



**Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg
Abteilung Naturschutz Wasser und Boden**

Verbundprojekt Hochwasserschutz Boizenburg

Rückdeichung Hafendeich, Sude Hochwassersperrwerk Boizenburg
und Erhöhung Elbedeich Mahnkenwerder

PLANFESTSTELLUNGSUNTERLAGEN

Stand 18.03.2022

Teil D

Hydraulische Untersuchungen der Retentionsfläche



Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen Raums

Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete.



Teilprojekt: HWS Boizenburg – Rückdeichung Hafendeich

Dieses Projekt ist kofinanziert aus Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe des Bundes und der Länder „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ und wird in Zuständigkeit des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern umgesetzt.



Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)



Nationales Hochwasserschutzprogramm

Teilprojekt: HWS Boizenburg – Sude Hochwassersperrwerk Boizenburg

Dieses Projekt ist finanziert aus dem Sonderrahmenplan „Präventiver Hochwasserschutz“ (SRP) im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe des Bundes und der Länder „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ und wird in Zuständigkeit des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern umgesetzt.
Der Bundesanteil der Förderung beträgt 60 Prozent, der jeweilige Landesanteil 40 Prozent.

INHALT

1	Allgemeines	5
1.1	Veranlassung	5
1.2	Zielstellung	6
2	Datengrundlage	8
2.1	Lage- und Höhensystem	8
2.2	Topographische Daten / Laserscanning	8
2.3	Vermessungsdaten	8
2.4	Aktuelle Planungsunterlagen	8
2.5	Hydrologische Daten	8
2.6	Rauheitsverhältnisse / Landnutzung	9
2.7	Ergebnisse der Begehung	10
3	Numerisches Strömungsmodell	11
3.1	Verwendete Software / Rechenkern	11
3.2	Das Elbemodell	11
3.3	Modellerweiterung	12
3.4	Modellanpassung	13
3.5	Modellrandbedingungen	16
4	Berechnungen	17
4.1	Varianten / Rechenläufe	17
4.2	Ergebnisse	18
5	Fazit	21
6	Literatur und Quellen	22
6.1	Gesetze und Regelwerke	22
6.2	Sonstige Literatur	22
6.3	Webseiten	23

ABBILDUNGSVERZECHNIS

Abbildung 1-1:	Übersicht Untersuchungsgebiet für die hydraulischen Berechnungen zur Retentionsfläche (Hintergrund: www.google.de).	5
Abbildung 2-1:	Abfluss am Pegel Neu Darchau bei Hochwasser 2013 [6].	9
Abbildung 3-1:	Ausschnitt aus Elbmodell (blau) mit Boizenburg (gelb – Elbekilometrierung).	12
Abbildung 3-2:	Modellerweiterung (rot) in Boizenburg (gelb – Elbekilometrierung).	12
Abbildung 3-3:	Maßnahmen in der Retentionsfläche (grün - Rückbau/Teilrückbau, orange – Neubau/Neuanlage, gelb – Elbekilometrierung, rot – 2D-HN-Modell).	14
Abbildung 3-4:	Neue Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit im 2D-HN-Modell (Ausschnitt Bereich Retentionsfläche).	15
Abbildung 4-1:	Überschwemmungsfläche bei einem Wasserstand von 8,38 m NHN am Pegel Boizenburg.	20

TABELLENVERZECHNIS

Tabelle 2-1:	Landnutzung und Reibungsbeiwerte im Elbmodell (E-Mail IWU vom 18.3.2021).	10
Tabelle 2-2:	Landnutzung und Reibungsbeiwerte in der Retentionsfläche.	10

ANLAGEN

Anlage 1	Verteilung Landnutzung im 2D-HN-Modell
Anlage 2	Darstellung der maximalen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten beim Bemessungshochwasser HQ ₁₀₀ (Variante 4, stationäre Berechnung)
Anlage 3	Ablauf Flutung Retentionsfläche, Ganglinie HW 2013 (Variante 4, instationäre Berechnung)
Anlage 4	Darstellung der Fließgeschwindigkeiten, Ganglinie HW 2013 (Variante 4, instationäre Berechnung)

1 ALLGEMEINES

1.1 Veranlassung

Träger des Vorhabens ist das

Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg, Abteilung 4 - Naturschutz, Wasser und Boden,
Bleicherufer 13, 19053 Schwerin.

Planfeststellungsbehörde für das Vorhaben ist das

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie,
Dezernat 340 - Wasserbau, Planfeststellungen, Plangenehmigungen
Goldberger Str. 12, 18273 Güstrow.



Abbildung 1-1: Übersicht Untersuchungsgebiet für die hydraulischen Berechnungen zur Retentionsfläche (Hintergrund: www.google.de).

Die Stadt Boizenburg wird bei Hochwasser mittels Schutzanlagen vor Überflutungen durch die Elbe geschützt. Auf Grundlage der im „Hochwasserschutzkonzept Elbe“ [6] durchgeführten Defizitanalyse ergab sich mit dem Ansatz einer neuen Bemessungshochwasser(BHW)-Linie aus dem Jahre 2015 [7] von 11,37 m NHN am Pegel Boizenburg für den Bereich des Hafendeichs in Boizenburg ein mittleres **Freiborddefizit** von 0,77 m. Im Bereich Gothmann weisen die Elbedeiche ein Defizit von 0,45 m auf.

Zur Behebung des bestehenden Freiborddefizits sind im „Hochwasserschutzkonzept Elbe“ [6] für das Gebiet zwischen dem Hafen Boizenburg und der Landesgrenze zu Niedersachsen grundsätzlich drei verschiedene Lösungsansätze aufgeführt worden. Die Ingenieurgesellschaft Ramboll /

iKD (kurz INGE) wurde im Dezember 2018 vom StALU WM mit der Erstellung einer Nutzwertanalyse (NWA) beauftragt, um eine Zielvariante der drei vorgestellten Lösungen zu finden. Im Ergebnis wurde die Variante 1 –Rückverlegung Hafendeich (dabei Neubau Altstadtdeich Boizenburg), Neubau des Sude Hochwassersperrwerks bei der Ortschaft Gothmann und Erhöhung Elbedeich Mahnkenwerder – favorisiert [8].

1.2 Zielstellung

Die Rückverlegung des Hafendeiches führt zu einer häufigeren Überflutung in der sogenannten Retentionsfläche südlich von Boizenburg. Die Retentionsfläche wird im Süden und Westen durch den Rechten Sudedeich, im Norden durch den Hafendeich Boizenburg und im Osten durch den neu zu errichtenden Altstadtdeich Boizenburg begrenzt. Der Untersuchungsbereich bei Boizenburg ist in Abbildung 1-1 dargestellt.

Zur Maßnahme „Öffnung der Retentionsfläche“ gehören folgende Einzelmaßnahmen:

- Rückbau Hafendeich Boizenburg
- Errichtung Ein- und Auslaufbauwerk Retentionsfläche
- Herstellung Graben am Altendorfer Weg
- Rückbau Rechter Sudedeich Boizenburg
- Herstellung Überlaufstrecke Sudedeich
- Herstellung Überlaufstrecke Elbedeich
- Herstellung Mulde zwischen Sude und Schacksgraben
- Wegebau in der Retentionsfläche

Die einzelnen Maßnahmen sind im Erläuterungsbericht Teil B, Abschnitt 5.5 genauer erläutert.

Die 2D-HN-Modellierung der Retentionsfläche sowie der angrenzender Abschnitte der Elbe, der Sude sowie der Boize dient der Bestimmung der Randbedingung für die technische Planung. Dafür wurden zwei Bemessungsereignisse vereinbart.

Das eine Bemessungsereignis ist das Hochwasser der Elbe im Juni 2013 vereinbart. Die Berechnung für dieses Ereignis wurde instationär durchgeführt. Das zweite Bemessungsereignis ist ein Hochwasser, was statistisch einmal in 100 Jahren eintritt. Für das HQ_{100} wurden stationäre Berechnungen durchgeführt, das heißt, der Abfluss wurde als konstant angenommen. Die Zuflussrandbedingungen sind detaillierter in Abschnitt 2.5 beschrieben.

Darüber hinaus wurden aus dem 2D-HN-Modell die Überschwemmungsflächen bei einem einjährigen Winterhochwasser der Elbe für die Bilanzierung im Rahmen des Landschaftspflegerischen Begleitplanes (Teil K) ermittelt. Die Ermittlung erfolgte über eine Verschneidung der Höheninformation des Scheitelwasserstandes HQ_1 am Pegel Boizenburg mit dem Geländemodell des 2D-HN-Modells.

Weitere hydraulische Untersuchungen der Elbe sind in der Unterlage „Hydraulisches Gutachten Elbe“, Teil D der Gesamtunterlage ausführlich dokumentiert. Diese Wasserspiegellagenberechnungen vom IWU, Hochschule Magdeburg haben ihren Schwerpunkt beim Gewässer Elbe. Dabei wurden stationäre Berechnungen für MNQ, MQ, HQ_5 , HQ_{10} , HQ_{20} , HQ_{50} und HQ_{100} sowie drei weitere Zwischenabflüsse durchgeführt. Als instationärer Rechenlauf wurde das Hochwasser vom Juni 2013 berücksichtigt.

Um die Auswirkungen des neu zu bauenden Sude Hochwassersperrwerkes im Sudesystem zu untersuchen, wurden weitere Wasserspiegellagenberechnungen durchgeführt. Die sind in der Unterlage „Hydraulisches Gutachten Sude Hochwassersperrwerk“, Teil D der Gesamtunterlage näher erläutert.

2 DATENGRUNDLAGE

Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurde ein Ausschnitt des sogenannten Elbmodells (vgl. Abschnitt 3.2) im Bereich der Retentionsfläche erweitert und enthält zusätzlich die Sude zwischen dem derzeitigen Sudeabschlussbauwerk und dem zukünftigen Sude Hochwassersperrwerk.

2.1 Lage- und Höhensystem

Die Bearbeitung erfolgte im Koordinatensystem ETRS89 / UTM-Zone 33 (EPSG-Code 5650). Das Höhenbezugssystem ist DHHN2016.

Im Bereich Boizenburg beträgt der Höhenunterschied zwischen den beiden Höhensystemen DHHN2016 - DHHN92 = - 0,02 m (Quelle: <https://www.laiv-mv.de/Geoinformation/Raumbezug/Transformationen/>).

Es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese Differenz keinen Einfluss auf die aus der hier beschriebenen Untersuchung abgeleiteten Bemessungsgrößen, vornehmlich Fließgeschwindigkeiten, hat.

2.2 Topographische Daten / Laserscanning

Die Angaben zu den Geländehöhen (Punkte und Bruchkanten) wurden dem DGM1 2019 [9] entnommen, das vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurde. Das DGM1 des Landes Mecklenburg-Vorpommern basiert im Bereich Boizenburg auf einer Befliegung von 2016 (Quelle: https://www.geodaten-mv.de/dienste/karten_akt_uebersicht_file/DGM1_Aktualitaet_FW.pdf) und wird im Höhenbezugssystem DE_DHHN2016_NH (Quelle: <https://www.laiv-mv.de/Geoinformation/Geobasisdaten/Gelaendemodelle/>) zur Verfügung gestellt.

2.3 Vermessungsdaten

Für die Modellerweiterung lagen verschiedenen Vermessungen von 2016 bis 2019 vor ([10], [11], [13], [14]). Der Bestandsplan Elbe wurde in der Version von 2008 genutzt [12]

Für den nördlichen Schacksgraben lagen Sohlpunkte aus der Deichvermessung 2016 [11] vor. Der Flussschlauch der Sudeschlauch basiert auf den Daten von 2017 [13].

2.4 Aktuelle Planungsunterlagen

Im 2D-HN-Modell wurden die Planungen zum Neubau Boizenburger Altstadtdeich (Erläuterungsbericht Teil B, Abschnitt 5.2.5) sowie die weiteren Planungen zur Öffnung der Retentionsfläche (Erläuterungsbericht Teil B, Abschnitt 5.5) integriert. Damit können die hydraulischen Randbedingungen für die zu planenden Bauwerke ermittelt werden.

2.5 Hydrologische Daten

Für die Bestimmung der hydraulischen Randbedingung für die Bemessung der wasserbaulichen Maßnahmen wurden das HQ₁₀₀ sowie das Hochwasserereignis von 2013 als Bemessungshochwasser gewählt.

Die Berechnung für das HQ_{100} erfolgte stationär mit einem über die Zeit konstanten Abfluss von $4367 \text{ m}^3/\text{s}$. Der zugehörige Wasserstand am Pegel Boizenburg beträgt laut Bericht BfG-1848 [21] 758 cm . Unter Berücksichtigung der Höhe des Pegelnullpunktes von $3,79 \text{ m}$ NHN entspricht dies einem Wasserstand von $11,37 \text{ m}$ NHN.

Die Berechnung für das Hochwasser 2013 erfolgte instationär. Die zeitabhängigen Abflüsse wurden dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 2013 [6] entnommen.

Als Zuflussganglinie wurde der zeitabhängige Abfluss (Tageswerte) vom Pegel Neu Darchau im Zeitraum vom 28.05.2013 bis zum 18.07.2013 verwendet. Der Pegel Neu Darchau wurde gewählt, weil er in der Nähe des Zuflussrandes des 2D-HN-Modells liegt.

Der gemessene Wasserstand am Pegel Boizenburg beim Hochwasser 2013 betrug 732 cm [15]. Damit betrug der Wasserstand $11,11 \text{ m}$ NHN.

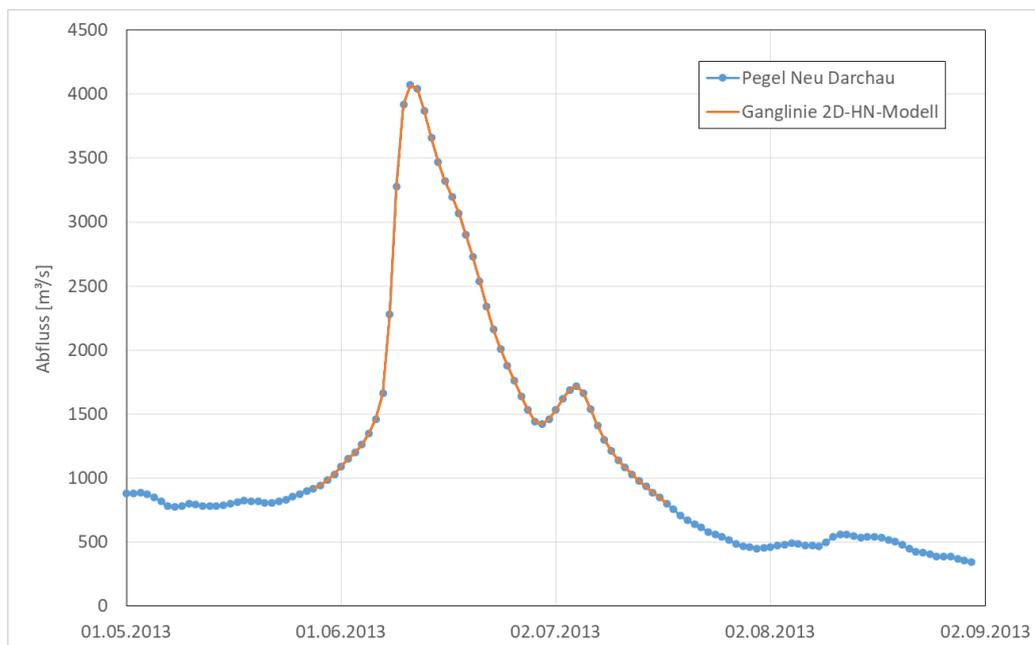


Abbildung 2-1: Abfluss am Pegel Neu Darchau bei Hochwasser 2013 [6].

Als Grundlage für den Landschaftspflegerischen Begleitplan (Teil K) sollten die durch die Baumaßnahmen zusätzlich überschwemmten Flächen bei einem einjährigen Winterhochwasser der Elbe ermittelt werden. Dies entspricht einem Wasserstand am Pegel Boizenburg von 459 cm [16]. Unter Berücksichtigung der Höhe des Pegelnullpunktes von $3,79 \text{ m}$ NHN entspricht dies einem Wasserstand von $8,38 \text{ m}$ NHN.

2.6 Rauheitsverhältnisse / Landnutzung

Der Einfluss der Oberflächenrauheit auf den Abfluss des Wassers wird im 2D-HN-Modell über die Wahl eines Reibungsbeiwertes nach Strickler berücksichtigt. Dieser wird in Abhängigkeit von der Landnutzung bzw. vom Bewuchs gewählt.

Für den Teil des 2D-HN-Modells, der aus dem Elbmodell [17] übernommen wurde, blieb der Reibungsbeiwert nach Strickler unverändert. Die entsprechenden Landnutzungen sowie die zugehörigen Reibungsbeiwerte finden sich in Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Landnutzung und Reibungsbeiwerte im Elbemodell (E-Mail IWU vom 18.3.2021).

Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit	Reibungsbeiwert nach Strickler [$m^{1/3}/s$]
Wald	7
Gehölz	7
Acker	25
Krautige Vegetation	25
Bebauung	25
Gewässer	30
Elbe	30

Im Zuge der Erweiterung des hydro-numerischen Modells wurden weitere Landnutzungsklassen bzw. Bewuchsklassen für die Retentionsfläche eingeführt, um die verschiedenen Biotope detailliert abbilden zu können. Die zusätzlichen Landnutzungsklassen in der Retentionsfläche wurden auf der Grundlage der Katasterdaten [18] und des Luftbildes [22] klassifiziert.

Die zusätzlichen Landnutzungsklassen haben keinen Einfluss auf die Strömung im Flussschlauch der Elbe, da nach der Flutung der Retentionsfläche sich in dieser nur sehr geringe Fließgeschwindigkeiten einstellen.

Tabelle 2-2: Landnutzung und Reibungsbeiwerte in der Retentionsfläche.

Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit	Reibungsbeiwert nach Strickler [$m^{1/3}/s$]
Sohlsicherung	28
Sträucher	20
Röhricht	22
Weg-Schotterrasen	30
Weg-Pflastersteine	40
Grünland	25

Die entsprechenden Landnutzungen sowie die zugehörigen Reibungsbeiwerte für die Retentionsfläche finden sich in Tabelle 2-2.

2.7 Ergebnisse der Begehung

Von September 2017 bis zum Oktober 2020 fanden mehrere Ortsbegehungen im Untersuchungsgebiet statt.

Bei den Ortsterminen wurden insbesondere die Verhältnisse bezüglich der Landnutzung und Oberflächenbeschaffenheit in der Retentionsfläche bewertet. Dies wurde bei der Wahl der Reibungsbeiwerte nach Strickler (vgl. Abschnitt 2.6) berücksichtigt.

3 NUMERISCHES STRÖMUNGSMODELL

3.1 Verwendete Software / Rechenkern

Für die Modellerstellung sowie die Datenauswertung wurde die Software Surface-Water Modeling System (SMS) von AQUAVEO (Provo, Utah, USA) in der Version 10.1. verwendet. Als Rechenkern wurde HYDRO_AS-2D von Hydrotec (Aachen) in der Version 2.2.2 eingesetzt.

3.2 Das Elbemodell

Im Untersuchungsgebiet bestand das sogenannte Elbemodell, das von der Hochschule Magdeburg-Stendal, Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz (IWU) im Auftrag des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) erstellt wurde [17]. Veranlassung für die Erstellung des Modells waren Planungen zu abflussverbessernden Maßnahmen an der unteren Mittelelbe [7].

Das zweidimensionale hydro-numerische Modell der unteren Mittelelbe (Elbemodell) umfasst die niedersächsische Elbe von der Grenze zu Sachsen-Anhalt bis zur Wehranlage Geesthacht. Der Stand der Datengrundlage für das Modell ist 2015/2016.

Das Elbemodell liegt im Koordinatensystem ETRS89 / UTM-Zone 32 (EPSG-Code 5650) vor. Die zugrunde liegenden Höheninformationen lagen mehrheitlich im Bezugssystem DHHN92 vor. Es wurden jedoch auch Daten mit dem Höhenbezugssystem DHHN2016 verwendet.

Das Modell wurde aus Dreiecks- und Viereckselementen aufgebaut und bildet die Geländetopographie detailliert ab. Dabei besitzen die Elemente in den Elbevorländern Kantenlängen von 6 m bis 8 m. Im Hauptgerinne der Elbe wurden Viereckselemente mit Kantenlängen von maximal ca. 12 m verwendet. Über große Abschnitte bilden die Elbedeiche die seitliche Begrenzung des Modells.

Das Modell wurde am Hochwasserereignis 2013 recalibriert. Deshalb ist in dem Modell der Sommerbewuchs berücksichtigt (vgl. Abschnitt 0).

Das Elbemodell erstreckt sich von Geesthacht bis Schnackenburg und umfasst eine Fließstrecke von ca. 135 km von Elbe-km 475 bis Elbe-km 585,9 [17]. Damit ist auch der Elbeabschnitt bei Boizenburg mit der Boize sowie der Sude zwischen Elbemündung und Sudeabschlussbauwerk enthalten.

Für die Modellierung zu den Maßnahmen in Boizenburg wurde ein Modellausschnitt vom IWU zur Verfügung gestellt. Dieser erstreckt sich von Barförde bis Bleckede und damit von Elbe-km 563,5 bis Elbe-km 549,75 (Abbildung 3-1). Das Modell umfasst eine Fließstrecke der Elbe von ca. 13,75 km.

In diesem Modellausschnitt waren folgende Flächen nicht enthalten und mussten ergänzt werden:

- Sude zwischen Sudeabschlussbauwerk und neuem Sude Hochwassersperrwerk
- Rechter Sudedeich
- Retentionsfläche
- Neubau Altstadtdeich Boizenburg

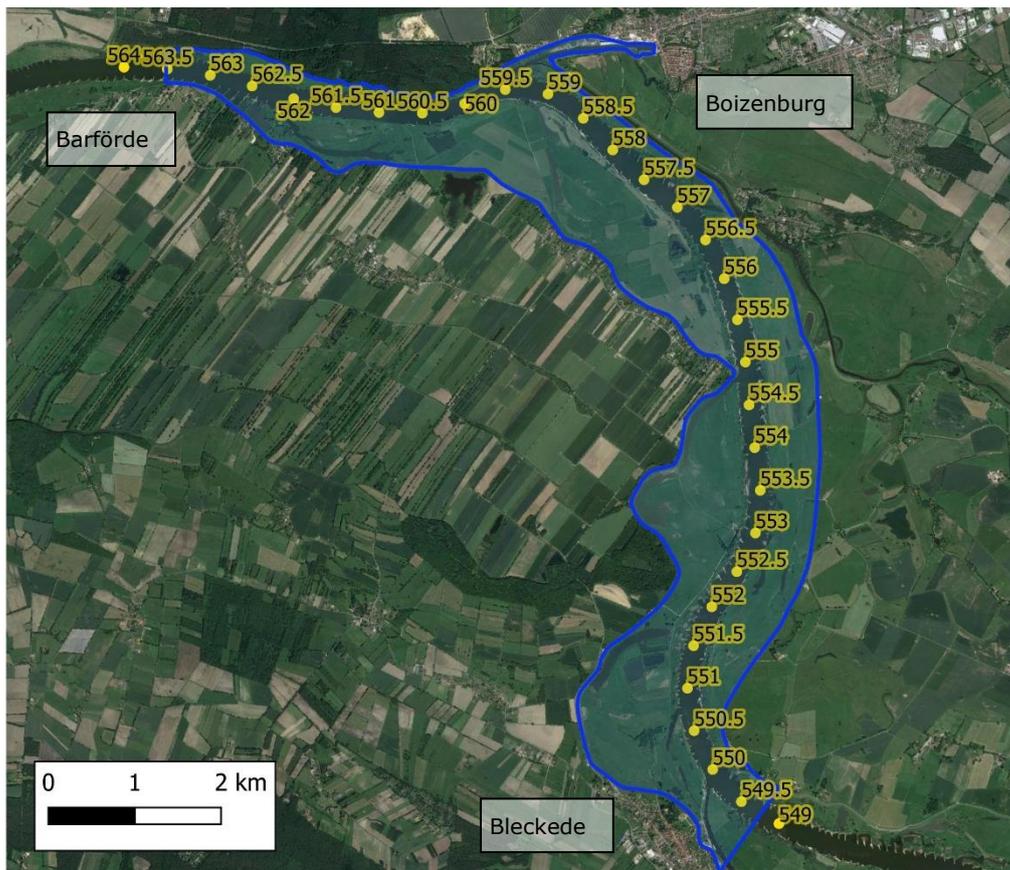


Abbildung 3-1: Ausschnitt aus Elbemodell (blau) mit Boizenburg (gelb – Elbekilometrierung).

3.3 Modellerweiterung

Für die Modellierung der Maßnahmen in Boizenburg musste der übergebene Ausschnitt des Elbemodells erweitert werden (Abbildung 3-2).

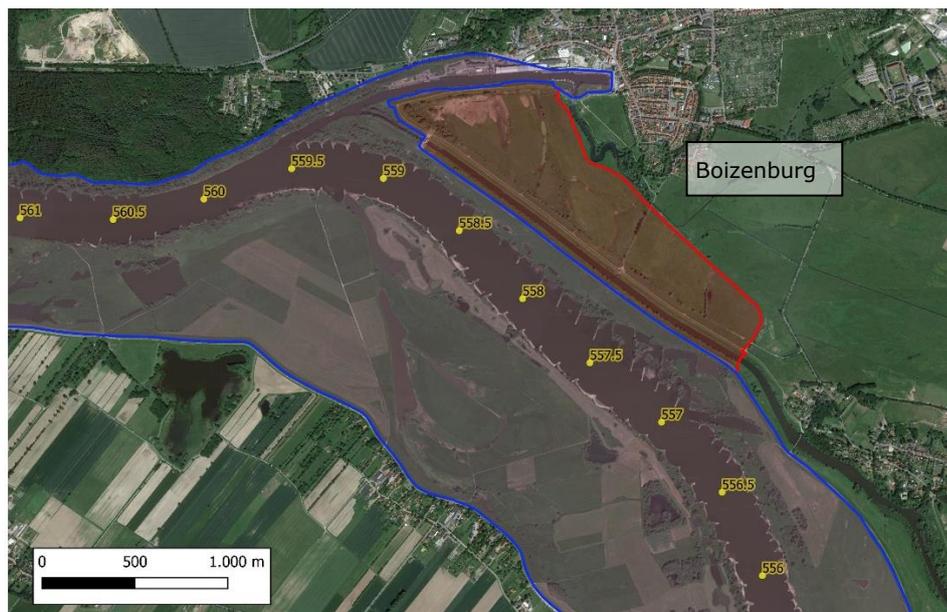


Abbildung 3-2: Modellerweiterung (rot) in Boizenburg (gelb – Elbekilometrierung).

Die Modellerweiterung wurde mit folgenden Schritten umgesetzt:

- Netzerstellung/Vermaschung für den Boizenburger Altstadtdeich auf Basis der 3D-Bruchkanten (Deichplanung)
- Netzerstellung/Vermaschung für den Flussschlauch der Sude und den Rechten Sude-deich zwischen Sudeabschlussbauwerk und neuem Sude Hochwassersperrwerk auf der Basis von 3D Bruchkanten und Querprofilen
- Netzerstellung/Vermaschung für die Retentionsfläche auf der Grundlage von automatisch ausgedünntem DGM-Punkten und DGM-Bruchkanten
- Zusammenführung der Teilnetze Boizenburger Altstadtdeich, Sude und Retentionsfläche
- Definition der Landnutzung für die Modellerweiterung auf der Grundlage der Luftbilder und der Ergebnisse der Ortsbegehungen
- Anschluss der Modellerweiterung an den Ausschnitt des Elbmodells

Zum Abschluss erfolgte eine softwareinterne Netzprüfung und Qualitätskontrolle.

3.4 Modellanpassung

Die im Bereich Boizenburg geplanten Maßnahmen sind im Erläuterungsbericht Teil B, Abschnitt 5.5 genauer beschrieben. Folgende Maßnahmen wurden bei der Modellanpassung berücksichtigt:

- Rückbau Hafendeich Boizenburg
- Errichtung Ein- und Auslaufbauwerk Retentionsfläche
- Herstellung Graben am Altendorfer Weg
- Rückbau Rechter Sudedeich Boizenburg
- Herstellung Überlaufstrecke Sudedeich
- Herstellung Überlaufstrecke Elbedeich
- Herstellung Mulde zwischen Sude und Schacksgraben
- Wegebau in der Retentionsfläche

Die Lage der Maßnahmen ist in Abbildung 3-3 verdeutlicht.

Der Hafendeich Boizenburg sowie ein Abschnitt des rechten Sudedeiches sollen abgetragen werden. Die Anschlussbereiche vom Hafendeich zum verbleibenden rechten Sudedeich und zum neuen Boizenburger Altstadtdeich werden über Fußwegrampen (1:17) gewährleistet. Der Anschluss vom rückzubauenden Abschnitt des Sudedeiches zu den verbleibenden Abschnitten wird über steilere Rampen 1:10 gewährleistet. Darüber hinaus werden zur Herstellung der beiden Überlaufstrecken im Sudedeich und im Elbedeich Teile der Deiche abgetragen. Auch hier erfolgt der Übergang zu den verbleibenden Deichabschnitten mit Rampen 1:17.

In all diesen Bereichen wurde die Höhe der Modellknotenpunkte entsprechend der Planung abgesenkt.

Für das Ein- und Auslaufbauwerk der Retentionsfläche erfolgte eine Vordimensionierung unter Berücksichtigung folgender hydraulischer Randbedingungen:

- mittlerer Wasserstand im Schacksgraben: 5,85 m NHN
- Oberkante Fußgängerbrücke = Höhe Rückbau Hafendeich: 7,00 m NHN

- Unterkante Fußgängerbrücke: 6,70 m NHN
- Höhe Gerinnesohle Ein- und Auslaufbauwerk: 6,00 m NHN (unter Berücksichtigung der Begrenzung der Absturzhöhe an der Fußgängerbrücke auf 1,00 m)

Für die Vordimensionierung wurde eine maximale Steigrade des Wasserspiegels in der Elbe und damit auch im Hafengebiet (Boize) von 4,3 cm/h zu Grunde gelegt. Diese maximale Steigrade wurde aus der Hochwasserganglinie der Elbe im Juni 2013 (vgl. Abschnitt 2.5 und Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 2013 [6]) abgeleitet. Folgende hydraulische Zustände wurden berücksichtigt:

- Wasserstand 5,85 m NHN bis 6,00 m NHN (Gerinnesohle): Flutung und Abstau über Rohrleitung DN 500
- Wasserstand 6,00 m NHN bis 6,70 m NHN (Unterkante Fußgängerbrücke): Flutung und Abstau über Rohrleitung DN 500 und Gerinne (Freispiegelabfluss)
- Wasserstand 6,70 m NHN bis 7,00 m NHN (Oberkante Fußgängerbrücke): Flutung und Abstau über Rohrleitung DN 500 und Gerinne (Druckabfluss im Bereich der Fußgängerbrücke)
- Wasserstand > 7,00 m NHN (Oberkante Fußgängerbrücke): Flutung und Abstau über Rohrleitung DN 500, Gerinne (Druckabfluss) und den gesamten Bereich des rückgebauten Hafendeiches Boizenburg (Abfluss über breitkroniges Wehr)

Aus der Vordimensionierung wurde die Breite des Gerinnes für den Zu- und Ablauf abgeleitet. Das Gerinne sowie die Brücke (Modellrandbedingung: Konstruktionsunterkante) wurden in das 2D-HN-Modell integriert und die Reibungsbeiwerte angepasst. In mehreren Rechengängen erfolgte eine Optimierung der Gerinneanzahl und -breite mit dem 2D-HN-Modell. Dies ist in Abschnitt 4.1 näher erläutert.

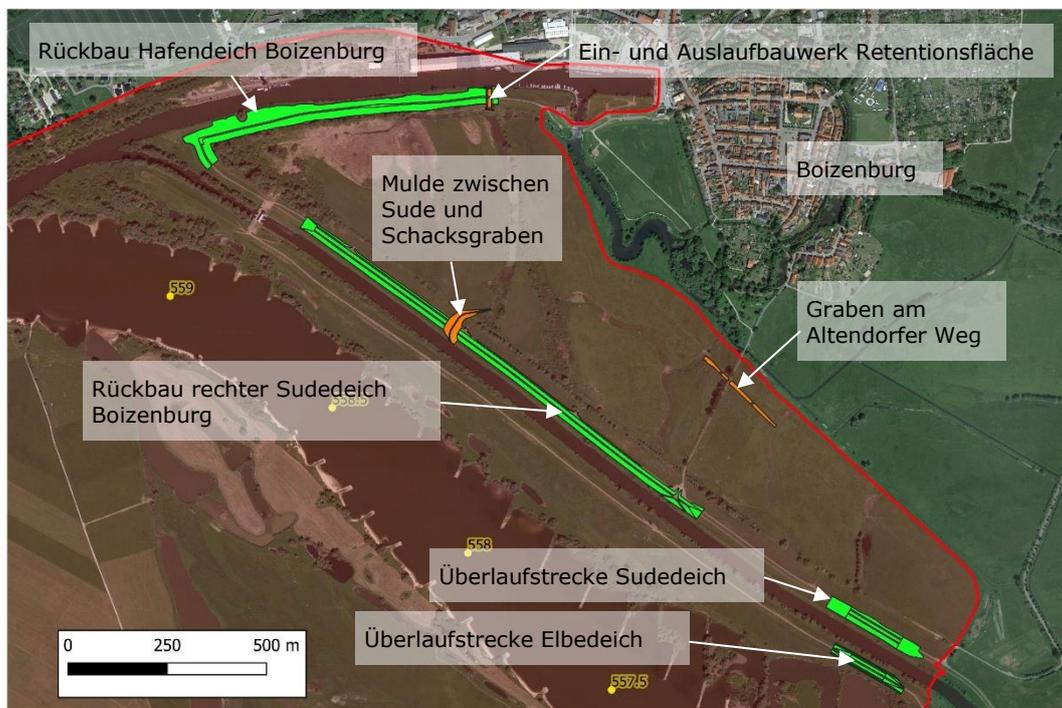


Abbildung 3-3: Maßnahmen in der Retentionsfläche (grün - Rückbau/Teilrückbau, orange - Neubau/Neuanlage, gelb - Elbekilometrierung, rot - 2D-HN-Modell).

Für den ökologischen Anschluss der Sude an den Schacksgraben und damit an die Retentionsfläche wurde eine Mulde zwischen Sude und Schacksgraben geplant. Zur Flutung bzw. Entwässerung des östlichen Teiles der Retentionsfläche wird ein Graben am Altendorfer Weg, parallel zum neu zu errichtenden Altstadtdeich Boizenburg hergestellt. Der Graben quert den Altendorfer Weg mit einem Rohrdurchlass.

Für diese beiden Maßnahmen wurden die betroffenen Modellknoten abgesenkt und die Reibungsbeiwerte angepasst. Der Durchlass wurde mit einer entsprechenden Randbedingung (No-destring) in das Modell integriert.

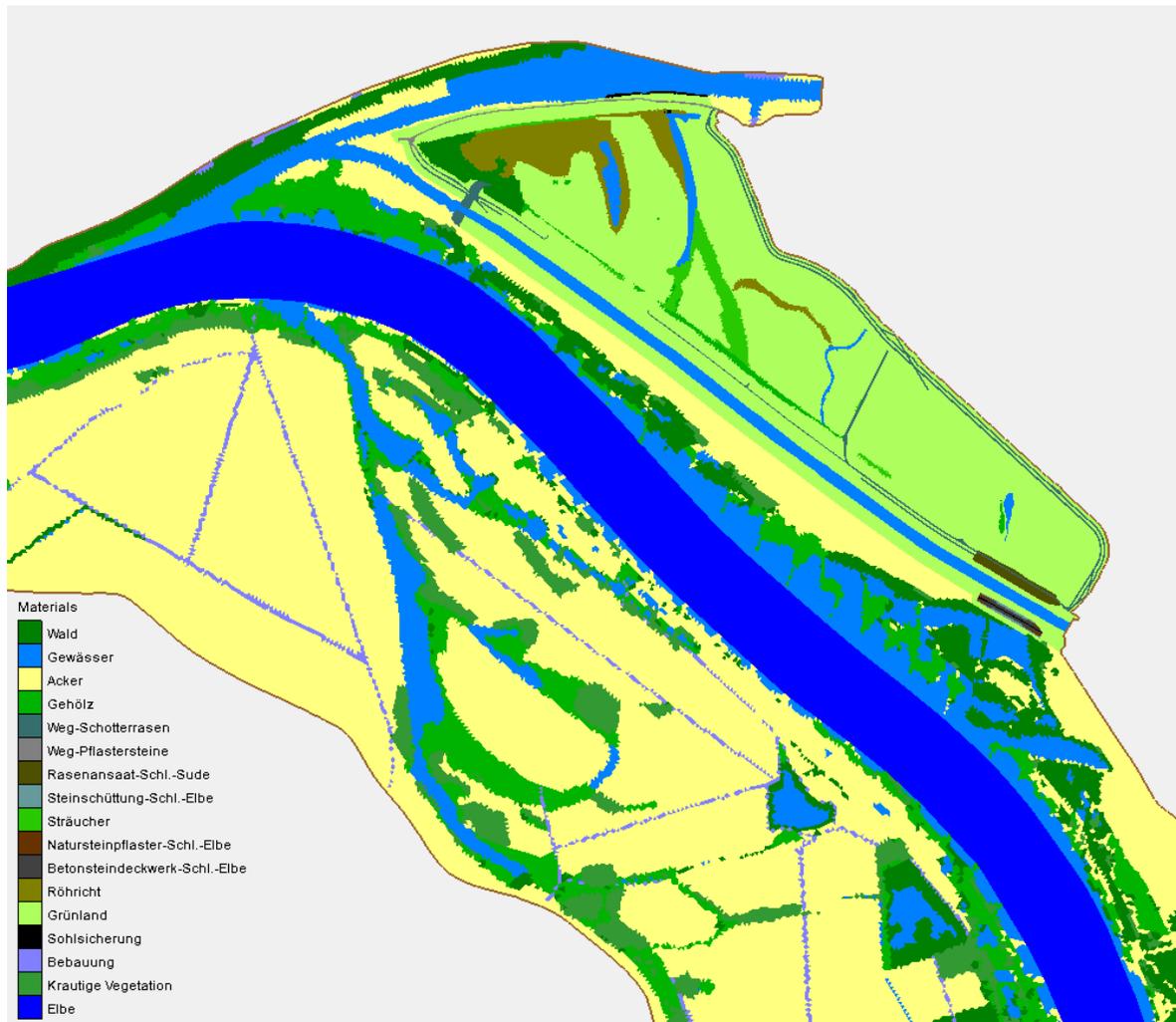


Abbildung 3-4: Neue Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit im 2D-HN-Modell (Ausschnitt Bereich Retentionsfläche).

Zusätzlich zu den eigentlichen Baumaßnahmen ergaben sich durch den Wegebau noch Änderungen hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit von Teilbereichen in der Retentionsfläche. Auf dem Deichverteidigungsweg am rechten Sudedeich östlich des Altendorfer Weges soll für den zukünftigen Wirtschaftsweg das alte Pflaster durch Schotterrasen ersetzt werden. Am Altendorfer Weg wird der Asphalt entfernt und ebenfalls durch Schotterrasen ersetzt. Darüber hinaus ändert sich die Lage des Weges am Hafendeich Boizenburg. Der neue Weg wird nach dem Rückbau des Hafendeiches weiter nördlich verlaufen.

Die Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit für das gesamte 2D-HN-Modell ist in Anlage 1 zu finden. Ein Ausschnitt im Bereich der Retentionsfläche ist in Abbildung 3-4 zu sehen.

3.5 Modellrandbedingungen

Für die Berechnung der Wasserspiegellagen bei dem Hochwasserereignis 2013 wurde am oberen Modellrand eine Zuflussganglinie mit dem zeitabhängigen Abfluss (Tageswerte) vom Pegel Neu Darchau im Zeitraum vom 28.05.2013 bis zum 18.07.2013 verwendet (siehe Abschnitt 2.5).

Bei den Berechnungen mit dem 2D-HN-Modell wurden vier Varianten betrachtet (siehe Abschnitt 4.1). Für die Vorberechnungen im 2D-HN-Modell (Varianten 1 bis 3) wurde untere Randbedingung zunächst ein Energieliniengefälle von 0,49 ‰ (Quelle: E-Mail IWU an iKD vom 18.3.2021).

Bei der finalen Berechnung zur Überprüfung der geplanten baulichen Maßnahmen (Variante 4) wurde überprüft, dass der Wasserstand im 2D-HN-Modell mit den gemessenen Wasserständen am Pegel Boizenburg bei einem HQ_{100} bzw. beim Hochwasserereignis 2013 übereinstimmt.

Für ein HQ_{100} wird der Wasserstand mit 11,37 m NHN angegeben. Beim Hochwasser im Juni 2013 lag der Scheitel bei 11,11 m NHN (vgl. Abschnitt 2.5).

Das hier betrachtete 2D-HN-Modell von Elbe-km 563,5 bis Elbe-km 549,75 sollte die Strömungsverhältnisse in der Retentionsfläche untersuchen. Die Untersuchung der Abflusssituation in der Elbe erfolgt mit dem Elbmodell (vgl. Abschnitt 3.2). Um die Strömung der Elbe gut im 2D-HN-Modell der Retentionsfläche abzubilden, wurde das Elbmodell zur Bestimmung der unteren Randbedingung (Energieliniengefälle) herangezogen.

Aus dem Elbmodell wurde das sich einstellende Energieliniengefälle am Elbe-km 563,5 für das HQ_{100} und das HW2013 ausgelesen und vom IWU an iKD übergeben. Bei HQ_{100} betrug das Energieliniengefälle 0,00014 bis 0,00015. Für den Scheitelabfluss des Hochwasserereignisses 2013 wurde das Energieliniengefälle zu 0,00013 bis 0,00014 bestimmt (E-Mail Hochschule Magdeburg-Stendal an iKD vom 10.01.2022).

Für Bemessungshochwasser $HQ_{100} = 4367 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Boizenburg wurde im 2D-HN-Modell ein Energieliniengefälle von 0,145 ‰ als untere Randbedingung eingegeben. Damit wurde ein Wasserstand von 11,42 m NHN berechnet und eine gute Übereinstimmung zum Pegelwert von 11,37 m NHN erzielt.

Für das Hochwasser 2013 wurde ein Energieliniengefälle von 0,135 ‰ gewählt. Damit wurde ein Wasserstand am Pegel Boizenburg von 11,18 m NHN berechnet und eine sehr gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Wert von 11,11 m NHN erzielt.

4 BERECHNUNGEN

4.1 Varianten / Rechenläufe

Bei den Berechnungen mit dem 2D-HN-Modell wurden vier Varianten betrachtet, die im Folgenden näher erläutert werden.

Variante 1 (2 Ein- und Auslaufbauwerke)

Im 2D-HN-Modell sind der Rückbau des Hafendeiches Boizenburg sowie der Neubau des Altstadtdeiches Boizenburg enthalten. Auf der Trasse des rückzubauenden Hafendeiches wurden zwei Ein- und Auslaufbauwerke angeordnet. Das Modell enthält keine sonstigen Anpassungen.

Die Berechnung erfolgte mit einem Zeitschritt von $\Delta t = 3 \text{ h}$.

Variante 2 (1 Ein- und Auslaufbauwerk)

Im 2D-HN-Modell sind der Rückbau des Hafendeiches Boizenburg sowie der Neubau des Altstadtdeiches Boizenburg enthalten. Auf der Trasse des rückzubauenden Hafendeiches ist nur noch ein Ein- und Auslaufbauwerk angeordnet. Über das offene Gerinne zur Flutung wird der Weg mit einer zweifeldrigen Fußgängerbrücke geführt. Der Graben am Altendorfer Weg wurde zusammen mit dem Rohrdurchlass in das Modell integriert. Zur besseren Flutung der Retentionsfläche von der Sude aus, wurde eine Deichscharte im rechten Sudedeich ca. 80 m westlich des zukünftigen Sude Hochwassersperrwerkes angeordnet. Die Deichscharte sollte auf Höhe der Sohle bei 7,00 m NHN ca. 23 m breit und in Höhe der Deichkrone ca. 115 m breit sein. Eine Absenkung der Krone des rechten Elbedeiches wurde in dem Modell noch nicht berücksichtigt.

Die Berechnung erfolgte mit einem verkürzten Zeitschritt von $\Delta t = 40 \text{ min}$.

Variante 3 (Rohrdurchlässe)

Diese Variante basiert auf der Variante 2, jedoch wurden statt des Gerinnes mit Brücke am Ein- und Auslaufbauwerk 7 Rohrdurchlässe DN800 angeordnet.

Die Berechnung erfolgte mit einem verkürzten Zeitschritt von $\Delta t = 40 \text{ min}$.

Variante 4 (Überprüfung geplante Maßnahmen)

Grundlage bildet das Modell der Variante 2. Alle weiteren geplanten Maßnahmen wurden in das Modell eingebaut. Dazu gehören insbesondere die beiden Überlaufbereiche am rechten Sudedeich (Oberkante Überlaufstrecke bei 8,00 m NHN) und am Elbedeich (Oberkante Überlaufstrecke bei 9,00 m NHN) und der abschnittsweise Deichrückbau des rechten Sudedeiches. Der Überlaufbereich am Rechten Sudedeich ersetzt dabei die Deichscharte aus Variante 2. Das Gerinne und die Brücke am rückzubauenden Hafendeich werden auf eine lichte Weite von 10 m verändert. Die Brücke hat keinen Mittelpfeiler mehr und weist damit nur noch ein Brückenfeld aus.

Die Berechnung erfolgte mit einem Zeitschritt von $\Delta t = 40 \text{ min}$.

4.2 Ergebnisse

Rechenlauf Variante 1

Nach Ablauf der Hochwasserwelle bleibt die Fläche östlich des Altendorfer Weges eingestaut. Das Wasser kann nicht abfließen und kann nur verdunsten oder versickern. Für eine landwirtschaftliche Nutzung ist die Dauer des Einstaus zu lang.

Für die Planung werden Varianten zur Entwässerung dieser Fläche überprüft.

Durch die Annahme einer maximalen Steigrate über den gesamten Zeitraum des Hochwasserereignisses wurden die beiden Ein- und Auslaufbauwerke mit den Fußgängerbrücken sehr großzügig dimensioniert. Die berechneten Fließgeschwindigkeiten im Bereich der beiden Brücken werden als unkritisch angesehen.

Im Weiteren soll geprüft werden, ob auch ein Ein- und Auslaufbauwerk ausreichend ist.

Rechenlauf Variante 2

Auch mit nur einem Ein- und Auslaufbauwerk bleiben die Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Brücke weiter im unkritischen Bereich ($< 0,25\text{m/s}$). Der Teil der Retentionsfläche östlich des Altendorfer Weges wird durch den neu angeordneten Graben frühzeitiger geflutet und zuverlässig entwässert.

Rechenlauf Variante 3

Durch die Anordnung der Rohrdurchlässe erfolgt zu Beginn eine leicht verzögerte Flutung der Retentionsfläche. Dies gleicht sich mit weiter ansteigendem Wasserstand jedoch aus.

Trotzdem wird diese Variante nicht weiter verfolgt, da die parallel angeordneten Rohrdurchlässe ein größeres Verklauungsrisiko aufweisen.

Rechenlauf Variante 4

Diese Berechnung dient der abschließenden Ermittlung der hydraulischen Randbedingungen für die geplanten Maßnahmen und Bauwerke in der Retentionsfläche.

In Anlage 2 sind die Ergebnisse der stationären Berechnung für das Bemessungshochwasser $\text{BHW} = \text{HQ}_{100}$ dargestellt. Das Bemessungshochwasser ist maßgeblich für alle bemessungsrelevanten Wasserstände an den Bauwerken. Eine Abbildung zeigt die sich einstellenden Wassertiefen. In den anderen Abbildungen sind die berechneten Fließgeschwindigkeiten zu sehen. Die Größe der Fließgeschwindigkeit ist anhand der farblichen Darstellung und der Länge des Pfeiles erkennbar, die Fließrichtung wird über die Pfeile visualisiert. Für die Abbildungen wurden die Skalen jeweils auf die auftretenden minimalen und maximalen Fließgeschwindigkeiten gestreckt.

Aufgrund der stationären Berechnung für HQ_{100} bildet sich bei BHW nur eine sehr geringe Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Hafen und der Retentionsfläche aus. Der Wasserstand im Hafen und in der Retentionsfläche beträgt ca. 11,42 m NHN. Die maximale Fließgeschwindigkeit im Bereich Einlaufbauwerk Hafendeich beträgt 0,1 m/s. Die maximale Fließgeschwindigkeit auf den Fußgängerweg bzw. der Rampe im Bereich des abgetragenen Hafendeiches beträgt ca. 0,41 m/s. Damit ist die kritische Geschwindigkeit für Rasen (gut verwurzelt) von $v_{\text{krit}} = 1,50\text{ m/s}$ bzw. für Mittelkies/Schotterrasen von $v_{\text{krit}} = 0,8 - 1,25\text{ m/s}$ [20] eingehalten.

Bei einem HQ_{100} betragen die maximalen Fließgeschwindigkeiten in der Überlaufstrecke Elbedeich 1,21 m/s und in der Überlaufstrecke Sudedeich 0,89 m/s. Damit ist die kritische Geschwindigkeit für Rasen (gut verwurzelt) bzw. für Mittelkies/Schotterrasen nicht eingehalten. Eine Befestigung der Überlaufstrecke, z. B. mit einem Deckwerk, ist notwendig.

Aufgrund der stationären Berechnung für HQ_{100} bildet sich bei BHW nur eine sehr geringe Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Hafen und der Retentionsfläche aus. Diese Betrachtung ist zur Bestimmung der bemessungsrelevanten Fließgeschwindigkeiten somit nicht ausreichend. Deshalb wurden zusätzlich instationäre Berechnungen mit der Ganglinie des HW2013 durchgeführt. Dieses historische Hochwasser zeichnet sich durch einen relativ schnellen Anstieg des Durchflusses und damit auch des Wasserstandes aus und repräsentiert in Bezug auf die Steigrate des Wasserstandes einen eher ungünstigen Fall.

Der zeitliche Verlauf der Flutung bei einem Ereignis wie das Hochwasser 2013 ist in Anlage 3 anhand der zeitlichen Entwicklung der Wasserspiegellage dargestellt.

In Anlage 4 sind für verschiedene Bereiche der Retentionsfläche die berechneten Fließgeschwindigkeiten farbig dargestellt. Die Fließrichtung ist über Pfeile visualisiert. Für die beiden Überlaufstrecken Elbedeich und Sudedeich wurde die Geschwindigkeitsverteilung über einen Zeitraum von 8 Tagen vor und nach dem Hochwasserscheitel dargestellt.

Bei einem Hochwasserereignis wie 2013 betragen die maximalen Geschwindigkeiten in der Retentionsfläche sowie im Ein- und Auslaufbauwerk $< 1,0$ m/s. Auch in der Überlaufstrecke Sudedeich wird dieser Wert eingehalten, da die Retentionsfläche schon gefüllt ist, bevor es hier zu einem Zustrom aus der Elbe kommt. Damit ist die kritische Geschwindigkeit für Rasen (gut verwurzelt) bzw. für Mittelkies/Schotterrasen eingehalten. Aus hydraulischer Sicht müssen die Oberflächen nicht mit einem Deckwerk o. ä. befestigt werden.

Im Bereich der Überlaufstrecke Elbedeich nehmen die Fließgeschwindigkeiten beim ansteigenden Ast der Hochwasserwelle zunächst zu und erreichen ca. 3 Tage vor dem Eintreffen des Scheitels der Hochwasserwelle ein Maximum mit $v = 1,6$ m/s. Mit der zunehmenden Angleichung der Wasserstände in der Retentionsfläche an die in der Elbe nimmt die Fließgeschwindigkeit wieder ab. Beim Eintreffen des Wellenscheitels beträgt sie höchstens 1,2 m/s. Bei der Entleerung der Retentionsfläche kommt es wieder zu einer Zunahme der Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke. Ungefähr 7 Tage nach dem Eintreten des maximalen Wasserstandes erreicht die Fließgeschwindigkeit in der Überlaufschwelle ihr Maximum mit 1,67 m/s (Zeitpunkt beim Hochwasser 2013: 17.06.2013, 20:00). Die kritische Geschwindigkeit für Rasen (gut verwurzelt) bzw. Schotterrasen wird nicht mehr eingehalten. Daher ist eine Befestigung der Überlaufstrecke im Elbedeich, z. B. mit einem Deckwerk, notwendig.

Überschwemmungsgebiet $HQ_{1,w}$

Im Modell der Variante 4 sind alle geplanten Maßnahmen enthalten. Das Modell repräsentiert damit die Geländeverhältnisse mit Abschluss der Baumaßnahmen.

Auf der Basis des 2D-HN-Modells (Variante 4) wurde dann die potentiellen Überschwemmungsflächen bei einem einjährigen Winterhochwasser der Elbe ($HQ_{1,w}$) als Zuarbeit für die Bilanzierungen im Landschaftspflegerischen Begleitplan (Teil K) ermittelt.

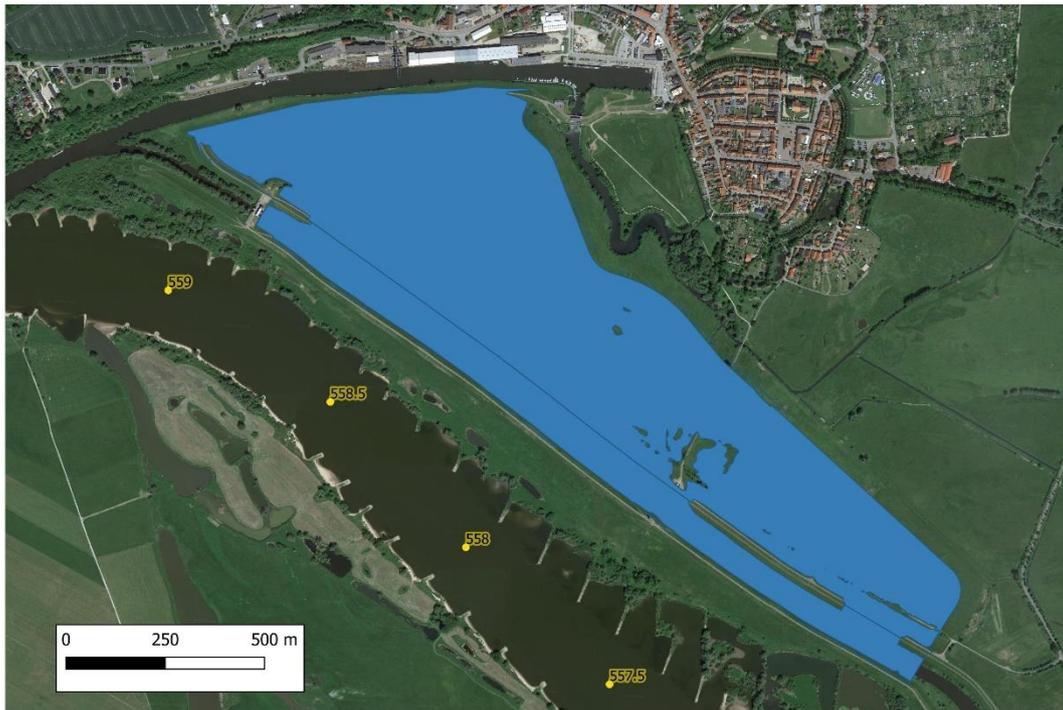


Abbildung 4-1: Überschwemmungsfläche bei einem Wasserstand von 8,38 m NHN am Pegel Boizenburg.

Das potentiell überschwemmte Gebiet bei $HQ_{1,w}$ bzw. einem Wasserstand am Pegel Boizenburg von 459 cm wurde mittels Analyse mit der Software Surface-Water Modeling System (SMS) für den gesamten Bereich des 2D-HN-Modells bestimmt (Tool: contour) und als shape-Datei exportiert. Anschließend wurde das Überschwemmungsgebiet mittels GIS auf den Bereich der Retentionsfläche zugeschnitten. Die ermittelte Fläche ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

5 FAZIT

Für die hydro-numerische Modellierung im Rahmen des Projektes Hochwasserschutz Boizenburg stand ein ca. 13,75 km langer Ausschnitt des Elbmodells des IWU der Hochschule Magdeburg zur Verfügung. Der Abschnitt erstreckt sich von Barförde bis Bleckede und damit von Elbe-km 563,5 bis Elbe-km 549,75.

Der Ausschnitt des Elbmodells wurde im Bereich der Retentionsfläche erweitert und enthält nun auch die Sude zwischen dem derzeitigen Sudeabschlussbauwerk und dem zukünftigen Sude Hochwassersperrwerk.

Als Basis für die Ermittlung der hydraulischen Randbedingungen für die geplanten Maßnahmen dienten das Bemessungshochwasser HQ_{100} (stationäre Berechnung) sowie das Hochwasser der Elbe vom Juni 2013 (instationäre Berechnung). Dieses historische Hochwasser zeichnet sich durch einen relativ schnellen Anstieg des Durchflusses und damit auch des Wasserstandes aus und repräsentiert in Bezug auf die Steigrate des Wasserstandes einen eher ungünstigen Fall.

Auf der Grundlage des erweiterten 2D-HN-Modells wurden die zusätzliche potenzielle Überschwemmungsfläche bei einem einjährigen Winterhochwasser der Elbe ermittelt sowie die hydraulischen Randbedingungen für die geplanten Maßnahmen bestimmt. Für das Ein- und Auslaufbauwerk am rückzubauenden Hafendeich Boizenburg erfolgte eine Optimierung hinsichtlich der Art, der Anzahl und der Größe des Bauwerkes.

6 LITERATUR UND QUELLEN

6.1 Gesetze und Regelwerke

- [1] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie - WRRL), zuletzt geändert am 30. Oktober 2014
- [2] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 1 d. G. vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1408)
- [3] Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist
- [4] Grundwasserverordnung (GrwV) vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist
- [5] Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWaG) Vom 30. November 1992, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 5. Juli 2018 (GVOBl. M-V S. 221, 228)

6.2 Sonstige Literatur

- [6] Hochwasserschutzkonzept Elbe (2018): Ermittlung und Priorisierung von Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes an der Unteren Mittelelbe in Mecklenburg-Vorpommern, StALU WM
- [7] BfG (2015): 2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, Bericht BfG-1848
- [8] Ingenieurgemeinschaft ramboll / iKD (2019): Sude Hochwassersperrwerk, Nutzwertanalyse; im Auftrag des Staatlichen Amtes für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg, Abteilung Naturschutz, Wasser und Boden, Dezember 2019
- [9] Digitales Geländemodell DGM 1, LAIV MV, 2019
- [10] Digitale Bundeswasserstraßenkarte DBWK2, WSA Lauenburg, 2019
- [11] Vermessung Hafendeich, Münster und Graf GbR, 2016
- [12] Bestandsplan Elbedeich, WESTA Straßen- und Tiefbau Hagenow GmbH, 2008
- [13] Vermessung Hafendeich Deichneubautrasse, Ingenieurgesellschaft Sieber & Partner mbH, 2017
- [14] Vermessung Gothmann, Ingenieurgesellschaft Sieber & Partner mbH, 2019
- [15] HPA (2013) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Elbegebiet, Teil III (Untere Elbe ab der Havelmündung), Freie und Hansestadt Hamburg, Hamburg Port Authority (HPA)

- [16] HPA (2015) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Elbegebiet, Teil III (Untere Elbe ab der Havelmündung), Freie und Hansestadt Hamburg, Hamburg Port Authority (HPA)
- [17] IWU (2018): Projekt zum Rahmenplan für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelbe – Hydraulische Berechnungen, Hochschule Magdeburg, Forschungs- und Entwicklungszentrum (FEZ), Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz, Zwischenbericht, 30.12.2018
- [18] Katasterdaten (ALKIS) StALU WM, 2017
- [19] Wasserstand Haupttabelle Pegel Boizenburg und Sudepegel BP Sudeabschlusswehr bis AP SW Besitz, 2001-2019, StALU WM, 2019
- [20] Aigner, D. & Bollrich G. (2015): Handbuch der Hydraulik für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Beuth Verlag GmbH
- [21] BfG (2015): 2D-Modellierung an der unteren Mittelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, Bericht BfG-1848

6.3 Webseiten

- [22] Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: Kartenportal Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, <https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/script/>
- [23] Gemeinsames Maßnahmeninformationsportal der Staatlichen Ämter für Landwirtschaft und Umwelt und des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie M-V, <https://fis-wasser-mv.de/kvwmap/index.php?gast=36>

Anlagen

Anlage 1 – Verteilung Landnutzung im 2D-HN-Modell

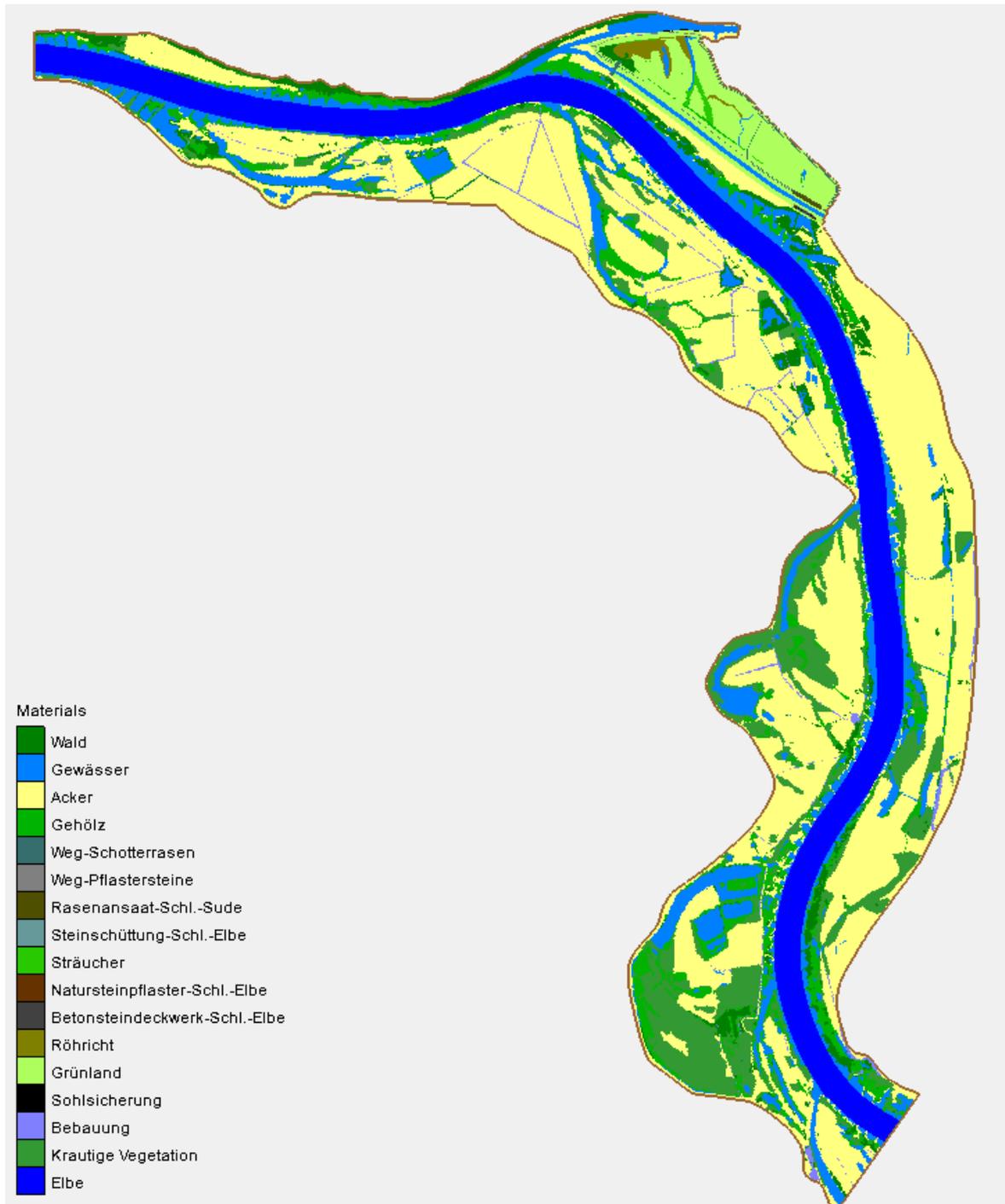
Anlage 2 – Darstellung der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten beim Bemessungshochwasser HQ₁₀₀ (Variante 4, stationäre Berechnung)

Anlage 3 – Ablauf Flutung Retentionsfläche, Ganglinie HW 2013 (Variante 4, instationäre Berechnung)

Anlage 4 – Darstellung der Fließgeschwindigkeiten, Ganglinie HW 2013 (Variante 4, instationäre Berechnung)

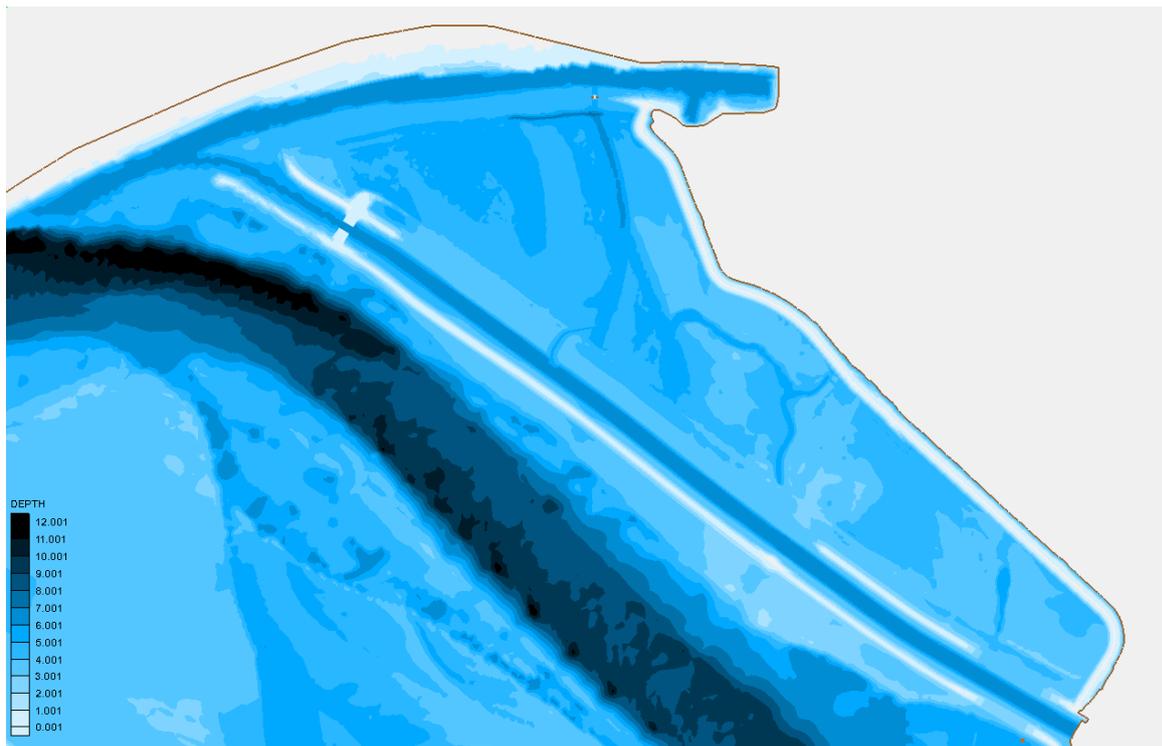
Anlage 1

**Verteilung der Landnutzung/Oberflächenbeschaffenheit im 2D-HN-Modell
von Elbe-km 563,5 bis Elbe-km 549,75**

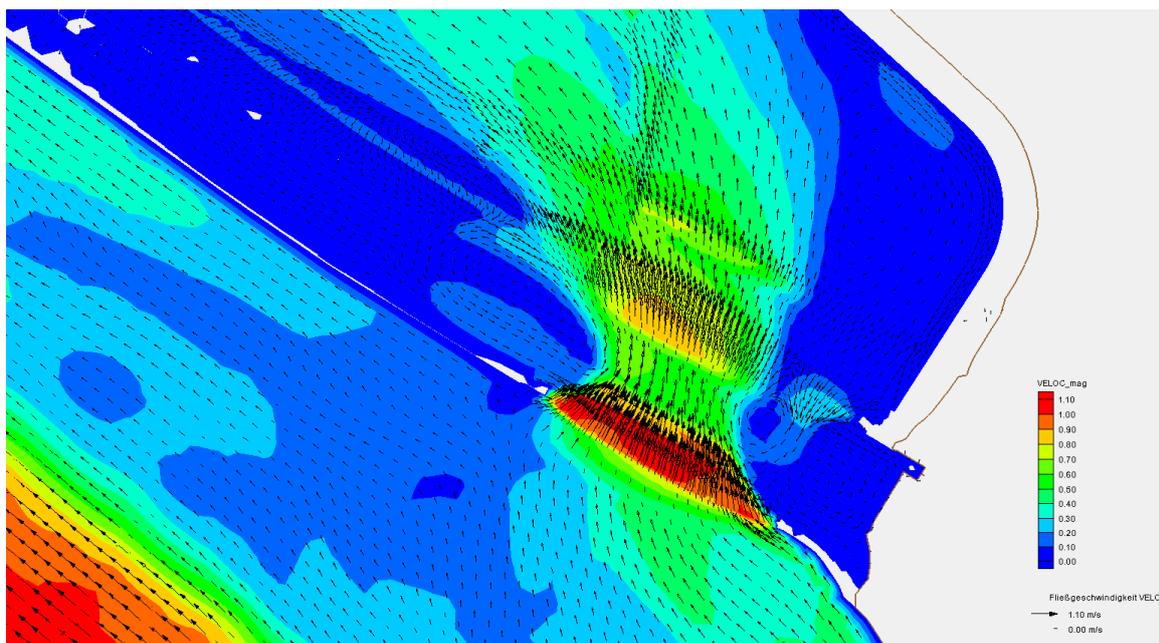


Anlage 2 Darstellung der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten beim Bemessungshochwasser HQ_{100} (Variante 4, stationäre Berechnung)

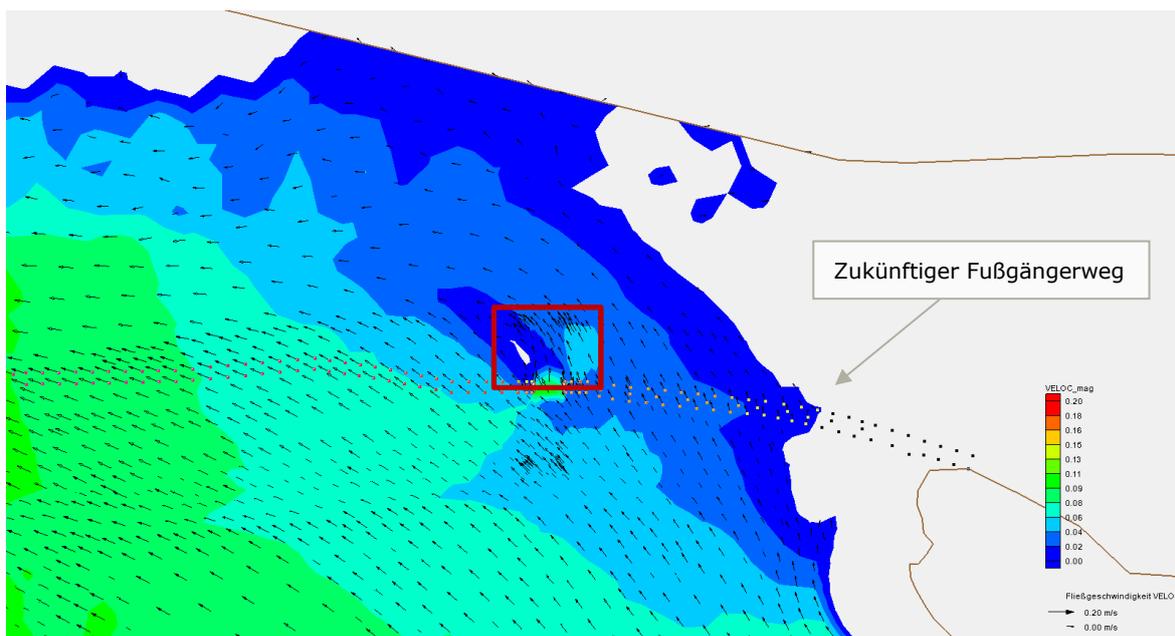
Hinweis: Innerhalb des Modellbereichs (brauner Umring) hellgrau dargestellte Flächen sind Bereiche, in denen entweder die Wassertiefe oder die Fließgeschwindigkeit Null sind.



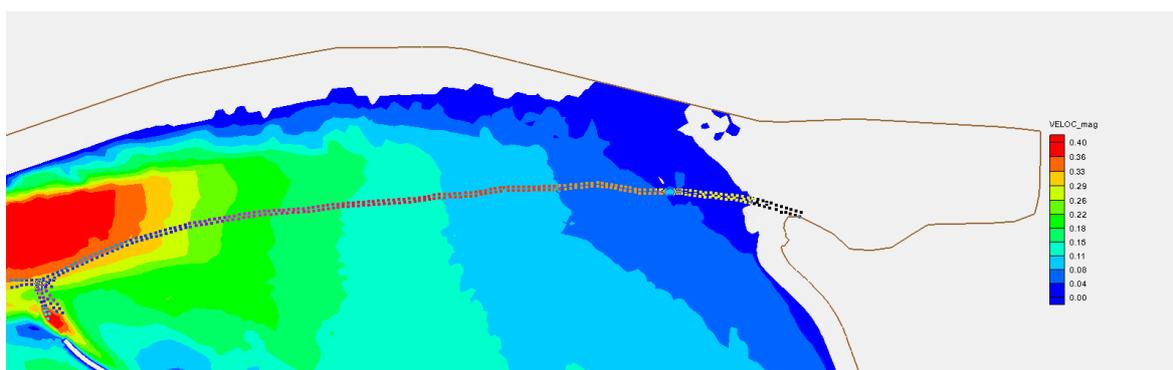
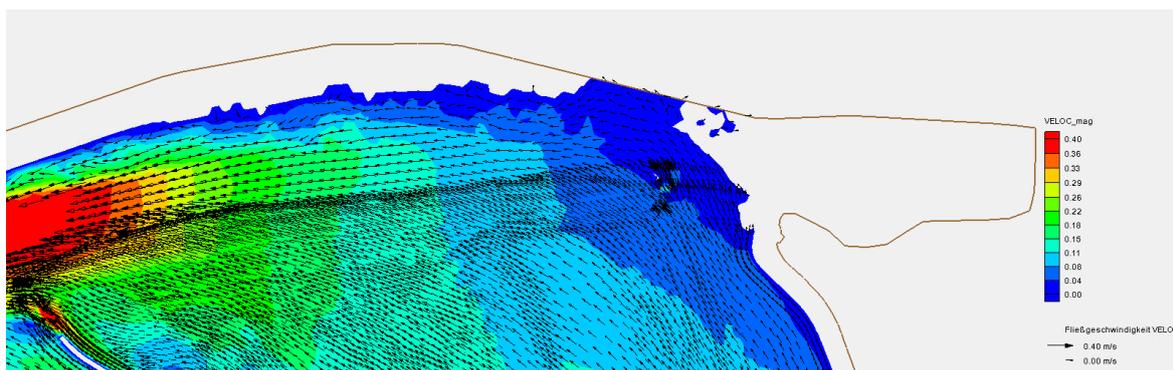
Überschwemmungstiefen beim Bemessungshochwasser $HQ_{100} = 4367 \text{ m}^3/\text{s}$. Wasserstand im Hafen 11,42 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 11,48 m NHN



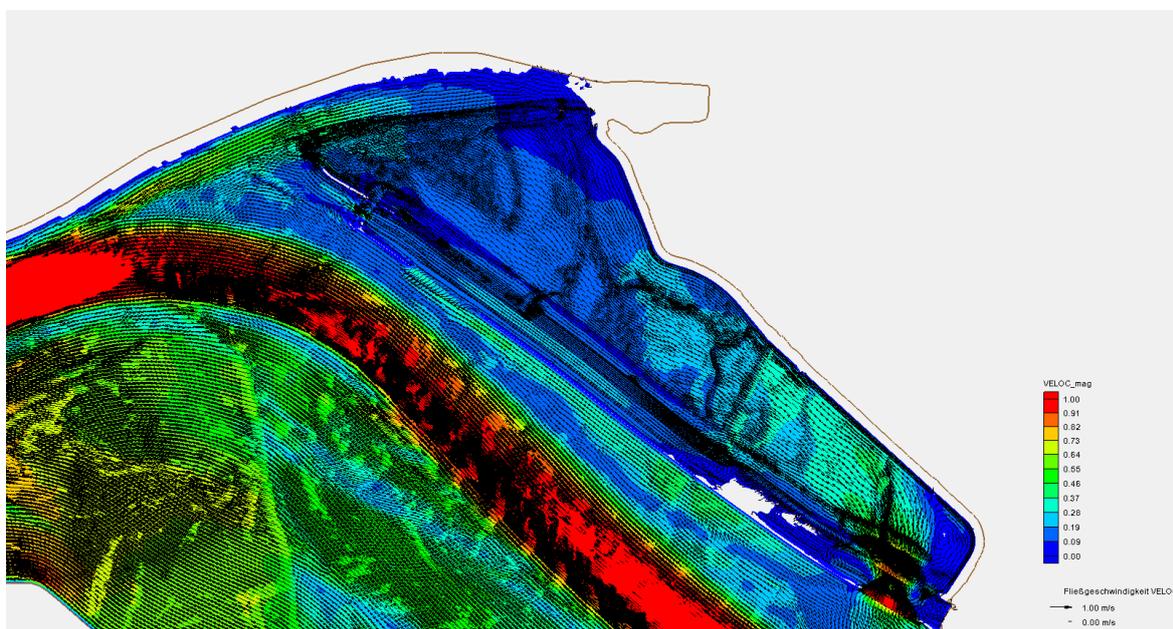
Maximale Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Elbedeich (1,21 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (0,89 m/s).



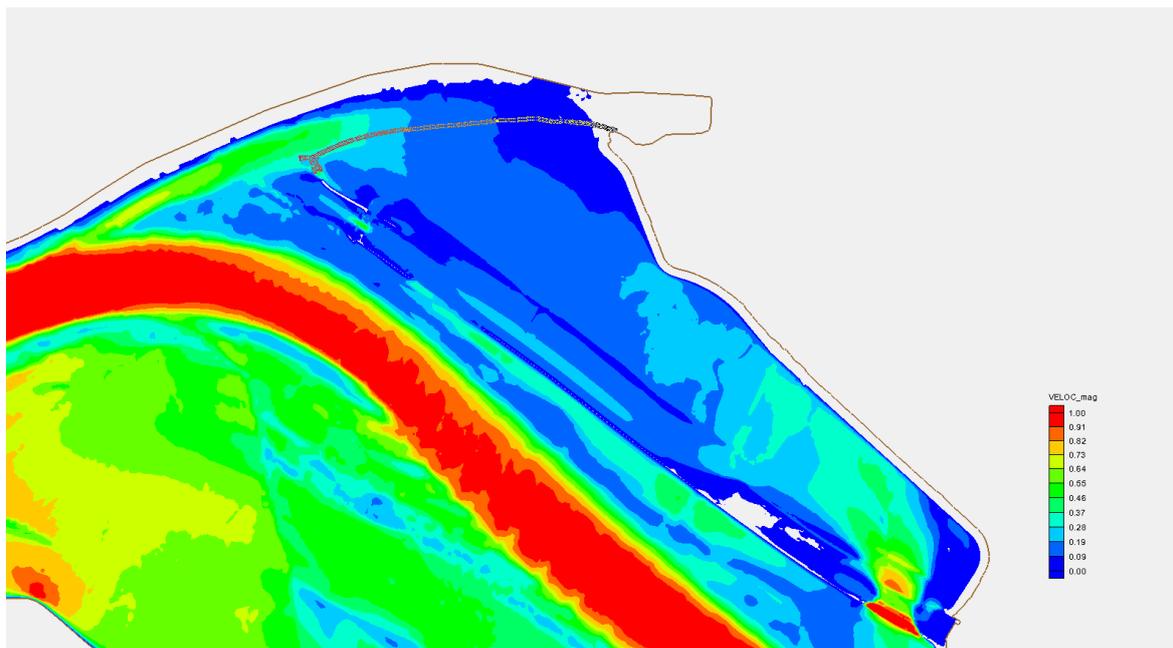
Ergebnis der stationären Berechnung HQ₁₀₀. Der Wasserstand im Hafen und in der Retentionsfläche ist annähernd gleich und beträgt ca. 11,42 m NHN. Die maximale Fließgeschwindigkeit im Bereich Einlaufbauwerk Hafendeich (rotes Quadrat) beträgt 0,1 m/s.



Maximale Fließgeschwindigkeit auf den Fußgängerweg (gepunktete Linie) im Bereich des abgetragenen Hafendeiches (0,41 m/s).



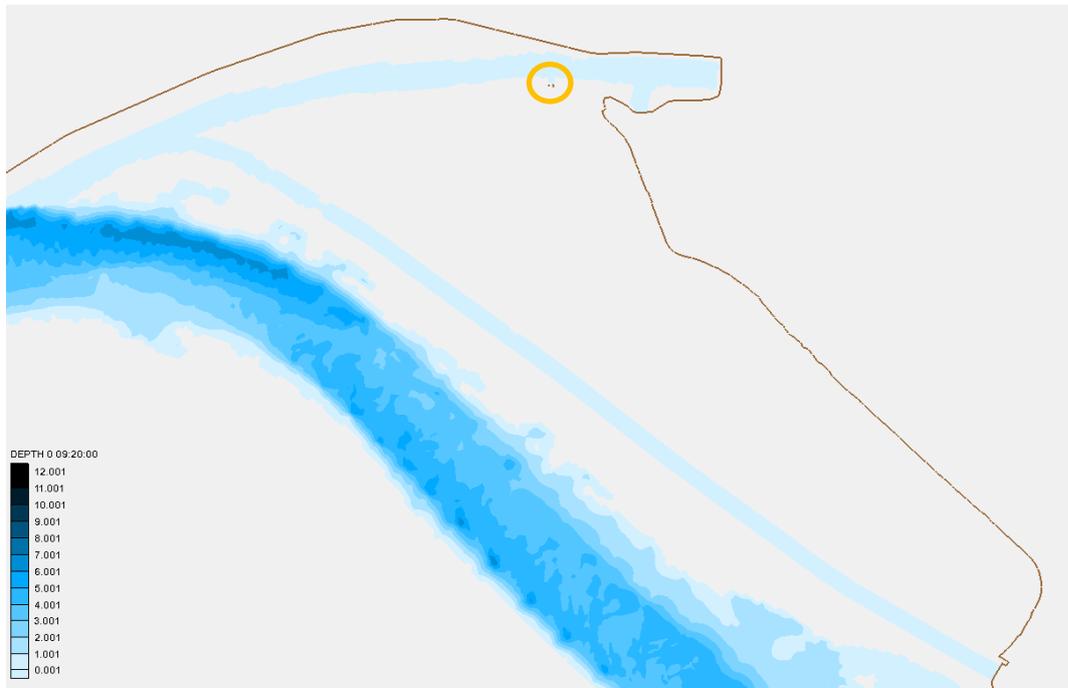
Fließgeschwindigkeitsverteilung (Betrag und Richtung) im Ergebnis der stationären Berechnung HQ₁₀₀.



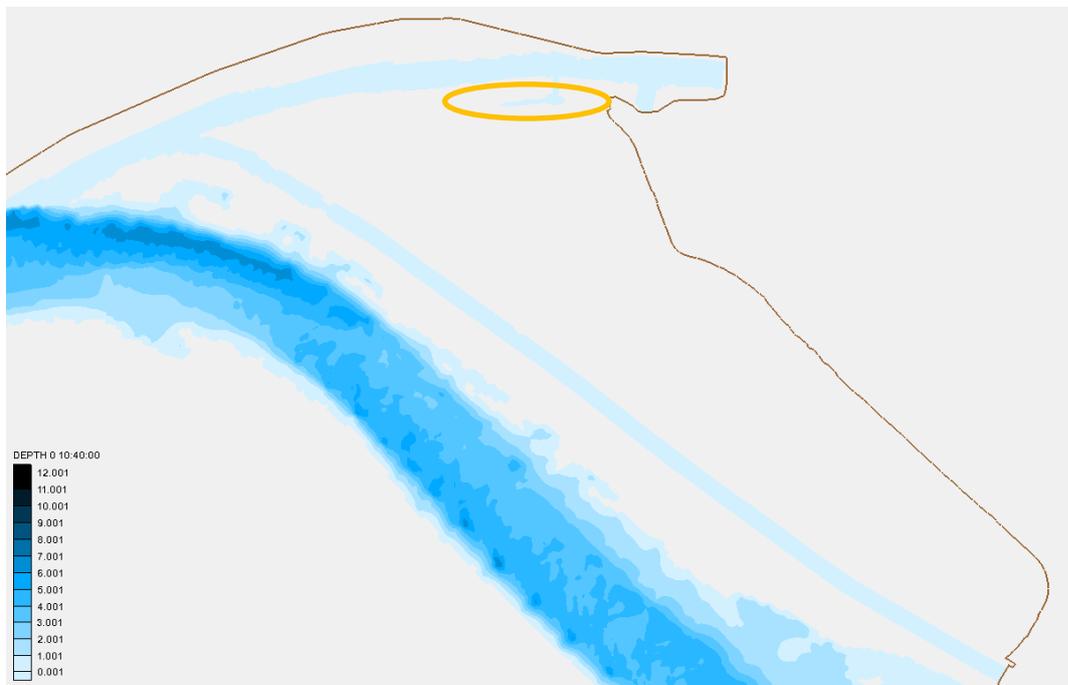
Fließgeschwindigkeitsverteilung (Betrag) im Ergebnis der stationären Berechnung HQ₁₀₀. Die höchsten Fließgeschwindigkeiten treten auf dem Fußgängerweg (gepunktete Linie) im Bereich des abgetragenen Hafendeiches und in der Überlaufstrecke Elbedeich- Sudedeich auf.

Anlage 3
Ablauf Flutung Retentionsfläche, Ganglinie HW 2013
(Variante 4, instationäre Berechnung)

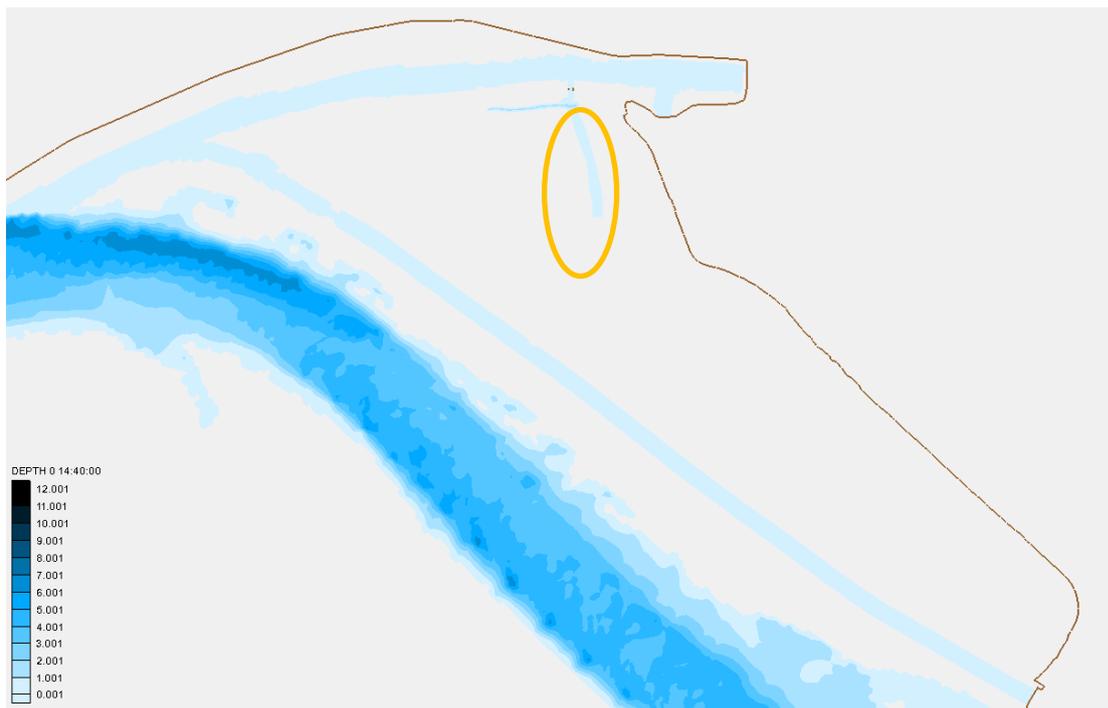
Hinweis: In jeder Abbildungen ist neben dem Begriff „DEPTH“ die Zeit in Tagen Stunden:Minuten: Sekunden dargestellt. Der Hochwasserscheitel tritt im Modell am 14. Tag, 20:00:00 ein.



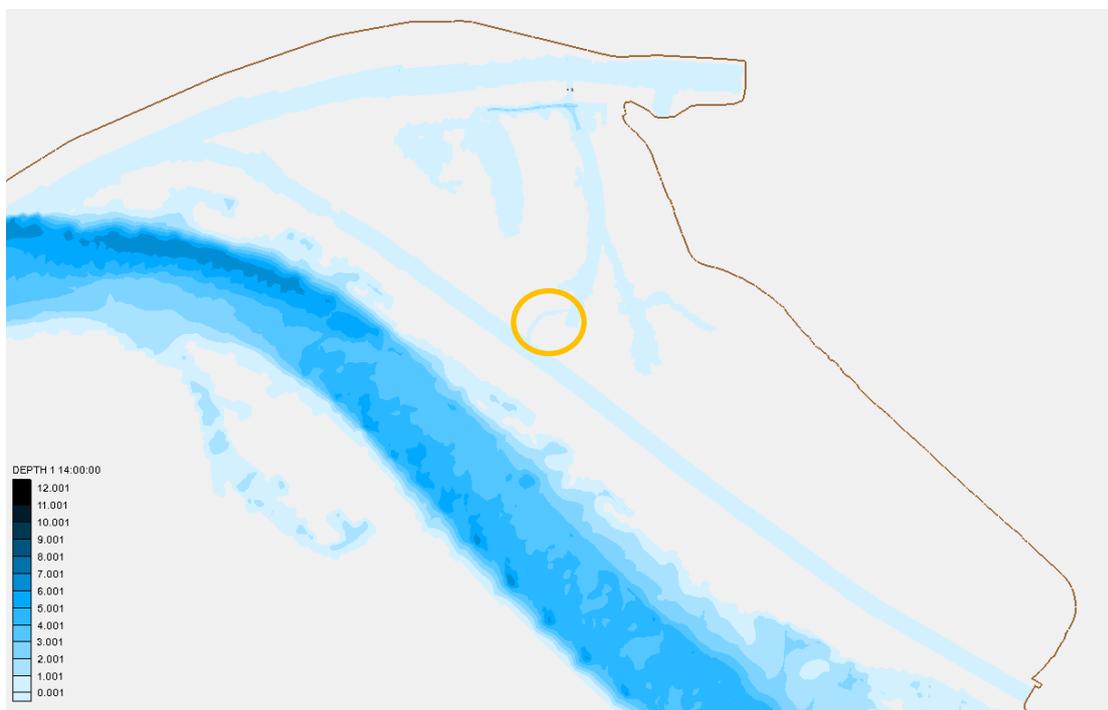
Beginn der Flutung, Wasserstand am Ein- und Auslaufbauwerk bei 6,02 m NHH



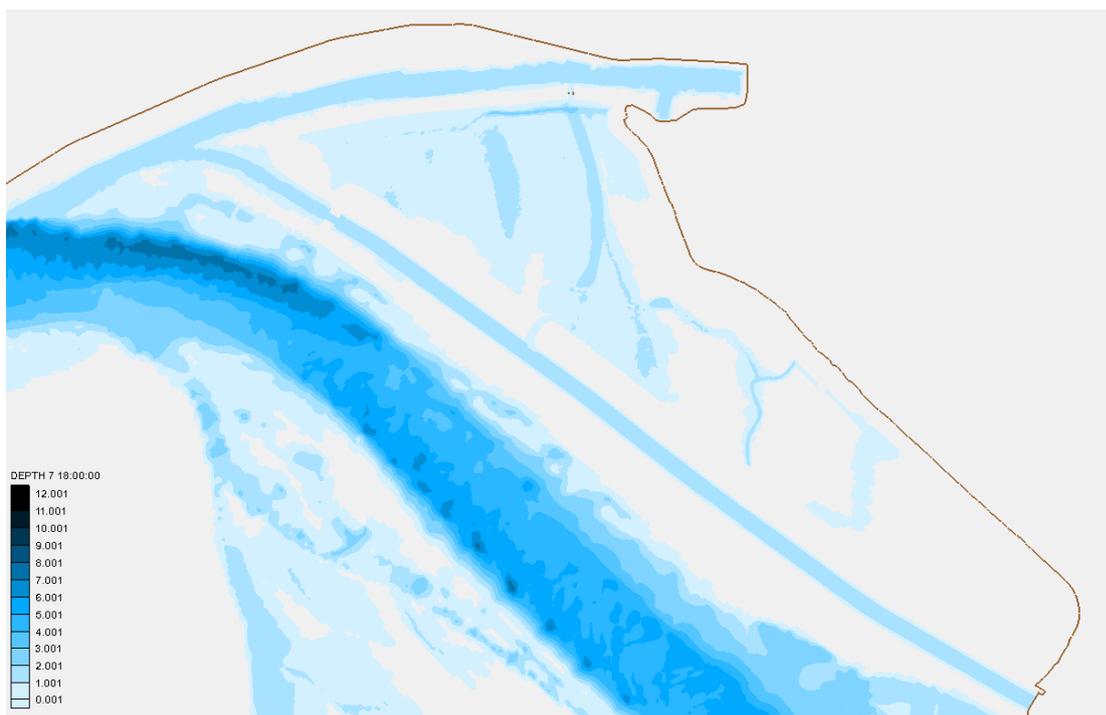
Flutung nördlicher Teil Schacksgraben parallel Hafendeich, Wasserstand im Hafen bei 6,07 m NHH



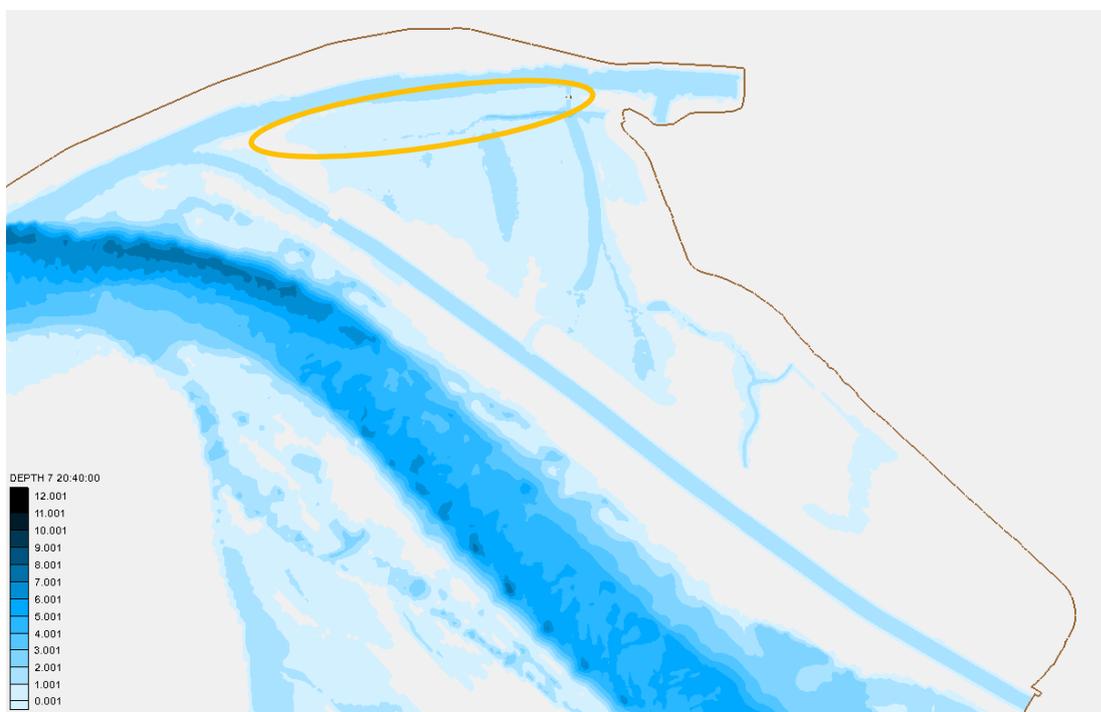
Flutung südlicher Teil Schacksgraben, Wasserstand im Hafen bei 6,14 m NHN



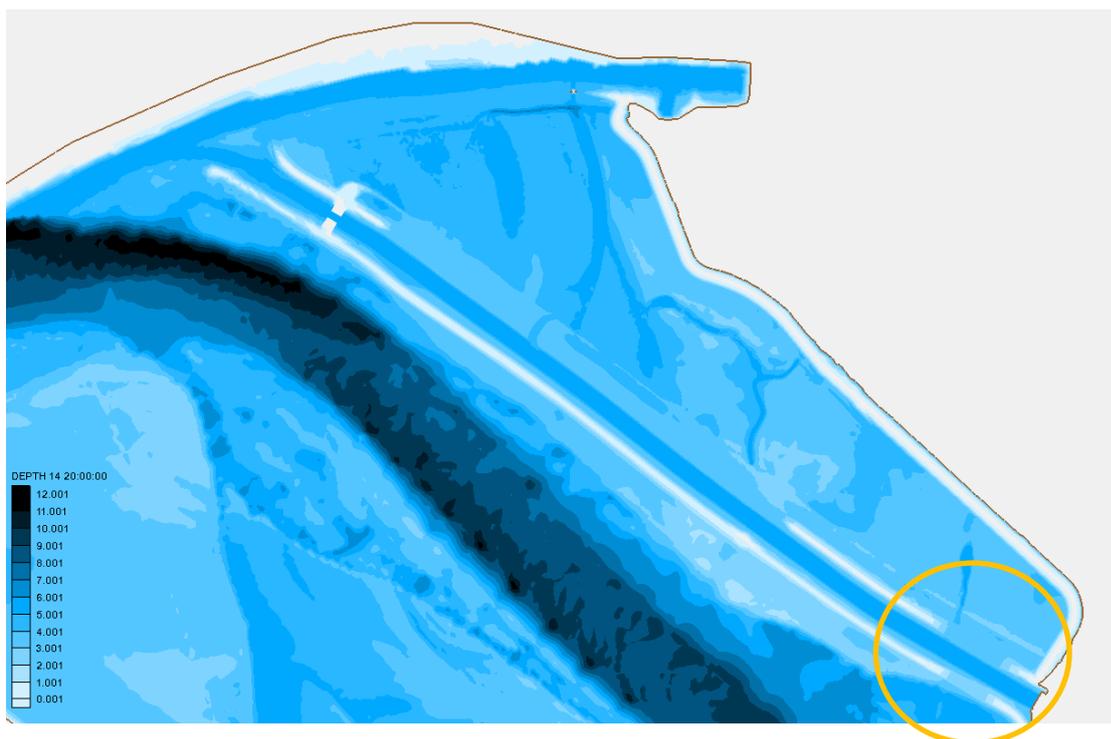
Beginnende Flutung der Retentionsfläche, Zustrom auch über die Sude und die neu anzulegende Mulde, Wasserstand im Hafen bei 6,24 m NHN



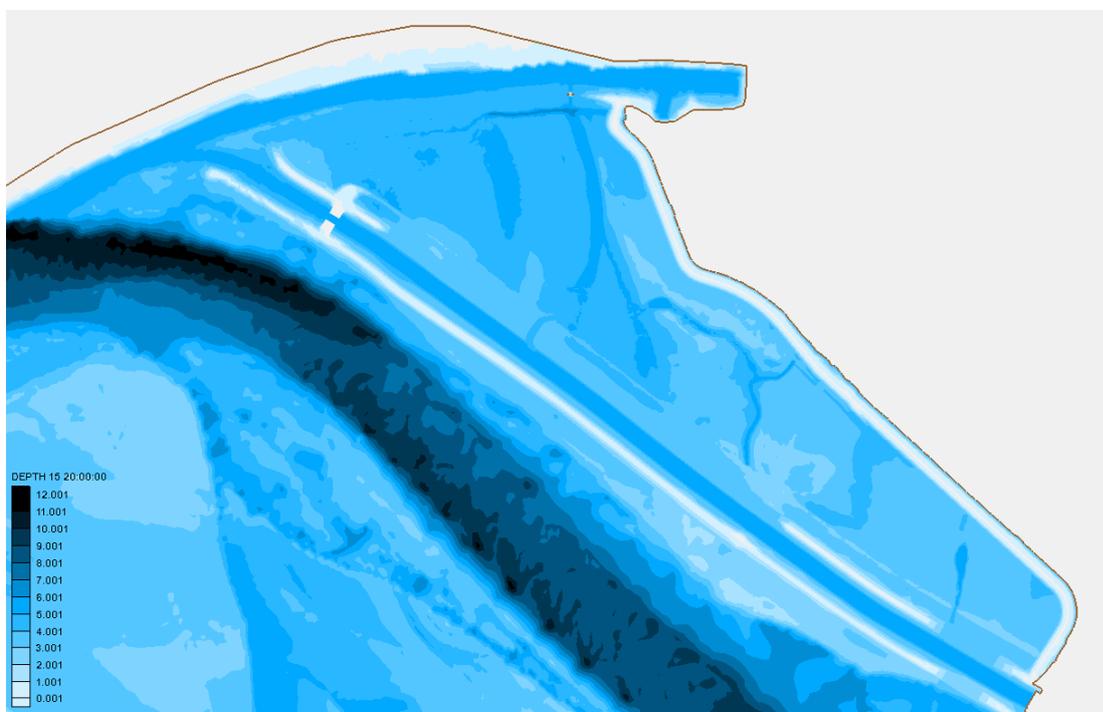
Zustand vor Überströmung des Bereichs Rückbau Hafendeich Boizenburg
Wasserstand im Hafen bei 7,00 m NHN



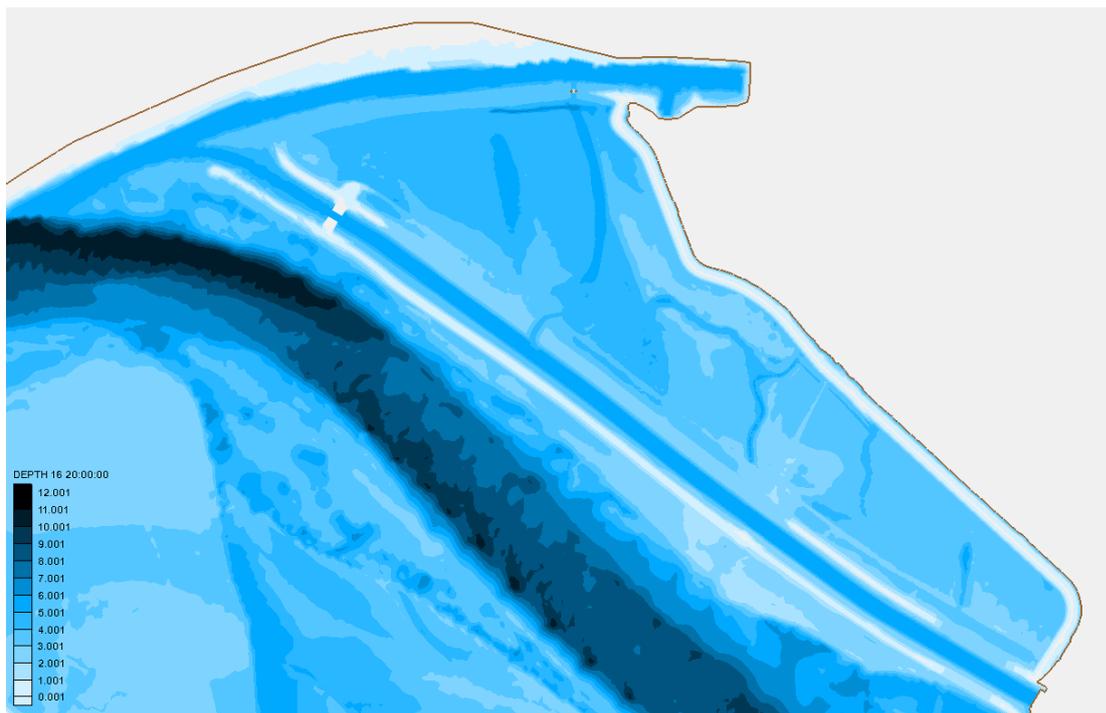
Beginnende Überströmung Bereich Rückbau Hafendeich mit nachfolgender verstärkter Flutung
der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen bei 7,02 m NHN



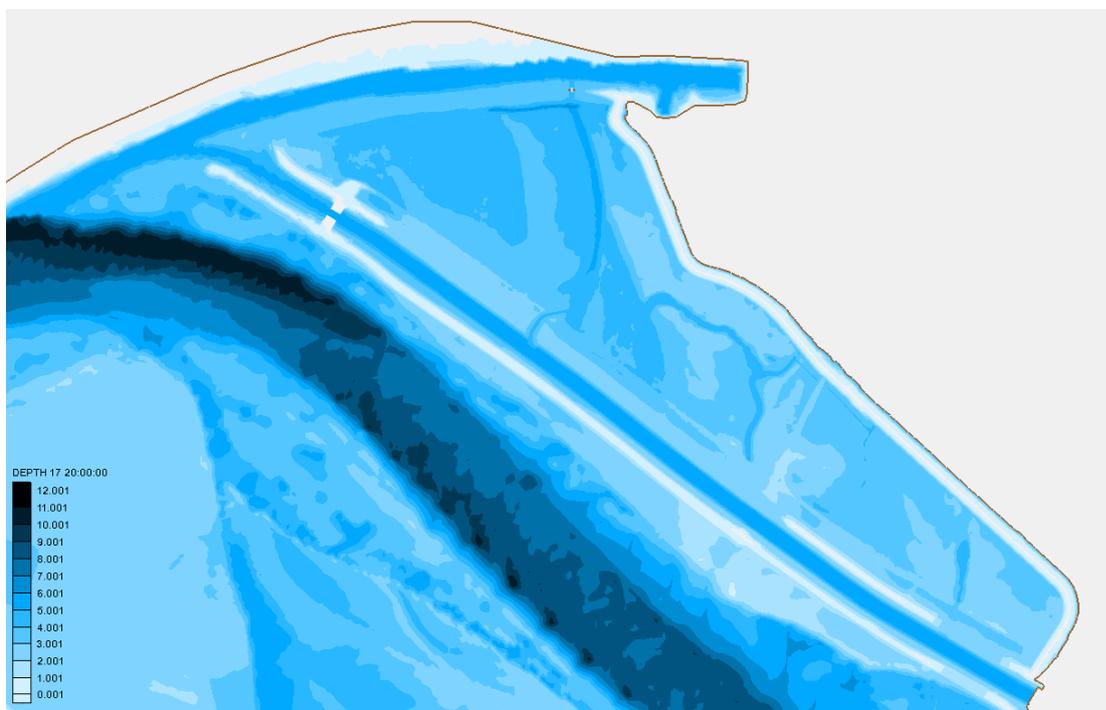
Überschwemmungstiefen beim Durchgang des Scheitels der Hochwasserwelle in der Elbe sowie beim maximalen Wasserstand im Hafen bzw. in der Boize (11,18 m NHN); Wasser fließt über die Überlaufschwelle im Rechten Sudedeich und im Elbedeich



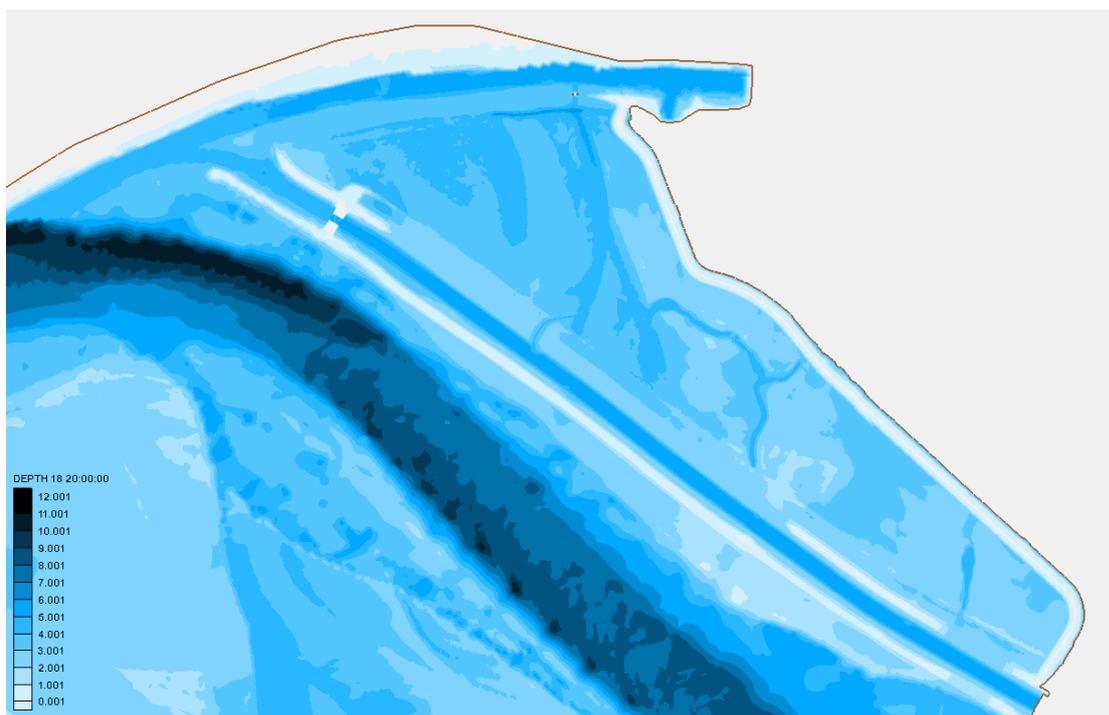
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 11,06 m NHN



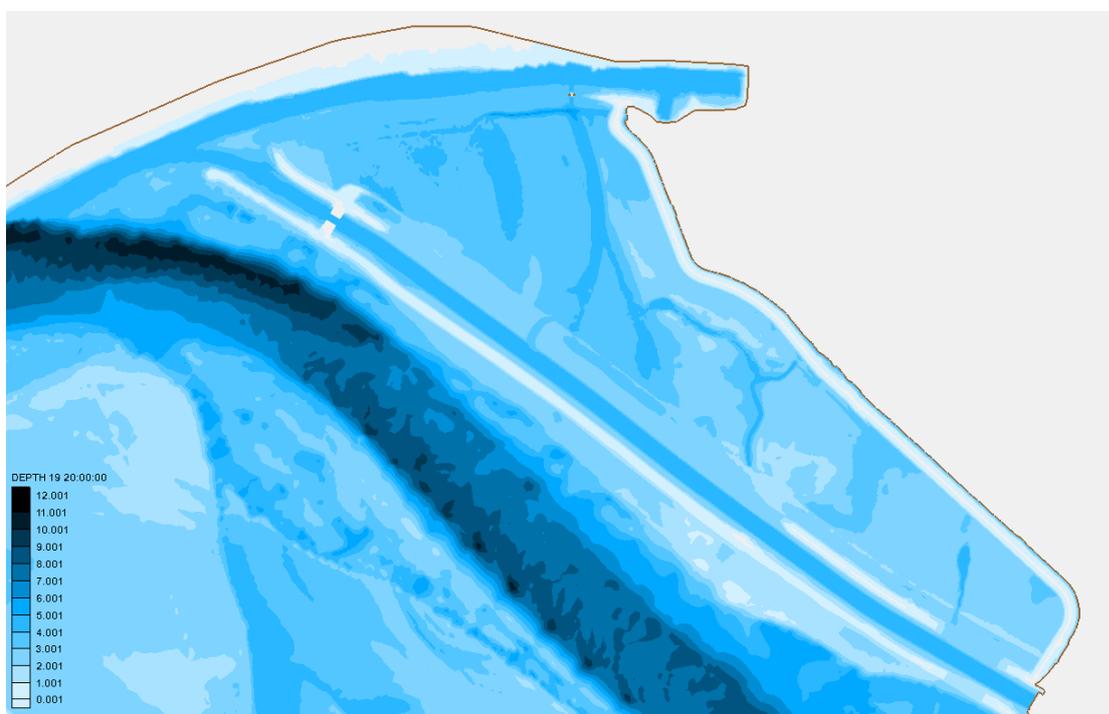
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 10,81 m NHH



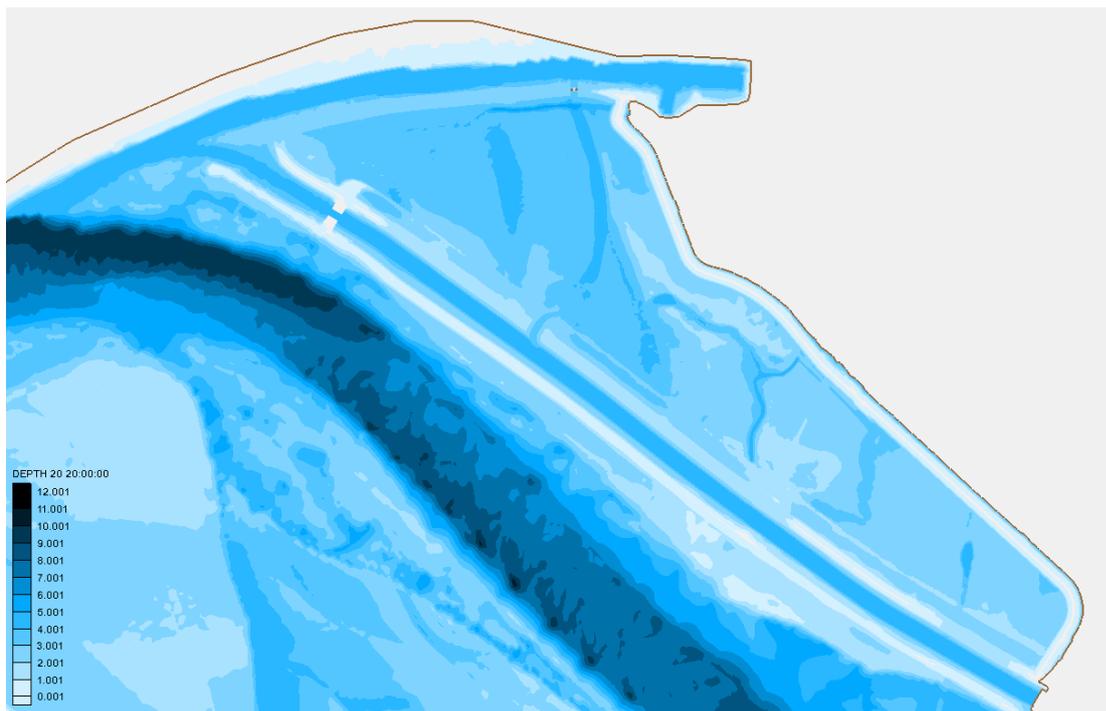
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 10,56 m NHH



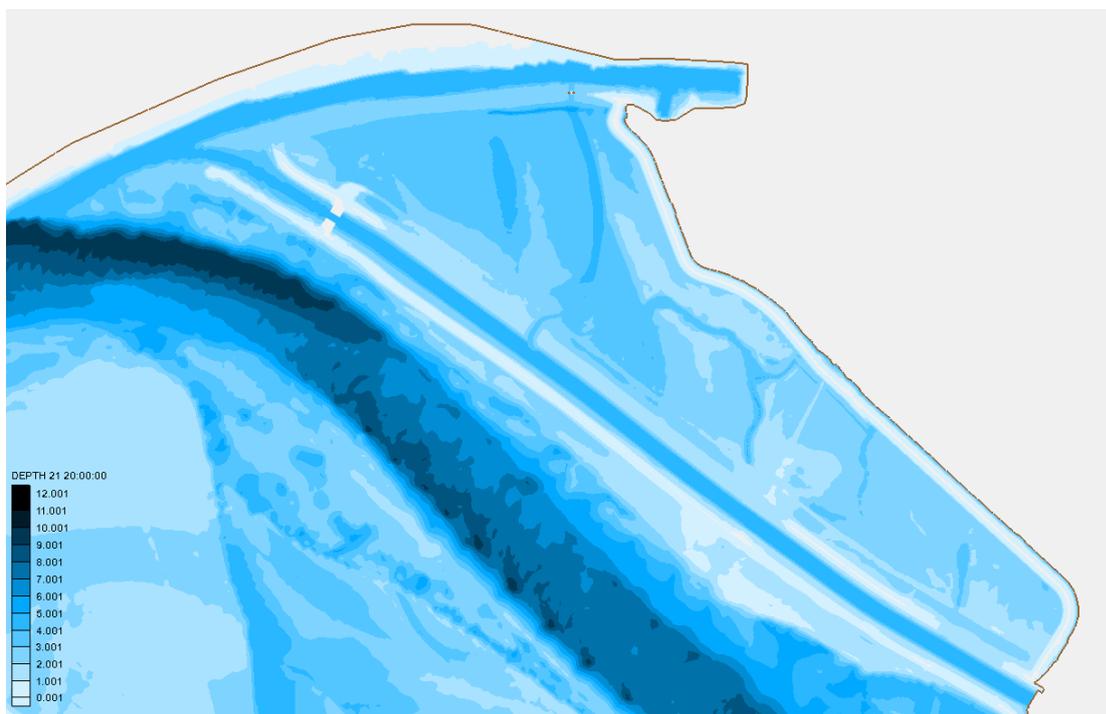
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 10,34 m NHN



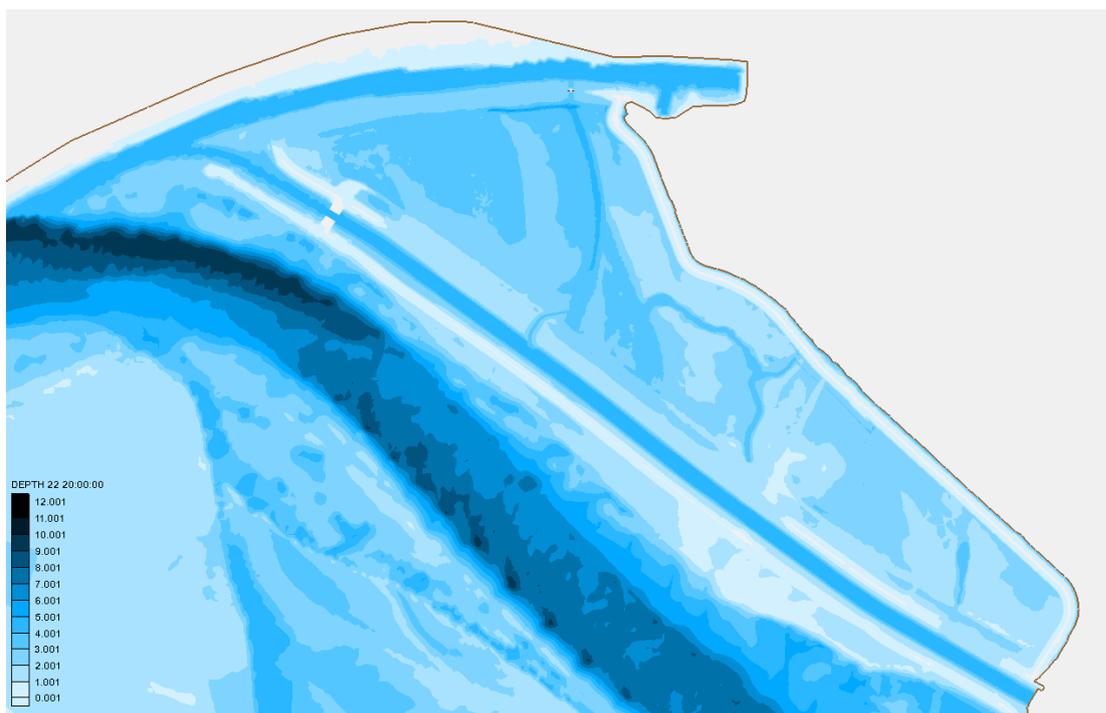
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 10,15 m NHN



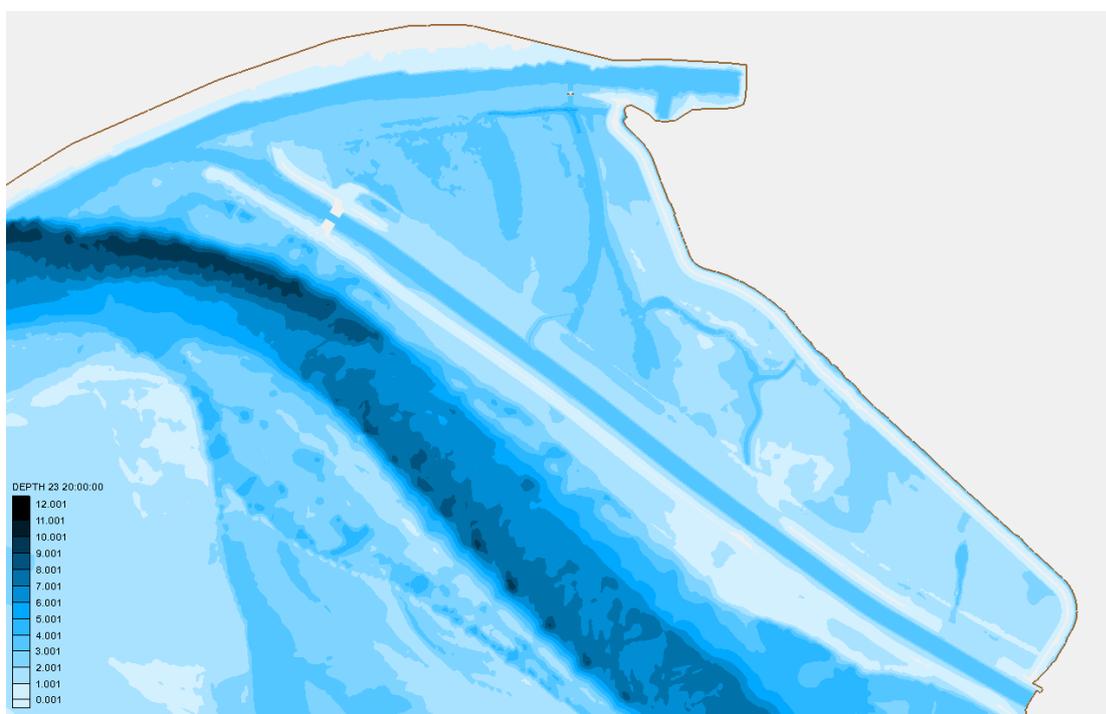
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 9,98 m NHN



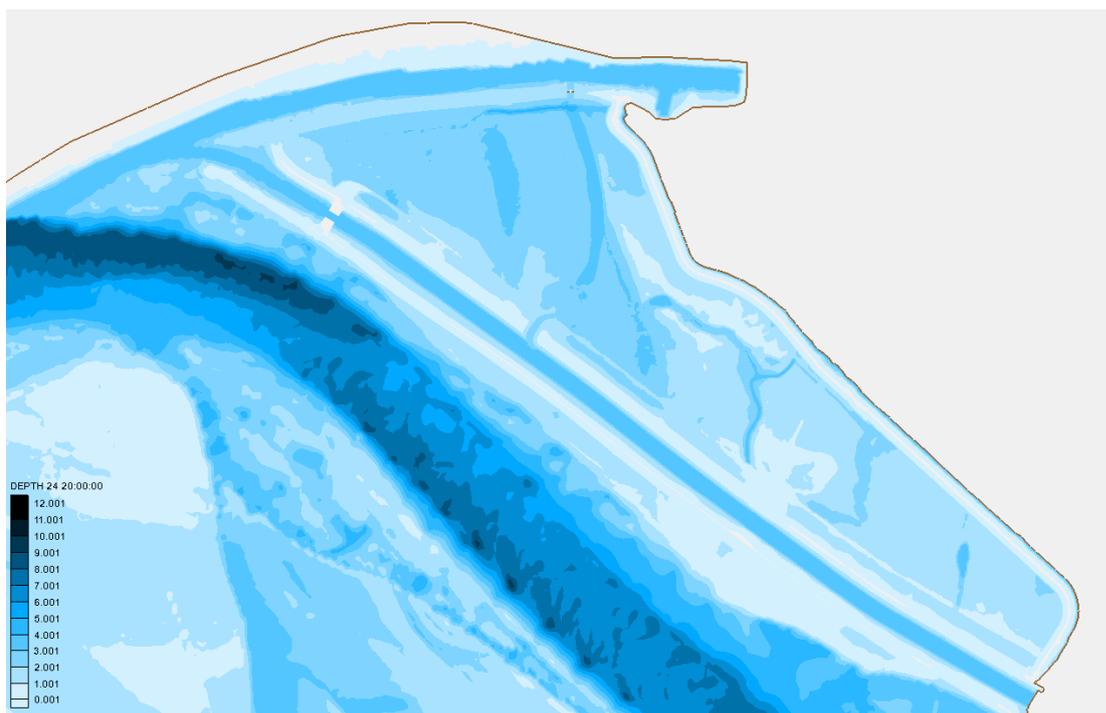
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 9,75 m NHN



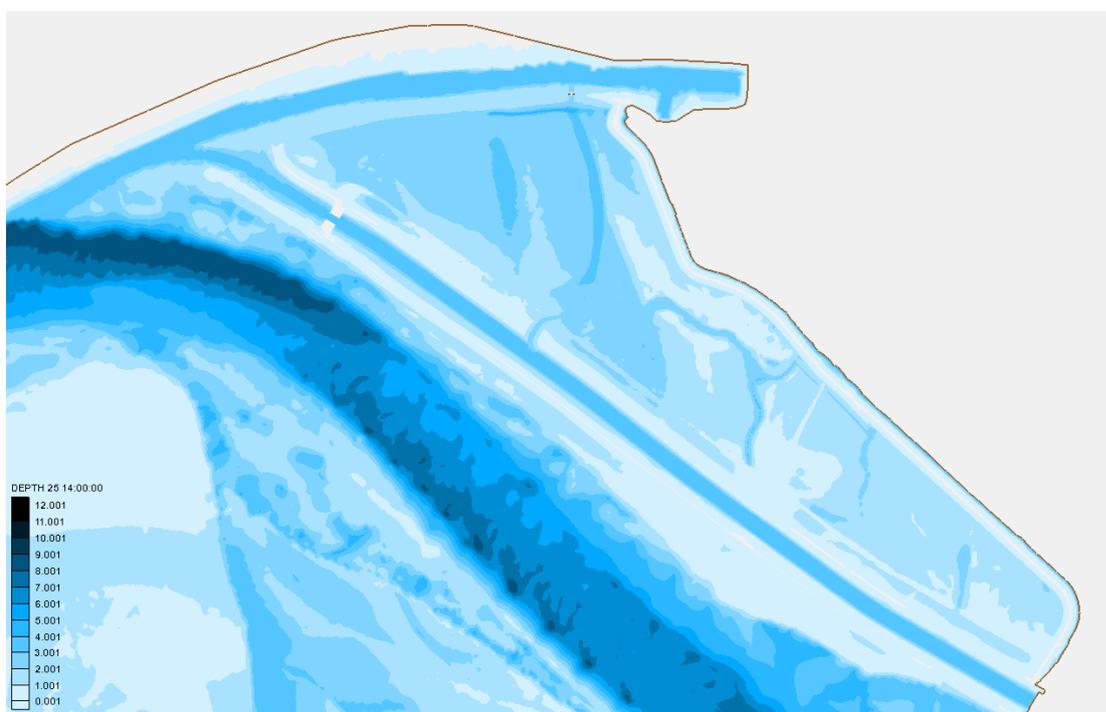
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 9,51 m NHH



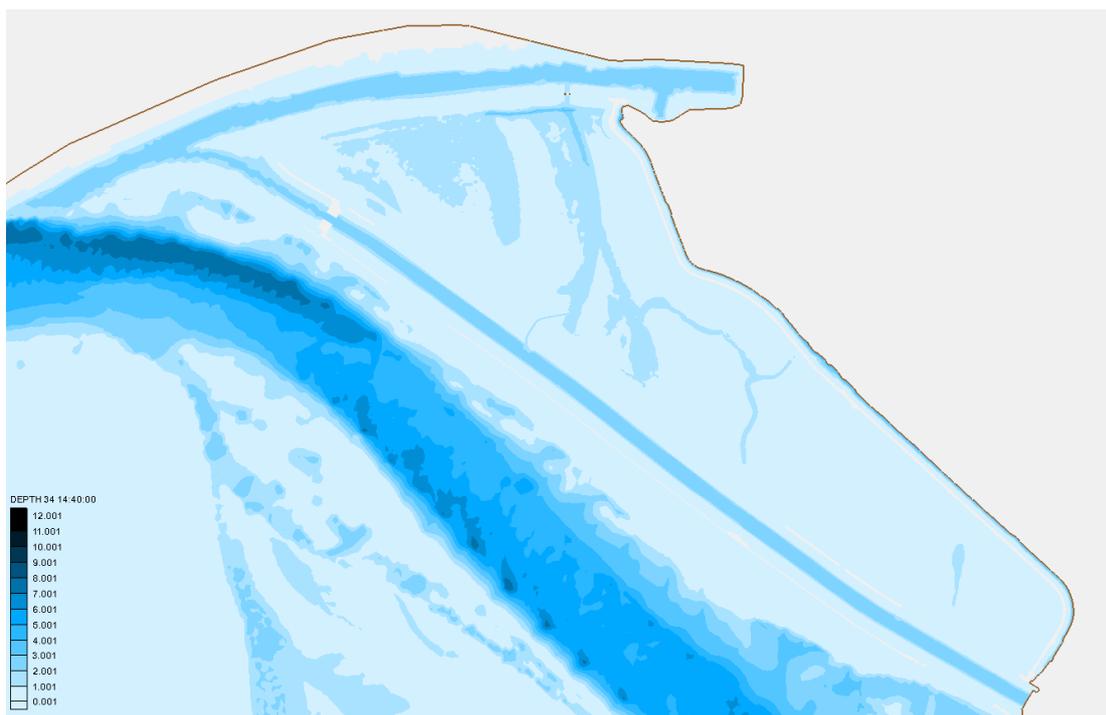
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 9,22 m NHH



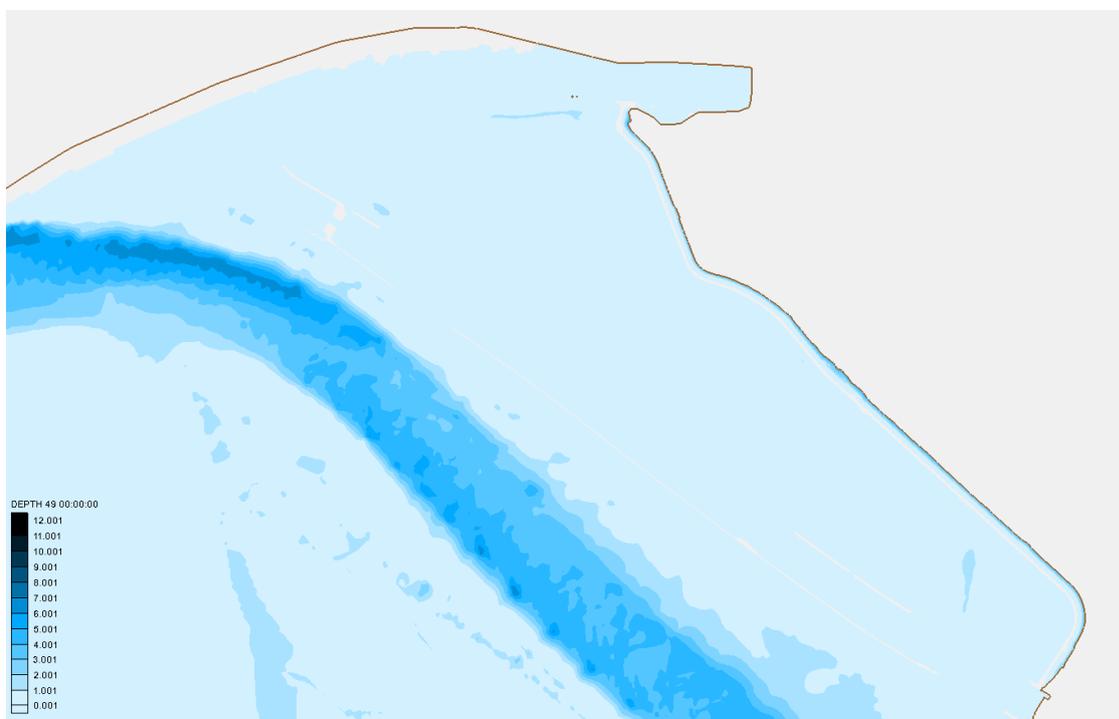
Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 8,98 m NHN



Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 8,77 m NHN

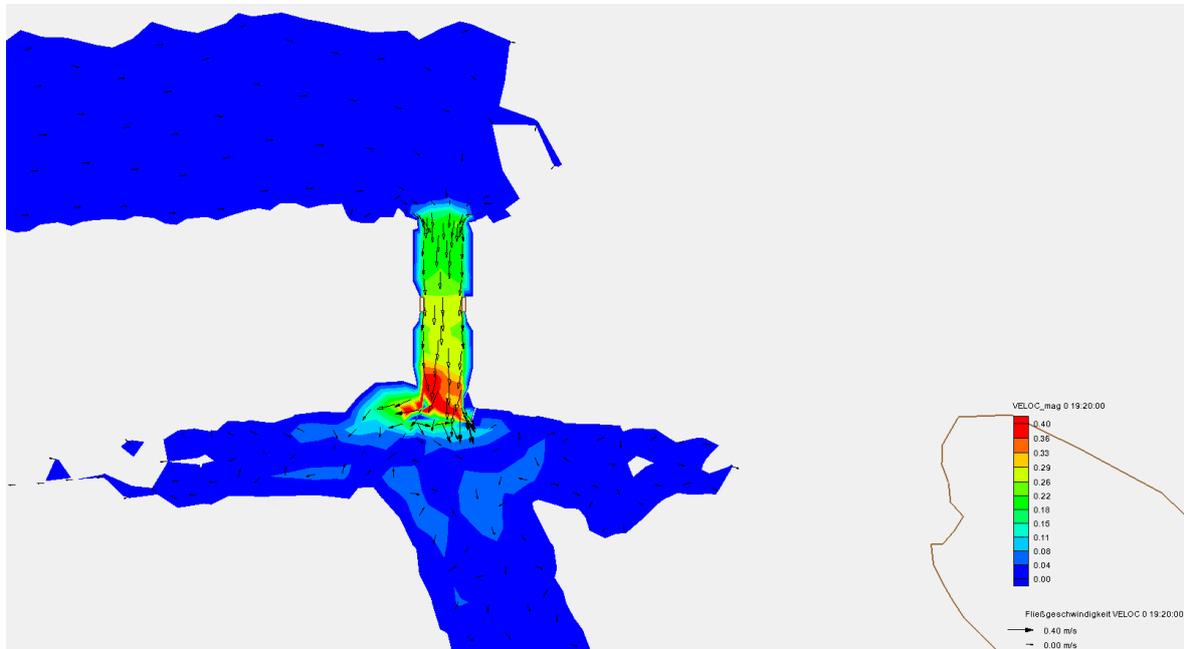


Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 7,37 m NHN (ca. 34 Tage nach Beginn der Flutung und ca. 20 Tage nach Eintritt des Hochwasserscheitels)

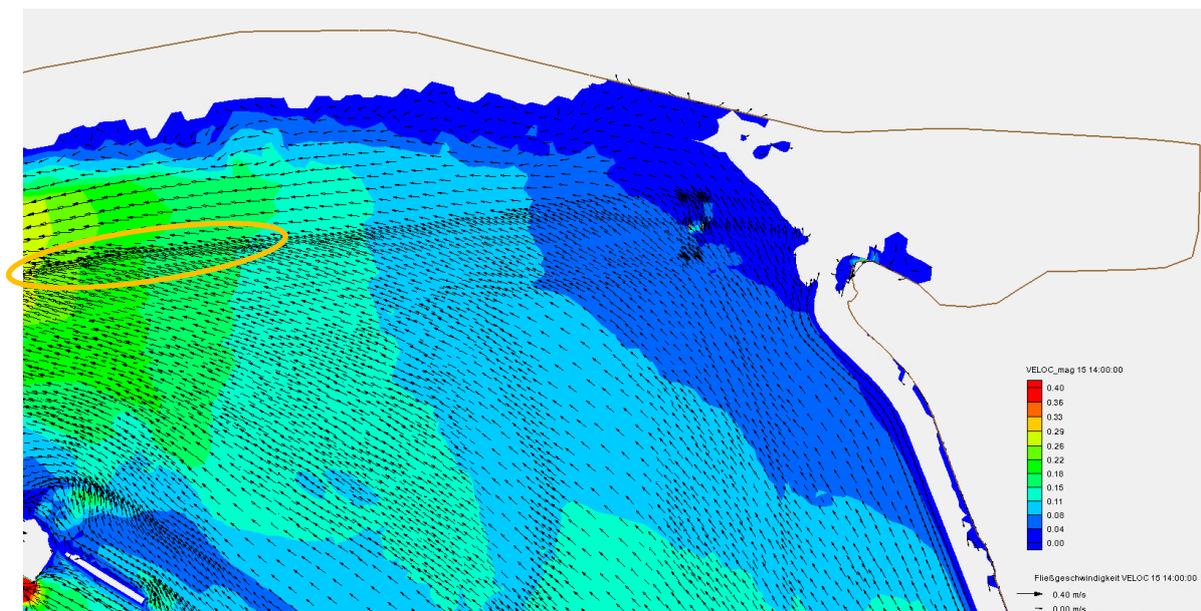


Entleerung der Retentionsfläche, Wasserstand im Hafen 6,07 m NHN

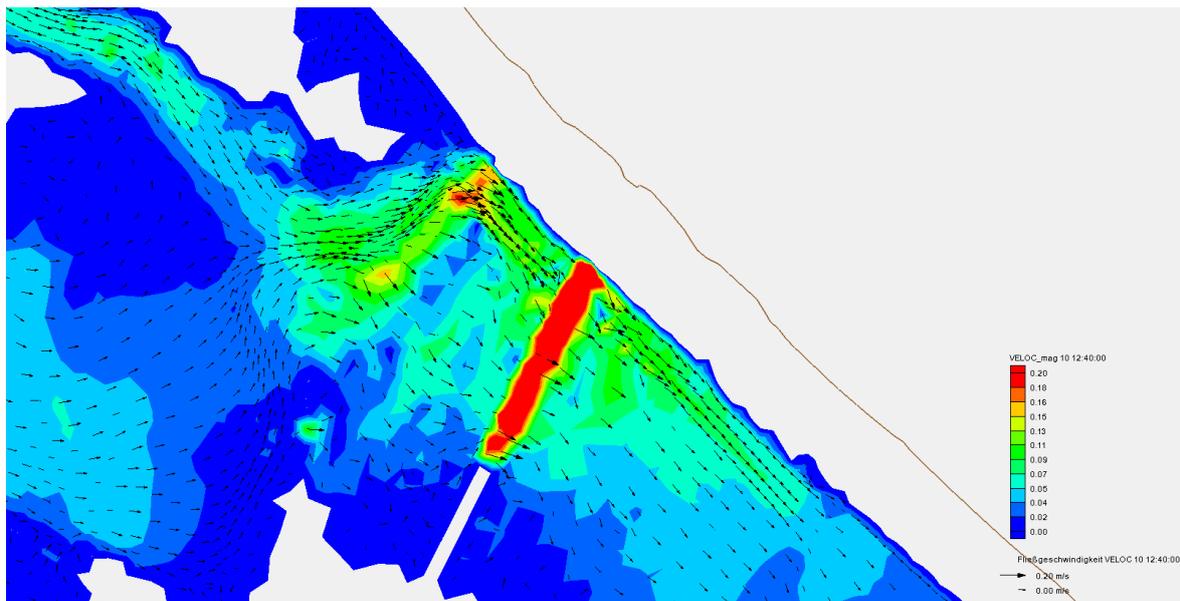
Anlage 4
Darstellung der Fließgeschwindigkeiten, Ganglinie HW 2013
(Variante 4, instationäre Berechnung)



Verteilung der Fließgeschwindigkeit im Ein- und Auslaufbauwerk, Zeitpunkt: 26.05.2013, 19:20
Maximale Geschwindigkeit $v_{\max} = 0,45$ m/s
Wasserstand im Hafen 6,17 m NHN und in der Retentionsfläche 5,95 m NHN.

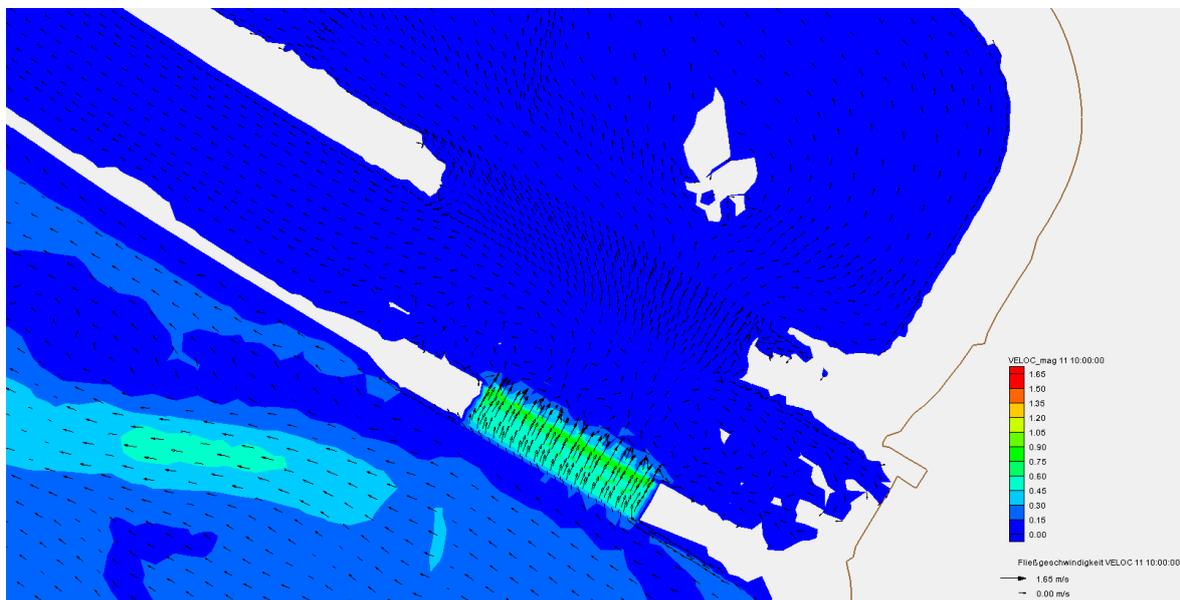


Nach Überströmung der Überlaufstrecke Elbedeich (Zeitpunkt: 07.06.2013, 10:00) wechselt die Fließrichtung am Hafendeich. Auf dem Fußgängerweg im Bereich des abgetragenen Hafendeiches tritt am 11.06.2013, 14:00 eine max. Fließgeschwindigkeit $v_{\max} = 0,3$ m/s auf.

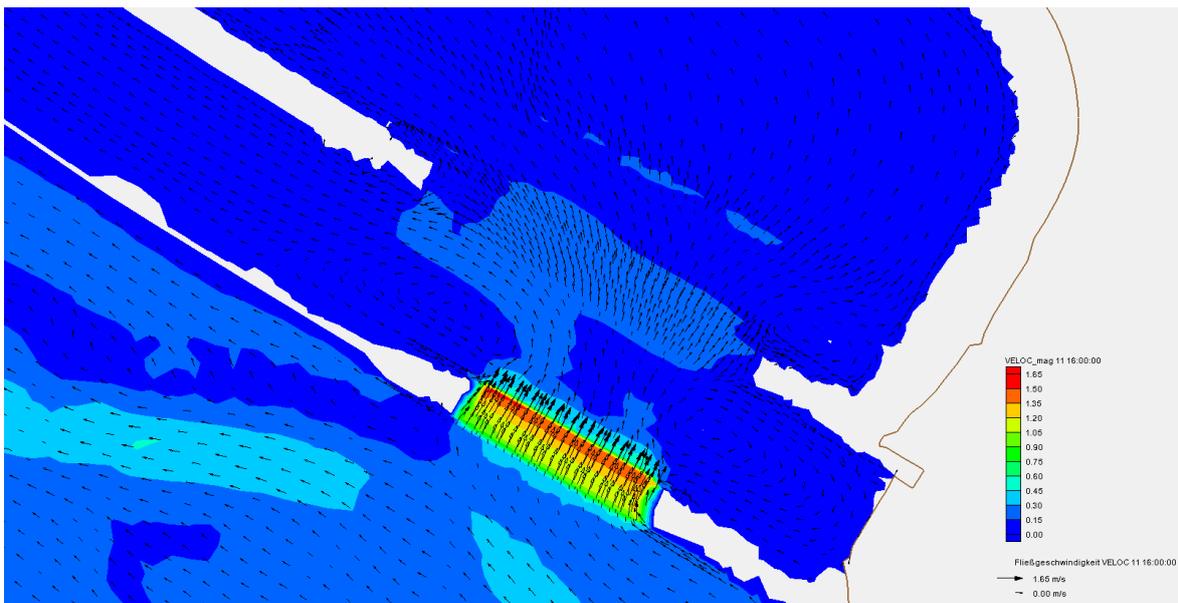


Überströmung am Altendorfer Weg, Zeitpunkt: 06.06.2013, 12:40
Maximale Geschwindigkeit $v_{\max} = 0,42 \text{ m/s}$
Wasserstand im Hafen 7,97 m NHN

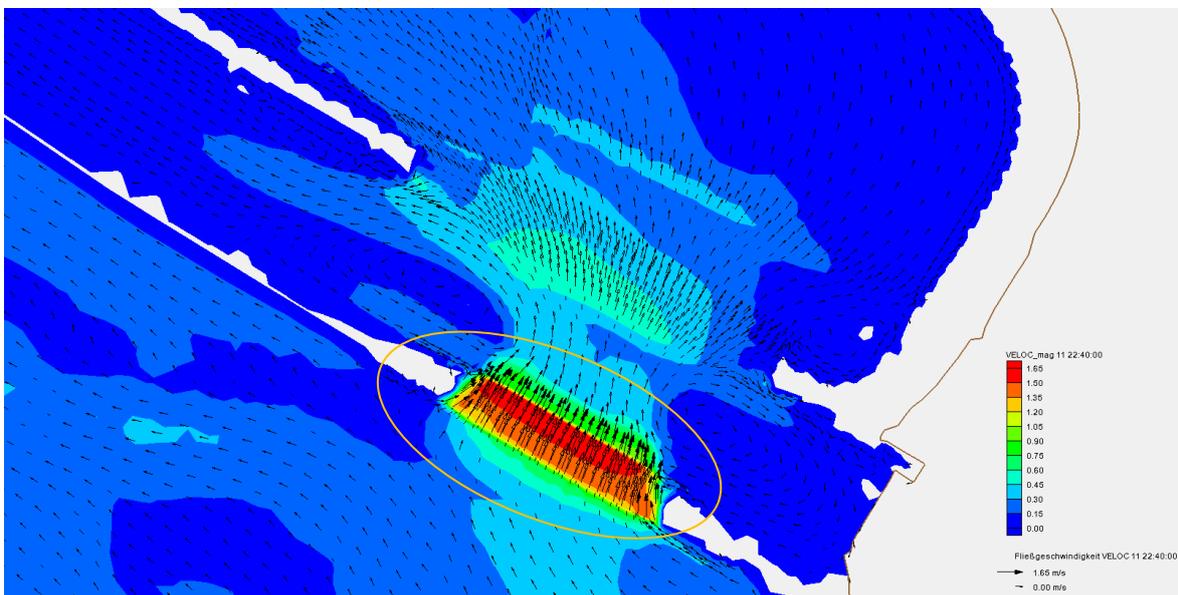
Verteilung Fließgeschwindigkeit in den beiden Überlaufstrecken Rechter Sudedeich und Elbedeich



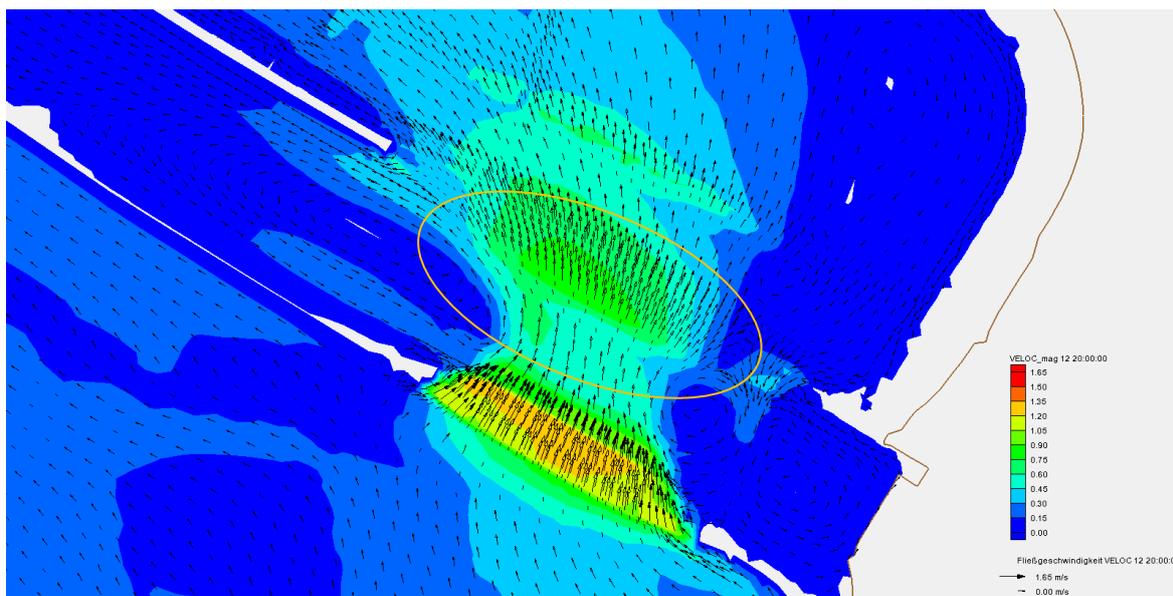
Beginn Überströmung Überlaufstrecke Elbedeich, Zeitpunkt: 07.06.2013, 10:00
Wasserstand im Hafen 8,94 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,22 m NHN
Es fließt wenig Wasser über die Überlaufstrecke Elbedeich. Die Strömungsverhältnisse in der Retentionsfläche werden noch nicht durch die Überströmung beeinflusst.



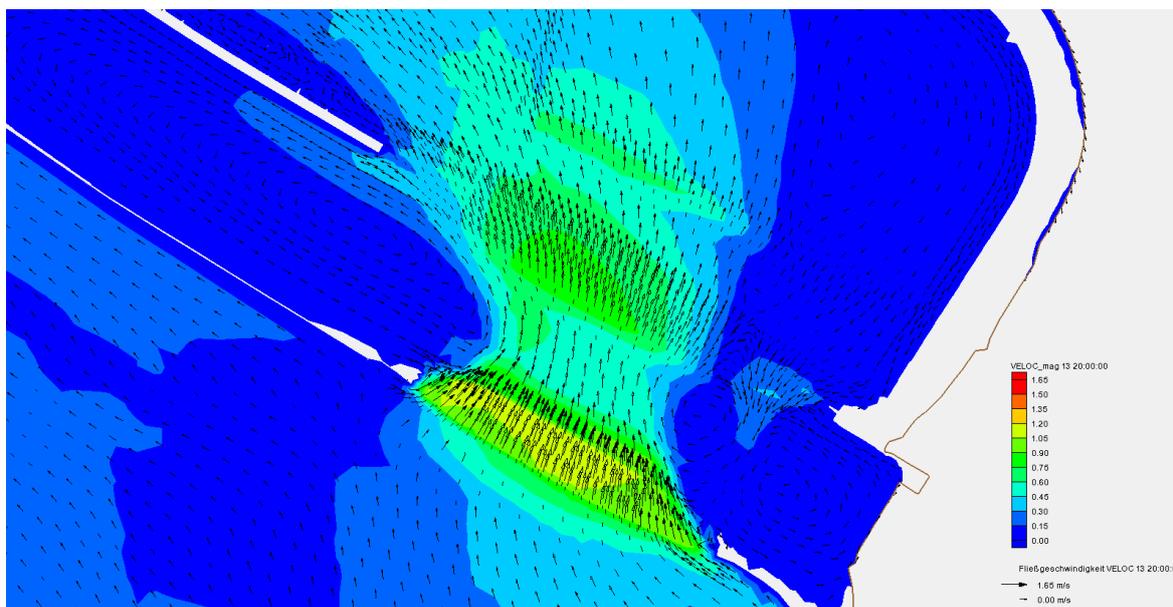
Beginn Überströmung Überlaufstrecke, Zeitpunkt: 07.06.2013, 16:00
Wasserstand im Hafen 9,28 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,51 m NHN. Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Elbedeich ca. 1,58 m/s und in der Überlaufstrecke Sudedeich ca. 0,25 m/s. Auch die Überlaufstrecke Sudedeich wird nun überströmt. Es erfolgt ein gerichteter Zustrom in die Retentionsfläche hinein.



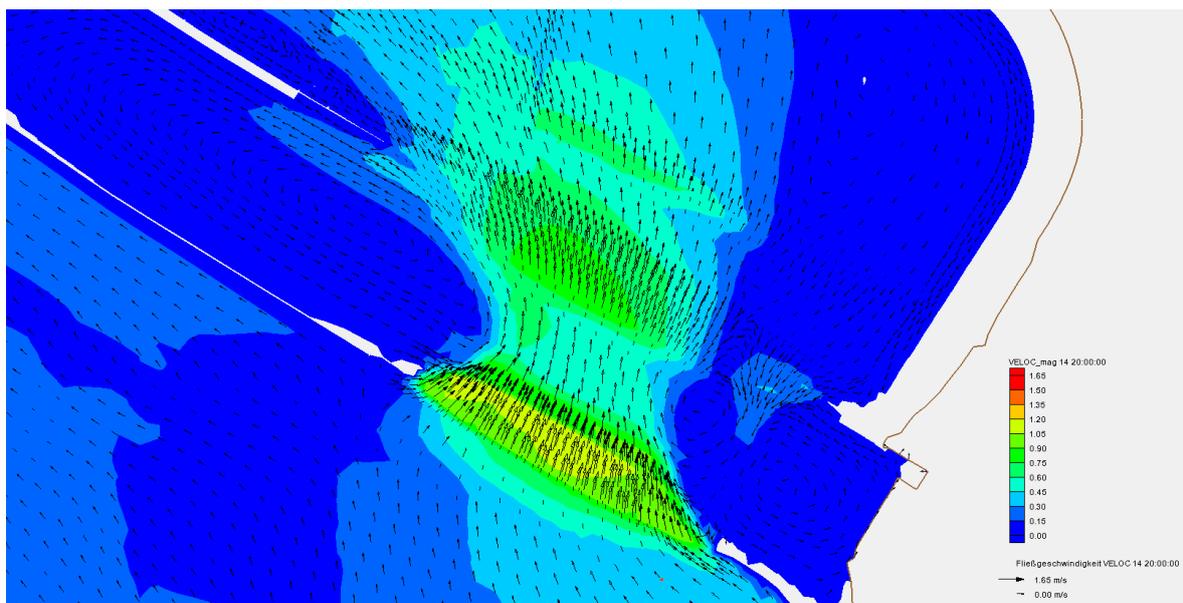
Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Elbedeich (ca. 1,60 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (ca. 0,50 m/s), Zeitpunkt: 07.06.2013, 22:40
Wasserstand im Hafen 9,77 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,92 m NHN



Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Sudedeich (ca. 0,84 m/s) und in der Überlaufstrecke Elbedeich (ca. 1,34 m/s) , Zeitpunkt: 08.06.2013, 20:00
Wasserstand im Hafen 10,68 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 10,76 m NHN

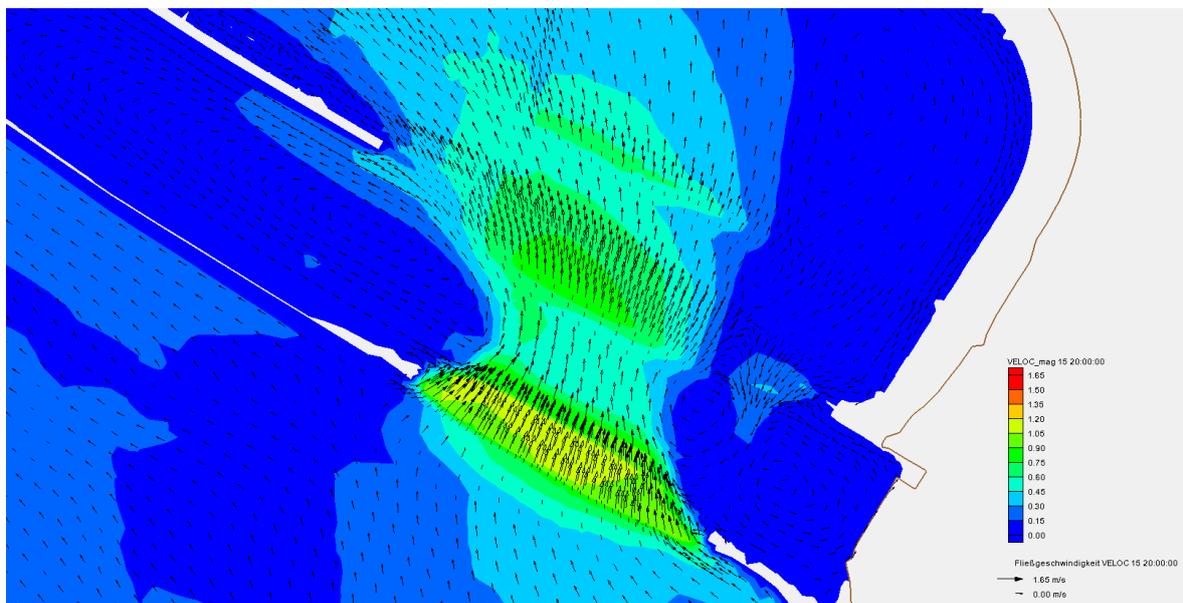


Zeitpunkt: 09.06.2013, 20:00
Wasserstand im Hafen 11,13 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 11,19 m NHN



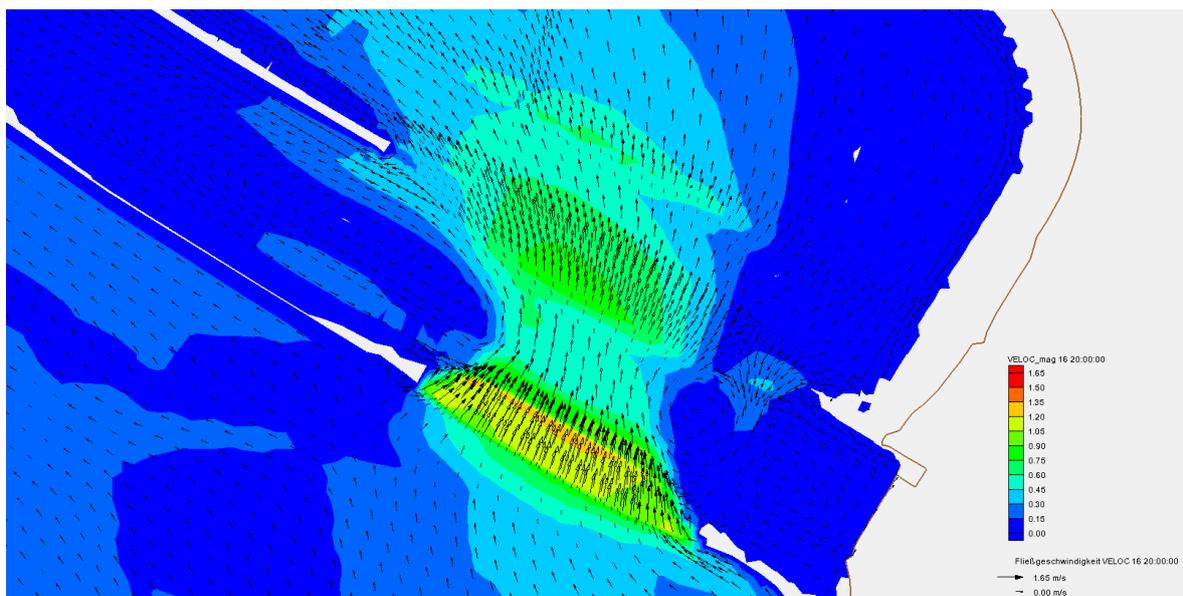
Scheitelwasserstand in Elbe und Boize, Zeitpunkt: 10.06.2013, 20:00

Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Elbedeich (ca. 1,20 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (ca. 0,84 m/s). Wasserstand im Hafen 11,18 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 11,24 m NHN

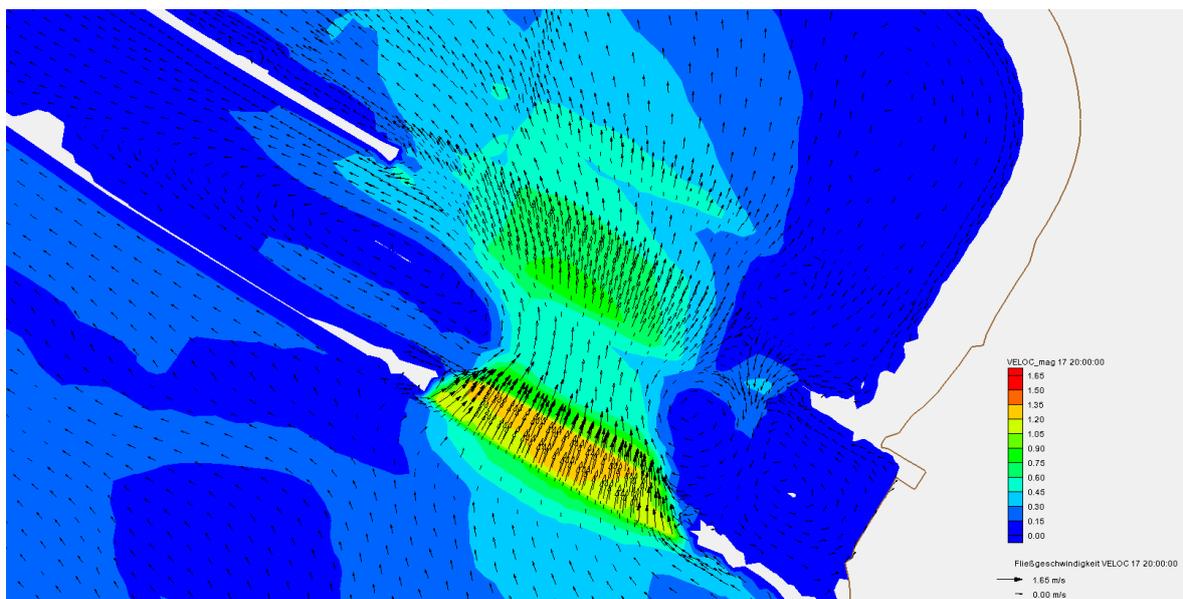


Weiterhin starker Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 11.06.2013, 20:00

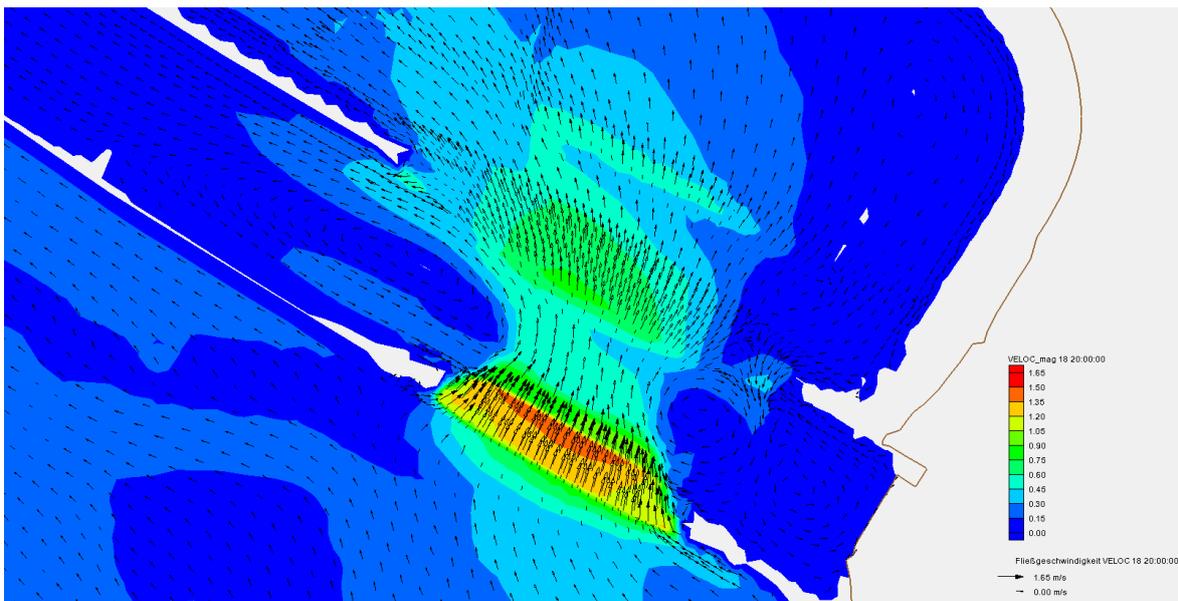
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,21 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,83 m/s). Wasserstand im Hafen 11,06 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 11,13 m NHN



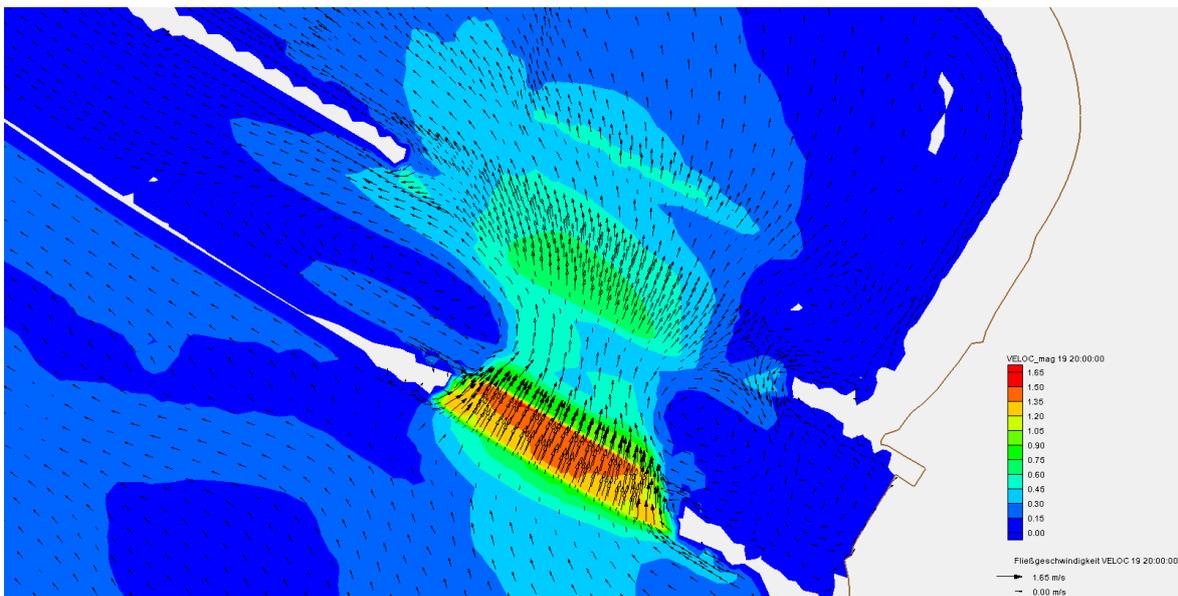
Weiterhin starker Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 12.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,25 m/s) und in der Überlaufstrecke
Sudedeich (max. 0,85 m/s). Wasserstand im Hafen 10,81 m NHN, Wasserstand in der Elbe an
der Überlaufstrecke 10,88 m NHN



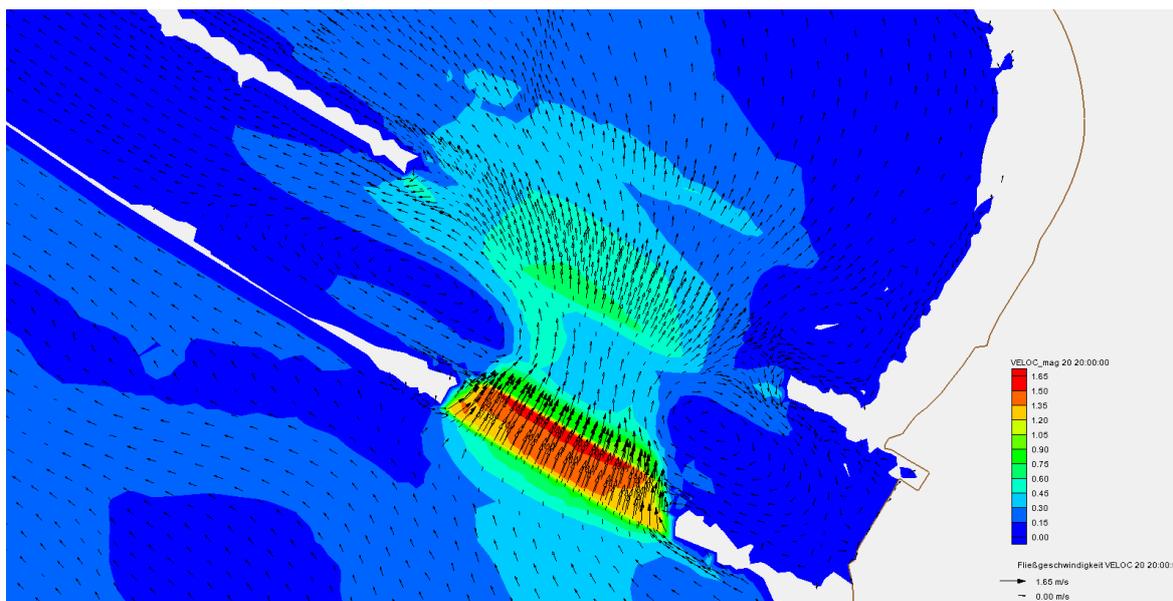
Zustrom in die Retentionsfläche wird wieder stärker, Zeitpunkt: 13.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,35 m/s) und in der Überlaufstrecke
Sudedeich (max. 0,84 m/s). Wasserstand im Hafen 10,55 m NHN, Wasserstand in der Elbe an
der Überlaufstrecke 10,63 m NHN



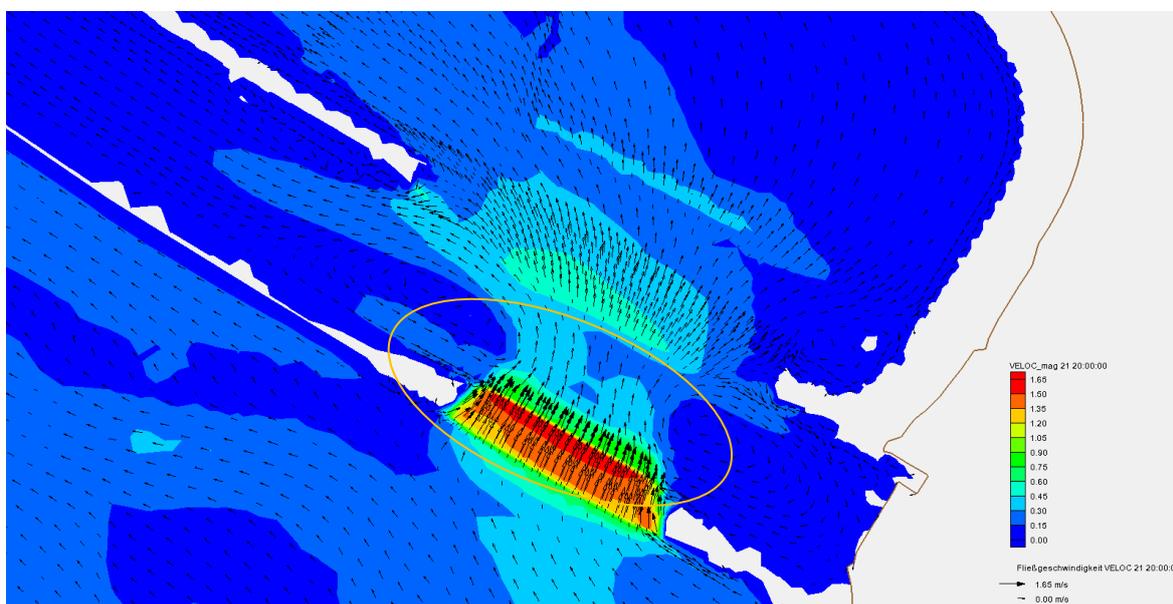
Weiterhin Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 14.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,45 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,80 m/s). Wasserstand im Hafen 10,34 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 10,44 m NHN



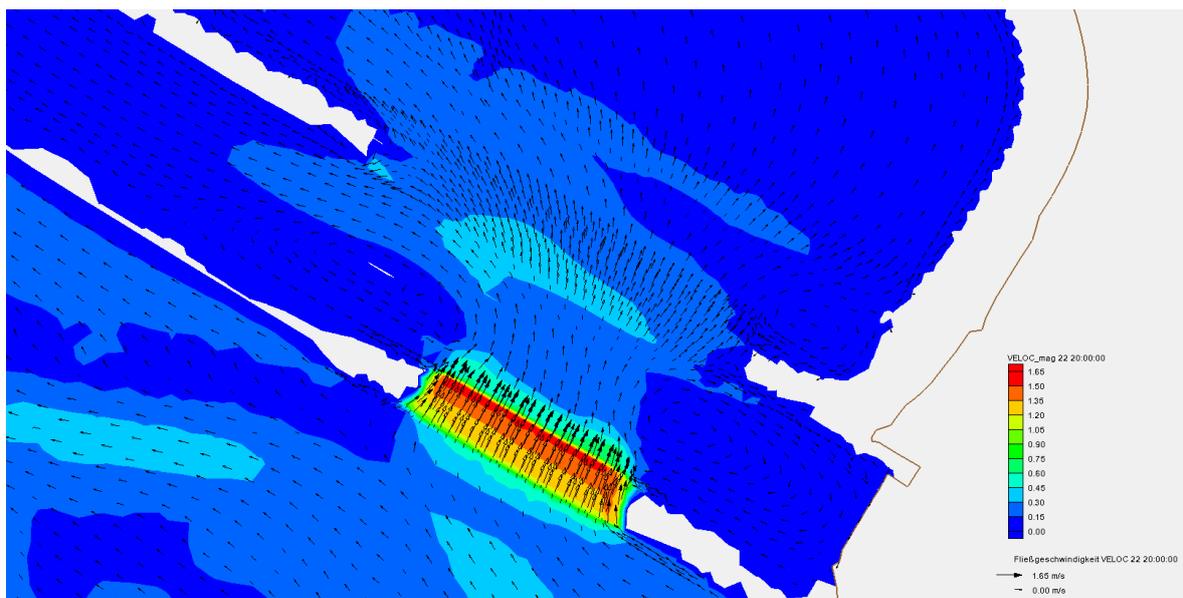
Weiterhin Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 15.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,55 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,75 m/s). Wasserstand im Hafen 10,15 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 10,26 m NHN



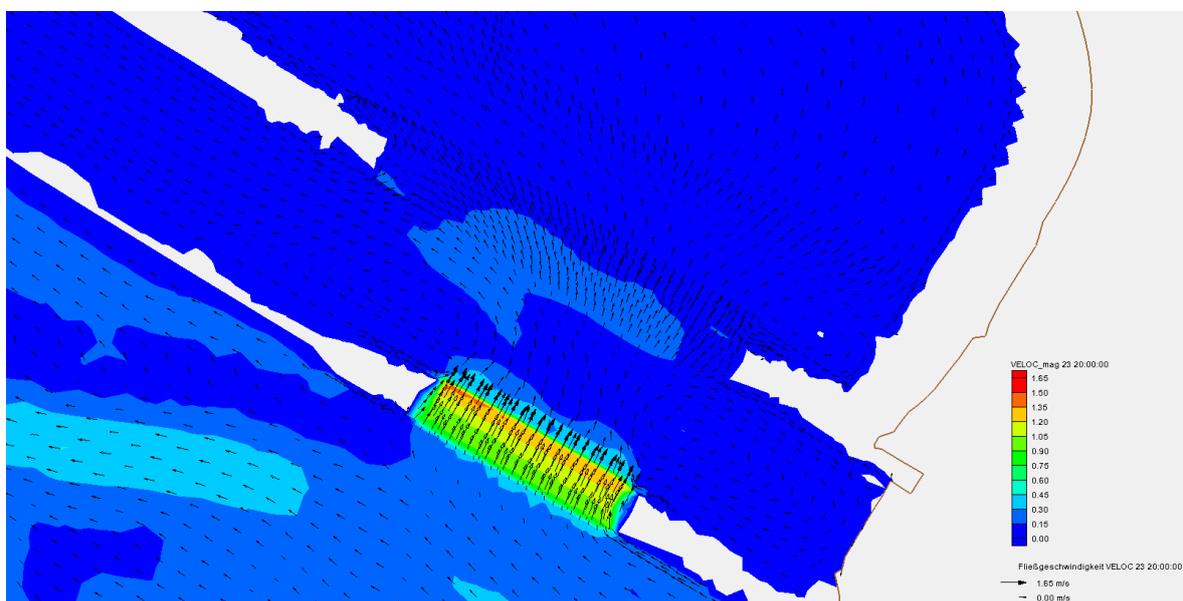
Weiterhin Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 16.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,62 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,67 m/s). Wasserstand im Hafen 9,98 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 10,00 m NHN



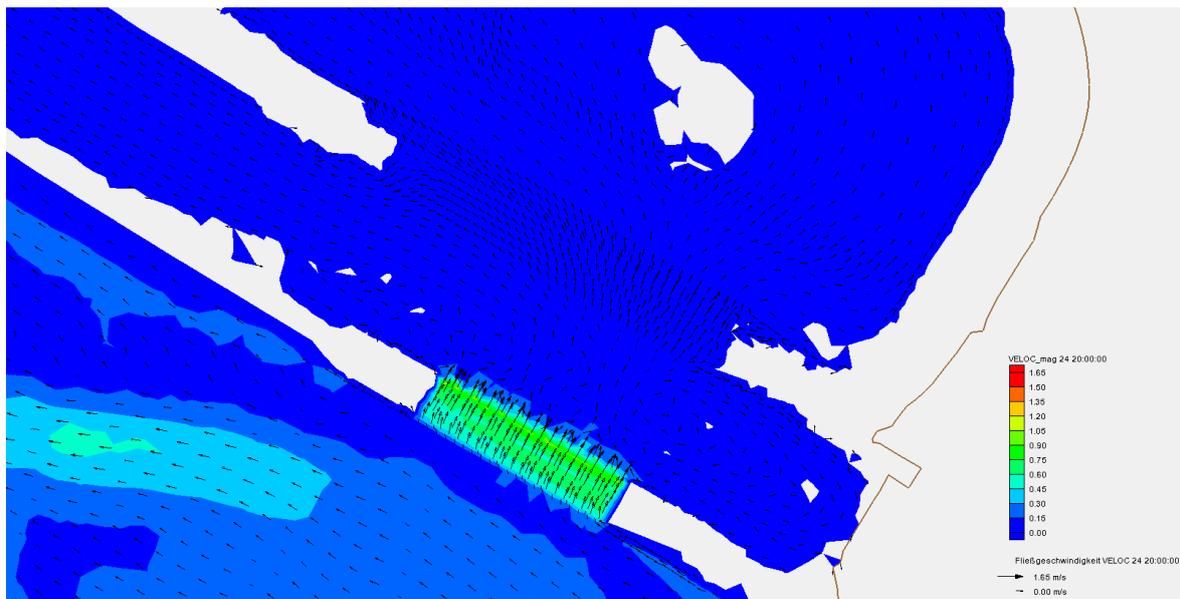
Weiterhin Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 17.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (ca. 1,67 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,54 m/s). Wasserstand im Hafen 9,75 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,90 m NHN



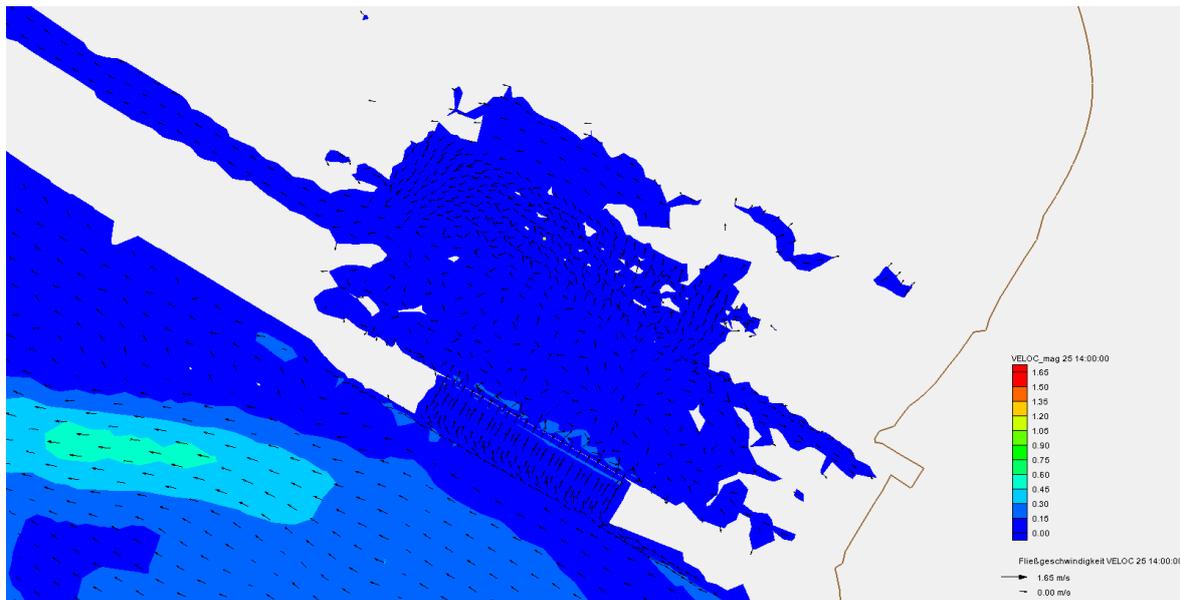
Weiterhin Zustrom in die Retentionsfläche hinein, Zeitpunkt: 18.06.2013, 20:00
Wasserstand im Hafen 9,51 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,70 m NHN. Fließgeschwindigkeit in der Überlaufstrecke Elbedeich ca. 1,66 m/s und in der Überlaufstrecke Sudedeich ca. 0,42 m/s



Zustrom zur Retentionsfläche wird weniger, Zeitpunkt: 19.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,43 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,19 m/s). Wasserstand im Hafen 9,23 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,45 m NHN



Praktisch keine Überströmung der Überlaufstrecke Sudedeich, Zeitpunkt: 20.06.2013, 20:00
Fließgeschwindigkeit in Überlaufstrecke Elbedeich (max. 1,11 m/s) und in der Überlaufstrecke Sudedeich (max. 0,08 m/s). Wasserstand im Hafen 8,98 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,24 m NHN



Ende Überströmung der Überlaufstrecke Elbedeich, Zeitpunkt: 21.06.2013, 14:00
Wasserstand im Hafen 8,78 m NHN, Wasserstand in der Elbe an der Überlaufstrecke 9,00 m NHN