



## Hochwasserverträglichkeit der geplanten 2. Werkserweiterung der TROX GmbH / Werk Anholt

September 2018



Anna-Lisa Maaß, M.Sc. RWTH  
Dipl.-Ing. Tobias Schruff  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf



Bericht 2018.013

## **Hochwasserverträglichkeit der geplanten 2. Werkserweiterung der TROX GmbH/ Werk Anholt**

September 2018

Anna-Lisa Maaß, M.Sc. RWTH

Dipl.-Ing. Tobias Schruff

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

RWTH Aachen University

Mies-van-der-Rohe-Str. 17

D-52056 Aachen

Aachen, im September 2018

# Inhalt

1	Hintergrund und Ziele der Untersuchungen	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Vorgehensweise	4
2	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	4
2.1	Beschreibung des Referenzzustandes	4
2.2	Beschreibung der Planvariante	5
3	Hydrodynamische Modellierung	7
3.1	Vorgehensweise	7
3.2	Aufbau des Referenzzustandes (Delft3D)	8
3.3	Aufbau der Planvariante (Delft3D)	14
3.4	Aufbau des Vergleichsmodells (HYDRO_AS-2D)	15
3.5	Niederschlagswassereinleitungen	17
3.5.1	Konzept der Niederschlagswasserbehandlung	17
3.5.2	Datengrundlage	20
3.5.3	Ermittlung der maßgeblichen Niederschlagsereignisse	21
3.6	Ergebnisse	23
3.6.1	Überströmbereiche (HQ <sub>100</sub> )	23
3.6.2	Vergleich von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten im Referenzzustand und in der Planvariante (HQ <sub>100</sub> -Ereignis)	25
3.6.3	Vergleich Wasserstände Delft3D und HYDRO_AS-2D	31
3.6.4	Vergleich der Niederschlagswassereinleitungen	34
3.6.5	Hydraulische Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ <sub>1</sub> - und einem HQ <sub>2</sub> -Ereignis	36
3.6.6	Hochwasserverträglichkeit	40
4	Fazit	41
5	Literaturverzeichnis	42
6	Anhang	44

# 1 Hintergrund und Ziele der Untersuchungen

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die TROX GmbH plant eine 2. Werkserweiterung für das Werk Anholt, welches nahe der deutsch-niederländischen Grenze in der Stadt Isselburg im Kreis Borken (vgl. Abbildung 1) liegt. Das Werk Anholt wird seit 1961 betrieben. 450 Mitarbeiter waren im Jahr 2010 an diesem Standort beschäftigt und 2018 sind bereits 700 Mitarbeiter dort beschäftigt. In den Jahren 2010/2011 wurde das damalige Betriebsgelände bedarfsgerecht erhöht und durch den Bau von weiteren Produktionshallen um eine Fläche von ca. 20.000 m<sup>2</sup> als sogenannte 1. Werkserweiterung vergrößert. Die Fertigstellung der 1. Werkserweiterung erfolgte im Oktober 2011. Aufgrund von Prognosen der TROX GmbH zur Notwendigkeit der zeitnahen Einführung weiterer markt- und bedarfsgerechter Produkte wurde 2011 der Entschluss einer weiteren Werkserweiterung (2. Werkserweiterung) gefasst.

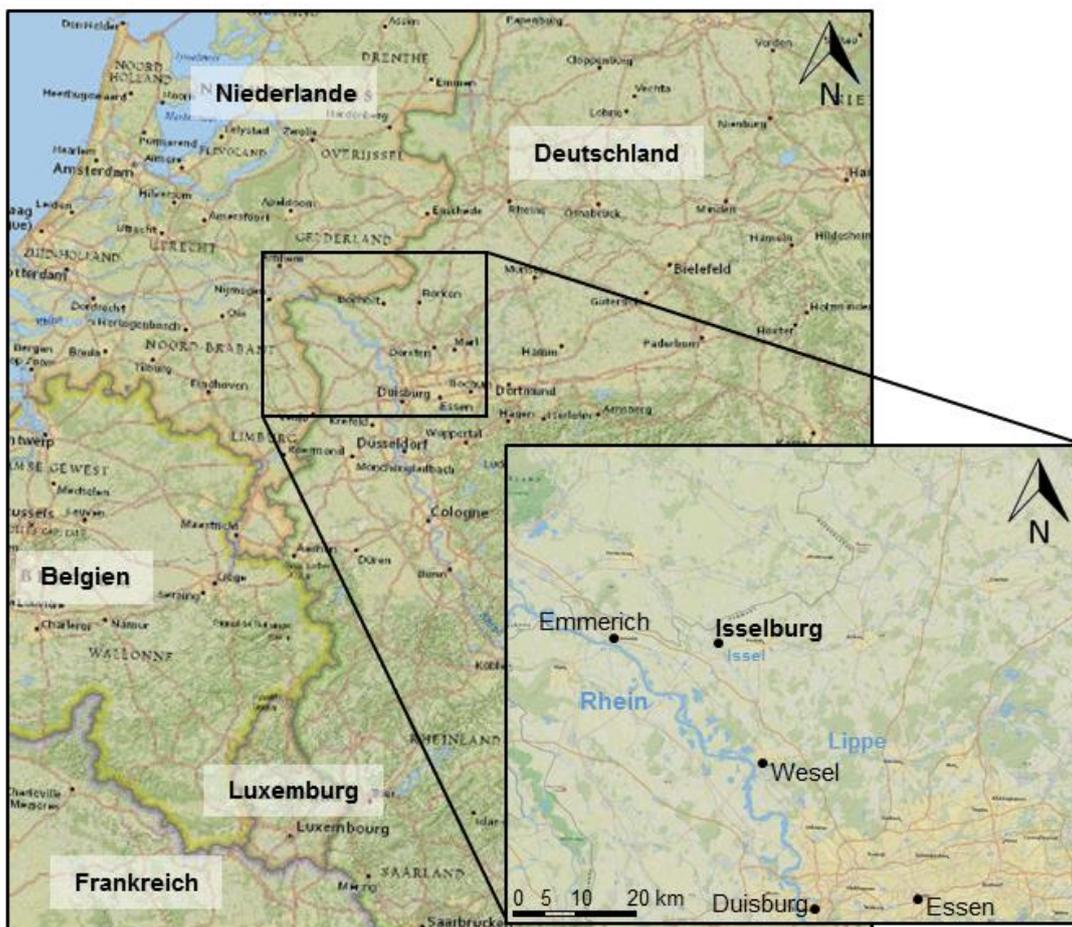


Abbildung 1: Geographische Einordnung des Werks Anholt

Die derzeit bestehende Werksbebauung liegt in unmittelbarer Nähe zum rechten Ufer der Issel (vgl. Abbildung 2). Neben den Flächen der bestehenden Werksbebauung liegt auch die geplante 2. Werkserweiterung im Überschwemmungsgebiet der Issel.



Abbildung 2: Lage des bestehenden Werks Anholt an der Issel und ungefähre Lage der geplanten 2. Werkserweiterung (grau)

Neben weiteren Aspekten ist die Hochwasserverträglichkeit der geplanten 2. Werkserweiterung von zentraler Bedeutung für das anstehende Genehmigungsverfahren sowie für die endgültige Entscheidung der Firma TROX, die 2. Werkserweiterung zu realisieren. Die Hochwasserverträglichkeit der Werkserweiterung ist im Hinblick auf die maßgeblichen Aspekte gemäß § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 4, 5 und 7 WHG in Abstimmung mit der Bezirksregierung Münster, dem Kreis Borken, der Stadt Isselburg und dem Isselverband zu klären. § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 4, 5 und 7 WHG sieht eine Ausweisung neuer Baugebiete in Überschwemmungsgebieten ausnahmsweise vor, wenn:

- Nr. 4: der Hochwasserabfluss und die Höhe des Wasserstandes nicht nachteilig beeinflusst werden.
- Nr. 5: die Hochwasserrückhaltung nicht beeinträchtigt und der Verlust von verlorengehendem Rückhalteraum umfangs-, funktions- und zeitgleich ausgeglichen wird.
- Nr. 7: keine nachteiligen Auswirkungen auf Oberlieger und Unterlieger zu erwarten sind.

Diese Anforderungen gilt es entsprechend zu prüfen. Sie bilden die Grundlage für die Nachweisführung auf Basis der Gesetzesauslegung nach Textbox 1.

*Textbox 1: Auszug aus dem Gesetzeskommentar zum Wasserhaushaltsgesetz (SZDK/Rossi WHG)*

#### **Gesetzeskommentar zum Wasserhaushaltsgesetz (SZDK/ Rossi WHG §78 RN. 49-56)**

- Der Verlust von Retentionsraum ist umfangsgleich ausgeglichen, wenn das zur Bebauung ausgewiesene Volumen ausgeglichen wird. Festgesetzte Überschwemmungsgebiete basieren auf einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis und bilden daher die Grundlage für die Berechnungen zur Hochwasserverträglichkeit (§ 76 Abs. 2 S. 1 Nr. 1 WHG).
- Der Verlust von Retentionsraum ist dann zeitgleich ausgeglichen, wenn im Zeitpunkt der Realisierung des ausgewiesenen Bauvorhabens gleichsam eine ausgewiesene Kompensation erfolgt.
- Ein funktionsgleicher Ausgleich ist erfolgt, wenn das Hochwasser in derselben Weise zurückgehalten wird wie im ursprünglichen Retentionsraum.

Im Rahmen numerischer Modelluntersuchungen soll die Hochwasserverträglichkeit der 2. Werkserweiterung der Firma TROX überprüft werden. Die Untersuchungen stehen im direkten Zusammenhang mit den Anforderungen von § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 4 WHG. Zusätzlich werden Hinweise und Empfehlungen zur Erfüllung der Anforderungen von § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 5 bzw. 7 WHG gegeben. Sie sollen Aufschluss darüber geben, wie sich das Abflussverhalten der Issel bei Hochwasser in unmittelbarer Umgebung zur geplanten 2. Werkserweiterung verändert, wenn die Planvariante realisiert wird. Im Fokus der Untersuchung stehen die Veränderungen von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten, welche wesentliche Größen zur Beschreibung des Abflussverhaltens sind.

Neben den Forderungen des §78 Abs. 2, Sätze 4, 5 und 7 WHG soll auch die hydraulische Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis bzw. HQ<sub>1</sub>-Ereignis analysiert werden. Im Sinne des § 14 Abs. 1 BNatSchG stellt der Bau der 2. Werkserweiterung einen Eingriff in Natur und Landschaft dar. Eine Kompensation eines solchen Eingriffs lässt sich durch einen Ausgleich (Kompensation im räumlich und funktionalem Zusammenhang) und/ oder durch einen Ersatz (Kompensation durch in der Regel nicht-funktionale, aber „gleichwertige“ Maßnahmen im räumlichen Zusammenhang) erreichen. Die Bewertung der Kompensation erfolgt durch die Anwendung einer Biotoptypen Bewertung nach LANUV-Richtlinie (LANUV, 2008). Die Bewertung liegt nicht im Aufgabenbereich des IWW. Hier soll lediglich die Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis und einem HQ<sub>1</sub>-Ereignis untersucht werden.

Zusammenfassend gibt es folgende Ziele für die numerischen Modelluntersuchungen:

- Vergleich der Überströmbereiche der Verwallung im Referenzzustand und in der Planvariante bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis
- Vergleich der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten im Referenzzustand und in der Planvariante bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis
- Vergleich der mittels Delft3D und HYDRO\_AS-2D ermittelten Wasserstände bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis
- Beurteilung der Auswirkungen der Niederschlagswassereinleitungen der Dachflächen der 2. Werkserweiterung bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis
- Darstellung der hydraulischen Wirksamkeit bei einem HQ<sub>2</sub>-und einem HQ<sub>1</sub>-Ereignis

Grundlage der hier durchgeführten Untersuchungen ist das technische Angebot 2018017 „Hochwasserverträglichkeit der geplanten 2. Werkserweiterung der TROX GmbH / Werk Anholt“ des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University (IWW) vom Oktober 2017 (Aktualisierung März 2018). Bislang waren die vorgeschlagenen Lösungen (Abgrabung Werth, Abgrabung Breels, Retentionsraumausgleich an der deutsch-niederländischen Grenze, Flutpolder) aufgrund der fehlenden Funktionsgleichheit (§ 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 5) ungeeignet, um den Retentionsraumverlust infolge der 2. Werkserweiterung auszugleichen. Vom IWW wurden in diesem Zusammenhang bereits mehrere Stellungnahmen erarbeitet:

- Hochwasserverträglichkeit der geplanten 2. Werkserweiterung der Firma TROX GmbH/ Werk Anholt. Bericht IWW Juni 2013
- Beurteilung der Abgrabung Werth als Retentionsraumausgleich. Bericht des IWW Juni 2013
- Stellungnahme zur Wirkung eines Retentionsraumes unterstrom des Werksgebietes der Firma TROX auf den Hochwasserschutz der Stadt Isselburg. Stellungnahme des IWW vom 25.11.2014

- Stellungnahme zur Wirkung der Abgrabung Breels als Retentionsraum. Stellungnahme des IWW vom 04.11.2015.
- Stellungnahme zur Wirkung eines Flutpolders. Stellungnahme des IWW vom 30.11.2015
- Stellungnahme zur Wirkung einer Geländevertiefung als hydraulische Kompensation für die Werks-erweiterung der Firma TROX. Stellungnahme des IWW vom 26.01.2016

Mit dieser Stellungnahme wird nun das planerische Ergebnis der mit allen relevanten Dienststellen (Firma Trox, Bezirksregierung Münster, Kreis Borken, Stadt Isselburg, Isselverband etc.) abgestimmten Entwurfsplanung zur 2. Werksweiterung (GEWECKE UND PARTNER) hydraulisch beurteilt.

## 1.2 Vorgehensweise

Zur Lösung der beschriebenen Zielsetzung wird auf eine vergleichende Analyse des Referenzzustandes mit einer Planvariante zurückgegriffen. Es wird nicht der Ausgangszustand bewertet, sondern die Veränderung des Abflussverhaltens durch die 2. Werksweiterung. Dazu werden in Kapitel 2 die grundlegenden hydrologischen und topographischen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes zusammengefasst und die geplante 2. Werksweiterung beschrieben. In Kapitel 3.2 und 3.3 wird zunächst die Umsetzung des Referenzzustandes und der Planvariante in der numerischen Simulationssoftware Delft3D (Deltares) dargestellt. Aufgrund fehlender Pegeldata im Untersuchungsgebiet konnte das Delft3D Modell nicht kalibriert werden. Um dennoch die Ergebnisse der Delft3D Modellierung qualitativ bewerten zu können, wird ein Vergleichsmodell auf Basis der Software HYDRO\_AS-2D (Hydrotec) genutzt. Der Modellaufbau des HYDRO\_AS-2D Vergleichsmodells wird in Kapitel 3.4 beschrieben. In Kapitel 3.5 erfolgt die Ermittlung der zusätzlich anfallenden Niederschlagswassereintragsmengen durch die befestigten Flächen des Werksgebietes der Firma TROX. Anschließend findet eine Analyse der Veränderung des Abflussverhaltens im Untersuchungsgebiet sowie ein Vergleich der Simulationsergebnisse der unterschiedlichen Programme statt. Dabei wird auch die hydraulische Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis berücksichtigt. Alle Ergebnisse werden abschließend in Kapitel 4 zusammengefasst.

## 2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

### 2.1 Beschreibung des Referenzzustandes

Die Issel entspringt auf ca. 55,5 mNHN in Raesfeld südlich von Borken und mündet nach einer Lauflänge von 81,5 km in die IJssel (Niederlande). In Deutschland hat die Issel ein Einzugsgebiet von 360 km<sup>2</sup>. Im Oberlauf beträgt das Gefälle im Mittel 0,16 % und im Unterlauf lediglich 0,03 % (STUA HERTEN, 2001; PROAQUA, 2017). Informationen zu den Abflüssen in der Issel liefert der Pegel Isselburg, der ca. 34 km stromaufwärts der Mündung und ca. 5 km stromaufwärts des Untersuchungsgebietes liegt. Der mittlere Abfluss (MQ) am Pegel Isselburg (1985-2011) wird mit 2,26 m<sup>3</sup>/s angegeben. Bezogen auf den gleichen Zeitraum wird der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) mit 14,3 m<sup>3</sup>/s und der höchste Abfluss (HHQ) mit 22,9 m<sup>3</sup>/s angegeben (ELWAS WEB, 2017).

Das Bestandsgebäude der TROX GmbH hat eine Fläche von ca. 75.000 m<sup>2</sup> und reicht bis ca. 50 m an das Hauptgerinne der Issel heran. Das Hauptgerinne der Issel ist in diesem Bereich ca. 12 m breit und wird beidseitig durch eine Verwallung begrenzt. Die Höhe der Verwallung am rechten Ufer liegt zwischen 15,53 bis 16,19 mNHN. Die Breite der Verwallung beträgt im Mittel 3,7 m (GEWECKE UND PARTNER,

2018a-d). Daran anschließend befinden sich tieferliegende Auenbereiche, die im Hochwasserfall Überflutungsflächen darstellen. Die Auenbereiche zwischen dem Bestandsgebäude und der Issel wurden im Rahmen der 1. Werkserweiterung tiefergelegt und an das bestehende Gelände angeglichen. Die Vorländer sind ca. 180 m breit. Nordwestlich an die Vorländer anschließend steigt das Gelände bis auf ein Niveau von ca. 17,0 bis 20,0 mNHN an. Auf diesen erhöhten Bereichen liegt die Bebauung der Ortslage Anholt. Im Bereich unterhalb von Anholt wird das Wasser im rechten Vorland zum Teil über einen Graben, den Feldschlaggraben, abgeführt und fließt kurz vor der Bundesgrenze über den Krummer Bach wieder der Issel zu. Der Feldschlaggraben stellt ein ökologisch wertvolles Habitat für den Schlammpeitzger dar, welcher in der Roten Liste für NRW als stark gefährdeter Fisch (Kategorie 2) eingestuft wird (ROTE LISTE NRW, 2010). Die linken Vorländer sind ca. 700 m breit und weisen Höhen zwischen 15,0 bis 15,5 mNHN auf. Die Landnutzung der Vorländer ist weitgehend landwirtschaftlich geprägt.

## 2.2 Beschreibung der Planvariante

Die geplante 2. Werkserweiterung des Werks Anholt schließt in nordwestlicher Richtung an die bestehende Bebauung an. Grundlage aller Ausführungen ist die Planvariante mit dem Entwurfs- und Genehmigungsplan vom 17.07.2018. Die Fläche der geplanten Halle beträgt ca. 110 x 192,50 m<sup>2</sup> (GEWECKE UND PARTNER, 2018a-d). Das vorhandene Gelände wird im Bereich der 2. Werkserweiterung (Ausdehnung ca. 200 m x 135 m) bis auf ein Niveau von 17,25 mNHN erhöht. Diese Geländeerhöhung reicht bis ca. 50 m an das Hauptgerinne der Issel heran. In Abbildung 3 ist der Lageplan der 2. Werkserweiterung dargestellt.

Durch den Bau der 2. Werkserweiterung der Firma TROX geht Retentionsraum des rechten Vorlands verloren. Um einen Retentionsraumausgleich zu schaffen, ist im Rahmen der 2. Werkserweiterung eine Verlegung der Verwallung sowie eine Verlegung des im Untersuchungsgebiet befindlichen Feldschlaggrabens geplant. Der Bau der 2. Werkserweiterung erfolgt unmittelbar im Bereich des Feldschlaggrabens. Um das ökologisch wertvolle Habitat des Schlammpeitzgers zu erhalten, muss der Feldschlaggraben um das Gebäude der 2. Werkserweiterung verlegt werden. Eine genaue Erläuterung aller planerischen Umsetzungen wird von GEWECKE UND PARTNER vorgenommen.



## 3 Hydrodynamische Modellierung

### 3.1 Vorgehensweise

Die im Rahmen der 2. Werkserweiterung der Firma TROX durchzuführenden Untersuchungen zur Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit der Maßnahme beziehen sich auf die Anforderungen des § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 4, 5 und 7 WHG. Ziel ist es, einen umfangs-, zeit- und funktionsgleichen Retentionsraumausgleich für einen Retentionsraumverlust infolge der 2. Werkserweiterung der Firma TROX zu erreichen. Mit Hilfe eines hochaufgelösten, hydro-numerischen Modells wird die Hochwassersituation bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis im Bereich der Stadt Anholt, den angrenzenden Niederlanden und insbesondere im Bereich des Werksstandorts der Firma TROX untersucht. Als Grundlage für die Beurteilung der Hochwasserverträglichkeit der 2. Werkserweiterung werden die Auswirkungen der Planvariante auf den Hochwasserabfluss, die Höhe der Wasserstände und die Fließgeschwindigkeiten analysiert. Von der Bezirksregierung Münster wurden hierzu im Zeitraum 20.12.2017 bis 10.09.2018 Eingangsdaten für die numerische Modellierung zur Verfügung gestellt.

Für das numerische Modell werden die Simulationssoftware Delft3D (Deltares) und die Simulationssoftware HYDRO\_AS-2D (Hydrotec) eingesetzt. Aufgrund fehlender Pegeldata im Untersuchungsgebiet können die beiden numerischen Modelle nicht kalibriert werden.

Mit Delft3D können eine Vielzahl von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in Küstengewässern, Ästuaren und Fließgewässern untersucht werden. Zu den Anwendungsbereichen zählen Hydrodynamik, Seegang und Wellen, Sedimenttransport, morphologische Entwicklung sowie Wasserqualität und Gewässerökologie. Alle Prozesse können sowohl zwei- (tiefen-gemittelt) als auch dreidimensional (vertikal differenziert) simuliert werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Software Delft3D zweidimensional/tiefen-gemittelt eingesetzt. Die Gitternetzgenerierung, die Erzeugung der Modelltopographie sowie die graphische Darstellung, Analyse und Extrapolation ausgewählter Daten kann ebenfalls mit Delft3D durchgeführt werden (DELFT3D-FLOW, 2016).

Das Einsatzgebiet von HYDRO\_AS-2D liegt schwerpunktmäßig in der zweidimensionalen Strömungs- und Abflusssimulation. Mit HYDRO\_AS-2D besteht die Möglichkeit auch komplexe Abflussverhältnisse in überströmten Flusstälern effektiv und genau zu modellieren sowie verschiedene überströmte und durchströmte Bauwerke und Strömungen unter Druckabfluss in Brücken- und Flutöffnungen zu erfassen (HYDROTEC & NUJIC, 2015).

In einem numerischen Modell werden die natürlichen Strömungs- und Transportprozesse von Fließgewässern über mathematische Gleichungen erfasst. Über die mathematischen Gleichungen werden die physikalischen Prozesse vereinfachend beschrieben. Bei einer hydrodynamisch-numerischen Simulation werden die Grundgleichungen für Massen- und Impulserhaltung angewendet. Die Strömungsgleichungen werden über ein infinitesimales Kontrollvolumen abgeleitet. Sowohl Delft3D als auch HYDRO\_AS-2D basieren, in horizontalen 2D Modellen, auf den tiefen-gemittelten Strömungsgleichungen bzw. Flachwassergleichungen. Die Mittelung der kinematischen Größen führt zu einer Vereinfachung und erheblichen Reduzierung des Rechenaufwands (FORKEL, 2004, HYDROTEC & NUJIC, 2015, DELFT3D-FLOW, 2016,).

### 3.2 Aufbau des Referenzzustandes (Delft3D)

Das zweidimensionale Delft3D Modell ist ein Detailmodell der Issel für den Bereich der Firma TROX und erstreckt sich von der Anholter Str. bis oberstrom der Mündung des Krummer Bachs in die Issel und bildet ca. 4,5 km Fließweg der Issel ab. Das Modellgebiet ist ca. 900 m breit und umfasst alle potentiellen Überflutungsbereiche. Somit ist gewährleistet, dass die Modellränder im Falle einer Überflutung nicht angeströmt werden und Randeinflüsse minimal sind (vgl. Abbildung 4).

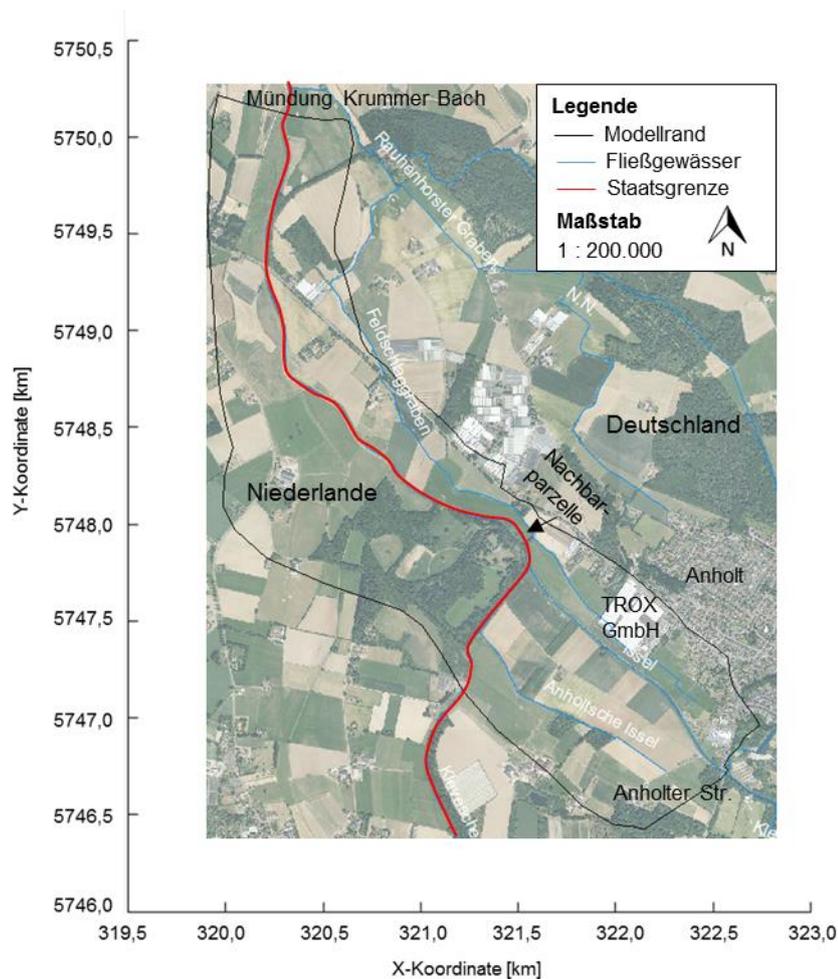


Abbildung 4: Modellgebiet für die Delt3D Modellierung

Das Modellgebiet wird durch ein Rechengitter mit insgesamt 553.157 Netzelementen unterschiedlicher Größe abgebildet, wobei die Issel aus einer Zellenanzahl von ca. 12 Zellen in Querrichtung besteht. Die Größe der Netzelemente auf dem rechten Vorland der Issel in unmittelbarer Umgebung zum Werksgebäude orientiert sich an der kleinsten geometrischen Einheit der Planvariante (Feldschlaggraben, Netzelemente 1 x 1 m). Die mittlere Zellengröße aller Netzelemente beträgt 6,68 m<sup>2</sup>.

Die Interpolation der topographischen Höhen erfolgte auf Basis des Digitalen Geländemodells mit einem Punktabstand von 1 m (DGM1; LAND NRW, 2018a). In den DGM Daten fiel eine fehlerhafte Interpolation im Bereich des bereits bestehenden TROX Werkes auf. Das Dach der Werksbebauung wurde nicht korrekt abgebildet, sodass hier lokal auf die Daten des Digitalen Oberflächenmodells mit einem Punktabstand von 1 m (DOM1; LAND NRW, 2018b) zurückgegriffen wurde. Die Interpolation der Bathymetrie

und der Höhen der Verwaltung erfolgte auf Grundlage der von der Bezirksregierung Münster zur Verfügung gestellten Querprofildaten der Issel (BEZREG, 2017) und Vermessungsdaten der Verwaltung (TROX/GEWECKE UND PARTNER, 2018). Die topographischen Höhen der Vermessung der Verwaltung weisen eine größere Genauigkeit auf als die Daten des DGM1 in diesem Bereich und beinhalten ebenfalls die im Rahmen der 1. Werkserweiterung durchgeführten Anpassungen der Geländeoberfläche zwischen dem Bestandsgebäude bzw. der 1. Werkserweiterung und der Issel.

Die Höhen der Netzzellen werden in Zellenmitte festgelegt, sodass einzelne Höhen für die Planvariante hoch- oder herabgesetzt werden. Bereiche, die nicht im Rahmen der Vermessung aufgenommen wurden, wurden mittels linearer Interpolation mit Höhen belegt. Abschließend wurde die Interpolation mit den Höhenangaben der Querprofildaten von GEWECKE UND PARTNER (2018a-c) überprüft.

In Delft3D werden positive Höhen in negative y-Richtung und positive Wasserstände in positive y-Richtung angegeben, wobei die y-Richtung nach oben gerichtet ist. Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Übertragung des DGM auf das Modellgebiet in ArcGIS (Abbildung 5) und in Delft3D (Abbildung 6).

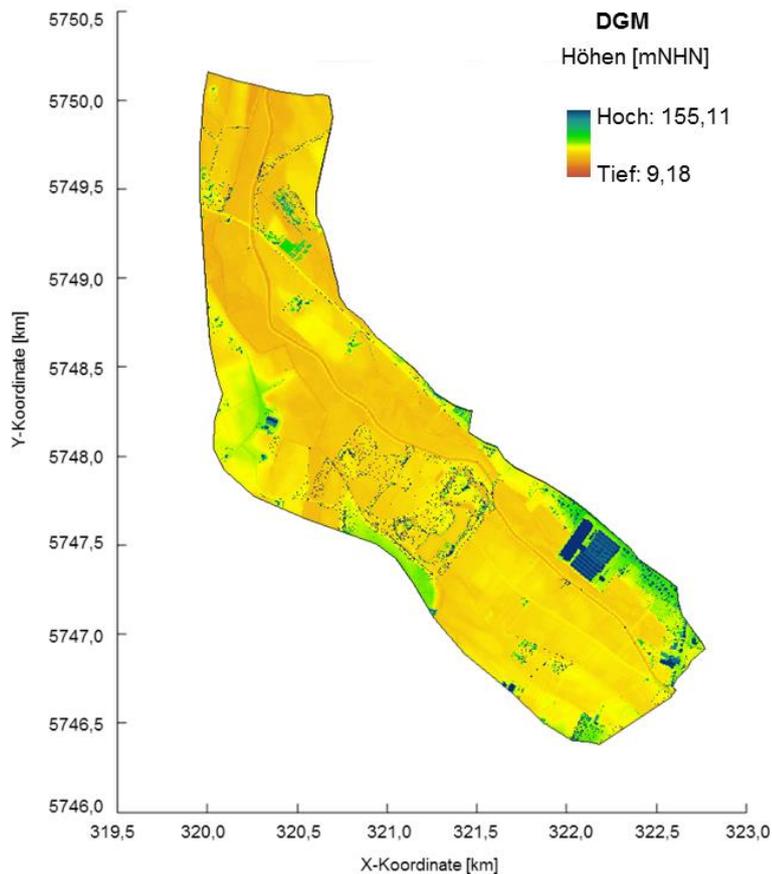


Abbildung 5: Übertragung des DGM in ArcGIS auf das Modellgebiet

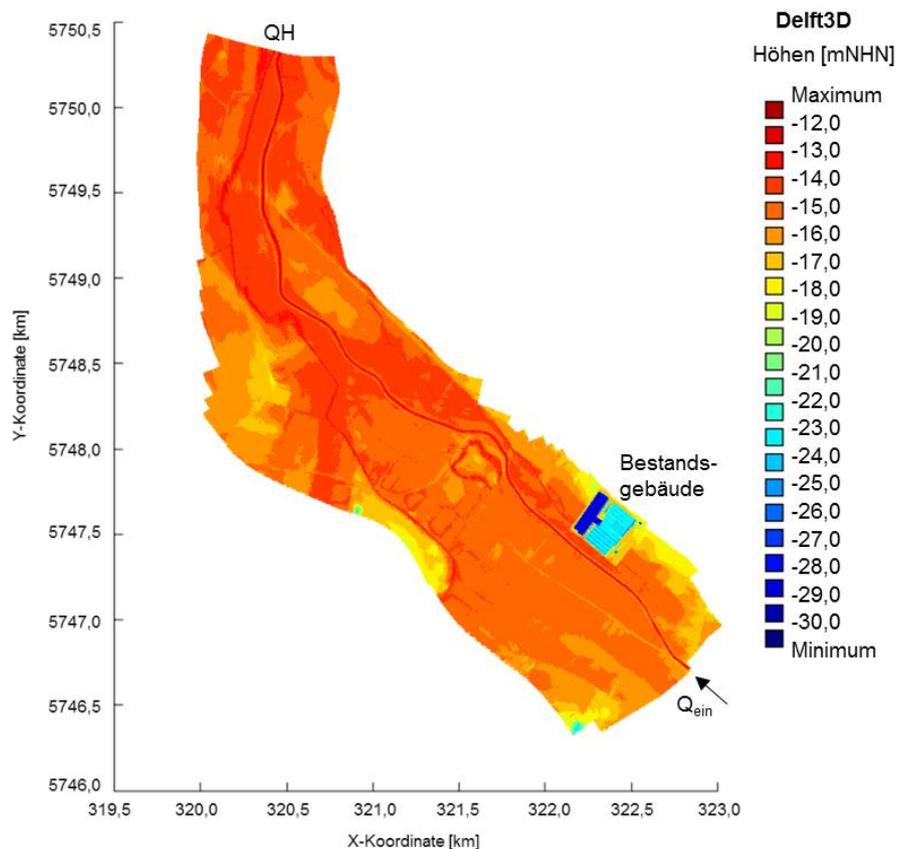


Abbildung 6: Übertragung des DGM, DOM und der Querprofile in Delft3D auf das Modellgebiet

Als obere Randbedingung wird ein Zufluss  $Q_{\text{ein}}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] über 10 Zellen auf Höhe der Issel angesetzt. Als untere Randbedingung wird eine Wasserstands-Abfluss-Beziehung (QH-Beziehung) über 15 Zellen angesetzt. Es wurde keine QH-Beziehung als Eingangsdaten zur Verfügung gestellt. Daher wurde auf Grundlage der vorgegebenen Rauheitsklassen (Mitteilung Bezirksregierung Münster 21.12.2017, siehe Tabelle 1) eine QH-Beziehung analytisch entsprechend der Fließformel nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER durch Iteration der Wassertiefe  $h$  berechnet:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A = \frac{1}{n} * \left( \frac{B * h}{(B + 2 * h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * B * h$$

mit

- Q = Abfluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- n = Manning-Beiwert [ $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ],
- R = hydraulischer Radius [m],
- S = Gefälle [-],
- A = Querschnitt [ $\text{m}^2$ ],
- B = Breite des Flusses [m] und
- h = Wassertiefe [m].

Die Breite der Issel beträgt am unteren Modellrand ca. 13 m mit einem Gefälle von ca. 0,2 % und einem Manning-Beiwert von  $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Abbildung 7 zeigt die Abflussganglinien der  $HQ_1$ - bis  $HQ_{ex}$ -Ereignisse (der Index, z.B.  $HQ_2$ , bezeichnet das Wiederkehrintervall des Abflussereignisses, wobei der Index  $_{ex}$  für ein Extremereignis mit einem Wiederkehrintervall  $> 100$  Jahre steht) für das Untersuchungsgebiet. Für die Untersuchungen zur Hochwasserverträglichkeit in diesem Bericht ist das Abflussereignis mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahre, also  $HQ_{100}$ , maßgeblich. Alle Simulationen wurden mit einer instationären Ganglinie durchgeführt. Abbildung 8 zeigt die Umsetzung der  $HQ_{100}$ -Ganglinie als Zufluss im Delft3D Modell. Aus Gründen der Stabilität der numerischen Berechnungen wurde der Zufluss zu Beginn der Berechnungen ( $t < 675 \text{ min}$ ) auf einen konstanten Zufluss von ca.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  heraufgesetzt. Das Modell wird mit einer korrespondierenden Wassertiefe von 0,5 m im Hauptgerinne der Issel und 0 m auf den Vorländern initialisiert. Das heißt, es befindet sich zu Beginn des Abflussereignisses kein Wasser auf den Vorländern. Mit einem Zeitschritt von 0,1 Minuten (6 Sekunden) ergeben sich Rechenzeiten von ca. 5 Tagen für den betrachteten Zeitraum von 13,5 Tagen.

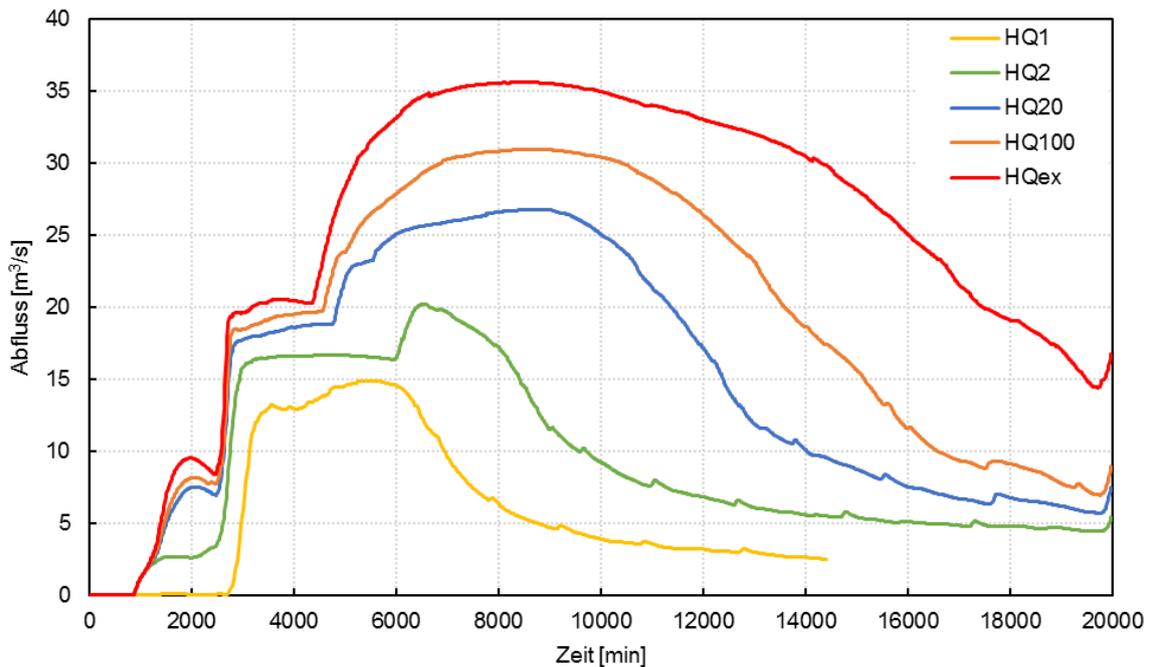


Abbildung 7: Abflussganglinien für ein  $HQ_1$ -,  $HQ_2$ -,  $HQ_{20}$ -,  $HQ_{100}$ - und ein  $HQ_{ex}$ -Ereignis im Untersuchungsgebiet (Datenbasis: Bezirksregierung Münster 22.02.2018 und 10.09.2018)

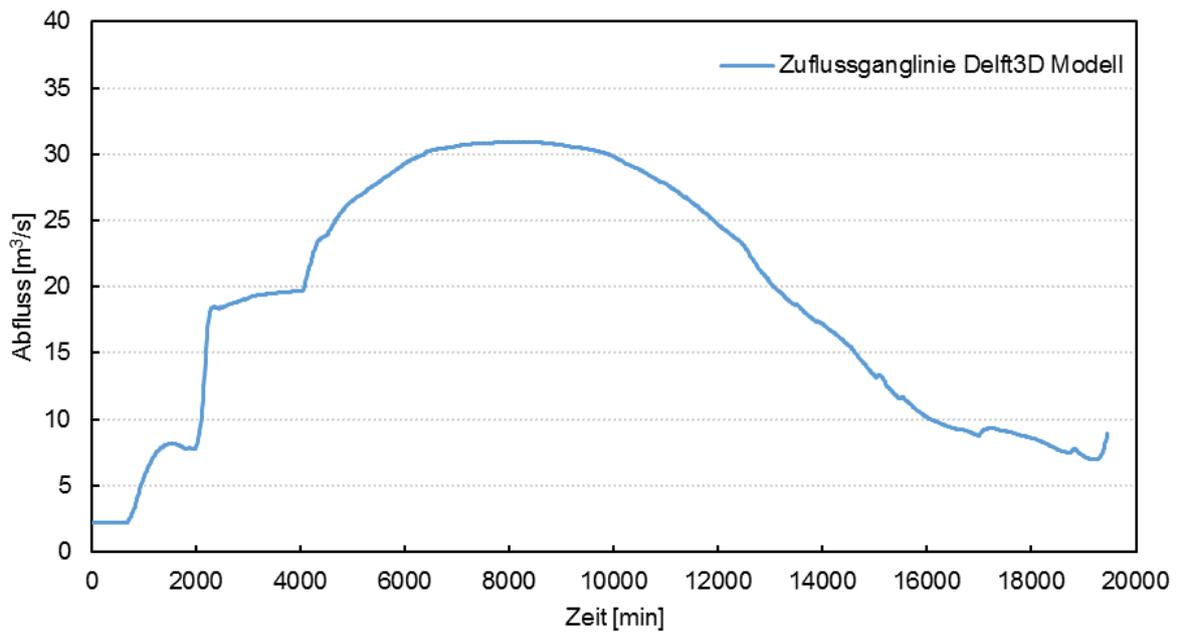


Abbildung 8: Zuflussganglinie des Delft3D Modells auf Basis der HQ<sub>100</sub>-Ganglinie der Issel

Die Abbildung der Sohlrauheit im Gebiet erfolgt über den MANNING-Beiwert  $n$  [ $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ] pro Element. Die Festlegung der Rauheiten erfolgte entsprechend der von der Bezirksregierung Münster im Dezember 2017 zur Verfügung gestellten Daten (BEZREG, 2017), wobei die Rauheiten einiger kleiner Bereiche zusammengefasst wurden. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der zusammengefassten Rauheiten und Abbildung 9 eine Darstellung der Verteilung der zusammengefassten Rauheiten im Modellgebiet.

Tabelle 1: Zusammengefasste Rauheiten entsprechend der Modelldaten (Mitteilung Bezirksregierung Münster 21.12.2017)

Material	Strickler-Beiwert $k_{st}$ [ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ]	Manning-Beiwert $n$ [ $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ]
Ackerland	20	0,05
Grünland	28	0,0357
Landwirtschaft_Acker	20	0,05
Landwirtschaft_Grünland	28	0,0357
Laubwald	18	0,0556
Wohnbaufläche_offen	22	0,045
Issel	25	0,04

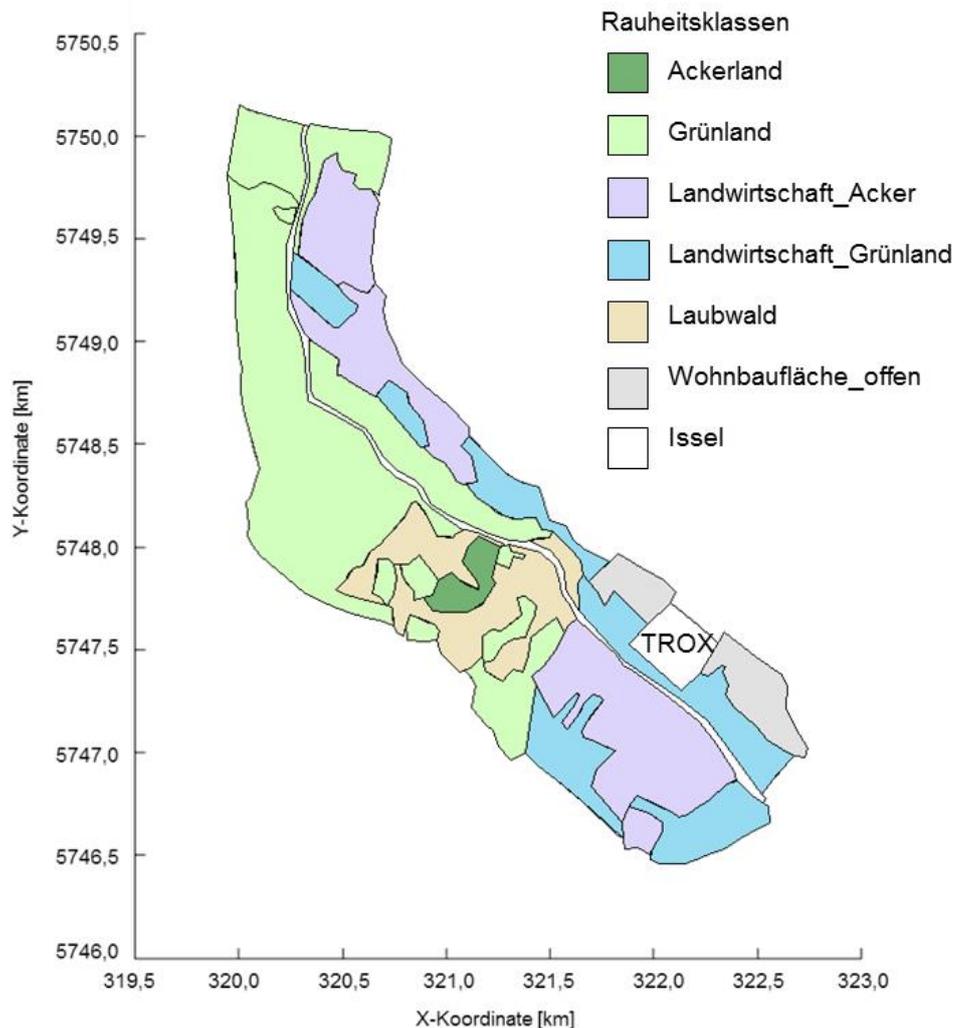


Abbildung 9: Verteilung der zusammengefassten Rauheitsklassen im Modellgebiet

Die Wirbelviskosität ist neben der Rauheit ein weiterer Parameter zur Kalibrierung des Modells. Da im Rahmen dieser Untersuchungen aufgrund fehlender Datengrundlage keine Kalibrierung der Wirbelviskosität durchgeführt werden konnte, werden im Folgenden Anhaltswerte für die Wirbelviskosität aus der Literatur vorgestellt. Die Bestimmung der Wirbelviskosität wurde auf Grundlage dieser Anhaltswerte und einer Sensitivitätsstudie durchgeführt. Grundsätzlich ergeben sich aufgrund größerer Energiedissipation bei hohen Wirbelviskositäten niedrigere Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten, sodass mit der Wahl einer geringen Wirbelviskosität die Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen.

LIPPERT (2005) hat physikalische und numerische Modellversuche zur Ermittlung der Wirbelviskosität an drei Fließgewässern (Lippe, Stör und Rhein) durchgeführt. Für die Lippe (Gewässerabschnitt bei Dorsten, ca. 15 m breit,  $HQ_2 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) lag die Wirbelviskosität je nach Abflussereignis zwischen  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$  und  $0,15 \text{ m}^2/\text{s}$ . Für die Stör (Gewässerabschnitt bei Kellinghusen, ca. 20 m breit,  $HQ_2 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) lag die Wirbelviskosität je nach Abflussereignis zwischen  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$  und  $0,04 \text{ m}^2/\text{s}$ . Für den Rhein als Fließgewässer mit deutlich größeren Dimensionen lag die Wirbelviskosität je nach Abflussereignis zwischen  $0,07 \text{ m}^2/\text{s}$  und  $0,6 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Auf Grundlage dieser Anhaltswerte wurden Berechnungen mit Wirbelviskositäten von  $0,001 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $0,035 \text{ m}^2/\text{s}$  und  $0,6 \text{ m}^2/\text{s}$  durchgeführt. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen. Schlussendlich wurden die Berechnungen mit einer Wirbelviskosität von  $0,035 \text{ m}^2/\text{s}$  durchgeführt. Eine Wirbelviskosität von  $0,035 \text{ m}^2/\text{s}$  liegt innerhalb der in der Literatur dargestellten Anhaltswerte und am unteren Rand des gesamten Wertebereichs und somit auf der sicheren Seite.

### 3.3 Aufbau der Planvariante (Delft3D)

Die numerischen und physikalischen Modellparameter werden für die Berechnung der Planvariante nicht verändert. Es erfolgt lediglich eine Veränderung der topographischen Höhen.

Zur Umsetzung der Planvariante in Delft3D werden die topographischen Höhen (bzw. Tiefen) der betroffenen Netzelemente des Modells, also im Bereich der Werkserweiterung und der Verlegung der Verwallung, händisch angepasst. Abbildung 10 zeigt die topographischen Höhenunterschiede zwischen Referenzzustand und Planvariante als Differenzabbildung. Positive Werte stellen eine Erhöhung der Topographie in der Planvariante im Vergleich zum Referenzzustand dar. Negative Werte stellen eine Verringerung der Topographie in der Planvariante im Vergleich zum Referenzzustand dar.

Basis der Implementierung der Planvariante in das Delft3D Modell sind die von GEWECKE UND PARTNER übermittelten Bemaßungen des Entwurfs- und Genehmigungsplans vom 17.07.2018, welche in Querprofilen (GEWECKE UND PARTNER, 2018a-d) und einem Lageplan (GEWECKE UND PARTNER, 2018f) dargestellt werden. Modelltechnisch wird das Gebäude der 2. Werkserweiterung parallel zur Issel ausgerichtet und stellt eine horizontale Verlängerung des Bestandsgebäudes dar. Im Modell erfolgt der Rückbau der alten Verwallung durch eine lineare Interpolation der landseitigen und wasserseitigen Verwallungshöhen. Die topographischen Höhen der ursprünglichen Verwallungskrone wurden auf den Bereich der neuen Verwallung übertragen. Dadurch wird gewährleistet, dass die topographischen Höhen der Verwallungskrone exakt den Höhen der zurückgebauten Verwallung entsprechen. Die Böschungsneigungen der neuen Verwallung betragen im Entwurfs- und Genehmigungsplan 1:2,5. Modelltechnisch wurde die Böschungsneigung mit einem Verhältnis von 1:3 umgesetzt, was auf die Geometrie des Berechnungsnetzes zurückzuführen ist. Der Feldschlaggraben wird im Mittel mit einer Tiefe von 1,0 m, einer Breite von 1,0 m und einer Böschungsneigung von mindestens 1:2 geplant und damit im Modell abgebildet. Insgesamt hat der Feldschlaggraben im numerischen Modell in der Planvariante einen Entwicklungskorridor von ca. 15 m.

Durch die große Anzahl an Netzelementen im Berechnungsnetz können die Verlegung der Verwallung und des Feldschlaggrabens sowie die Geländeauffüllung des Bodens unterhalb der 2. Werkserweiterung mit sehr hoher räumlicher Genauigkeit im Modell implementiert werden. Die Ausrichtung der quadratischen Netzelemente entspricht, aus Gründen der höheren Genauigkeit der Berechnungsergebnisse im Bereich der Issel, der Fließrichtung der Issel. Aus diesem Grund wird die Verlegung der Verwallung schräg zur Issel am Ende der TROX-eigenen Fläche stufenförmig abgebildet.

Die in der Planvariante enthaltenen Rampen sowie der Rechteck-Durchlass und die Böschungsabflachungen des Issel-Ufers von 1:3 bis 1:5 oberhalb des Mittelwassers im Bereich der Rückverlegung können nicht im numerischen Modell berücksichtigt werden. Sie liegen unterhalb der modelltechnischen

Genauigkeit. Durch die geplanten Uferabflachungen an der Issel werden jedoch positive Auswirkungen für die Gewässerökologie und das Abflussgeschehen erwartet.

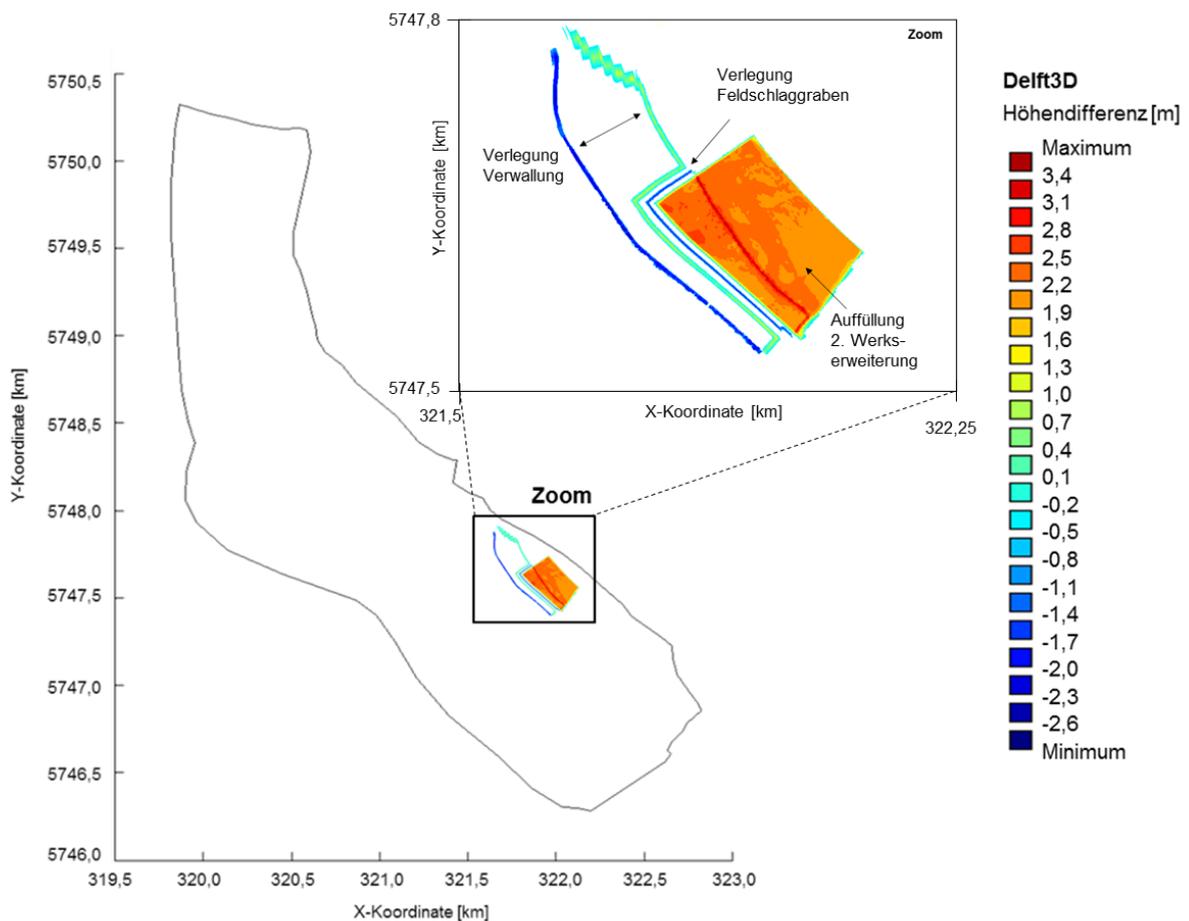


Abbildung 10: Topographische Höhenunterschiede zwischen dem Referenzzustand und der Planvariante

### 3.4 Aufbau des Vergleichsmodells (HYDRO\_AS-2D)

Sowohl Delft3D als auch HYDRO\_AS-2D benötigen als Berechnungsgrundlage ein Berechnungsnetz. Zur Modellierung der Issel mit HYDRO\_AS-2D wurde auf das bereits bestehende Netz der Issel inklusive Vorländer zurückgegriffen (BEZREG, 2017). Dieses wurde durch die Bezirksregierung Münster im Dezember 2017 zur Verfügung gestellt. In HYDRO\_AS-2D können neben Vierecks- auch Dreiecksnetzelemente verwendet werden. In Delft3D sind nur Viereckelemente zulässig. Aus diesem Grund unterscheidet sich das HYDRO\_AS-2D Netz deutlich vom Delft3D Netz (vgl. Abbildung 11 und Abbildung 12). In beiden Fällen wird die Topographie jedoch mit ausreichender Qualität abgebildet. Das zur Verfügung gestellte Berechnungsnetz (BEZREG, 2017) enthielt bereits die Topographie des Modellgebiets sowie eine Belegung der Netzelemente mit den Rauheitsparametern entsprechend der vorherrschenden Landnutzungen.

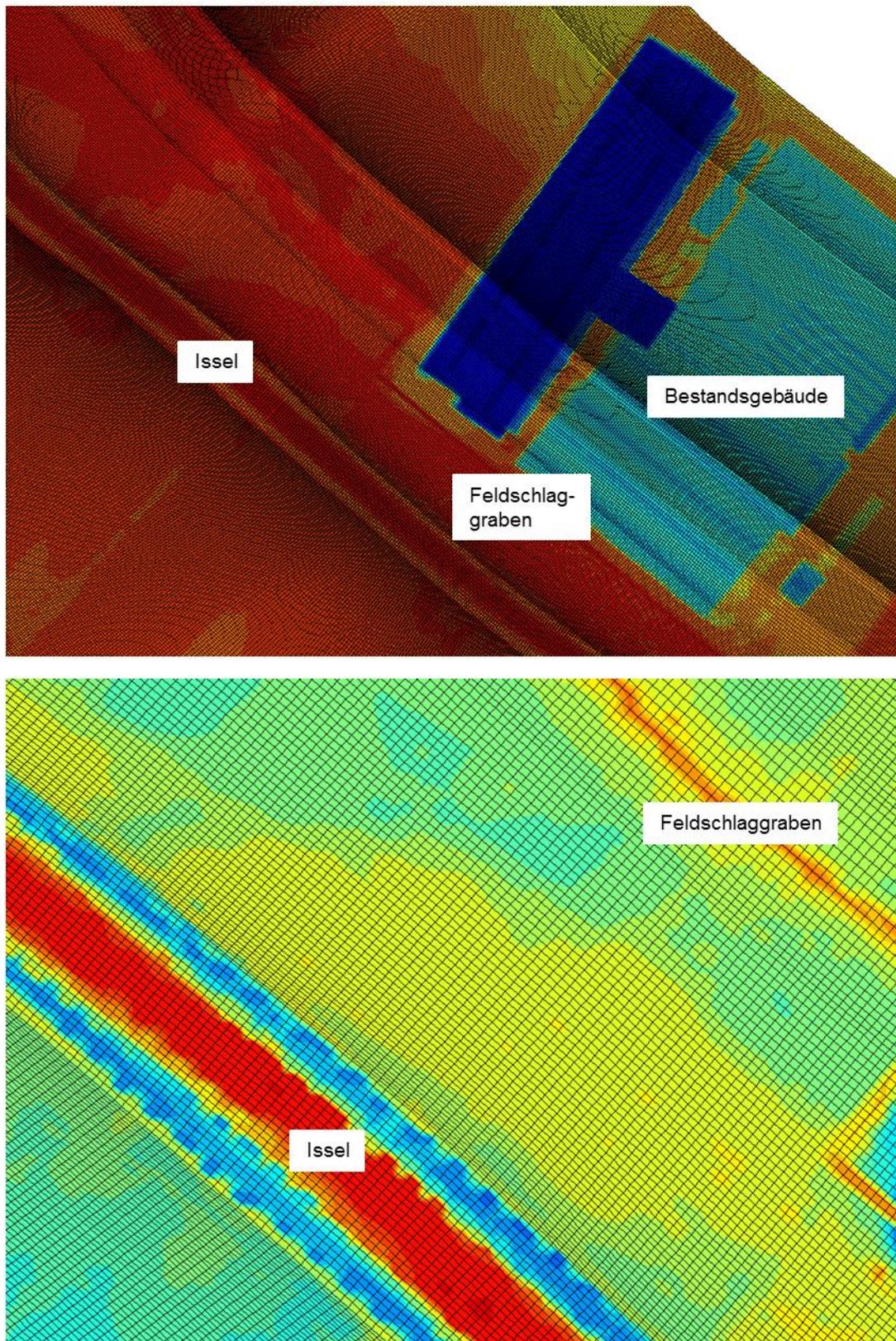


Abbildung 11: Rechengitter bestehend aus gleichmäßigen Viereckzellen in Delft3D für die Trox-eigenen Flächen (oben) und im Detail für die Issel und den Feldschlaggraben (unten). Zur Verdeutlichung der Netzstruktur sind die Elemente bereits mit den entsprechenden Höhen belegt (Farbgebung).

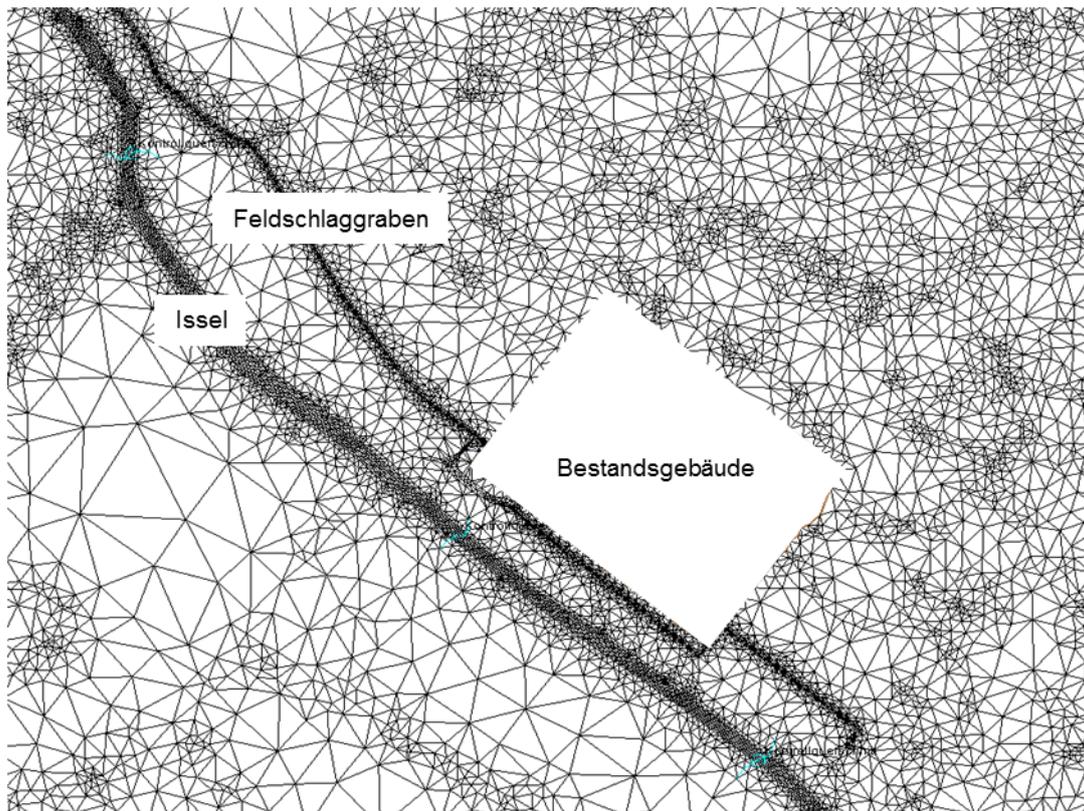


Abbildung 12: Rechengitter bestehend aus Dreieck- und Viereckzellen in HYDRO\_AS-2D für die TROX-eigenen Flächen im Referenzzustand

Der Simulationszeitraum betrug in HYDRO\_AS-2D ebenfalls 13,5 Tage. Als Abflussereignis wurde ebenfalls das HQ<sub>100</sub> (vgl. Abbildung 8) angesetzt. Der interne Zeitschritt für das numerische Verfahren wird in HYDRO\_AS-2D direkt über den Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) Faktor festgelegt. Dieser wurde zu 0,8 gesetzt, sodass das Kriterium von  $CFL < 1$  eingehalten wird. Es wurden keine Anpassungen der numerischen und physikalischen Parameter vorgenommen, um die von der Bezirksregierung Münster zur Verfügung gestellten Eingangsdaten nicht zu verändern.

### 3.5 Niederschlagswassereinleitungen

#### 3.5.1 Konzept der Niederschlagswasserbehandlung

Auf den befestigten Flächen (Dachflächen, Parkplatzflächen, etc.) der Firma TROX fällt Niederschlagswasser an, welches derzeit in den Feldschlaggraben abgeleitet wird. GEWECKE UND PARTNER (Stand Mai 2018) hat ein Konzept der Niederschlagswasserbehandlung entwickelt, welches Grundlage für die hier beschriebenen Zustände ist. Derzeit werden die Niederschlagswassereinleitungsmengen auf den TROX Flächen ausschließlich in den Feldschlaggraben eingeleitet. In Abbildung 13 sind die Einleitungsstellen von Niederschlagswasser im Referenzzustand in den Feldschlaggraben gekennzeichnet. Es sind zwei zusätzliche Einleitstellen zu erkennen, die unabhängig von der Firma TROX Niederschlagswasser in den Feldschlaggraben einleiten. In Tabelle 2 sind die genehmigten Einleitungsmengen in den Feldschlaggraben für den Referenzzustand dargestellt.

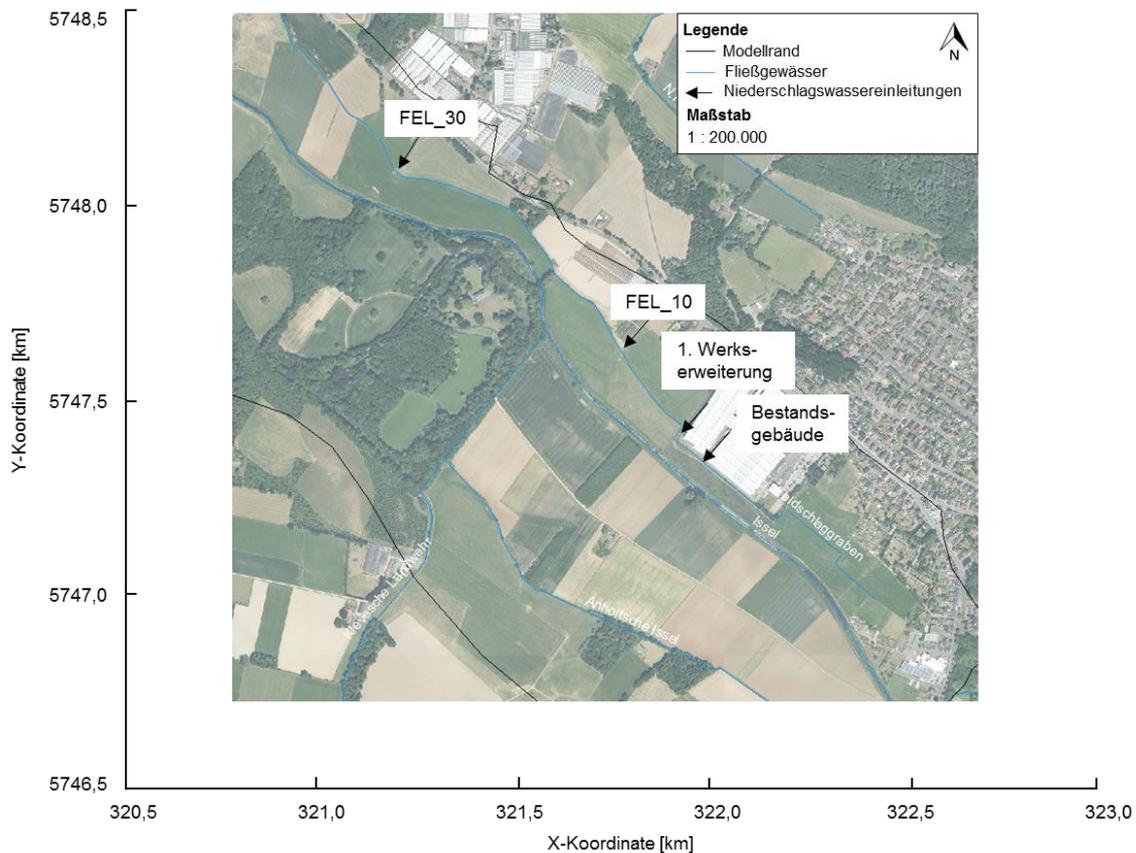


Abbildung 13: Einleitstellen von Niederschlagswasser in den Feldschlaggraben im Referenzzustand

Tabelle 2: Niederschlagswassereinleitungen in den Feldschlaggraben im **Referenzzustand**

Einleitungsflächen	Einleitungsart	Einleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]	Quelle
FEL_10	Ungedrosselt	0,018	Stadt Isselburg (Stand 02/2018)
FEL_30	Gedrosselt	0,007	Stadt Isselburg (Stand 02/2018)
TROX Bestandsgebäude	Ungedrosselt	0,4065 (T = 2a, D = 20 min)	TROX GmbH Genehmigungsbe-scheid 06.12.1993
TROX 1. Werks-erweite- rung	Gedrosselt	0,0055	TROX GmbH Genehmigungsbe-scheid 21.02.2011

Im Rahmen der geplanten Werks-erweiterung wird sich die Menge des abzuleitenden Niederschlags-  
wassers aufgrund der Befestigung zusätzlicher Flächen erhöhen. Durch die 2. Werks-erweiterung der  
Firma TROX fällt zusätzliches Niederschlagswasser durch die befestigten Flächen der neuen Bebauung  
an. Bis zu einer maximal zulässigen Gesamteinleitungsmenge von  $\leq 30$  l/s (gemäß „Handlungskonzept  
Regenwasser“) aller Flächen (Bestandsgebäude, 1. Werks-erweiterung, 2. Werks-erweiterung) soll das  
Niederschlagswasser in den Feldschlaggraben eingeleitet werden. Zusätzlich soll die heute ungedros-  
selte Einleitung des Bestandsgebäudes in eine gedrosselte Einleitung geändert werden. Die Lage der  
gedrosselten Einleitungen und die Abschlagsmengen wurden von GEWECKE UND PARTNER geplant. Auf-  
grund ökologischer Überlegungen sollen zusätzlich anfallende Niederschlagswassereinleitungsmengen  
per Notüberlauf in die Issel abgeführt werden. In Abbildung 14 sind die Einleitstellen und in Tabelle 3  
die Einleitungsmengen für die Planvariante dargestellt.

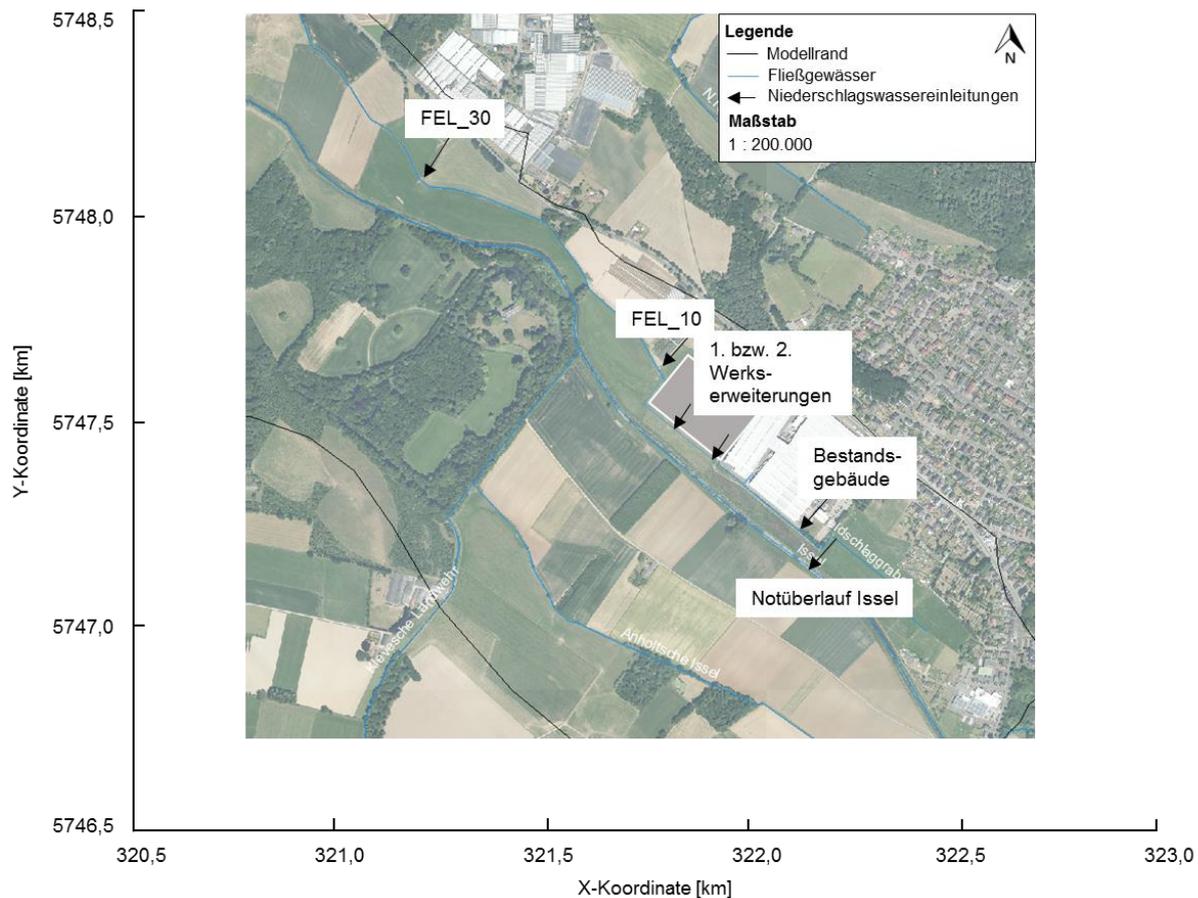


Abbildung 14: Einleitstellen von Niederschlagswasser in den Feldschlaggraben in der Planvariante

Tabelle 3: Niederschlagswassereinleitungen in den Feldschlaggraben in der **Planvariante**

Einleitungsflächen	Einleitungsart	Einleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]	Quelle
FEL_10	Ungedrosselt	0,018	Stadt Isselburg (Stand 02/2018)
FEL_30	Gedrosselt	0,007	Stadt Isselburg (Stand 02/2018)
TROX Bestandsgebäude	Gedrosselt	0,013	Mitteilung GEWECKE UND PARTNER (Stand 05/2018)
TROX 1. Werks-erweiterung	Gedrosselt	0,0055	Mitteilung GEWECKE UND PARTNER (Stand 05/2018)
TROX 2. Werks-erweiterung	Gedrosselt	0,007	Mitteilung GEWECKE UND PARTNER (Stand 05/2018)

Durch den Notüberlauf kann es in der Planvariante, im Falle einer zeitlichen Überlagerung eines Hochwasserereignisses in der Issel und eines Niederschlagsereignisses über den TROX Flächen, zu einer Erhöhung des Abflusses in der Issel im Vergleich zum Referenzzustand kommen. Für die Ermittlung des Niederschlagsereignisses, welches in Verbindung mit einem Hochwasserereignis in der Issel mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren zum maßgeblichen Abflussereignis in der Issel führt, sind weitere Modellberechnungen unter Berücksichtigung mehrerer unterschiedlicher Niederschlags-szenarien notwendig. Aufgrund der Komplexität des Abflussverhaltens im Untersuchungsgebiet lässt sich, ohne weitere Untersuchungen, nicht im Voraus bestimmen, welches Niederschlagsereignis maßgeblich ist.

### 3.5.2 Datengrundlage

In diesem Bericht erfolgt die Bestimmung des maßgeblichen Niederschlagsereignisses auf Grundlage der Planungsunterlagen (Stand 05/2018) und des KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD, 2010).

Dem KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD, 2010) ist zu entnehmen, dass zwischen den beiden Größen Niederschlagshöhe [mm] und Niederschlagsspende [l/(s ha)] ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang besteht. Je größer das Wiederkehrintervall T [a] und je größer die Dauerstufe D [min], desto größer ist die Niederschlagshöhe [mm]. Die Niederschlagsspende [l/(s ha)] ist hingegen bei der geringsten Dauerstufe D [min] und dem größten Wiederkehrintervall T [a] maximal.

In Tabelle 4 sind die Niederschlagshöhen [mm] und in Tabelle 5 sind die Niederschlagsspenden [l/(s ha)] aus dem KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD, 2010) für die Stadt Isselburg dargestellt. In allen nachfolgenden Tabellen ist jeweils der maximale Tabellenwert in Rot gekennzeichnet. Der zuvor genannte Zusammenhang zwischen Niederschlagshöhen und –spende zeigt sich bei dem Vergleich der Tabelle 4 und Tabelle 5. Beispielsweise kommt es zu einer maximalen Niederschlagshöhe bei einer Dauerstufe von 4320 Minuten (Tabelle 5), wohingegen die Niederschlagsspende maximal ist bei einer Dauerstufe von 5 Minuten (Tabelle 4). In den folgenden Untersuchungen wird, nach dem Prinzip der „sicheren Seite“, grundsätzlich von einem Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren ausgegangen, da hier die Niederschlagshöhe und die Niederschlagsspende maximale Werte aufweisen.

Tabelle 4: Niederschlagshöhen  $h_n$  [mm] der Stadt Isselburg aus dem KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD, 2010)

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagshöhen $h_n$ [mm]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	4,7	7,4	9,1	10,3	11,9	13,3	14,1	15,6	16,8	18,6	20	22,1	24,5	26,3	29,1	31,3	38,1	42,7
2	6,3	9,3	11,3	12,7	14,6	16,3	17,4	19,2	20,6	22,8	24,5	27,1	29,9	32,1	35,5	38,2	45,6	50,6
3	7,2	10,5	12,6	14,1	16,2	18,1	19,3	21,3	22,9	25,3	27,1	30	33,1	35,6	39,3	42,2	50	55,3
5	8,4	11,9	14,2	15,9	18,2	20,3	21,7	24	25,7	28,4	30,5	33,7	37,2	39,9	44	47,2	55,6	61,2
10	10,1	13,9	16,5	18,3	20,9	23,3	25	27,6	29,6	32,6	35	38,6	42,6	45,7	50,4	54,1	63,1	69,1
20	11,7	15,9	18,7	20,7	23,6	26,4	28,3	31,2	33,4	36,9	39,5	43,6	48,1	51,6	56,9	61	70,7	77
30	12,6	17	20	22,1	25,1	28,1	30,2	33,3	35,7	39,4	42,2	46,5	51,3	55	60,6	65	75,1	81,7
50	13,8	18,5	21,6	23,9	27,1	30,4	32,6	36	38,5	42,5	45,5	50,2	55,3	59,3	65,4	70	80,7	87,6
100	15,4	20,5	23,8	26,3	29,8	33,4	35,9	39,6	42,4	46,7	50	55,2	60,8	65,1	71,8	76,9	88,2	95,5

Tabelle 5: Niederschlagsspenden  $R_n$  [l/(s ha)] der Stadt Isselburg aus dem KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD, 2010)

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagsspenden $R_n$ [l/(s ha)]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	155,9	122,7	101,1	86,0	66,2	49,2	39,2	28,9	23,3	17,2	13,9	10,2	7,6	6,1	4,5	3,6	2,2	1,6
2	209,9	155,5	125,7	106,0	81,2	60,4	48,3	35,6	28,7	21,1	17,0	12,5	9,2	7,4	5,5	4,4	2,6	2,0
3	241,4	174,8	140,1	117,7	89,9	67,0	53,6	39,5	31,8	23,4	18,8	13,9	10,2	8,2	6,1	4,9	2,9	2,1
5	281,2	199,0	158,2	132,5	101,0	75,2	60,3	44,4	35,7	26,3	21,2	15,6	11,5	9,2	6,8	5,5	3,2	2,4
10	335,2	231,8	182,8	152,5	115,9	86,4	69,4	51,1	41,1	30,2	24,3	17,9	13,2	10,6	7,8	6,3	3,7	2,7
20	389,2	264,7	207,4	172,5	130,9	97,6	78,6	57,8	46,4	34,1	27,5	20,2	14,8	11,9	8,8	7,1	4,1	3,0
30	420,7	283,9	221,7	184,2	139,7	104,2	83,9	61,7	49,6	36,4	29,3	21,5	15,8	12,7	9,4	7,5	4,3	3,2
50	460,5	308,1	239,9	198,9	150,7	112,4	90,6	66,6	53,5	39,3	31,6	23,2	17,1	13,7	10,1	8,1	4,7	3,4
100	514,5	341,0	264,4	218,9	165,7	123,6	99,7	73,3	58,9	43,3	34,8	25,5	18,8	15,1	11,1	8,9	5,1	3,7

In Tabelle 6 sind die Größen der befestigten Flächen, aufgeteilt nach Gesamt- und Dachflächen, dargestellt (Mitteilung GEWECKE UND PARTNER, Mai 2018). Aus Tabelle 6 ergibt sich für den Referenzzustand eine befestigte Gesamtfläche von 8,5 ha (Bestandsgebäude + 1. Erweiterung) und für die Planvariante eine befestigte Gesamtfläche von 11,90 ha (Bestandsgebäude + 1. Erweiterung + 2. Erweiterung).

Tabelle 6: Befestigte Flächen der Firma TROX aufgeteilt nach Gesamt- und Dachflächen (Mitteilung GEWECKE UND PARTNER, Mai 2018)

Einleitungsflächen	Gesamtflächen [ha]	davon Dachflächen [ha]
TROX Bestandsgebäude	6,49	3,57
TROX 1. Werkserweiterung	2,01	1,44
TROX 2. Werkserweiterung	3,40	2,12

### 3.5.3 Ermittlung der maßgeblichen Niederschlagsereignisse

Aus der Multiplikation der Niederschlagsspende [ $l/(s \text{ ha})$ ] mit der Größe der befestigten Flächen [ha] auf die der Niederschlag fällt und der entsprechenden Dauerstufe [s] ergibt sich die Niederschlagswassereinleitungsmenge [l]. Durch den umgekehrt proportionalen Zusammenhang zwischen max. Niederschlagshöhe [mm] und maximaler Niederschlagsspende [ $l/(s \text{ ha})$ ] ergeben sich insgesamt zwei Szenarien, die zum maßgeblichen Abflussereignis in der Issel führen.

Das **erste Szenario** basiert auf der maximalen Niederschlagsspende [ $l/(s \text{ ha})$ ] (vgl. Tabelle 5). Durch Multiplikation der Niederschlagsspende [ $l/(s \text{ ha})$ ] mit der befestigten Fläche [ha] (vgl. Tabelle 6) ergibt sich die Niederschlagswassereinleitungsmenge [l/s], welche in der numerischen Berechnungen über eine Dauer von 5 Minuten (Dauerstufe der max. Niederschlagsspende) berücksichtigt werden. Aus Tabelle 10 bis Tabelle 13 im Anhang lassen sich die maximalen Niederschlagswassereinleitungsmengen [ $m^3/s$ ] bei einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren und einer Dauerstufe von 5 Minuten für die Gebäude des TROX Werkes entnehmen.

Das **zweite Szenario** basiert auf der maximal abführbaren Niederschlagswassereinleitungsmenge in [ $m^3$ ]. Bei Multiplikation der maximalen Niederschlagswassereinleitungsmengen [ $m^3/s$ ] mit der jeweiligen Dauerstufe D [min] ergeben sich Niederschlagswassereinleitungsmengen in [ $m^3$ ]. Je länger ein Niederschlagsereignis andauert, desto geringer ist die Niederschlagsspende [ $l/(s \text{ ha})$ ], aber desto größer ist das gesamte abführbare Volumen an Wasser. Die maximalen Niederschlagswassereinleitungsmengen in [ $m^3$ ] sind im Anhang in Tabelle 14 bis Tabelle 17 dargestellt. Im Modell wurden die zu diesen maximalen Werten gehörenden Niederschlagswassereinleitungsmengen [ $m^3/s$ ] (vgl. Anhang Tabelle 10 bis Tabelle 13) über die entsprechenden Dauerstufen angesetzt.

In Tabelle 7 (Referenzzustand) und Tabelle 8 (Planvariante) sind die sich daraus ergebenden Niederschlagswassereinleitungen [ $m^3/s$ ] sowie die anzusetzende Dauer [min] für beide Szenarien dargestellt.

Tabelle 7: Niederschlagswassereinleitungen [ $m^3/s$ ] und Dauer [min] im **Referenzzustand** in den Feldschlaggraben entsprechend dem Kriterium der maximalen Einleitung und der maximalen Niederschlagsmenge.

Fläche	Art	Gesamtflächen [ha]	Niederschlagswassereinleitungen basierend auf der max. Niederschlagsspende (Szenario 1)	Niederschlagswassereinleitungen basierend auf der max. Niederschlagsmenge (Szenario 2)
TROX Bestandsgebäude	Ungedrosselt	6,49	Q = 2,933 $m^3/s$ ; D = 5 min	Q = 1,0142 $m^3/s$ ; D = 20 min
TROX 1. Werkserweiterung	Ungedrosselt	2,01	Q = 1,029 $m^3/s$ ; D = 5 min	Q = 0,017 $m^3/s$ ; D = 1.089 min

Tabelle 8: Niederschlagswassereinleitungen [ $m^3/s$ ] und Dauer [min] in der **Planvariante** als **Notüberlauf in die Issel** entsprechend dem Kriterium der maximalen Einleitung und der maximalen Niederschlagsmenge.

Fläche	Art	Gesamtflächen [ha]	Niederschlagswassereinleitungen basierend auf der max. Niederschlagsspende (Szenario 1)	Niederschlagswassereinleitungen basierend auf der max. Niederschlagsmenge (Szenario 2)
TROX Bestandsgebäude	Ungedrosselt	6,49	Q = 3,326 $m^3/s$ ; D = 5 min	Q = 0,045 $m^3/s$ ; D = 1.440 min
TROX 1. Werkserweiterung	Ungedrosselt	2,01	Q = 1,029 $m^3/s$ ; D = 5 min	Q = 0,017 $m^3/s$ ; D = 1.089 min
TROX 2. Werkserweiterung	Ungedrosselt	3,40	Q = 1,742 $m^3/s$ ; D = 5 min	Q = 0,023 $m^3/s$ ; D = 1.440 min

Modelltechnisch werden die Niederschlagswassereinleitungen als punktuelle Einleitungen an den entsprechenden Einleitungsstellen im Referenzzustand und in der Planvariante (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3) berücksichtigt, wobei der Notüberlauf in die Issel in der Planvariante an einer Stelle zusammengefasst wird. Die Höhe der Einleitung (Q) und Dauer der Einleitung (D) werden in Referenzzustand und Planvariante entsprechend Tabelle 7 bzw. Tabelle 8 angesetzt. Im Modell erfolgt die zeitliche Überlagerung der Niederschlagswassereinleitungen zeitgleich mit dem Spitzenabfluss der HQ<sub>100</sub>-Ganglinie (vgl. Abbildung 8), um eine maximale Belastung des Systems zu erreichen.

### 3.6 Ergebnisse

Vor Darstellung der Ergebnisse der numerischen Simulationen mit Delft3D wird darauf hingewiesen, dass kein direkter Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen der Hochwassergefahrenkarten vorgenommen werden kann, da das hier verwendete Modell auf einer aktualisierten Datengrundlage basiert. Im Vergleich zum Modell, auf dem die Hochwassergefahrenkarten basieren, stellt das vom IWW aufgebaute Delft3D-Modell ein Detailmodell bzw. Bauwerksmodell der Issel für den Bereich der Firma TROX dar. Sowohl die Issel als auch das Vorland inklusive Feldschlaggraben und Verwaltung werden mit einer sehr hohen Auflösung (1 x 1 m) im Modell abgebildet. Dabei ist vor allem anzumerken, dass das Delft3D-Bauwerksmodell die aktuelle Topographie enthält. Die Vermessungsdaten der Verwaltung beruhen auf Einmessungen im Jahr 2012 (ÖbVi Dö-Pe-Re) und Neuvermessungen im Jahr 2017 (ÖbVi Dorbath). Zudem ist die erste Werkserweiterung sowie die im Zuge der Erweiterung erfolgte Verlegung des Feldschlaggrabens im Modell enthalten.

#### 3.6.1 Überströmbereiche (HQ<sub>100</sub>)

Aus den Ergebnissen der numerischen Berechnungen lassen sich für ein HQ<sub>100</sub>-Ereignis mit einem maximalen Abfluss von 30,9 m<sup>3</sup>/s Überströmbereiche der Verwaltung ableiten. In Abbildung 15 sind die Überströmbereiche der Verwaltung im Referenzzustand zu Beginn der Überströmung bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis dargestellt.

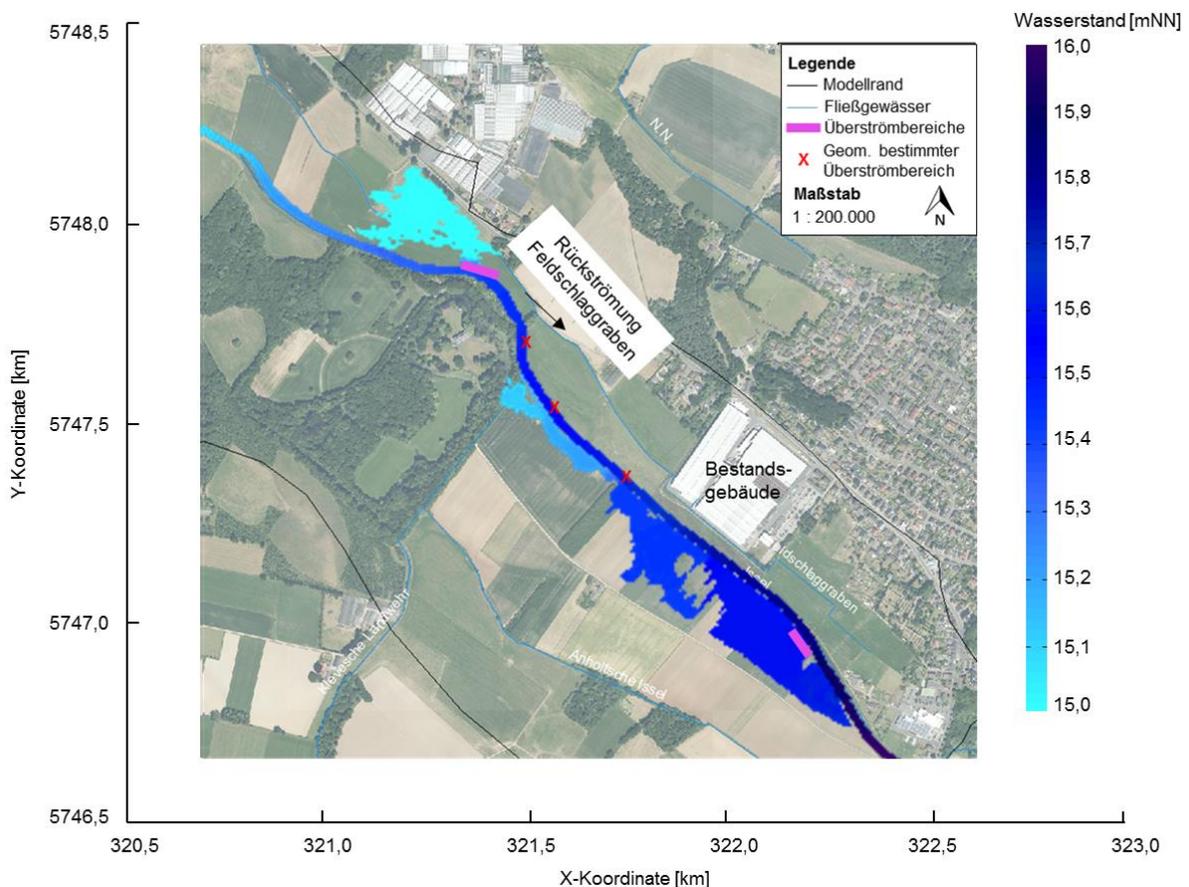


Abbildung 15: Überströmbereiche der Issel-Verwaltung im Referenzzustand zu Beginn der Überströmung

Vorrangig kommt die Überflutung des rechten Vorlands durch eine Ausuferung der Issel unmittelbar unterhalb der TROX-eigenen Fläche und einer Rückströmung mit Ausuferung im Feldschlaggraben zustande. Die linken Vorländer werden bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis aufgrund einer Überströmung der Issel-Verwallung ca. 100 m vor dem TROX-Bestandsgebäude überflutet.

GEWECKE UND PARTNER hat durch einen rein geometrisch basierten Vergleich der Verwallungshöhen mit dem HQ<sub>100</sub>-Wasserstand der Issel drei potentielle Überströmbereiche der Verwallung ermittelt (vgl. Abbildung 15). Diese konnten durch die Ergebnisse der numerischen Modellierung hydraulisch jedoch nicht bestätigt werden.

Abbildung 16 zeigt die Überströmbereiche der Verwallung in der Planvariante zu Beginn der Überströmung bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis. Durch die Maßnahme ergeben sich in den bestehenden Überströmbereichen keine Veränderungen. Zusätzlich wird der Bereich der rückverlegten Verwallung direkt durch die Issel und nicht wie im Referenzzustand durch die Rückströmung und Ausuferung im Feldschlaggraben überflutet. Trotz erhöhter Wasserstände im Bereich der Rückverlegung kommt es nicht zu einer Überströmung der rückverlegten Verwallung. Die hydraulische Beaufschlagung des Feldschlaggrabens bleibt an dieser Stelle im Vergleich zum Referenzzustand unverändert.

Zudem ist keine Anpassung der Verlegung der Verwallung am Ende der TROX-eigenen Fläche im Übergang zur Nachbarparzelle (vgl. Abbildung 4) notwendig. Aufgrund der natürlichen Geländeaufhöhung kommt es hier zu keinen signifikanten Veränderungen im Strömungsbild beim Vergleich des Referenzzustandes und der Planvariante. Aus hydraulischer Sicht ist daher keine Anpassung der Verlegung der Verwallung gegenüber dem aktuellen Planungsstand (07.2018) notwendig.

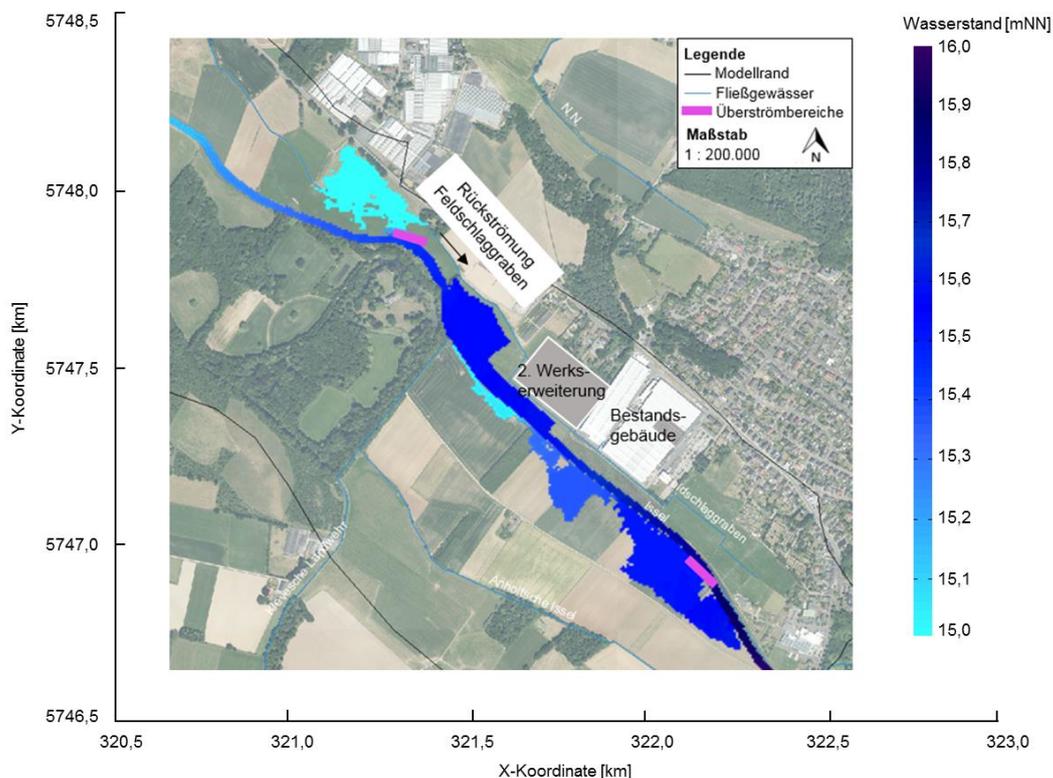


Abbildung 16: Überströmbereiche der Issel-Verwallung in der Planvariante zu Beginn der Überströmung

### 3.6.2 Vergleich von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten im Referenzzustand und in der Planvariante (HQ<sub>100</sub>-Ereignis)

Der Vergleich der numerischen Berechnungsergebnisse mit Delft3D für den Referenzzustand und die Planvariante erfolgt auf Basis von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten. In den nachfolgenden Differenzabbildungen stellt eine positive Differenz einen signifikanten Anstieg oberhalb der Nachweisgrenze der entsprechenden Größe im Vergleich zum Referenzzustand dar. Eine negative Differenz stellt hingegen eine signifikante Verringerung außerhalb der Nachweisgrenze der entsprechenden Größe im Vergleich zum Referenzzustand dar. Die Nachweisgrenzen liegen bei +/- 1 cm für Wasserstände und bei +/- 5 cm/s für Fließgeschwindigkeiten.

Abbildung 17 zeigt die Wasserstände in Delft3D bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis im Referenzzustand im Bereich der TROX-eigenen Fläche.

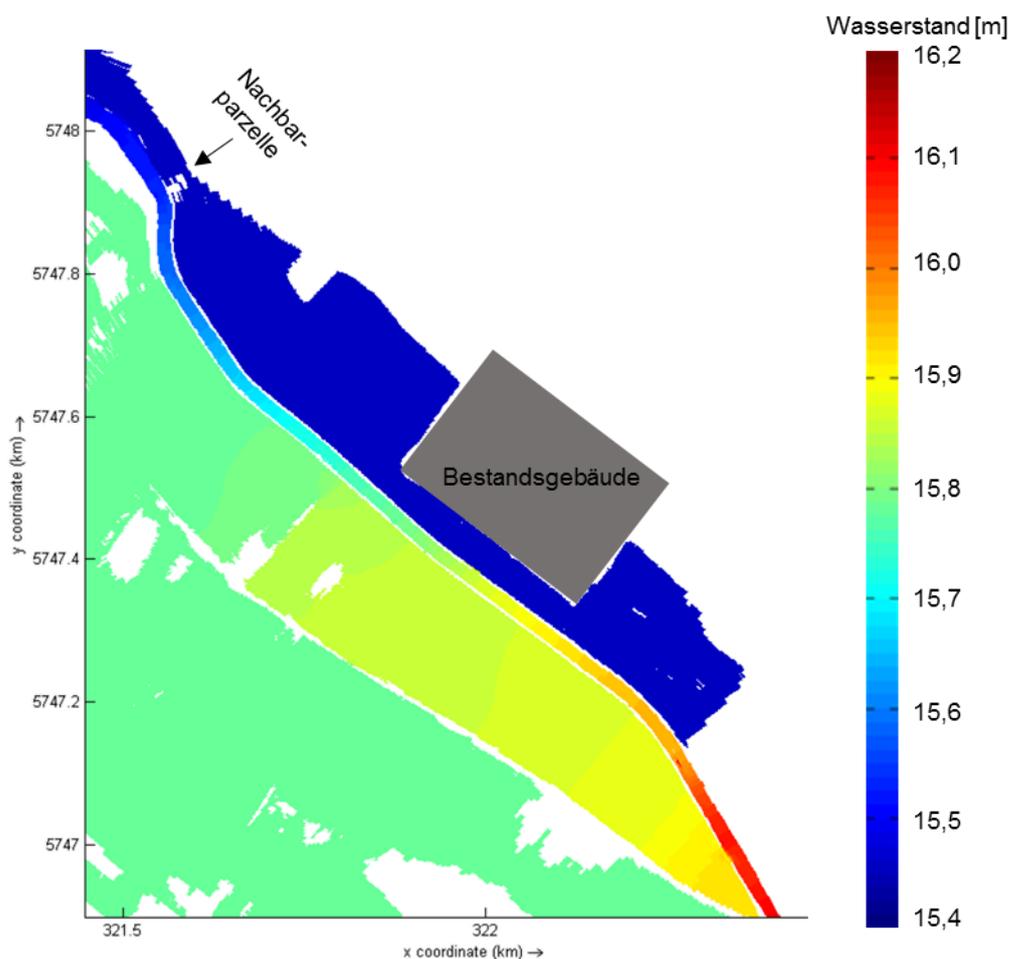


Abbildung 17: Wasserstände in Delft3D im Referenzzustand im Bereich der TROX-eigenen Fläche

Abbildung 18 zeigt die Wasserstände in Delft3D in der Planvariante bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis im Bereich der TROX-eigenen Fläche.

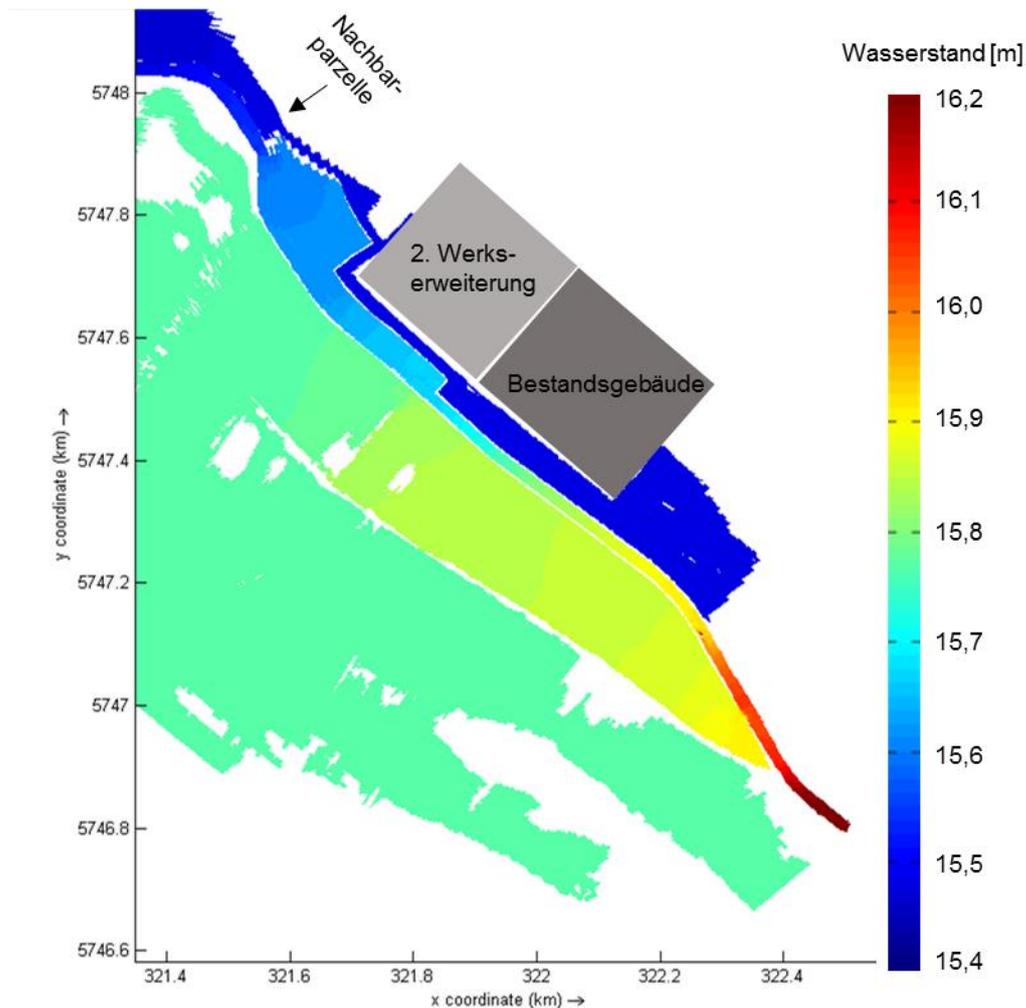


Abbildung 18: Wasserstände in Delft3D in der Planvariante im Bereich der TROX-eigenen Fläche

Abbildung 19 zeigt die Differenz der Wasserstände für das gesamte Modellgebiet. Oberhalb des Bestandsgebäudes ergeben sich keine Unterschiede in den Wasserständen bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis. Auf Höhe der 2. Werks-erweiterung sinkt der Wasserstand in der Issel um ca. 4 cm. Im Übergang zur Nachbarparzelle (vgl. Abbildung 4) erhöht sich der Wasserstand in der Issel geringfügig um ca. 3 cm und auf dem rechten Vorland unterhalb der TROX-eigenen Fläche um ca. 1,35 cm. Durch die Rückverlegung der Verwallung erhöht sich der Wasserstand auf dem rechten Vorland um 14 cm bis 20 cm. Hinter der rückverlegten Verwallung im Bereich des Feldschlaggrabens erhöhen sich die Wasserstände um ca. 1,5 cm. Auf dem linken Vorland kommt es bereichsweise zu einer Reduktion der Wasserstände um ca. 1,5 cm.

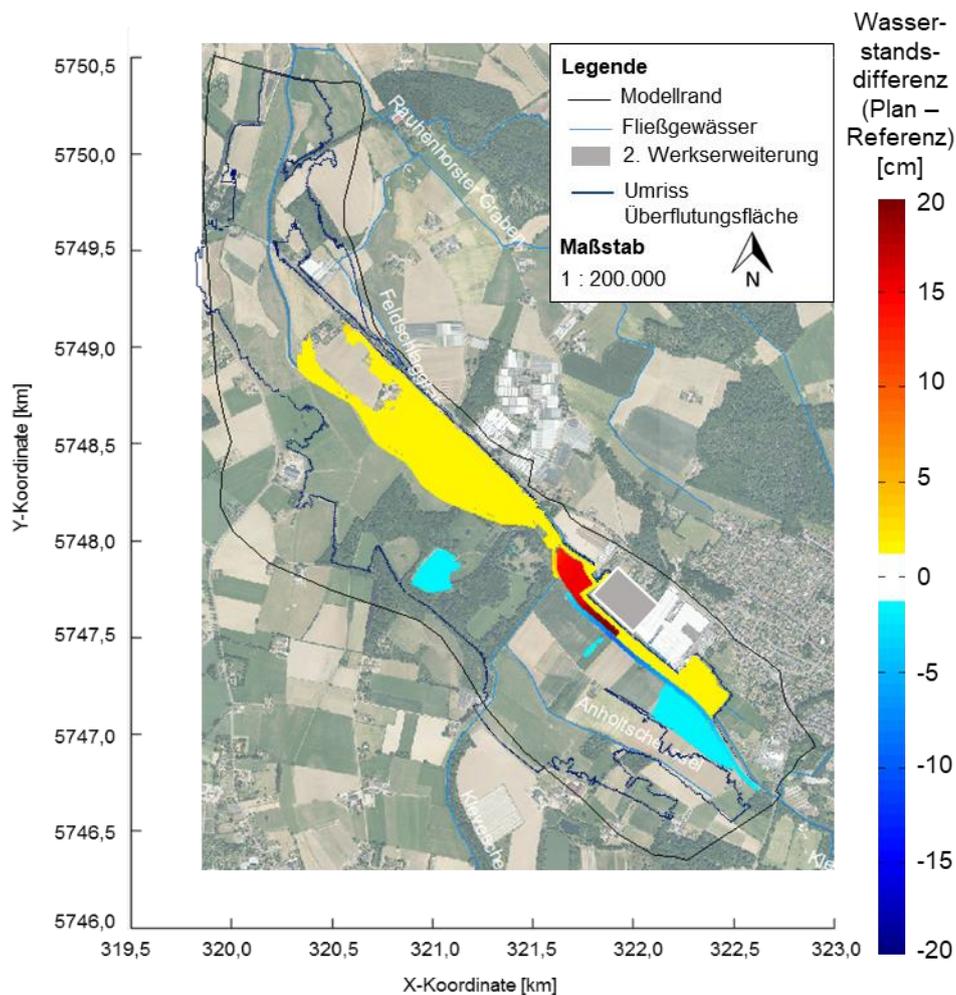


Abbildung 19: Wasserstands-differenz der Planvariante und des Referenzzustandes für ein HQ<sub>100</sub>-Ereignis zwischen -20 cm und + 20 cm

Bei einer Skalierung der Wasserstands-differenz von -20 cm bis + 20 cm werden, entsprechend der zuvor genannten Nachweisgrenzen, jeweils die ersten 1 cm farblich nicht dargestellt (Nullbereich). Die geringfügige Erhöhung der Wasserstände auf dem rechten Vorland unterhalb der TROX-eigenen Fläche von ca. 1,35 cm und auf der TROX-eigenen Fläche außerhalb des Rückverlegungsbereichs von ca. 1,5 cm liegen unmittelbar an der numerischen Nachweisgrenze. Zur Verdeutlichung der lediglich geringfügigen Wasserstandsänderungen in diesen Bereichen zeigt Abbildung 20 die Wasserstands-differenzen mit einem Nullbereich von  $\pm 1,5$  cm. Hierbei wird deutlich, dass sich lediglich im Bereich der Rückverlegung eine signifikante Erhöhung der Wasserstände um 14 cm bis 20 cm ergibt. Der Wasserstand in der Issel wird im oberstromigen Bereich der Maßnahme erwartungsgemäß um maximal 4 cm reduziert.

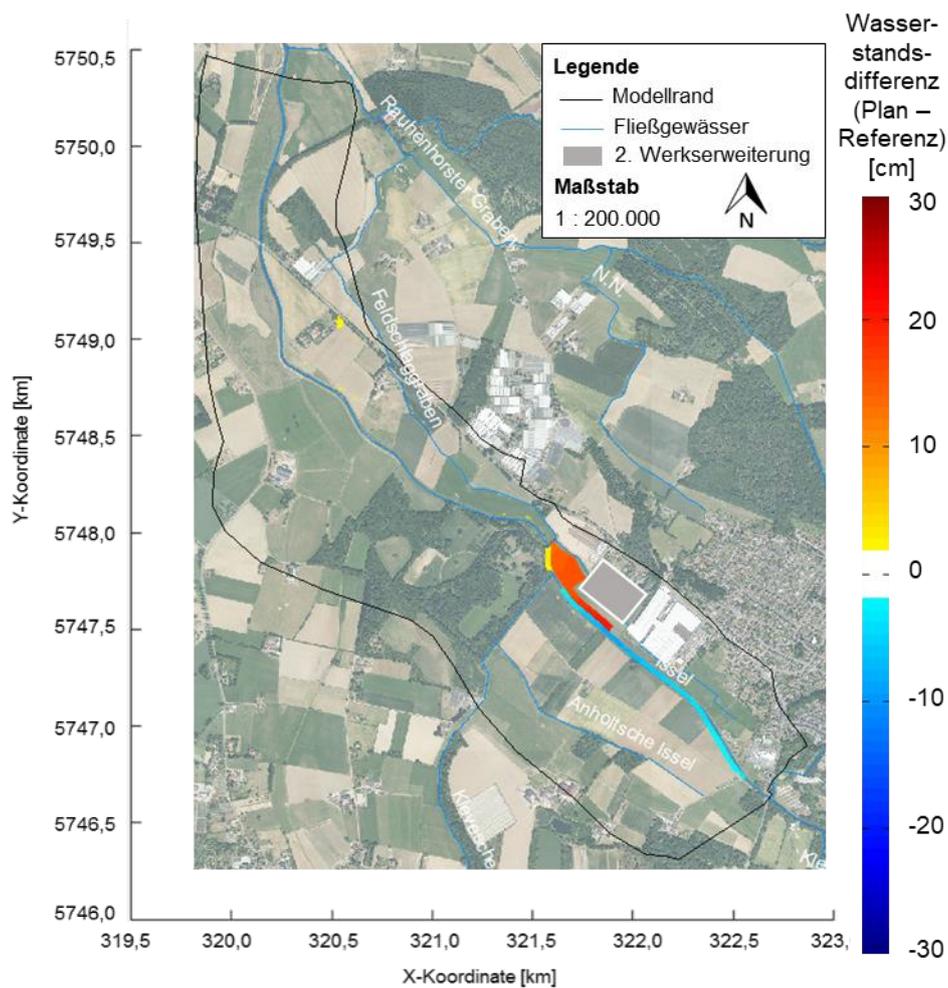


Abbildung 20: Wasserstands-differenz der Planvariante und des Referenzzustandes für ein HQ<sub>100</sub>-Ereignis zwischen -30 cm und + 30 cm

Um die Auswirkungen der Planvariante auf den Feldschlaggraben zu beurteilen, ist eine einfache Differenzabbildung der Wasserstände nicht ausreichend. Der Feldschlaggraben wird im Rahmen der 2. Werkserweiterung verlegt und befindet sich nicht mehr an der ursprünglichen Stelle. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Wassertiefen des Feldschlaggrabens im Bereich der TROX-eigenen Flächen für den Referenzzustand und die Planvariante bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis. In Abbildung 21 und Abbildung 22 ist zu erkennen, dass sowohl im Referenzzustand als auch in der Planvariante die Wassertiefen im Feldschlaggraben zwischen 1,1 m und 1,2 m liegen. Wie auch in Abbildung 19 zu erkennen, ergeben sich für den Feldschlaggraben lediglich Erhöhungen des Wasserstands im Vergleich zum Referenzzustand von ca. 1,5 cm.

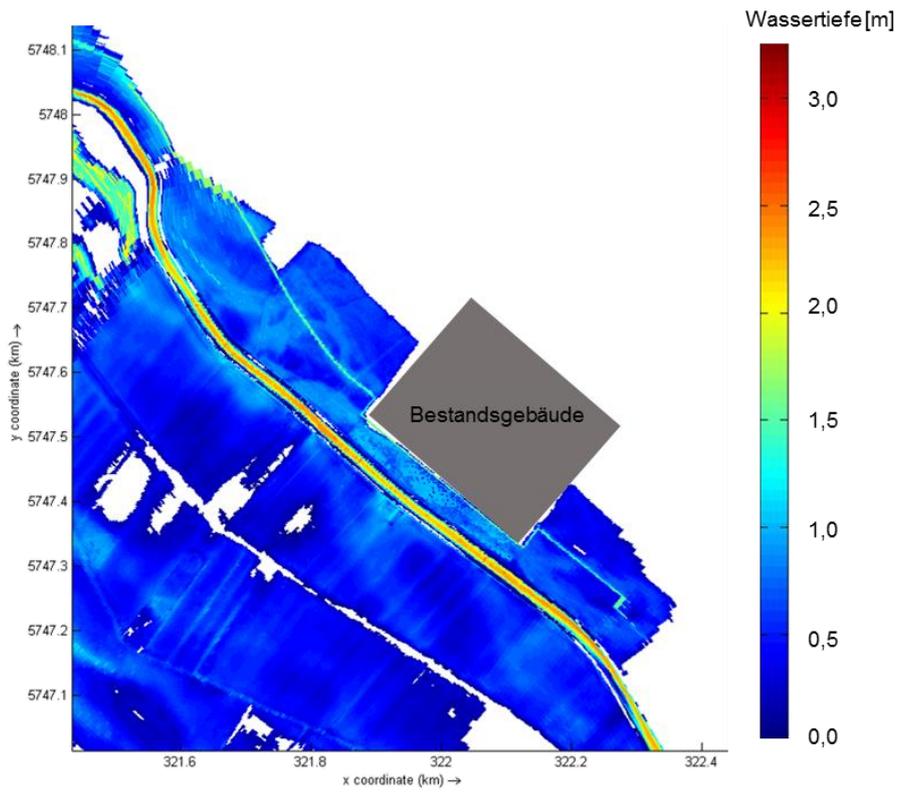


Abbildung 21: Wassertiefen im Referenzzustand im Bereich der TROX-eigenen Fläche

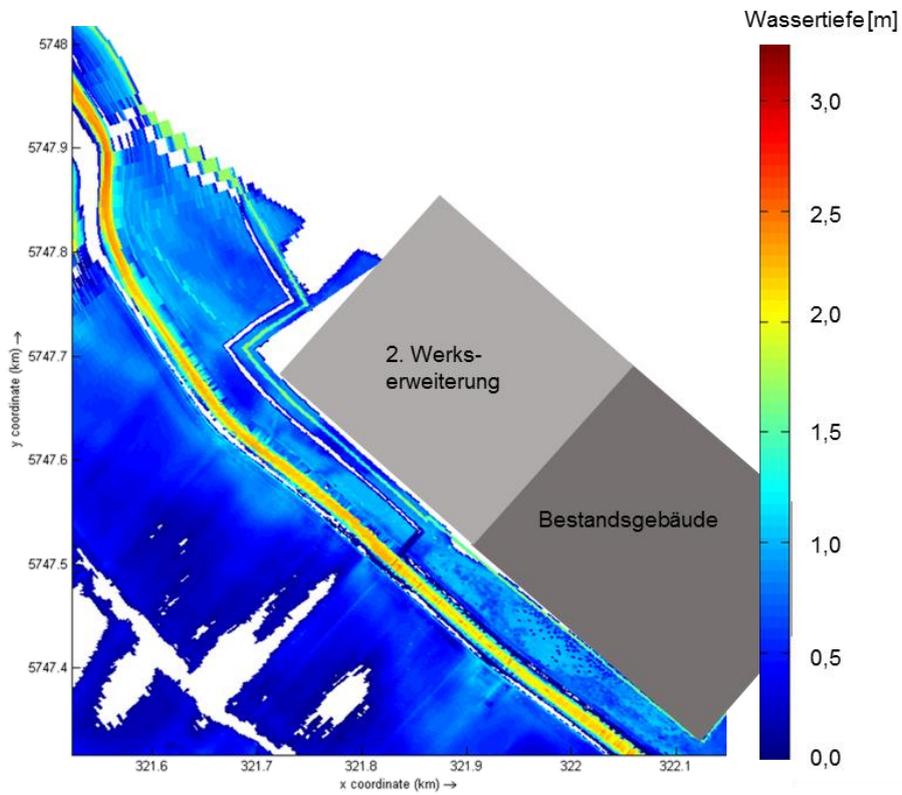


Abbildung 22: Wassertiefen in der Planvariante im Bereich der TROX-eigenen Fläche

Oberstrom der Rückverlegung erhöhen sich die Fließgeschwindigkeiten in der Issel um ca. 0,2 m/s, von 0,9 m/s (Referenzzustand) auf 1,1 m/s (Planvariante). Im Bereich der Rückverlegung gleichen sich die Fließgeschwindigkeiten von Issel und Vorland auf ca. 0,4 m/s an. Dies ergibt eine Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten in der Issel in diesem Bereich von 0,9 m/s (Referenzzustand) auf 0,4 m/s (Planvariante) und eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten auf dem rechten Vorland von 0,1 m/s (Referenzzustand) auf 0,4 m/s (Planvariante). Für das linke Vorland ergeben sich keine signifikanten Veränderungen. Hier beträgt die Fließgeschwindigkeit in beiden Zuständen ca. 0,2-0,3 m/s. Abbildung 23 zeigt die Differenz der Fließgeschwindigkeiten [cm/s] für das gesamte Modellgebiet.

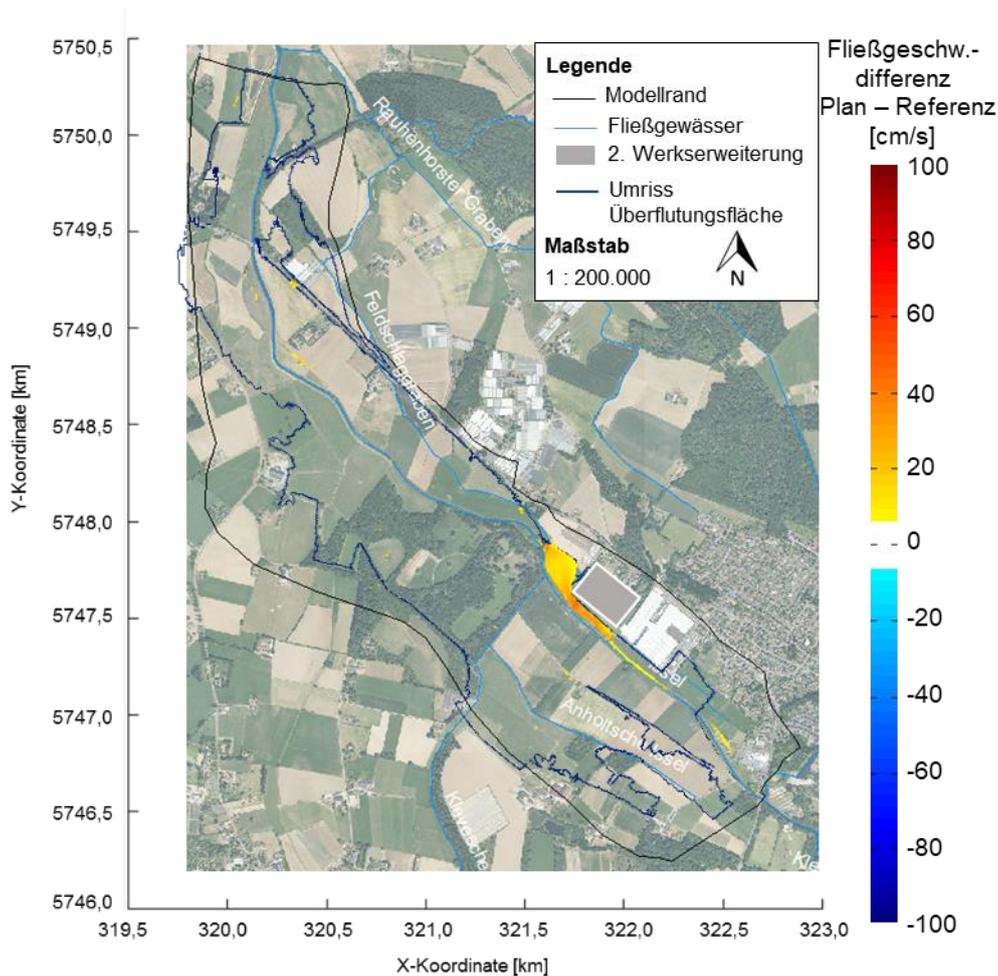


Abbildung 23: Fließgeschwindigkeitsdifferenz der Planvariante und des Referenzzustandes für ein  $HQ_{100}$ -Ereignis

Eine Betrachtung der Abflussganglinie am unteren Modellrand zeigt, dass sich durch die Planvariante keine Veränderungen des Spitzenabflusses ergeben. In beiden Fällen wird am Ende des Modellgebiets ein Spitzenabfluss von ca.  $28 \text{ m}^3/\text{s}$  abgeführt, sodass auf Grundlage dieser Untersuchung für Unterlieger keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind. In Abbildung 24 sind die Abflussganglinien am unteren Modellrand für den Referenzzustand und die Planvariante dargestellt.

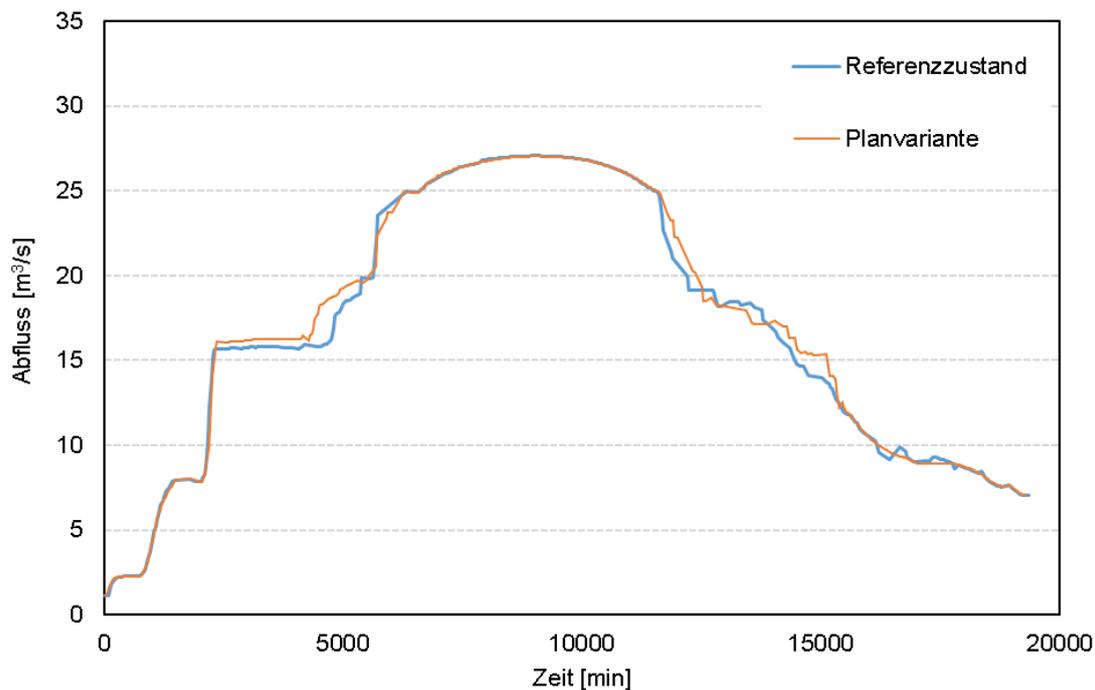


Abbildung 24: Vergleich der Abflussganglinien am unteren Modellrand für den Referenzzustand und die Planvariante

Folglich kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Erhöhungen der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten durch den Bau der 2. Werkserweiterung inklusive Verlegung der Verwaltung und Verlegung des Feldschlaggrabens nur sehr lokal auf die unmittelbare Umgebung des Bestandsgebäudes der Firma TROX und die 2. Werkserweiterung begrenzt sind. Weiträumige Auswirkungen nach oberstrom bzw. unterstrom sind nicht zu erwarten. Aus den numerischen Berechnungsergebnissen lassen sich auch für die Ausbreitung der Überflutung in Richtung Niederlande keine negativen Auswirkungen durch die Maßnahme erkennen (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 23). Die im Rahmen der Planvariante angedachten Maßnahmen zeigen auf Basis des hier angesetzten Referenzzustandes im numerischen Modell Wirksamkeit.

### 3.6.3 Vergleich Wasserstände Delft3D und HYDRO\_AS-2D

Aufgrund der fehlenden Datengrundlage zur Kalibrierung des Modells wurden zur Absicherung der Ergebnisse Vergleichsrechnungen mit einer anderen Modellsoftware (HYDRO\_AS-2D) durchgeführt. Abbildung 25 zeigt die Wasserstände in HYDRO\_AS-2D bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis im Referenzzustand im Bereich der TROX-eigenen Fläche.

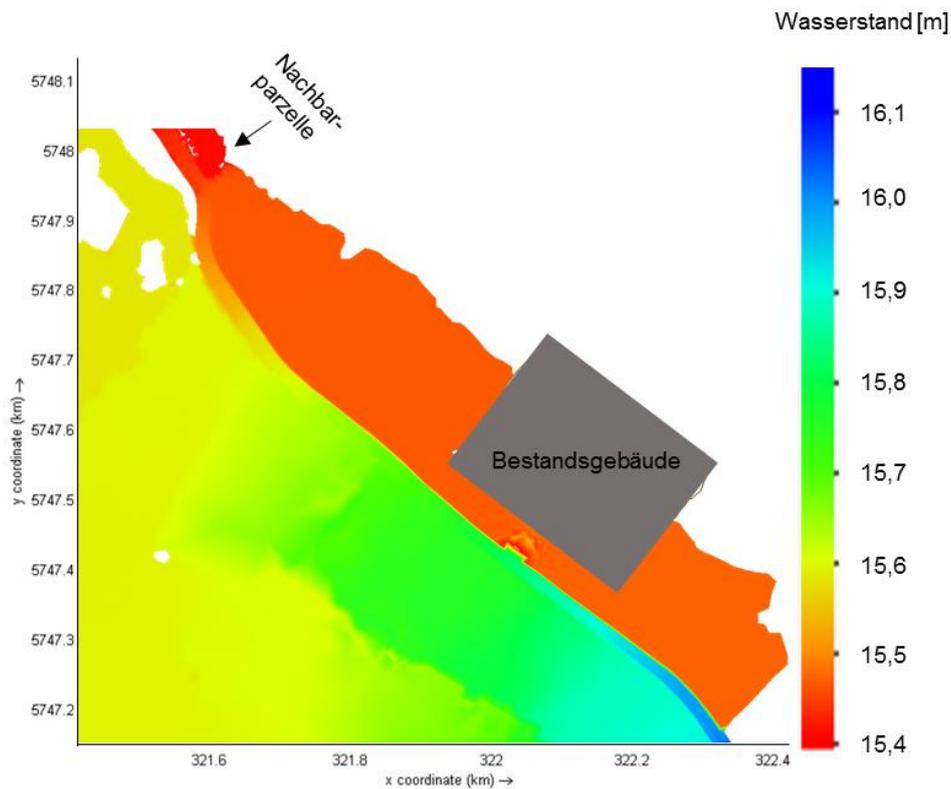


Abbildung 25: Wasserstände in HYDRO\_AS-2D im Referenzzustand im Bereich der TROX-eigenen Fläche

Abbildung 26 zeigt die Wasserstände in HYDRO\_AS-2D in der Planvariante bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis im Bereich der TROX-eigenen Fläche.

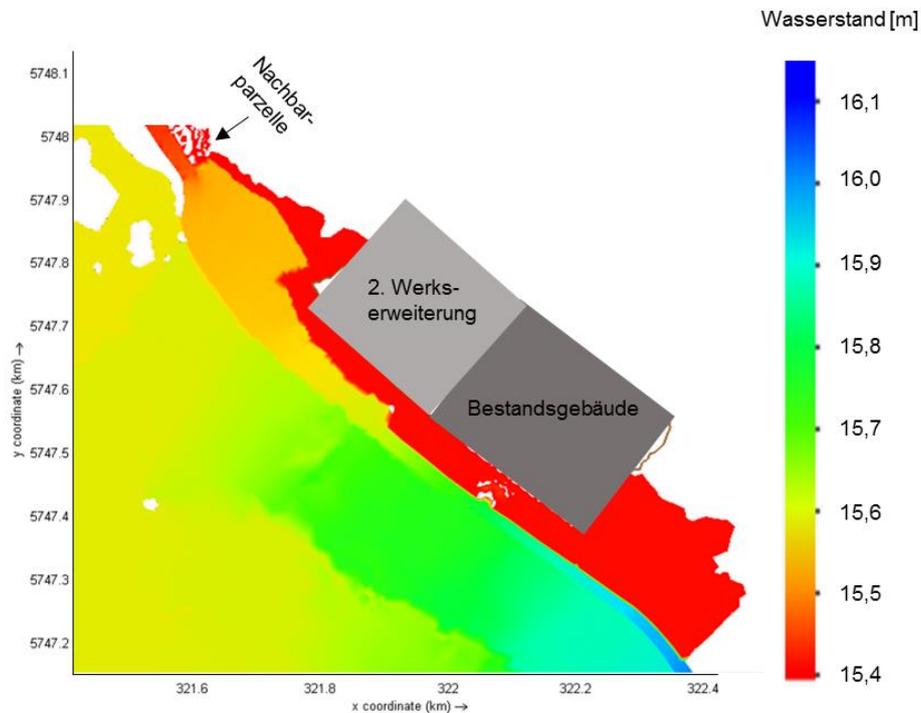


Abbildung 26: Wasserstände in HYDRO\_AS-2D in der Planvariante im Bereich der TROX-eigenen Fläche

In 9 sind die Differenzen der Wasserstände zwischen Delft3D und HYDRO\_AS-2D sowie im Referenzzustand und in der Planvariante der Simulationen im Bereich der Firma TROX dargestellt. Die Referenzpunkte entsprechen den in Abbildung 27 gekennzeichneten Punkten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich trotz unterschiedlicher Modellsoftware und unterschiedlicher Genauigkeit des Modellnetzes keine signifikanten Veränderungen der Wasserstände ( $< 1\%$ ) ergeben.

Tabelle 9: Wasserstände im Ist-Zustand und in der Planvariante der Delft3D und HYDRO\_AS-2D Simulationen im Bereich der Firma TROX

Referenzpunkt	Differenz [cm] (Planvariante – Referenzzustand)		Differenz [cm] (Delft3D – HYDRO_AS-2D)	
	Delft3D	HYDRO_AS-2D	Referenzzustand	Planvariante
1 (Issel)	0	0	-10	-10
2 (Issel)	0	-3	-3	0
3 (Issel)	0	0	-1	-1
4 (Issel)	-4	-1	-1	-4
5 (Issel)	+3	+1	+4	+6
6 (Vorland)	+14	+12	0	+2

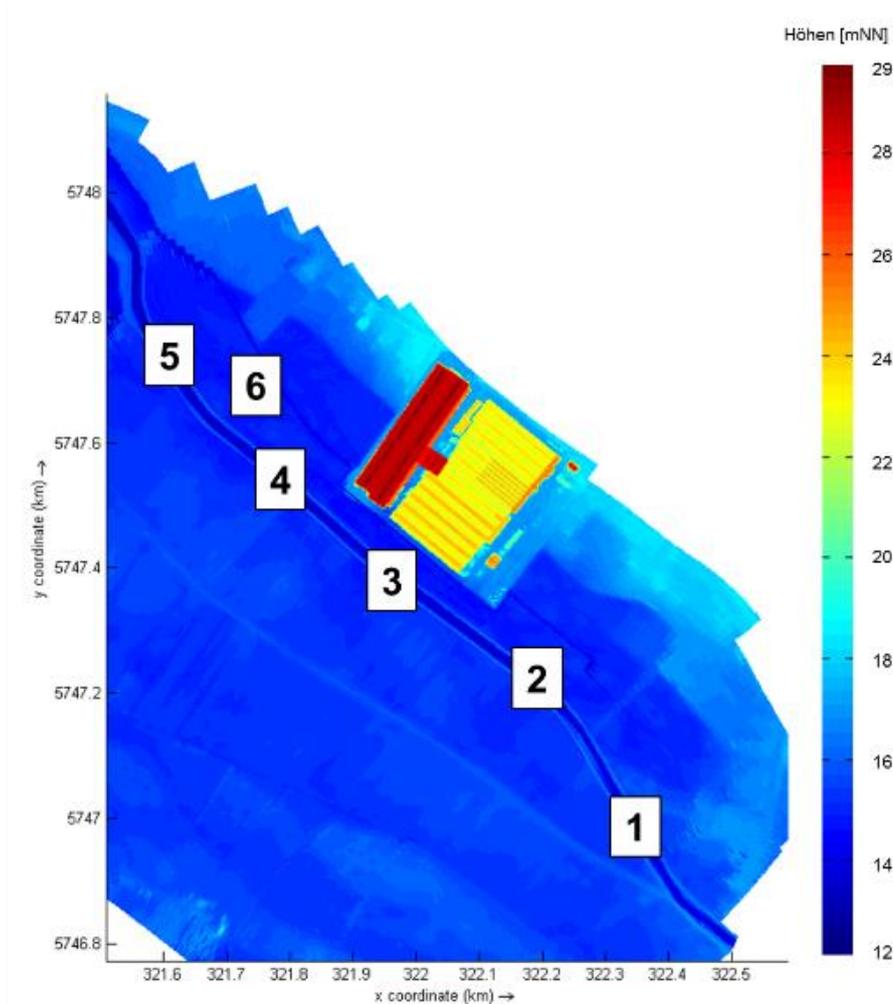


Abbildung 27: Referenzpunkte im Bereich der Firma TROX zum Vergleich der Wasserstände der Delft3D und HYDRO\_AS-2D Simulationen

### 3.6.4 Vergleich der Niederschlagswassereinleitungen

Um die Auswirkungen der Einleitungen des Niederschlagswassers der befestigten Flächen der Firma TROX zu untersuchen, wurden die Modellergebnisse der beiden Szenarien (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8) sowie die Modellergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Niederschlagswassereinleitungen miteinander verglichen.

Für den Vergleich der Modellergebnisse der beiden Szenarien (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8) wurden einerseits die Modellergebnisse des Referenzzustandes der beiden Szenarien und andererseits die Modellergebnisse der Planvariante der beiden Szenarien miteinander verglichen. Es wurden jeweils die Differenzen der maximalen Wasserstände gebildet. In Abbildung 28 ist beispielhaft die Differenzbildung für die Planvariante dargestellt. Es ergeben sich keine Veränderungen der Wasserstände. Die Abbildung für den Referenzzustand gilt analog.

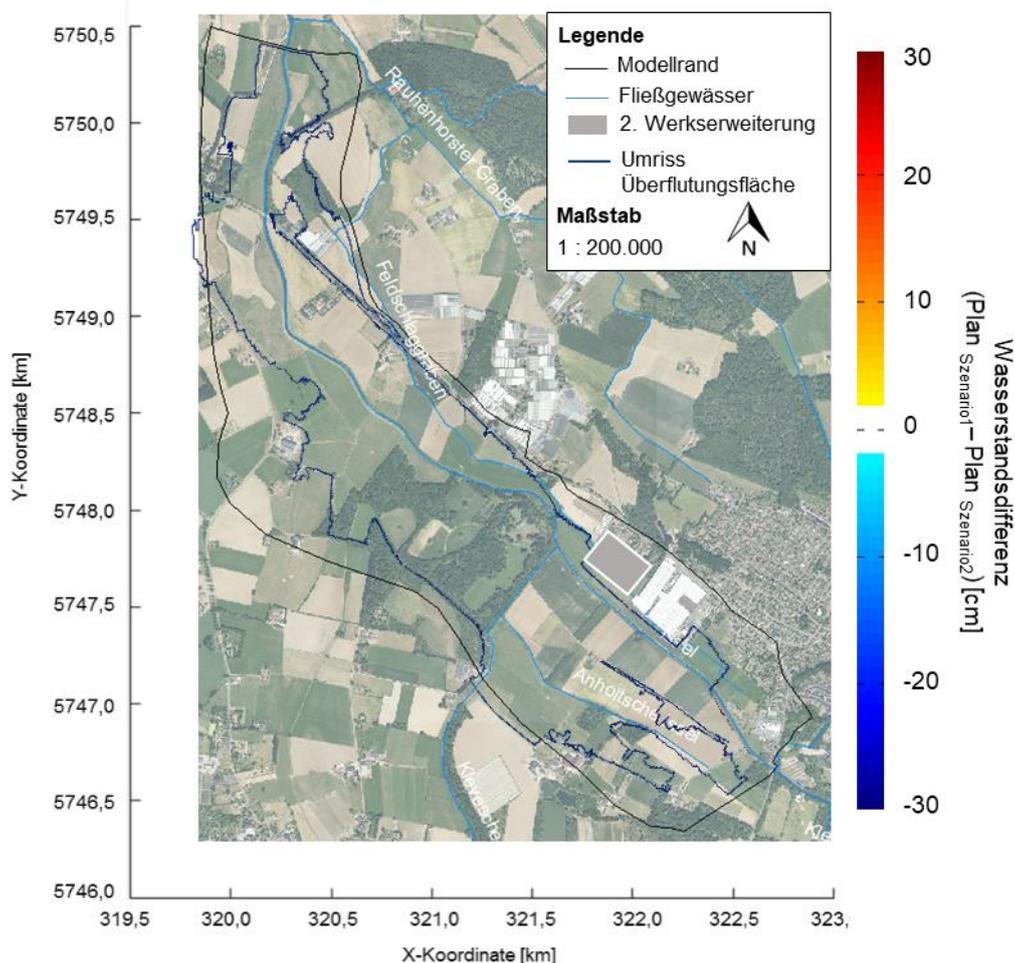


Abbildung 28: Wasserstands-differenz der Planvarianten der beiden Niederschlagswassereinleitungsszenarien

Ein Vergleich der Modellergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Niederschlagswassereinleitungen zeigt keinerlei Veränderungen in den Wasserständen. Für den Vergleich wurde zunächst die Differenz der Wasserstände der Planvariante und des Referenzzustands ohne Niederschlagswassereinleitungen gebildet. Anschließend wurde die Differenz der Wasserstände der Planvariante und des Referenzzustands mit Niederschlagswassereinleitungen gebildet. Die erneute Differenzbildung dieser

beiden Ergebnisse weist trotz der unterschiedlichen Einleitungsstellen in den Feldschlaggraben (Referenzzustand) und als Notüberlauf in die Issel (Planvariante) keinerlei Unterschiede auf (vgl. Abbildung 29).

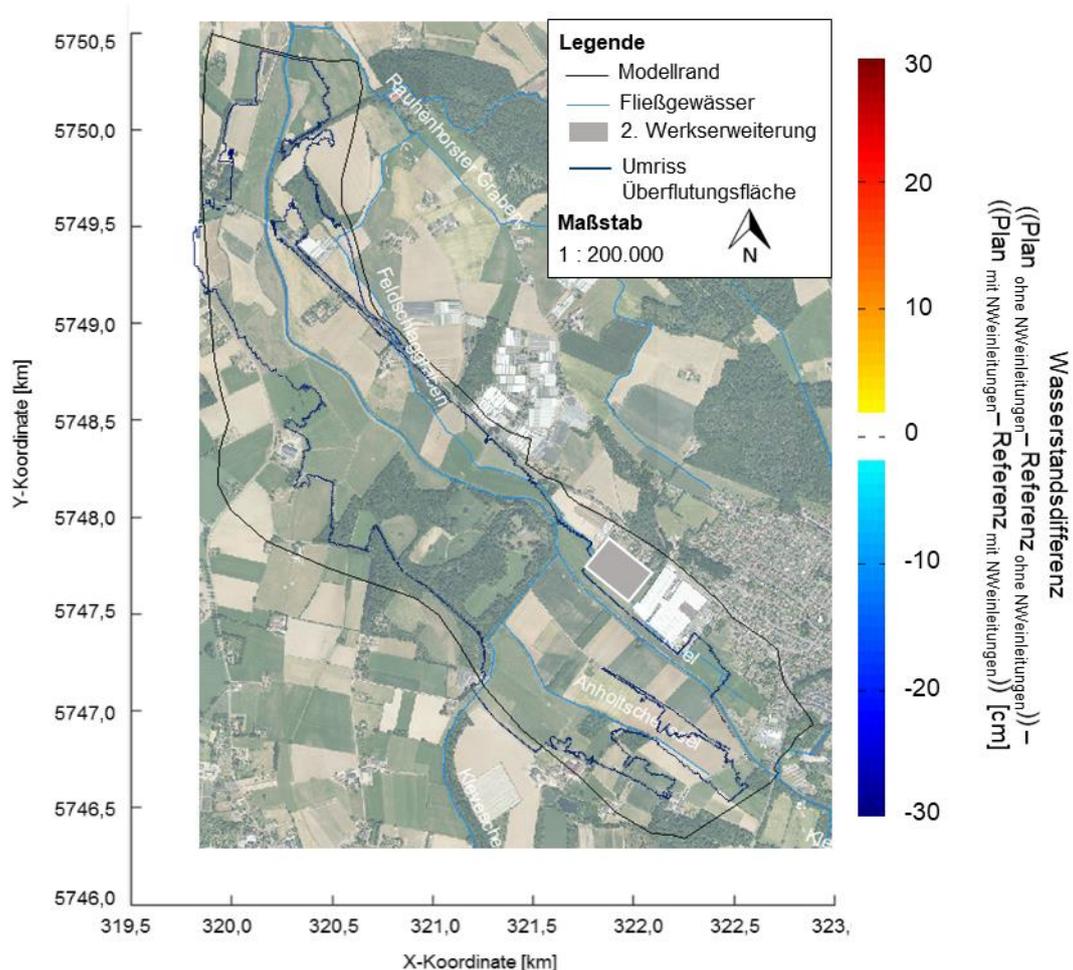


Abbildung 29: Wasserstands-differenz der Planvariante und des Referenzzustands ohne Niederschlagswassereinleitungen mit der Planvariante und des Referenzzustands mit Niederschlagswassereinleitungen

Folglich haben die Einleitungsstelle und auch die zusätzlich anfallende Niederschlagswassereinleitungsmenge durch die 2. Werkserweiterung keinerlei Auswirkungen auf die Höhe der Wasserstände und die Ausbreitung der Überflutung. Durch die 2. Werkserweiterung entsteht bei einem Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren und einer Dauer von 5 min eine zusätzliche maximale Niederschlagswassereinleitung von  $1,742 \text{ m}^3/\text{s}$  (vgl. Tabelle 8, Szenario 1, 2. Werkserweiterung). Bei einem Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren und einer Dauer von 1440 Minuten ergibt sich eine zusätzliche maximale Niederschlagswassereinleitung von  $0,023 \text{ m}^3/\text{s}$  (vgl. Tabelle 8, Szenario 2, 2. Werkserweiterung). Diese zusätzlichen Niederschlagswassereinleitungsmengen aufgrund der befestigten Flächen der 2. Werkserweiterung von insgesamt  $3,40 \text{ ha}$  (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 8) sind im Vergleich zum Spitzenabfluss des  $\text{HQ}_{100}$ -Ereignisses von  $30,95 \text{ m}^3/\text{s}$  (vgl. Abbildung 7) nicht signifikant.

### 3.6.5 Hydraulische Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ<sub>1</sub>- und einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis

Durch den Bau der 2. Werks-erweiterung findet ein Eingriff in Natur und Landschaft i.S.d. § 14 Abs. 1 BNatSchG statt. Eine teilweise Kompensation könnte durch die hydraulische Wirksamkeit der Maßnahme bei einem HQ<sub>1</sub>-Ereignis und einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis erreicht werden.

Die numerischen Simulationsergebnisse für die HQ<sub>1</sub>-Ganglinie und die HQ<sub>2</sub>-Ganglinie (vgl. Abbildung 7) zeigen, dass das rechte Vorland der TROX-eigenen Flächen in der Planvariante bereits bei einem Abfluss von 8,33 m<sup>3</sup>/s überflutet wird (vgl. Abbildung 30). Die Überflutung findet im Bereich der Rückverlegung statt. Im Referenzzustand ist das Vorland bei einem Abfluss von 8,33 m<sup>3</sup>/s nicht überflutet (vgl. Abbildung 31).

Bei steigenden Abflüssen eines HQ<sub>1</sub>-Ereignisses und eines HQ<sub>2</sub>-Ereignisses ist der Bereich der Rückverlegung in der Planvariante bei einem Abfluss von ca. 14,90 m<sup>3</sup>/s vollständig überflutet (vgl. Abbildung 32). Die Wassertiefen liegen zwischen 0,5 m und 0,9 m. Im Referenzzustand ist das rechte Vorland auch bei einem Abfluss von 14,90 m<sup>3</sup>/s nicht überflutet (vgl. Abbildung 33).

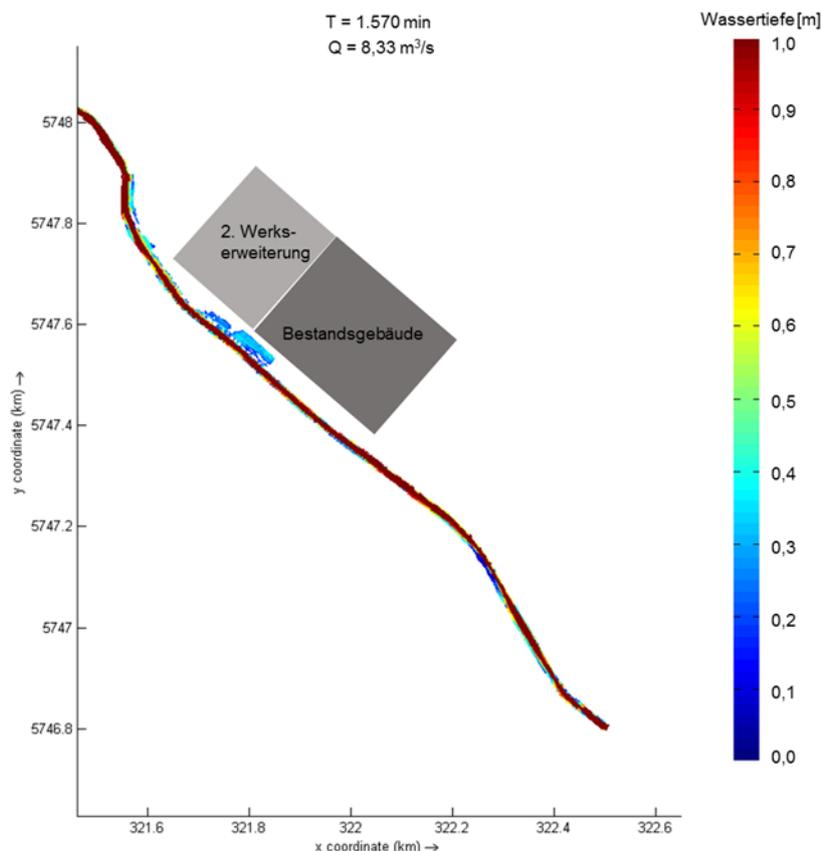


Abbildung 30: Wassertiefen in der Planvariante bei einem Abfluss von 8,33 m<sup>3</sup>/s

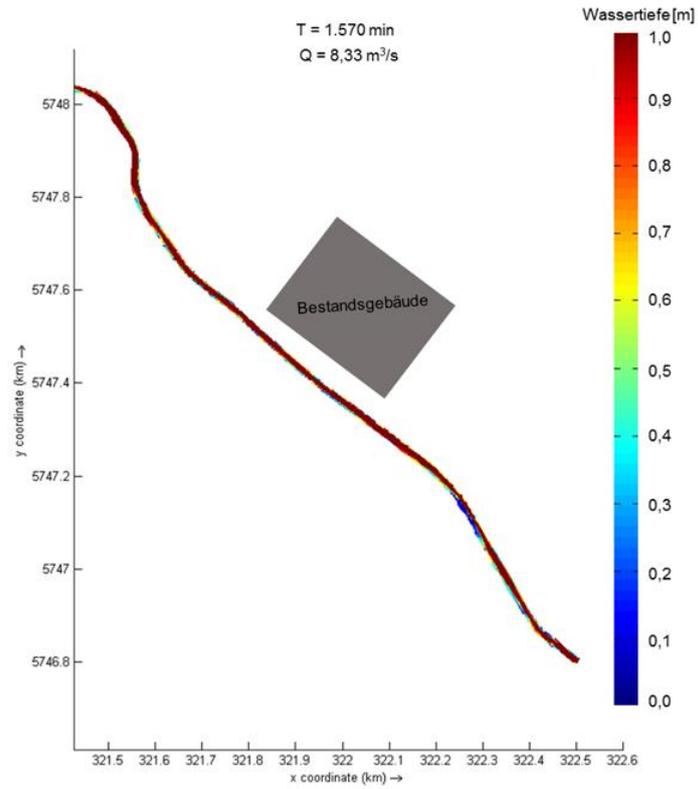


Abbildung 31: Wassertiefen im Referenzzustand bei einem Abfluss von 8,33 m<sup>3</sup>/s

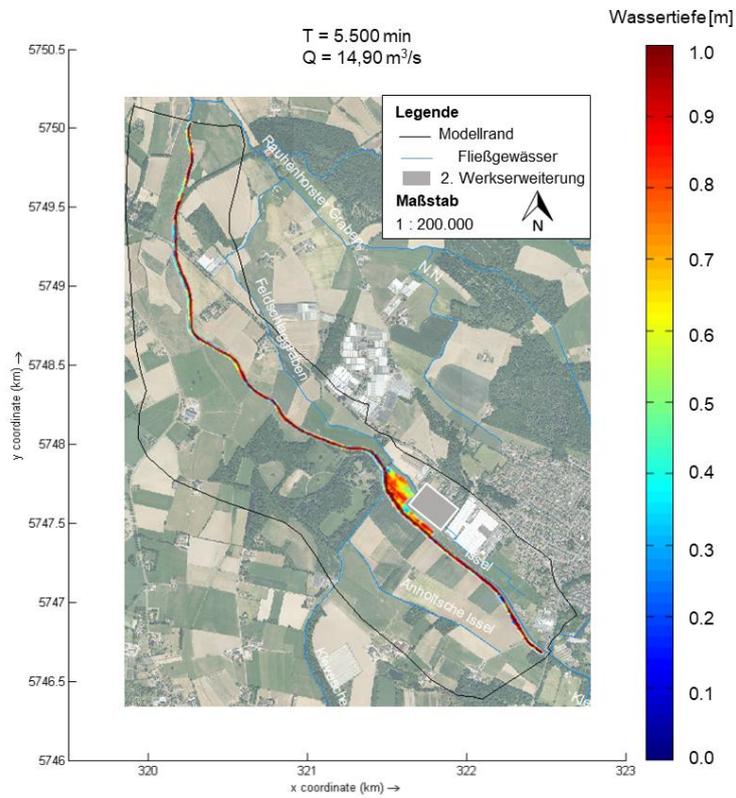


Abbildung 32: Wassertiefen in der Planvariante bei einem Abfluss von 14,90 m<sup>3</sup>/s

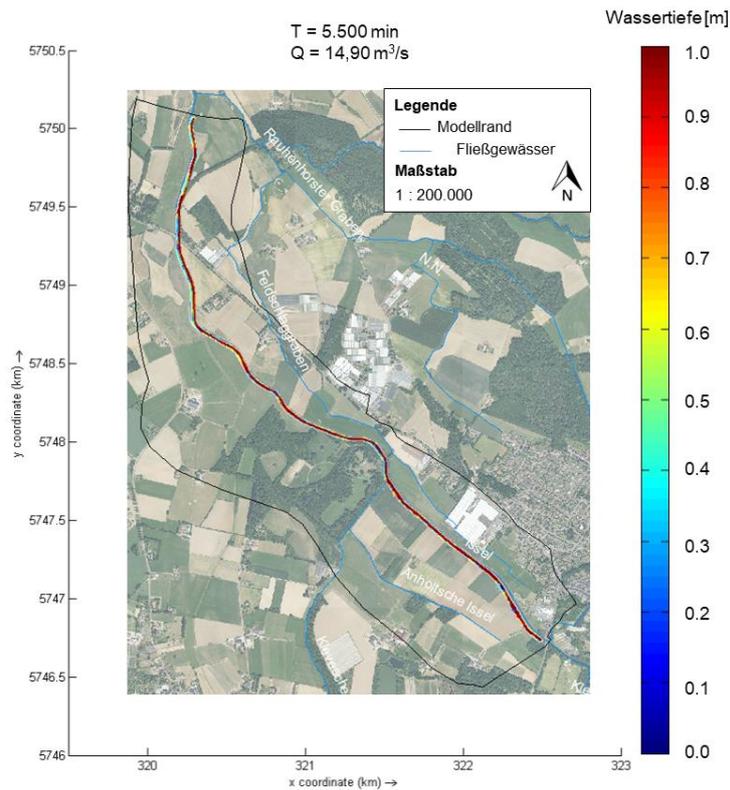


Abbildung 33: Wassertiefen im Referenzzustand bei einem Abfluss von 14,90 m<sup>3</sup>/s

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Wassertiefen für den Referenzzustand und die Planvariante bei einem Abfluss von 14,90 m<sup>3</sup>/s. Dieser Abfluss entspricht dem maximalen Abfluss eines HQ<sub>1</sub>-Ereignisses (vgl. Abbildung 7). Folglich kommt es im Modellgebiet im Referenzzustand (vgl. Abbildung 33) bei einem HQ<sub>1</sub>-Ereignis nicht zu Vorlandüberflutung. In der Planvariante ist hingegen der Bereich der Rückverlegung bei einem HQ<sub>1</sub>-Ereignis überflutet (vgl. Abbildung 32).

Ein Vergleich der maximalen Wassertiefen auf den TROX-eigenen Flächen für ein HQ<sub>2</sub>-Ereignis zeigt, dass sich das Maximum im Referenzzustand und in der Planvariante zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten einstellt. Die Überflutung des rechten Vorlandes findet im Referenzzustand (vgl. Abbildung 34) lediglich durch die Rückströmung im Feldschlaggraben statt. Es kommt im Referenzzustand bei einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis nicht zu einer direkten Überflutung des rechten Vorlandes durch die Ausuferung der Isel. Die maximalen Wassertiefen zwischen 0,3 m und 0,4 m (vgl. Abbildung 34).

In der Planvariante kommt es hingegen zu einer direkten Ausuferung der Isel auf das rechte Vorland. Dies führt bei einem HQ<sub>2</sub>-Ereignis zu maximalen Wassertiefen zwischen 0,8 m und mehr als 1,0 m im Bereich der Rückverlegung (vgl. Abbildung 35).

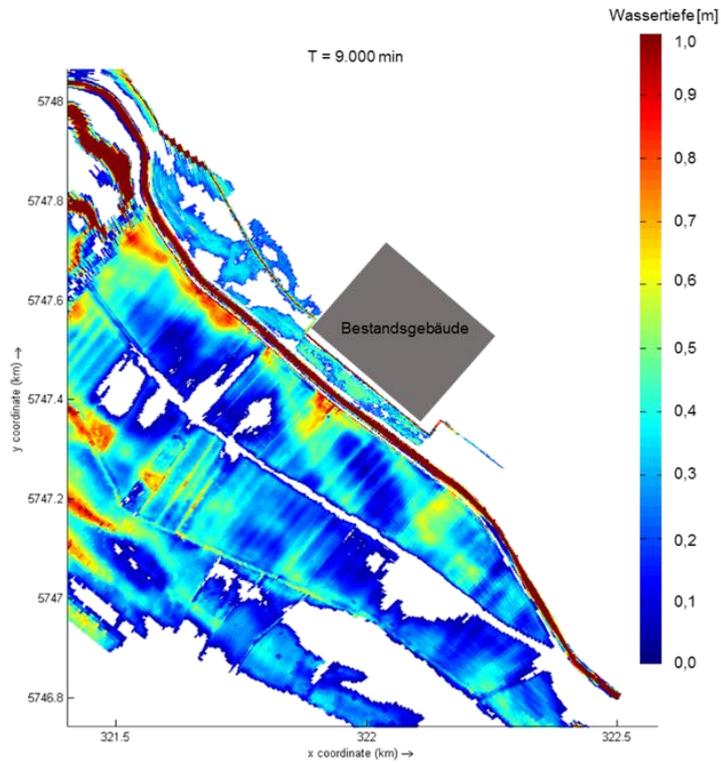


Abbildung 34: Maximale Wassertiefen auf dem rechten Vorland im Referenzzustand

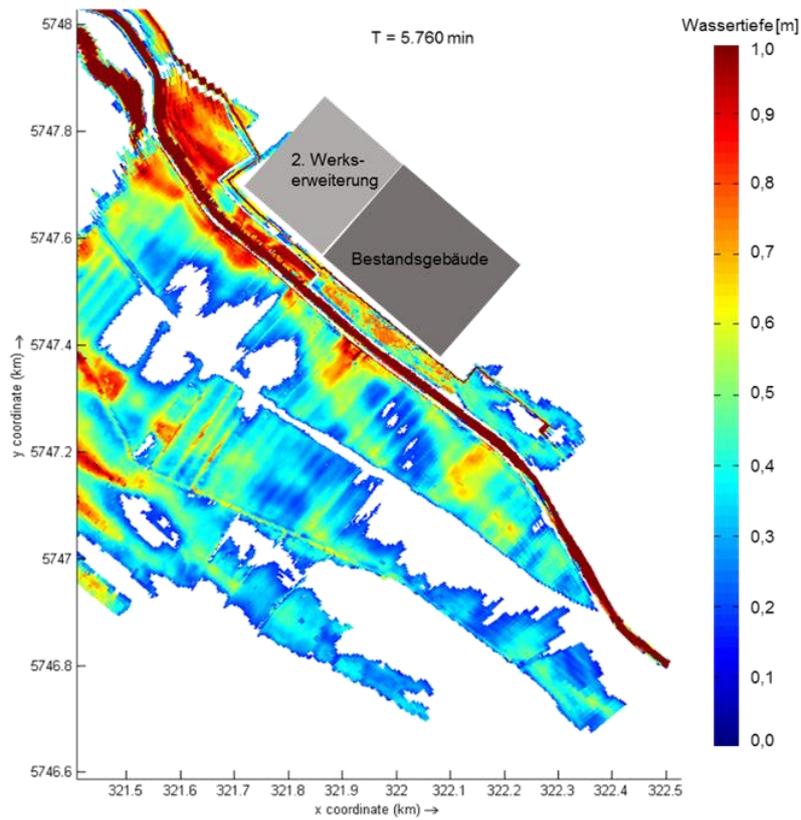


Abbildung 35: Maximale Wassertiefen auf dem rechten Vorland in der Planvariante

### 3.6.6 Hochwasserverträglichkeit

Im Folgenden werden die drei Forderungen des § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 5 WHG nach einem umfangs-, funktions- und zeitgleichen Ausgleich von verlorengangenen Retentionsraum auf Grundlage der verfügbaren Daten und Informationen der hydro-numerischen Modellierung beurteilt.

- *Umfangsgleicher Ausgleich*

Die Ergebnisse der Retentionsraumberechnung basieren auf den Berechnungen von GEWECKE UND PARTNER (2018e). In diesem Zusammenhang wurde durch den Bau der 2. Werkserweiterung ein Retentionsraumverlust von ca. 15.900,00 m<sup>3</sup> ermittelt. Durch die Verlegung der Verwallung und des Feldschlaggrabens sowie weitere planerische Maßnahmen wird jedoch Retentionsraum von ca. 16.500,00 m<sup>3</sup> gewonnen. Folglich ergibt sich netto ein Retentionsraumgewinn von ca. 600,00 m<sup>3</sup>.

- *Zeitgleicher Ausgleich*

Es ist gesetzlich geregelt, dass die Kompensation zeitlich mit dem Eingriff realisiert werden muss. Dies wird im wasserwirtschaftlichen Genehmigungsverfahren für die 2. Werkserweiterung festgelegt. Die Planung von GEWECKE UND PARTNER sieht sogar vor, dass die Verlegung der Verwallung und des Feldschlaggrabens bereits vor der Geländeauffüllung durchgeführt wird.

- *Funktionsgleicher Ausgleich*

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen zeigen, dass es durch die Maßnahme zu keiner Verschlechterung bezüglich der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten im gesamten Modellgebiet kommt. Veränderungen durch den Eingriff in den Retentionsraum beziehen sich lediglich auf den Nahbereich der Firma TROX (vgl. Abbildung 19, Abbildung 20 und Abbildung 23). Für den Feldschlaggraben und in Richtung Niederlande ergeben sich keine signifikanten Veränderungen der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten oberhalb der Nachweisgrenze (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 22). Ein Vergleich der Abflussganglinien am Modellausgang zeigt (vgl. Abbildung 24), dass das Hochwasser im Modellgebiet sowohl im Referenzzustand als auch in der Planvariante in derselben Weise zurückgehalten wird. Es kommt zu keiner signifikanten Veränderung der Abflussganglinie. Folglich kann ein funktionsgleicher Ausgleich für das HQ<sub>100</sub>-Ereignis ortsnah und im Bereich der Ober- und Unterlieger gewährleistet werden.

## 4 Fazit

Die geplante 2. Werkserweiterung inklusive Verlegung der Verwallung und Verlegung des Feldschlaggrabens ist von allen bislang diskutierten Varianten aufgrund des Zusammenwirkens aller Beteiligten eine Variante, bei der die drei Forderungen des § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 5 WHG nach einem umfangs-, funktions- und zeitgleichen Ausgleich erfüllt werden können. Auch den Forderungen des § 78 Abs. 2, Satz 1, Nummer 4 und 7 WHG nach einer nicht nachteiligen Beeinflussung des Hochwasserabflusses und der Höhe der Wasserstände sowie nach nicht nachteiligen Auswirkungen für Ober- und Unterlieger wird durch diese Maßnahme berücksichtigt. Daher wird diese Variante aus hydraulischer Sicht für das Genehmigungsverfahren empfohlen.

Aachen, den 24.09.2018



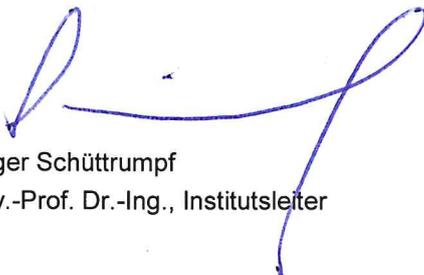
Anna-Lisa Maaß

M.Sc. RWTH, Wissenschaftliche Mitarbeiterin



Tobias Schruff

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter



Holger Schüttrumpf

Univ.-Prof. Dr.-Ing., Institutsleiter

## 5 Literaturverzeichnis

- BezReg (2017): HYDRO\_AS-2D Modell inklusiver aller Eingangsdaten (Rauheiten, Abflussganglinien, Vermessungsdaten, Bezirksregierung Münster, persönliche Mitteilung vom 20.12.2017.
- BMU WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG); [http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/whg\\_2009/gesamt.pdf](http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf) (letzter Zugriff am: 09.01.2018).
- Chow, V. T. (1959): Open-Channel Hydraulics. New York, NY [u.a.]: McGraw-Hill - ISBN 0-07-010776-9.
- Delft3D-Flow (2016): Delft3D-Flow, Simulation of multidimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediment, User Manual, Hydro-Morphodynamics, Version: 3.15, Revision: 44152, Deltares, The Netherlands.
- Elwas Web (2017): Stammdaten des Pegel Isselburg, <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/data-objekt?art=Pegel&fachids=9281700000200> (letzter Zugriff am: 09.01.2018)
- Forkel, C. (2004): Numerische Modelle für die Wasserbaupraxis: Grundlagen, Anwendungen, Qualitätsaspakete, Mitteilungen, Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University, Shaker Verlag.
- Gewecke und Partner (2018a): Werkserweiterung II Trox, Querprofile – Konzept B.3., Querprofile. Plan von Gewecke und Partner, Beratende Ingenieure GmbH im pdf-Format.
- Gewecke und Partner (2018b): Werkserweiterung II Trox, Querprofile – Konzept B.3., Querprofile. Plan von Gewecke und Partner, Beratende Ingenieure GmbH im pdf-Format.
- Gewecke und Partner (2018c): Werkserweiterung II Trox, Querprofile – Konzept B.3., Querprofile. Plan von Gewecke und Partner, Beratende Ingenieure GmbH im pdf-Format.
- Gewecke und Partner (2018d): Werkserweiterung II Trox, Querprofile – Konzept B.3., Querprofile. Plan von Gewecke und Partner, Beratende Ingenieure GmbH im pdf-Format.
- Gewecke und Partner (2018e): Werk Anholt; Erweiterung Phase 2, Retentionsraumbilanz zum Konzept B.3 – 2. Werkserweiterung.
- Gewecke und Partner (2018f): Werkserweiterung II Trox, Lageplan – Konzept B.3., 457/001-137-18-0. Plan von Gewecke und Partner, Beratende Ingenieure GmbH im pdf-Format.
- Hydrotec; Nujic, M. (2015): HYDRO\_AS-2D: 2D Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Version 4.0.0, Benutzerhandbuch, Aachen.
- KOSTRA-DWD (2010): KOSTRA-Atlas der Stadt Isselburg, KOSTRA-DWD-2010R 3.2.2, Stand von 2017.
- Land NRW (2018a): Digitales Geländemodell (DGM1), dgm1l\_05554032\_Isselburg\_EPSG4647\_XYZ, Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0))
- Land NRW (2018b): Digitales Oberflächenmodell (DOM1), dom1l\_05554032\_Isselburg\_EPSG4647\_XYZ, Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0))
- LANUV (2007): Auszug aus dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Pegel Isselburg, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.
- LANUV (2008): Numerische Bewertung von Biotoptypen für die Bauleitplanung in NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, März 2008,
- Lippert, K. (2005): Analyse von Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und ihre mathematische Formulierung für hydrodynamische Modelle, Dissertation, Hamburger Wasserbau-Schriften, (Hrsg.) Pasche, E., Wasserbau, River and Coastal Engineering, Technische Universität

---

Hamburg-Harburg.

ProAqua (2017): Erstellung des interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes Issel für den Kreis Wesel, Bericht.

Rote Liste NRW (2010): Rote Liste und Artenverzeichnis der Fische und Rundmäuler – Pisces et Cyclostoma – in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassung, Stand: Mai 2010, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen.

SZDK/ Rossi WHG §78 Rn. 49-56: Wasserhaushaltsgesetz, Abwasserabgabengesetz: WHG, Loseblatt-Kommentar, Der umfassende Standardkommentar zum WHG, 51. Auflage, C.H. Beck, ISBN 978-3-406-38892-7.

StuUA Herten (2001): Kennzahlen der Issel. <http://daten.flussgebiete.nrw.de/gewaesser/steckbr/issel.htm> (letzter Zugriff am: 09.01.2018).

## 6 Anhang

Tabelle 10: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>/s] durch die Gesamtflächen des Bestandsgebäudes im Referenzzustand

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	0,605	0,3898	0,2496	0,1516	0,0231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,956	0,6027	0,4093	0,2814	0,1205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1,16	0,728	0,5027	0,3574	0,177	0,0283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,418	0,885	0,6202	0,4534	0,249	0,0815	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,769	1,0979	0,7799	0,5832	0,3457	0,1542	0,0439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2,119	1,3114	0,9395	0,713	0,443	0,2269	0,1036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	2,324	1,436	1,0323	0,789	0,5002	0,2698	0,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	2,582	1,5931	1,1505	0,8844	0,5715	0,323	0,1815	0,0257	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	2,933	1,8066	1,3095	1,0142	0,6689	0,3957	0,2406	0,0692	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 11: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>/s] durch die Gesamtflächen des Bestandsgebäudes in der Panvariante

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	0,999	0,7833	0,6431	0,5451	0,4166	0,3063	0,2414	0,1746	0,1382	0,0986	0,077	0,0532	0,0363	0,027	0,016	0,01	0,001	0
2	1,349	0,9962	0,8028	0,6749	0,514	0,379	0,3005	0,218	0,1733	0,1239	0,097	0,0681	0,0467	0,035	0,023	0,016	0,004	0
3	1,554	1,1215	0,8962	0,7509	0,5705	0,4218	0,3349	0,2434	0,1934	0,1389	0,109	0,0772	0,0532	0,04	0,027	0,019	0,006	6E-04
5	1,812	1,2785	1,0137	0,8469	0,6425	0,475	0,3783	0,2752	0,2187	0,1577	0,125	0,0882	0,0616	0,047	0,031	0,023	0,008	0,003
10	2,162	1,4914	1,1734	0,9767	0,7392	0,5477	0,4374	0,3186	0,2537	0,183	0,145	0,1032	0,0727	0,056	0,038	0,028	0,011	0,005
20	2,513	1,7049	1,333	1,1065	0,8365	0,6204	0,4971	0,3621	0,2881	0,2083	0,165	0,1181	0,0831	0,064	0,044	0,033	0,014	0,006
30	2,717	1,8295	1,4258	1,1825	0,8937	0,6633	0,5315	0,3874	0,3089	0,2232	0,177	0,1265	0,0895	0,069	0,048	0,036	0,015	0,008
50	2,976	1,9866	1,544	1,2779	0,965	0,7165	0,575	0,4192	0,3342	0,2421	0,192	0,1376	0,098	0,076	0,053	0,04	0,018	0,009
100	3,326	2,2001	1,703	1,4077	1,0624	0,7892	0,6341	0,4627	0,3693	0,268	0,213	0,1525	0,109	0,085	0,059	0,045	0,02	0,011

Tabelle 12: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>/s] durch die Gesamtflächen der 1. Werkserweiterung

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	0,308	0,2411	0,1977	0,1674	0,1276	0,0934	0,0733	0,0526	0,0413	0,0291	0,022	0,015	0,0098	0,007	0,004	0,002	0	0
2	0,416	0,3071	0,2472	0,2076	0,1577	0,1159	0,0916	0,0661	0,0522	0,0369	0,029	0,0196	0,013	0,009	0,006	0,003	0	0
3	0,48	0,3458	0,2761	0,2311	0,1752	0,1292	0,1022	0,0739	0,0584	0,0415	0,032	0,0224	0,015	0,011	0,007	0,004	3E-04	0
5	0,56	0,3945	0,3125	0,2608	0,1975	0,1457	0,1157	0,0837	0,0663	0,0474	0,037	0,0259	0,0176	0,013	0,008	0,006	9E-04	0
10	0,668	0,4604	0,3619	0,301	0,2275	0,1682	0,134	0,0972	0,0771	0,0552	0,043	0,0305	0,021	0,016	0,01	0,007	0,002	0
20	0,777	0,5265	0,4114	0,3412	0,2576	0,1907	0,1525	0,1107	0,0878	0,063	0,05	0,0351	0,0242	0,018	0,012	0,009	0,003	5E-04
30	0,84	0,5651	0,4401	0,3647	0,2753	0,2039	0,1631	0,1185	0,0942	0,0677	0,053	0,0377	0,0263	0,02	0,013	0,01	0,003	9E-04
50	0,92	0,6138	0,4767	0,3943	0,2974	0,2204	0,1766	0,1284	0,102	0,0735	0,058	0,0411	0,0289	0,022	0,015	0,011	0,004	0,001
100	1,029	0,6799	0,5259	0,4345	0,3276	0,2429	0,1949	0,1418	0,1129	0,0815	0,064	0,0458	0,0323	0,025	0,017	0,012	0,005	0,002

Tabelle 13: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>/s] durch die Gesamtflächen der 2. Werkserweiterung

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> /s]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	0,523	0,4102	0,3367	0,2854	0,2181	0,1603	0,1263	0,0913	0,0722	0,0515	0,04	0,0277	0,0188	0,014	0,008	0,005	5E-04	0
2	0,707	0,5217	0,4204	0,3534	0,2691	0,1984	0,1572	0,114	0,0906	0,0647	0,051	0,0355	0,0243	0,018	0,012	0,008	0,002	0
3	0,814	0,5873	0,4693	0,3932	0,2987	0,2208	0,1752	0,1273	0,1011	0,0726	0,057	0,0403	0,0277	0,021	0,014	0,01	0,003	1E-04
5	0,949	0,6696	0,5309	0,4435	0,3364	0,2487	0,198	0,144	0,1144	0,0824	0,065	0,046	0,0321	0,024	0,016	0,012	0,004	0,001
10	1,133	0,7811	0,6145	0,5115	0,3871	0,2868	0,229	0,1667	0,1327	0,0957	0,076	0,0539	0,0379	0,029	0,02	0,014	0,006	0,002
20	1,316	0,893	0,6982	0,5795	0,4381	0,3248	0,2602	0,1895	0,1508	0,1089	0,087	0,0617	0,0433	0,033	0,023	0,017	0,007	0,003
30	1,423	0,9583	0,7468	0,6193	0,468	0,3473	0,2783	0,2028	0,1616	0,1168	0,093	0,0661	0,0467	0,036	0,025	0,019	0,008	0,004
50	1,559	1,0405	0,8087	0,6693	0,5054	0,3752	0,301	0,2194	0,1749	0,1266	0,1	0,0719	0,0511	0,04	0,027	0,021	0,009	0,005
100	1,742	1,1524	0,892	0,7373	0,5564	0,4132	0,332	0,2422	0,1933	0,1402	0,111	0,0797	0,0569	0,044	0,031	0,023	0,01	0,006

Tabelle 14: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>] durch die Gesamtflächen des Bestandsgebäudes im Referenzzustand

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> ]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	181,6	233,89	224,68	181,97	41,648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	286,7	361,62	368,36	337,73	216,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	348,1	436,77	452,47	428,85	318,51	76,491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	425,5	531,01	558,2	544,11	448,18	220,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	530,7	658,73	701,88	699,87	622,24	416,44	158,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	635,8	786,84	845,57	855,63	797,47	612,69	373,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	697,2	861,61	929,1	946,75	900,28	728,35	496,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	774,6	955,84	1035,4	1061,2	1028,8	872,04	653,38	138,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	879,8	1084	1178,5	1217	1204	1068,3	865,99	373,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 15: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>] durch die Gesamtflächen des Bestandsgebäudes in der Planvariante

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> ]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	299,6	469,99	578,83	654,17	749,95	827,03	869,07	942,63	995,16	1065,2	1112	1149,1	1176,9	1149	1050	895,4	220,8	0
2	404,8	597,72	722,51	809,93	925,18	1023,3	1081,7	1177,4	1247,5	1338,5	1402	1471,5	1513,3	1513	1471	1344	669,4	0
3	466,1	672,87	806,62	901,05	1026,8	1138,9	1205,5	1314,1	1392,4	1499,8	1570	1667,8	1723,6	1737	1723	1624	1006	163
5	543,6	767,11	912,35	1016,3	1156,5	1282,6	1362	1485,8	1574,6	1703	1794	1906,1	1997	2018	2017	1961	1342	667,7
10	648,7	894,83	1056	1172,1	1330,5	1478,9	1574,7	1720,7	1826,9	1976,4	2084	2228,5	2354,4	2410	2438	2409	1903	1172
20	753,9	1022,9	1199,7	1327,8	1505,8	1675,1	1789,6	1955,5	2074,6	2249,7	2383	2550,9	2690,9	2775	2858	2858	2352	1677
30	815,2	1097,7	1283,2	1418,9	1608,6	1790,8	1913,4	2092,1	2224,1	2410,9	2551	2733,2	2901,2	2999	3111	3082	2576	2013
50	892,7	1191,9	1389,6	1533,4	1737,1	1934,5	2070	2263,9	2406,3	2614,2	2766	2971,5	3174,5	3279	3405	3419	3025	2350
100	997,8	1320,1	1532,7	1689,2	1912,3	2130,7	2282,6	2498,7	2658,7	2894,6	3065	3293,9	3532	3672	3826	3867	3473	2855

Tabelle 16: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>] durch die Gesamtflächen der 1. Werkserweiterung

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> ]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	92,36	144,68	177,94	200,83	229,61	252,16	263,85	283,98	297,6	313,98	323,1	324,04	316,74	292,1	229,7	150	0	0
2	124,9	184,23	222,44	249,07	283,88	312,94	329,7	356,7	375,75	398,64	412,8	423,9	420,94	405	360	288,9	0	0
3	143,9	207,51	248,49	277,29	315,36	348,76	368,05	399,03	420,61	448,57	464,9	484,68	486,06	474,4	438,1	375,8	56,85	0
5	167,9	236,69	281,23	312,99	355,52	393,26	416,53	452,22	477,05	511,52	534,4	558,49	570,73	561,3	529,3	480	161	0
10	200,5	276,25	325,74	361,23	409,43	454,04	482,38	524,94	555,2	596,18	624,1	658,35	681,44	682,8	659,5	618,9	334,7	0
20	233	315,93	370,24	409,47	463,7	514,83	548,95	597,66	631,9	680,84	716,8	758,2	785,64	795,7	789,8	757,8	473,6	137,4
30	252	339,08	396,11	437,69	495,53	550,64	587,3	639,99	678,21	730,77	768,9	814,64	850,76	865,2	867,9	827,3	543,1	241,6
50	276	368,27	429,03	473,15	535,33	595,14	635,78	693,18	734,65	793,72	835,4	888,45	935,42	952	959,1	931,5	682	345,8
100	308,6	407,95	473,35	521,39	589,6	655,93	701,63	765,9	812,8	880,56	928,1	988,31	1046,1	1074	1089	1070	821	502,1

Tabelle 17: Niederschlagswassereinleitungsmengen [m<sup>3</sup>] durch die Gesamtflächen der 2. Werkserweiterung

Wiederkehrintervall T [a]	Niederschlagswassereinleitungsmenge [m <sup>3</sup> ]																	
	Dauerstufe [min]																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
1	156,9	246,11	303,07	342,48	392,54	432,76	454,61	492,8	519,98	555,98	579,7	597,89	610,42	593,6	537,8	452,7	82,94	0
2	212	313,02	378,34	424,08	484,34	535,57	565,99	615,82	652,18	699,19	731,5	766,8	786,67	784,5	758,2	687,7	318	0
3	244,1	352,39	422,41	471,82	537,59	596,16	630,86	687,42	728,06	783,65	819,6	869,62	896,83	902	890,4	834,6	494,2	36,29
5	284,7	401,76	477,79	532,2	605,52	671,44	712,87	777,38	823,54	890,14	937,2	994,46	1040	1049	1045	1011	670,5	300,7
10	339,8	468,67	553,07	613,8	696,71	774,25	824,26	900,4	955,73	1033,3	1089	1163,4	1227,3	1255	1265	1246	964,2	565,1
20	394,9	535,79	628,34	695,4	788,51	877,07	936,86	1023,4	1085,5	1176,6	1246	1332,3	1403,6	1445	1485	1481	1199	829,4
30	427	574,96	672,1	743,14	842,36	937,66	1001,7	1095	1163,8	1261	1334	1427,8	1513,7	1563	1617	1598	1317	1006
50	467,6	624,32	727,79	803,11	909,68	1012,9	1083,7	1185	1259,3	1367,5	1446	1552,6	1656,9	1710	1772	1775	1552	1182
100	522,7	691,44	802,76	884,71	1001,5	1115,7	1195,1	1308	1391,5	1514,4	1603	1721,5	1844,2	1915	1992	2010	1787	1446