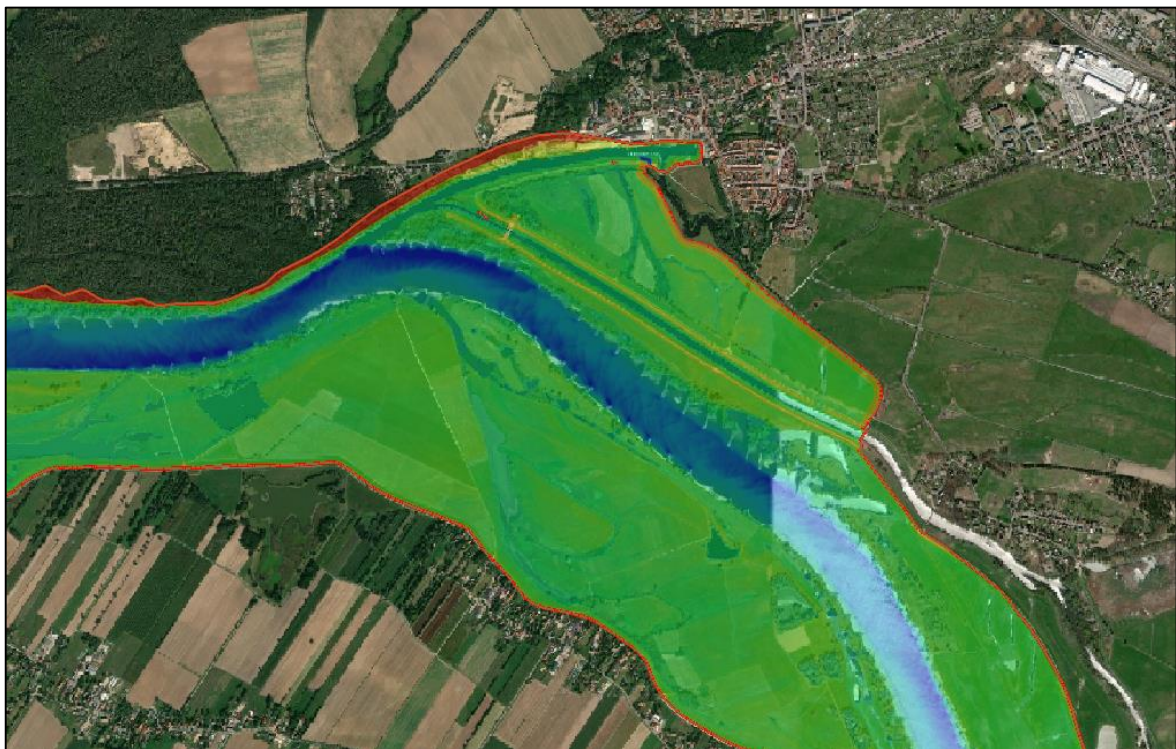


Hydraulische Berechnungen zum Hochwasserschutz Boizenburg -Elbe und Retentionsfläche-



Magdeburg, September 2021

Auftraggeber: Ramboll Deutschland GmbH
Werinherstraße 79
81541 München

Auftragnehmer: Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz
Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer GmbH
Hochschule Magdeburg
Forschungs- und Entwicklungszentrum (FEZ)
Breitscheidstraße 51
39114 Magdeburg

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer

Projektbearbeitung: Linda Bromberg, M.Eng.
Stefan Orlik, M. Eng.

Datum: 27.09.2021

Prof. Dr.-Ing. B. Ettmer

Inhalt

1.	Einleitung.....	2
2.	Datengrundlagen	4
3.	Computervermodell	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	2d-hn-Modell IWU.....	6
3.2.1	Theorie	6
3.2.2	Modellaufbau	9
3.3	Kalibrierung	10
3.4	Modellerweiterung	14
3.5	Hydraulische Randbedingungen	16
4.	Untersuchungsprogramm.....	17
5.	Ergebnisse.....	18
5.1	Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN	18
5.2	Sude-Deichrückbau binnen.....	20
5.3	Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)	21
5.4	Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD).....	22
6.	Zusammenfassung	23
7.	Literaturverzeichnis.....	24

1. Einleitung

An der Elbe bei Boizenburg werden umfangreiche Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Ingenieurgesellschaft Ramboll / Hamburg und iKD / Dresden, im Bereich von Elbe-km 556,9 bis Elbe-km 559,4, geplant. Die Planungen umfassen u.a. Deichrückverlegungen im Bereich der Ortschaft Boizenburg sowie die Ausweisung von Polderflächen. Durch die geplanten Maßnahmen wird der Wasserstand der Elbe bei Hochwasser beeinflusst und es sind Wasserspiegelabsenkungen in der Elbe zu erwarten. Um die hydraulische Wirkung der geplanten Maßnahmen zu quantifizieren waren hydraulische Berechnungen mit einem bei IWU vorliegenden 2d-hydro-numerischen Modell (2d-hn-Modell) vorgesehen. Das 2d-hn-Modell umfasst die niedersächsische Elbe von der Grenze zu Sachsen-Anhalt bis zur Wehranlage in Geesthacht auf der aktuell verfügbaren Datengrundlage aus dem DOM 2015/2016.

Die von Ramboll und iKD geplanten Maßnahmen wurden in das 2d-hn-Modell eingearbeitet und die hydraulische Wirkung der geplanten Maßnahmen auf die Wasserspiegellage der Elbe, insbesondere bei Hochwasserabflüssen, untersucht. Die Hochwasserabflüsse umfassten die Abflüsse HQ_{100} , HQ_{20} , HQ_5 , MHQ. Ergänzend wurden die Abflüsse MQ und MNQ und weitere Zwischenabflüsse als stationäre Abflüsse untersucht. Zudem wurde das Hochwasserereignis 2013, welches das bislang höchste Hochwasser an der Elbe darstellt, als instationäres Abflussereignis verwendet.

Die hydraulischen Berechnungen wurden für vier Planungsvarianten durchgeführt, die sich im Wesentlichen durch verschiedene Rückbauvarianten am Sudedeiches unterschieden. Im Einzelnen wurden folgende Varianten untersucht.

- a) Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN
- b) Sude-Deichrückbau binnen
- c) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)
- d) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)

Das Planungsgebiet ist in **Abb. 1.1** dargestellt. Es umfasst die eingedeichte und parallel zur Elbe verlaufende Sude zwischen Elbe-km 556,9 bis zur Einmündung der Sude in die Elbe bei Boizenburg bei Elbe-km 559,4 und die binnenseitig gelegene Niederungsfläche, die als sog. Sudepolder bezeichnet wird.

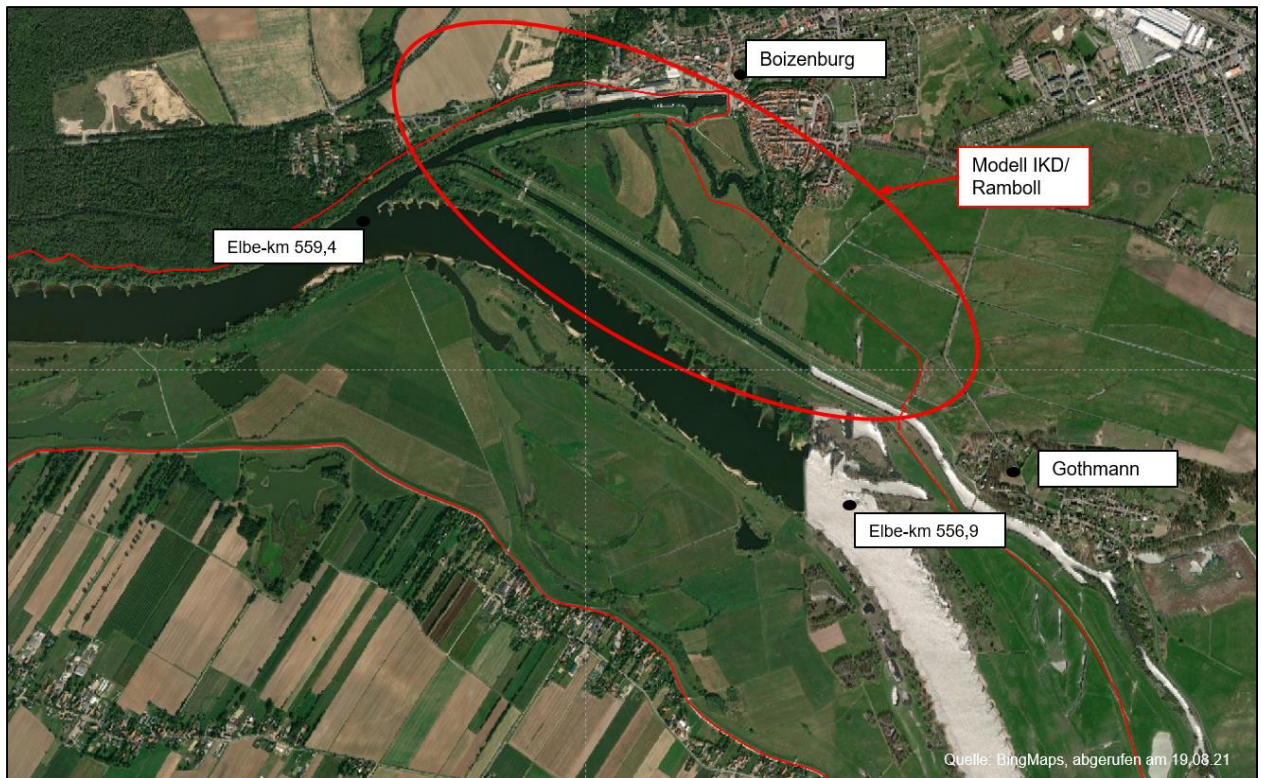


Abb. 1.1: Übersicht über das Projektgebiet, Luftbild Quelle BingMaps, abgerufen am 19.08.2021, verändert

2. Datengrundlagen

Datengrundlagen wurden vom NLWKN, Betriebsstelle Lüneburg und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz zur Verfügung gestellt. Zudem wurde vom Ingenieurbüro iKD-Consult eine digitale Planungsvariante für die Gestaltung des Sudepolders zur Verfügung gestellt.

Im Einzelnen waren dies folgende Unterlagen:

a) Blattübersichten, Abflussverbessernde Maßnahmen, Koordinierungsraum Mittelelbe-Elde, Flussgebietsgemeinschaft FGG Elbe, Gewässer: Untere Mittelelbe, Bundesland Niedersachsen, BaseMap Topographic (c) esri, Maßstab 1:10.000, Kartenblätter 12, 13, Stand Oktober 2013

b) Daten-CD der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 01.07.2015 mit Baseline Datensatz; einem kalibrierten Ist-Modell der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, zugrundeliegende Geobasisdaten, hydraulische Randbedingungen für das HQ₁₀₀. Grundlage der Geobasisdaten: DGM-W 2m x 2m des Bundes und der Bundesländer aus Befliegungen bis 2006 und Gerinnepeilungen aus dem Jahr 2004 (BfG) mit lokalen Aktualisierungen auf dem Vorland. Das DGM-W lag in bearbeiteter Form vor. Es wurde ausschnittsweise weiterverwendet.

c) DGM1 aus 2015 im Bereich Niedersachsen mit 304 Kacheln im UTM32 Format mit je 1000 x 1000 Punkten, Lagebezug: ETRS89-UTM32N (EPSG-Code: 25832) – Höhenbezug: DHHN92 (EPSG-Code: 5783), Ersterfassung März 2015

d) DGM1 aus 2015 bei Vitico 8 Kacheln im UTM32 Format mit je 1000 x 1000 Punkten, Lagebezug: ETRS89-UTM32N (EPSG-Code: 25832) – Höhenbezug: DHHN92 (EPSG-Code: 5783), Ersterfassung April 2015

e) 3 DGM im Bereich Mecklenburg-Vorpommern: DGM1: 14 Kacheln unterschiedlicher Größe mit Datum: November 2016; DGM2: 30 Kacheln unterschiedlicher Größe mit Datum: November 2009; DGM5: 67 Kacheln unterschiedlicher Größe mit Datum: April 2009; Lagebezug nicht bekannt; Annahme: UTM33N – Höhenbezug nicht bekannt; Annahme DHHN92

f) DGM1-Daten an Ländergrenzen zu Bundesländern BB, MV, SH, SA; Lagebezug: UTM32N – Höhenbezug nicht bekannt: AnnahmeDHHN92, Datum Ersterfassung nicht bekannt; übergeben durch NLWKN 20.07.2018

g) Gerinnepeilung WSA Magdeburg: Flächenpeilung der Fahrtrinne 1m x 1m Elbe-km 450 bis Elbe-km 502; Lagebezug: UTM32N; Höhenbezug: nicht bekannt: Annahme DHHN92, Ersterfassung 18.10.2016 bis 02.11.2016

h) Gerinnepeilung WSA Lauenburg: Flächenpeilung der Fahrtrinne 2m x 2m Elbe-km 508 bis Elbe-km 528, Lagebezug: LS 100 (GK 3°, 40/83); Höhenbezug: HS 170 (DHHN2016 mNHN); Ersterfassung 14.08.2017 bis 23.09.2017

i) Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (BKG, 2009), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (ATKIS-Datensatz), Aktualisierungen mit Biotopkartierungen aus 2009 bis 2012 sowie Luftbildauswertungen 2009 bis 2012, bereits eingearbeitet in Baseline Datensatz, Daten-CD der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 01.07.2015 ergänzt und erweitert durch Digitales Oberflächenmodell Niedersachsen (2015)

j) Online Portal FLYS mit Abfluss- und Wasserspiegellängsschnitte der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Software mit*.txt-Dateien, Zuletzt abgerufen am 07.03.2018

k) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch: Elbegebiet, Teil III Untere Elbe ab der Havelmündung 2013: Dezember 2015; Herausgeber Freie und Hansestadt Hamburg HPA Hamburg Port Authority AöR

l) Fließgeschwindigkeitsmessungen vom Hochwasser 2013 an den Elbe-km 453,9, Elbe-km 482,7, Elbe-km 490,5, Elbe-km 510,9, Elbe-km 519,9, Elbe-km 541,4, Elbe-km 552, Elbe-km 560,9, aufgenommen durch Ingenieurbüro Schmid, übergeben durch WSA Magdeburg am 23.11.2018

m) Modellabschnitt im Bereich Boizenburg mit Sudepolder von Elbe-km 549,3 bis Elbe-km 563,5, Modelldatei übergeben durch iKD Ingenieur-Consult GmbH / Dresden am 15.06.2021

3. Computermodell

3.1 Allgemeines

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit dem bei IWU vorliegenden 2d-hn-Modell der Elbe durchgeführt. Das Computermodell umfasste die Fließstrecke der Elbe von Fluss-km 451,0 (Wittenberge) bis Fluss-km 585,9 (Wehranlage Geesthacht), vgl. **Abb. 3.1**.

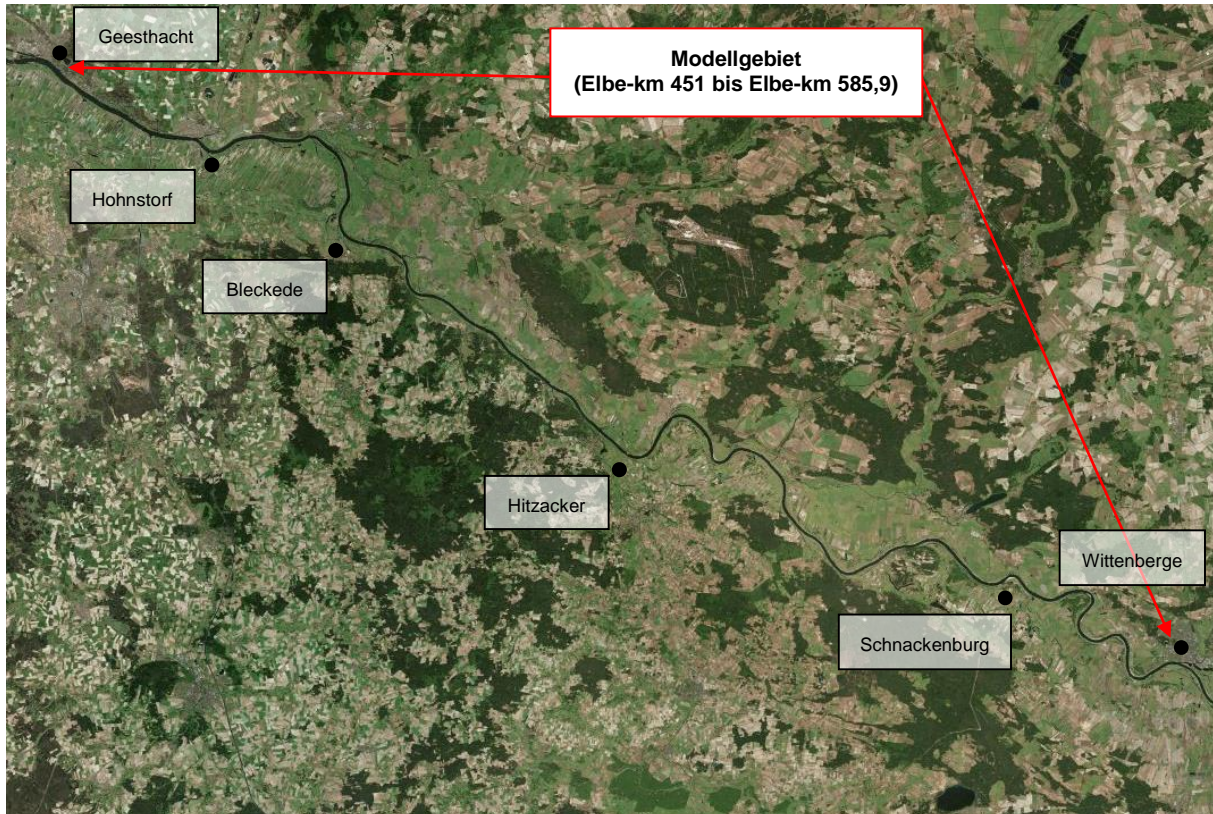


Abb. 3.1: Übersichtskarte unmaßstäblich, Untere Mittelelbe, Quelle: Bing Maps, 13.11.2020 (verändert)

3.2 2d-hn-Modell IWU

3.2.1 Theorie

Die 2d-hydro-numerischen Berechnungen wurden mit der Software Hydro_AS-2D durchgeführt. Das numerische Verfahren der verwendeten Software Hydro_AS-2D löst die zweidimensional-tiefengemittelten Strömungsgleichungen (Flachwassergleichungen), die sich aus der Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe ergeben, vgl. Gl. 3.1 bis Gl. 3.5. Es wird eine hydrostatische Druckverteilung angenommen. In kompakter Vektorform lauten die 2D-Strömungsgleichungen, vgl. Nujic (2006):

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + s = 0 \quad (\text{Gl. 3.1})$$

mit:

$$w = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.2})$$

$$f = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - vh \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

$$s = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

$$g = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - vh \frac{\partial u}{\partial y} \\ v^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

mit:

x, y	[m]	Horizontale Koordinaten
u, v	[m/s]	Geschwindigkeitskomponenten in x- und y-Richtung
t	[s]	Zeit
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
h	[m]	Lokale Wassertiefe
H	[m]	Absoluthöhe des Wasserspiegels mit: H = h + z

z	[m]	Lokale Sohlenhöhe
ν	[m ² /s]	Kinematische Viskosität, Einfluss der Turbulenz
I_{Rx}, I_{Ry}	[-]	Reibungsgefälle in x- und y-Richtung
I_{Sx}, I_{Sy}	[-]	Sohlengefälle in x- und y-Richtung

Über den sogenannten Quell-/Senkenterm S gehen die Sohlenneigung I_S und das Reibungsgefälle I_R ein. Die Sohlenneigung in x- und in y- Richtung ist durch den jeweiligen Gradienten des Sohlenniveaus definiert, vgl. Gl. 3.6 und Gl. 3.7, Nujic (2006).

$$I_{Sx} = -\frac{\partial z}{\partial x} \quad (\text{Gl. 3.6})$$

$$I_{Sy} = -\frac{\partial z}{\partial y} \quad (\text{Gl. 3.7})$$

Die Rauheiten werden über eine elementweise Definition von Rauheitsbeiwerten nach Manning-Strickler erfasst. Die Berechnung des Gefälles I_R erfolgt nach der Darcy-Weissbach-Gleichung, wobei der hydraulische Radius der Wassertiefe h gleichgesetzt wird, vgl. Gl. 3.8 und Gl. 3.9, Nujic (2006).

$$I_{Rx} = \frac{\lambda u |u|}{2g4h} \quad (\text{in Hauptstromrichtung } x) \quad (\text{Gl. 3.8})$$

$$I_{Ry} = \frac{\lambda v |v|}{2g4h} \quad (\text{in Querströmungsrichtung } y) \quad (\text{Gl. 3.9})$$

mit:

λ	[-]	Widerstandsbeiwert
-----------	-----	--------------------

Die Berechnung des dimensionslosen Widerstandsbeiwertes λ erfolgt über die Zuordnung von Strickler-Beiwerten, wiederum unter der Annahme, dass der hydraulische Radius der Wassertiefe h gleichgesetzt wird, vgl. Gl. 3.10.

$$\lambda = 6.34 \frac{2g \left(\frac{1}{k_{St}} \right)^2}{(4h)^{\frac{1}{3}}} \quad (\text{Gl. 3.10})$$

Die mathematische Lösung der tiefengemittelten Strömungsgleichungen erfolgt über die Definition von Randbedingungen. Die oberstromige Randbedingung bildet der Zulauf in das Modell. Als unterstromige Randbedingung wurde die Wasserstands-Abfluss-Beziehung an der Wehranlage Geesthacht verwendet. Anmerkung: Seitliche Zuflüsse wurden als offene Modellgrenzen definiert, aufgrund der untergeordneten Bedeutung im Rahmen der anstehenden Untersuchung jedoch nicht mit Zuflussdaten versehen.

3.2.2 Modellaufbau

Das Untersuchungsgebiet wurde innerhalb der festgelegten Modellgrenzen mit Hilfe eines Gitternetzes aus dreieckigen und z.T. viereckigen Elementen abgebildet. Das Gitter wurde detailliert an die topografischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet angepasst. Besonderes Augenmerk wurde daraufgelegt, Geländebruchkanten (u.a. Deich- und Straßenverläufe sowie Bühnenfelder) und Abgrenzungen von Flächen mit unterschiedlicher Vegetation oder Nutzung genau zu erfassen. Zur Sicherstellung der mathematischen Stabilität des Verfahrens wurden ungünstige Elementgeometrien, wie bspw. zu stumpfe oder zu spitze Innenwinkel in den Gitterzellen sowie zu starke Größenunterschiede zwischen benachbarten Gitterzellen, vermieden. Mit diesen Kriterien wurde für die Elbevorländer ein Berechnungsgitter aus Dreieckselementen mit Kantenlängen von ca. 10 m bis 14 m erstellt.

Das 2d-hn-Modell (2018) wurde mit zahlreichen Datengrundlagen aktualisiert. Das DGM-W bestand aus insgesamt 10 verschiedenen Datenquellen bei denen entsprechend der Aktualität und der Güte der Daten eine Reihenfolge in der Verwendung der Daten festgelegt wurde, vgl. **Tab. 3.1**. Festgestellt werden kann, dass die Aufnahme der maßgeblichen Datengrundlagen aus dem Jahr 2015 stammt.

Tab. 3.1: Datengrundlagen DGM-W (2018)

Reihenfolge	Datengrundlage
(1)	Gerinnepeilung, WSA Magdeburg, Kap. 2 (g)
(2)	Gerinnepeilung, WSA Lauenburg, Kap. 2 (h)
(3)	Flussschlauch aus DGM-W 2004/2006, Kap. 2 (b)
(4)	DGM1 im Bereich Niedersachsen, Kap. 2 (c)
(5)	DGM1 bei Vitico, Kap. 2 (d)
(6)	DGM1 andere BL, Kap. 2 (f)
(7)	DGM1 MV, Kap. 2 (e)
(8)	DGM2 MV, Kap. 2 (e)
(9)	DGM5 MV, Kap. 2 (e)
(10)	Vorland aus DGM-W 2004/2006, Kap. 2 (b)

Das Modellgitter wurde mit einer großen Detailtreue erstellt. Es wurde darauf Wert gelegt, auch kleine maßgebliche Strukturen, wie bspw. Buhnen, Straßen- und Wegeverläufe zu erfassen. Das Berechnungsgitter umfasst rd. 1,1 Mio. Knotenpunkte und rd. 2,2 Mio. Elemente. Exemplarisch ist in **Abb. 3.2** eine Übersicht (links) und ein Detailausschnitt (rechts) aus dem Berechnungsgitter im Bereich Elbe-km 554 dargestellt. **Tab. 3.2** fasst die wesentlichen Eigenschaften des Berechnungsgitters zusammen.

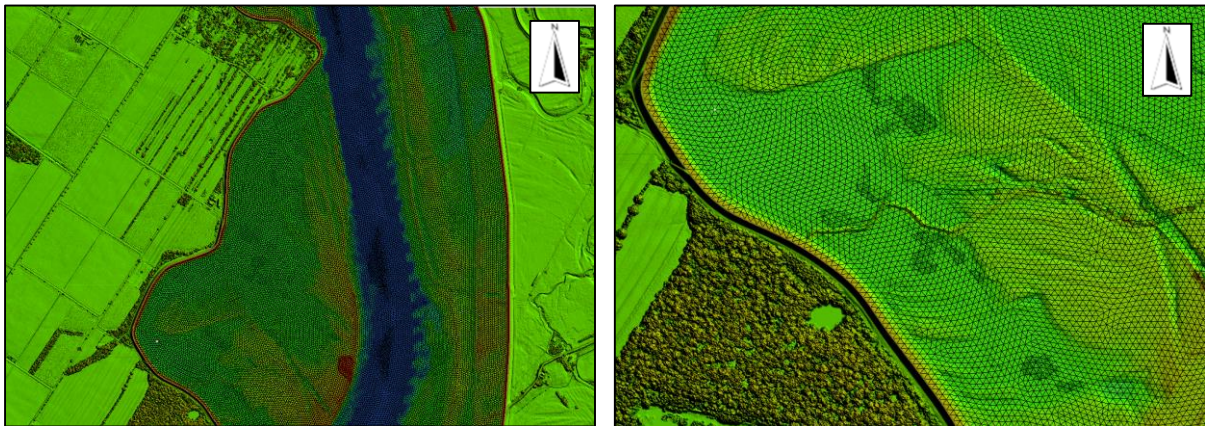


Abb. 3.2: Ausschnitt aus dem Berechnungsgitter im Bereich Elbe-km 554, Übersicht (links) und Detail (rechts)

Tab. 3.2: Eigenschaften des 2d-hn-Berechnungsgitters

Abschnitt	Fließstrecke	Gittereigenschaften
Elbe-km 451,0 bis Elbe-km 585,9 (Wehr Geesthacht)	135 km	2.188.828 Elemente 1.106.200 Knotenpunkte 10 bis 14 m max. Kantenlänge

3.3 Kalibrierung

Das 2d-hn-Modell wurde am Sommerhochwasser des Jahres 2013 als maßgebliches Hochwasser der jüngsten Vergangenheit kalibriert. Die Abflüsse des Hochwasserereignisses sind in **Tab. 3.3** zusammengestellt. Die Abflussdaten und Wasserspiegelmessungen wurden dem Online Portal FLYS der Bundesanstalt für Gewässerkunde entnommen.

Tab. 3.3: Abflussdaten Sommerhochwasser 2013

Datum	Elbe-km	Abfluss [m ³ /s]
11.06.2013	475,0 bis 483,5	4.070
12.06.2013	483,6 bis 542,6	4.040
13.06.2013	542,7 bis 584,3	3.910

Als unterstromige Randbedingung wurde ein Energieliniengefälle von $I_E = 0,00019$ definiert. Die Rauheiten wurden auf Grundlage des Digitalen Oberflächenmodells (DOM) 2015 für die entsprechenden Landnutzungen bzw. Oberflächenbeschaffenheiten festgelegt. **Abb. 3.3** zeigt die Rauheitszuordnung im Computermodell. Neben großflächigen Rauheitszonen, wie bspw. den Grünlandbereichen auf dem Vorland der Elbe (grün), wurde auch die Vegetation detailgetreu bis auf Baumniveau (rot) erfasst.

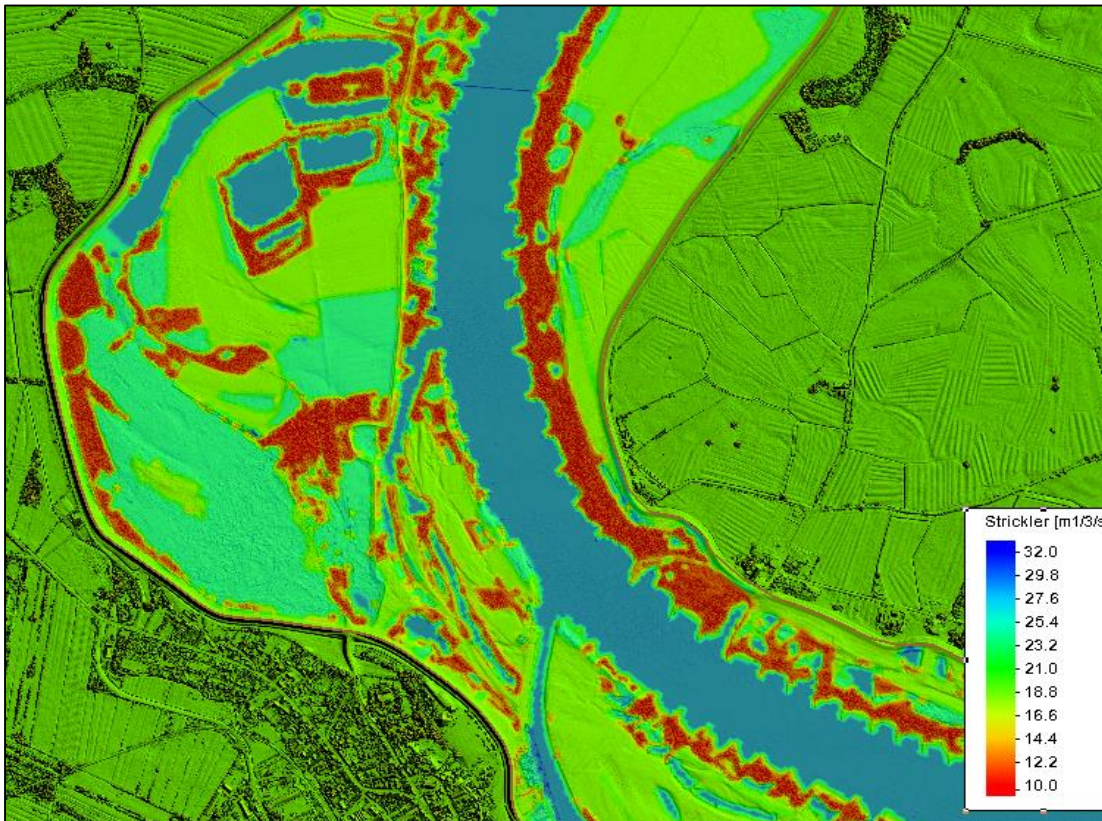


Abb. 3.3: Detaillierte Rauheitszuweisung im Computermodell

Insgesamt wurden 7 Rauheitsklassen verwendet. Die Rauheitsklassen umfassten (1) Straßen, Wege und Bebauung, mit einem geringen Flächenanteil im Untersuchungsgebiet, (2) Grünland und Ackerflächen, die den größten Flächenanteil im Untersuchungsgebiet umfassen, (3) Ruderalflur, Röhricht und krautige Vegetation, (4) Gebüsch und dichtes Unterholz, (5) Weichholzaue, Hartholzaue, Wald und Einzelgehölze, (6) Elbe-Hauptstrom und (7) vegetationsfreie Flächen und Wasserflächen, vgl. **Tab. 3.4**.

Tab. 3.4: Rauheitsklasse und zugehörige Rauheitsbeiwerte für das kalibrierte 2d-hn-Modell

Nr.	Rauheitsklasse	k_{St} [$m^{1/3}/s$]
		Sommer
1	Straßen, Wege und Bebauung	25
2	Grünland und Ackerflächen	25
3	Ruderalflur, Röhricht und Krautige Vegetation	18
4	Gebüsch und dichtes Unterholz	7-12
5	Weichholzaue, Hartholzaue, Wald, Einzelgehölze	7-12
6	Elbe, Hauptstrom	27-32
7	Vegetationsfreie Flächen und Wasserflächen	30

Die Kalibrierung ergab eine Rauheit der Elbe für das Sommerhochwasser 2013 mit $k_{St,Elbe} = 27$ bis $32 m^{1/3}/s$. Zudem zeigte sich, dass die maßgeblichen Rauheitsklassen für Bewuchs (4) Gebüsch und dichtes Unterholz und (5) Weichholzaue, Hartholzaue, Wald und Einzelgehölze mit einem Rauheitsbeiwert $k_{St} = 7$ bis $12 m^{1/3}/s$ erfasst werden konnten. Diese Rauheitsbeiwerte entsprachen den in Schneider (2010) und Ettmer, et. al (2019) ermittelten Rauheitsbeiwerten.

Die Güte der Kalibrierung ist in einem sog. Wasserspiegel-Differenzendiagramm dargestellt. Es zeigt in einem Längsschnitt die Differenz zwischen den im 2d-hn-Modell berechneten Wasserspiegellagen und den gemessenen Wasserspiegellagen für das Hochwasser 2013, **Abb. 3.4**. Die Wasserspiegelmessungen wurden dem Online Portal FLYS der Bundesanstalt für Gewässerkunde entnommen. Sie lagen flächendeckend von Elbe-km 451,0 bis Elbe-km 585,9 vor. Das Diagramm zeigt, dass die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung im 2d-hn-Modell im Wesentlichen bei $\Delta h = \pm 10$ cm liegen. Für das Hochwasser 2013 lagen 97% der berechneten Werte im Toleranzbereich von ± 10 cm, vgl. **Abb. 3.5**. Die Kalibrierungsergebnisse sind unter den gegebenen Randbedingungen einer großflächigen und langgestreckten 2d-hn-Berechnung als äußerst genau zu werten.

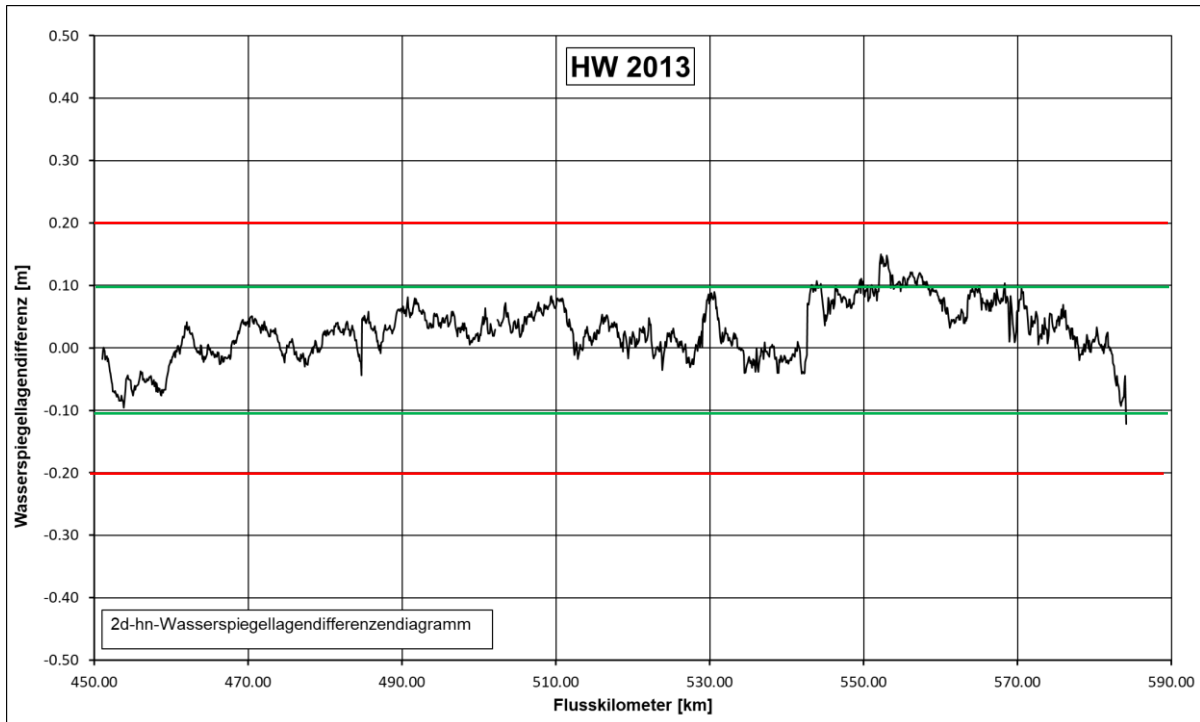


Abb. 3.4: Wasserspiegellagedifferenzdiagramm Hochwasser 2013, Kalibrierung

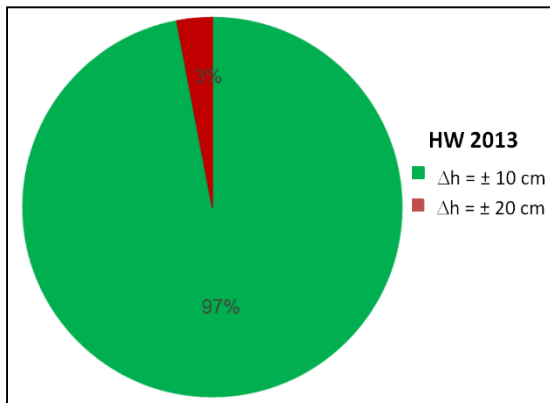


Abb. 3.5: Prozentuale Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Wasserspiegellagen für das Hochwasser 2013

Anmerkung: Die nachfolgenden hydraulischen Berechnungen wurden für den Ist-Zustand und die Planungszustände (a) bis (d) (siehe Kap. 1) durchgeführt. Die Ergebnisse aus den hydraulischen Berechnungen werden in sog. Differenzendiagrammen dargestellt, d.h. die berechneten Wasserspiegellagen für den jeweiligen Planungszustand werden mit dem Ist-Zustand verglichen. Der Unterschied in der Wasserspiegellage zwischen diesen beiden Zuständen stellt die hydraulische Wirkung der Planung gegenüber den Ist-Zustand dar. Absolute Wasserspiegellagen werden somit nicht dargestellt, sondern die Wasserspiegellagedifferenzen zwischen unterschiedlichen Ausbauzuständen in der Elbe.

3.4 Modellerweiterung

Die Modellerweiterung des vorliegenden Elbe-Modells wurde im Bereich von Elbe-km 556,9 bis Elbe-km 559,4 mit den Planungen der iKD Ingenieur-Consult GmbH durchgeführt. Hierzu wurde von iKD ein Modellgitter zur Verfügung gestellt, in dem die Planung mit der Schleifung des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN und eine binnenseitige Schlitzung des Sude-Deiches über eine Länge von rd. 80 m auf eine Höhe von 7,0 mNHN enthalten war. Das bestehende Modell wurde dadurch um eine Fläche von rd. 0,8 km² erweitert. Die Kantenlängen der Gitterstruktur in der Modellerweiterung waren hoch aufgelöst und betrug rd. 2 m bis 19 m, so dass die Planungen detailliert dargestellt waren. **Abb. 3.6** zeigt links das 2d-hn-Modell im Ist-Zustand und rechts das 2d-hn-Modell mit angefügten Flächen und den Planungen. **Abb. 3.7** zeigt einen Detailausschnitt aus dem Modellgitter.

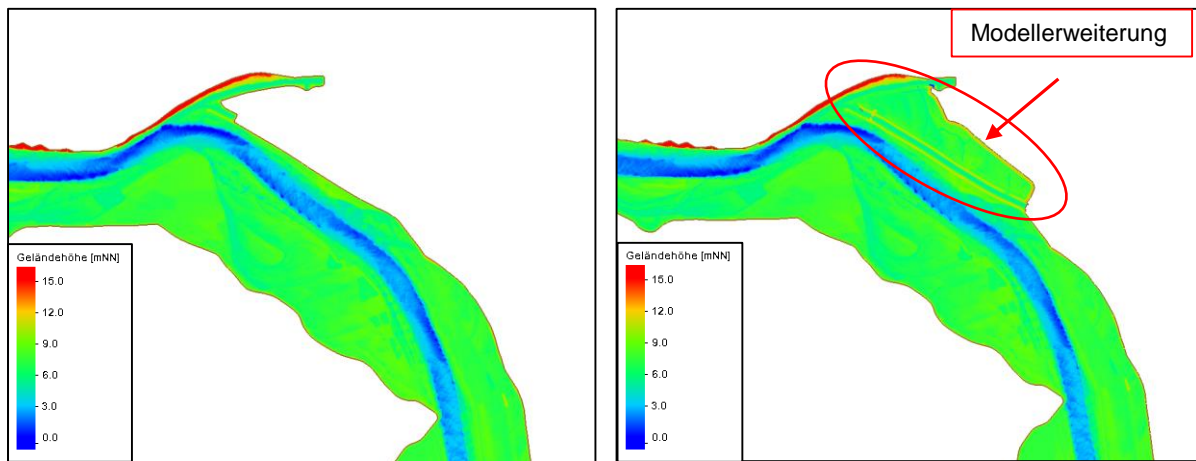


Abb. 3.6: 2d-hn-Modell im Ist-Zustand (links) und im Planungs-Zustand mit Sudepolder (rechts)

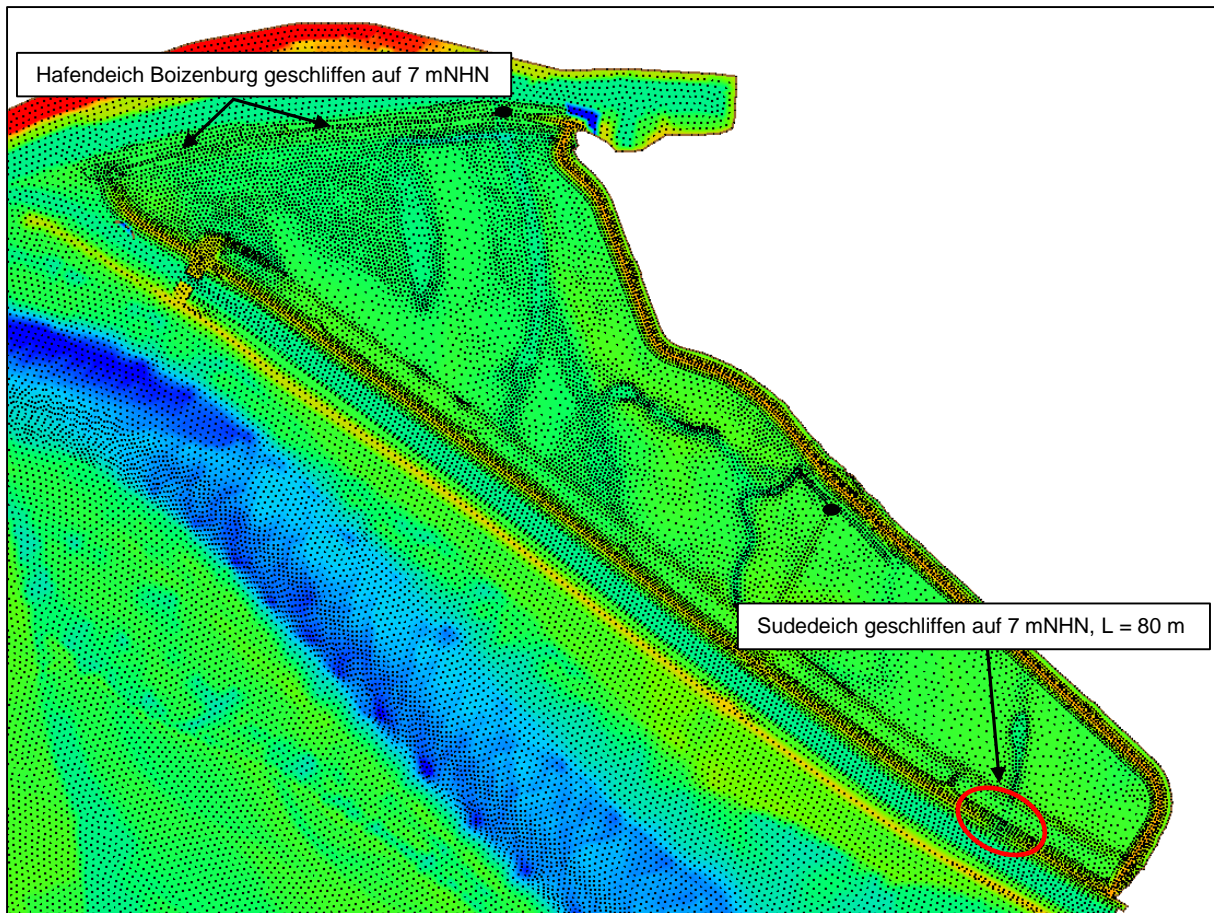


Abb. 3.7: Modellerweiterung (iKD/Ramboll) im Bereich des Sudepolders

3.5 Hydraulische Randbedingungen

Die hydraulischen Berechnungen wurden stationär für die Hochwasser HQ₁₀₀, HQ₂₀, HQ₅, MHQ sowie für MQ und MNQ und weitere Zwischenabflüsse durchgeführt, vgl. **Tab. 3.5**. Als Bezugspegel wurde der Pegel Neu Darchau, Elbe-km 536,44, verwendet. Ergänzend zu den stationären Untersuchungen wurden instationäre hydraulische Berechnungen durchgeführt, um die Flutung und Entleerung der Polderflächen bei Hochwasser nachvollziehen zu können. Für die instationären hydraulischen Berechnungen wurde die Hochwasserganglinie aus dem Jahr 2013 verwendet. Insgesamt wurde ein Zeitraum von 22 Tagen simuliert, beginnend mit der auflaufenden Hochwasserwelle im Juni 2013 vgl. **Tab. 3.6**.

Tab. 3.5: Abflüsse im Projektgebiet

HQ _i	Q [m ³ /s]
MNQ	290
Q1	350
MQ	710
Q2	1000
Q3	1500
HQ ₅	2740
HQ ₁₀	3110
HQ ₂₀	3500
HQ ₅₀	4130
HQ ₁₀₀	4545*

Quelle: Onlineprotal BfG Flys,

abgerufen am 03.05.21

Bezugspegel Neu Darchau

Hinweis: *HQ₁₀₀ = 4545 m³/s, BfG-Bericht 1848 (2015)

Tab. 3.6: Abflussganglinie Q(t) HW Welle 2013

Zeit in [d]	Q [m ³ /s]
0	2280
1	3280
2	3920
3	4070
4	4040
5	3870
6	3660
7	3470
8	3320
9	3200
10	3070
11	2900
12	2730
13	2540
14	2340
15	2160
16	2010
17	1880
18	1760
19	1640
20	1530
21	1440
22	1420

Quelle: Onlineprotal BfG Flys,

abgerufen am 03.05.21

Bezugspegel Neu Darchau

4. Untersuchungsprogramm

Das Untersuchungsprogramm umfasste hydraulische Berechnungen für den Ist-Zustand und für den Planungs-Zustand. Für den Ist-Zustand lagen bereits Berechnungsergebnisse für das Hochwasser HQ₁₀₀ und für den instationären Hochwasserwellenablauf 2013 vor, so dass für den Ist-Zustand die hydraulischen Berechnungen noch für HQ₂₀, HQ₅, MHQ und Q1, Q2, Q3, sowie für MQ und MNQ durchgeführt wurden.

Das Untersuchungsprogramm umfasste folgende Planungsvarianten:

- a) Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN
- b) Sude-Deichrückbau binnen
- c) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)
- d) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)

Die instationären hydraulischen Berechnungen wurden durchgeführt, um die Flutungsprozesse im Projektgebiet visualisieren zu können. Die instationären Berechnungen wurden als Videosequenzen aufbereitet, um den Flutungsprozess im Sudepolder in einer Animation darzustellen.

5. Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse der 2d-hn-Berechnungen wurden nachfolgend als Wasserspiegeldifferenzendiagramm in einem Wasserspiegellängsschnitt dargestellt. Ein Wasserspiegeldifferenzendiagramm zeigt die Differenz zwischen der berechneten Wasserspiegellage für die Planung abzüglich der berechneten Wasserspiegellage für den Ist-Zustand (Referenz-Zustand). Im Wasserspiegeldifferenzendiagramm ist der maximale Absenk für die durchgeführten hydraulischen Berechnungen dargestellt.

5.1 Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN

Die modelltechnische Umsetzung der Planung ist in **Abb. 5.1** dargestellt. Zu erkennen ist, der auf 7 mNHN abgesenkte Hafendeich bei Boizenburg und die Absenkung des Binnendeiches der Sude auf 7 mNHN auf einer Länge von rd. 80 m. **Abb. 5.2** zeigt das Wasserspiegeldifferenzendiagramm für die hydraulischen Berechnungen. Deutlich wird, dass erst für die Abflüsse HQ_{50} und HQ_{100} eine Wasserspiegelabsenkung erzielt werden konnte. Die maximale Wasserspiegelabsenkung betrug für HQ_{100} $\Delta h_{\max} = 0,3$ cm bei Elbe-km 558,5, vgl. **Tab.5.1**. Für Abflüsse mit einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit sowie für die hydrologischen Hauptwerte MNQ, MQ, MHQ und die ergänzenden Abflüsse wurde kein Wasserspiegelabsenk berechnet. Die instationären Berechnungen zeigten, dass die Flutung der Polderflächen ab etwa $Q = 1.000$ m³/s stattfindet. Ein Video des Flutungs- und Entleerungsvorgangs ist als Videodatei angefügt.

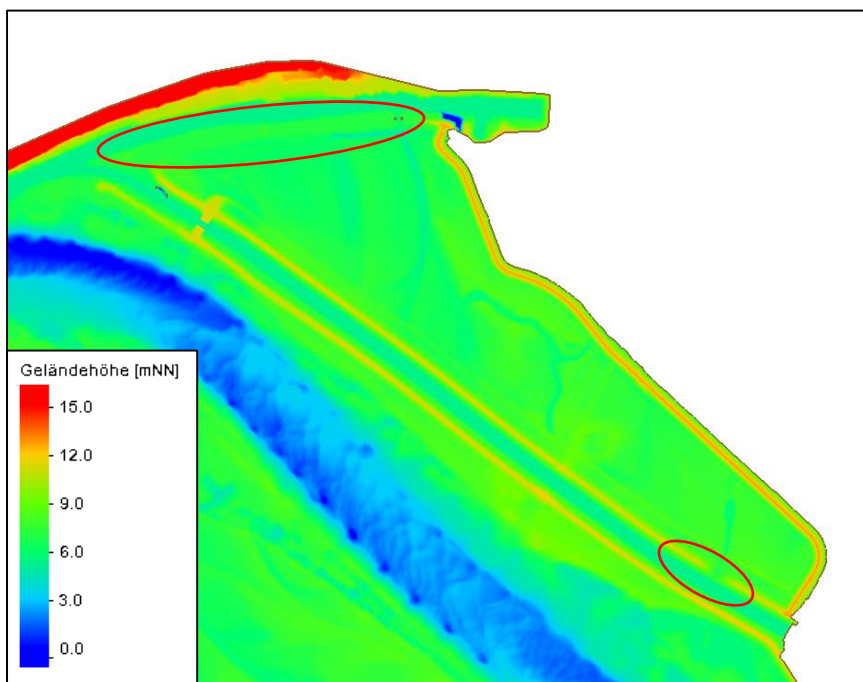


Abb. 5.1: Modelltechnische Umsetzung, Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN

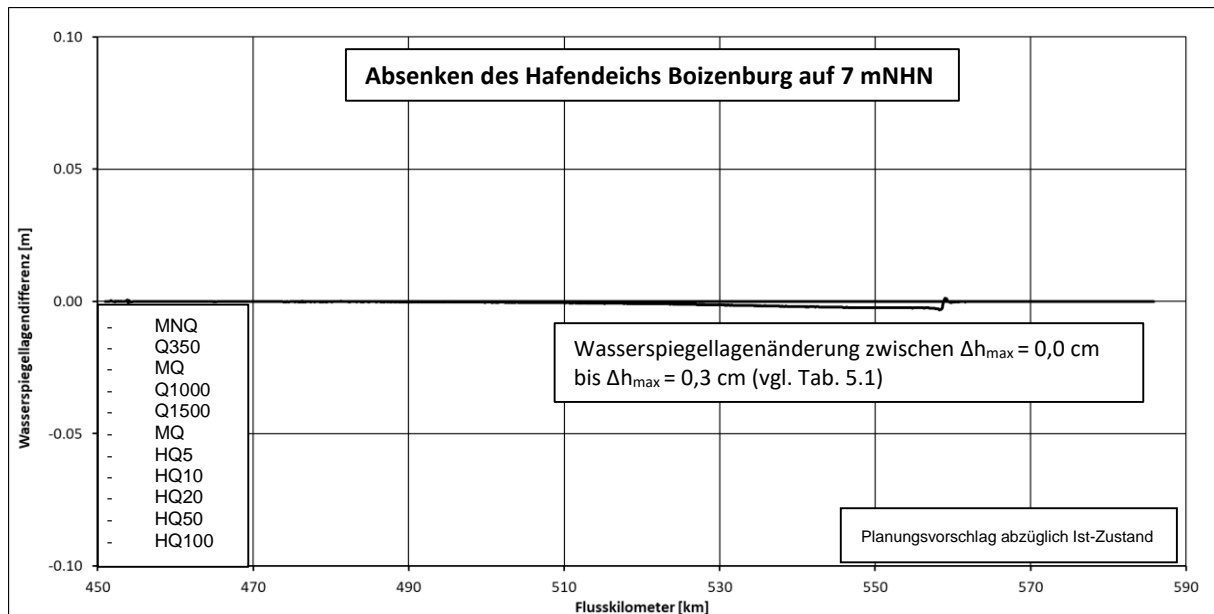


Abb. 5.2: Wasserspiegel-Differenzdiagramm, Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN

Tab. 5.1: Wasserspiegel-Differenzen, Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN

HQ _i	Δh _{max} [cm]
MNQ	0,0
Q1	0,0
MQ	0,0
Q2	0,0
Q3	0,0
HQ ₅	0,0
HQ ₁₀	0,0
HQ ₂₀	0,0
HQ ₅₀	0,1
HQ ₁₀₀	0,3

Fazit:

Die hydraulischen Berechnungen zeigten, dass durch den Rückbau des Hafendeichs Boizenburg auf eine Höhe von 7 mNHN und eine binnenseitige Schlitzung des Deiches kein signifikanter Wasserspiegelabsenk erzielt werden konnte.

5.2 Sude-Deichrückbau binnen

Ergänzend zur Planungsvariante (a) wurde der Sudedeich binnen zusätzlich über eine größere Strecke $L = 1100$ m auf eine Geländehöhe von 8,0 mNHN rückgebaut. Die modelltechnische Umsetzung ist in **Abb. 5.3** dargestellt. **Abb. 5.4** zeigt das Wasserspiegeldifferenzendiagramm für HQ₁₀₀. Die maximale Wasserspiegelabsenkung betrug $\Delta h_{\max} = 0,3$ cm bei Elbe-km 558,5.

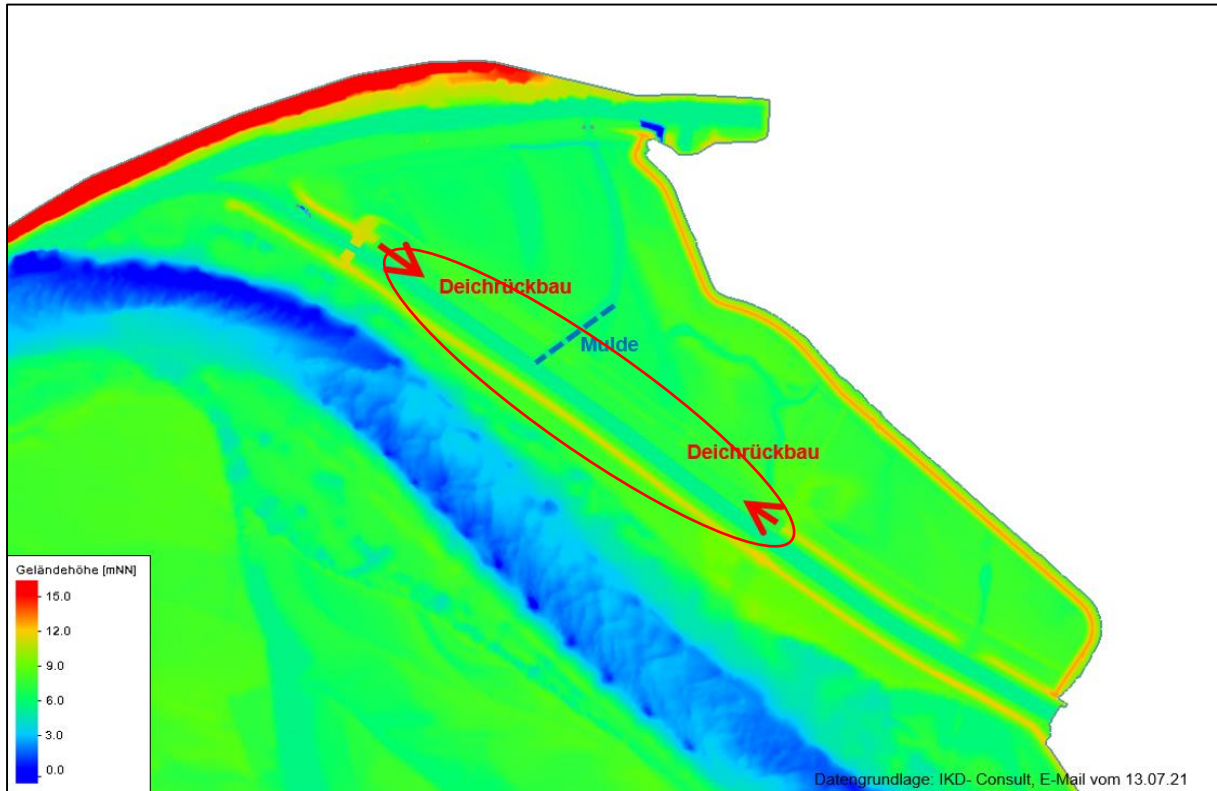


Abb. 5.3: Modelltechnische Umsetzung, Sude-Deichrückbau binnen

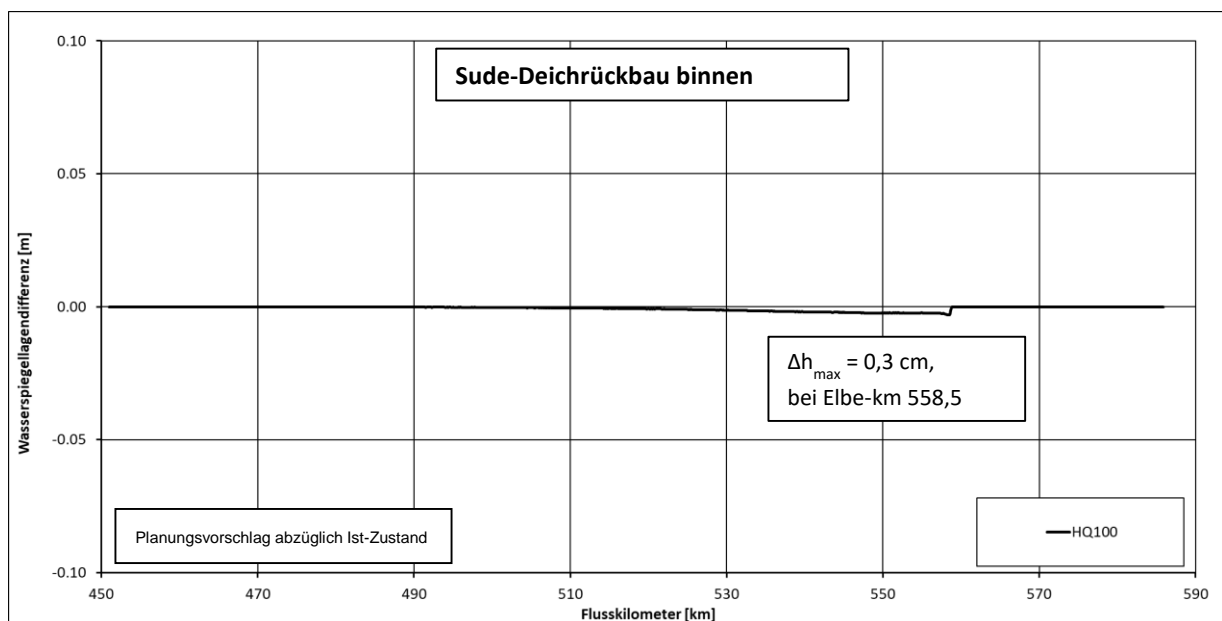


Abb. 5.4: Wasserspiegel-Differenzendiagramm, Sude Deichrückbau binnen

5.3 Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)

Die Variante Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG) umfasst die Planungsvariante (b) mit weiteren Maßnahmen, vgl. **Abb. 5.5**. Der Sudeich binnen wurde über eine Länge von rd. 150 m (vorher 80 m) auf eine Höhe von 8 mNHN geschliffen. Der Deichrückbau der Planungsvariante (b) über eine Länge von 1100 m wurde beibehalten und zusätzlich wurde der Elbedeich Boizenburg über eine Breite von 100 m von rd. 11,90 mNHN auf eine Höhe von 9 mNHN geschliffen.

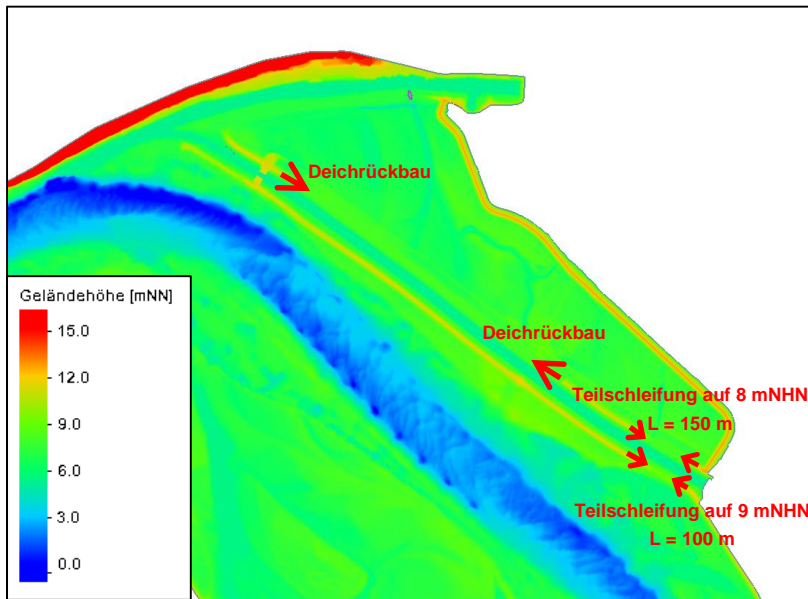


Abb. 5.5: Modelltechnische Umsetzung, Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)

Abb. 5.6 zeigt das Wasserspiegeldifferenzendiagramm für HQ_{100} . Die maximale Wasserspiegelabsenkung betrug $\Delta h_{\max} = 2,2$ cm bei Elbe-km 556,8.

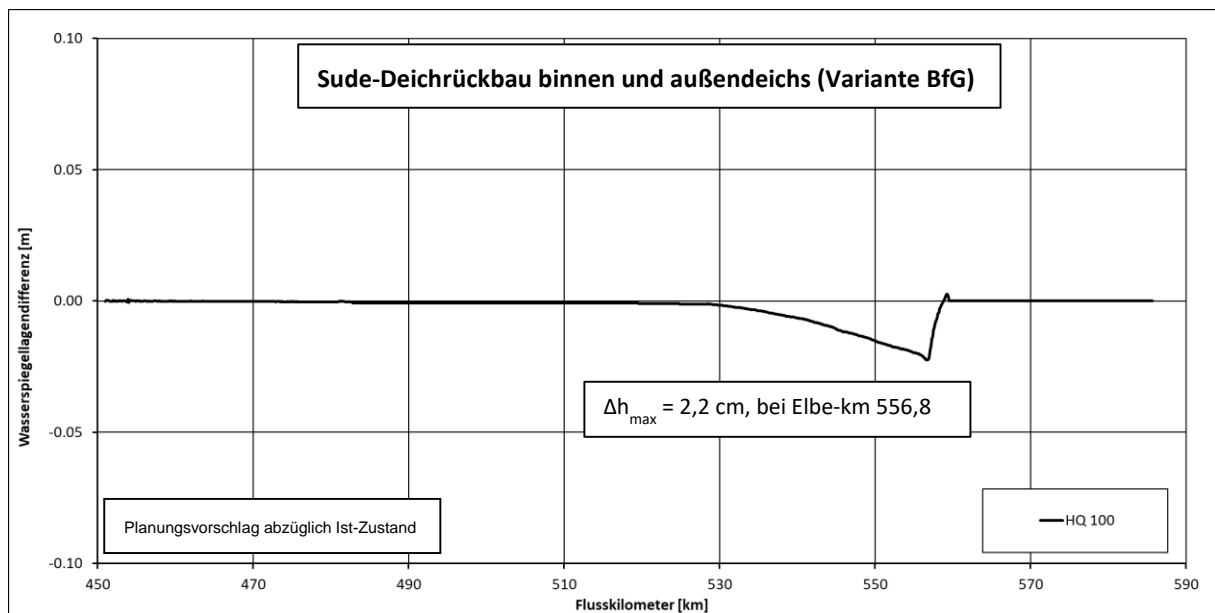


Abb. 5.6: Wasserspiegel-Differenzendiagramm, Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)

5.4 Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)

Die Variante Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD) umfasst den Rückbau des Sudedeiches binnen- und außendeichs (Elbedeich). Die Deiche wurden auf Geländehöhe geschliffen. **Abb. 5.7** zeigt die modelltechnische Umsetzung.

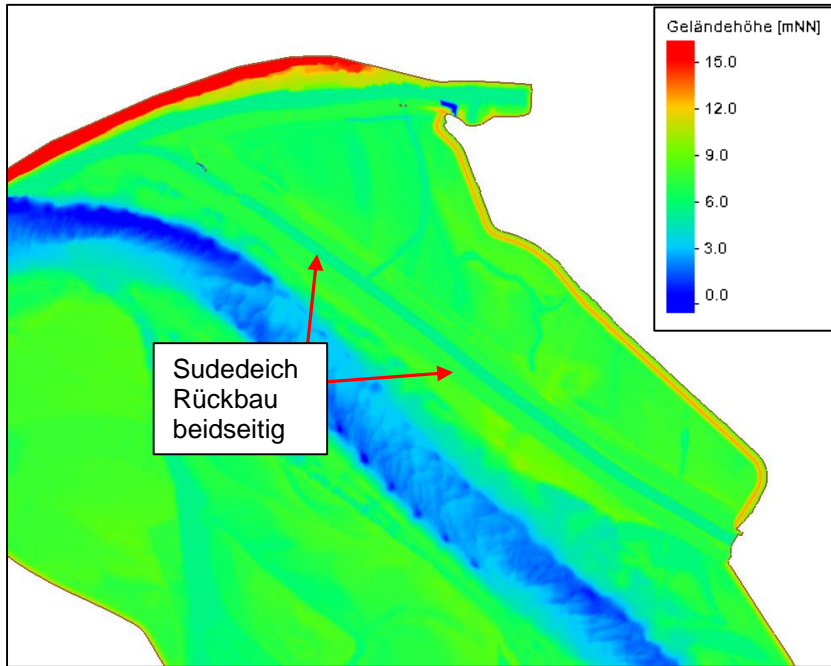


Abb. 5.7: Modelltechnische Umsetzung, Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)

Die **Abb. 5.8** zeigt das Wasserspiegeldifferenzendiagramm für HQ₁₀₀. Die maximale Wasser-
spiegelabsenkung betrug $\Delta h_{\max} = 3,7$ cm bei Elbe-km 556,8.

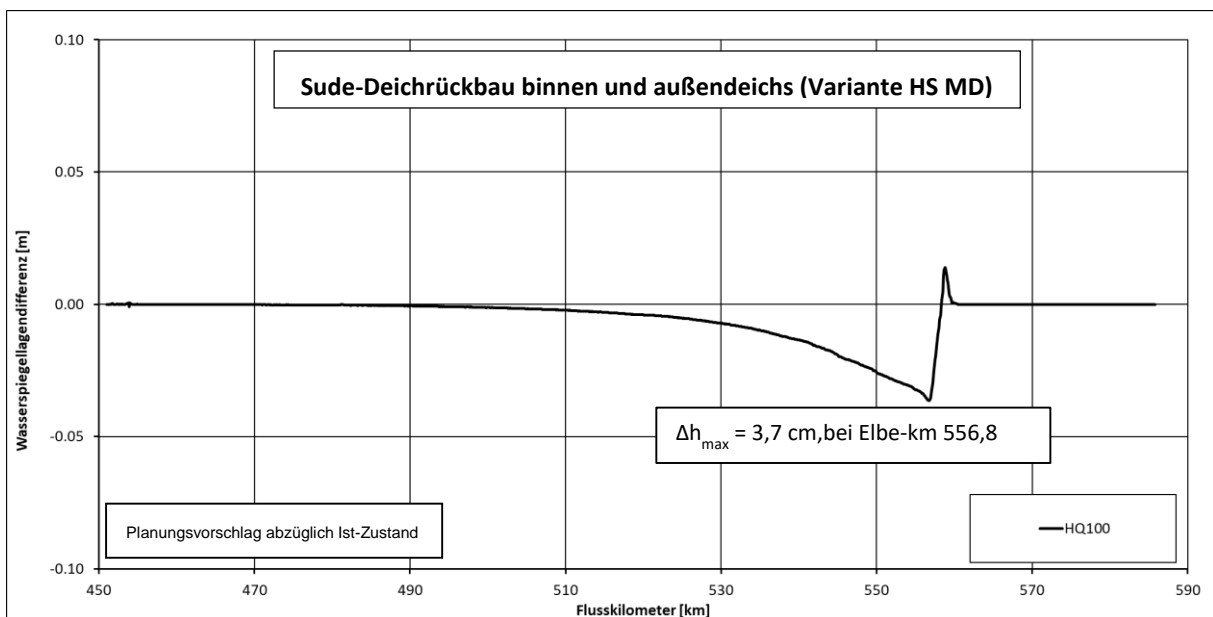


Abb. 5.8: Wasserspiegel-Differenzendiagramm, Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)

6. Zusammenfassung

An der Elbe bei Boizenburg werden umfangreiche Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Ingenieurgesellschaft Ramboll / Hamburg und iKD / Dresden, im Bereich von Elbe-556,9 bis Elbe-km 559,4, geplant. Die Planungen umfassen u.a. Deichrückverlegungen im Bereich der Ortschaft Boizenburg sowie die Ausweisung von Polderflächen. Um die hydraulische Wirkung der geplanten Maßnahmen zu quantifizieren, wurden hydraulische Berechnungen mit einem bei IWU vorliegenden 2d-hydro-numerischen Modell (2d-hn-Modell) durchgeführt. Insgesamt wurden vier Planungsvarianten untersucht, die sich im Wesentlichen durch Veränderungen im Rückbau des Sudedeiches auszeichneten. Die Variante a) Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN erzielte für die Abflüsse $HQ_{50} = 4130 \text{ m}^3/\text{s}$ und $HQ_{100} = 4545 \text{ m}^3/\text{s}$ eine maximale Wasserspiegelabsenkung $\Delta h_{\max} = 0,1 \text{ cm}$ bis $\Delta h_{\max} = 0,3 \text{ cm}$ bei Elbe-km 558,5. Für Abflüsse mit einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit sowie für die hydrologischen Hauptwerte MNQ, MQ, MHQ und die ergänzenden Abflüsse wurde kein Wasserspiegelabsenk berechnet. Die instationären Berechnungen zeigten, dass die Flutung der Polderflächen ab etwa $Q = 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ stattfand. Die Variante b) Sude-Deichrückbau binnen erzielte für die stationäre Berechnung des HQ_{100} eine maximale Wasserspiegelabsenkung von $\Delta h_{\max} = 0,3 \text{ cm}$ bei Elbe-km 558,5. Die Variante c) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG) erzielte für die stationäre Berechnung des HQ_{100} eine maximale Wasserspiegelabsenkung von $\Delta h_{\max} = 2,2 \text{ cm}$ bei Elbe-km 556,8. Die Variante d) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD) erzielte für die stationäre Berechnung des HQ_{100} eine maximale Wasserspiegelabsenkung von $\Delta h_{\max} = 3,7 \text{ cm}$ bei Elbe-km 556,8. Eine tabellarische Übersicht der Berechnungsergebnisse ist der **Tab. 6.1** zu entnehmen.

Tab. 6.1: Ergebnisse für HQ_{100} der Varianten a) bis d)

Variante	Δh_{\max} [cm] für HQ_{100}
a) Absenken des Hafendeichs Boizenburg auf 7 mNHN	0,3
b) Sude-Deichrückbau binnen	0,3
c) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante BfG)	2,2
d) Sude-Deichrückbau binnen und außendeichs (Variante HS MD)	3,7

7. Literaturverzeichnis

Schneider, Sandra (2010): Widerstandsverhalten von holzigen Auenpflanzen: Konzept zur Etablierung von Weichholzaunen an Fließgewässern, Hochschulschrift/Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Ettmer, Bernd, et. al (2019): Hydraulische Berechnungen für die Entwicklung eines Auenstrukturplans an der Elbe in Niedersachsen, Fachartikel, Wasserwirtschaft 11-2019, p. 72-76, Springer Professional

BfG-1848, Bericht (2015): 2D-Modellierung an der unteren Mittel-Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht - Beschreibung der Strömungsverhältnisse und Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen auf Hochwasser der Elbe. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-1848, Koblenz. URL: <http://doi.bafg.de/BfG/2015/BfG-1848.pdf>