

# BORCHERT INGENIEURE

Umwelt - Geotechnik - Baugrundlabor

Borchert Ingenieure · Steeler Straße 529 · 45276 Essen

Holemans Niederrhein GmbH  
Vor dem Rheintor 17  
46459 Rees

Borchert Ingenieure GmbH & Co. KG  
Steeler Straße 529 · 45276 Essen

Geschäftsführende Gesellschafter  
Dipl.-Geol. Thomas Kellner  
Dipl.-Ing. Christoph Borchert  
Öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Bodenmechanik,  
Erd- und Grundbau der Industrie- und  
Handelskammer zu Essen  
Staatlich anerkannter Sachverständiger für Erd-  
und Grundbau der Ingenieurkammer-Bau NRW

fon 0201 / 43555-0  
fax 0201 / 43555-43  
info@borchert-ing.de  
www.borchert-ing.de

Projekt	20170 8263
Zeichen	Bo
Datum	01.07.2020
Datei	8263-g14-rev- 20200701.doc

**PROJEKT:** **Geplante Abgrabungserweiterung  
Histenbruch in Wesel-Bislich**

## Hydrogeologisches Gutachten

**AUFTRAGGEBER:** **Holemans Niederrhein GmbH, Rees**

**PROJEKTBEARBEITER:** **Dipl.-Ing. Borchert  
8263-g14-rev-20200701**

**GUTACHTEN UMFASST:** **32 Textseiten  
9 Anlagen**

**VERTEILER:** **Holemans Niederrhein GmbH, Wesel: 3 x analog  
1 x digital**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Vorbemerkungen.....</b>	<b>1</b>
1.1 Veranlassung .....	1
1.2 Zielsetzung der Grundwassermodellberechnungen.....	4
<b>2. Unterlagen .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Datengrundlage.....</b>	<b>9</b>
3.1 Natürlicher Bodenaufbau und Schichtenfolge.....	9
3.2 Vorlandverfüllungen und Dichtschürzen .....	10
3.3 Grundwasserstände aus Pegeldaten.....	11
3.4 Pegeldaten Fließgewässer .....	12
3.5 Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen vom 25.10.2017 .....	12
3.6 Ergebnisse der Pumpversuche .....	14
3.7 Hochwasserereignisse .....	15
<b>4. Geohydraulische Modellrechnungen.....</b>	<b>16</b>
4.1 Modellaufbau.....	16
4.1.1 Untersuchungsgebiet und Randbedingungen .....	16
4.1.2 Gewähltes Modell.....	17
4.1.3 Kenngrößen .....	19
4.2 Abgrabungszustände .....	21
<b>5. Modellkalibrierung .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Modellvalidierung.....</b>	<b>23</b>
<b>7. Untersuchte Szenarien .....</b>	<b>24</b>
<b>8. Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>25</b>
8.1 Mittelwasser .....	25
8.2 Hochwasser 1995 .....	26

# BORCHERT INGENIEURE

Umwelt - Geotechnik - Baugrundlabor

Projekt 20170 8263

Datum 01.07.2020

Seite II

8.3	Bemessungshochwasser 2004.....	27
8.4	Ergebniszusammenstellung .....	28
8.5	Bewertung und Fazit .....	30
<b>9.</b>	<b>Schlussbemerkungen.....</b>	<b>31</b>

## Anlagenverzeichnis

### **Anlage 1: Lagepläne**

- Anlage 1.1: Übersichtslageplan
- Anlage 1.2: Lageplan Ausgangszustand
- Anlage 1.3: Lageplan Ist-Zustand 2017

### **Anlage 2: Auswertung der Grundwassermessstellen aus dem ELWAS-Web**

- Anlage 2.1: Isolinien 10.04.2007
- Anlage 2.2: Isolinien 14.05.2008
- Anlage 2.3: Isolinien 25.10.2017
- Anlage 2.4: Isolinien vor der Hochwasserwelle 19.12.2002
- Anlage 2.5: Isolinien zur Hochwasserwelle 06.01.2003
- Anlage 2.6: Isolinien nach der Hochwasserwelle 18.01.2003
- Anlage 2.7: Isolinien vor der Hochwasserwelle 07.12.2010
- Anlage 2.8: Isolinien zur Hochwasserwelle 16.01.2011
- Anlage 2.9: Isolinien nach der Hochwasserwelle 24.01.2011
- Anlage 2.10: Isolinien vor der Hochwasserwelle 02.01.1995
- Anlage 2.11: Isolinien zur Hochwasserwelle 31.01.1995
- Anlage 2.12: Isolinien nach der Hochwasserwelle 14.02.1995

### **Anlage 3: LP-Netz 2019**

### **Anlage 4: Modellkalibrierung**

#### **Anlage 4.1: 2007**

- Anlage 4.1.1: Isolinien zum Stichtag 10.04.2007
- Anlage 4.1.2: Ganglinien Pegel 1-4 für das Jahr 2007
- Anlage 4.1.3: Ganglinien Pegel 5-8 für das Jahr 2007
- Anlage 4.1.4: Ganglinien Pegel 9-12 für das Jahr 2007
- Anlage 4.1.5: Ganglinien GWM für das Jahr 2007

## **Anlage 4.2: 2008**

- Anlage 4.2.1: Isolinien zum Stichtag 14.05.2008
- Anlage 4.2.2: Ganglinien Pegel 1-4 für das Jahr 2008
- Anlage 4.2.3: Ganglinien Pegel 5-8 für das Jahr 2008
- Anlage 4.2.4: Ganglinien Pegel 9-12 für das Jahr 2008
- Anlage 4.2.5: Ganglinien GWM für das Jahr 2008

## **Anlage 4.3: 2017**

- Anlage 4.3.1: Isolinien zum Stichtag 25.10.2017
- Anlage 4.3.2: Ganglinien Pegel 1-4 für das Jahr 2017
- Anlage 4.3.3: Ganglinien Pegel 5-8 für das Jahr 2017
- Anlage 4.3.4: Ganglinien Pegel 9-12 für das Jahr 2017
- Anlage 4.3.5: Ganglinien GWM für das Jahr 2017

## **Anlage 4.4: Grundwasserstände Differenz Messung - Berechnung**

- Anlage 4.4.1: Grundwasserstände 2007
- Anlage 4.4.2: Grundwasserstände 2008
- Anlage 4.4.3: Grundwasserstände 2017

## **Anlage 5: Hochwasserwelle**

## **Anlage 6: Ist-Zustand**

- Anlage 6.1: Ist-Zustand 2017 mw
- Anlage 6.2: Ist-Zustand 2017 hw 95\_t=30d
- Anlage 6.3: Ist-Zustand 2017 hw 95\_t=41d
- Anlage 6.4: Ist-Zustand 2017 hw 95\_t=130d
- Anlage 6.5: Ist-Zustand 2017 hw 95\_gang
- Anlage 6.6: Ist-Zustand 2017 bhw\_t=30d
- Anlage 6.7: Ist-Zustand 2017 bhw\_t=41d
- Anlage 6.8: Ist-Zustand 2017 bhw\_t=130d
- Anlage 6.9: Ist-Zustand 2017 bhw\_gang

## **Anlage 7: Endzustand**

- Anlage 7.1: Endzustand mw
- Anlage 7.2: Endzustand hw 95\_t=30d
- Anlage 7.3: Endzustand hw 95\_t=41d
- Anlage 7.4: Endzustand hw 95\_t=130d
- Anlage 7.5: Endzustand hw 95\_gang
- Anlage 7.6: Endzustand bhw\_t=30d
- Anlage 7.7: Endzustand bhw\_t=41d
- Anlage 7.8: Endzustand bhw\_t=130d
- Anlage 7.9: Endzustand bhw\_gang

## **Anlage 8: Differenzpläne**

- Anlage 8.1: Differenz Endzustand 2017 mw
- Anlage 8.2: Differenz Endzustand 2017 hw 95
- Anlage 8.3: Differenz Endzustand 2017 bhw
- Anlage 8.4: Differenz Endzustand 2017 hw 95\_t41
- Anlage 8.5: Differenz Endzustand 2017 bhw\_t41
- Anlage 8.6: Differenz Endzustand 2017 hw 95\_t130
- Anlage 8.7: Differenz Endzustand 2017 bhw\_t130

## **Anlage 9: Schichtenverzeichnisse der Pegel-/Brunnenbohrungen**

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stichtagsmessung vom 25.10.2017 .....	13
Tabelle 2:	Abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwerte .....	14
Tabelle 3:	hydraulische Kenngrößen .....	20
Tabelle 4:	Prognostizierte Seewasserstände .....	29
Tabelle 5:	Mögliche Seewasserübertritte und notwendige Maßnahmen .....	30

## Abbildungsverzeichnis

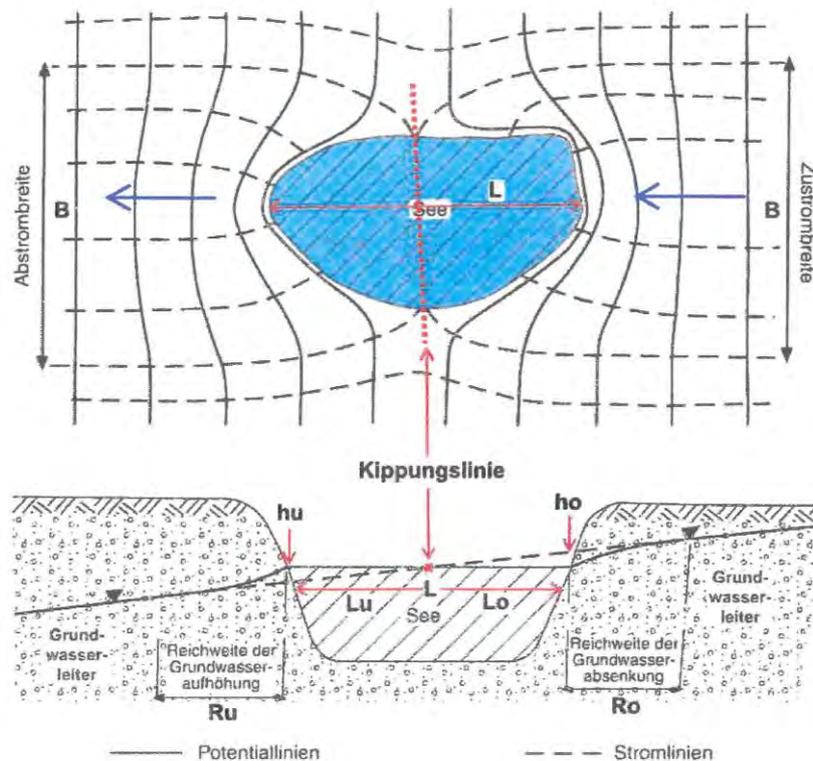
Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Hydrologie eines Baggersees .....	2
Abbildung 2:	Prinzipskizze Grundwassermodell .....	18

## 1. Vorbemerkungen

### 1.1 Veranlassung

Seit den 1960er Jahren wird in der eingedeichten Rheinaue zwischen Wesel, Bislich und Bergerfurth Kies und Sand im Nassabbauverfahren gewonnen. Auf diese Weise sind im genannten Zeitraum bis 2008 (Ausgangszustand der beantragten Abgrabung) Baggerseen mit einer Gesamtfläche von etwa 500 ha entstanden. Der Abbau wird noch weitergeführt, so dass nach heutigem Kenntnisstand in dem benannten Landschaftsraum im geplanten Endzustand insgesamt etwa 860 ha Wasserflächen entstanden sein werden. Diese Wasserflächen sind z.T. nur durch schmale Geländestreifen mit Wirtschaftswegen voneinander getrennt. Die Holemans Niederrhein GmbH beabsichtigt die Durchführung der sog. Abgrabung Histenbruch. Diese grenzt an drei Seiten an bereits bestehende Baggerseen an (s. Anlage 1.2).

Mit der Offenlegung der Grundwasseroberfläche im Zuge der Auskiesung ergeben sich im Umfeld charakteristische Veränderungen der lokalen Grundwasserströmung. Es entsteht eine horizontale Seewasseroberfläche, welche die mehr oder weniger stark geneigte Grundwasseroberfläche anschneidet. Dies führt auf der Anstromseite zur Absenkung und auf der Abstromseite zur Aufhöhung des Grundwasserspiegels. Auf der Anstromseite tritt Grundwasser in den See über, auf der Abstromseite dringt Seewasser in den Grundwasserleiter ein. Der Neutralbereich zwischen diesen Zonen wird durch die sogenannte "Kippungslinie" gekennzeichnet.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Hydrologie eines Baggersees (aus BERTLEFF 2001; Bezeichnungen nach WROBEL 1980)**

Exakte analytische Methoden zur Berechnung der Reichweite der beschriebenen Auswirkungen auf das Grundwasser sind nicht verfügbar. Die gewöhnlich herangezogenen Berechnungsansätze sind rein empirischer Natur. Auf Grund der engen räumlichen Nähe der verschiedenen Baggerseen im Raum Bislich zueinander ist anzunehmen, dass es zu entsprechenden Überlagerungseffekten kommt, die das resultierende Strömungsbild im Grundwasser komplex verformen. Insbesondere kann auf Grund überschlägig vorgenommener Berechnungen nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Grundwasserstandsaufhöhungen mehrerer in Grundwasserströmungsrichtung gelegener Seen so ungünstig überlagern, dass es an der Nordostseite der geplanten Abgrabung Histenbruch zu einem Wasserstand kommen könnte, der höher läge als das umliegende Gelände, der See also überlaufen würde.

Diese Veränderungen der Grundwasserstände und Seewasserspiegel durch die Herstellung einer offenen Wasserfläche durch Abgrabung, sind vom Büro Jansen bereits im Jahr 2008 (s. Unterlage U5) untersucht worden. Die Untersuchungen erfolgten isoliert für die beantragte Abgrabung Histenbruch mit einfachen eindimensionalen, auf Handrechnungen beruhenden

Modellen. Das Fazit dieser Untersuchungen war, dass auf Grund der Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Wasserflächen keine Vorhersage möglich war, wo bei ungünstigen Grundwasserständen und Seewasserspiegeln ein Übertritt von Seewasser auf Grundstücke Dritter zu besorgen wäre. Außerdem sind in den Randbereichen der Baggerseen an verschiedenen Stellen Anfüllungen mit lehmigem Abraum vorgenommen worden, die das Grundwasserregime zusätzlich beeinflussen können.

Um diese Fragestellungen belastbar beantworten zu können, hat sich die Holemans Niederrhein GmbH daher in Abstimmung mit den zuständigen Behörden dazu entschlossen, die Auswirkungen der geplanten Abgrabung Histenbruch gemeinsam mit der ebenfalls geplanten Abgrabung Visselsches Feld Süd mit Hilfe eines großräumigen Grundwassermodells prognostizieren zu lassen. Dabei sollte insbesondere der Einfluss verschiedener Rhein-Hochwasserstände auf die Wasserstände in den einzelnen Baggerseen untersucht werden.

Das zugehörige Gutachten (6050/41 vom 08.02.2010) wurde 2010 vorgelegt und zum Bestandteil der Antragsunterlagen für die geplante Abgrabung Histenbruch gemacht. Aus verschiedenen Gründen verzögerte sich die Vorlage des Antrags bei der Genehmigungsbehörde, so dass erst im Sommer 2017 das Beteiligungsverfahren für die geplante Abgrabung durchgeführt wurde. In diesem Beteiligungsverfahren machten Träger öffentlicher Belange und zahlreiche Bürgerinnen und Bürger Bedenken gegen das Hydrogeologische Gutachten geltend. Im Zentrum der Kritik standen die folgenden Punkte:

- Die beantragte Abgrabungskonfiguration entspricht nicht den miteingereichten hydrogeologischen Berechnungen.
- Die den Antragsunterlagen zugrunde liegenden hydrogeologischen Modellberechnungen beruhten auf nicht zutreffenden Annahmen und sind mit unzureichenden Modellen vorgenommen worden.
- Der Einfluss von Vernässungen durch Starkregenereignisse, wie 2016 in Bislich, Haffen und Mehrhoog aufgetreten, in Verbindung mit der geplanten Abgrabungserweiterung wird in den Antragsunterlagen nicht oder nicht ausreichend behandelt.

Um die aufgeworfenen Fragen beantworten zu können, hat die Holemans Niederrhein GmbH Borchert Ingenieure mit der Ergänzung des Hydrogeologischen Gutachtens beauftragt. Die Gutachten-Ergänzung wurde der Genehmigungsbehörde im März 2018 übergeben und im Mai 2018 einer erneuten Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung unterzogen.

Im Zuge der Prüfung der Antragsunterlagen des Abgrabungsvorhabens Histenbruch durch die Wasserbehörde des Kreises Wesel sind Fragen aufgetaucht, die im Fachgespräch am 19.12.2018 auf der Basis der fachlichen Stellungnahme der Wasserbehörde vom 09.10.2018 zwischen Genehmigungsbehörde und Antragstellerin erörtert wurden. Die Anmerkungen der Fachbehörde umfassen im Wesentlichen folgende Punkte:

1. Zu eng gefasstes Modellgebiet
2. Eichung des Modells mit einem stationären Berechnungsansatz; die Fachbehörde hält einen instationären Berechnungsansatz für angemessener.
3. Einbeziehung der Informationen des Kreises zu den Vorlandverfüllungen
4. Einbeziehung der Ganglinien der ELWAS-Grundwassermessstellen
5. Darstellung der Berechnungsergebnisse ist zu unübersichtlich

Der Antragsteller ist deshalb von der Genehmigungsbehörde aufgefordert worden, die oben beschriebenen Anforderungen in den vorgelegten Modellberechnungen zu berücksichtigen und die Ergebnisse in einem hydrogeologischen Gesamtgutachten, als Anlage der Antragsunterlagen zu dokumentieren.

## 1.2 Zielsetzung der Grundwassermodellberechnungen

Das Untersuchungsgebiet liegt in einem Rheinbogen, so dass bei auflaufendem Hochwasser eine Einströmung von zwei Seiten (Süden und Westen) in das Untersuchungsgebiet erfolgt. Der Grundwasserstand wird vor allem in den ufernahen Bereichen wesentlich vom Rheinwasserstand beeinflusst.

Innerhalb des Untersuchungsgeländes existieren bereits, wie oben beschrieben, eine Vielzahl von Abgrabungen, die heute teilweise offene Wasser- und Seeflächen darstellen. Der Kiesabbau soll zukünftig kontinuierlich fortgesetzt werden, wobei teilweise bereits realisiert und zukünftig geplant ist, Teilabgrabungsflächen mit Abraumböden zu verfüllen und zu rekultivieren. Dieses Gesamtsystem mit zeitlich unterschiedlichen Zwischenabbauzuständen und entlang der Abgrabungsböschungen vorgenommenen Bodenverfüllungen beeinflusst sich gegenseitig. Dabei sind die beiden Hauptzustände

- Normalfall: Grundwasserfließrichtung zum Rhein
- Hochwasserfall: Grundwasserfließrichtung ins Hinterland

zu unterscheiden. Die Hauptfragestellung, die hier modelltechnisch untersucht wird, ist:

„Gibt es entlang der vorhandenen Abgrabungsseen und/oder der geplanten Abgrabung Histenbruch kritische Gelände- und Uferbereiche, an denen im Hochwasserfall des Hauptvorfluters, des Rheins, ein Übertreten von Seewasser zu besorgen ist, von denen Dritte betroffen sein könnten. Wenn ja, welche Maßnahmen können zur Vermeidung von etwaigen Seewasserübertritten ergriffen werden“

Zur Berücksichtigung der denkbaren Beeinflussungen der See- und Grundwasserspiegel im Untersuchungsgebiet durch Rheinhochwässer wird neben dem 1995 aufgetretenen höchsten gemessenen Hochwasserereignis auch das von der Bez.-Reg. Düsseldorf zur Auslegung der Hochwasserschutzanlagen höhenmäßig festgelegte Bemessungshochwasser BHW<sub>2004</sub>, als ein Extremereignis zu Grunde gelegt.

Die modelltechnischen Berechnungen dienen **nicht** zur Nachvollziehung von:

- Grundwasserständen außerhalb von extremen Rheinhochwässern, weil diese nicht zu Seewasserübertritten führen können,
- Stark-Niederschlagsereignissen im Projektgebiet, weil die Oberflächenabflusssysteme (wie z. B. die Wat-Ley und der Harsumer Graben) in ihrer Aufnahmefähigkeit und Abflusskapazität nicht verändert werden,
- Abflussverhalten von Nebengewässern, die von Rheinhochwässern über den Grundwasserleiter nicht beeinflusst werden (wie z. B. die Issel).

## 2. Unterlagen

Für die Durchführung der Grundwassermodellberechnungen standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [U1] Übersichtslageplan 1 : 25.000 mit Eintragung der vorhandenen Abbauflächen (Ist-Zustand) und der geplanten Abgrabungen im Endzustand
- [U2] Lageplan 1 : 10.000 mit Eintragung der vorhandenen Abgrabungsseen
- [U3] Topographische Karten 1 : 25.000, Blatt 4305 (Wesel), Blatt 4204 (Rees), Blatt 4205 (Hamminkeln)
- [U4] Digitales Geländemodell,  
<https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dgm/>
- [U5] Hydrologische Stellungnahme Abgrabung „Histenbruch“ des Ingenieurbüros Janßen GmbH, Wachtendonk, vom 09.09.2008 einschließlich der Anlagen 2, 3, 4 und 5
- [U6] Hydrologisches Gutachten zu den Auswirkungen des geänderten Abgrabungsvorhabens Bergerfurth und Vahnum auf die Grundwassersituation am Vahnumbruch vom Ingenieurbüro Lange, Moers, vom Nov. 1996
- [U7] Lageplan 1 : 10.000 mit Eintragung der Kiesfenster und Böschungsauffüllungen der Abgrabungsseen der Firma Suhrborg (heute: Holemans Niederrhein), Planungsstand 31.12.2007
- [U8] Bohrprofile, Geologischer Dienst NRW, <https://www.bohrungen.nrw.de/>
- [U9] Schichtenverzeichnisse mit Ausbauplänen der Pegelbrunnen 1-13 der Firma Suhrborg (heute: Holemans Niederrhein) sowie Messdaten im Zeitraum 1990-2008
- [U10] Schichtenverzeichnisse und Ausbaudaten des Grundwasserpegels Nr. 14 der Fa. Menting & Bresser mit Messdaten zwischen 1997-2008 und Lageplanausschnitte mit Eintragung der verkippten Abraumböden entlang der Abgrabungsböschungen
- [U11] Schichtenverzeichnisse und Bohrpläne

- Bohrung Leckerfeld der Fa. van Dornick
- Visselbruch/Jöckern Bohrungen 1-10, Bohrunternehmung Barluschke vom Nov. 2002
- Brüggenhofsee Bohrungen 1-13 von 1964, 1977 und 1981
- Ellerdonksee Bohrungen 1-20 von 1983
- Diersfordter Waldsee Bohrung 1-44 von 1972 bis 1974

[U12] Schichtenverzeichnis und Ausbaudaten der Grundwassermessstelle 14 der Fa. Menting & Bresser von 1996 und Messdaten des Lattenpegels von 2003-2008

[U13] Grundwasserstandsmessdaten, ELWAS  
<https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf#>

[U14] Auskiesungen im Deichvorland. Kreis Wesel, M 1 : 25.000, Staatliches Amt für Wasser- u. Abfallwirtschaft Düsseldorf, Juli 1995

[U15] Hygon (Hydrologische Rohdaten Online), vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen,  
<http://luadb.lids.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php>

[U16] Ausbaudaten der Grundwassermessstellen

- Westerheide Nr. 179
- Bergen Nr. 177
- Flüren Nr. 122
- Bislich Nr. 28
- Flürener Weg

des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV).

[U17] Lage und Ganglinien der ELWAS-Pegel

080200023

080200059

040305216

040431046

040431022

040431058

040431204

040431198

040431265

[U18] Rhein-Ganglinien Rheinpegel Wesel

[U19] Rhein-Ganglinie Pegel Rees

[U20] Lippe-Ganglinie Pegel Schermbeck

[U21] Lippe-Ganglinie Pegel Fusternberg

[U22] Issel Median, ProAqua, E-Mail vom 16.06.2019

[U23] Lage der Entnahmehbrunnen und der Grundwasserentnahmemengen des angrenzenden Wasserwerkes Wesel-Flüren und Wesel-Blumenkamp.

[U24] Hydrologisches Gutachten mit Modellberechnungen der Abgrabungserweiterungen Histenbruch und Vissel-Süd der Borchert Ingenieure vom 2010

[U25] Ergänzendes hydrologisches Gutachten, Holemans Niederrhein GmbH, 20.01.2018

[U26] Ergebnisse der aktuellen Stichtagsmessung der in Betrieb befindlichen Grundwassermessstellen vom 25.10.2017.

[U27] Technische Regel – Arbeitsblatt, DVGW W 107 (A), Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, Februar 2016

[U28] Orsoyer Rheinbogen: Kiesabgrabung Grunland/Milchplatz; Qualitätsüberwachung Dichtschürzeneinbau 2004 – 2020, unveröffentlicht, Bez.-Reg. Düsseldorf

[U29] ProAqua Ingenieurgesellschaft: Issel Hochwasser und Grundwasser 2019 – noch laufend, unveröffentlicht im Auftraggeber: Stadt Hamminkeln

## 3. Datengrundlage

### 3.1 Natürlicher Bodenaufbau und Schichtenfolge

Die Schichtenfolgen sind aus den insgesamt 16 großkalibrigen Aufschlussbohrungen zur Erstellung der Grundwassermessstellen der Suhrborg & Co GmbH (Suco-Pegel) bekannt. Unter Zugrundelegung dieser Schichtenverzeichnisse ist auch im Projektgebiet die für den Niederrhein typische Schichtenfolge

- Oberboden
- Flutlehm (Auelehm), sehr gering durchlässig
- sandig-kiesige Terrassenböden, sehr durchlässig
- tertiäre Feinsande, gering durchlässig

erkundet worden. Ergänzt werden die vom Antragsteller beigebrachten Bohrergergebnisse durch die über den Geologischen Dienst NRW einsehbaren Ergebnisse von weiteren Bohrungen.

Unterhalb der ca. 0,20...0,30 m dicken Oberbodenschicht stehen die Böden des Flutlehmes, (Auelehmes) im Allgemeinen bis in ca. 1,50...4,00 m Tiefe unter GOF an. Nur vereinzelt sind geringere Mächtigkeiten von ca. 0,80...1,0 m erbohrt worden. Darunter folgen die sandigen und kiesigen Terrassenböden der Niederterrasse. Diese Böden bestehen aus mehr- oder weniger ausgeprägten Wechsellagerungen aus schwach kiesigen Sanden bis sandigen Kiesen. Infolge

der Kreuzschichtung<sup>1</sup> der Niederterrassenböden des Rheins, schwankt die Mächtigkeit der sandig bzw. kiesig ausgebildeten Schichten recht stark.

Die im Liegenden anstehenden tertiären schluffigen Feinsande sind unter Zugrundelegung der Brunnenbohrungen 1-16 (s. Anlage 9), in ca. 13,0...28,5 m Tiefe unter GOF angetroffen worden. Dies entspricht in etwa einem Horizont +4,02 m NHN bis -10,45 m NHN. Danach weist der Tertiärhorizont örtlich starke Horizontschwankungen bis zu ca. 14 m auf. Das höchste Niveau des Tertiärhorizontes ist im Bereich der Grundwassermessstelle 3, das tiefste Niveau des Tertiärhorizontes ist in etwa im Bereich der Grundwasserstellen 1 und 2 festgestellt worden.

Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit stellt der Schichtenhorizont der tertiären Feinsande, wie am Niederrhein üblich, den Wasserstauer des quartären Grundwasserleiters dar.

## 3.2 Vorlandverfüllungen und Dichtschürzen

Rechtsrheinisch sind die Deichvorländer vom Auesee (Rhein-km 815,8) nahezu durchgehend bis zum Visselschen Bruch (Rhein-km 827,7) abgegraben und anschließend mit verschiedenen nicht anderweitig verwertbaren Materialien wieder verfüllt worden. Diese Materialien weisen eine feinkörnigere Kornverteilung auf, als die entnommenen Kiessande und sind demzufolge auch geringer durchlässig.

Darüber hinaus sind die Uferbereiche einzelner Abgrabungsseen mit bindigen Abraumböden (aus den natürlich anstehenden Flutlehm) verfüllt worden. Mit Hilfe dieser Schüttungen, die eine um ca. zwei 10-er Potenzen geringere Durchlässigkeit aufweisen, werden die Uferbereiche der Seen gezielt abgedichtet, weshalb diese Schüttungen Dichtschürzen genannt werden.

Der Einsatz von Dichtschürzen vor Abgrabungsböschungen zum Zwecke der Reduzierung des Sickerwasserzu- und/oder -abstroms (Hochwasserfall) wird am Niederrhein schon seit fast 30

<sup>1</sup> **Kreuz- oder Diagonalschichtung** ist ein Begriff der Sedimentologie und bezeichnet die Ablagerung von körnigem Sediment (hier: Sand und/oder Kies) in schräg einfallenden Schichten. Diese Art der Ablagerung findet sich an der Leeseite von Strömungs- und Wellenrippeln in Gewässern (hier: der Rhein).

Jahren praktiziert. Die Referenzmaßnahme ist die Dichtschürzenschüttung vor die Abgrabungsböschung Milchplatz/Grunland im Verbandsgebiet des Deichverbandes Duisburg – Xanten [U28]. Hier wird seit Beginn der 2.000- Jahre das Herstellen der Dichtschürze, beginnend mit dem Freilegen des Tertiärs, Schütten des bindigen Abraums ins Wasser, Überprüfung der Anbindung ans Tertiär intensiv von der Bezirksregierung Düsseldorf in Zusammenarbeit mit der Linksniederrheinischen Entwässerungsgenossenschaft (LINEG), die für das intensive Grundwassermonitoring zuständig ist, überwacht. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen die Wirksamkeit der Dichtschürze, die zu einer erheblichen Reduzierung der Grundwasserstände im Hochwasserfall führen.

### 3.3 Grundwasserstände aus Pegeldata

Für das Grundwassermodell wurden die zur Verfügung gestellten Messdaten der vorhandenen Grundwasserpegel Nr. 1 bis 16, die vom Abgrabungsbetreiber Suhrborg & Co. GmbH (heute Holemans Niederrhein GmbH) auch Suco-Pegel genannt, ausgewertet. Diese Pegel sind Mitte der 1990-er Jahre vom Antragsteller in eigener Verantwortung erstellt und betrieben und später in das Landesmessstellennetz übernommen worden. Diese GWM bildeten die Grundlage für das ursprünglich 2010 erstellte Grundwassermodell. Neben den langjährigen Messreihen der Suco-Pegel wurden später zur Ermittlung der Grundwasserstände im erweiterten Modellgebiet Messdaten von weiteren Grundwassermessstellen aus dem Fachinformationssystem ELWAS, das seit 2013 existiert, herangezogen. Die Lagen dieser ELWAS-Grundwassermessstellen (rot) einschließlich der ursprünglichen Suco-Pegel (grün), die ebenfalls in das ELWAS-Fachinformationssystem übernommen wurden, sind in Anlage 1.1 dargestellt. Die Grundwassermessstellen wurden in unterschiedlichen Intervallen gemessen und variieren zwischen einem Messrhythmus von einmal pro Woche bis zweimal pro Jahr. Die Messzeiträume sind ebenfalls in der Anlage 1.1 zusammengestellt.

## **3.4 Pegeldaten Fließgewässer**

Weiterhin wurden für die Jahre 1995 bis einschließlich 2018 die Rheinpegel Rees und Wesel und der Lippepegel Fusternberg für die Modellrandbedingungen herangezogen. Die Pegeldaten Rees (Rhein-km 837,40) und Wesel (Rhein-km 814,0) wurden von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und die Pegeldaten Fusternberg (Lippe-km 179,3) von Emscher Genossenschaft/ Lippe Verband (EGLV) zur Verfügung gestellt. Die Wasserstände im Pegel Schermbeck (Lippe-km 22,4) stammen vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) [U16].

Die jeweiligen Lagen der Flusspegel sind ebenfalls in der Anlage 1.1 dargestellt.

## **3.5 Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen vom 25.10.2017**

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ist am 25.10.2017 eine Stichtagsmessung der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen und funktionstüchtigen Grundwassermessstellen vorgenommen worden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengestellt:

# BORCHERT INGENIEURE

Umwelt - Geotechnik - Baugrundlabor

Projekt 20170 8263

Datum 01.07.2020

Seite 13

**Tabelle 1: Stichtagsmessung vom 25.10.2017**

Grundwasser- messstelle (GWM)	Rechts- wert	Hoch- wert	MIN (m NHN)	MAX (m NHN)	Stichtags- messung 2017 [m u. POK]	Bemerkungen
1	Existiert	Nicht mehr	+12,67	+16,14	-	weggebaggert kein Ersatz
2	2535169	5728343	+13,78	+16,56	4,45	-
3	2534711	5729081	+11,80	+16,42	3,28	-
4	2534795	5729873	+14,43	+17,53	3,83	-
5	2535592	5729922	+15,17	+16,56	3,80	-
6	2535602	5729122	+14,76	+16,63	3,58	-
7	2537242	5729585	+15,77	+17,22	2,68	-
8	2536763	5728351	+15,06	+17,07	4,48	-
9	2534709	5726446	+12,77	+17,17	-	Nicht auffindbar
10	2534441	5726112	+11,91	+16,64	8,00	-
11	2537150	5728063	+14,98	+16,13	4,50	-
12 (ab 10/2007)	2535066	5731046	+12,32	+15,77 <sup>1)</sup>	1,48	-
13 (ab 10/2007)	2534031	5729673	+14,48 <sup>1)</sup>	+15,46	4,63	-
14 (1997-2003)	nicht	bekannt	+13,44	+16,32	4,25	defekt
B1 $\triangleq$ R1	2535400	5731506	-	-	3,29	-
B2 $\triangleq$ R2	2543621	5731069	-	-	2,10	-
B3 $\triangleq$ R3	2533215	5731025	-	-	3,57	-

## 3.6 Ergebnisse der Pumpversuche

Zur Ermittlung bzw. zur Überprüfung des für die Modellberechnung im ansetzbaren mittleren Durchlässigkeitsbeiwertes des Grundwasserleiters wurden am 27.05. und 05.06.2009 an den folgenden 4 Grundwassermessstellen (SUCO)

- GWM 1
- GWM 3
- GWM 8
- GWM 10

Pump- und Wiederanstiegsversuche durchgeführt. Aus der Absenkung und dem Wiederanstieg wurden des Grundwassers wurden mit Hilfe des instationären Typkurvenverfahrens von Gringarten (1971)<sup>2</sup> die Transmissivitätswerte T ermittelt. Unter Berücksichtigung der Mächtigkeit des Grundwasserleiters sind die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Durchlässigkeitsbeiwerte nach der Beziehung

$$k_f = T/D$$

abgeleitet worden.

**Tabelle 2: Abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwerte**

GWM	Transmissivität T (m <sup>2</sup> /s)	Aquifermächtigkeit D (m)	Durchlässigkeitsbeiwert k (m/s)
B 1	0,014	ca. 38	ca. $0,4 \cdot 10^{-3}$
B 3	0,012	ca. 13	ca. $0,9 \cdot 10^{-3}$
B 8	0,020	ca. 22	ca. $0,9 \cdot 10^{-3}$
B 10	0,022	ca. 20	ca. $1,1 \cdot 10^{-3}$

Aus den Ergebnissen der Pumpversuche ergibt sich für den Grundwasserleiter ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert (arithmetisches Mittel)

$$k_f = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s (ca. } 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s)}.$$

Für die Modellberechnungen ist zunächst von einem maximalen Durchlässigkeitsbeiwert  $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  im Rahmen der Eichung des Grundwassermodells ausgegangen worden. Die aus den Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte bilden die Durchlässigkeit der Terrassensande und –kiese jeweils im näheren Brunnenbereich ab. Diese geben aufgrund der vorhandenen Kreuzschichtung der Niederterrasse und dem großen Untersuchungsgebietes nicht die Durchlässigkeit des Gesamtsystems wieder. Wie später dargestellt wird, mussten während der Berechnungen des Grundwassermodells die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte (Systemdurchlässigkeit) innerhalb des Modells angeglichen werden, um eine plausible Übereinstimmung zwischen Rechen- und Messwerten zu erhalten.

### 3.7 Hochwasserereignisse

Da von der Bezirksregierung Düsseldorf zwar Bemessungshochwasserstände für den Rhein festgelegt wurden, jedoch keine zeitlichen Verläufe, mussten diese durch den Antragsteller sinnvoll und plausibel festgelegt werden. Wir haben deshalb die Hochwasserganglinie 1995, die das bislang am Niederrhein höchste aufgetretene Hochwasserereignis darstellt, zugrunde gelegt und diese mit dem jeweiligen Bemessungshochwasserstand wie nachfolgend beschrieben kombiniert.

Für das Szenario Hochwasserstand 1995 wurden die Wasserstände des Rheinhochwassers von 1995 herangezogen. Dem damaligen Hochwasser wurde noch das heutige Bemessungshochwasser (Pegel Rees = 20,33 m NHN, Pegel Wesel und Fusternberg = 23,50 m NHN) aufgesetzt. Der Ansatz des BHW stellt eine „Worst-Case“-Betrachtung dar, die mit hohen Grundwasserpotentialen zu entsprechend hohen Seewasserspiegeln führt. Als Dauer der angesetzten Hochwasserspitzen wurden 4 Tage zugrunde gelegt, der Anstieg wurde mit 28 Tagen angesetzt, die ablaufenden Hochwasserwellen mit 335 Tagen. Die hieraus schematisiert abgeleiteten Hochwasserwellen sind in Anlage 5 dargestellt.

---

<sup>2</sup> Gringarten A. C., Bourdet D., Landell. P. A. Kniazeff. V. J. (1979): A comparison between different skin and wellbore storage type-curves for early-time transient analysis, presented at the SPE-AIME 54th Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, Nevada: Society of Petroleum Engineers.SPE8205.

In den nachfolgend durchgeführten Berechnungen ist die Hochwasserwelle 1995 zur Verdeutlichung bislang aufgetretener Höchstwasserstände im Hinterland aufgenommen worden. Mögliche Maßnahmen gegen ein Überlaufen der Abgrabungsseen werden ausschließlich auf der Basis des ungünstigeren Bemessungshochwassers abgeleitet.

## 4. Geohydraulische Modellrechnungen

### 4.1 Modellaufbau

#### 4.1.1 Untersuchungsgebiet und Randbedingungen

Das Modellgebiet erstreckt sich von Wesel im Süden über Hamminkeln im Osten bis nach Rees im Nordwesten. Die Modellgrenzen wurden so weiträumig gewählt, dass das Untersuchungsgebiet durch Flüsse begrenzt wird, so dass diese Randbedingungen das Untersuchungsgebiet nicht mehr beeinflussen. Im Westen wird das Modell also durch den Rhein (von Wesel nach Rees) und im Süden durch die Lippe begrenzt. Der östliche Modellrand ergibt sich aus dem Verlauf der Issel. Dabei liegen die Geländehöhen am östlichen Systemrand etwa 3 bis 4 m über den Geländehöhen am Rhein und im Bereich der Abgrabungsseen. Im Norden verläuft die Modellgrenze von Rees entlang des Reeser Meeres bis zur Issel.

Am Nordostrand des Modells wurde der Grundwasserstand auf Grundlage der vorhandenen Grundwassergleichenpläne als Randbedingung angesetzt und entlang des Rheinuferes für die stationären Betrachtungen ein mittlerer Wasserstand mit einem Gefälle von 0,25 m auf 10 km Strecke angenommen ( $\approx 0,025 \text{ ‰}$ ). Vorhandene Altarme des Rheins wurden mitberücksichtigt. Der östliche und der westlich-nordwestliche Systemrand wurden als geschlossene Ränder als Randbedingung modelliert.

Für das Mittelwasser ist unter Berücksichtigung der vorliegenden Rheinwasserstände ein Ausgangsspiegel zwischen + 12,3 m NHN (Rees), + 15,3 m NHN (Wesel), + 16,4 m NHN (Fusternberg) und 18,0 m NHN (Lippe Modellrand) zugrunde gelegt worden.

Das untergrundhydraulische System ist bestimmt durch oberflächennahe, gering durchlässige Deckschichten aus Auelehmen über einem Grundwasserleiter aus sandigen-kiesigen Terrassenböden. Zur Tiefe folgt der gering wasserdurchlässige tertiäre Feinsand. Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit stellt der Schichtenhorizont der tertiären schluffigen Feinsande den Stauer des quartären Grundwasserleiters dar.

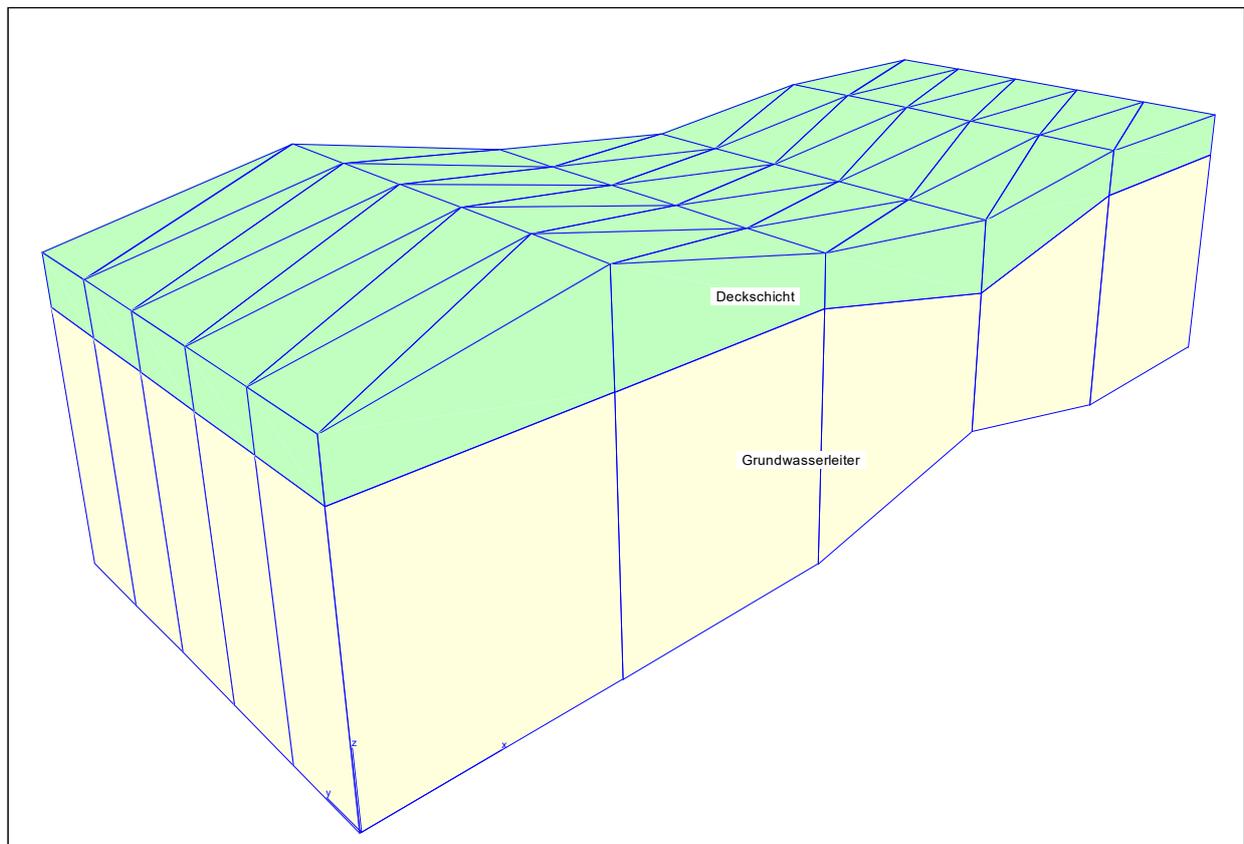
## 4.1.2 Gewähltes Modell

Das aktuelle Modell basiert auf dem in den Berechnungen aus dem Jahr 2010 verwendeten FE-Netz (FE  $\triangleq$  Finite Elementnetz). Im neuen Modell mit 10.431 Dreieckselementen und 5.268 Knoten wurden Straßendämme und Trenndämme in den Abgrabungsseen detailliert modelliert. Damit einhergehend wurden die Dichtschürzen und damit die Netzgeometrie dem aktuellen Abgrabungs- und Verfüllzustand angepasst.

Die Berechnungen wurden mit einem horizontal-ebenen Modell mit einer Deckschicht ("leaky aquifer") durchgeführt. In einem einfachen ebenen Modell mit nur einer Schicht für den Grundwasserleiter fließt das Grundwasser nur in der Horizontalen. In dem leaky-aquifer-Modell wird oberhalb des Grundwasserleiters noch eine Deckschicht eingeführt, durch die ein vertikaler Zu- oder Abfluss möglich ist. Damit kann z. B. Qualmwasser binnendeichs berechnet werden. Es handelt sich gewissermaßen um ein Zwei-Schichten-Modell (s. Abbildung 2). Wird oben auf der Deckschicht keine Randbedingung angesetzt, ist diese Schicht wasserundurchlässig und es wird nur die horizontale Grundwasserströmung berechnet. In diesem Fall könnte auch auf die Deckschicht verzichtet werden. Dann würde die Oberkante des Modells durch die Schichtgrenze zwischen Deckschicht und Grundwasserleiter definiert. Im Hinblick auf eine spätere Nachvollziehbarkeit des Modells und z. B. auf die Auswertung von Grundwasserflurabständen ist es jedoch sinnvoll, das leaky-aquifer-Modell mit den tatsächlichen Geländehöhen an der Oberkante der Deckschicht zu verwenden.

Im Laufe der Kalibrierung hat sich das System ohne Randbedingungen an der Geländeoberkante auf der Deckschicht als für die hier zu beantwortende Fragestellung besser geeignet herausgestellt. Da so keine Entspannung des Grundwassers durch Qualmwasserbildung berücksichtigt wird, ergeben sich rechnerisch höhere, auf der sicheren Seite liegende, Grundwasserstände und Seewasserspiegel.

Der Geländeoberkante (Oberkante Deckschicht), der Schichtgrenze zwischen Deckschicht und Grundwasserleiter sowie der Basis des Grundwasserleiters wurde an den einzelnen Knoten individuell Höhen zugewiesen. Damit können sich unterschiedliche Transmissivitäten des Grundwasserleiters (Wasserdurchlässigkeit bezogen auf die durchströmte Höhe) ergeben (s. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Prinzipskizze Grundwassermodell**

Die Topografie wurde aus einem digitalen Geländemodell [U4] übertragen. Die Daten lagen im 1 m-Raster vor. In das Modell wurde dann ein Raster von 25 m im Bereich der Abgrabungsseen und eines von 75 m zu den Modellrändern hin übertragen.

Die Ober- und Unterkante des Grundwasserleiters (gelbe Markierung in Anlagen 1.2 bis 1.4) wurden anhand der im Bericht [U25] dokumentierten Schichtungen sowie anhand von Archivbohrungen des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen modelliert [U8]. Insgesamt wurden

55 Bohrungen ausgewertet. Die Höhen wurden standortgetreu in das Modell übertragen und dazwischen die Höhen der Knoten entsprechend interpoliert.

Nach Unterlage [U14] des seinerzeitigen „Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Düsseldorf“ (heute Bez.-Reg. Düsseldorf, Dez. 54.2) wurde das Deichvorland zwischen Wesel und Visselsches Feld in der Vergangenheit nahezu vollständig ausgekiest und mit Abraummaterialien (verlehmte Sande) wiederverfüllt. Diese Materialien weisen eine gegenüber den sandigen und kiesigen Böden des Grundwasserleiters deutlich geringere Durchlässigkeitsbeiwerte auf. Die verlehnten Sande im Vorland sind in den Anlagen 1.2, 1.3 und 1.4 durch einen olivfarbton gekennzeichnet.

Die vorhandenen Seen sind entlang ihrer Abgrabungsböschung mit umlaufend verkippten Abraumböden (Dichtschürzen) geringer Durchlässigkeit versehen und ebenfalls in den o. g. Anlagen (rote Markierung) eingetragen.

Altarme des Rheins, die Abgrabungsseen und weitere Altgrabungsseen wie Auesee und Reeser Meer wurden mit einer Wasserdurchlässigkeit von 1 m/s und einem Porenanteil von 99 % modelliert. Die Wasserflächen sind in den Anlagen in hellblauer Farbe dargestellt. Die Festlegung der Randbedingungen erfolgte nach Auswertung der Stellungnahme des Ingenieurbüro Janßen vom 09.09.2008 [U5] und der Auswertung von Grundwasserstandsmessdaten aus dem Zeitraum 1990 bis 2008. Das Ingenieurbüro Janßen bezog sich in seinen Auswertungen darüberhinaus auf Grundwassergleichenpläne aus den Jahren 1973 und 1988.

## 4.1.3 Kenngrößen

Zunächst wurde mit den Durchlässigkeitsbeiwerten, wie diese bereits in dem Gutachten [U24] abgeschätzt waren, gerechnet:

Grundwasserleiter:	$k = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Grundwasserleiter, Nordosten:	$k = 5,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Dichtschürzen:	$k = 5,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
Uferbereichen:	$k = 5,0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Wie sich bei der Kalibrierung zeigte, mussten die Durchlässigkeit geringfügig modifiziert werden, um eine bessere Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenwerten zu erreichen. Für die Modellierung wurden schließlich folgende Werte festgelegt:

**Tabelle 3: hydraulische Kenngrößen**

Boden	$k_{hx}$ [m/s]	$k_{hy}$ [m/s]	$k_v$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	-	0.20	Land
	1.000	1.000	-	0.99	Wasserfläche
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$5.000 \cdot 10^{-6}$	-	0.10	Dichtschürze
	$1.000 \cdot 10^{-4}$	$1.000 \cdot 10^{-4}$	-	0.20	Vorlandverfüllung

Hierin bedeuten:

- $k_{hx}$ : horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert in X-Richtung
- $k_{hy}$ : horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert in Y-Richtung
- $k_v$ : vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert
- $n_{eff}$ : effektiver Porenanteil

Wie in der obigen Tabelle zu erkennen ist, sind die Durchlässigkeitsbeiwerte in den beiden horizontalen Richtungen gleich angenommen und in der vertikalen Richtung nicht berücksichtigt worden. Es ist also von horizontal gleichen, d. h. isotropen Verhältnissen ausgegangen worden. Im Hinblick auf das wesentliche Untersuchungsziel, die maximalen Seewasserspiegellagen infolge von extremen Rheinhochwässern abzubilden, ist die horizontale Durchlässigkeit dominierend, so dass die vertikale Durchlässigkeit, die bei geschichtetem Baugrund durchweg geringer ausfällt, vernachlässigbar ist.

Das Bodenmodell geht von einem Drei-Komponenten-Medium aus, dass aus dem Feststoff und den zwischen den Feststoffpartikeln vorhandenen Poren gebildet wird, die entweder mit Luft und/oder Wasser gefüllt sein können. Im wassergesättigten Zustand, wie dies bei wasserdurchströmten Böden der Fall ist, sind die Poren vollständig mit Wasser gefüllt. Da an den Bodenpartikeln nicht frei bewegliches sogenanntes Haftwasser haftet, kann der theoretisch vorhandene gesamte Porenraum vom Sickerwasser nicht vollständig zur Durchströmung genutzt werden, sondern lediglich der effektiv nutzbare Porenraum  $n_{eff}$ . Der Anteil des effektiven Porenraums ist nur bei teilgesättigten Zuständen im Boden von Bedeutung.

## 4.2 Abgrabungszustände

Für die Modellberechnung wurden drei verschiedene Abgrabungszustände untersucht:

- **Ausgangszustand 2008**
- **Ist-Zustand 2017**
- **Endzustand einschließlich Histenbruch.**

### **Ausgangszustand 2008**

Die vorhandenen Seen sind entlang ihrer Abgrabungsböschung mit umlaufenden verkippten Abraumböden (Dichtschürzen) geringer Durchlässigkeit versehen bzw. weisen hydraulische Öffnungen in Form von Kiesfenstern innerhalb dieses Schichtenpaketes auf. Das Kippen der Dichtschürzen erfolgt abbaubegleitend. Die Lagen der Dichtschürzen sind in den Anlage 1.2 (Ausgangszustand) und Anlage 1.4 (Endzustand) dargestellt.

Hydraulische Fenster bzw. Öffnungen innerhalb des verkippten Abraumes sind abschnittsweise entlang der Seeufer Diersfordter Waldsee, Vahnummer Bruch/Bergerfurth, Ellerdonk, Visselbruch und Jöckern vorhanden. Eine geschlossene umlaufende Abraumverkipfung der Uferböschungen weisen die Seen Brüggenhof, Leckerfeld, sowie die einzelnen Abgrabungseen im Visselschen Feld (Menting & Bresser) auf. Die einzelnen Abgrabungseen innerhalb der Abgrabungsfläche des Visselschen Feldes sind entlang ihrer Uferbereiche mit Abraummaterial zur Verminderung der Wasserdurchlässigkeit verkippt. Aufgrund der kleinflächigen Parzellierung wurden zur Vereinfachung der Modellberechnung die einzelnen Seen des Visselschen Feldes zu einer Gesamtseefläche zusammengefasst. Der Ansatz einer umlaufenden Abraumverkipfung für die Gesamtseefläche gegenüber der „inneren Abdichtung“ der einzelnen Abgrabungseen hat auf die Ergebnisse der Modellberechnung für die geplante Abgrabung Histenbruch und Vissel-Süd keinen Einfluss. Die Abgrabungen ehemals Dr. Boettger (Bergerfurth) weisen nach den erhaltenen Informationen keine ausgeprägten Abdichtungen auf, so dass hier von einer hydraulischen Verbindung zum Grundwasserleiter ausgegangen wurde.

### **Ist-Zustand 2017**

Der Ist-Zustand 2017 wurde auf Grundlage der aktuellen Vermessung (dwg-Datei, Mail Hollemans vom 14.09.2017), der topografischen Karte und Luftbildern abgebildet.

Die zukünftigen Abgrabungszustände wurden zusammenfassend wie folgt betrachtet:

## **Endzustand**

mit Endaushub aller Seen einschließlich Histenbruch zum Genehmigungsstand Stichtag 01.07.2020.

In diesem in Anlage 3.4 dargestellten Endzustand werden alle Abgrabungen einschließlich der beantragten Abgrabung Histenbruch in dem geplanten Endausbau berücksichtigt.

## **5. Modellkalibrierung**

Die Modellkalibrierung erfolgte durch instationäre Berechnungen für drei Abflussszenarien in den Jahren 2007, 2008 und 2017. Die Kalibrierungsberechnungen wurden jeweils für das ganze Jahr unter Ansatz der vollständig übernommenen Pegeldaten vorgenommen. Hierzu wurden für die drei o.g. Abflussszenarien die Wasserstände im Rhein an den Pegeln Wesel und Rees auf Basis der Tageswerte als zeitlich veränderbare Potentialrandbedingungen modelliert. Diese wurden für die zwischen dem Pegel Wesel und dem Pegel Rees liegenden Netzknoten linear interpoliert. In der Lippe wurde mit Hilfe der Pegel Wesel, Pegel Fusternberg und Pegel Schermbeck (bis zum Modellrand) ebenso verfahren.

In der Issel wurden nach Erhalt der Unterlagen von ProAqua [U22] keine zeitlich veränderbaren Wasserstände, sondern die jeweiligen Medianwerte der Isselwasserstände angesetzt. An den Issel-Pegeln Dämmerwald (östlich außerhalb des Modellgebiets) und Isselburg (nördlich außerhalb des Modellgebiets) betragen die Differenzen zwischen dem Mittelwasser und dem mittleren Hochwasser etwa 1 m [<http://luadb.lids.nrw.de/LUA/hygon/>]. In Anbetracht des großen Abstandes des östlichen Modellrandes von den hier zu betrachtenden Abgrabungsseen, der kurzen Standzeiten der Isselhochwässer und der wesentlich größeren Wasserspiegelschwankungen im Rhein, ist diese vereinfachende Vorgehensweise vertretbar und hinreichend genau.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind zusammen mit den gemessenen Grundwasserständen als Grundwasserganglinien für die Jahre 2007 (Anlagen 4.1.2 bis 4.1.5), 2008 (Anlagen 4.2.2 bis 4.2.5) und für das Jahr 2017 (Anlagen 4.3.2 bis 4.3.5) dargestellt. Die entsprechenden Wasserstände der Rheinpegel sind in den Diagrammen ebenfalls eingetragen.

Die jeweils ersten Anlagen in der Anlage 4 (also 4.1.1, 4.2.1 und 4.3.1) zeigen die berechneten Grundwassergleichen an den genannten Stichtagen. Für diese Stichtage sind in den in der Anlage 4.4 hinterlegten Tabellen (Anlagen 4.4.1, 4.4.2 und 4.4.3) die Messwerte der Suco-Pegel und von vier ausgewählten, weiter im Hinterland liegenden ELWAS-Messstellen den berechneten Werten an diesen Standorten gegenübergestellt. **Diese vier ELWAS-Messstellen sind repräsentativ für die jeweiligen Hinterlandbereiche, so dass sich Auswertungen weiterer Hinterlandmessstellen erübrigen.**

Die Wasserstände in den rheinnahen Pegeln (Suco Pegel 1, 9 und 10) werden durch die Wasserstandsschwankungen im Rhein beeinflusst. Die übrigen Pegel zeigen nur eine geringe oder keine Korrelation mit dem jeweiligen Rheinwasserstand.

Auf Grundlage dieser Daten (Suco-Pegel + ELWAS) wurden im Modellgebiet Grundwassergleichenpläne für die jeweiligen Ist-Zustände erstellt. Für die Suco-Pegel liegen Daten von Stichtagsmessungen am 10.04.2007, 14.05.2008 und 25.10.2017 vor. Diese Stichtagsmessungen dienen auch zur Kalibrierung des Grundwassermodells. In Anlagen 2.1 – 2.12 sind die Isolinien (Messwerte) zu den Stichtagen dargestellt. Auswertungen der Isolinien zeigen, dass die Grundwasserströmung von Nordosten zum Rhein hin gerichtet ist.

Die berechneten Wasserstände in den drei Zeiträumen 2007, 2008 und 2017 zeigen insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Grundwasserständen. Der mittlere relative Fehler für die vorgenommenen Berechnungen für die Jahre 2007, 2008 und 2017 liegt nach der im DVGW-Arbeitsblatt W 107 [U27] beschriebenen Vorgehensweise unter 5 %. **Es kann damit von einer insgesamt guten Übereinstimmung von Mess- zu Rechenwerten und deshalb von einem für die vorliegenden Fragestellungen brauchbarem Grundwassermodell ausgegangen werden.**

## 6. Modellvalidierung

Das DVGW-Arbeitsblatt W 107 [U27] definiert die Modellvalidierung als das

„Überprüfen eines Modelles durch Vergleich gerechneter und gemessener Kenngrößen anhand eines Datensatzes des gleichen Gebiets, jedoch für einen Zeitraum außerhalb des Modellkalibrierungszeitraumes“.

Bei den oben dargestellten Kalibrierungsberechnungen wurden nicht nur die einzelnen Stichtage am 10.04.2007, 14.05.2008 und 25.10.2017 berechnet, sondern wegen der veränderlichen Wasserspiegellagen des Rheins die jeweils ganzen Jahreganglinien für die Jahre 2007, 2008 und 2017 berechnet. Damit ist es möglich, nicht nur einzelne Ereignisse außerhalb der Modellkalibrierungszeitpunkte zu betrachten, sondern die jeweiligen Jahregänge der Grundwassermessstellen.

Die Ganglinien für die Jahre 2007, 2008 und 2017 sind in den weiteren Anlagen dargestellt. Die Ganglinien der Messdaten sind jeweils mit Symbolen gekennzeichnet. Die berechneten Ganglinien sind ohne Symbole als Striche in gleicher Farbe aufgetragen.

In allen drei betrachteten Jahren ergeben sich gute Übereinstimmungen der berechneten Ganglinien mit den Messdaten. **Damit hat sich das Modell als validiert im Sinne eines Modelltests nach DVGW-Arbeitsblatt W 107 (2016) bestätigt.**

## 7. Untersuchte Szenarien

Für die oben genannten Abgrabungszustände sollen die sich einstellenden Seewasserstände für folgende Rheinwasserstände prognostiziert werden:

- Mittelwasser (MW)
- Hochwasser 1995 (HW 95)
- Bemessungshochwasser (BHW)

Das Hochwasserereignis 1995 entspricht einer Wiederholwahrscheinlichkeit von 1 Mal in 100 Jahren und das Bemessungs-Hochwasserszenario stellt ein noch viel selteneres Ereignis dar, das statistisch in etwa einer Wiederholwahrscheinlichkeit von 1 Mal in 500 Jahren entspricht.

**Oberflächenabflüsse können bei den Berechnungen nicht berücksichtigt werden, weil das Modell ausschließlich Wasserbewegungen im Untergrund, sprich im Grundwasserleiter, abbilden kann. Deshalb können mit dem vorliegenden Modell auch die im Juni 2016 am Niederrhein und insbesondere in den Ortslagen Bislich, Haffen und Mehrhoog aufgetretenen extremen Niederschlagsereignissen, nicht erfasst werden.**

Für die Fragestellung des vorliegenden Hydrologischen Gutachtens, ob bei extremen Hochwasserereignissen im Rhein in den Abgrabungsseen mit Wasserständen, die eine Überflutung der angrenzenden Gelände befürchten lassen, sind die durch Starkregenereignisse verursachten Oberflächenabflüsse nicht relevant. **Mögliche Überflutungen durch extreme Niederschläge treten unabhängig vom Vorhandensein der Abgrabungsseen auf.** Dennoch wurde für die ermittelten maximalen Seewasserspiegel ein Sicherheitsmaß von 0,7 m berücksichtigt. Sollte die vorhandene Geländeoberfläche entlang des Ufersaums Abgrabungssees niedriger sein als die oben beschriebene erhöhte Wasserspiegellage, muss an diesen Stellen der Ufersaum mit Hilfe einer entsprechend hohen Verwallung angehoben werden.

Folgende überschlägige Vergleichsrechnung soll verdeutlichen, wie das Sicherheitsmaß von 0,7 m abgeschätzt wurde. Im Untersuchungsgebiet befinden sich viele Abgrabungsgewässer; eine rechnerische Ermittlung für den Ausbauzustand einschließlich Histenbruch hat einen Anteil an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes von etwa 19 % ergeben. Ausgehend von dem Starkregenereignis vom 23.06.2016 mit einer in der Ortslage Haffen ermittelten maximalen Regenspende von  $120 \text{ mm /m}^2$  würde sich unter der Voraussetzung eines vollständigen und gleichmäßigen Abflusses im gesamten Untersuchungsgebiet (diese Annahme ist natürlich unrealistisch ungünstig) in die Seenflächen rechnerisch eine Wasserspiegelanhebung von ca. 0,63 m (gerundet 0,7 m) ergeben.

## 8. Berechnungsergebnisse

### 8.1 Mittelwasser

Der Mittelwasserfall stellt den unkritischen „Normalzustand“ der hydrogeologischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet dar, bei dem Seewasserübertritte in keinem Fall auftreten werden. In den Anlagen 6.1 (Ist-Zustand) und 7.1 (Endzustand) sind die Linien gleicher Grundwas-

serstände für den Mittelwasserstand dargestellt. In beiden Fällen ergibt sich erwartungsgemäß eine von Nordosten zum Rhein hin gerichtete Grundwasserströmung, die nur wenig durch die Abgrabung im Endzustand beeinflusst ist. Lediglich im Anströmbereich östlich des Diersfordter Waldsees kommt es zu einer leichten Absenkung und im Abstrom im Bereich Vissel-Süd zu einer geringfügigen Aufhöhung des Grundwasserstands.

In der Anlage 8.1 sind die Differenzen der Grundwasserstände zwischen End- und Ist-Zustand als Farbflächen aufgetragen. Diese Darstellung bestätigt, dass im Wesentlichen nur geringe Wasserstandsunterschiede zwischen Ist-Zustand und Endzustand bei maximaler Ausdehnung der Abgrabungsflächen von etwa  $\pm 0,2$  m zu erwarten sind. Dabei beschränken sich die Wasserstandsunterschiede auf den Nahbereich der Abgrabungen. Ab einem Abstand von ca. 700 m zu den Abbauflächen sind keine Wasserstandsunterschiede mehr zu erwarten. Die gekennzeichneten größeren Wasserstandsschwankungen zwischen Ist- und Endzustand sind bei Vissel-Süd mit  $- 0,4$  m und bei Visselbruch und Histenbruch mit  $+ 0,4$  m angegeben. Diese resultieren aus dem Umstand, dass zum Ausgangszeitpunkt diese Flächen noch Landflächen waren.

## 8.2 Hochwasser 1995

Das Hochwasser 1995 war ein extremes Hochwasserereignis, das eine rechnerische Wiederholwahrscheinlichkeit von 100 Jahren aufweist und bei dem deshalb auch mit hohen Grundwasser- und Seewasserständen zu rechnen ist.

In den folgenden Anlagen 6.2 bis 6.4 und 7.2 bis 7.4 sind die Linien gleicher Grundwasserstände für die Hochwasserwelle 1995 für unterschiedliche Zeitpunkte dargestellt:

- den Scheitel der Hochwasserwellen ( $t = 30$  Tage),
- die abgelaufene Hochwasserwelle ( $t = 41$  Tage) und
- für einen Zeitpunkt 3 Monate nach der Welle ( $t = 130$  Tage).

Mit dem Auflaufen einer Hochwasserwelle im Rhein wird der Abstrom des Grundwassers behindert und im ufernahen Bereich tritt eine entgegengesetzte Grundwasserströmung ein, mit der Flusswasser in den Grundwasserleiter infiltriert. Dadurch kommt es im Bereich der Abgra-

bungsseen zu einer Überlagerung beider Strömungen. Die Erweiterung der Seeflächen im Bereich Vissel Süd führt dann dazu, dass hier das Grundwasser in Ufernähe leicht abgesenkt wird. Ebenso fällt im See Ellerdonk wegen des Austausches mit der neu angelegten Abgrabung Histenbruch der Wasserspiegel ab.

Die Anlagen 8.2, 8.4 und 8.6 zeigen die Grundwasserstands- bzw. Seewasserspiegeldifferenzen zwischen End- und Istzustand 2017 bei Ansatz eines Hochwasser 1995 zu verschiedenen Zeitpunkten der Welle. Selbst bei einem langen Betrachtungszeitraum (hier  $t = 130$  Tage) sind nur geringe Veränderungen der Wasserspiegellagen zwischen Ist- (noch nicht alle Seeflächen ausgebildet) und Endzustand (alle Seeflächen vorhanden) festzustellen. Wasserstandunterschiede treten nur im Nahbereich der Abgrabungen auf.

Die sich aus den Berechnungen ergebenden Seewasserganglinien sind in den Anlagen 6.5 und 7.5 dargestellt und zeigen das verhältnismäßig träge Verhalten der Seewasserspiegel trotz hohen Rheinwasserspiegels.

Es sind im bislang aufgetretenen höchsten Hochwasserereignis keine Übertritte von Seewasser in das umliegende Gelände zu besorgen, weil immer ein ausreichend großes Freibord von  $> 0,8$  m zum umliegenden Gelände vorliegt.

## 8.3 Bemessungshochwasser 2004

Das Bemessungshochwasser ist ein noch deutlich selteneres und extremeres Hochwasserereignis, das für die Auslegung von Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein entwickelt wurde. Es weist eine rechnerische Wiederholwahrscheinlichkeit von fast 500 Jahre auf und ist bislang noch nie beobachtet worden. Bei einem solchen Hochwasserereignis sind die höchsten Grund- und Seewasserspiegel zu erwarten, so dass dieses Hochwasserereignis das denkbar ungünstigste Nachweisszenario für die bestehenden und beantragten Abgrabungsseen im Untersuchungsgebiet darstellt.

Die Ergebnisse für das Bemessungshochwasser sind in den Anlagen 6.6 bis 6.8 (Ist-Zustand) und 7.6 bis 7.8 (Endzustand) in gleicher Form zusammengestellt. Wegen der höheren Wasserstände im Rhein sind die oben beschriebenen Effekte hier stärker ausgeprägt. Die Grund- bzw.

Seewasserganglinien in den Anlagen 6.9 (Ist-Zustand) und 7.9 (Endzustand) zeigen einen qualitativ ähnlichen Verlauf, jedoch mit stärker ausgeprägten Amplituden. Die im nachfolgenden Kapitel zusammengestellten maximalen Seewasserspiegel zeigen, dass auch bei diesem extremen Hochwasserereignis an keiner Stelle ein Übertritt von Seewasser in das umliegende Gelände zu befürchten

Die in den Anlagen 8.1 bis 8.7 dargestellten Differenzenplänen, verdeutlichen, welche Grund- und Seewasserspiegelunterschiede sich zwischen dem Ist-Zustand und dem Endzustand für die verschiedenen untersuchten Rheinwasserstandszenarien ergeben. Diese Seewasserspiegelunterschiede liegen je nach Nähe des jeweiligen Sees zum Rhein in der Größenordnung von ca. -0,4 bis + 0,2 m. Ausnahmen bilden nur jene Bereiche, die im jetzigen Zustand noch Landflächen darstellen. Dies wird besonders deutlich in der Anlage 8.5 (Differenzenplan Ist- zu Endzustand bei BHW, Tag 41) an den Südenden der Seen Vahnum-Ree und Vissel-Süd mit Absenkungen um etwa 0,8 m sowie Visselbruch und Histenbruch mit Aufhöhungen um etwa 0,4 m

## 8.4 Ergebniszusammenstellung

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Anlagen 6 und 7 für die untersuchten Zustände zusammengefasst. Danach ergeben sich in den meisten Abgrabungsseen infolge des vergrößerten Speichervolumens der Seen im Endzustand bei den untersuchten Szenarien niedrigere Wasserstände als im Ausgangszustand 2008 und im Ist-Zustand 2017. Die sich aus der Lage der prognostizierten Seewasserspiegel für das Bemessungshochwasser im Rhein ergebenden möglichen Seewasserübertritte sind in der Tabelle 4 und die daraus abzuleitenden Maßnahmen sind der besseren Übersichtlichkeit halber in Tabelle 5 zusammengestellt.

**Tabelle 4: Prognostizierte Seewasserstände**

Seeflächen	Ist-Zustand 2017			Endzustand		
	MW	HW 95	BHW	MW	HW 95	BHW
Diersfordter See	15,84	15,98	16,22	15,64	15,75	15,91
Histenbruch	15,25*)	15,34	15,62	15,42	15,53	15,72
Brüggenhof	15,37	15,46	15,63	15,43	15,49	15,60
Ellerdonk	14,56	14,73	15,11	14,61	14,76	15,17
Visselbruch	15,20	15,28	15,41	15,22	15,26	15,32
Jöckern	15,22	15,30	15,42	15,22	15,26	15,32
Visselsches Feld	14,96	15,03	15,16	14,98	15,04	15,14
Vahnumer Bruch / Bergerfurth	15,39	15,46	15,56	15,37	15,41	15,48
Vissel-Süd	14,40*)	14,53	14,91	14,08	14,32	14,67
Vahnum-Ree	14,10*)	14,44	14,90	14,16	14,43	14,79

<sup>\*)</sup> Potential unter der Deckschicht, See ist noch nicht abgegraben

**Tabelle 5: Mögliche Seewasserübertritte und notwendige Maßnahmen**

Seeflächen	Ist-Zustand 2017	Endzustand	Mindestens vorhandene GOF	Erforderliche GOF max Wasserstand + 0,7m	Maßnahmen notwendig
	BHW	BHW	m NHN	m NHN	m
Diersfordter See	16,22	15,91	18,50	16,92	nein
Histenbruch	15,62	15,72	18,10	16,42	nein
Brüggenhof	15,63	15,60	17,00	16,33	nein
Ellerdonk	15,11	15,17	18,12	15,87	nein
Visselbruch	15,41	15,32	17,10	16,11	nein
Jöckern	15,42	15,32	17,00	16,12	nein
Visselsches Feld	15,16	15,14	17,90	15,86	nein
Vahnum-Bruch / Bergerfurth	15,56	15,48	15,80	16,26	ja Verwallung ca. 0,5m
Vissel-Süd	14,91	14,67	18,40	15,61	nein
Vahnum-Ree	14,90	14,79	16,00	15,60	nein

## 8.5 Bewertung und Fazit

Nach den Berechnungsergebnissen ist **ein Übertreten von Seewasser in das umliegende Gelände unter den angenommenen Hochwasserszenarien an keiner Stelle zu besorgen**. Wie im Ergänzenden Hydrogeologischen Gutachten vom 20.01.2018, Unterlage [U25], erläutert, ist ein zeitliches Zusammentreffen von Extremhochwässern und Starkniederschläge äußerst unwahrscheinlich. Dennoch wird bei der Abgrabungsplanung vorsorglich berücksichtigt, dass hier zur Ableitung des Niederschlagwassers ausreichend Stapelvolumen vorhanden ist. Unter Berücksichtigung des zusätzlichen Stapelvolumens von ca. 0,7 m in den Abgrabungsseen zur Aufnahme von Oberflächenwasser aus Starkniederschlagsereignissen würde lediglich am See Vahnum-Bruch/Bergerfurth entlang der Nordwestseite eine Verwallung von ca. 0,5 m Höhe erforderlich sein. Hier wurde jedoch bereits in den 1970er Jahren auf dem natürlichen

Gelände ein Fahrweg mit einem Niveau von ca. 17,5 m NHN angelegt, der gleichzeitig einen Wasserübertritt in das tiefer gelegene Umland verhindert.

Die Ergebnisse mit dem erweiterten Modell zeigen im Vergleich mit den Ergebnissen im vorangegangenen, eine geringere Fläche umfassenden Modell, dass **die Seewasserspiegel im erweiterten Modell bei Hochwassereinfluss tendenziell weniger stark ansteigen**. Diese Ergebnisse werden auch in den in den Anlagen 8.1 bis 8.7 dargestellten Differenzenplänen deutlich, die anzeigen, welche Grund- und Seewasserspiegelunterschiede sich zwischen dem Ist-Zustand und dem Endzustand für die verschiedenen untersuchten Rheinwasserstandszenarien ergeben. Diese Seewasserspiegelunterschiede liegen je nach Nähe des jeweiligen Sees zum Rhein in der Größenordnung von ca. -0,4 bis + 0,2 m. Ausnahmen bilden nur jene Bereiche, die im jetzigen Zustand noch Landflächen darstellen.

Die Abflachungen der jeweiligen Seewasserspiegelamplitude beruhen auf dem fast vervierfachen Modellgebiet und den an die Hochwasserganglinien der entlang der Modellgebietsränder verlaufenden Vorfluter wie Lippe und Issel angepassten Randbedingungen. Diese Randbedingungen sind tatsächlich niedriger, als wir dies in den ursprünglichen stationären Randbedingungen vorgegeben hatten.

## 9. Schlussbemerkungen

Zusammenfassend ergeben sich aus den aktualisierten Berechnungsgängen folgende Schlussfolgerungen:

- (1) Im vorliegenden hydrogeologischen Gutachten sind die Ergebnisse der instationären Grundwassermodellberechnungen für den Hochwasserfall erläutert und bewertet.
- (2) Die Eichung des Grundwassermodells basiert auf Ergebnissen der Messungen an vorhandenen Grundwassermessstellen und Lattenpegel für die Stichtagsmessung 25.10.2017.
- (3) Die Ergebnisse des Grundwassermodells basieren auf Annahmen für die im Uferbereich verkippten Abraumböden (Materialzusammensetzung und Wasserdurchlässigkeit) sowie die Vorlandverfüllung der ehemaligen Abgrabungen.

- (4) Aus den Ergebnissen der Modellberechnungen lassen sich für den überwiegenden Teil der Abgrabungsränder keine nachteiligen Veränderungen der untergrundhydraulischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet ableiten.



Dipl.-Ing. Christoph Borchert

Staatlich anerkannter Sachverständiger

