunahmen der Geschwindigkeiten sind in den Bereichen zwischen den geplanten Pfeilern zu verzeichnen. Die Geschwindigkeitszunahmen sind allerdings gering und liegen bei MQ unter der Darstellungsgrenze von 0,1 m/s. Eine geringe Abnahme der Fließgeschwindigkeit von maximal 0,17 m/s ist an der dem südlichen Ufer zugewandten Seite des auf dem Leitwerk geplanten Pfeilers zu verzeichnen. Bei HSQ sind die dargestellten Geschwindigkeitsdifferenzen ebenfalls auf die direkte Umgebung des südlichen Pfeilers beschränkt. So wird die Geschwindigkeit in dessen Anströmbereich um maximal 0,8 m/s und in dem Strömungsschatten um maximal 0,9 m/s abgemindert. Die größte Geschwindigkeitszunahme tritt mit maximal 0,15 m/s zwischen südlichem Pfeiler und Ufer auf. Bei HQ₁₀₀ treten in Bereichen an den beiden angeströmten Pfeilern auf dem nördlichen Vorland sowie dem südlichen Pfeiler und Widerlager Geschwindigkeitssteigerungen von knapp 0,3 m/s auf. Innerhalb der Fahrrinne sind jedoch auch hier keine Steigerungen von über 0,1 m/s zu beobachten. Die Bereiche mit verminderter Geschwindigkeit beschränken sich erneut auf die Anströmbereiche und Strömungsschatten der Pfeiler und des südlichen Widerlagers, wobei deren Intensität am südlichen Pfeiler und dem Widerlager aufgrund der stärkeren Anströmung deutlich höher ist als bei den Pfeilern auf dem Nordufer.

4.3 Situation im Bau-Zustand

Außerdem wurden die Berechnungsergebnisse für den hydraulisch ungünstigsten Bau-Zustand den Ergebnissen des Bestands gegenübergestellt. Auch hier wurden die Ergebnisse für MQ, HSQ und HQ₁₀₀ näher betrachtet. Die Ergebnisse sind gemeinsam mit den Darstellungen für den Plan-Zustand im Anhang aufgeführt.

4.3.1 Überschwemmungsflächen

Betrachtet man die Überschwemmungsflächen im **Bau-Zustand** im Vergleich zur Anschlaglinie des Bestands fällt schon bei MQ der Einfluss der geplanten Maßnahmen auf. Die zur Andienung des südlichen Pfeilers (Baden-Württemberg) aufgeschüttete Fläche schneidet den Fließweg zwischen Leitwerk und südlichem Ufer ab. Bei HSQ ist die südliche Andienungsfläche überschwemmt und es ist lediglich die zur Errichtung des südlichen Pfeilers verbaute Fläche trockengelegt. Die höher angelegte Fläche zur Andienung des auf dem nördlichen Ufer (Bayern) gewässernah zu errichtenden Pfeilers unterbricht den im

Bestand bei HSQ dort ausgebildeten Fließweg. Bei den größeren berechneten Abflussereignissen sind die Flächen zur Baustellenandienung vollständig überschwemmt. Lediglich die zur Erstellung der Pfeiler und des südlichen Widerlagers verbauten Flächen und die südliche Zuwegung bleiben im Gegensatz zum Bestand überschwemmungsfrei. Bei HQ₁₀₀ ist im Oberwasser der Baustelle teilweise eine geringfügig größere Ausdehnung der Überschwemmungsfläche als im Bestand zu erkennen.

Die Überschwemmungsflächen für den **Bau-Zustand (V2)** unterscheiden sich hauptsächlich durch die veränderte Formgebung der südlichen Andienungsfläche und die Überströmbarkeit der Pfeilerverbauten von denen des ursprünglich berechneten Bau-Zustands. Die Andienungsfläche ist bei MQ trocken und bildet sich bei HSQ in den Wassertiefen ab. Die Pfeilerverbauten schützen bei HSQ die Baugruben, sind jedoch bei den Hochwasserereignissen überströmt, sodass die Baugruben mit Ausnahme der zu errichtenden Pfeiler überschwemmt sind. Die Auswirkungen auf die Ausdehnung der Überschwemmungsflächen im Oberwasser bei HQ₁₀₀ sind geringer als bei den ursprünglichen Berechnungen zum Bau-Zustand.

4.3.2 Wasserspiegellagendifferenzen

Bei den Wasserspiegellagen ergeben sich für den **Bau-Zustand**, wie zu erwarten war, durchweg größere Differenzen zum Bestand als im Plan-Zustand (Anhang 6). Bei MQ beschränken sich die dargestellten Wasserspiegeldifferenzen von über 1 cm auf den Verbau des südlichen Pfeilers und dessen direktes Umfeld. Hier sind neben dem Pfeilerverbau und der Andienungsfläche, die bei MQ trocken gehalten werden, lediglich geringe Wasserspiegelabsenkungen von maximal rund 2 cm angezeigt.

Jedoch ergeben sich bereits bei HSQ Wasserspiegelanstiege im Oberwasser der Brückenbaustelle, die sich bis oberhalb von Kirschfurt/Freudenberg fortsetzen. In Höhe der Ortschaft treten Wasserspiegelanstiege von rund 4,7 cm auf Höhe der Kläranlage, knapp 4,5 cm an der bestehenden Mainbrücke und noch knapp 4 cm im Unterwasser der Staustufe auf. Hervorgerufen wird dieser Aufstau vor allem durch die zur Baustellenandienung aufgeschütteten Flächen. Auf den im Bestand bei HSQ teilweise überströmten Vorländern und im Bereich zwischen südlichem Pfeiler und Ufer bewirken sie eine Verringerung des Fließquerschnitts. Zusätzlich wird der Fließquerschnitt im Bau-Zustand durch die Pfeilerverbauten verringert. Im Unterwasser der geplanten Brücke ergeben sich Wasserspiegelabsenkungen von bis zu 15 cm (Strömungsschatten des südlichen Pfeilerverbau), die sich bis rund 300 m unterhalb der Brücke auf unter 1 cm verringern.

Bei HQ₁₀₀ beträgt der oberstromige Wasserspiegelanstieg auf Höhe der Kläranlage rund 7 cm, an der Bestandsbrücke gut 6 cm und im Unterwasser der Staustufe noch gut 5 cm. Die Absenkung des Wasserspiegels ist auch bei HQ₁₀₀ im Strömungsschatten des südlichen Pfeilers mit rund 15 cm am größten. Gut 700 m im Unterstrom der Baustelle fällt sie unter 1 cm.

Auch die Ergebnisse für den **Bau-Zustand (V2)** zeigen Wasserspiegelanstiege im Oberwasser der Baustelle, diese fallen jedoch geringer aus als bei den ursprünglichen Berechnungen für den Bau-Zustand. Die Ergebnisse für MQ zeigen auch hier ein Trockenfallen der in den Strom ragenden südlichen Baustellenandienung sowie geringfügige Wasserspiegelabsenkungen in deren unmittelbarer Umgebung.

Bei HSQ fallen die Wasserspiegelanstiege mit rd. 4 cm auf Höhe der Kläranlage, knapp 3,8 cm an der alten Mainbrücke und gut 3 cm im Unterwasser der Staustufe etwas geringer aus als in den

ursprünglichen Berechnungen zum Bau-Zustand. Ebenso sind die berechneten Wasserspiegelabsenkungen im Unterwasser der geplanten Brücke etwas geringer ausgeprägt.

Bei HQ₁₀₀ fallen die berechneten Wasserspiegelanstiege im Oberwasser mit rd. 3,3 cm an der Kläranlage, rd. 3 cm an der Bestandsbrücke und rd. 2,7 cm im Unterwasser der Staustufe deutlich geringer aus als zuvor berechnet. Dies ist vor allem damit zu begründen, dass bei der erneuten Betrachtung der Baugrubenverbau im Gegensatz zur ursprünglichen Berechnung mit seiner geplanten Höhe im Modell abgebildet ist und überströmt werden kann. Somit kann nach Erreichen des Wasserstands zur Überströmung des Verbaus ein größerer Querschnitt durchflossen werden als bei dem konservativen Ansatz der ursprünglichen Berechnungen für den Bau-Zustand, bei welchen die Baugruben als grundsätzlich hochwassersicher angenommen und somit dem Fließquerschnitt entzogen wurden.

4.3.3 Geschwindigkeitsdifferenzen

Die Differenzen der Fließgeschwindigkeiten zwischen **Bau-Zustand** und Bestand sind in Anhang 7 dargestellt.

Bei MQ treten aufgrund der in Kap. 4.3.1 erwähnten Blockierung des Fließwegs zwischen südlichem Ufer und Leitwerk verminderte Strömungsgeschwindigkeiten im Ober- und Unterwasser der aufgeschütteten Fläche sowie auf ihr selbst auf. Auf der im Bau-Zustand im Gegensatz zum Bestand nicht überströmten Fläche reduziert sich die Fließgeschwindigkeit naturgemäß um den im Bestand dort vorherrschenden Wert von rund 0,3 m/s zwischen Leitwerk und Ufer und maximal rund 0,9 m/s auf der der Fahrrinne zugewandten Seite des Leitwerks auf null. Im Ober- und besonders im Unterwasser der Aufschüttung sinkt die Strömungsgeschwindigkeit teilweise auf null. Kleine Bereiche mit einer geringen Geschwindigkeitszunahme von maximal rund 0,1 m/s treten an der nördlichen Böschung auf.

Die größten Verringerungen der Geschwindigkeit treten bei HSQ ebenfalls am südlichen Ufer auf. Da die Fläche zur Baustellenandienung überströmt wird, werden die größten Differenzen im Ober- und Unterstrom der Fläche und des Pfeilerverbaus angezeigt. Im Oberstrom verringert sich die Fließgeschwindigkeit um bis zu 0,6 m/s und im Unterstrom um bis zu 1,3 m/s. Auf dem südlichen Vorland ergibt sich über der Fläche zur Baustellenandienung ein Geschwindigkeitsanstieg von bis zu 0,3 m/s. In der Fahrrinne kommt es auf einer Strecke von knapp 300 m zu im Vergleich zum Bestand um mehr als 0,1 m/s größeren Geschwindigkeiten. Das Maximum der Geschwindigkeitssteigerung liegt bei rund 0,6 m/s.

Bei HQ₁₀₀ sind mit rund 2 m/s die größten Verringerungen der Fließgeschwindigkeit im Strömungsschatten des südlichen Pfeilers zu beobachten. Bei den übrigen Pfeilern und dem südlichen Widerlager bleiben die Abnahmen deutlich unter 1 m/s. Geschwindigkeitsanstiege sind in den Feldern zwischen den geplanten Pfeilern und zwischen südlichem Widerlager und südlichem Pfeiler zu verzeichnen. Diese betragen bis zu 0,7 m/s nördlich des 2. Vorlandpfeilers, bis zu 0,8 m/s zwischen den beiden Pfeilern auf dem nördlichen Vorland und bis zu rund 0,7 m/s in der Fahrrinne. Das Maximum der Geschwindigkeitssteigerung tritt mit rund 1,2 m/s am südlichen Widerlager auf. Der Bereich in welchem die Geschwindigkeiten um mehr als 0,1 m/s ansteigen, reicht von etwa 150 m oberstrom (am Nordufer) bis rund 550 m unterstrom (in der Fahrrinne) und ist somit ca. 700 m lang.

Betrachtet man die Ergebnisse für den **Bau-Zustand (V2)** bei MQ, erscheint der Einflussbereich der neu geplanten Aufschüttung zur Baustellenandienung am Südufer (Baden-Württemberg) etwas größer als in

der ursprünglichen Konfiguration, wobei sich die Differenzen grundsätzlich in der gleichen Größenordnung bewegen. Die Fließgeschwindigkeiten verringern sich auf der am Südufer gelegenen Aufschüttung zur Baustellenandienung und in deren Strömungsschatten, während sie am Nordufer geringfügige Steigerungen von knapp über 0,1 m/s erfahren.

Auch bei HSQ findet sich grundsätzlich das gleiche Muster wie bei der ersten berechneten Variante des Bau-Zustands wieder. Die größten Unterschiede bestehen darin, dass im Bau-Zustand (V2) auf der südlichen Andienungsfläche stärkere und großflächigere Geschwindigkeitszunahmen angezeigt werden als im ursprünglichen Bau-Zustand. Hier steigen die Geschwindigkeiten von rd. 0,2 m/s im Bestand um bis zu rd. 0,7 m/s auf rd. 0,9 m/s. Zudem sind die auf dem nördlichen Vorland in beiden Varianten vorhandenen Flächen mit Abnahme der Geschwindigkeiten in den Ergebnissen für den Bau-Zustand (V2) größer ausgedehnt. Auch die Flächen der Geschwindigkeitszunahme innerhalb des Mains unterscheiden sich etwas, wobei die maximalen Steigerungen in beiden Varianten rd. 0,6 m/s betragen und zu maximal auftretenden Geschwindigkeiten von rd. 2,3 m/s führen.

Bei HQ₁₀₀ sind sowohl die Flächen, die von Veränderungen der Fließgeschwindigkeit betroffen sind, als auch die dort auftretenden Werte deutlich kleiner als bei den Ergebnissen für die erste Bau-Zustands Variante. Auch dies ist auf die bereits in Kap. 4.3.1 und Kap. 4.3.2 beschriebenen Unterschiede in der modelltechnischen Abbildung des Baugrubenverbaus zurückzuführen. So ergeben sich hier im Strömungsschatten der geplanten Pfeiler (und der bei HQ₁₀₀ überströmten Baugruben) geringere Abnahmen und zwischen den geplanten Pfeilern ebenfalls geringere Zunahmen der Fließgeschwindigkeit. Die größten Verringerungen sind wiederum im Strömungsschatten des südlichen Pfeilers mit rd. 1,7 m/s und die größten Steigerungen zwischen südlichem Widerlager und südlichem Pfeiler mit etwa 1 m/s zu verzeichnen. Großflächige Geschwindigkeitssteigerungen innerhalb der Fahrrinne betragen unter 0,4 m/s.

4.4 Retentionsraumbetrachtung

Für den Plan-Zustand wurde gegenüber dem Bestand eine Retentionsraumbilanz, gegliedert nach den Lamellen -HQ₅, HQ₅-HQ₂₀, HQ₂₀-HQ₅₀ und HQ₅₀-HQ₁₀₀, erstellt und mit den vom Staatlichen Bauamt Aschaffenburg zur Verfügung gestellten Daten aus /U8/ hinsichtlich des Retentionsraumverlusts und dessen Ausgleichsmöglichkeit verglichen und bewertet.

Ermittlung des Retentionsraumverlusts, Methode 1

Zunächst wurden die Wassertiefendifferenzen zwischen Plan-Zustand und Bestand für die betrachteten Abflussszenarien ermittelt und für den Bereich, in dem die jeweiligen Wassertiefendifferenzen größer ± 1 cm sind, das Volumen bilanziert. Dadurch werden nicht nur die durch die im Überschwemmungsgebiet stehenden Bauwerksteile verursachten Volumenverluste berücksichtigt, sondern auch die infolge der Veränderung der Wasserspiegellage auftretende Volumendifferenz. Die sich daraus ergebende Retentionsraumbilanz ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Retentionsraumbilanz nach Lamellen, Bereiche mit Wasserspiegellagendifferenz $\geq \pm 1$ cm.

Retentionsraumbilanz in m ³				
bis HQ ₅	HQ ₅ bis HQ ₂₀	HQ ₂₀ bis HQ ₅₀	HQ ₅₀ bis HQ ₁₀₀	Summe
-285	-5.095	-2.890	330	-7.940

Bei dieser Auswertung fällt sofort auf, dass für die Lamelle „HQ₅₀ bis HQ₁₀₀“ ein Retentionsraumgewinn von 330 m³ zu verzeichnen ist. Dies ist vornehmlich auf die bei HQ₁₀₀ vergleichsweise große Fläche im Oberwasser der geplanten Brücke zurückzuführen, die einen Aufstau von knapp über 1 cm erfährt. Durch die Berücksichtigung dieses Aufstaus werden die in dieser Lamelle an anderer Stelle entstehenden Verluste ausgeglichen.

Ermittlung des Retentionsraumverlusts, Methode 2

Beschränkt man die Betrachtung auf einen Streifen von rund 300 m Länge um das geplante Brückenbauwerk (jeweils 150m oberstrom und unterstrom) und bilanziert in diesem Streifen auch die Bereiche mit Differenzen von unter ± 1 cm, ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Volumendifferenzen.

Tabelle 4: Retentionsraumbilanz nach Lamellen, 300 m Streifen um die geplante Brücke

Retentionsraumbilanz in m ³				
bis HQ ₅	HQ ₅ bis HQ ₂₀	HQ ₂₀ bis HQ ₅₀	HQ ₅₀ bis HQ ₁₀₀	Summe
-230	-4.970	-3.500	-2.300	-11.000

Auffällig ist hier, dass die Retentionsraumverluste in den unteren Lamellen etwas geringer ausfallen wohingegen für die beiden oberen Lamellen größere Verluste bilanziert werden als bei der Ermittlung der Retentionsraumbilanzen mit der Methode 1 (Tabelle 3). Die geringeren Retentionsraumverluste für die Lamellen „bis HQ₅“ und „HQ₅ bis HQ₂₀“ sind darauf zurückzuführen, dass auch die Flächen, die einen Aufstau von weniger als 1cm aufweisen, in die Bilanzierung miteinbezogen werden. Umgekehrt werden bei den Lamellen „HQ₂₀ bis HQ₅₀“ und „HQ₅₀ bis HQ₁₀₀“ die Retentionsraumgewinne infolge des Aufstaus, die weiter als 150 m im Oberwasser des geplanten Brückenneubaus liegen, vernachlässigt, wodurch für diese Lamellen ein größerer Retentionsraumverlust als bei Methode 1 bilanziert wird.

Retentionsraumberechnung des Staatlichen Bauamts Aschaffenburg

Im Vorfeld wurde vom Staatlichen Bauamt Aschaffenburg anhand der von anderer Stelle verfügbaren Wasserspiegellagen für den Bestand und der geplanten Bauwerksabmessungen eine Retentionsraumbilanz erstellt sowie ein Retentionsraumausgleich auf den dafür vorgesehenen Ausgleichsflächen erarbeitet /U8/. Da die Differenzen der Wasserspiegellagen zwischen Bestand und Plan-Zustand insgesamt gering sind, stimmt die Bilanzierung anhand der Bestands-Wasserspiegellagen gut mit den über die Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse von Bestand und Plan-Zustand ermittelten Werten überein, wenn man die - insbesondere bei HQ₁₀₀-Abfluss großflächig auftretende - (geringe) Wasserspiegelanhebung im Oberwasser der geplanten Brücke und die damit verbundene Volumenerhöhung weitgehend vernachlässigt (Methode 2, Tabelle 4). Die im Zuge der Retentionsraumbilanzierung in /U8/ ermittelten Werte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Retentionsraumverluste nach Lamellen, Staatliches Bauamt Aschaffenburg, 13.11.2020

Retentionsraumbilanz in m ³				
bis HQ ₅	HQ ₅ bis HQ ₂₀	HQ ₂₀ bis HQ ₅₀	HQ ₅₀ bis HQ ₁₀₀	Summe
-380	-5.160	-3.280	-2.450	-11.270

Retentionsraumausgleich

Aus /U8/ geht hervor, dass der Retentionsraumverlust der Lamellen bis HQ₂₀ über ein rechtsmainisches Retentionsbecken westlich von Kirschfurt (Main-km 130,2 bis 130,8) ausgeglichen werden kann und die Retentionsraumverluste in den höhergelegenen Lamellen über einen zweiten Standort nördlich von Freudenberg (Main-km 136,6) ausgeglichen werden sollen.

Die für den Plan-Zustand berechneten 100-jährlichen Wasserspiegellagen unterscheiden sich am oberen Modellrand (Main-km 136) und zwischen Main-km 130,2 bis 130,8 nur deutlich weniger als ± 1 cm von denen des Bestands, sodass ein eventueller Einfluss des Brückenneubaus auf die Wirksamkeit des Ausgleichs an den vorgesehenen Standorten Freudenberg (Main-km 136,6) und westlich Kirschfurt vernachlässigbar ist.

Die zum Retentionsraumausgleich in /U8/ favorisierte Ausgleichsvariante „Variante 3 optimal“ deckt auch den mit „Methode 2“ zu 3.500 m³ ermittelten Retentionsraumverlust in der Lamelle „HQ₂₀ bis HQ₅₀“ ab, obwohl er den in /U8/ berechneten Wert um 220 m³ übersteigt. Die Variante hält für diese Lamelle ein Ausgleichsvolumen von 3.967 m³ vor. Da die übrigen mittels hydraulischer Berechnung ermittelten auszugleichenden Retentionsraumverluste geringer sind als die in /U8/ ermittelten Werte, ist davon auszugehen, dass sie mit den geplanten Ausgleichsmaßnahmen kompensiert werden können.

5 FAZIT

Das Staatliche Bauamt Aschaffenburg plant im Rahmen einer Ortsumgehung den Neubau einer Mainbrücke bei Main-km 131,650, westlich von Freudenberg/Kirschfurt. Zum Nachweis der Auswirkungen dieser geplanten Brücke auf die Abflussverhältnisse des Mains wurde ein 2D-Wasserspiegellagenmodell des Mains für den Bestand, den kritischen Bauzustand und den Plan-Zustand erstellt und angewendet. Die Untersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Auswirkungen der geplanten Brücke auf die Überflutungsflächen sind sehr gering.
- Der Einfluss der geplanten Brücke auf die Wasserspiegellagen ist lokal begrenzt oder gering. Beim 100-jährlichen Hochwasserabfluss entsteht im Oberwasser des geplanten Bauwerks ein rechnerischer Aufstau von etwas mehr als 1 cm, der sich rund 1,5 km oberstrom auf unter 1 cm verringert.
- Durch die geplante Brücke verringern sich die Fließgeschwindigkeiten in den Anströmbereichen und Strömungsschatten der Pfeiler und des südlichen Widerlagers, während sie in den Brückenefeldern ansteigen. Die Änderungen sind lokal auf den Bereich um den geplanten Brückenquerschnitt begrenzt. Bei HQ₁₀₀ treten mit knapp 0,3 m/s die größten Geschwindigkeitssteigerungen gegenüber dem Bestand zwischen südlichem Pfeiler und Ufer sowie auf dem südlichen Vorland am Widerlager auf. In der Fahrrinne betragen die berechneten Geschwindigkeitszunahmen bei HQ₁₀₀ unter 0,1 m/s.
- Während der kritischen Bauphase (Bau-Zustand) führt das Eintreten eines HSQ zu im Vergleich zum Bestand höheren Wasserständen im Oberwasser der Baustelle und zu gesteigerten Geschwindigkeiten im Baustellenbereich. Bei einem HQ₁₀₀ während der kritischen Bauphase ist mit einem sich im Oberwasser einstellenden Aufstau von rund 10 cm direkt am Bauwerk zu rechnen, der an der etwa 2,3 km oberstrom gelegenen Staustufe noch knapp 3 cm beträgt. Die Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne sind dabei um bis zu 0,4 m/s gesteigert. Die maximale Geschwindigkeitszunahme

gegenüber dem Bestand wird mit knapp 1 m/s zwischen südlichem Widerlager und geplantem Pfeiler am südlichen Ufer erreicht.

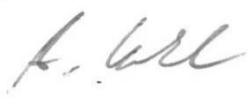
- Die durch den Brückenneubau zu erwartenden Retentionsraumverluste können mit den vorab vom Staatlichen Bauamt Aschaffenburg geplanten Ausgleichsmaßnahmen /U8/ kompensiert werden.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Auswirkungen der geplanten Brücke auf das Abflussgeschehen im Main gering sind.

Bei HQ₁₀₀ ist sowohl im Plan-Zustand als auch in der kritischen Bauphase keine deutliche Vergrößerung der Überflutungsflächen und kein Überströmen der HWS-Einrichtungen angezeigt. Somit ist nicht mit zusätzlichen Betroffenheiten Dritter zu rechnen.

Projektnummer 5238

Darmstadt, im September 2022



(Dipl.-Ing. A. Kahl)



(Dr.-Ing. S. Wallisch)

Anhang 1

Maximale Überflutungsflächen/Wassertiefen

(Darstellung ab 0,01 m)

Bestand MQ



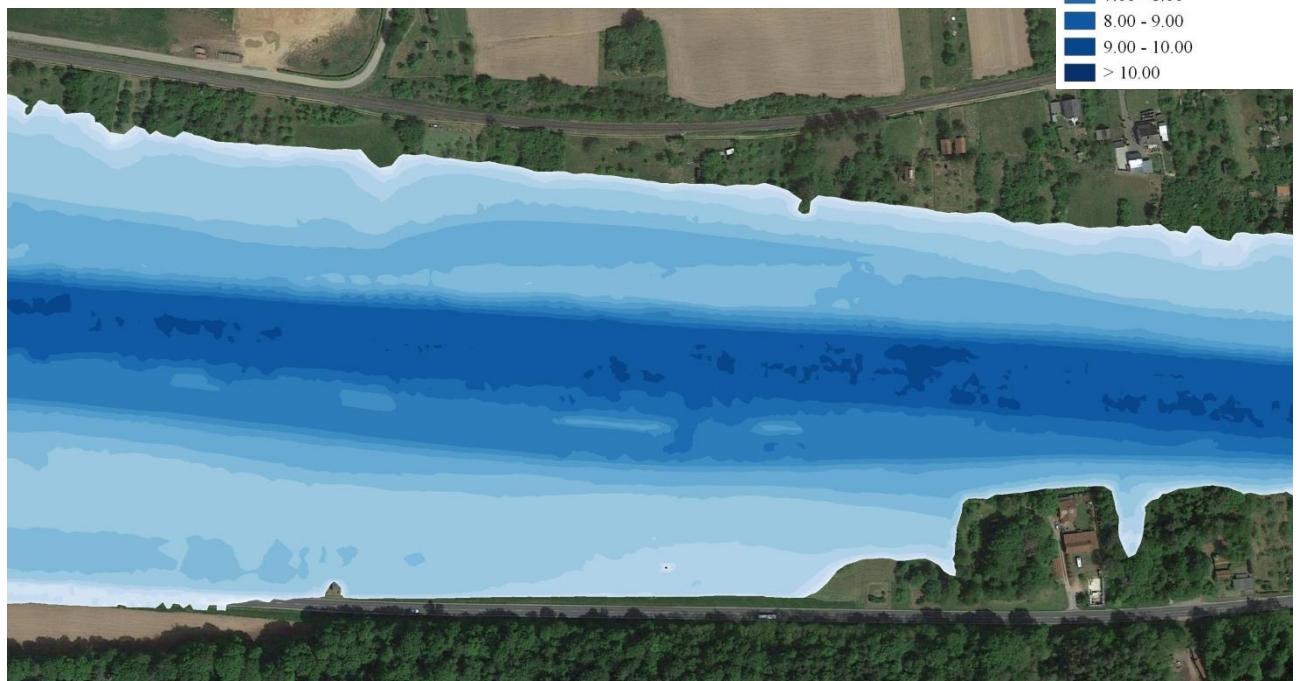
Bestand HSQ



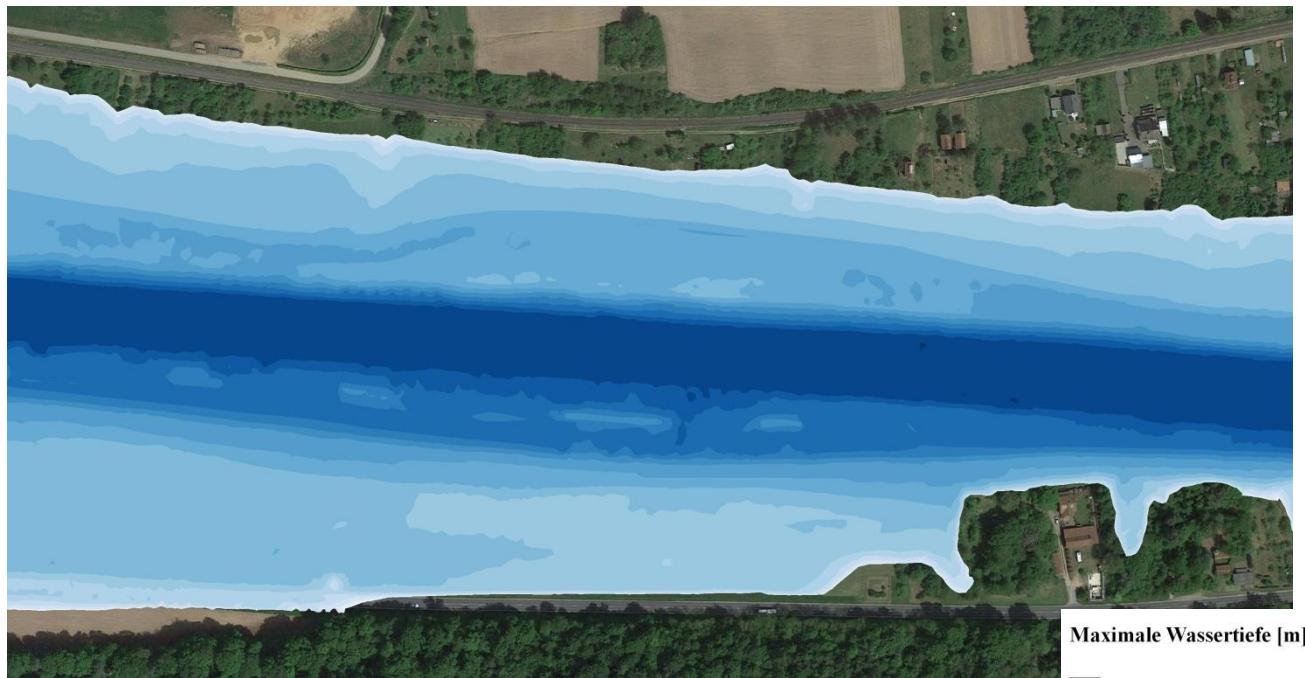
Bestand HQ₅



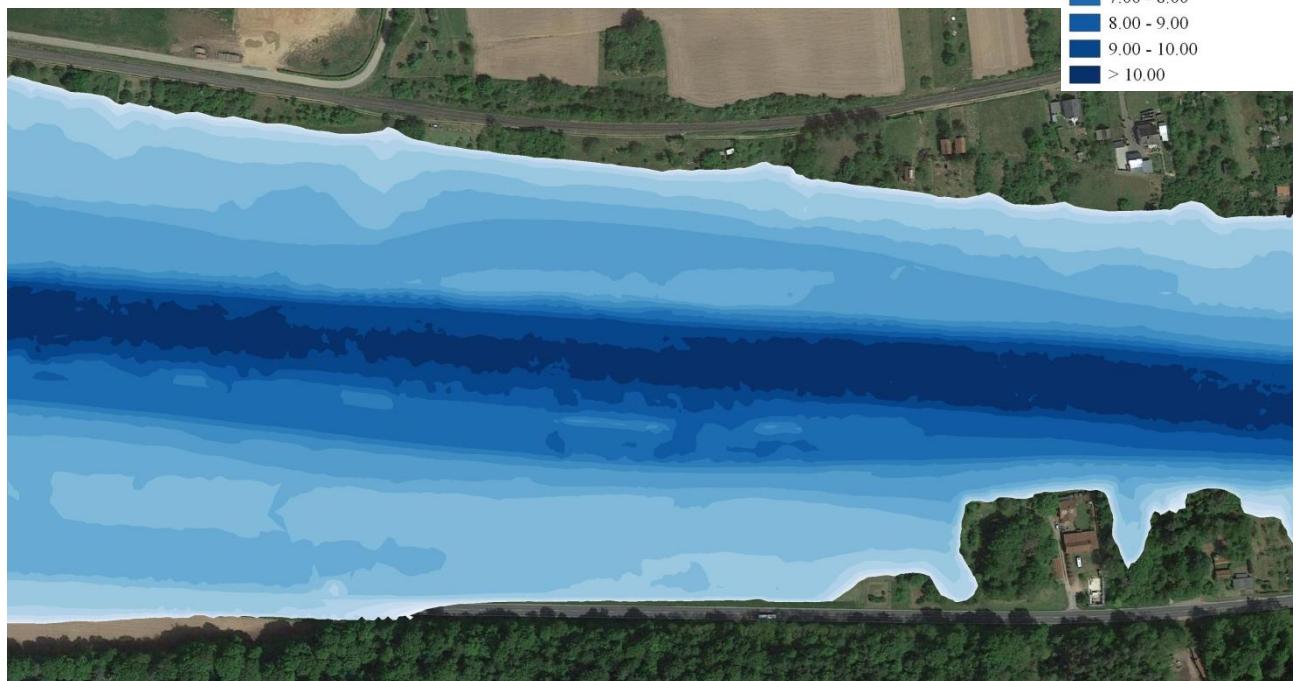
Bestand HQ₂₀



Bestand HQ₅₀



Bestand HQ₁₀₀



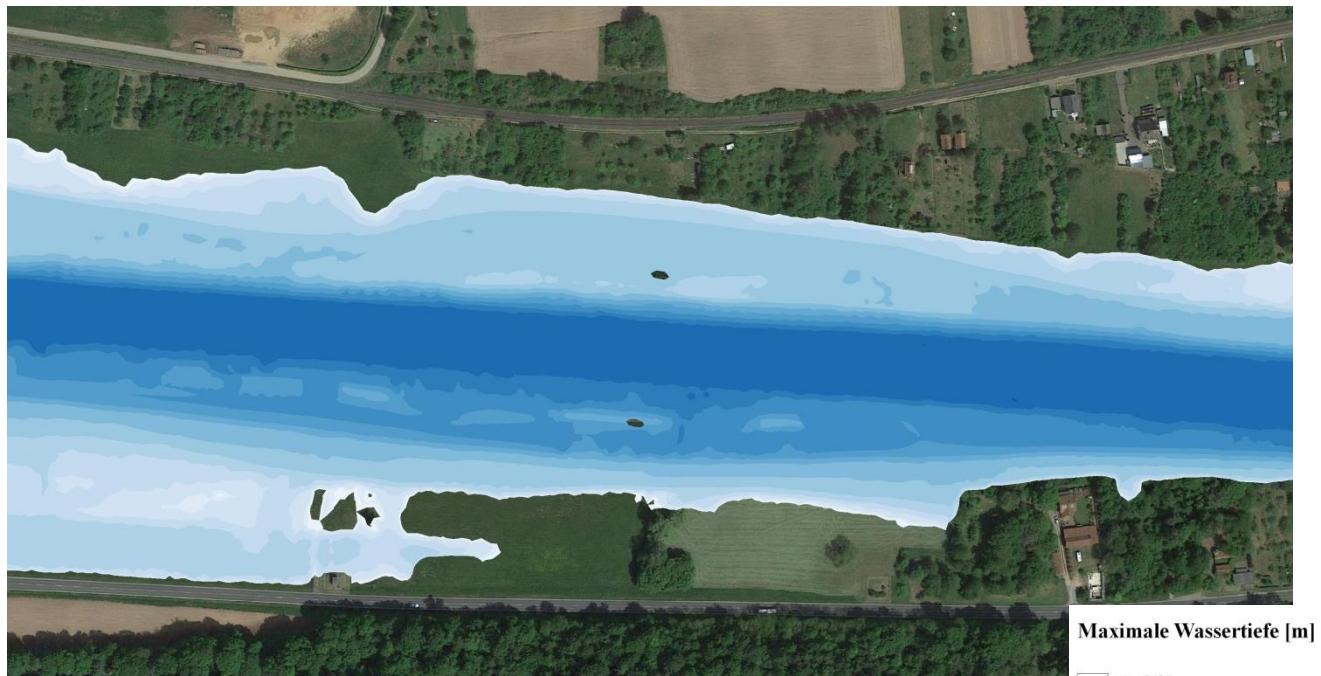
Plan-Zustand MQ



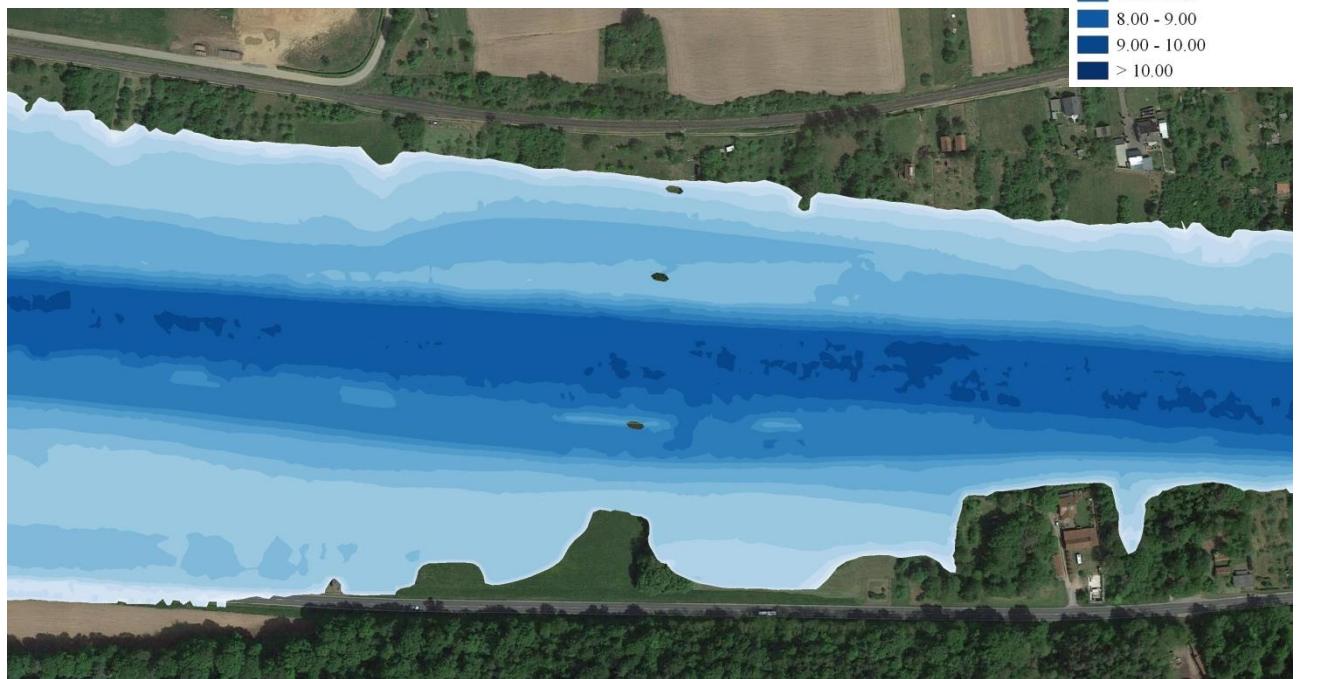
Plan-Zustand HSQ



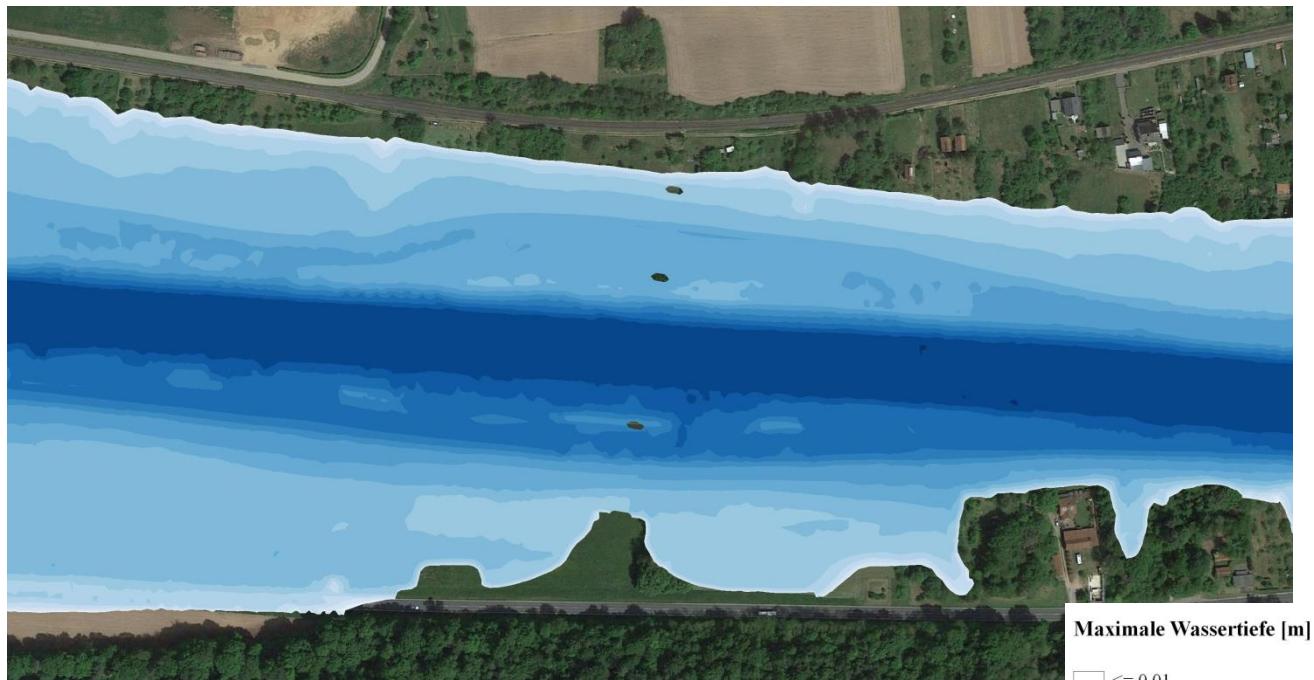
Plan-Zustand HQ₅



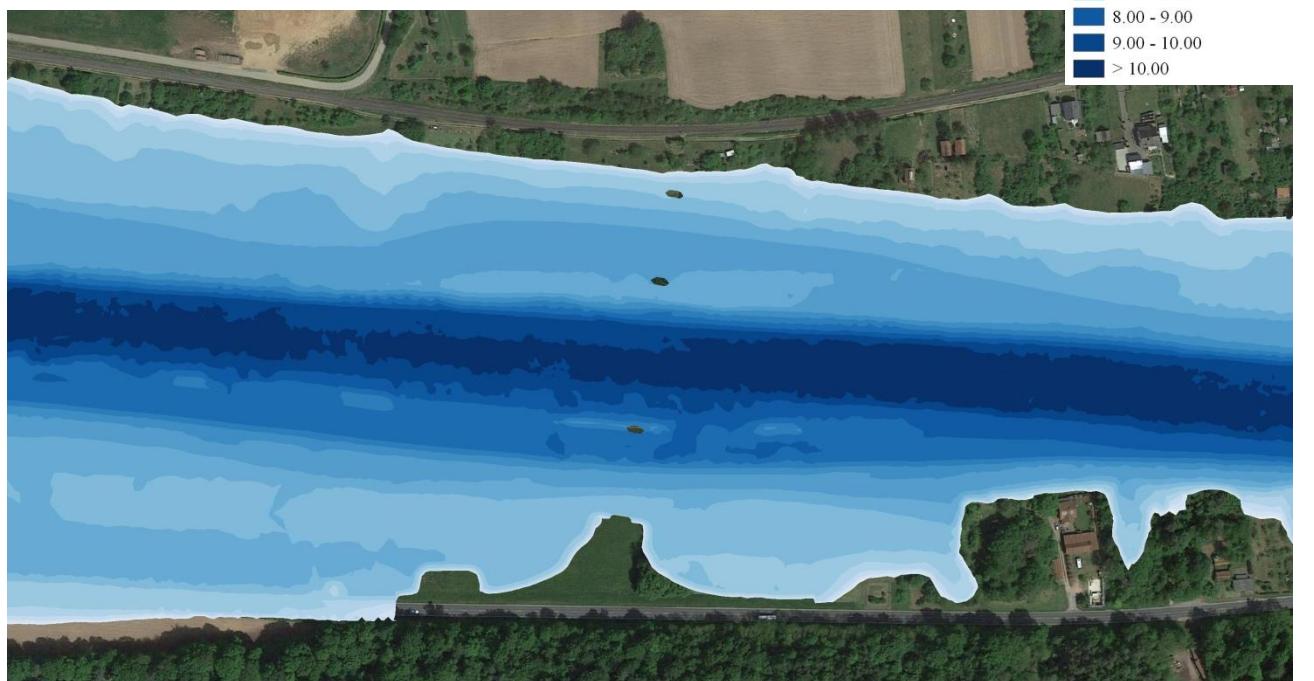
Plan-Zustand HQ₂₀



Plan-Zustand HQ₅₀



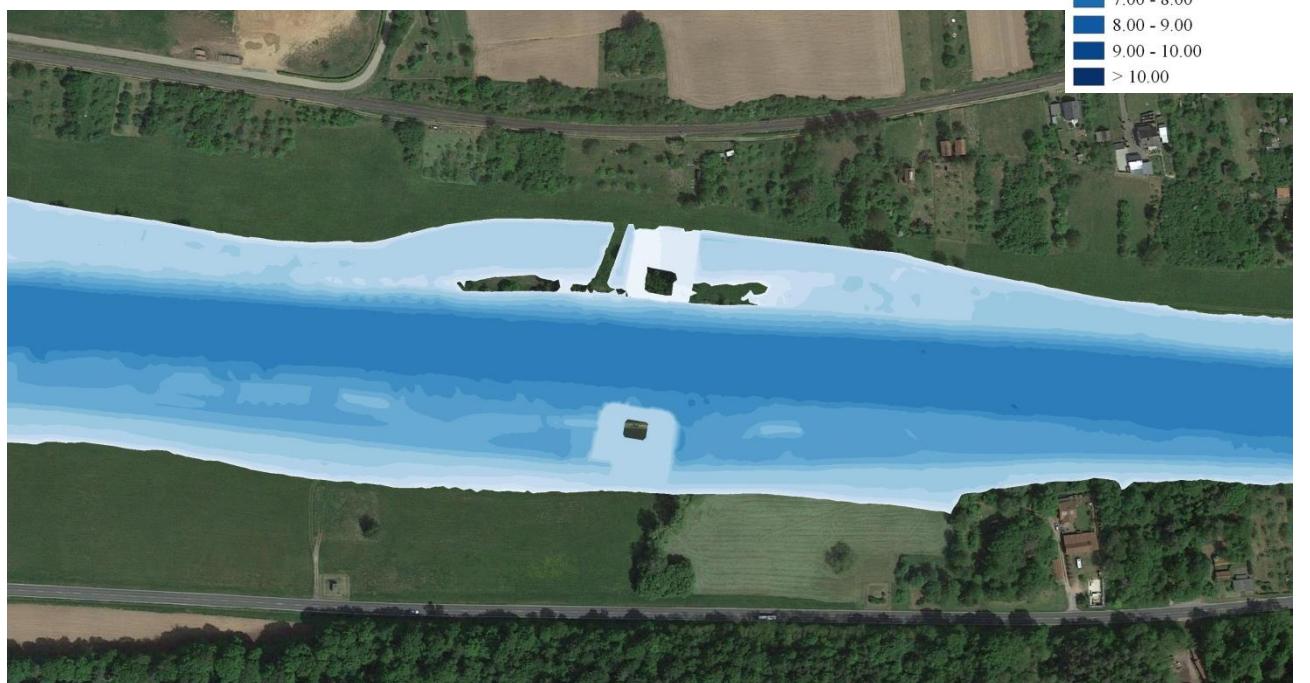
Plan-Zustand HQ₁₀₀



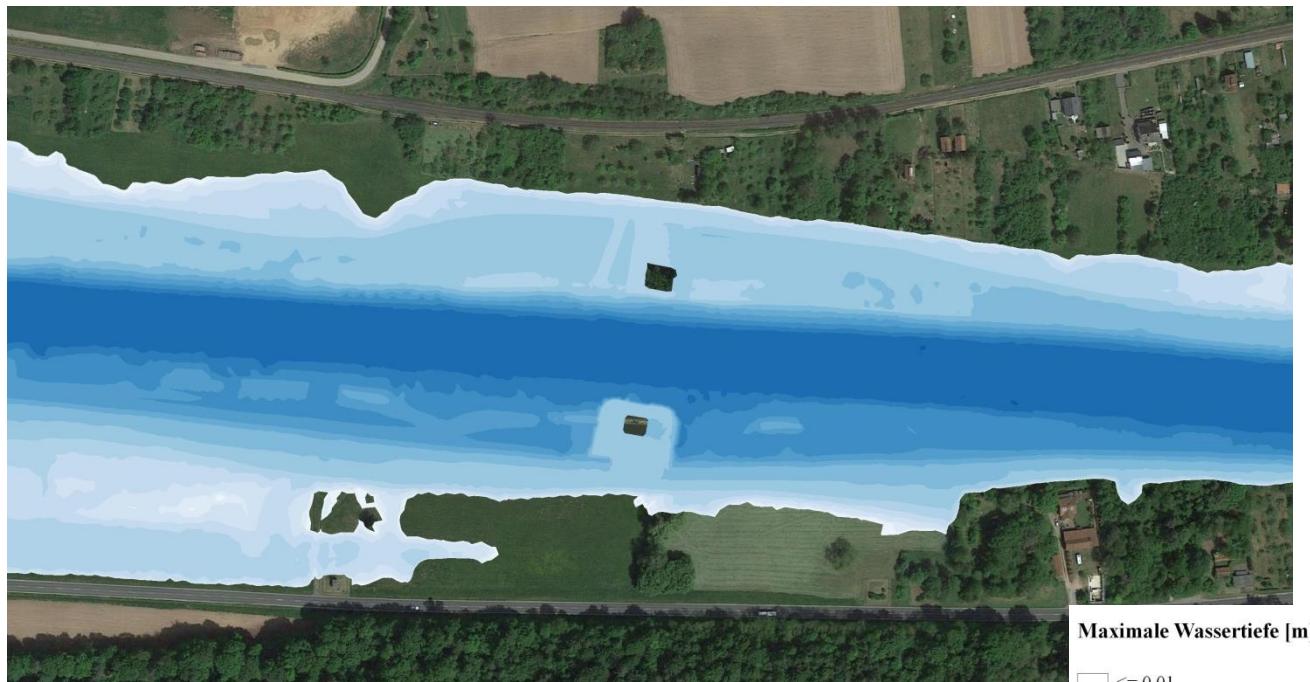
Bau-Zustand MQ



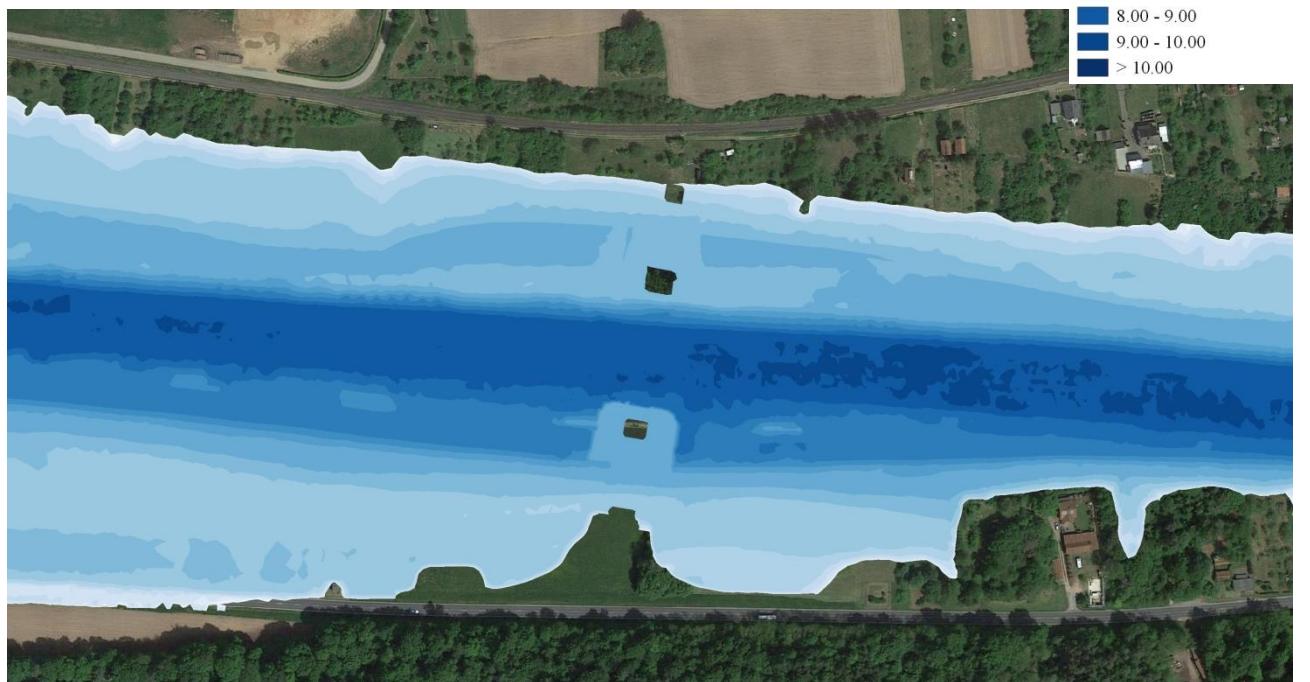
Bau-Zustand HSQ



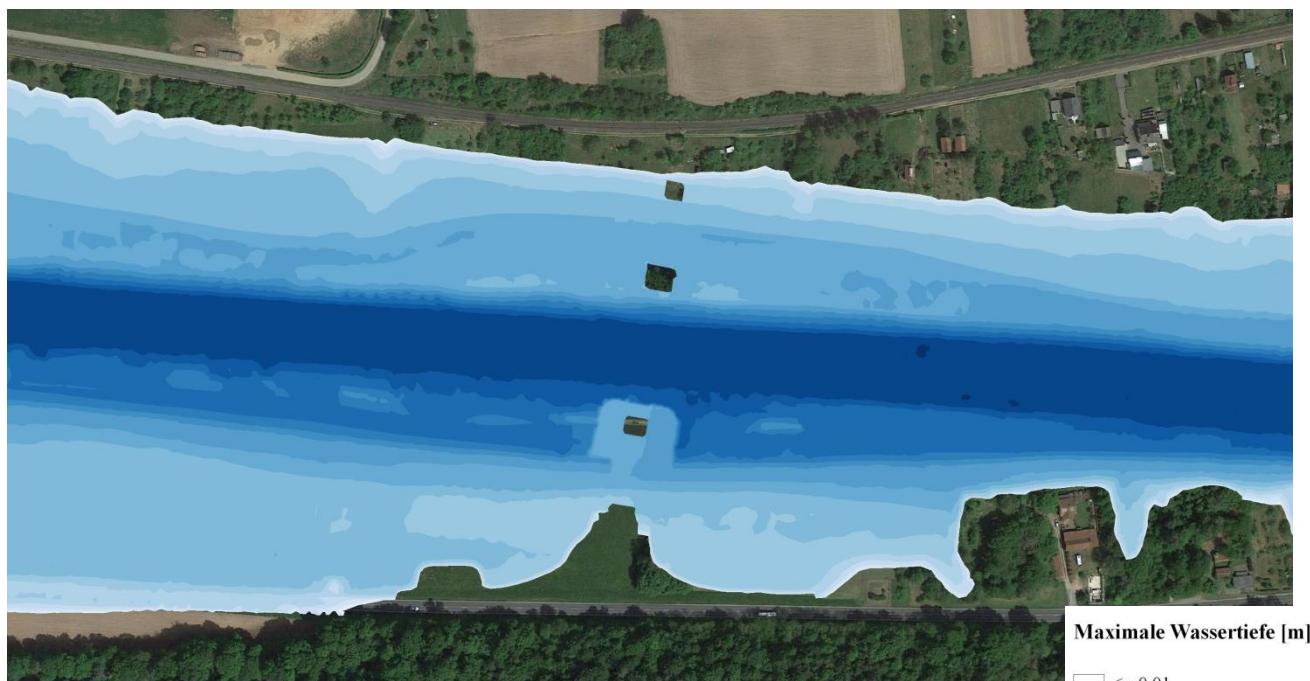
Bau-Zustand HQ₅



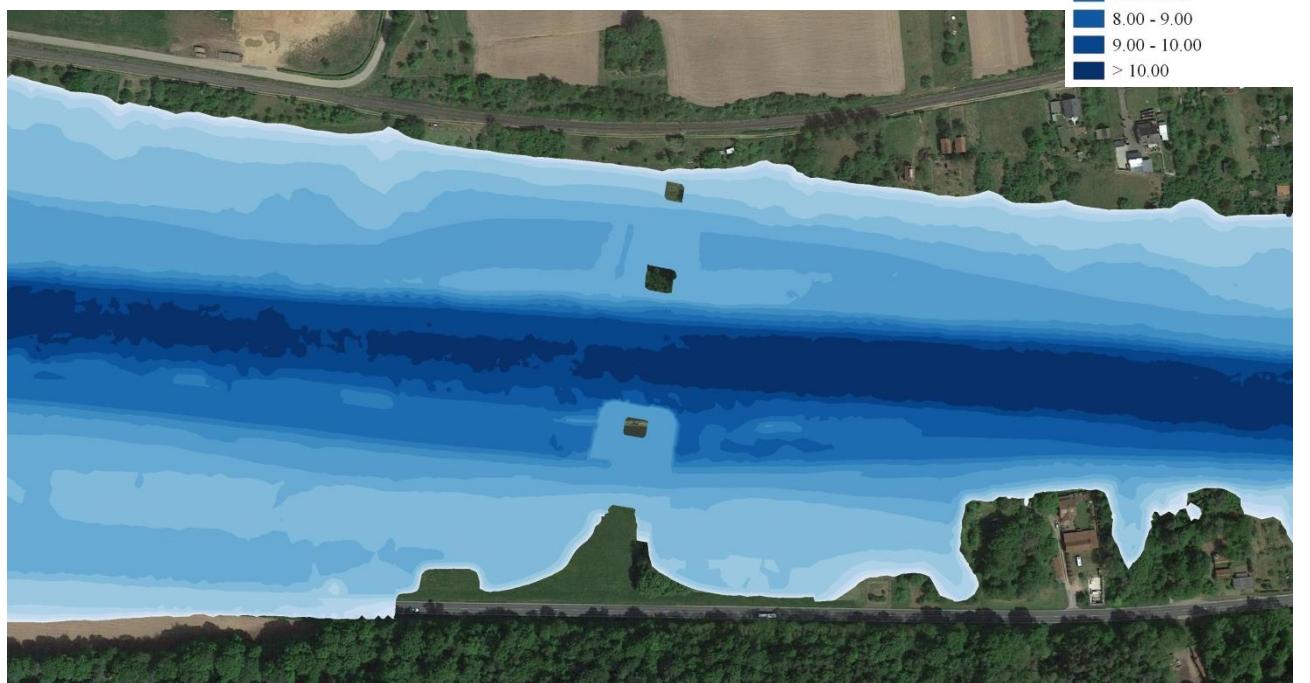
Bau-Zustand HQ₂₀



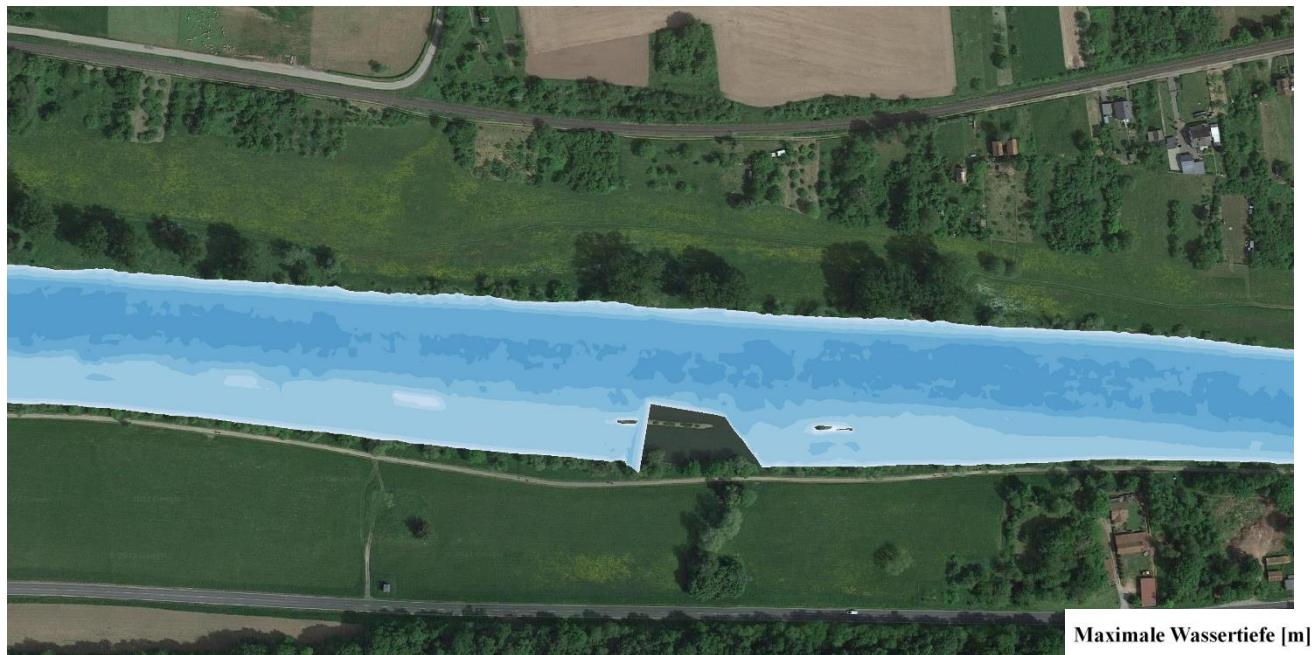
Bau-Zustand HQ₅₀



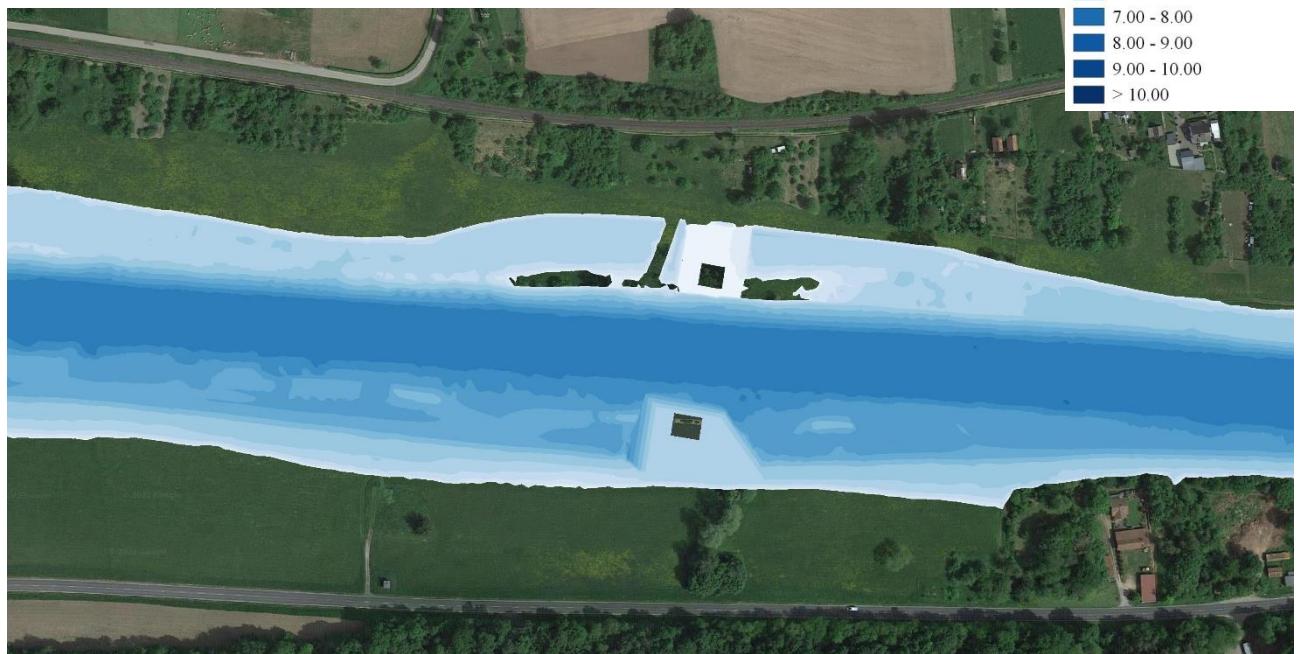
Bau-Zustand HQ₁₀₀



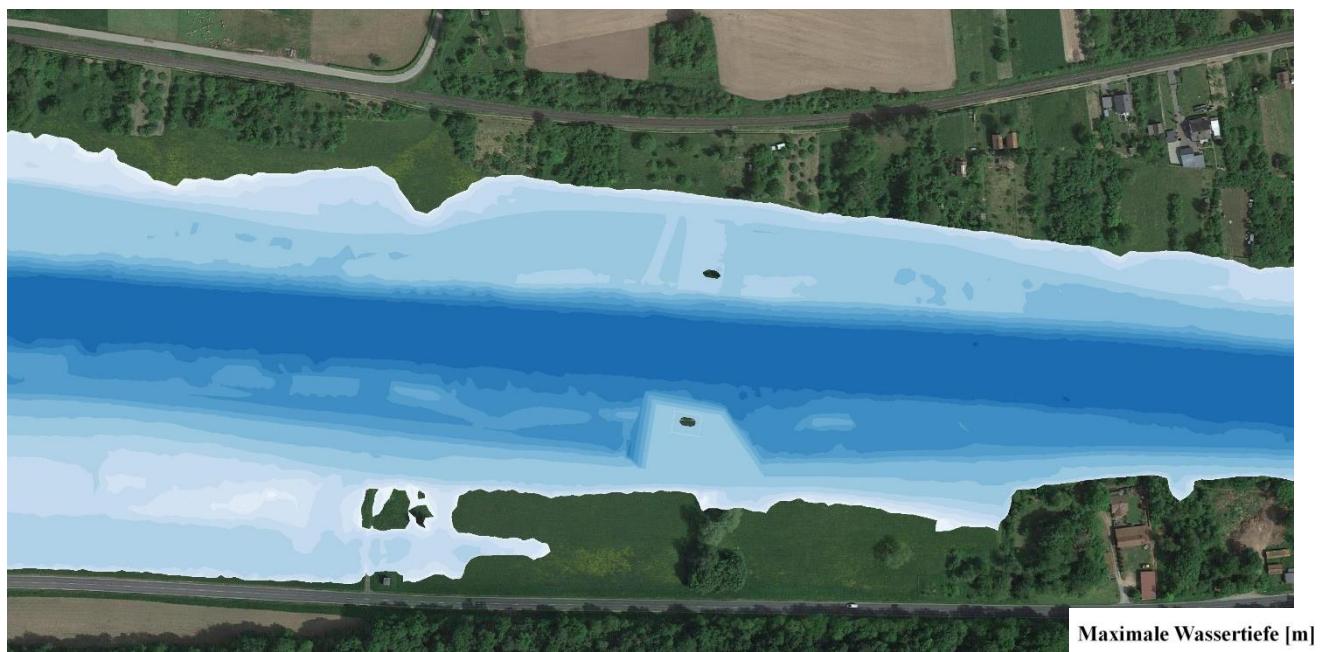
Bau-Zustand (V2) MQ



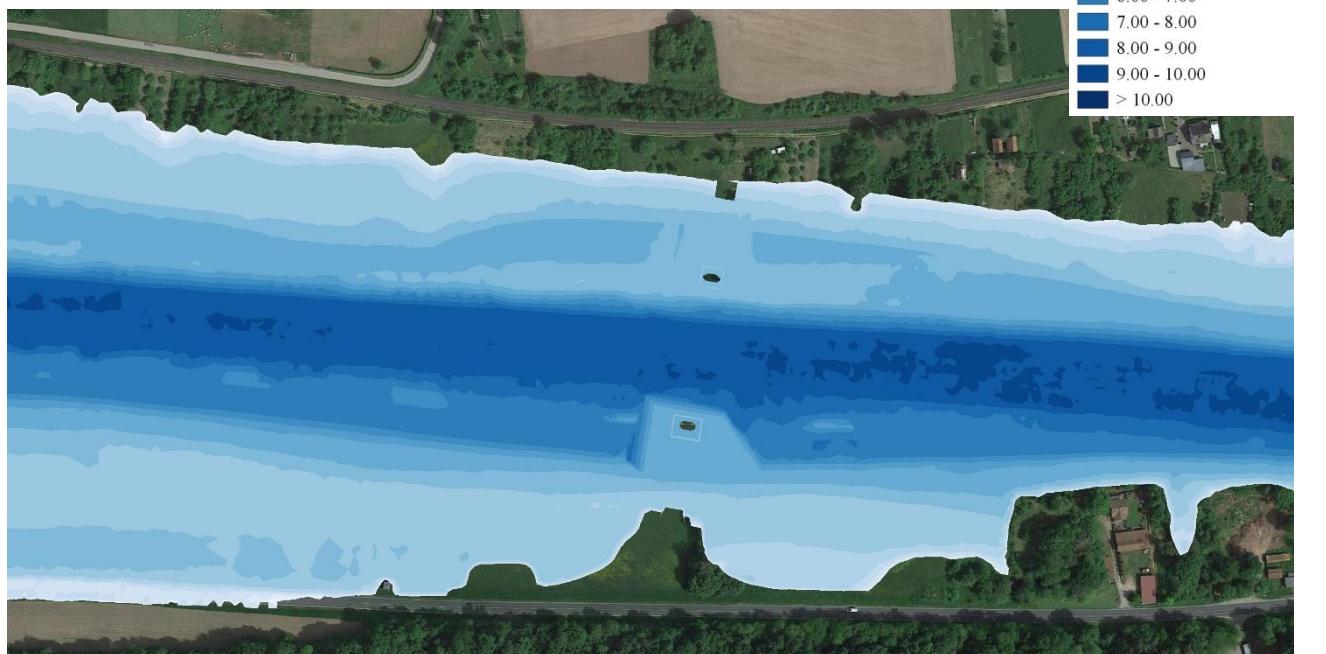
Bau-Zustand (V2) HSQ



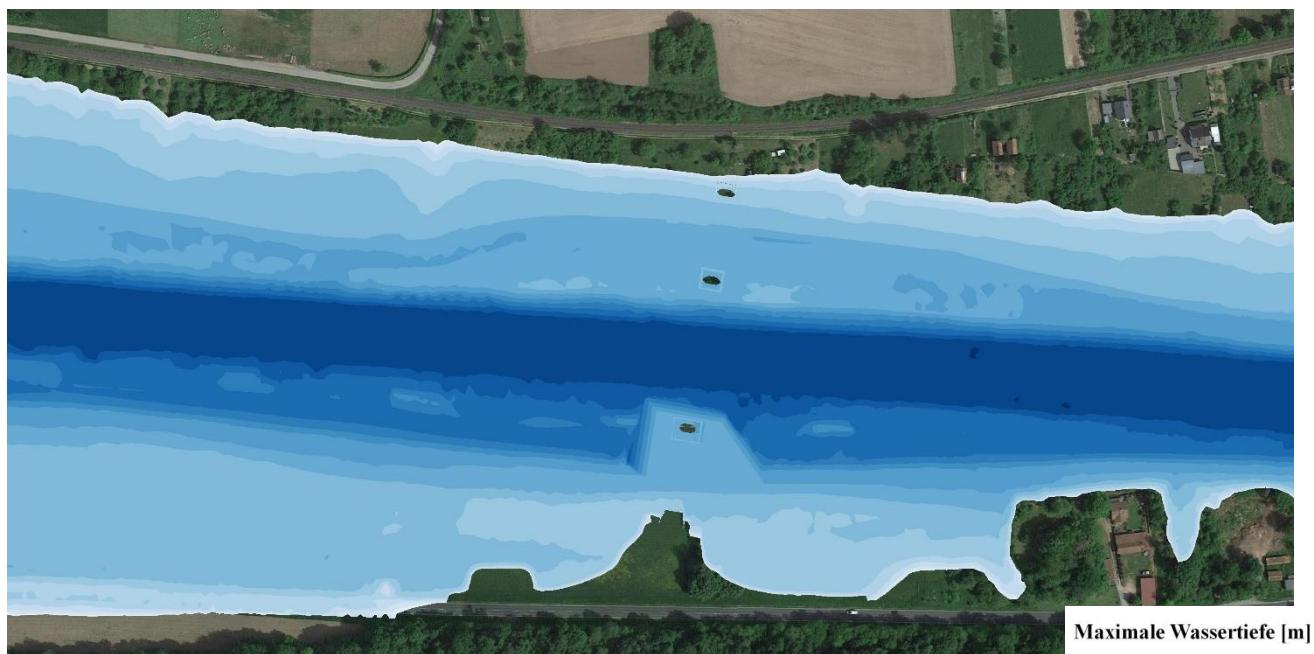
Bau-Zustand (V2) HQ₅



Bau-Zustand (V2) HQ₂₀



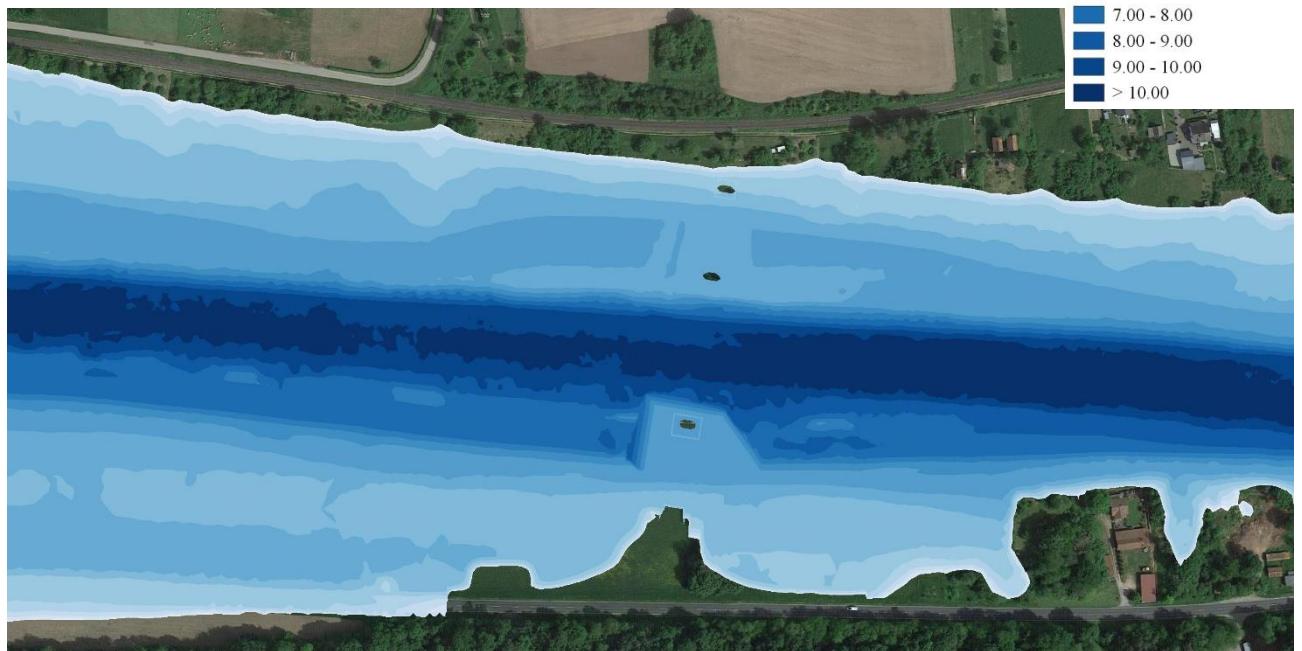
Bau-Zustand (V2) HQ₅₀



Maximale Wassertiefe [m]

<= 0.01
0.01 - 0.05
0.05 - 0.10
0.10 - 0.25
0.25 - 0.50
0.50 - 1.00
1.00 - 2.00
2.00 - 3.00
3.00 - 4.00
4.00 - 5.00
5.00 - 6.00
6.00 - 7.00
7.00 - 8.00
8.00 - 9.00
9.00 - 10.00
> 10.00

Bau-Zustand (V2) HQ₁₀₀



Anhang 2

Maximale Fließgeschwindigkeiten

(Darstellung ab 0,05 m/s)

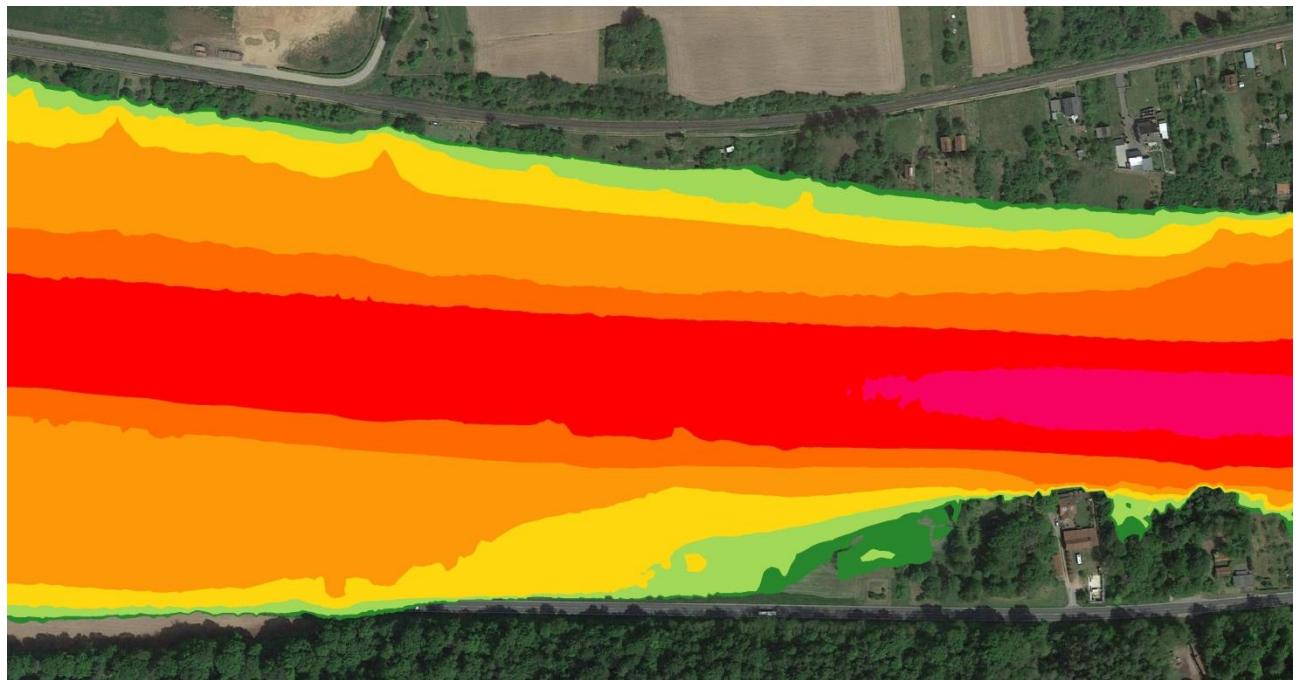
Bestand MQ



Bestand HSQ



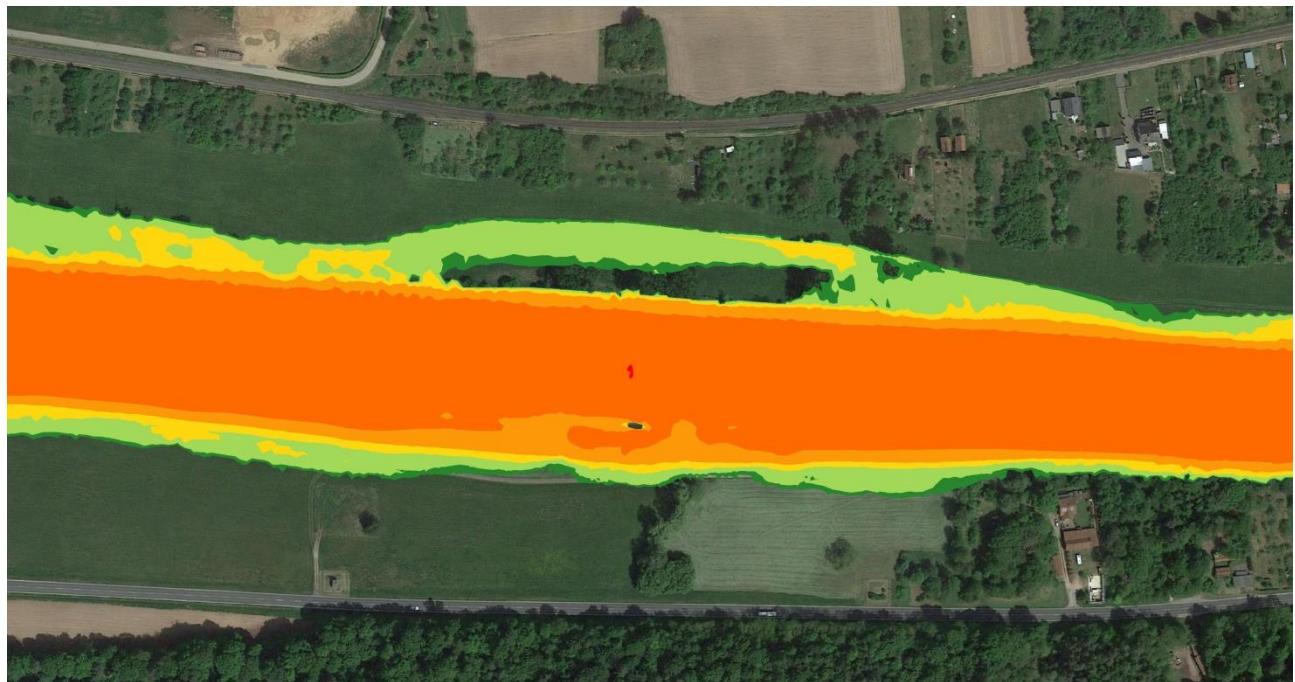
Bestand HQ₁₀₀



Plan-Zustand MQ



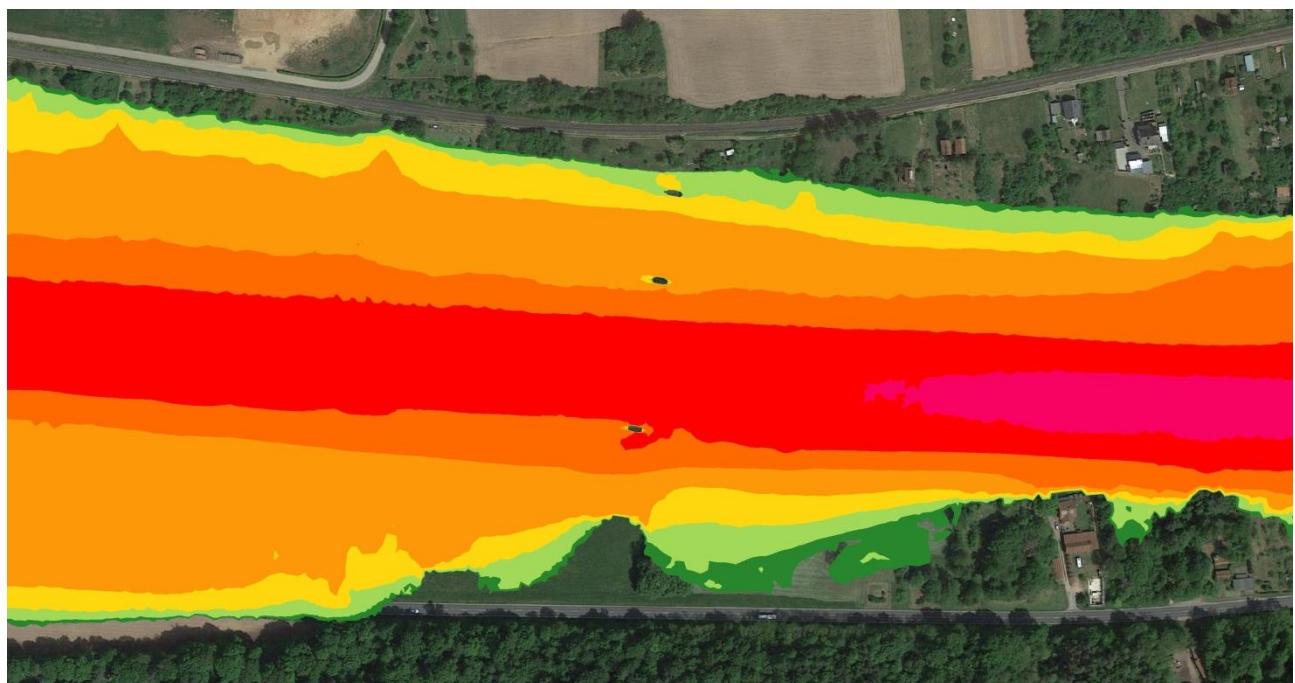
Plan-Zustand HSQ



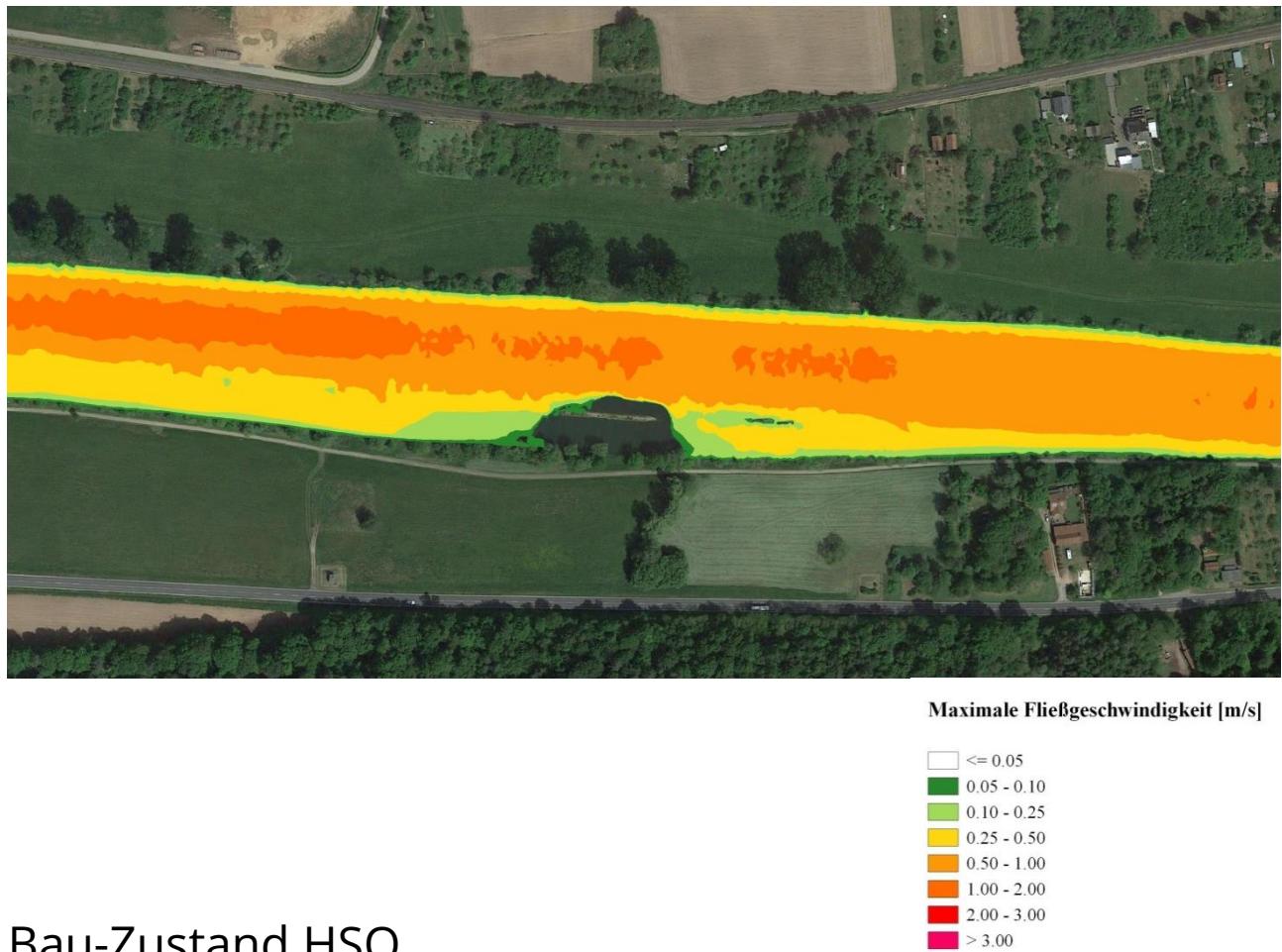
Maximale Fließgeschwindigkeit [m/s]

white	≤ 0.05
dark green	0.05 - 0.10
light green	0.10 - 0.25
yellow	0.25 - 0.50
orange	0.50 - 1.00
dark orange	1.00 - 2.00
red	2.00 - 3.00
dark red	> 3.00

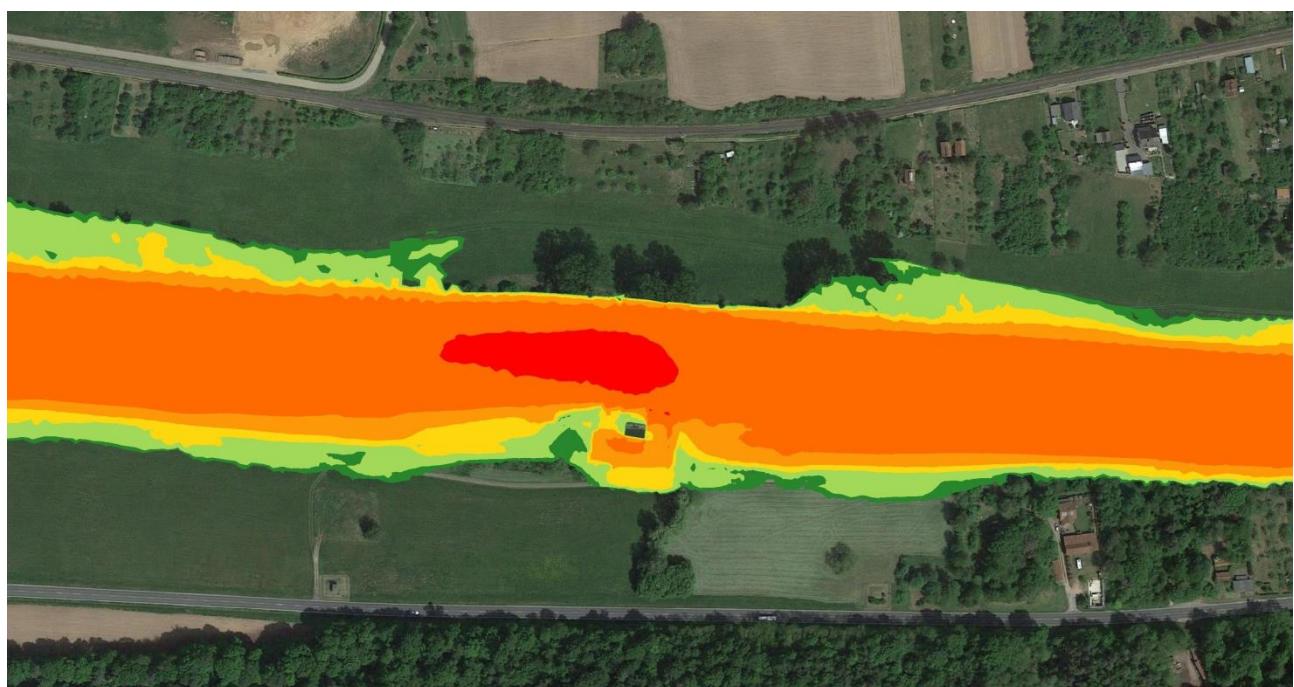
Plan-Zustand HQ₁₀₀



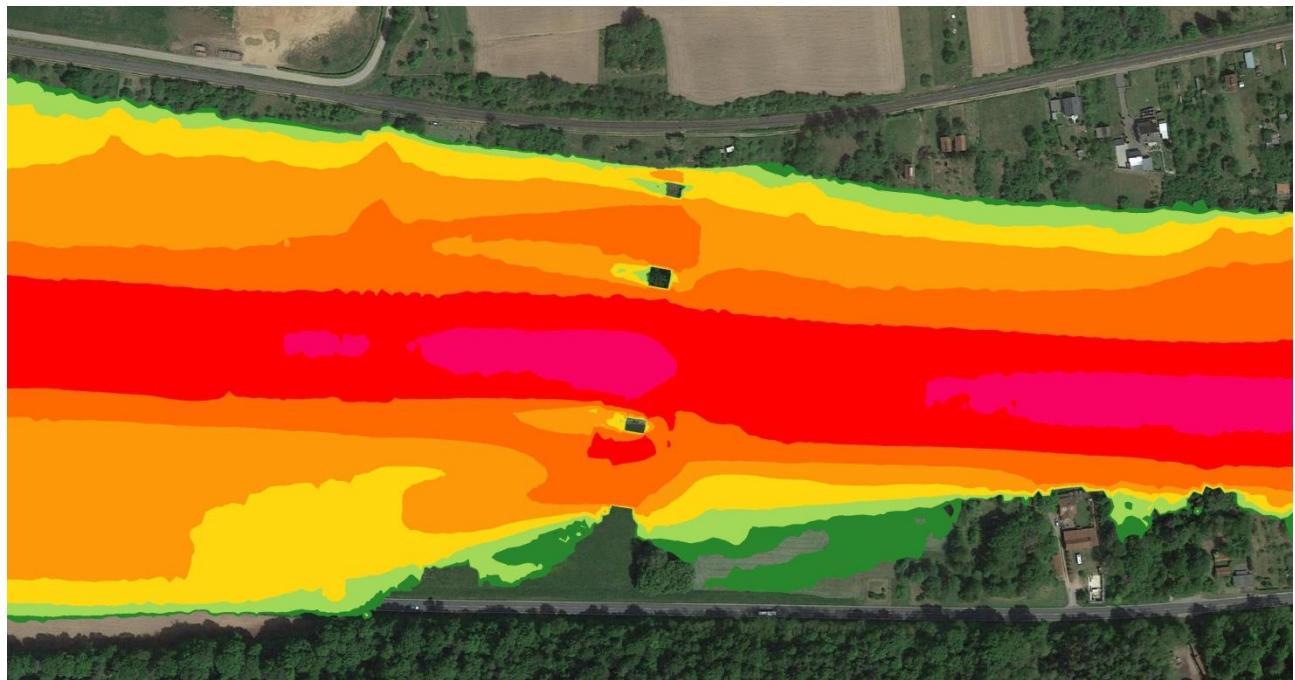
Bau-Zustand MQ



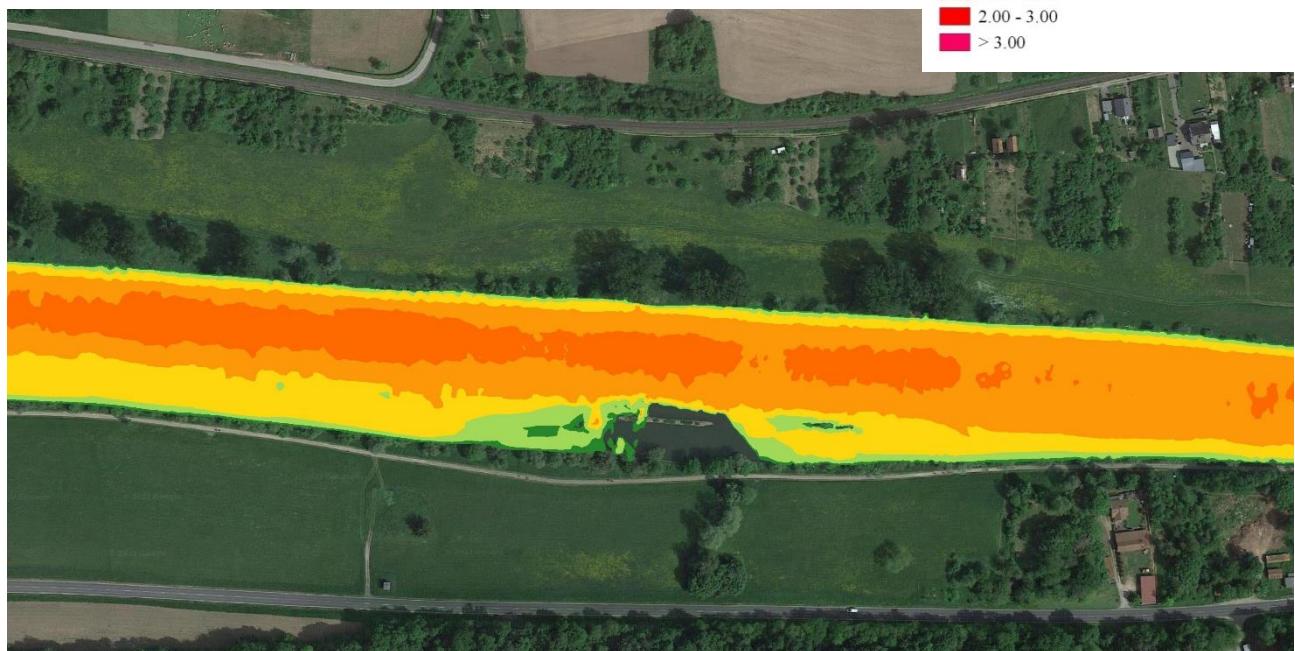
Bau-Zustand HSQ



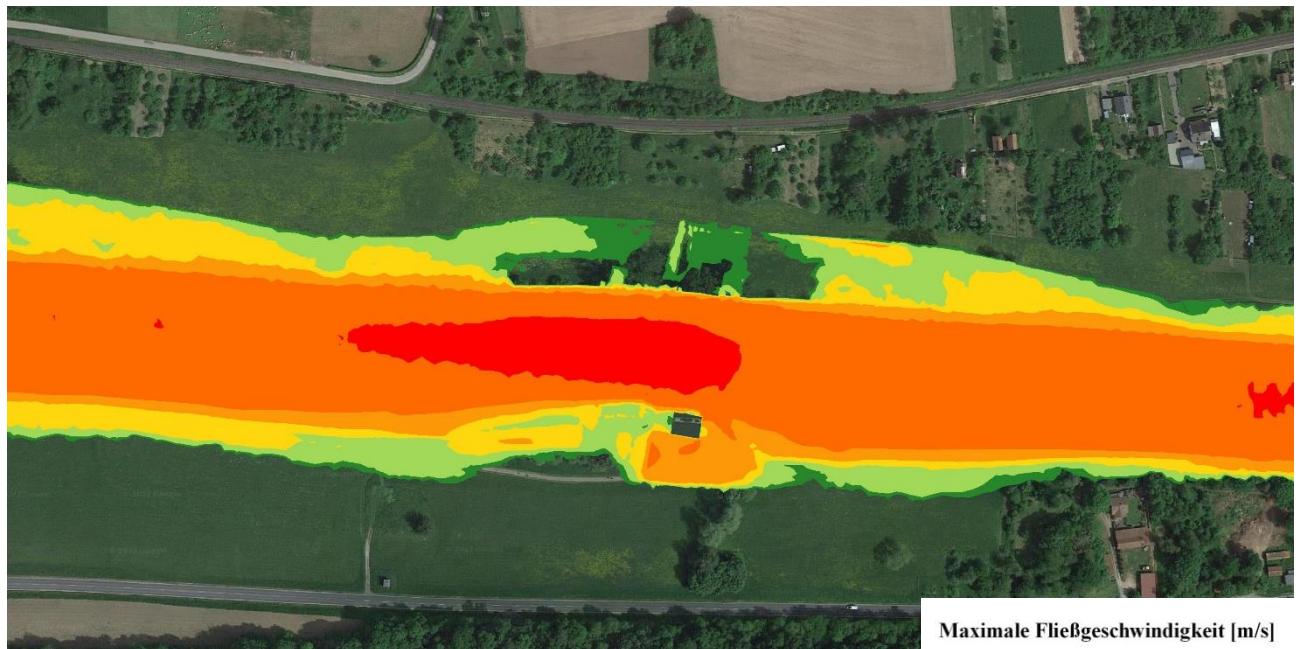
Bau-Zustand HQ₁₀₀



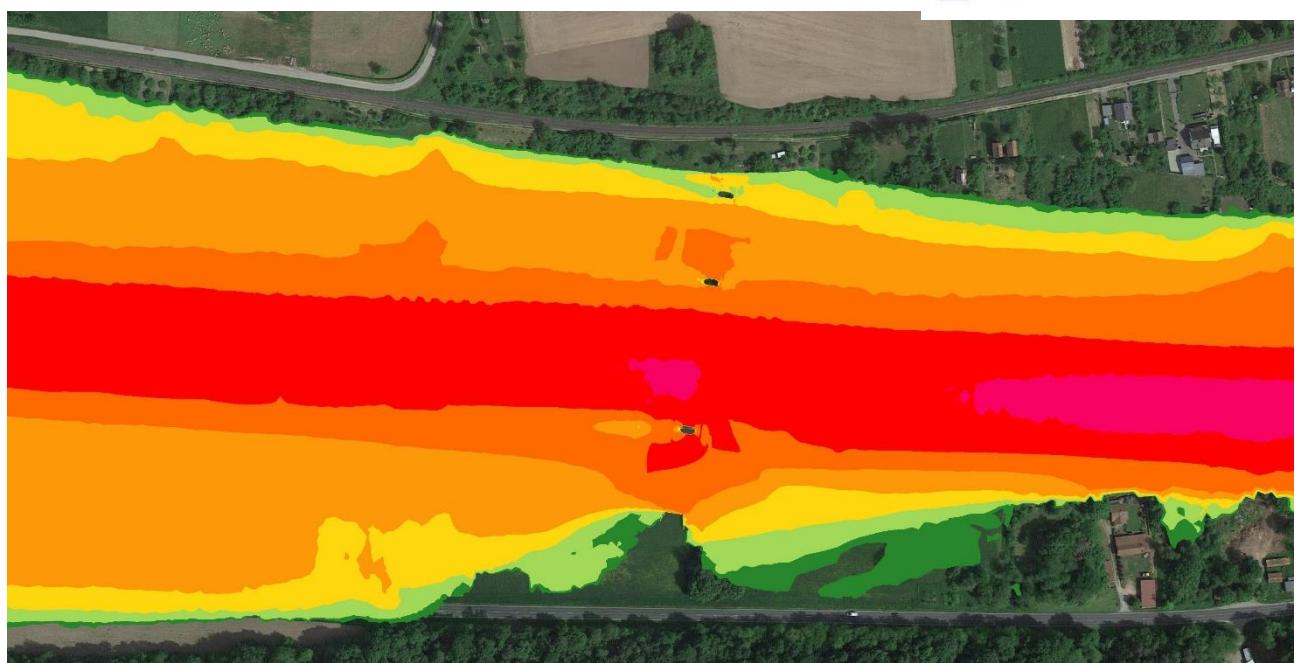
Bau-Zustand (V2) MQ



Bau-Zustand (V2) HSQ



Bau-Zustand (V2) HQ₁₀₀



Anhang 3

Stromlinien

(Darstellung vor maximalen Wassertiefen)

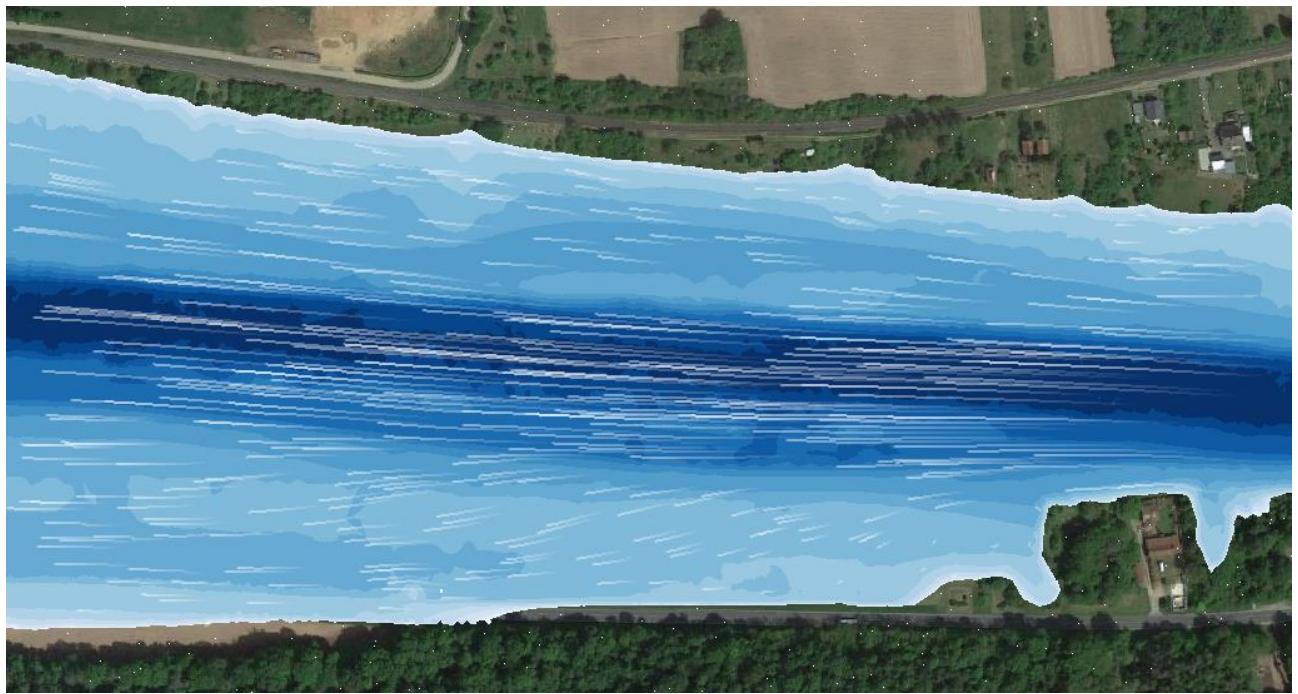
Bestand MQ



Bestand HSQ



Bestand HQ₁₀₀



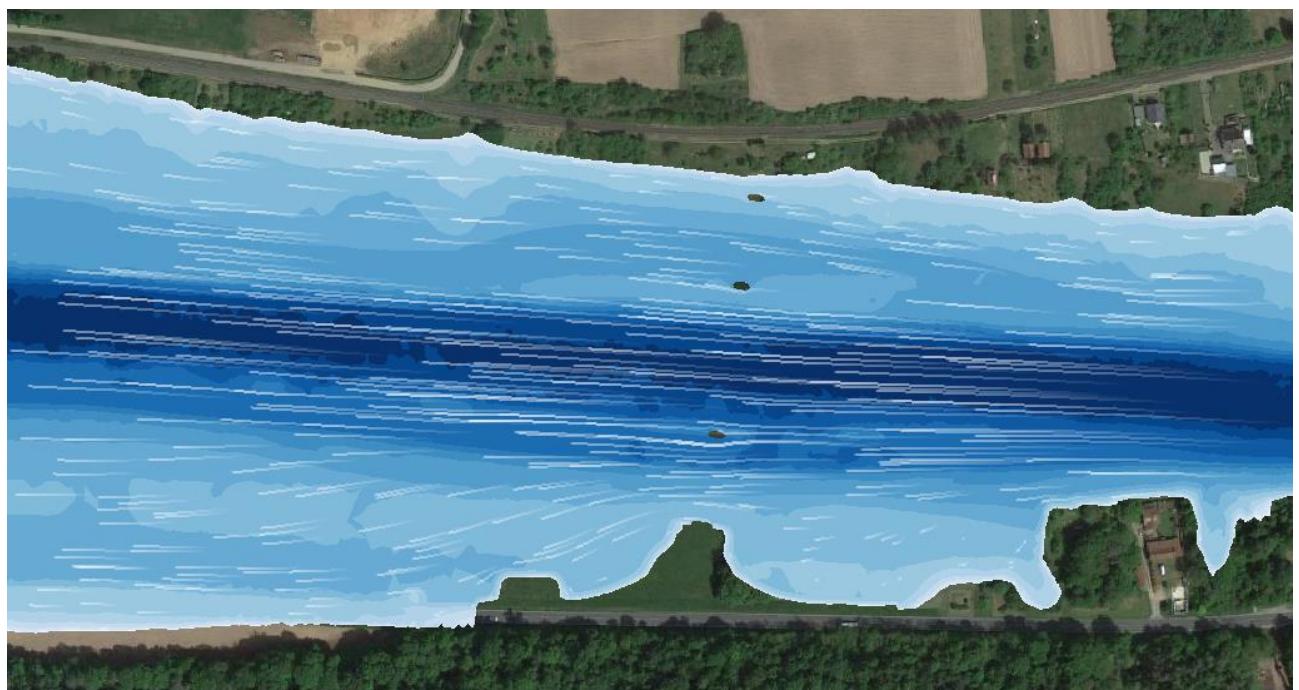
Plan-Zustand MQ



Plan-Zustand HSQ



Plan-Zustand HQ₁₀₀



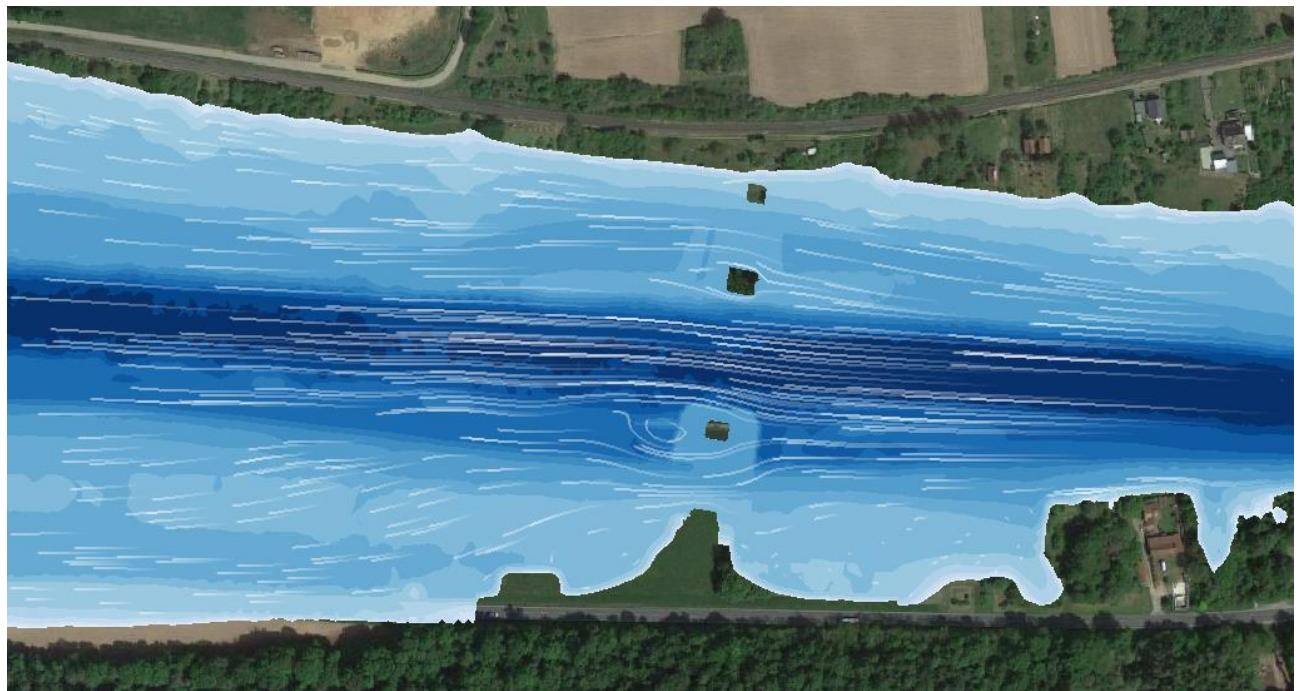
Bau-Zustand MQ



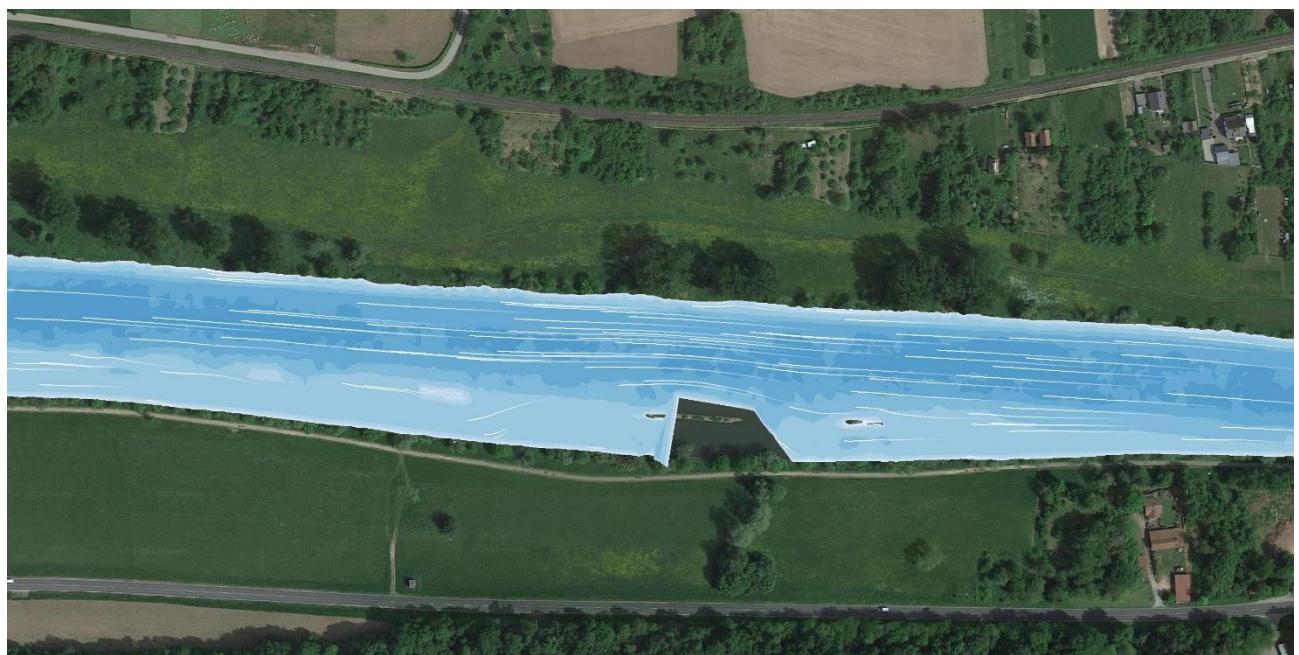
Bau-Zustand HSQ



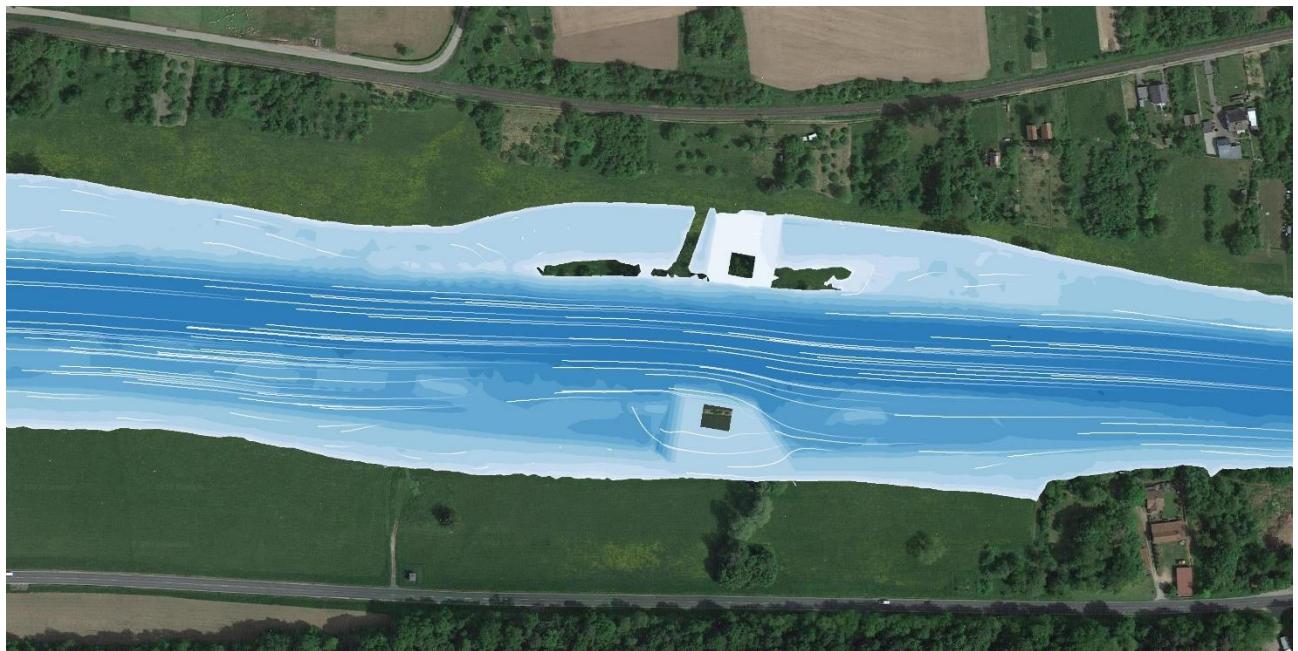
Bau-Zustand HQ₁₀₀



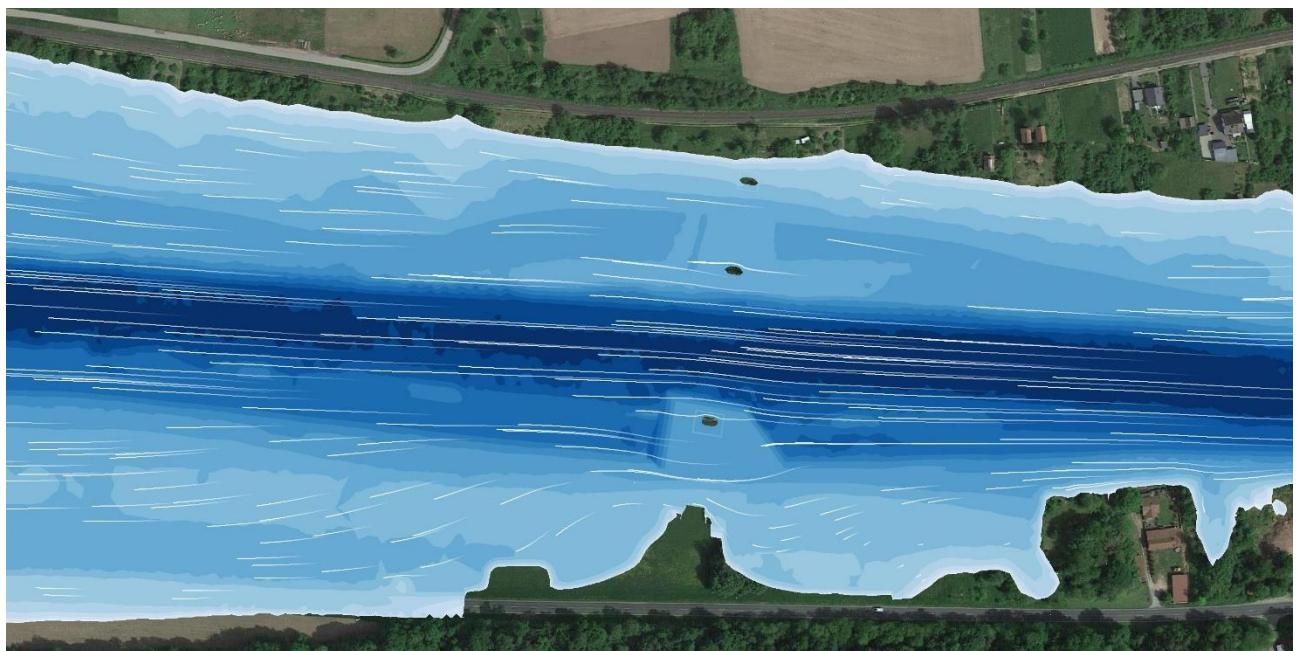
Bau-Zustand (V2) MQ



Bau-Zustand (V2) HSQ



Bau-Zustand (V2) HQ₁₀₀



Anhang 4

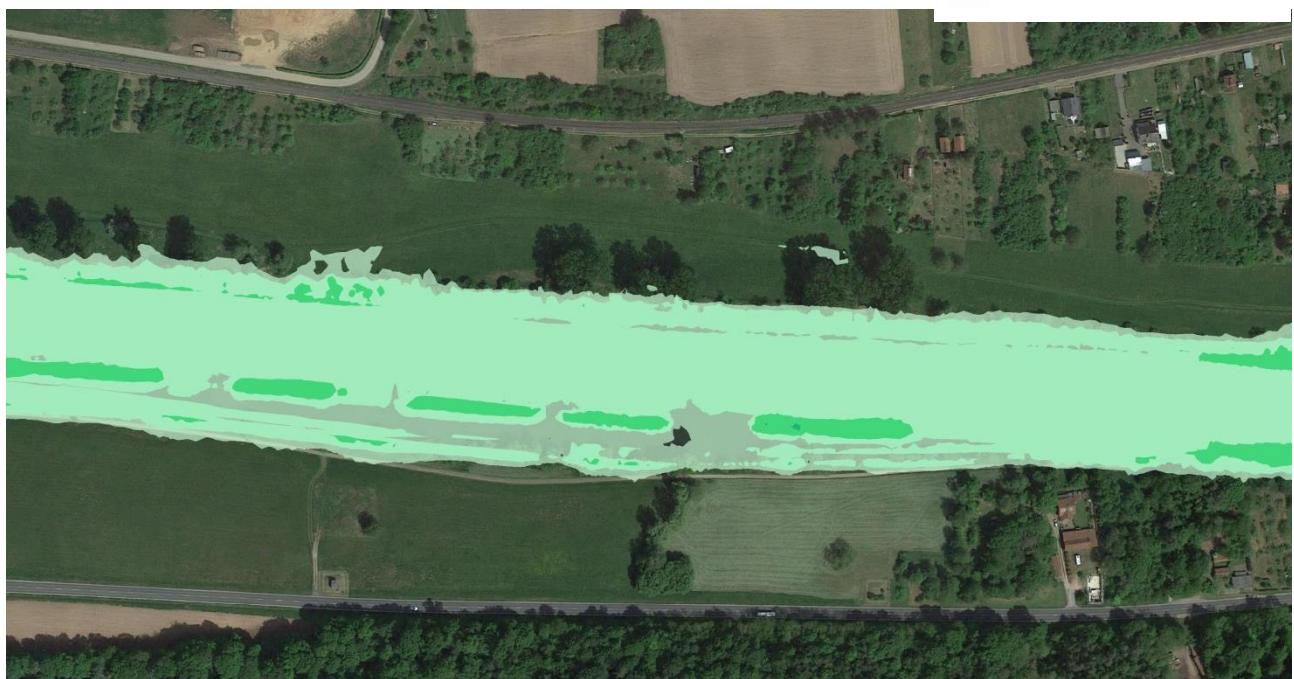
Maximale Schubspannungen in N/m²

(Darstellung ab 5 N/m²)

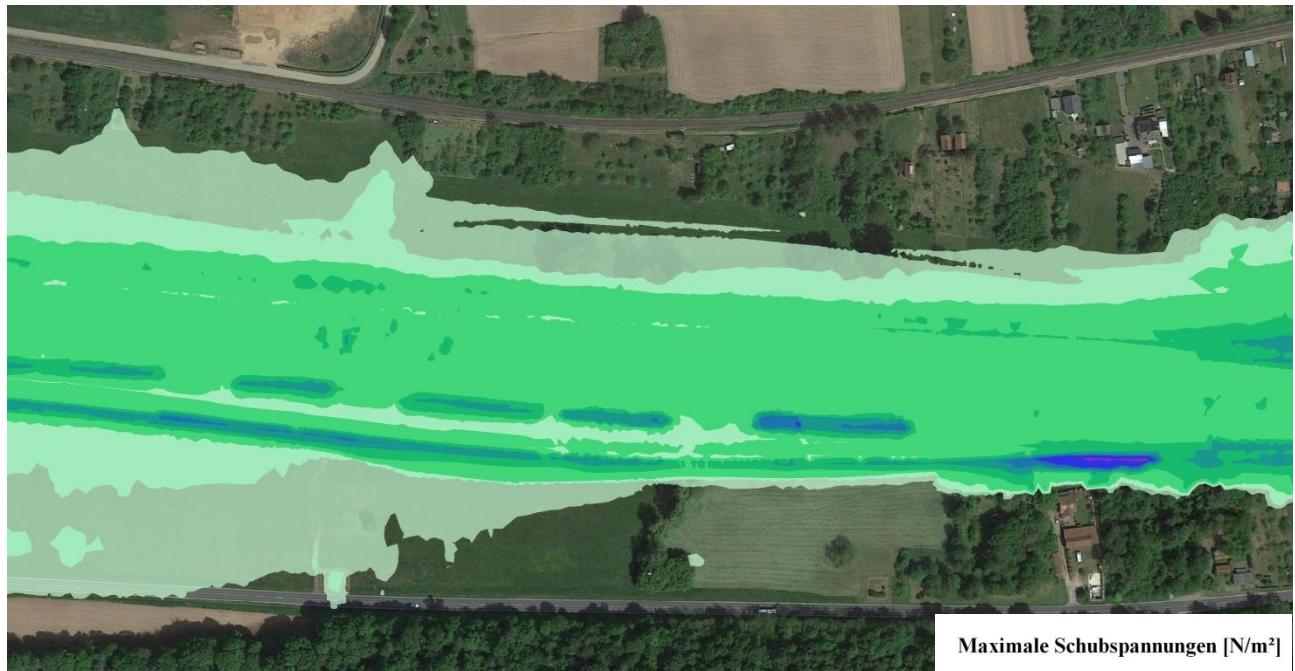
Bestand MQ



Bestand HSQ



Bestand HQ₁₀₀



Maximale Schubspannungen [N/m²]

- <= 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

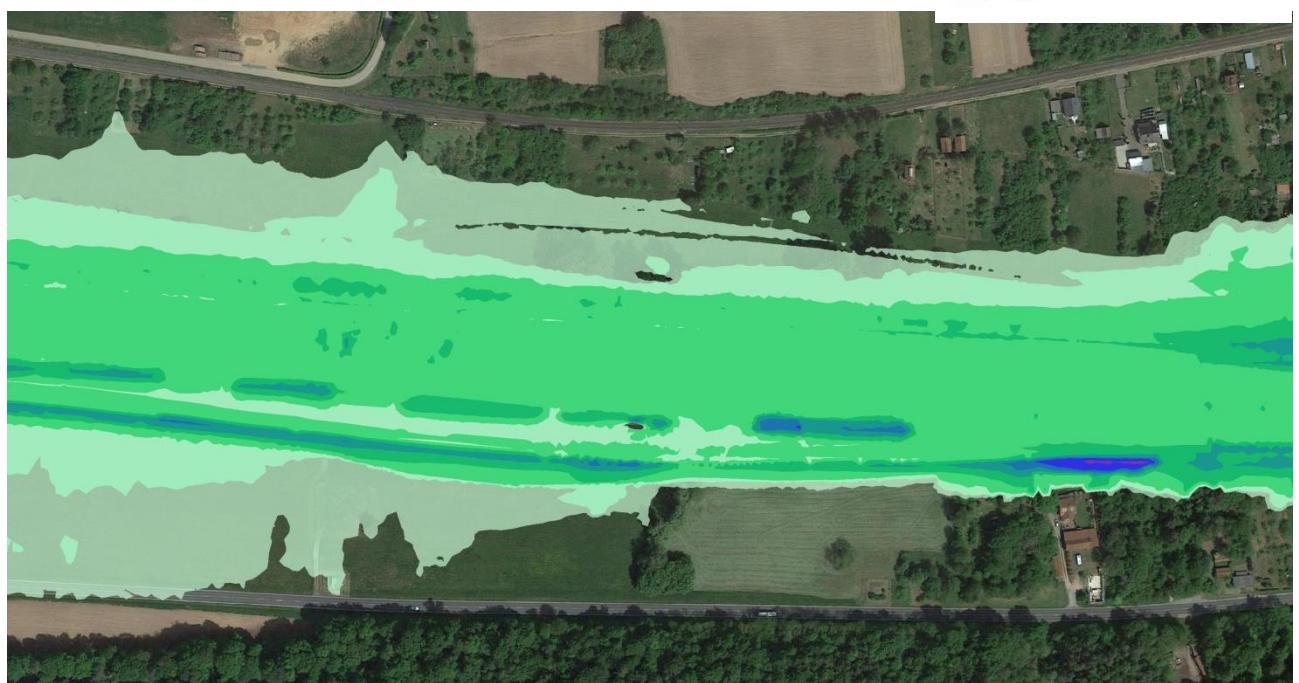
Plan-Zustand MQ



Plan-Zustand HSQ



Plan-Zustand HQ₁₀₀



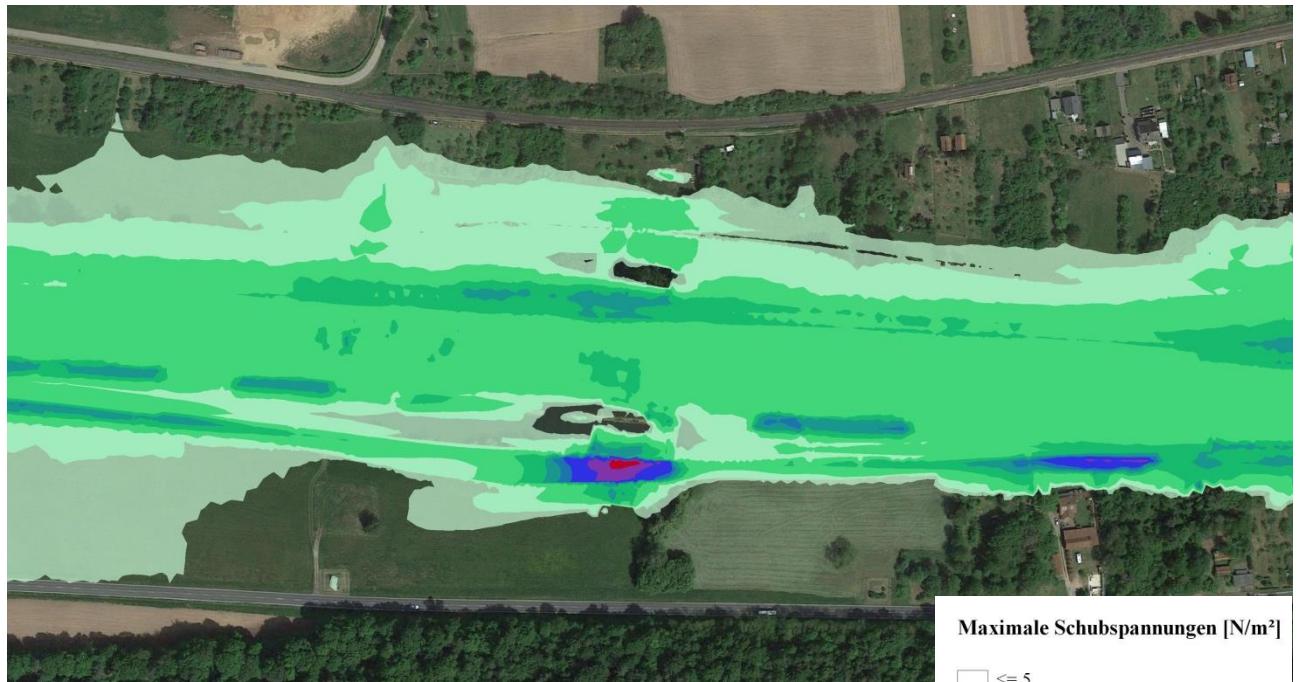
Bau-Zustand MQ



Bau-Zustand HSQ



Bau-Zustand HQ₁₀₀



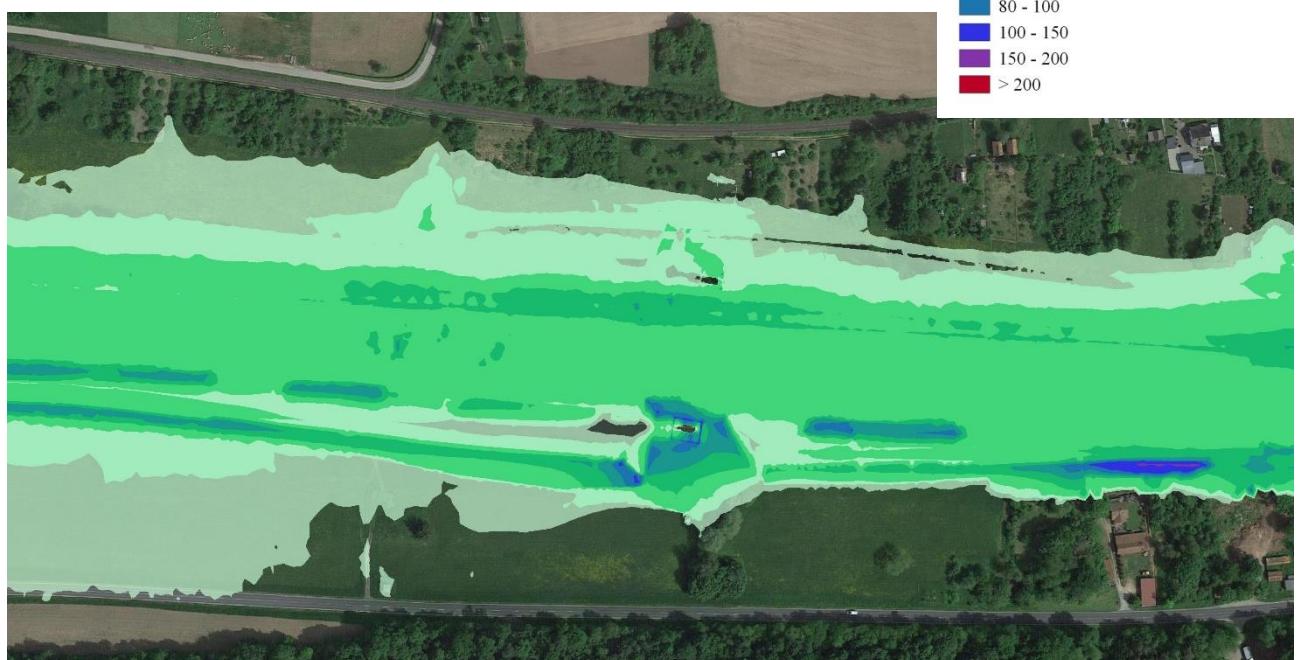
Bau-Zustand (V2) MQ



Bau-Zustand (V2) HSQ



Bau-Zustand (V2) HQ₁₀₀



Anhang 5

Wassertiefen von Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand im Vergleich zur Anschlaglinie für den Bestand

(Darstellung ab 1 cm Wassertiefe)

Plan-Zustand MQ



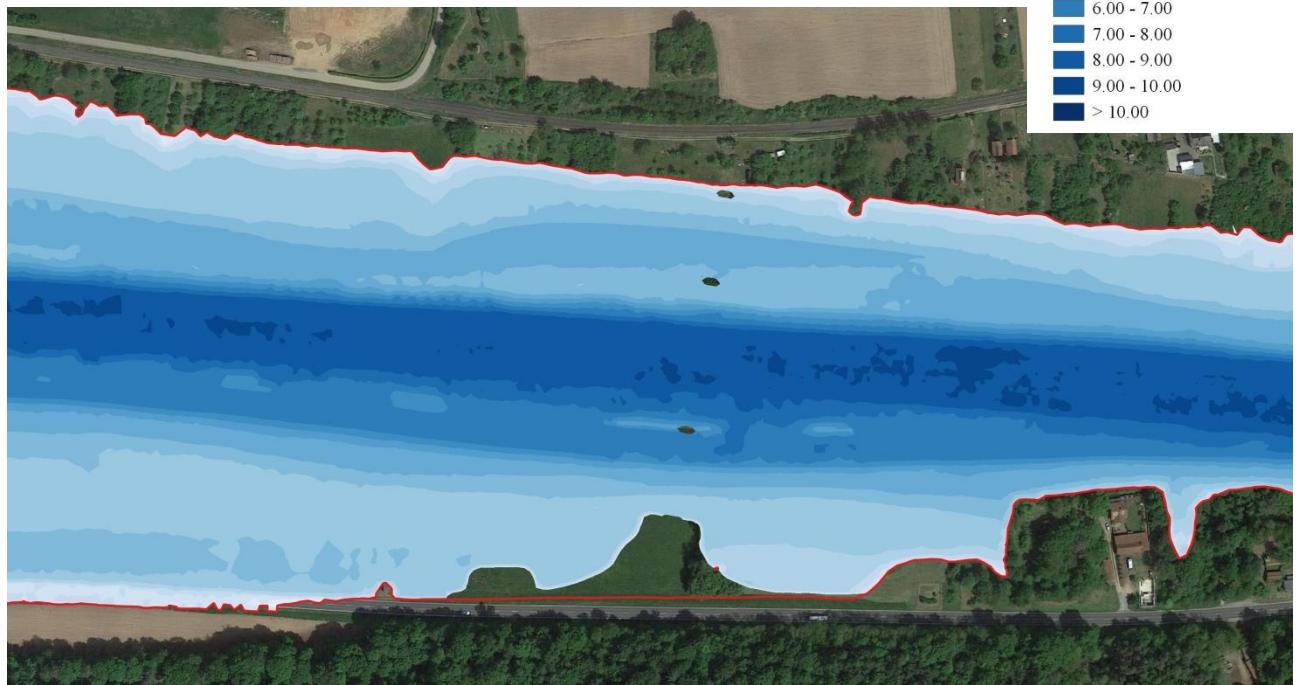
Plan-Zustand HSQ



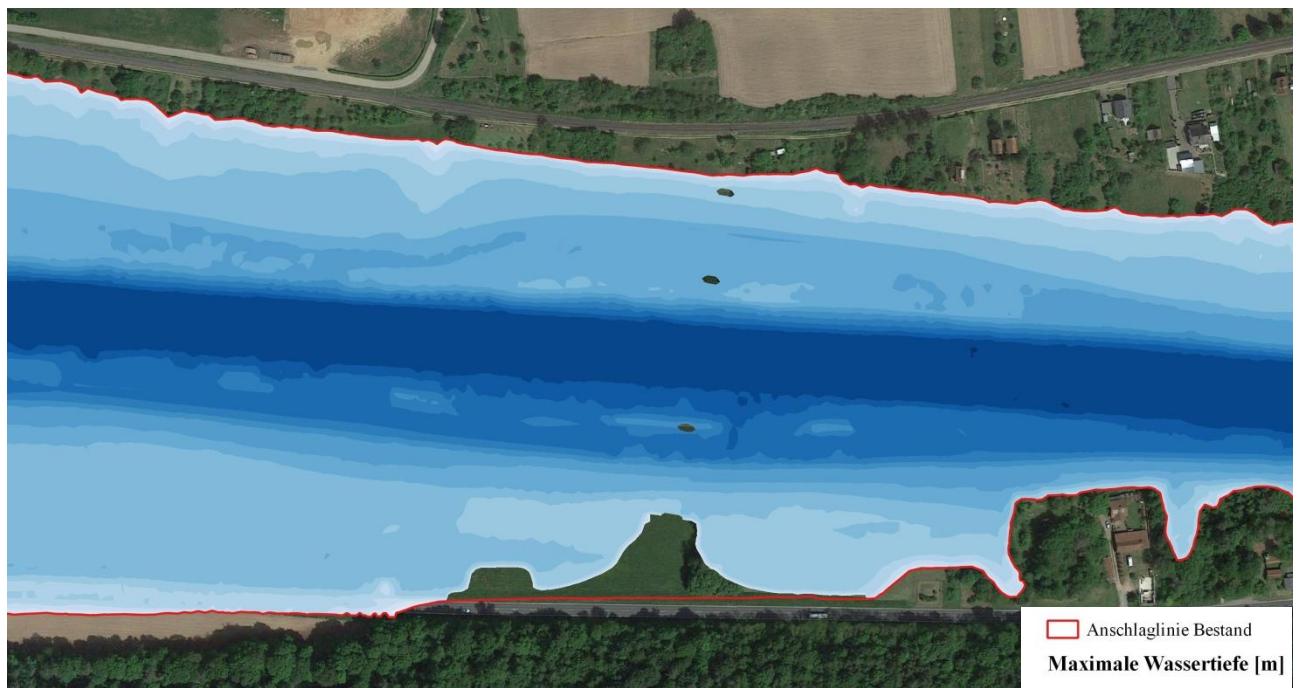
Plan-Zustand HQ₅



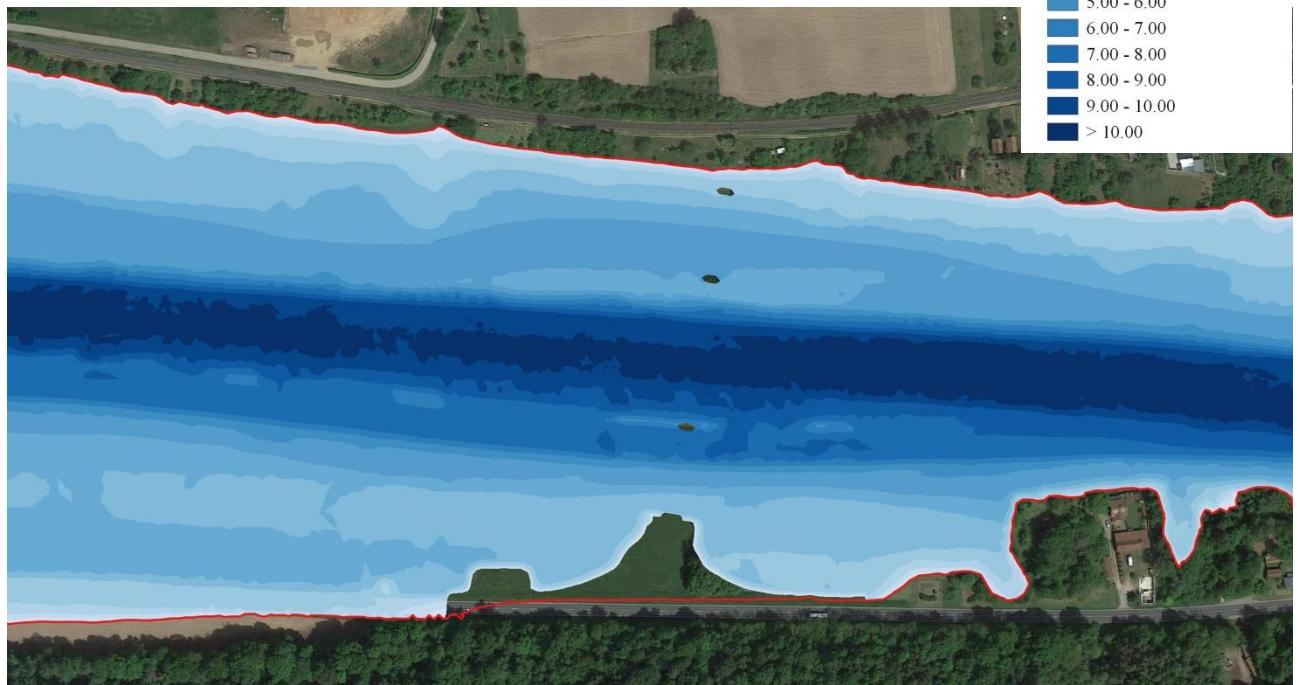
Plan-Zustand HQ₂₀



Plan-Zustand HQ₅₀



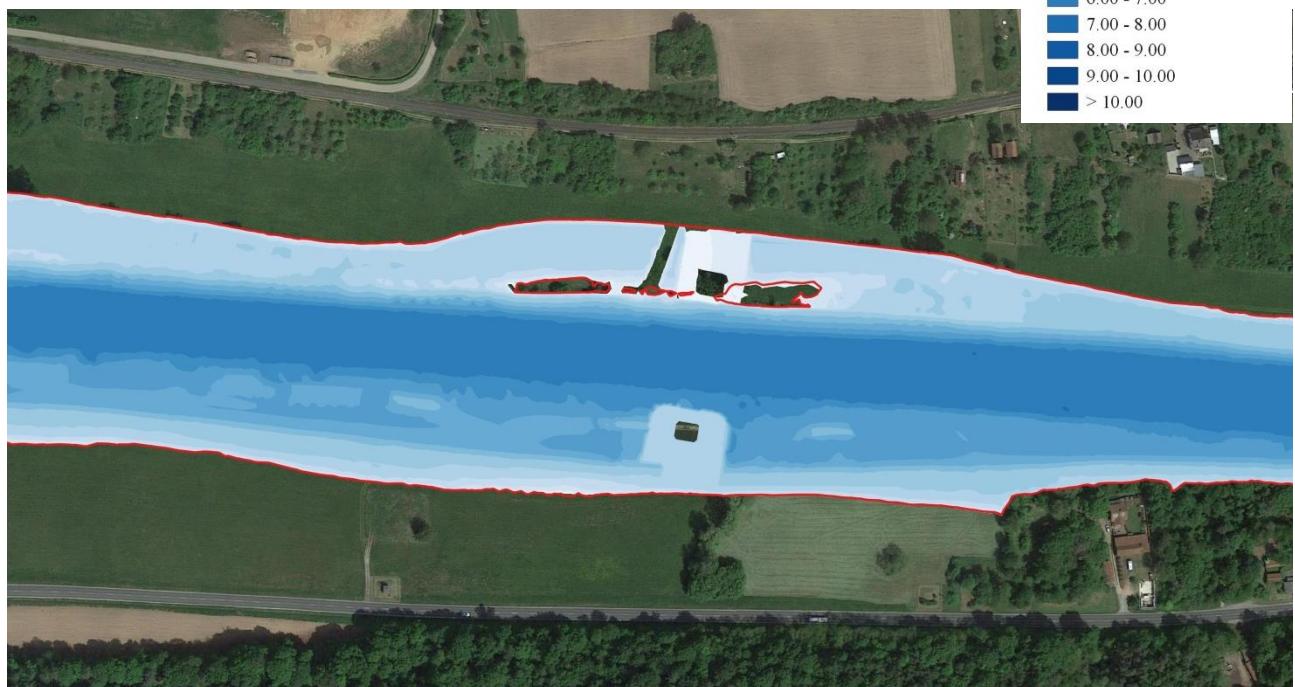
Plan-Zustand HQ₁₀₀



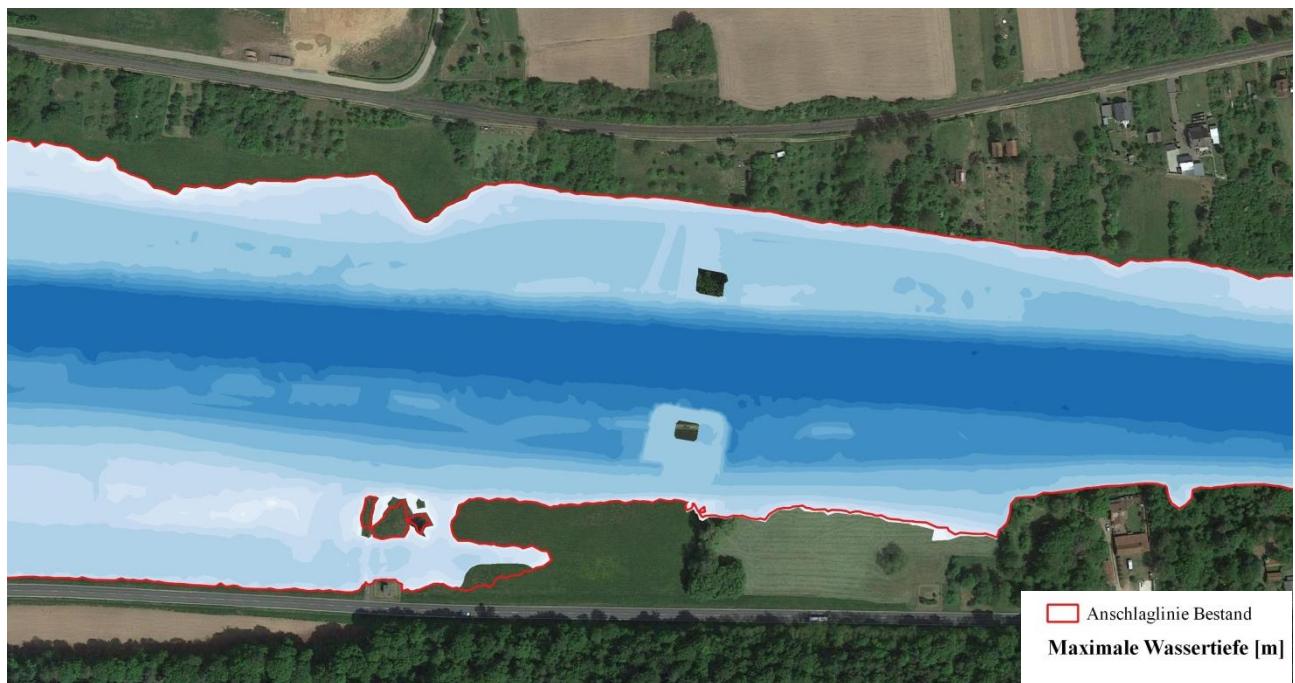
Bau-Zustand MQ



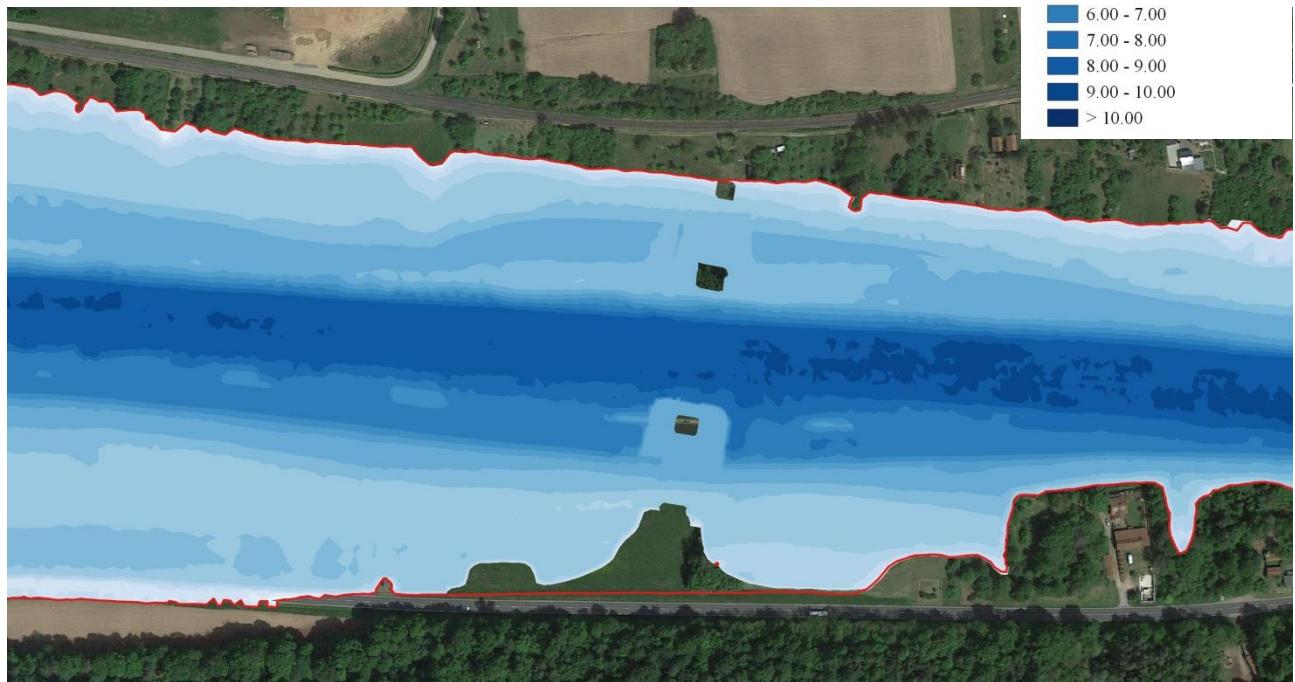
Bau-Zustand HSQ



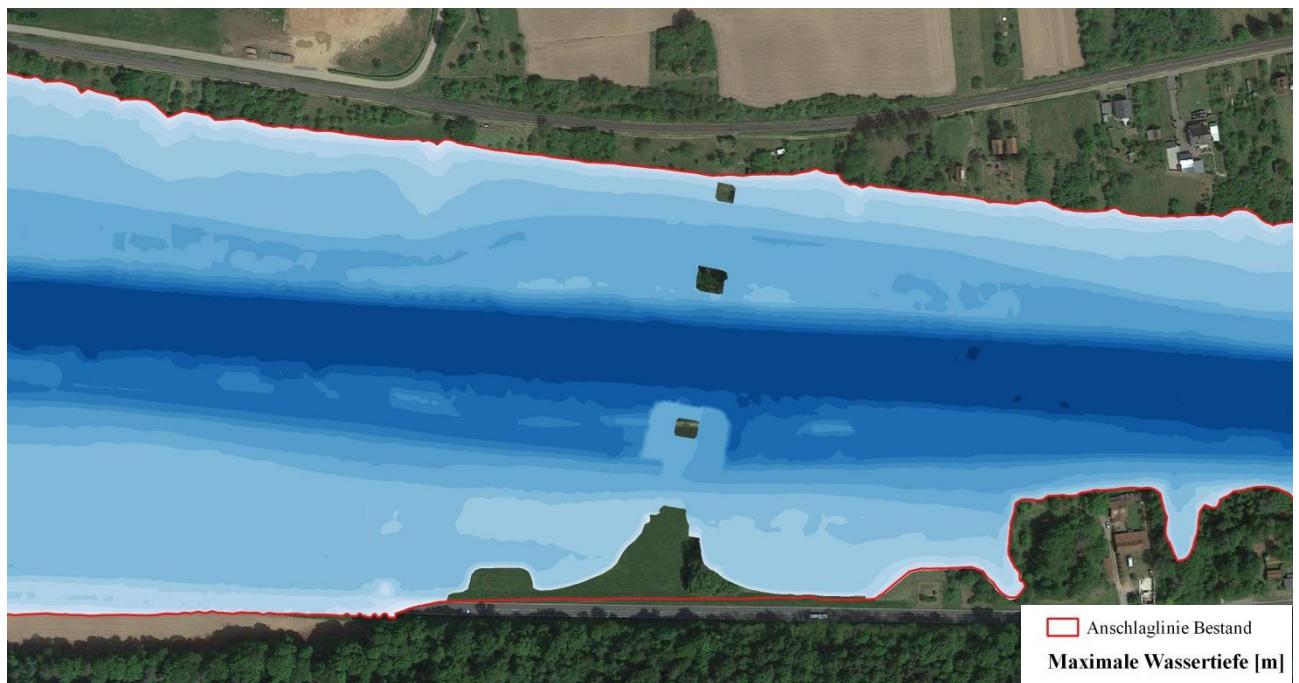
Bau-Zustand HQ₅



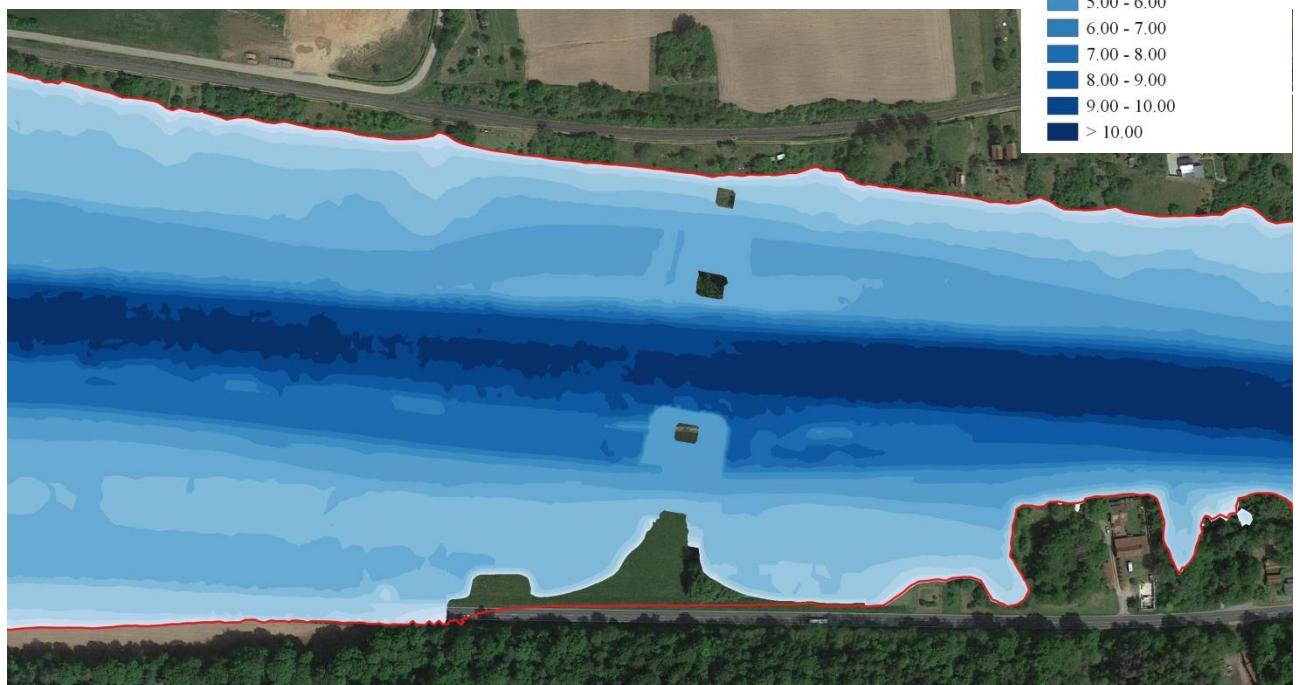
Bau-Zustand HQ₂₀



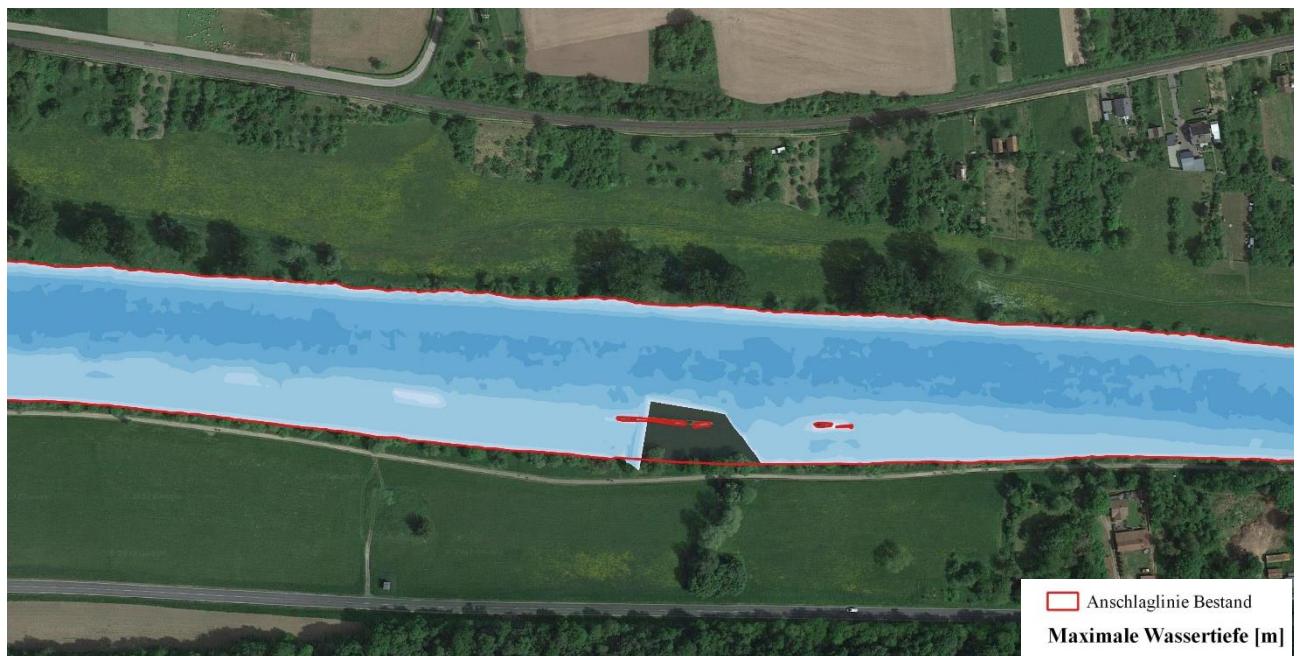
Bau-Zustand HQ₅₀



Bau-Zustand HQ₁₀₀



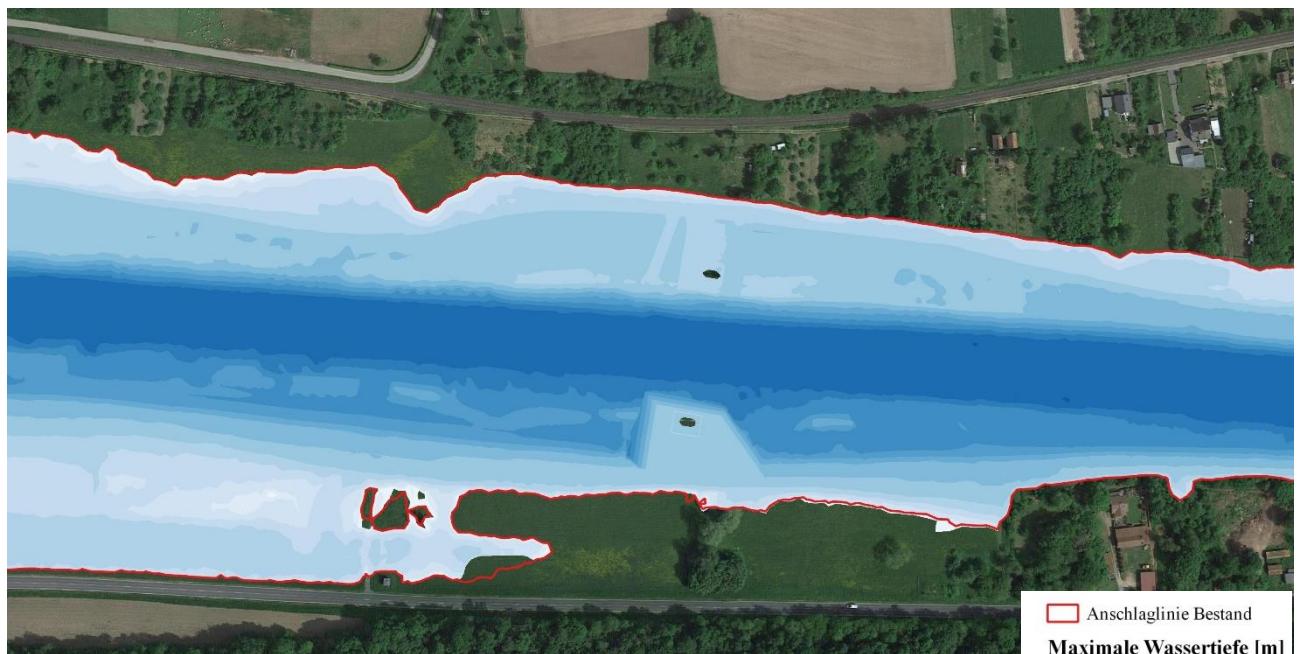
Bau-Zustand (V2) MQ



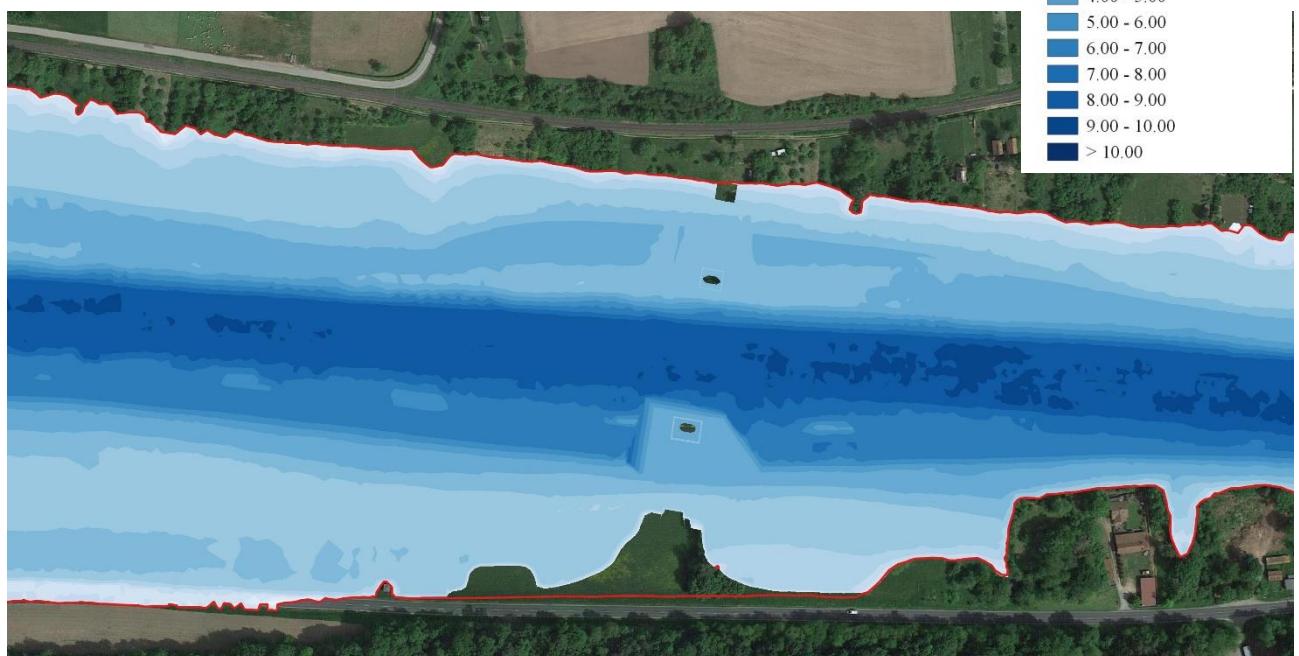
Bau-Zustand (V2) HSQ



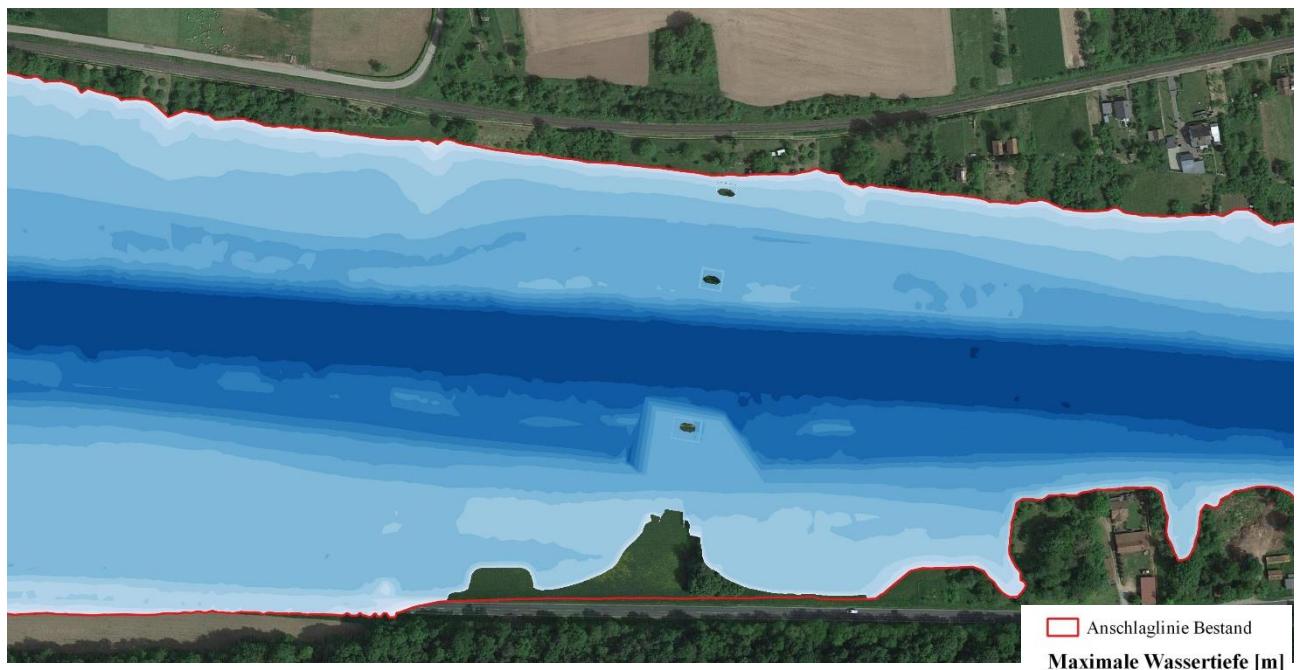
Bau-Zustand (V2) HQ₅



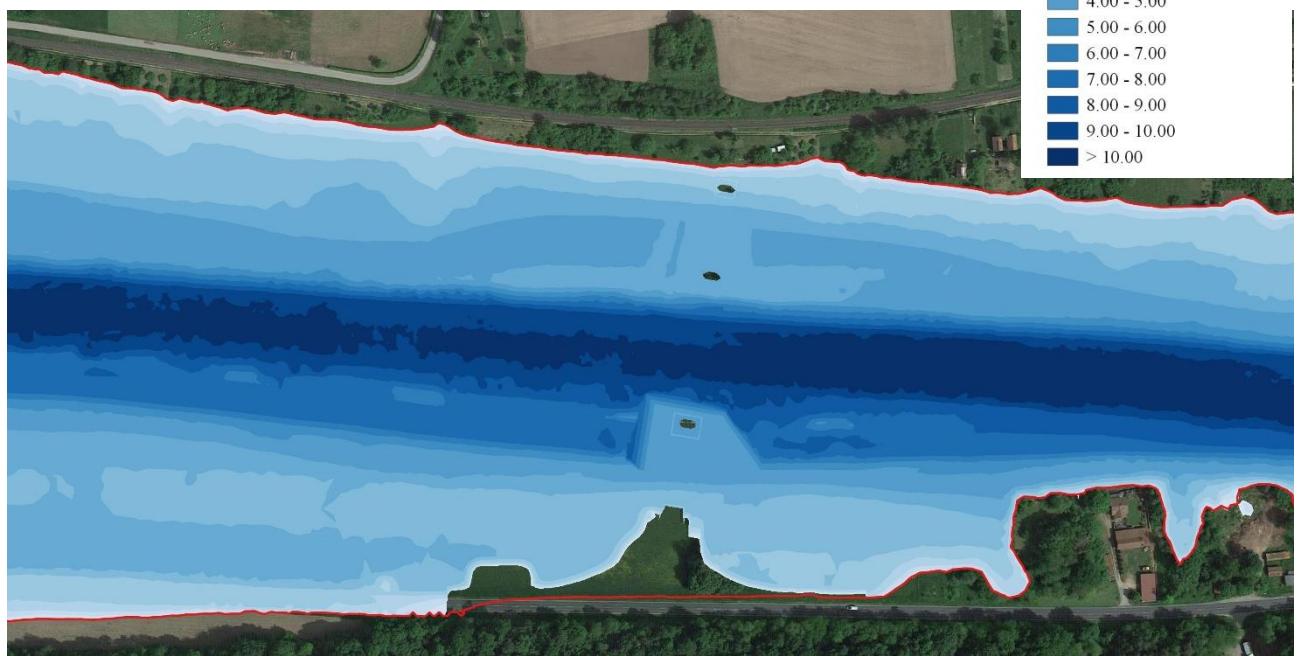
Bau-Zustand (V2) HQ₂₀



Bau-Zustand (V2) HQ₅₀



Bau-Zustand (V2) HQ₁₀₀



Anhang 6

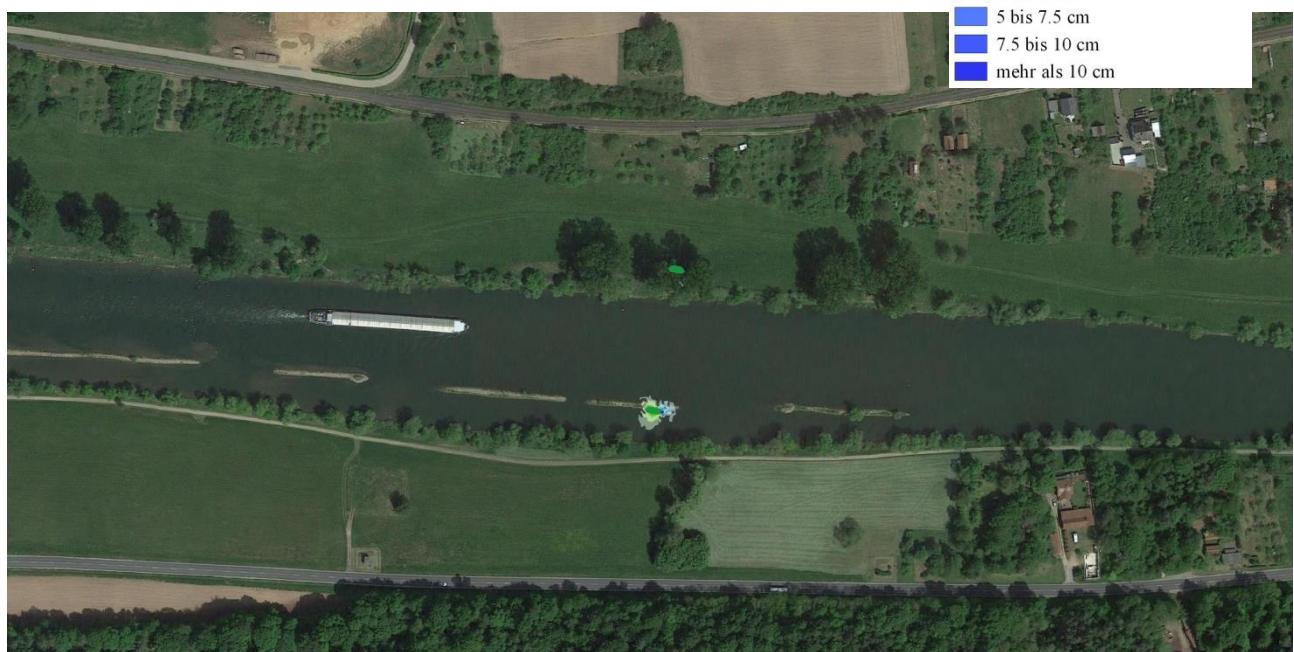
Wasserspiegellagendifferenzen zwischen Bestand und Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand in m

(Darstellung ab ± 1 cm)

Plan-Zustand minus Bestand – MQ



Plan-Zustand minus Bestand – HSQ



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₅



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₂₀



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₅₀



Wasserspiegellagendifferenzen

Plan-Zustand minus Bestand

- mehr als -10 cm
- 7,5 bis -10 cm
- 5 bis -7,5 cm
- 4 bis -5 cm
- 3 bis -4 cm
- 2 bis -3 cm
- 1 bis -2 cm
- weniger als +1 cm
- 1 bis 2 cm
- 2 bis 3 cm
- 3 bis 4 cm
- 4 bis 5 cm
- 5 bis 7,5 cm
- 7,5 bis 10 cm
- mehr als 10 cm

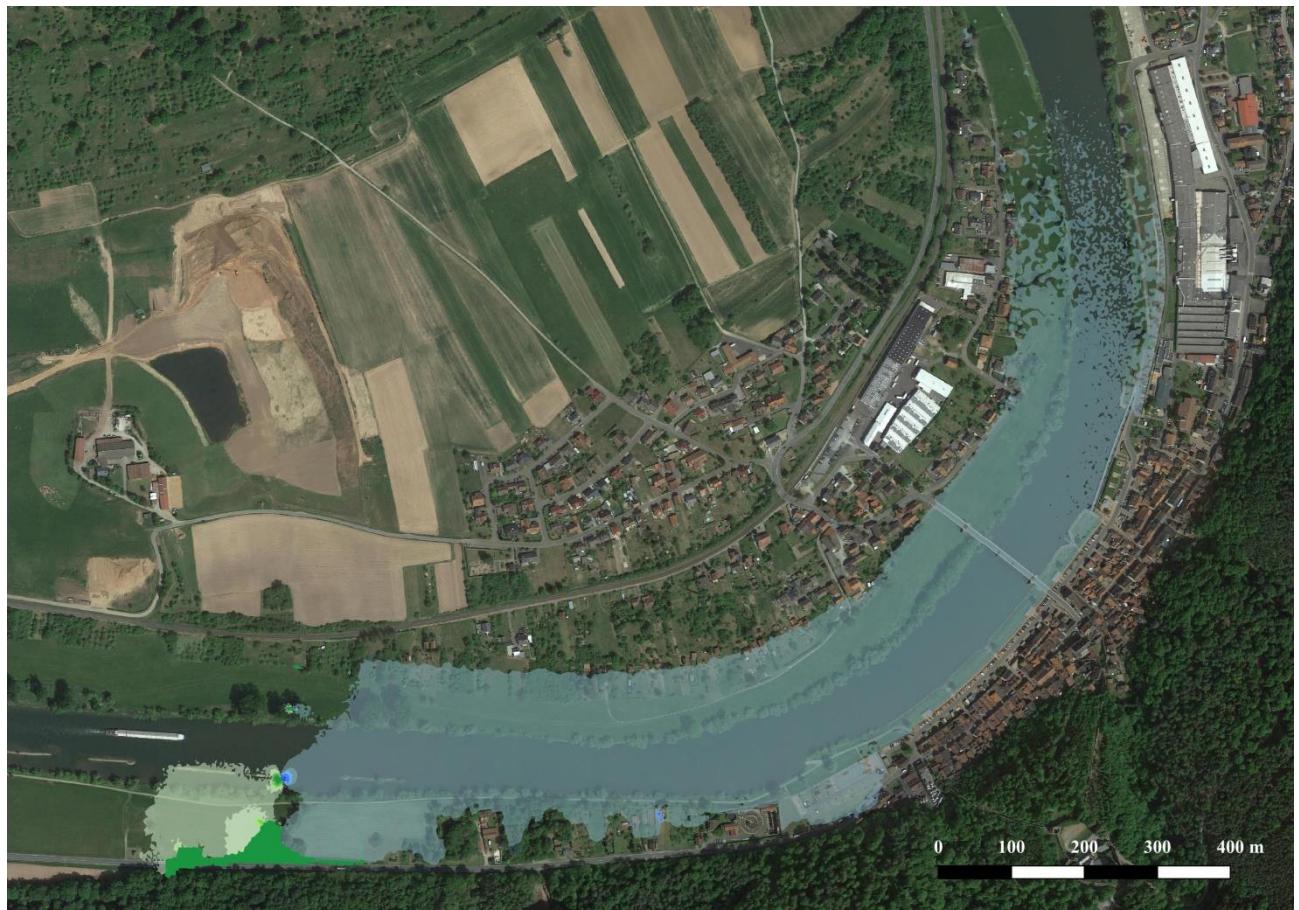
Plan-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₅₀ – Übersicht



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀ – Übersicht



Bau-Zustand minus Bestand – MQ



Wasserspiegellagedifferenzen

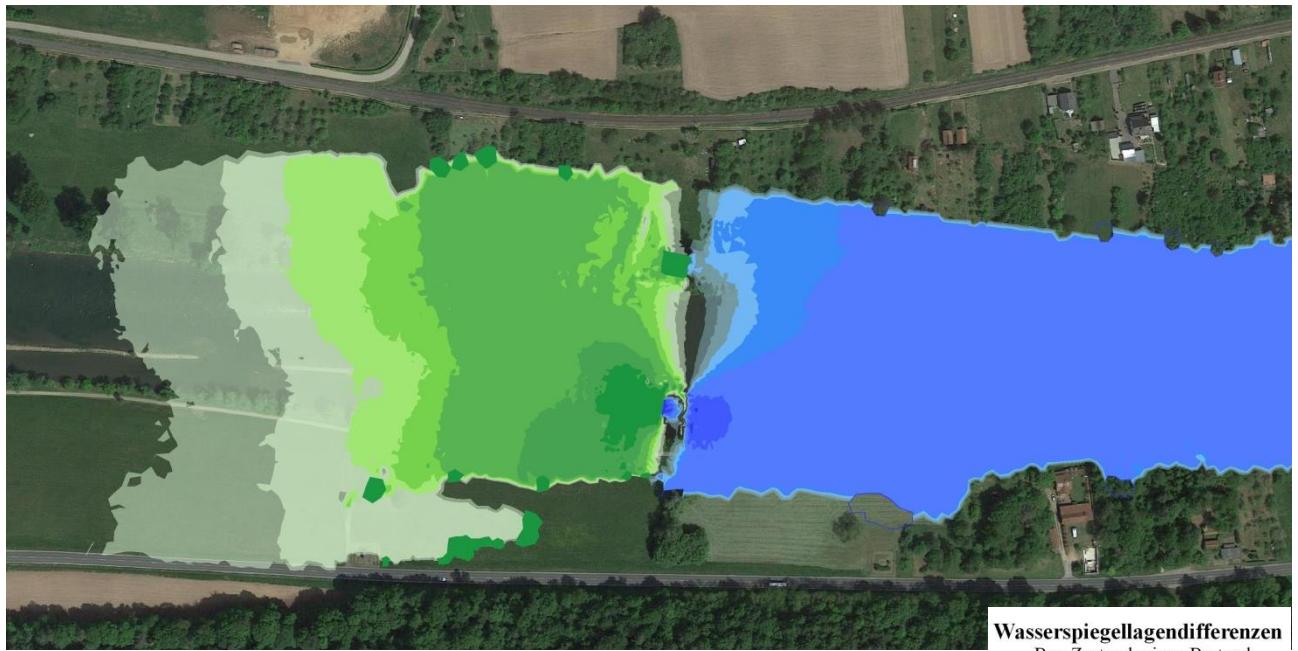
Bau-Zustand minus Bestand

- mehr als -10 cm
- 7,5 bis -10 cm
- 5 bis -7,5 cm
- 4 bis -5 cm
- 3 bis -4 cm
- 2 bis -3 cm
- 1 bis -2 cm
- weniger als +-1 cm
- 1 bis 2 cm
- 2 bis 3 cm
- 3 bis 4 cm
- 4 bis 5 cm
- 5 bis 7,5 cm
- 7,5 bis 10 cm
- mehr als 10 cm

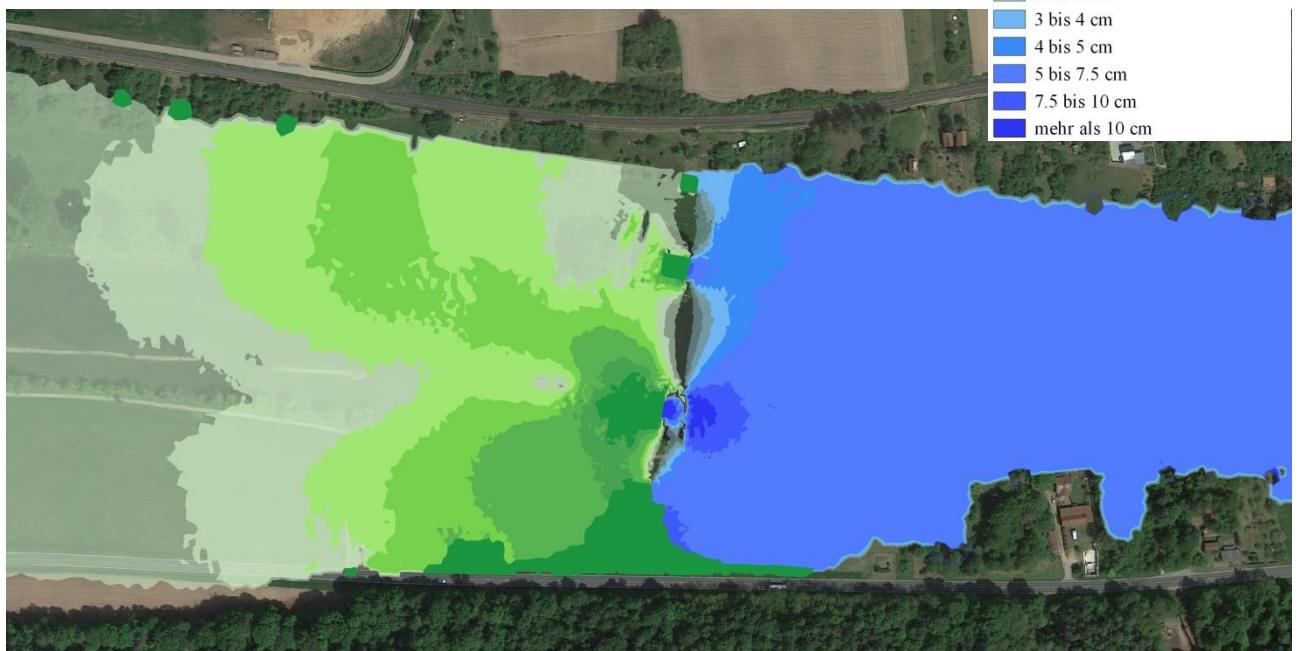
Bau-Zustand minus Bestand – HSQ



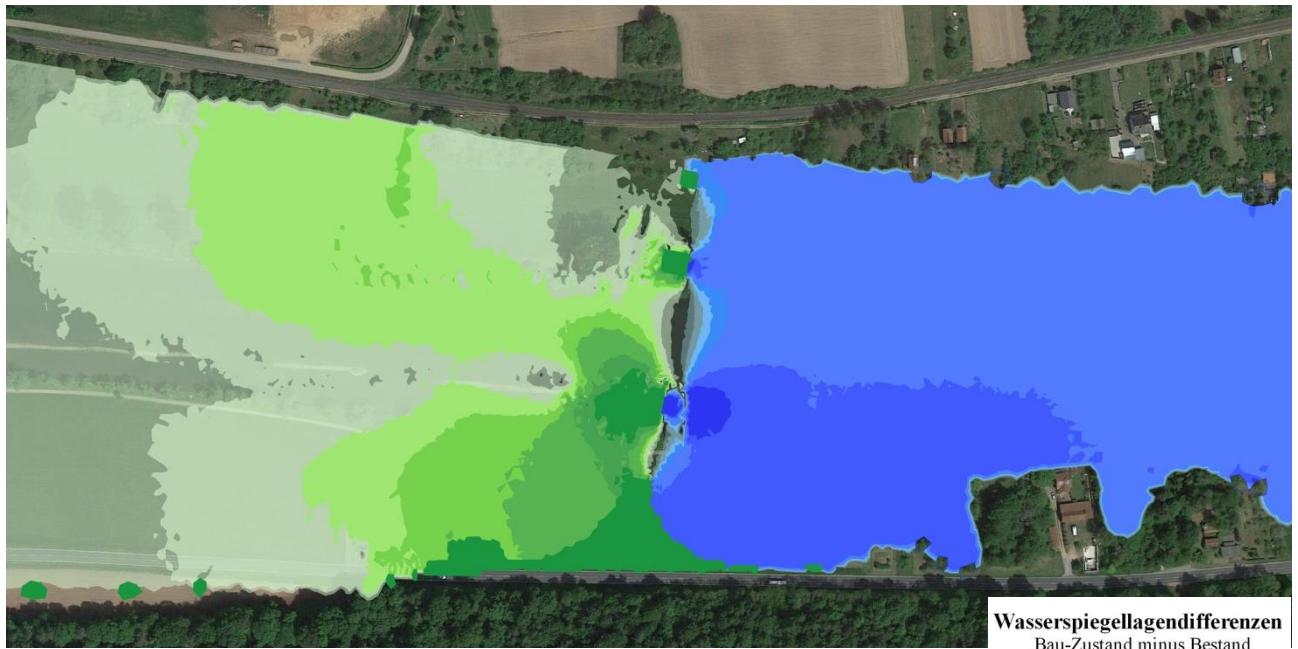
Bau-Zustand minus Bestand – HQ₅



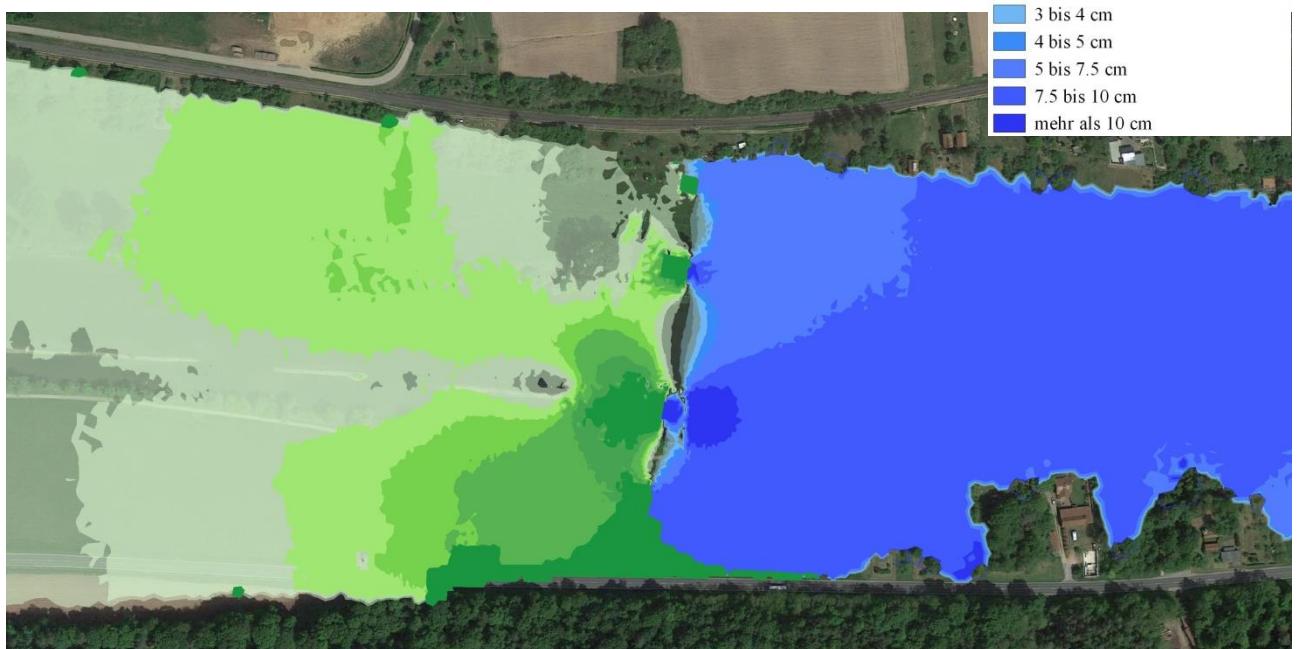
Bau-Zustand minus Bestand – HQ₂₀



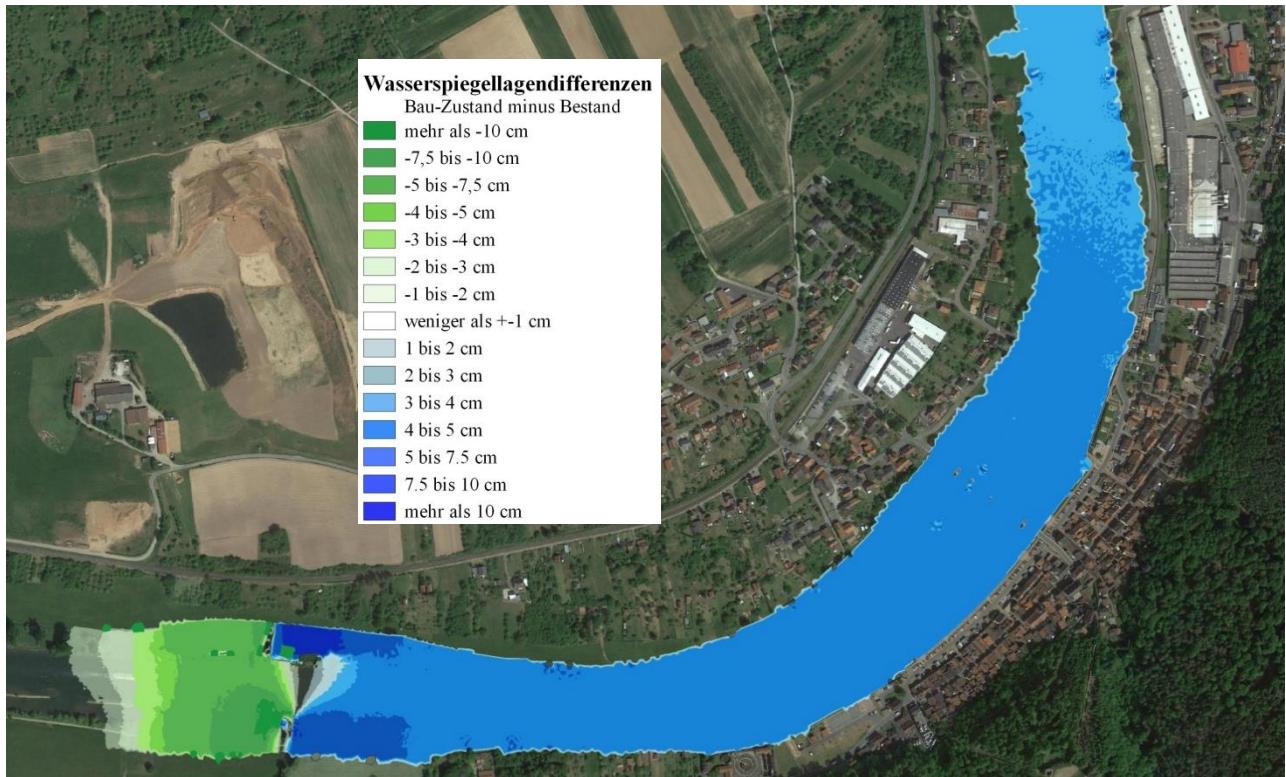
Bau-Zustand minus Bestand – HQ₅₀



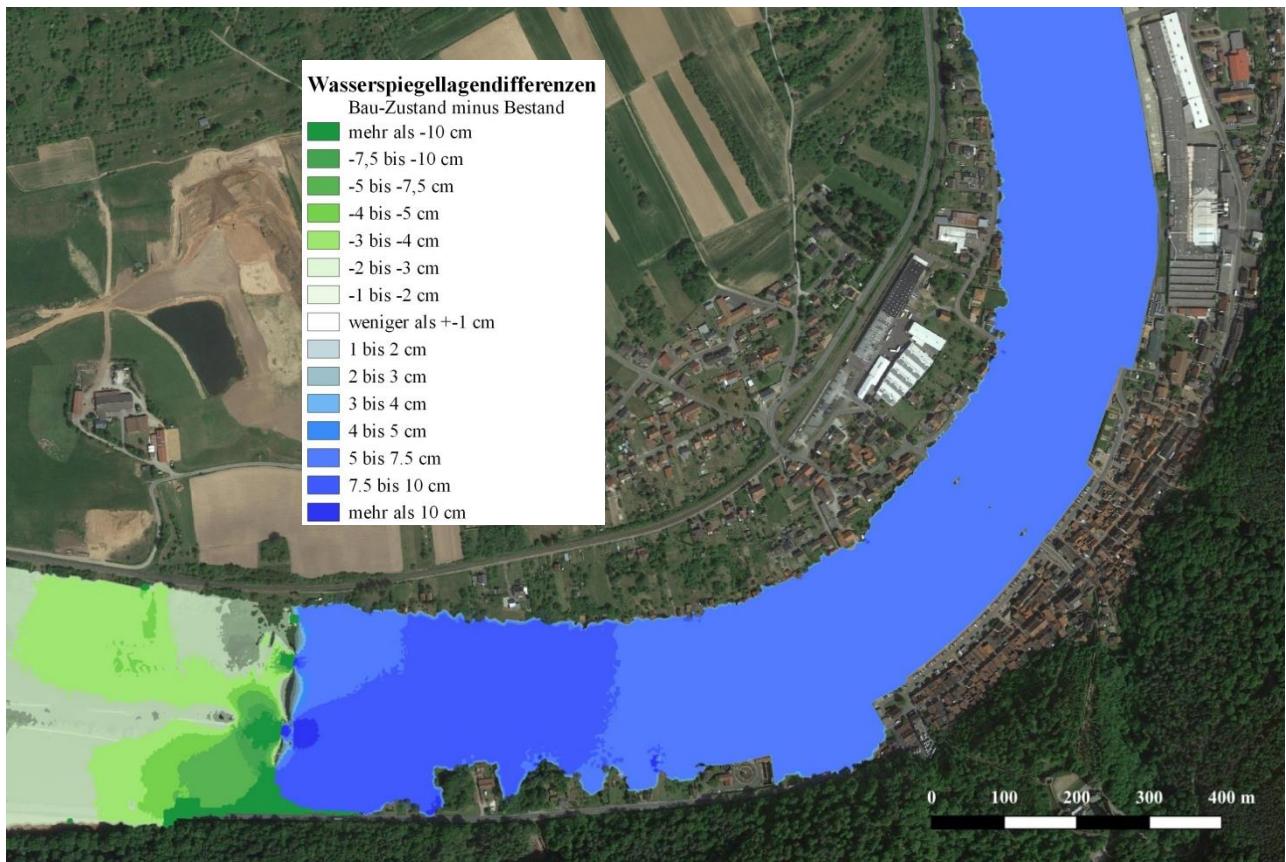
Bau-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀



Bau-Zustand minus Bestand – HSQ – Übersicht



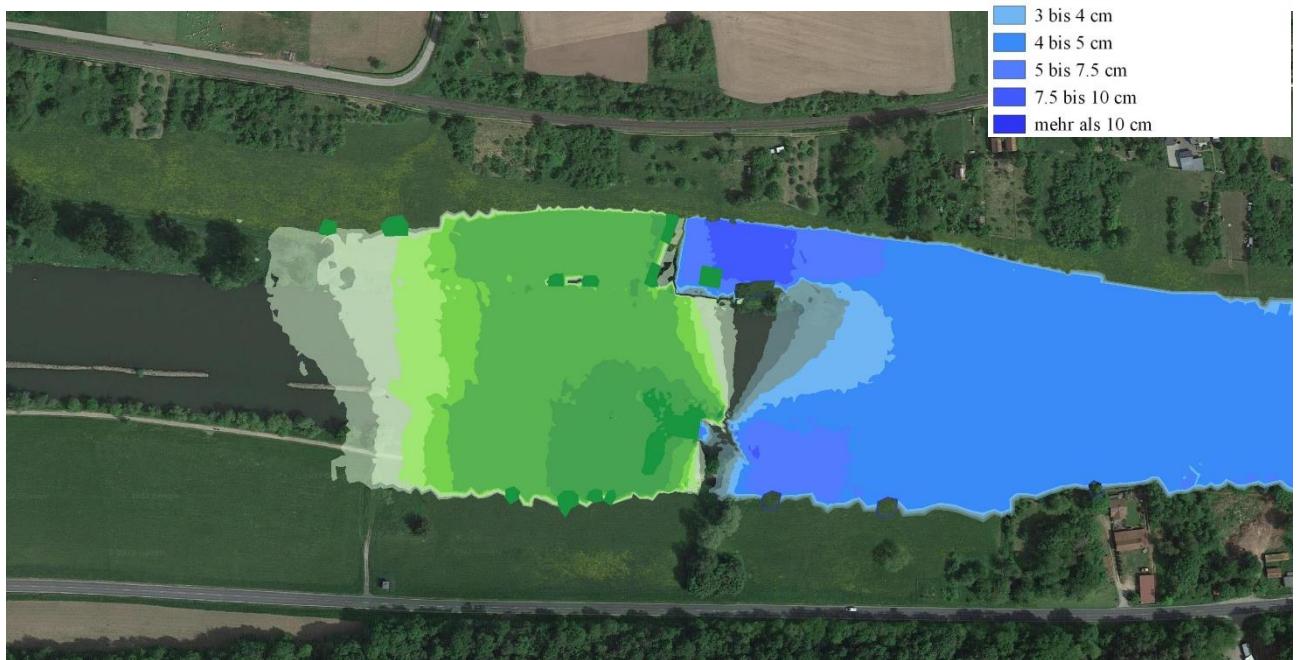
Bau-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀ – Übersicht



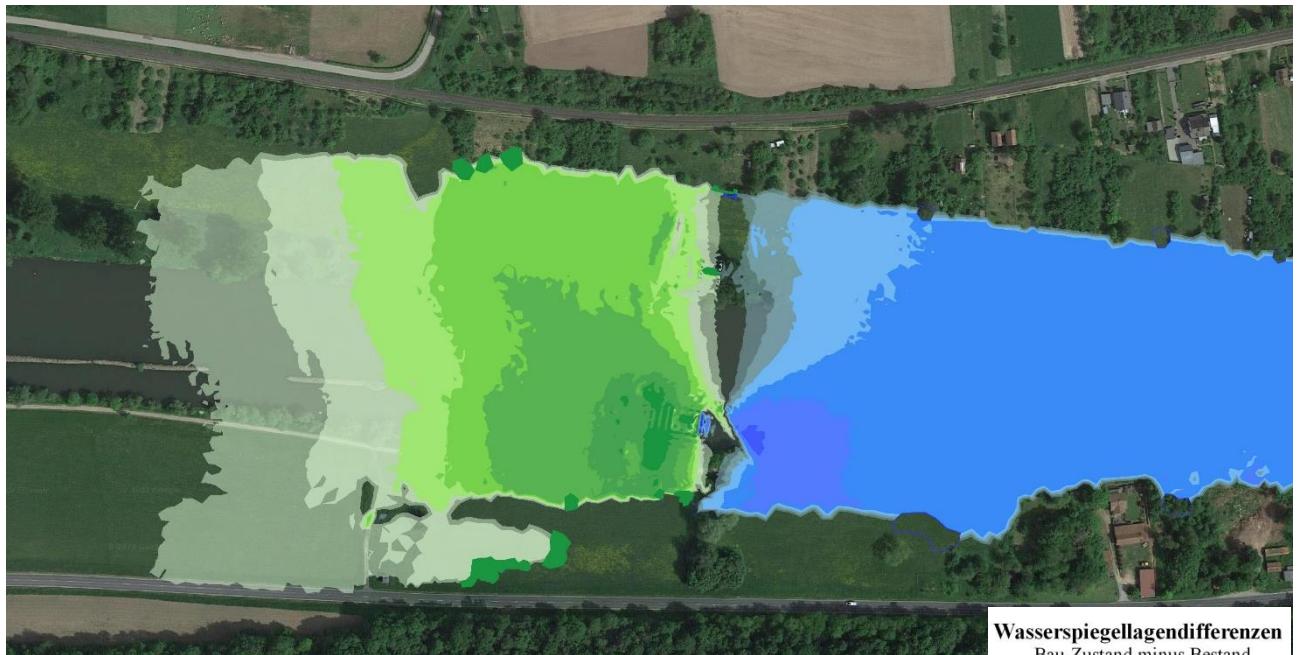
Bau-Zustand (V2) minus Bestand – MQ



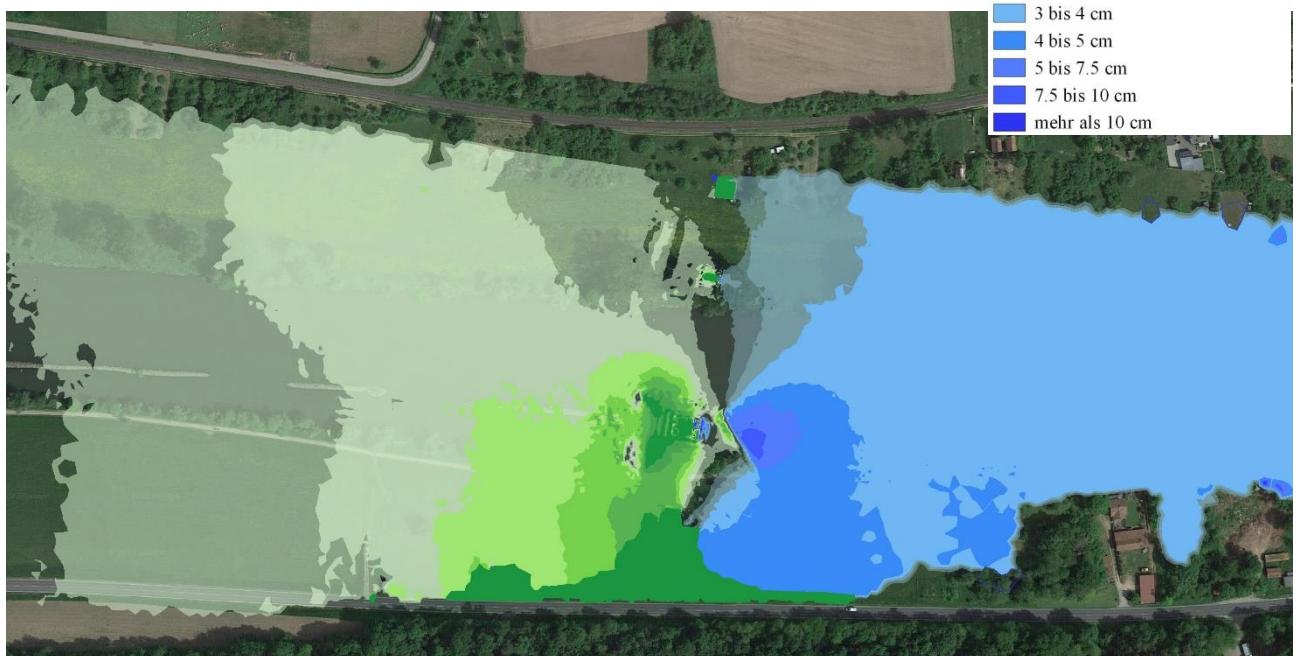
Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HSQ



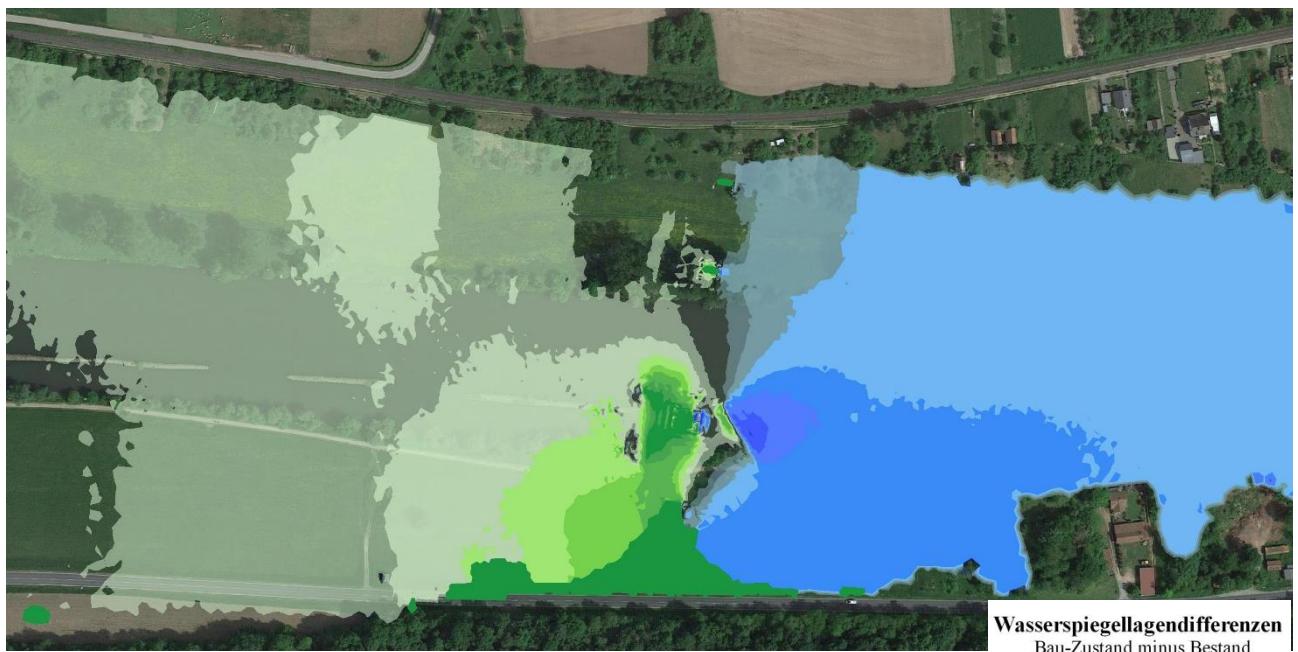
Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₅



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₂₀



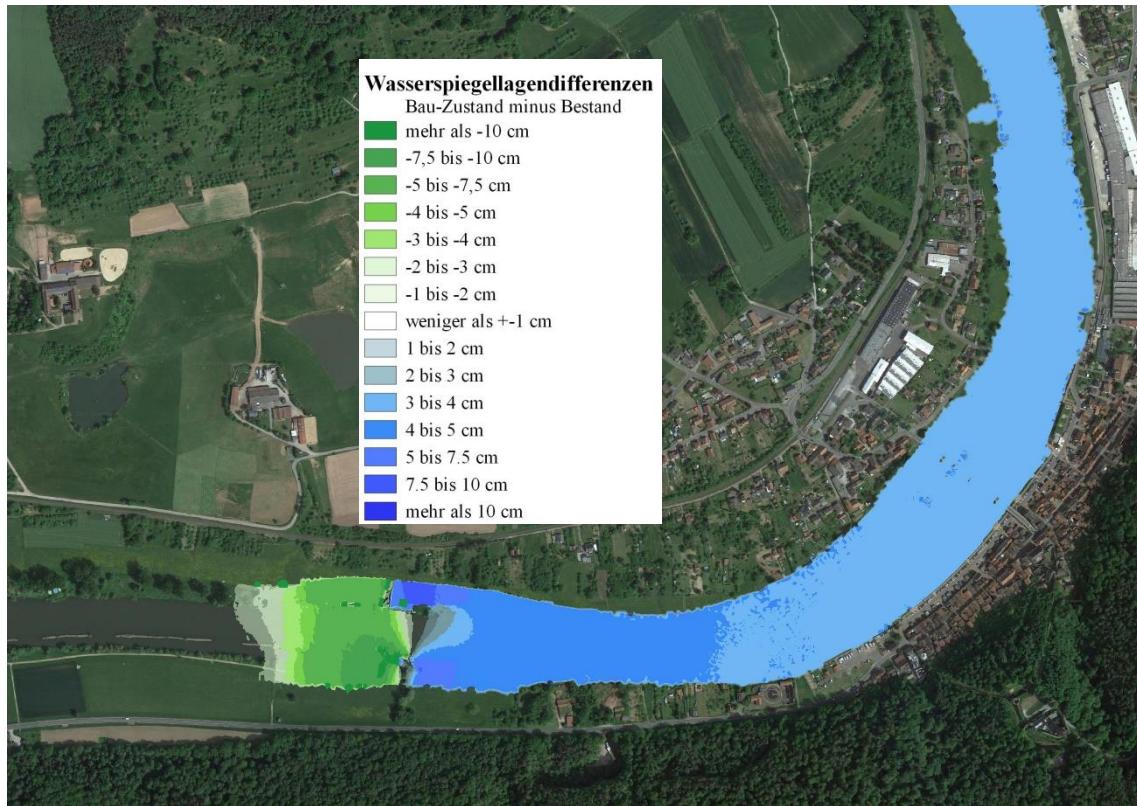
Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₅₀



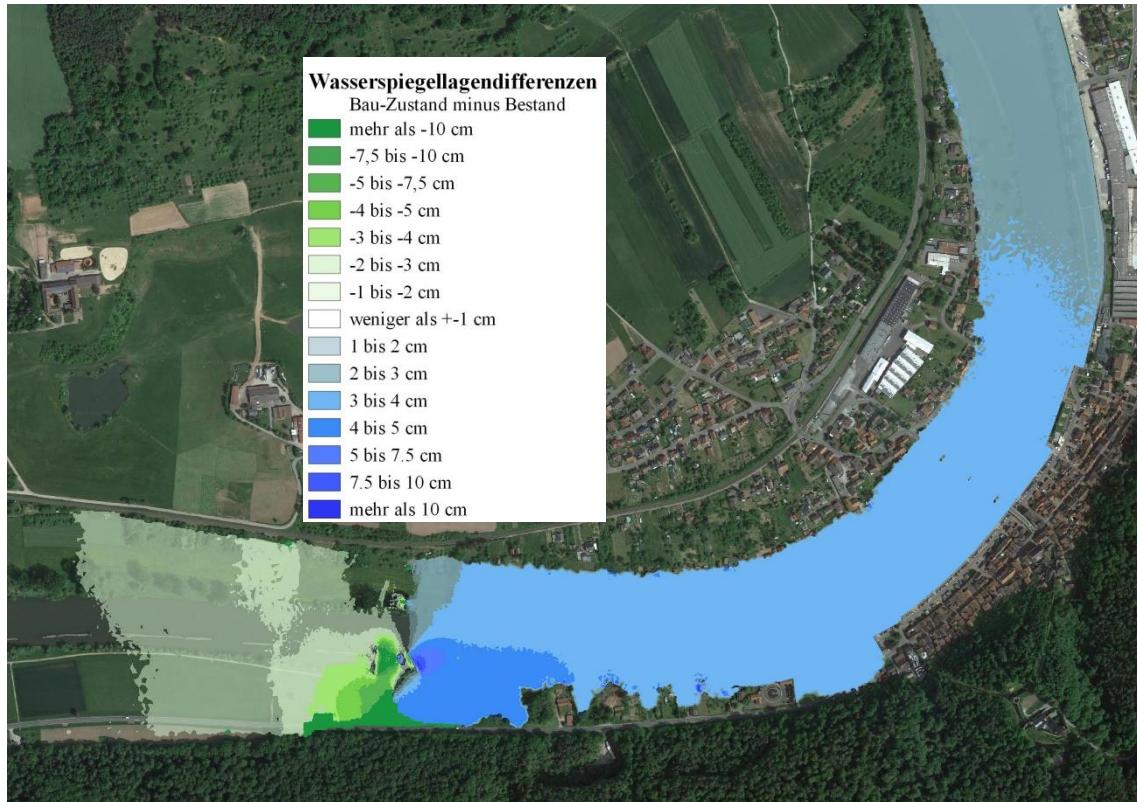
Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₁₀₀



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HSQ – Übersicht



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₁₀₀ – Übersicht



Anhang 7

Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Bestand und Plan-Zustand bzw. Bau-Zustand in m/s

(Darstellung ab $\pm 0,1$ m/s)

Plan-Zustand minus Bestand – MQ



Plan-Zustand minus Bestand – HSQ



Plan-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀



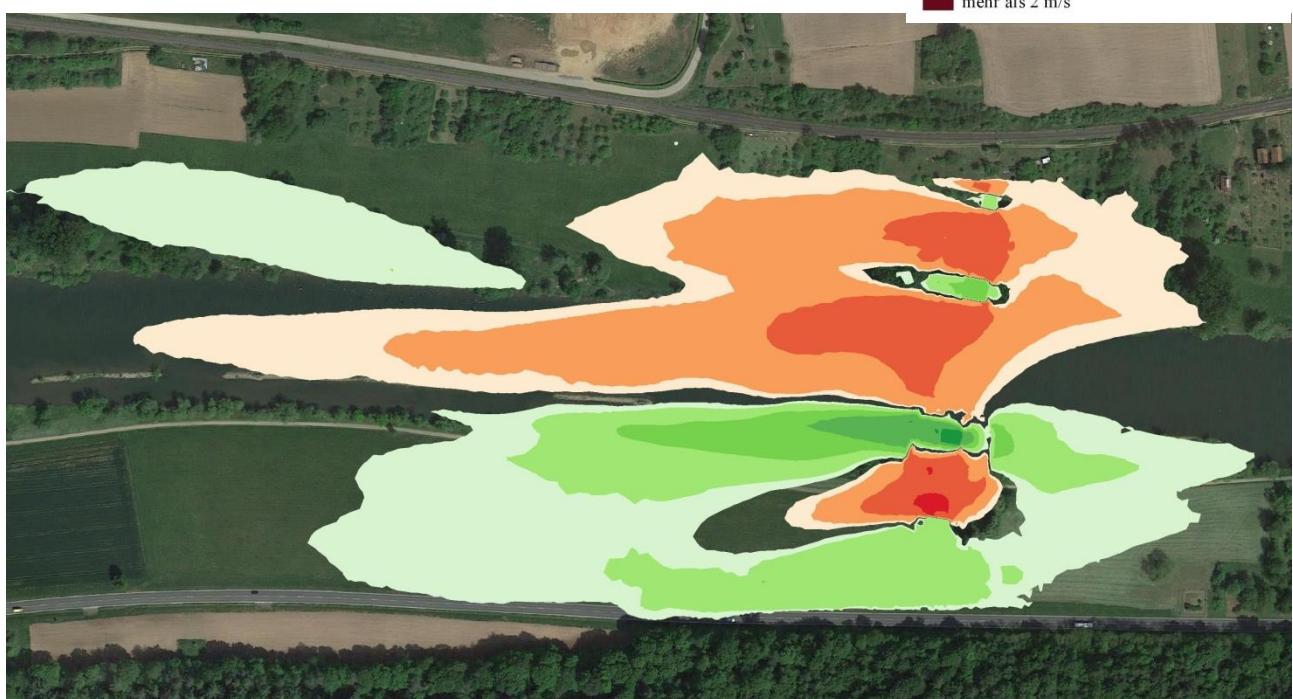
Bau-Zustand minus Bestand – MQ



Bau-Zustand minus Bestand – HSQ



Bau-Zustand minus Bestand – HQ₁₀₀



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – MQ



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HSQ



Bau-Zustand (V2) minus Bestand – HQ₁₀₀



Differenzen der Fließgeschwindigkeiten

Bau-Zustand minus Bestand
mehr als -2 m/s
-2 bis -1 m/s
-1 bis -0,5 m/s
-0,5 bis -0,2 m/s
-0,2 bis -0,1 m/s
weniger als +0,1 m/s
0,1 bis 0,2 m/s
0,2 bis 0,5 m/s
0,5 bis 1 m/s
1 bis 2 m/s
mehr als 2 m/s