



Borchert Ingenieure · Steeler Straße 529 · 45276 Essen

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

Holemans Niederrhein GmbH
Vor dem Rheintor 17
46459 Rees

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/Fo
Datum	20.01.2018
Datei	8263-g11.doc

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

Ergänzendes Hydrogeologisches Gutachten

**Grundwassermodellberechnung zur Auswirkung
des Grundwasserspiegels und der Seewasser-
spiegel durch die geplanten Abgrabungserweite-
rungen**

AUFTRAGGEBER: **Holemans Niederrhein GmbH, Rees**

PROJEKTBEARBEITER: **Dipl.-Ing. Borchert
8263-g11**

GUTACHTEN UMFASST: **35 Textseiten
8 Anlagen**

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



Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Vorbemerkungen	1
1.1 Veranlassung	1
1.2 Aktualisierung der Abgrabungsflächen	2
1.3 Unterlagen	4
1.4 Topographie.....	6
2. Datengrundlage.....	7
2.1 Schichtenfolge	7
2.2 Grundwasser.....	8
2.3 Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen vom 25.10.2017	10
2.4 Ergebnisse der Pumpversuche	11
3. Starkregenereignisse.....	12
3.1 Veranlassung	12
3.2 Niederschläge im Abgrabungsgebiet vom Sommer 2016.....	13
3.2.1 Allgemeine Situation	13
3.2.2 Ortslage Bislich	14
3.2.3 Ortslage Haffen.....	15
3.2.4 Ortslage Mehrhoog	16
3.3 Rheinhochwasserereignisse	18
3.4 Nichtberücksichtigung der Oberflächenwasserabflüsse.....	19
4. Geohydraulische Modellberechnungen	20
4.1 Randbedingungen und Berechnungsannahmen.....	20
4.2 Bodenkenngößen.....	21
4.3 Randbedingungen.....	22
4.4 Rheinwasserstände und Rheinhochwasserereignisse.....	23
4.5 Grundlagen der Modellierung	24
4.6 Eichung des Grundwassermodells	26
4.7 Berechnungsergebnisse.....	29



5.	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	31
6.	Schlussfolgerungen für die Rekultivierungsplanung.....	33
7.	Schlussbemerkungen.....	34



Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtslageplan mit Eintragung der vorhandenen und geplanten Dichtschürzen

Anlage 2: Gewässerlandschaft mit Eintragung der Untersuchungsgrenze

Anlage 3: Lagepläne und FE-Netze

Anlage 3.1: Ausgangszustand 2008

Anlage 3.2: Ist-Zustand 2017

Anlage 3.3: Zwischenzustand

Anlage 3.4: Endzustand

Anlage 4: Modellkalibrierung

Anlage 4.1: Stichtagsmessungen 10.04.2007 und 14.05.2008

Anlage 4.2: Stichtagsmessung 25.10.2017

Anlage 5: Idealisierte Hochwasserwellen MW, HW 1995, BHW

Anlage 6: Ist-Zustand 2017

Anlage 6.1: Linien gleicher Wasserstände MW

Anlage 6.2: Linien gleicher Wasserstände HW 1995

Anlage 6.3: Linien gleicher Wasserstände BHW

Anlage 6.4: Grundwasserganglinien HW 1995

Anlage 6.5: Grundwasserganglinien BHW

Anlage 7: Zwischenzustand

Anlage 7.1: Linien gleicher Wasserstände MW

Anlage 7.2: Linien gleicher Wasserstände HW 1995

Anlage 7.3: Linien gleicher Wasserstände BHW

Anlage 7.4: Grundwasserganglinien HW 1995

Anlage 7.5: Grundwasserganglinien BHW

Anlage 7.6: Differenzenplan MW „Zwischenzustand auf 2017“

Anlage 7.7: Differenzenplan HW 1995 „Zwischenzustand auf 2017“

Anlage 7.8: Differenzenplan BHW „Zwischenzustand auf 2017“



- Anlage 8: Endzustand
- Anlage 8.1: Linien gleicher Wasserstände MW
- Anlage 8.2: Linien gleicher Wasserstände HW 1995
- Anlage 8.3: Linien gleicher Wasserstände BHW
- Anlage 8.4: Grundwasserganglinien HW 1995
- Anlage 8.5: Grundwasserganglinien BHW
- Anlage 8.6: Differenzenplan MW „Endzustand auf 2017“
- Anlage 8.7: Differenzenplan HW 1995 „Endzustand auf 2017“
- Anlage 8.8: Differenzenplan BHW „Endzustand auf 2017“
- Anlage 8.9: Differenzenplan MW „Endzustand auf Zwischenzustand“
- Anlage 8.10: Differenzenplan HW 1995 „Endzustand auf Zwischenzustand“
- Anlage 8.11: Differenzenplan BHW „Endzustand auf Zwischenzustand“

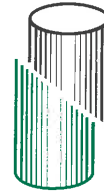


Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: max./min. Geländehöhen entlang der Abgrabungsränder.....	6
Tabelle 2: GWM-Messwerte Mai 2009	8
Tabelle 3: min/max Pegelmessungen 1990-2008.....	9
Tabelle 4: Stichtagsmessung vom 25.10.2017	11
Tabelle 5: Abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwerte	12
Tabelle 6: Modelleichung Stichtagsmessungen April 2007 und Mai 2008 (Anlage 4.1)	28
Tabelle 7: Modelleichung Stichtagsmessungen Oktober 2017 (Anlage 4.2)	28
Tabelle 8: Ergebniszusammenstellung.....	30
Tabelle 9: Anpassungen der Geländehöhen in den Uferrandbereichen.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtsplan Untersuchungsgebiet mit Dichtschürzen (s. auch Anlage 1).....	3
Abbildung 2: Rechtsrheinische Wasserscheide zwischen Rhein und Issel (violett),.....	16
Abbildung 3: Ganglinie des Pegels Isselburg im Jahr 2016, Quelle LANUV NRW.....	18
Abbildung 4: Ganglinien Rhein und Seen-Lattenpegel	29



1. Vorbemerkungen

1.1 Veranlassung

Im Zuge der Genehmigungsplanung der von den Firmen Holemans Niederrhein GmbH und Menting & Bresser OHG betriebenen Abgrabungserweiterungen Histenbruch und Vissel Süd - beide im Kreisgebiet Wesel gelegen- sind vom Büro Borchert Ingenieure Hydrogeologische Modellberechnungen durchgeführt und deren Ergebnisse im Gutachten 6050/41 vom 19.04.2010 vorgelegt worden.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens der Abgrabungserweiterung Histenbruch beim Kreis Wesel sind von Betroffenen Einwendungen gegen das o. g. Hydrogeologische Gutachten und gegen die Abgrabungserweiterung vorgetragen worden. Diese Einwendungen betreffen im Wesentlichen folgende Punkte:

1. Die beantragte Abgrabungskonfiguration entspricht nicht der der miteingereichten hydrogeologischen Berechnungen.
2. 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.
3. Die den Antragsunterlagen zugrunde liegenden hydrogeologischen Modellberechnungen beruhen auf nicht zutreffenden Annahmen und sind mit unzureichenden Modellen vorgenommen worden.

Deshalb wurden die Borchert Ingenieure von der Holemans Niederrhein GmbH beauftragt das o. g. Gutachten wie folgt zu ergänzen:

1. Als neuer Ausgangszustand wird der Ist-Zustand 2017 berücksichtigt.
2. Hierzu ist eine aktuelle Stichtagsmessung der Grundwasserpegel und der Gewässerpegel am 25.10.2017 vorgenommen worden.



3. Es werden die Wasserstandsszenarien MW, HW 1995 und BHW 2004 mit idealisierten Ganglinien berücksichtigt (wie im Gutachten 2010).

4. Es werden die Abgrabungszustände

- Ausgangszustand 2008
- Ist-Zustand 2017
- Zwischenzustand mit Vissel-Süd und
- Endzustand mit Histenbruch

berücksichtigt

5. Darüber hinaus wird der Einfluss von sommerlichen Starkregenereignissen außerhalb von Extremhochwässern des Rheins, wie z. B. im Sommer 2016 in Bislich, Haffen und Mehrhoog aufgetreten, auf die Grundwasserstände im Abgrabungsgebiet untersucht.

Das Abgrabungsvorhaben Vissel-Süd der Menting & Bresser OHG ist zeitlich parallel beantragt worden und steht aktuell vor der Genehmigungserteilung. Gegenstand des vorliegenden hydrogeologischen Ergänzungsgutachtens ist die von der Holemans Niederrhein GmbH beantragte Abgrabung Histenbruch.

1.2 Aktualisierung der Abgrabungsflächen

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 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, Teilab-



grabungsflächen mit Abraumböden zu verfüllen und zu rekultivieren (grüne Linien entspricht Dichtschürzentrassen). Dieses Gesamtsystem mit zeitlich unterschiedlichen Zwischenabbauzuständen und entlang der Abgrabungsböschungen angelegten Dichtschürzen ist sehr komplex. Abbildung 1 zeigt, das gesamte Untersuchungsgebiet mit den vorhandenen Abgrabungsgewässern (dunkelblaue Flächen) und den geplanten Abgrabungsgewässern (hellgelbe Flächen).



Abbildung 1: Übersichtsplan Untersuchungsgebiet mit Dichtschürzen (s. auch Anlage 1)

Die gegenseitige Beeinflussung der Seewasserstände verändert sich laufend entsprechend dem jeweiligen Abgrabungsfortschritt. Um diese komplexen Zusammenhänge mit vertretbarem Rechenaufwand untersuchen zu können, müssen gewisse Vereinfachungen für das Grundwassermodell getroffen werden.



Für die vier zu untersuchenden Abgrabungszustände erfolgen die Berechnungen absprachegemäß für ein Mittelwasser (MW) und für das Bemessungshochwasser (BHW₂₀₀₄). Aus den Ergebnissen dieser Grundwassermodellberechnung ergeben sich unter den getroffenen Randbedingungen die zu erwartenden Seewasserstände. Daraus können die für die Genehmigungsplanung notwendigen Erkenntnisse

- über die erforderlichen Geländehöhen der Rekultivierungsflächen und
- die Uferbereiche identifiziert werden, in denen es zu einer Überströmung kommen kann

auf eine gesicherte Grundlage gestellt und planerisch berücksichtigt werden.

Da das rechnerische Bemessungshochwasser BHW₂₀₀₄ ein Extremereignis, welches bislang nicht aufgetreten ist, darstellt, wurde im Zuge der Bearbeitung in Absprache mit den Auftraggebern unsererseits vorgeschlagen, auch die Auswirkungen des Hochwassers 1995, welches das in den letzten Jahren bislang höchste Hochwasserereignis darstellt, zu untersuchen, gerade auch im Hinblick auf die anzulegenden Höhenniveaus der Rekultivierungsflächen.

1.3 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] Hydrologische Stellungnahme Abgrabung „Histenbruch“ des Ingenieurbüros Jansen GmbH, Wachtendonk, vom 09.09.2008 einschließlich der Anlagen 2, 3, 4 und 5



- [U5] Hydrologisches Gutachten zu den Auswirkungen des geänderten Abgrabungsvorhabens Bergerfurth und Vahnum auf die Grundwassersituation am Vahnumer Bruch vom Ingenieurbüro Lange, Moers, vom Nov. 1996
- [U6] Lageplan 1 : 10.000 mit Eintragung der Kiesfenster und Böschungsauffüllungen der Abgrabungsseen der Firma Suhrborg (heute: Holemans Niederrhein), Planungsstand 31.12.2007
- [U7] Schichtenverzeichnisse mit Ausbauplänen der Pegelbrunnen 1-13 der Firma Suhrborg (heute: Holemans Niederrhein) sowie Messdaten im Zeitraum 1990-2008
- [U8] 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
- [U9] 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
- [U10] Schichtenverzeichnis und Ausbaudaten der Grundwassermessstelle 14 der Fa. Menting & Bresser von 1996 und Messdaten des Lattenpegels von 2003-2008
- [U11] 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).

[U12] Lage der Entnahmepunkte und der Grundwasserentnahmemengen des angrenzenden Wasserwerkes Wesel-Flüren und Wesel-Blumenkamp.

[U13] Hydrologisches Gutachten mit Modellberechnungen der Abgrabungserweiterungen Histenbruch und Vissel-Süd der Borchert Ingenieure vom 2010

[U14] Ergebnisse der aktuellen Stichtagsmessung der in Betrieb befindlichen Grundwassermessstellen vom 25.10.2017.

1.4 Topographie

Nachfolgend sind die minimalen und maximalen Geländehöhen der Umrundungen der jeweiligen vorhandenen bzw. geplanten Abgrabungen zusammengestellt.

Abgrabungssee	Umrundung	
	GOF min. [m NHN]	GOF max. [m NHN]
Diersfordter Waldsee	18,50	20,00
Histenbruch	18,10	19,50
Brüggendorf	17,00	27,90
Ellerdonk	18,12	19,00
Visselbruch	17,10	19,00
Jöckern	17,00	18,10
Vahnummer Bruch/Bergerfurth	15,80	18,00
Visselsches Feld	17,90	18,50
Vissel-Süd	18,40	18,70

Tabelle 1: max./min. Geländehöhen entlang der Abgrabungsränder



2. Datengrundlage

2.1 Schichtenfolge

Es sind zwischen 2008 und 2017 keine weiteren Bohraufschlüsse geteuft worden, weil die geotechnische Datengrundlage sehr umfassend ist und als ausreichend angesehen wird. Unter Zugrundelegung der bereits 2008/2010 vorliegenden Schichtenverzeichnisse der Grundwassermessstellen ist im Projektgebiet die für den Niederrhein typische Schichtenfolge

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

vorhanden.

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 der Niederterrasseböden 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 1-14, die das gesamte Untersuchungsgebiet flächendeckend erfassen, 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 etwa im Bereich der Grundwasserstellen 1 und 2 festgestellt worden.

Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit stellt der Schichtenhorizont der tertiären Feinsande den Wasserstauer des quartären Grundwasserleiters dar.



2.2 Grundwasser

Die Grundwasserschwankungen im Untersuchungsgebiet korrespondieren unmittelbar mit dem Rheinwasserstand. Im Untersuchungsgebiet liegen eine Vielzahl von Grundwassermessstellen und langjährigen Messreihen (siehe [U7]) vor. Während der Stichtagsmessung vom 27.05.2009 wurden folgende Grundwasserstände in den vorhandenen Grundwassermessstellen gemessen:

GWM Nr.	POK (m NHN)	Wasserstand	
		m u. POK	m NHN
2	+18,85	-3,72	+15,13
3	+17,82	-2,87	+14,95
4	+19,11	-4,48	+14,63
5	+19,26	-3,35	+15,91
7	+18,59	-2,30	+16,29
8	+19,70	-3,95	+15,75
10	+20,92	-6,47	+14,43
12	+17,06	-1,29	+15,77
13	+19,16	-4,68	+14,48

Tabelle 2: GWM-Messwerte Mai 2009

Für das Grundwassermodell wurden sämtliche zur Verfügung gestellten Messdaten der vorhandenen Grundwasserpegel Nr. 1-13 (SUCO) sowie der Nr. 14 (Menting & Bresser) ausgewertet. Aus dieser Vielzahl der Messdaten ergeben sich folgende min/max Grundwasserpegelmessungen insgesamt zwischen den Jahren 1990 bis 2008.



Grundwasser- messstelle (GWM)	MIN (m NHN)	MAX (m NHN)
1	+12,67	+16,14
2	+13,78	+16,56
3	+11,80	+16,42
4	+14,43	+17,53
5	+15,17	+16,56
6	+14,76	+16,63
7	+15,77	+17,22
8	+15,06	+17,07
9	+12,77	+17,17
10	+11,91	+16,64
11	+14,98	+16,13
12 (ab 2007)	+12,32	+15,21
13	+15,00	+15,46
14 (1997-2003)	+13,44	+16,32

Tabelle 3: min/max Pegelmessungen 1990-2008

Im Rahmen des vorliegenden Ergänzungsgutachtens ist am 25.10.2017 eine aktuelle Stich-
tagsmessung der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen und funktionstüchtigen Grundwasser-
messstellen vorgenommen worden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 zusammengestellt:



2.3 Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen vom 25.10.2017

Im Rahmen des vorliegenden Ergänzungsgutachtens ist am 25.10.2017 eine aktuelle Stichtagsmessung der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen und funktionstüchtigen Grundwassermessstellen vorgenommen worden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengestellt:

Grundwassermessstelle (GWM)	Rechtswert	Hochwert	MIN (m NHN)	MAX (m NHN)	Stichtagsmessung 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 ¹⁾	1,48	-
13 (ab 10/2007)	2534031	5729673	+14,48 ¹⁾	+15,46	4,63	-)
14 (1997-2003)	nicht	bekannt	+13,44	+16,32	4,25	defekt



Grundwasser- messstelle (GWM)	Rechts- wert	Hoch- wert	MIN (m NHN)	MAX (m NHN)	Stichtags- messung 2017 [m u. POK]	Bemerkungen
B1 \triangleq R1	2535400	5731506	-	-	3,29	-
B2 \triangleq R2	2543621	5731069	-	-	2,10	-
B3 \triangleq R3	2533215	5731025	-	-	3,57	-

Tabelle 4: Stichtagsmessung vom 25.10.2017

2.4 Ergebnisse der Pumpversuche

Zur Ermittlung bzw. zur Überprüfung des für die Modellberechnung im ansetzbaren mittleren Durchlässigkeitsbeiwertes des Grundwasserleiters wurden an den 4 vorhandenen Grundwassermessstellen (SUCO)

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

Pump- und Wiederanstiegsversuche am 27.05. und 05.06.2009 durchgeführt. Aus der Absenkung und dem Wiederanstieg wurden mit Hilfe des instationären Typkurvenverfahrens von Gringarten (1971)¹ 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.

¹ 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.



GWM	Transmissivität T (m ² /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. $1,1 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 5: Abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwerte

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. Bei einem System, wie es im vorliegenden Fall zu untersuchen ist, sind diesbezüglich großflächige Annahmen zu treffen, um den Rechenaufwand in akzeptablen Grenzen zu halten. 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. Starkregenereignisse

3.1 Veranlassung

Vor dem Hintergrund der im Sommer, speziell im Juni 2016 am Niederrhein und insbesondere in den Ortslagen Bislich, Haffen und Mehrhoog aufgetretenen extremen Sommerniederschlagsereignissen, ist von Anliegern dieses Thema in das Genehmigungsverfahren zur Ab-



grabungserweiterung Histenbruch eingebracht worden. Deshalb wird im vorliegenden Ergänzungsgutachten auch auf die grundsätzlichen Auswirkungen des Oberflächenwasserabflusses dieser Starkniederschlagsereignisse auf die beantragte Abgrabungserweiterung eingegangen.

3.2 Niederschläge im Abgrabungsgebiet vom Sommer 2016

3.2.1 Allgemeine Situation

Die extremen und lokal begrenzten Niederschläge im Juni 2016 haben in topographisch ungünstigen Lagen zu einer Überflutung von Randgräben, Straßen, Ackerflächen und einzelnen Kellern geführt. Während die Keller und die Straßenflächen durch gezieltes Abpumpen oder durch Aufrechterhaltung der Vorflut in den Ablaufgräben infolge der Einleitung dieser Wässer in die Abgrabungsseen Reeser Meer Nord und Süd verhältnismäßig schnell wieder trocken gelegt werden konnten, stand das Oberflächenwasser auf den Ackerflächen teilweise über Monate.

Das erste Halbjahr 2016 war im gesamten Einzugsgebiet des Rheins sehr niederschlagsreich, was sich in deutlich über dem langjährigen Mittel liegenden Rheinwasserständen und auch in erhöhten Grundwasserständen ausgedrückt hat. Die erhöhten Grundwasserstände resultieren aus den erhöhten Wasserständen im Vorfluter Rhein und der Behinderung des Grundwasserabflusses. Die zugehörigen Grundwassermessstellen zeigten auch in dieser Situation immer noch deutliche Flurabstände von etwa 1 – 3 m an, so dass das in Geländesenken auf Ackerflächen über Wochen und Monate zu beobachtende Wasser nicht abfließendes und wegen der gering durchlässigen Böden auch nicht versickerndes Oberflächenwasser darstellt und es sich hier nicht um über der Geländeoberfläche stehendes Grundwasser handelt.

Hinzu kamen im Sommer 2016 zwei extreme Starkregenereignisse im Juni (3. und 23. Juni), bei denen Niederschläge mit einer Spende von bis zu $120 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (gemessen in Haffen) fielen. Der Referenzwert des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Einstufung als Starkregenereignis liegt bei $50 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Bezogen auf einen mittleren Jahresniederschlag im Untersuchungsgebiet von 760 mm, bedeutet das o. e. Starkregenereignis, dass in wenigen Stunden der Gesamtniederschlag von ca. 2 Monaten gefallen ist. **Auf den Abfluss einer solch gewaltigen Niederschlagsspende sind die örtlichen Entwässerungssysteme nicht ausgelegt.**



Das Abflussverhalten des Niederschlagswassers wird durch die Geländetopographie bestimmt, die am Niederrhein in der Regel nur geringe Höhenunterschiede aufweist. Zunächst kann das Niederschlagswasser als Oberflächenwasser über Kanalisation, Straßenrandgräben oder sonstige Ablaufgräben, Rückhaltebecken etc. abfließen oder zwischengespeichert werden. Sind die Kapazitäten dieser Abfluss- oder Rückhaltespeicher erschöpft, steigt der Wasserspiegel weiter an und fließt ins freie Gelände. Es sammelt sich dann in den natürlichen oder künstlichen Tiefpunkten wie Geländesenken, Kellern oder Treppenabgängen und diese laufen voll. Dieses Phänomen tritt vorzugsweise in den frühen Sommermonaten auf, weil es dann zu den Starkregenereignissen kommt und die Ablaufgräben bei bedarfsgerechter Unterhaltung noch bewachsen und in ihrer Abflusskapazität eingeschränkt sind.

In diesen metrologischen Ausnahmesituationen sind isolierte Geländesenken auf Acker- und Weideflächen besonders betroffen, die an keine Vorflut angeschlossen sind. An diesen Stellen ist die üblicherweise 1,5 – 3 m starke gering durchlässige Flutlehmdecke durch die über lange Zeiträume stattgefunden natürliche Sedimentation feinkörniger Bestandteile verstärkt worden. **Deshalb kann hier das Oberflächenwasser weder versickern noch in niederschlagsreichen Perioden in ausreichendem Maße verdunsten. Es verbleibt deshalb über Monate an Ort und Stelle und behindert die Landwirtschaft.**

Trotz dieser im gesamten Projektgebiet anzutreffenden Gegebenheiten, sind in den genannten Ortslagen auch spezifische Besonderheiten für die eingetretenen Überflutungsschäden von Bedeutung, die nachfolgend erörtert werden.

3.2.2 Ortslage Bislich

Das Gebiet um Bislich wird vom Harsumer Graben in Richtung der bestehenden Abgrabung Brüggenhofsee entwässert. Bei einem mittleren Seewasserspiegel im Brüggenhofsee von ca. +15,85 m NHN ist bei der derzeitigen Abgrabungssituation durchgehend eine Vorflut zum See gegeben und der Harsumer Graben ist damit funktionstüchtig. Im Sommer 2016 war eine Geländesenke westlich der Bislicher Straße überflutet.

Bei Realisierung der beantragten Abgrabung Histenbruch wird der Harsumer Graben bis zur Bislicher Straße aufgenommen und verkürzt. Von Einwendern aus der Ortschaft Bislich wird



deshalb befürchtet, dass sich die Abflussverhältnisse im Harsumer Graben bei steigenden Seewasserspiegeln verschlechtern werden und es deshalb zu Rückstauwirkungen und dadurch bei Starkregenereignissen die Gefahr von Überflutungen in Bislich zunehmen kann. Bis zu Seewasserspiegeln von 16,30 m NHN kann der Harsumer Graben frei in den neu entstehenden Histenbruchsee entwässern.

Der Antragsteller plant eine steuerbare Wehranlage am Übergabepunkt des Harsumer Grabens in den entstehenden Abgrabungssee Histenbruch mit einer Pumpanlage zu errichten. Bei Seewasserständen über ca. 16,30 m NHN wird das regelbare Wehr geschlossen und das im Graben zulaufende Wasser in den See übergepumpt.

Eine ähnliche Situation wird zwischen dem geplanten Histenbruchsee und dem bereits vorhandenen Brüggenhofsee entstehen. Bis zu einem Seewasserspiegel von 16,55 m NHN wird der geplante Histenbruchsee in den Brüggenhofsee entwässern können. Deshalb soll auch hier ein regelbares Wehr installiert werden, das ab einem Wasserstand von 16,55 m NHN geschlossen werden wird. Durch beide Maßnahmen wird die derzeitige Abflusssituation zumindest beibehalten, wenn nicht verbessert.

Die Folgen extremer Starkniederschlagsereignisse, wie diejenigen vom Juni 2016, bei denen die zuströmenden Oberflächenwassermengen entweder nicht zum Vorfluter Harsumer Graben gelangen konnten oder dessen Abflusskapazität überschritten haben, sind durch diese Maßnahmen nicht vollständig zu beherrschen; sie wären es aber ohne die Realisierung der beantragten Abgrabung ebenso wenig.

3.2.3 Ortslage Haffen

Die Ortslage Haffen war durch die Starkregenereignisse vom Juni 2016 besonders betroffen, weil hier am 23.06.2016 die gemessene Niederschlagsmenge von 120 mm/m² niedergegangen ist und zahlreiche Keller überflutet hat.

In dieser Situation hat es sich nach Auskunft des Deichverbandes Bislich-Landesgrenze als hilfreich erwiesen, den hier maßgebenden Ablaufgraben per Notüberlauf in die umliegenden Abgrabungsseen Reeser Meer Südsee, deren Wasserspiegel regelmäßig unterhalb derer der Ablaufgräben liegen, zu entwässern und so eine stetige, kontinuierliche Vorflut aufrecht zu er-



halten. Auf diese Weise sind beispielsweise die im Zuge des Starkregenereignisses vom Juni 2016 überfluteten Flächen in der Ortslage Haffen in wenigen Tagen entwässert worden.

3.2.4 Ortslage Mehrhoog

Die Ortslage Mehrhoog (zur Stadt Hamminkeln gehörend) ist im hydrogeologischen Sinn in einen Westteil und einen Ostteil durch eine Wasserscheide geteilt.

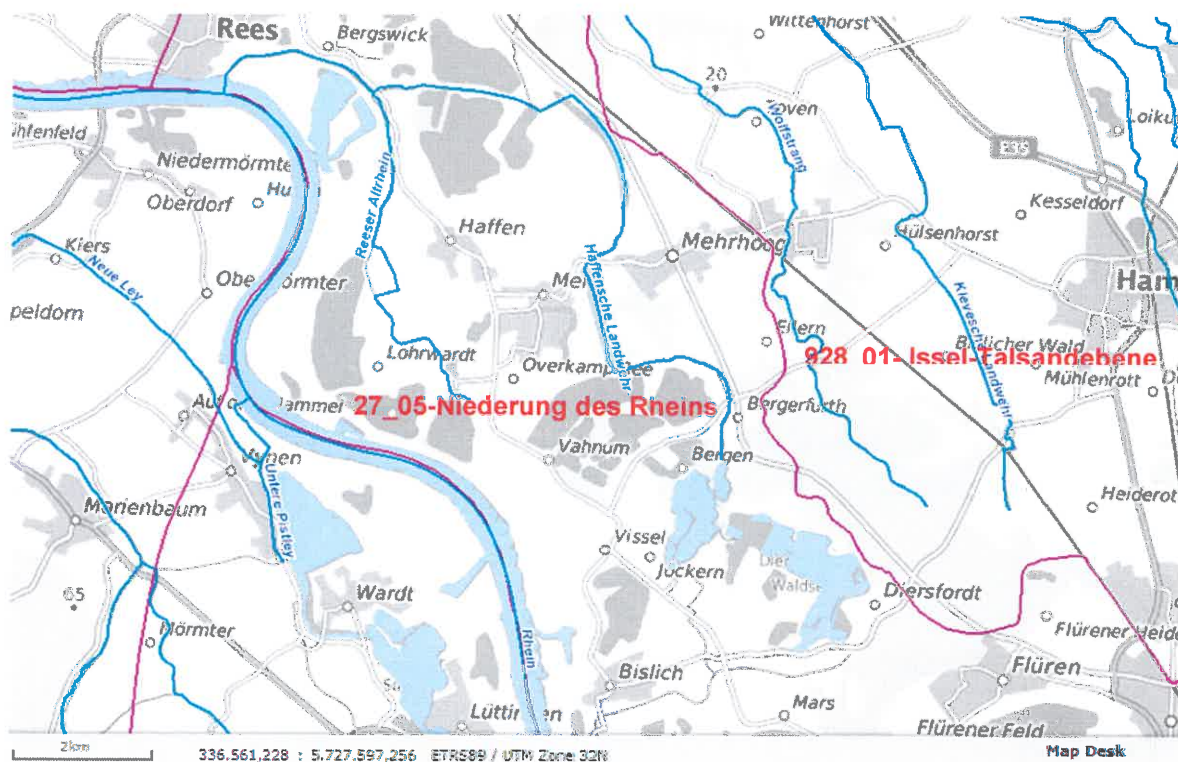


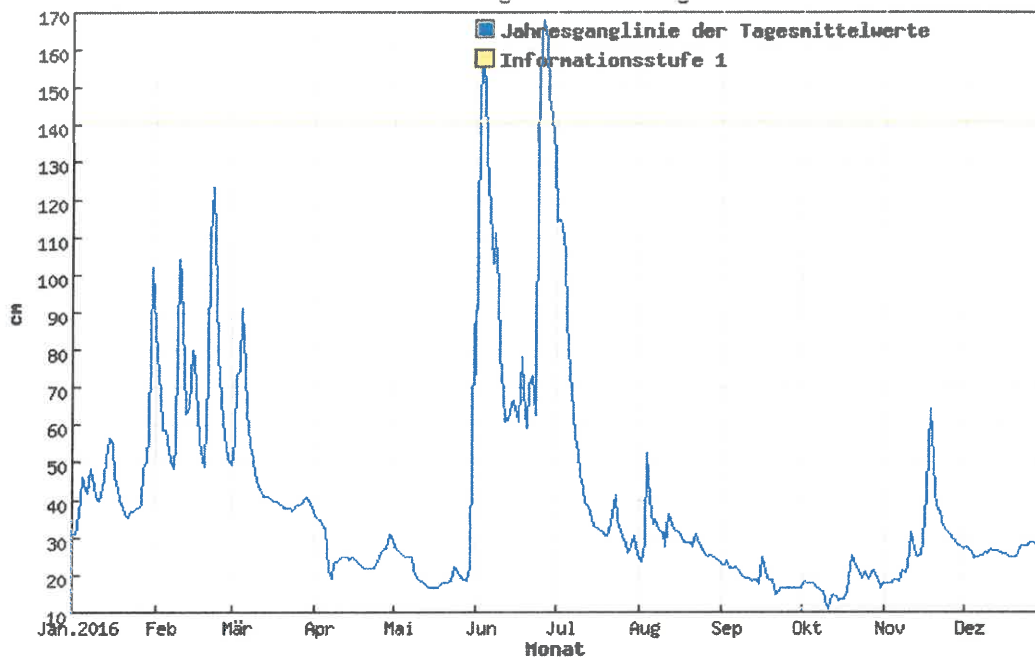
Abbildung 2: Rechtsrheinische Wasserscheide zwischen Rhein und Isel (violett),
Quelle ELWAS-Web

Diese Wasserscheide verläuft in der Ortslage Merhoog in etwa entlang der Bahnlinie. Westlich der Bahn entwässern die Oberflächen- und Grundwässer in Richtung Westen über das Grabensystem Haffen'sche Landwehr-Lange Renne-Hagener Meer-Haffen'sche Landwehr über das Schöpfwerk in den Altrhein und östlich der Bahn entwässern die Oberflächen- und Grundwässer in den Wolfstrang und dann in die Isel.



Die Betroffenen in der Ortslage Mehrhoog vermuten, dass die im Sommer 2016 aufgetretenen Feuchtigkeitsschäden in den Kellern ihrer Häuser auf die Rückhaltung der Grabenwässer in den Abgrabungsseen Reeser Meer Nord- und Südsee und in der Folge durch den Aufstau des östlich andrängenden Grundwassers zurück zu führen seien. Die Betroffenen vermuten weiter, dass sich dieser Zustand mit der Realisierung des beantragten Abgrabungsvorhabens Histenschlag verstärken würde.

Dieser Befürchtung stehen die Tatsachen entgegen, dass Feuchtigkeitsschäden an Gebäudekellern in Mehrhoog ausschließlich östlich der Bahn gemeldet wurden, wo die Entwässerung in den Wolfstrang und anschließend in die Issel stattfindet und deshalb von den Abgrabungen nicht beeinflusst werden können. Die an den Grundwassermessstellen in diesem Bereich für Juni 2016 ablesbaren Grundwasserspiegel lagen zwar deutlich unter Gelände, jedoch nicht so tief, dass Keller nicht vernässt werden konnten. **Insofern ist es sehr wahrscheinlich, dass die vernässten Keller in diesem Teil Mehrhoogs auf die besonderen örtlichen hydrologischen Gegebenheiten zurück zu führen sind und nicht durch die Seewasserspiegel der Abgrabungen Reeser Meer Nord- und Südsee beeinflusst wurden.** Diese lokalen hydrologischen Gegebenheiten waren im Juni 2016 durch die Wasserstände der Issel geprägt, die 2 Hochwasserspitzen Anfang und Ende Juni aufwies.



ungeprüfte Rohdaten
LANUV NRW

Abbildung 3: Ganglinie des Pegels Isselburg im Jahr 2016, Quelle LANUV NRW

Es spricht deshalb vieles dafür, dass die vorgetragenen Vernässungen in den Kellergeschossen im östlichen Bereich von **Mehrhoog** durch den **Rückstau des Grundwassers auf Grund des Issel-Hochwassers über den Wolfstrang** verursacht wurden und nicht durch die Einleitung von Grabenwässern in die genannten Abgrabungsseen, die außerdem von der beantragten Abgrabung ca. 5 km entfernt liegen.

3.3 Rheinhochwasserereignisse

Extreme Rheinhochwässer treten in den Wintermonaten (von der Bez.-Reg. Düsseldorf festgelegte Hochwasserzeit am Rhein: 31.10. – 15.04.) auf, bei denen sie nicht nur den Grundwasserabfluss über Wochen stark behindern, sondern auch sogenanntes Qualmwasser aus dem Rhein über die stark durchlässigen Terrassenkiese ins Hinterland drücken und so zu einem weiteren Anstieg des Grundwasserspiegels führen. Dieser Grundwasserspiegelanstieg führt auch zu einem Anstieg der Wasserspiegel in den in die Terrassenkiese eingebundenen Abgrabungsseen, die über ein erhebliches Rückhaltepotenzial gegenüber dem einströmenden



Qualmwasser verfügen. Demgegenüber verfügen die Entwässerungsgräben in den Wintermonaten in der Regel über eine ausreichende Ablaufkapazität, um das dann zufließende Niederschlagswasser abführen zu können. Starkregenereignisse finden dagegen aus metrologischen Gründen ausschließlich in den Sommermonaten statt.

Folgende überschlägige Vergleichsrechnung soll verdeutlichen, dass die Starkregenereignisse keinen durchschlagenden Einfluss auf die Seewasserstände haben können. 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 mm /m² 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 ergeben. Da in den Sommermonaten die Seewasserspiegel immer deutlich unterhalb der jeweiligen Geländehöhen liegen, können die Seewasserspiegel durch ablaufende Niederschlagswässer keine kritische Höhe annehmen und sind deshalb für die Betrachtung der Einströmung von Qualmwasser bei Rheinhochwasser nicht relevant. Diese stark vereinfachte Worst-Case-Betrachtung zeigt darüber hinaus, dass sich der Einfluss der Starregenereignisse auf die Wasserspiegellagen in den Seen mit zunehmenden Seenflächen tendenziell verringern wird.

3.4 Nichtberücksichtigung der Oberflächenwasserabflüsse

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. **Die Überflutungen durch die extremen Niederschläge wären entstanden mit oder ohne Abgrabungsseen.** Vielmehr konnte durch das Abschlagen von Grabenwässern in die Abgrabungsseen deren Rückhaltvermögen genutzt und die Überflutungszeit begrenzt werden. Aus den beschriebenen Gründen bleibt bei den nachfolgenden Modellberechnungen der Niederschlagswassereinfluss unberücksichtigt. Bei der Überprüfung, ob bei den errechneten Wasserspiegellagen in den Abgrabungsseen ein Übertreten in das umliegende Gelände zu besorgen ist, werden die Niederschlagswässer insofern berück-



sichtig, als die maximal ermittelte Wasserspiegellage in den jeweiligen Seen um das Sicherheitsmaß von 0,7 m erhöht wird.

4. Geohydraulische Modellberechnungen

4.1 Randbedingungen und Berechnungsannahmen

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 detaillierter modelliert. Damit einhergehend wurden die Dichtungsschürzen und damit die Netzgeometrie dem aktuellen Abgrabungs- und Verfüllzustand angepasst.

Für die Modellberechnung wurden absprachegemäß vier verschiedene Abgrabungszustände untersucht:

- **Ausgangszustand 2008**
- **Ist-Zustand 2017**
- **Zwischenzustand einschließlich Vissle-Süd**
- **Endzustand einschließlich Histenbruch.**

Ausgangszustand 2008

Die vorhandenen Seen sind entlang ihrer Abgrabungsböschung mit umlaufenden verkippte-Abraumböden (Dichtschürzen) geringer Durchlässigkeit versehen bzw. weisen hydraulische Öffnungen in Form von Kiesfenstern innerhalb dieses Schichtenpaketes auf. Das Kippen der Dichtschürzen erfolgt abbaubegleitend.

Hydraulische Fenster bzw. Öffnungen innerhalb des verkippten Abraumes sind abschnittsweise entlang der Seeufer Diersfordter Waldsee, Vahnumer Bruch/Bergerfurth, Ellerdonk, Visselbruch und Jöckern vorhanden. Eine geschlossene umlaufende Abraumverkippfung der Uferböschungen weisen die Seen Brüggenhof, Leckerfeld, sowie die einzelnen Abgrabungsseen im Visselschen Feld (Menting & Bresser) auf. Die einzelnen Abgrabungsseen 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 Abgrabungsseen 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. (s. Anlage 3.1)

Ist-Zustand 2017

Der Ist-Zustand 2017 wurde auf Grundlage der aktuellen Vermessung (dwg-Datei, Mail Frau Böckels vom 14.09.2017), der topografischen Karte und Luftbildern abgebildet. (s. Anlage 3.2)

Die zukünftigen Abgrabungszustände wurden wie folgt betrachtet:

Zwischenzustand mit Endaushub aller Seen einschließlich Vissel-Süd ohne Histenbruch

Die Seenflächen im Endzustand wurden als dwg-Datei zur Verfügung gestellt (Mail Frau Böckels vom 14.09.2017). Der Zwischenzustand umfasst die Abgrabung aller Seen einschließlich der zurzeit noch nicht erschlossenen Abgrabungen Vahnum-Ree und Vissel-Süd. Diese sind teilweise mit Dichtschränzen versehen (s. Abbildung 1).

Die Abgrabung Histenbruch wird in diesem Zwischenzustand noch nicht berücksichtigt. (s. Anlage 3.3)

Endzustand mit Endaushub aller Seen einschließlich Histenbruch

In diesem in Anlage 3.4 dargestellten Endzustand wird auch die Abgrabung Histenbruch berücksichtigt.

4.2 Bodenkenngrößen

Ausgangsdaten sind die sich aus den Pumpversuchen ergebenden Durchlässigkeitsbeiwerte für den Grundwasserleiter bzw. die vorliegenden Erfahrungswerte für die verkippten Abraumböden.



Nach Vorstellung der Rechenergebnisse des 2. Rechenganges im Dez. 2009 wurden uns von der Bezirksregierung Düsseldorf ergänzende Unterlagen über die Verfüllung der ehemaligen Vorlandauskiesungen [U12] zur Verfügung gestellt. Diese waren zum Zeitpunkt der vorgestellten Berechnungsergebnisse noch nicht zugänglich. Nach diesen Unterlagen gab es nahezu im gesamten betreffenden Deichvorland Abgrabungen, die nach der jeweiligen Auskiesung überwiegend mit Waschbergen und Abraummaterial (verlehmte Sande) verkippt wurden. Diese Materialien weisen nach den hier vorliegenden Erfahrungen eine gegenüber den sandig kiesigen Böden des Grundwasserleiters deutlich geringere Wasserdurchlässigkeit auf. Der Einfluss dieser Durchflussbehinderung auf die Grund- und Seewasserstände für die untersuchten Hochwasserszenarien musste deshalb im aktualisierten Modell berücksichtigt werden. Die ehemaligen Vorlandabgrabungen erstrecken sich fast entlang des gesamten hier betroffenen Deichvorlandes mit Ausnahme eines ca. 700 m langen Streckenabschnittes in Marwick.

Folgende Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte wurden angesetzt:

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

4.3 Randbedingungen

Die Festlegung der Randbedingungen erfolgte nach Auswertung der Stellungnahme des Ingenieurbüro Janßen vom 09.09.2008 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.

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 ($\triangleq 0,025 \text{ ‰}$). Vorhandene Altarme des Rheins wurden mitberücksichtigt.



Der östliche und der westlich-nordwestliche Systemrand wurden als geschlossene Ränder ohne Randbedingung modelliert.

4.4 Rheinwasserstände und Rheinhochwasserereignisse

Für die oben genannten Abgrabungszustände wurden die sich einstellenden Seewasserstände absprachegemäß zunächst bei folgenden Rheinwasserständen ermittelt:

- Bemessungshochwasser (BHW_{2004})
- Mittelwasser (MW)

Das maßgebende BHW_{2004} ist im Planungsgebiet mit folgenden Niveaus anzusetzen:

- Rhein-km 818: +23,10 m NHN
- Rhein-km 828: +21,84 m NHN

Jede Hochwasserwelle verläuft aufgrund der metrologischen und hydrologischen Ausgangssituation anders. Deshalb wird für die Bemessung von Hochwasserschutzanlagen nur die Höhe des Scheitelpunktes behördlicherseits vorgegeben, nicht aber Dauer und Verlauf der Welle. Für den Anstieg der Wasserspiegel in den Abgrabungsseen ist aber die Dauer der Hochwasserwelle ein bedeutsamer Faktor.

Der Verlauf der Hochwasserwelle für BHW_{2004} wurde deshalb dem Verlauf der 95-ger Hochwasserwelle angepasst und das BHW_{2004} als maximaler Rheinwasserstand aufgesetzt. Als Dauer der angesetzten Hochwasserspitze wurden 4 Tage zugrunde gelegt, der Anstieg wurde mit 28 Tagen angesetzt, die ablaufende Hochwasserwelle mit ca. 95 Tagen (Anlage 5). Für Mittelwasser ist unter Berücksichtigung der vorliegenden Rheinwasserstände eine Welle mit einem Ausgangswasserspiegel zwischen + 13,4 m NHN und + 15,2 m NHN zugrunde gelegt worden. Diese Vorgehensweise liefert eine auf der sicheren Seite liegende Dauer einer Hochwasserwelle und bildet ungünstige hydrologische Gegebenheiten ab.

Der Ansatz des BHW_{2004} stellt eine „Worst-Case“-Betrachtung dar, mit hohen Grundwasserpotentialen, die zu entsprechend hohen Seewasserspiegeln führen. Deshalb wurde als weiterer



Rheinwasserstand zusätzlich das letzte große Hochwasserereignis von 1995 (HW 95) untersucht, um die Seewasserspiegellagen mit einem tatsächlich aufgetretenem Hochwasserereignis vergleichen zu können. Für den Bereich Bislich wurde das maßgebende HW 95 mit + 20,18 m NHN angesetzt.

Die Berechnungen wurden für den stationären Zustand bei Mittelwasser und für den instationären Zustand für HW 95 und BHW₂₀₀₄ durchgeführt. Die Berechnungen erfolgten nach der Finite-Element-Methode (FEM) mithilfe der Software Flow 2D und Transient der GGU Braunschweig.

4.5 Grundlagen der Modellierung

Beim Aufstellen eines Grundwassermodells wurden die Modellgrenzen so gewählt, dass das Untersuchungsgebiet etwa im mittleren Bereich liegt. Die Untersuchungsgrenzen wurden daher so weit entfernt vom eigentlichen Untersuchungsgebiet angesetzt, dass die Randbedingungen das Untersuchungsgebiet nicht mehr beeinflussen.

Für das Aufstellen und Eichen des Grundwassermodells wurden die Modellgrenze im nordöstlichen Bereich daher bis etwa zur Bahnlinie erweitert. Diese Erweiterung der Modelliniengrenze ist lediglich rechentechnisch begründet und stellt nicht den Einflussbereich der Grundwasseränderung dar.

Die Berechnung von Grundwasserströmungen erfolgt auf der Grundlage der Laplace'schen Differentialgleichung:

$$k \cdot \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) + Q = 0$$

h = Standrohrspiegelhöhe

x, y, z = Koordinaten

Q = Zu- und Abflüsse

k = Durchlässigkeit



Die analytische Lösung dieser Differentialgleichung existiert nur für einige wenige Sonderfälle, so dass man bei der Behandlung praxisrelevanter Probleme auf numerische Berechnungsverfahren zurückgreift. Wegen der hohen Flexibilität hat sich in den letzten Jahren die Finite-Element-Methode durchgesetzt. Bei diesem Verfahren wird das Modellgebiet in viele endlich (finite) große Dreiecke unterteilt und diskretisiert. Innerhalb dieser Dreiecke wählt man einfache Annäherungsfunktionen (lineare Funktionen). Die Gesamtlösung wird dann aus dem mosaikartigen Zusammensetzen der vielen Teillösungen erhalten.

Im vorliegenden Fall kann für die Berechnung aufgrund des eindeutigen Aufbaus des Untergrundes ein zweidimensionales Modell herangezogen werden. Bei zweidimensionalen Modellen ist zwischen horizontal – ebenen, vertikal – ebenen und rotationssymmetrischen Modellen zu unterscheiden. Bei der gegebenen Fragestellung ist ein horizontal–ebenes Modell zu wählen. Die Differentialgleichung von Laplace vereinfacht sich hierbei zu

$$k \cdot \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + Q = 0$$

Mit einem einfachen horizontal–ebenen Modell wäre es aber nicht möglich, den Hochwasserzustand des Untersuchungsgebietes nachzubilden. Im Hochwasserfall ergeben sich im Grundwasserleiter Potentiale durch die Anbindung an den Rhein und zusätzlich Zuflüsse aus dem über der Geländeoberkante (und damit über der den Grundwasserleiter überdeckenden Flutlehmschicht) austretenden Wasser.

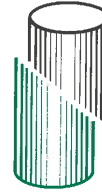
Für diesen Fall ist die oben gezeigte Gleichung um den vertikalen Zufluss wie folgt zu ergänzen (leaky aquifer):

$$k \cdot \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + \frac{k_v}{d_v} \cdot (H - h) + Q = 0$$

k_v = Durchlässigkeit Deckschicht

d_v = Dicke Deckschicht

H = Wasserstand über Deckschicht



Der Grundwasserleiter wird dabei als eine Schicht betrachtet. Nach oben wird das Modell durch eine Deckschicht begrenzt. Damit können teilweise gespannte Grundwasserverhältnisse abgebildet werden.

Die Seeflächen wurden mit einer entsprechend hohen Wasserdurchlässigkeit und einem Porenanteil von 99 % modelliert. Damit können sowohl Druckentspannungen als auch ein erhöhtes Speichervermögen simuliert werden.

Bei der Verwendung des leaky-aquifer-Modells dürfen in den Seeflächen keine so genannten "Deckschichtrandbedingungen" angesetzt werden, da ansonsten der Wasserstand in den Seen konstant gehalten wird und keine direkte Aussage über den Anstieg des Wasserspiegels möglich ist.

Dadurch dass das Grundwasser unter der Deckschicht gespannt sein kann, ergeben sich bei dem verwendeten 2D-Modell in den gespannten Bereichen höhere Potentiale, als es bei Verwendung eines 3D-Modells mit entsprechender Entspannung in den Seen der Fall ist. Hinsichtlich des Wasserspiegelanstiegs in den Seen liegt das zweidimensionale leaky-aquifer-Modell somit auf der sicheren Seite.

Die Verwendung eines wesentlich aufwändigeren 3D-Modells ist nur scheinbar wirklichkeitsnäher, weil auch dieses die Ungenauigkeiten im zugrunde liegenden Geländemodell nicht beseitigen kann. Deshalb ist es im vorliegenden Fall fachlich nicht geboten ein aufwändiges 3D-Modells zu verwenden, da der scheinbare Genauigkeitserfolg in keinem Verhältnis zum Mehraufwand steht.

4.6 Eichung des Grundwassermodells

Das Modell wurde mit stationären Randbedingungen (s.o.) anhand der Daten von drei Stichtagsmessungen kalibriert.

Zwei Stichtagsmessungen am 10.04.2007 und am 14.05.2008 wurden auch schon in den vorangegangenen Berechnungen zur Modellkalibrierung herangezogen. Nach der Ganglinie des Rheinpegels Wesel fanden die Messungen 2007 und 2008 zu Zeiten wieder abfallender



Wasserstände bei mittleren bis niedrigen Wasserständen im Rhein statt. In den Wochen und Monaten vor den Stichtagsmessungen waren die Wasserstände im Rhein bis auf die üblichen Schwankungen relativ konstant.

Die Grundwassermesswerte von Mai 2008 waren möglicherweise durch Pumpaktivitäten teilweise verfälscht. Aus diesem Grunde wurde in den vorangegangenen Berechnungen der Zeitraum April 2007 der Eichung zugrunde gelegt.

Eine weitere Stichtagsmessung der Grundwasserstände erfolgte am 25.10.2017 nach Monaten niedriger Wasserstände im Rhein mit nur geringen Schwankungen.

Für die Stichtagsmessungen 2007/2008 und 2017 wurden mit stationären Randbedingungen die Grundwasserstände in den jeweiligen Modellen für den Ausgangszustand 2008 und den Ist-Zustand 2017 berechnet. Die Ergebnisse sind in Anlage 4.1 und 4.2 als Grundwassergleichen dargestellt.

In die Pläne sind die an den jeweiligen Stichtagen gemessenen Grundwasserstände eingetragen und Tabelle 4 enthält die Messdaten und die berechneten Werte für die Stichtagsmessungen. Insgesamt ergeben sich für beiden Modelle gute Übereinstimmungen mit Abweichungen im Bereich weniger Zentimeter bis Dezimeter. Für die Stichtagsmessungen 2007/2008 zeigen sich größere Abweichungen zu den Grundwassermessstellen GWM 9 und 10 sowie dem Lattenpegel Leckerfeld. In Abbildung 4 sind die Ganglinien des Rheinpegels Wesel und ausgewählter Lattenpegel dargestellt. Trotz der Nähe der Abgrabungen Leckerfeld und Ellerdonk zum Rhein zeigt sich dort nur eine schlechte Korrelation zwischen dem Wasserstand in den Abgrabungsseen und dem Rheinwasserstand. Dieses ist auch bei den anderen Seen zu beobachten. Teilweise zeigen die Ganglinien der Seewasserstände gegenläufige Tendenzen. Die Wasserstände in den Seen werden auch durch die Bewirtschaftung beeinflusst. Da zu den Wasserständen und der Bewirtschaftung der Abgrabungen im betroffenen Zeitraum keine weiteren Angaben vorlagen wurde der "Fehler" in der Modellkalibrierung toleriert.



	02.04. / 10.04.2007	14.05.2008	Anlage 4.1	
Pegel	Messwert [m NHN]	Messwert [m NHN]	Rechenwert [m NHN]	Differenz [m]
1	14,90	14,58	14,20	-0,70/-0,38
2	15,56	15,67	15,35	-0,21/-0,32
3	15,36	15,44	15,51	0,15/0,07
4	15,58	15,25	15,55	-0,03/0,30
5	15,81	16,13	16,18	0,37/0,05
6	15,76	16,25	15,92	0,16/-0,33
7	16,23	16,75	16,44	0,21/-0,31
8	15,83	16,35	16,08	0,25/-0,28
9	15,43	15,18	14,41	-0,98/-0,77
10	15,23	14,50	14,25	-0,98/-0,25
11	15,82	16,27	16,16	0,34/-0,11
Leckerfeld	15,47	15,50	14,34	-1,13/-1,16
Diersfordt	15,80	16,38	16,31	0,49/-0,07
Brüggenhof	15,78	16,07	15,86	0,08/-0,21
Schüttwick	—	16,38	16,20	—/-0,18
Ellerdonk	14,86	15,30	14,66	-0,20/-0,64

Tabelle 6: Modelleichung Stichtagsmessungen April 2007 und Mai 2008 (Anlage 4.1)

	25.10.2017	Anlage 4.2	
Pegel	Messwert [m NHN]	Rechenwert [m NHN]	Differenz [m]
1	—	13,09	—
2	14,40	14,66	0,26
3	14,54	14,86	0,32
4	15,28	15,19	-0,09
5	15,46	15,85	0,39
6	15,19	15,44	0,25
7	15,91	16,20	0,29
8	15,22	15,81	0,59
9	—	13,34	—
10	12,92	13,07	0,15
11	15,16	15,79	0,63
12	15,58	15,94	0,36

Tabelle 7: Modelleichung Stichtagsmessungen Oktober 2017 (Anlage 4.2)

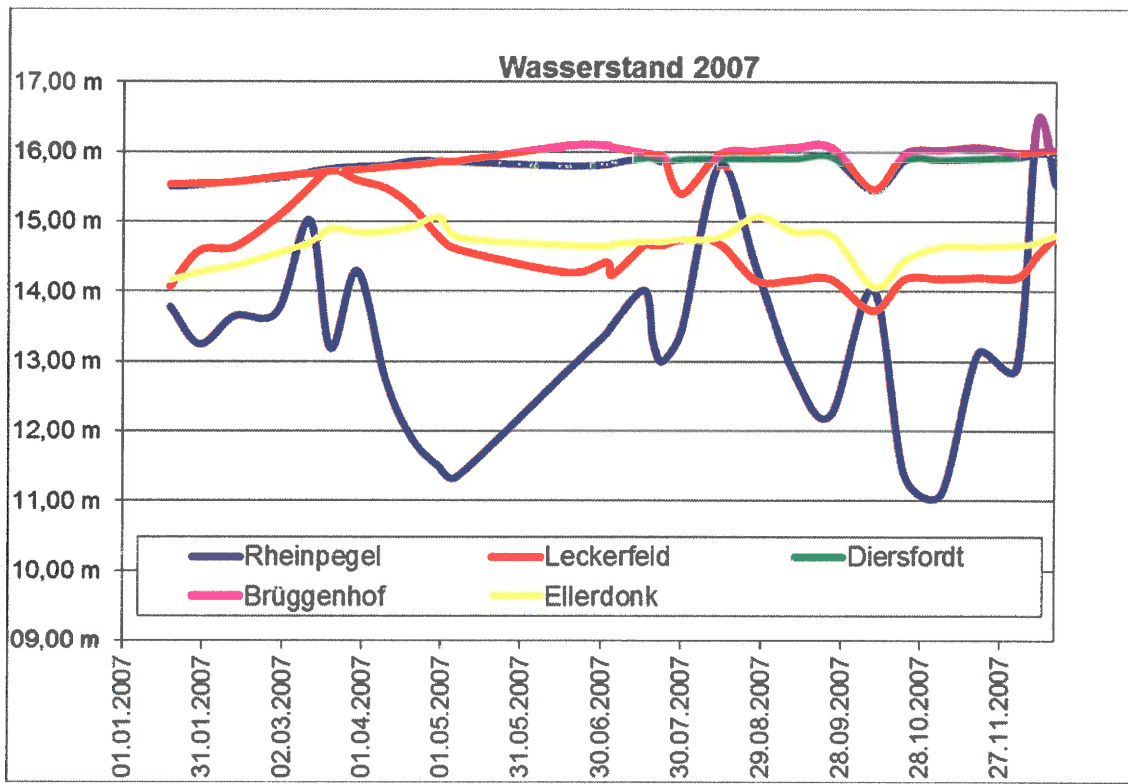


Abbildung 4: Ganglinien Rhein und Seen-Lattenpegel

Die obigen Ganglinien zeigen, wie relativ träge die Abgrabungsseen Brüggenhof und Diersfordt auf den Rhein reagieren. Das ist auch an den Messdaten der Lattenpegel aus den anderen Jahren (1990-2008) zu erkennen. Die weiter entfernt liegenden Seen springen erst an, wenn der Rheinpegel über etwa 15 m NHN steigt. Und dann auch nur langsam. Leckerfeld und Ellerdonk reagieren viel kurzfristiger auf Hochwasserwellen.

4.7 Berechnungsergebnisse

Die Ergebnisse der Grundwassermodellberechnungen sind in der folgenden Tabelle für die untersuchten Zustände zusammengefasst.



Seeflächen	Ist-Zustand 2017			Zwischenzustand			Endzustand		
	MW	HW 95	BHW	MW	HW 95	BHW	MW	HW 95	BHW
Diersfordter Waldsee	16,30	16,39	16,53	16,27	16,36	16,51	16,19	16,27	16,43
Histenbruch	15,51 ^{*)}	15,67	15,94	15,62 ^{*)}	15,74	15,95	15,88	15,99	16,20
Brüggenhof	15,85	15,90	15,98	15,90	15,94	16,01	15,95	15,99	16,06
Ellerdonk	14,66	14,89	15,36	14,60	14,82	15,27	14,68	14,92	15,39
Visselbruch	15,84	15,89	15,97	15,86	15,87	15,90	15,88	15,89	15,92
Jöckern	15,87	15,92	16,00	15,86	15,88	15,90	15,88	15,90	15,92
Visselsches Feld	15,69	15,75	15,85	15,72	15,76	15,81	15,73	15,76	15,82
Vahnumer Bruch / Bergerfurth	16,16	16,20	16,27	16,18	16,21	16,26	16,17	16,20	16,25
Vissel-Süd	15,01 ^{*)}	15,18	15,45	14,78	14,93	15,16	14,80	14,94	15,18
Vahnum-Ree	15,43 ^{*)}	15,65	15,87	15,77	15,87	15,96	15,76	15,86	15,95

^{*)} Potential unter der Deckschicht, See ist noch nicht abgegraben

Tabelle 8: Ergebniszusammenstellung

Die Rechenergebnisse zeigen, dass die Amplitude der Seewasserspiegel mit größer werdenden Seeflächen abflacht. Dieses Phänomen lässt sich den nachfolgenden Überschlagsrechnungen gut nachvollziehen.

Auf der ca. 10 km langen Uferlinie infiltriert nach den Berechnungen im Hochwasserfall eine Wassermenge von ca. 100.000 m³/d. Bei einer Gesamtfläche der Abgrabungsseen würden sich bei gleicher Verteilung auf alle Seen daraus folgende Wasserspiegelanhebungen ergeben:

Zustand 2007 (Seefläche ca. 500 ha): $\Delta h = (100.000 \text{ m}^3/\text{d})/500 \text{ ha} = 2,0 \text{ cm/d}$

Zustand 2017 (Seefläche ca. 600 ha): $\Delta h = (100.000 \text{ m}^3/\text{d})/600 \text{ ha} = 1,7 \text{ cm/d}$

Endzustand (Seefläche ca. 862 ha): $\Delta h = (100.000 \text{ m}^3/\text{d})/862 \text{ ha} = 1,2 \text{ cm/d}$



5. Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Aus den Grundwassergleichenplänen und den Ergebnissen der Stichtagsmessungen ist zu ersehen, dass die Grundwasserströmung von Nordosten zum Rhein hin gerichtet ist. Aus den Berechnungen für den Mittelwasserstand ergibt sich für das hier untersuchte System eine Grundwassermenge von

$$Q_{MW} \approx 7.500 \text{ m}^3/\text{d}.$$

Das Berechnungssystem ist im NW-SO-Schnitt durch die Seen rd. 8 km breit, so dass vereinfacht von einer Wassermenge von $q_{MW} = 1.000 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{km})$ ausgegangen werden kann. Diese Wassermenge strömt quasistationär in Richtung Rhein. Die Dichtungsschürzen an den Abgrabungsseen wirken dabei als Strömungshindernis. Dieses ist auch am „Aufstau“ vor den nordwestlichen Seen Vahnumer Bruch, Jöckern und Bergerfurth zu erkennen. Das Nordufer des Diersfordter Waldsees ist nicht vollständig abgedichtet, so dass hier in stärkerem Maße Grundwasser Zutritt. In den berechneten Grundwassergleichenplänen verzieht sich hier die 16,0 m NHN-Isolinie nach Süden.

Mit dem Auflaufen einer Hochwasserwelle im Rhein wird der Abstrom des Grundwassers behindert und es tritt im ufernahen Bereich eine entgegengesetzte Grundwasserströmung ein, mit der Flusswasser in den Grundwasserleiter infiltriert. Da das Grundwasser jetzt nicht mehr in den Rhein abfließen kann, muss es in den Abgrabungsseen austreten.

Der Diersfordter Waldsee erstreckt sich im NW-SO-Schnitt über rd. 2 km Länge. Damit ergibt sich bei Mittelwasser im Rhein eine zuströmende Wassermenge von $2.000 \text{ m}^3/\text{d}$. Bei einer See- fläche von rd. 160 ha im Jahr 2017 unter der Annahme, dass alles Wasser im See austritt, folgt ein maximaler Wasserspiegelanstieg von

$$\Delta h = (2000 \text{ m}^3/\text{d})/160 \text{ ha} = 1,25 \text{ cm/d}$$

Diese Zahl ist ein Maximalwert, tatsächlich fließt das Wasser teilweise nach Süden ab, wie an den Grundwassergleichen zu erkennen ist. Aus den Ganglinien für das Bemessungshochwasser im Rhein ergibt sich für den Ist-Zustand 2017 innerhalb von 50 Tagen im Diersforter Wald-



see ein Wasserspiegelanstieg von rd. 20 cm; das entspricht einem täglichen Anstieg von ca. 0,4 cm. Der Wert ist plausibel und stimmt gut mit den Messdaten der Lattenpegel überein.

Die im Rhein auflaufende und den Grundwasserleiter infiltrierende Hochwasserwelle erreicht die weiter entfernt gelegenen Seen kaum. Aus den Ergebnissen der untergrundhydraulischen Berechnungen ergeben sich im Uferbereich maximale Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 4 m/d.

Der Diesfordter Waldsee ist ca. 1 km vom Nordufer des Flürener Altrheins entfernt. Damit würde sich die infiltrierte Hochwasserwelle erst nach etwa 250 Tagen direkt auf den Seewasserstand auswirken. Dagegen liegen die Abgrabungen Ellerdonk und Vissel-Süd dichter am Rhein und reagieren deshalb wesentlich kurzfristiger und deutlicher auf die Hochwasserwelle.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass die nördlichen, weiter vom Rhein entfernten Seen primär vom aus dem Hinterland nachfließenden Grundwasser gespeist werden. In diesen Seen bewirkt eine Vergrößerung der Seefläche eine Reduktion des Wasserspiegelanstiegs. Die Überflutungsgefahr der Uferzonen wird gemindert. Die in den Grundwasserleiter infiltrierende Hochwasserwelle erreicht diese Seen nicht oder erst sehr spät bei langer Dauer des Hochwassers.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Grundwassermodellierungen und die zu den Starkregenereignissen vorgenommenen Recherchen, dass:

- (1) Mit Zunahme der Seenflächen und mit zunehmendem Abstand zum Rhein vermindern sich die Anstiege der jeweiligen Seewasserspiegel.
- (2) Ein Übertreten von Seewasser in das umliegende Gelände ist unter den angenommenen Hochwasserszenarien an keiner Stelle zu besorgen. Unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Stapelvolumens von ca. 0,7 m in den Abgrabungsseen zur Aufnahme von Oberflächenwasser aus Starkniederschlagsereignissen ist lediglich am See Vahnumer Bruch/Bergerfurth entlang der Nordwestseite ein Wasseraustritt ins Gelände zu besorgen.
- (3) Während der hochwassergefährdeten Zeit am Rhein sind Starkregenereignisse wie im Frühsommer 2016 nicht zu erwarten.



- (4) Das Vorhalten eines ausreichend bemessenen Aufnahmevolumentens in den Seeflächen und die Möglichkeit Grabenwässer dort einzuleiten, bieten einen zusätzlichen Schutz für die angrenzenden Gelände vor Überflutungen.
- (5) Durch Vorhaltung und zeitlich begrenzten Betrieb die Vorflut unterstützende, regulierende Anlagen, können bei außergewöhnlichen Regen- und/oder Hochwasserereignissen die Überflutungszeiten und deren Folgen deutlich verringert werden.
- (6) Grundsätzlich wird durch die Anlage der Abgrabungsseen der Hochwasserschutz gegenüber der Situation vor Abgrabungsbeginn verbessert.

6. Schlussfolgerungen für die Rekultivierungsplanung

Für die Planung der Rekultivierungsflächen ergeben sich aus den Ergebnissen der untergrundhydraulischen Berechnungen in Verbindung mit den Überlegungen aus den Starkregenereignissen folgende Anpassungen der Geländehöhen in den Uferrandbereichen der verschiedenen Abgrabungsseen. Diese Anpassungen sind als worst-case-Betrachtungen zu verstehen und bedürfen deshalb keiner zusätzlichen Freibordmasse.



Seeflächen	Ist-Zustand 2017			Zwischenzustand			Endzustand			GOF 2017 min.	erf. GOF 2017 max.	Verwaltung
	MW	HW 95	BHW	MW	HW 95	BHW	MW	HW 95	BHW	m NHN	m NHN	m
Diersfordter Waldsee	16,30	16,39	16,53	16,27	16,36	16,51	16,19	16,27	16,43	18,50	17,23	0
Histenbruch	15,51 ^{*)}	15,67	15,94	15,62 ^{*)}	15,74	15,95	15,88	15,99	16,20	18,10	16,90	0
Brüggenhof	15,85	15,90	15,98	15,90	15,94	16,01	15,95	15,99	16,06	17,00	16,76	0
Ellerdonk	14,66	14,89	15,36	14,60	14,82	15,27	14,68	14,92	15,39	18,12	16,09	0
Visselbruch	15,84	15,89	15,97	15,86	15,87	15,90	15,88	15,89	15,92	17,10	16,67	0
Jöckern	15,87	15,92	16,00	15,86	15,88	15,90	15,88	15,90	15,92	17,00	16,70	0
Visselsches Feld	15,69	15,75	15,85	15,72	15,76	15,81	15,73	15,76	15,82	17,90	16,55	0
Vahnumer Bruch/ Bergerfurth	16,16	16,20	16,27	16,18	16,21	16,26	16,17	16,20	16,25	15,80	16,97	1,17
Vissel-Süd	15,01 ^{*)}	15,18	15,45	14,78	14,93	15,16	14,80	14,94	15,18	18,40	16,15	0
Vahnum-Ree	15,43 ^{*)}	15,65	15,87	15,77	15,87	15,96	15,76	15,86	15,95	-	-	-

Tabelle 9: Anpassungen der Geländehöhen in den Uferrandbereichen

Ein Wasserübertritt ins umliegende Gelände ist auf Grund der Rechenergebnisse und der natürlichen Geländehöhen lediglich entlang des Nordwestrandes der Abgrabung Vahnumer Bruch/Bergerfurth zu erwarten. Entlang dieser Abgrabungsgrenze verläuft ein Betriebsweg, der auf einer Höhe von ca. 17,5 m NHN angelegt wurde und deshalb die Funktion einer Schutzverwallung gegen übertretende Seewässer in das umliegende Gelände bereits jetzt erfüllt.

7. 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




Dipl.-Ing. Dietmar Helfers
Projektingenieur