

DMT GmbH & Co. KG

Geo Engineering & Exploration
Hydrogeologie & Wasserwirtschaft
Am Technologiepark 1
D-45307 Essen



**Neubau der L117n, Ortsumgehung Hückel-
hoven/Ratheim und Millich**

**Modellstudie zur Bewertung des
Einflusses der geplanten Tragkonstruktion auf
die Grundwasserverhältnisse**

Auftraggeber: Landesbetrieb Straßenbau NRW
Region III – RNL Niederrhein
Abteilung Brückenbau
Breitenbachstraße 90
41065 Mönchengladbach

Bestellnummer: 4300022202

Bestelldatum: 20.08.2018

Bearbeiter DMT: Herr Kories
Herr Kaspar

Tel.-Durchwahl: 0201/172-1862

Fax: 0201/172-1891

DMT-Bearbeitungs-Nr.: GEE5-2017-01006

Essen, 29.11.2018

DMT GmbH & Co. KG


(Kories)


(Kaspar)

Dieser Bericht besteht aus 32 Seiten.



DIN EN ISO
9001
zertifiziert

DIN EN ISO
14001
zertifiziert

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung und Veranlassung..... | 3 |
| 2 | Verwendete Unterlagen..... | 4 |
| 3 | Modelleingangsdaten | 5 |
| 3.1 | Geologie | 5 |
| 3.2 | Hydrogeologie..... | 7 |
| 3.2.1 | Hydraulische Versuche | 7 |
| 3.2.2 | Grundwasserstände und Grundwassergleichenplan | 14 |
| 3.3 | Bohrpfahlwände | 16 |
| 4 | Modellaufbau | 19 |
| 5 | Simulationsvarianten..... | 25 |
| 5.1 | Variante 1..... | 26 |
| 5.2 | Variante 2..... | 27 |
| 5.3 | Variante 3..... | 29 |

1 Einleitung und Veranlassung

Die Niederlassung Niederrhein des Landesbetriebs Straßenbau NRW (Straßen.NRW) plant den Neubau der L117n, der Ortsumgehung Hückelhoven/Ratheim und Millich. Im Bereich der Überführung der L227 Buscher Straße wird die Straße in Tieflage geplant. Als Baugrubenumschließung ist eine überschnittene Bohrpfahlwand vorgesehen. Sie stellt auch die für die Aufnahme der Brücke Buscher Straße sowie die Lärmschutzwände erforderliche Tragkonstruktion dar. Die beiden parallel in einem Abstand von 12 m angeordneten Bohrpfahlwände sind mit einer Gesamtlänge von jeweils ca. 380 m geplant und verlaufen ungefähr senkrecht zur südwestlich gerichteten Grundwasserfließrichtung. Die unbewehrten Primärpfähle werden bis ca. 1 m unter Baugrubensohle eingebunden, während die bewehrten Sekundärpfähle bis zur statisch erforderlichen Endteufe (bis zu einer Tiefe um 13 m) eingebracht werden.

Im Rahmen der weiteren Planung sollte geklärt werden, ob und in welchem Maß diese Bohrpfahlwände ein Strömungshindernis für das Grundwasser darstellen. Es könnte im Anstrom der Bohrpfahlwand zu einem Grundwasseranstieg kommen, so dass bei den statischen Berechnungen ein erhöhter Wasserdrucks auf die Bohrpfahlwand zu berücksichtigen wäre.

Um diese Frage zu beantworten, beauftragte Straßen.NRW die DMT GmbH & Co. KG (DMT), ein lokales, dreidimensionales numerisches Grundwassermodell zu erstellen. Als Eingangsdaten zur Geologie und Hydrogeologie lagen Ergebnisse früherer Untersuchungen vor. Zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte des Untergrunds wurden durch die DMT zwei hydraulische Versuche durchgeführt und ausgewertet. Alle erforderlichen geologischen und hydrogeologischen Daten wurden schließlich in abstrahierter Form im Grundwassermodell abgebildet.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Erhebung der Eingangsdaten für das numerische Grundwassermodell sowie den Modellaufbau und die Ergebnisse der durchgeführten Modellrechnungen. Schließlich werden anhand der Ergebnisse die zu erwartenden Grundwasserverhältnisse für die spätere Nutzungsphase angegeben und hinsichtlich der oben genannten Fragestellungen bewertet.

2 Verwendete Unterlagen

Folgende Daten und Unterlagen wurden uns seitens Straßen.NRW teilweise bereits im Rahmen der Bearbeitung der hydrogeologischen Ersteinschätzung und zur Ermittlung der langfristig für den Bereich der Tieflage der L117n zu erwartenden maximalen Grundwasserstände bereitgestellt:

- Übersichtslagepläne, Lagepläne, Höhenpläne aus 2003, 2005 und 2012 im Entwurf (Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen),
- Bauwerksskizzen aus 2005/2006 und 2012 (Straßen.NRW),
- Grundwasserstände im Untersuchungsbereich vom 13.10.2008 (Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen),
- Messung der Grundwasserstände in den Grundwassermessstellen vom 14.10.2011 (Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen),
- Messung der Grundwasserstände in den Grundwassermessstellen vom 29.04.2015 (Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen),
- Grundwasserstände im Bereich OU – Hückelhoven/Ratheim und –Millich vom 08.07.2015 (Ertfverband, Bergheim),
- Grundwassermessstellen B3/3, B7/3, B11/3 vom 03.09.2015 (Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen),
- Grundwassergleichenplan 1. Grundwasserstockwerk, Stand Oktober 2014, (Ertfverband).

Neben diesen Unterlagen haben wir unsere Berichte verwendet:

- [1] Neubau der L117n, Ortsumgehung Hückelhoven/Ratheim und Millich – Hydrogeologische Ersteinschätzung vom 22.02.2016,
- [2] Neubau der L117n, Ortsumgehung Hückelhoven/Ratheim und Millich – Errichtung einer Grundwassermessstelle, Einbau eines automatischen Messsystems und Auswertung, Abschlussbericht vom 12.07.2017.

Unterlagen zu den geplanten Bauwerkskörpern haben wir vom Planungsbüro Kocks Consult GmbH bzw. von Straßen.NRW im dwg bzw. pdf-Format erhalten:

- Ansicht, Lageplan (Vorplanung), BW3 STW+BW4 ÜF Buscher Str. Bau- km 12+345.6+78 (BW) vom 29.11.2017 (3-B3-BA-IO-01_55857.dwg),
- Lageplan, Ansichten und Schnitte, Projekt-Nr. 48-3049, Zusendung vom 11.09.2018.

3 Modelleingangsdaten

3.1 Geologie

Die wesentlichen für das Untersuchungsgebiet und die Fragestellung relevanten geologischen Schichten sind die quartären Kiese und Sande der Jüngeren Hauptterrasse der Maas und die darunter lagernden schluffigen Feinsande der tertiären Oligozänen Meeressande (s. auch [1] und [2]). Die entsprechenden Unterkanten (UK) dieser beiden Gesteinseinheiten wurden aus den vorliegenden Aufschlüssen herausgearbeitet. Anschließend wurden Isolinienpläne konstruiert, die die Höhenlage der Unterkanten in mNHN darstellen. Daneben wurden Isolinien der Höhe der Geländeoberkante (GOK) konstruiert. Die entsprechenden Stützpunkte (Aufschlüsse) sind in der nachfolgenden Tabelle mit den jeweiligen Höhenangaben zusammengefasst.

Tabelle 1: Höhenniveaus der GOK und der Schichtgrenzen

| Aufschluss | GWM | Rechtswert | Hochwert | GOK [mNHN] | UK Quartär [m u. GOK] | UK Quartär [mNHN] | UK OM [m u. GOK] | UK OM [mNHN] |
|------------|-----------|------------|----------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | 100172neu | 2513406 | 5659370 | 54,03 | 9,00 | 45,03 | n.a. | n.a. |
| B1/3 | - | 2513472 | 5659370 | 53,80 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| B2/3 | - | 2513472 | 5659330 | 54,19 | 9,00 | 45,19 | 14,80 | 39,39 |
| B3/3 | 01/030778 | 2513495 | 5659314 | 54,31 | 8,00 | 46,31 | 14,50 | 39,81 |
| B4/3 | - | 2513515 | 5659278 | 55,11 | 8,70 | 46,41 | 15,00 | 40,11 |
| B5/3 | - | 2513535 | 5659260 | 53,97 | 8,50 | 45,47 | 15,00 | 38,97 |
| B6/3 | - | 2513538 | 5659237 | 54,96 | 8,70 | 46,26 | 14,00 | 40,96 |
| B7/3 | 01/030779 | 2513558 | 5659221 | 54,49 | 10,80 | 43,69 | 14,50 | 39,99 |
| B8/3 | - | 2513561 | 5659196 | 54,62 | 7,80 | 46,82 | 14,00 | 40,62 |
| B9/3 | - | 2513586 | 5659190 | 54,38 | 7,50 | 46,88 | 13,00 | 41,38 |
| B10/3 | - | 2513590 | 5659159 | 54,23 | 9,20 | 45,03 | 13,40 | 40,83 |
| B11/3 | 01/030780 | 2513613 | 5659135 | 54,28 | 8,20 | 46,08 | 12,50 | 41,78 |
| B12/3 | - | 2513622 | 5659108 | 54,47 | 8,10 | 46,37 | n.a. | n.a. |
| B13/3 | - | 2513660 | 5659088 | 54,39 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | 21/908021 | 2513873 | 5658968 | 58,01 | 11,00 | 47,01 | n.a. | n.a. |

GWM Grundwassermessstelle

OM Oligozäne Meeressande

n.a. nicht angetroffen

Die überwiegende Zahl der Aufschlüsse wurde durch Dipl.-Geol. Michael Eckardt, Aachen ausgeführt und in den oben genannten Höhenplänen dargestellt. Die dort vereinzelt angetroffenen künstlichen Auffüllungen und feinsandigen Schluffe in den obersten Schichten wurden nicht separat dargestellt, da sie

nicht grundwassererfüllt sind bzw. sein werden und damit für die Aufgabenstellung keine Relevanz haben. Neben diesen Aufschlüssen wurden die Schichtansprachen aus der Errichtung der GWM 100172neu (DMT) und der GWM 21/908021 (Erftverband) verwendet. Einige Baugrunderkundungsbohrungen wurden so flach niedergebracht, dass sie nicht die Unterkante des Quartärs oder der Oligozänen Meeressande erreichen. Die Lage der Bohransatzpunkte aller Aufschlüsse bzw. der Grundwassermessstellen kann der Abbildung 1 entnommen werden.

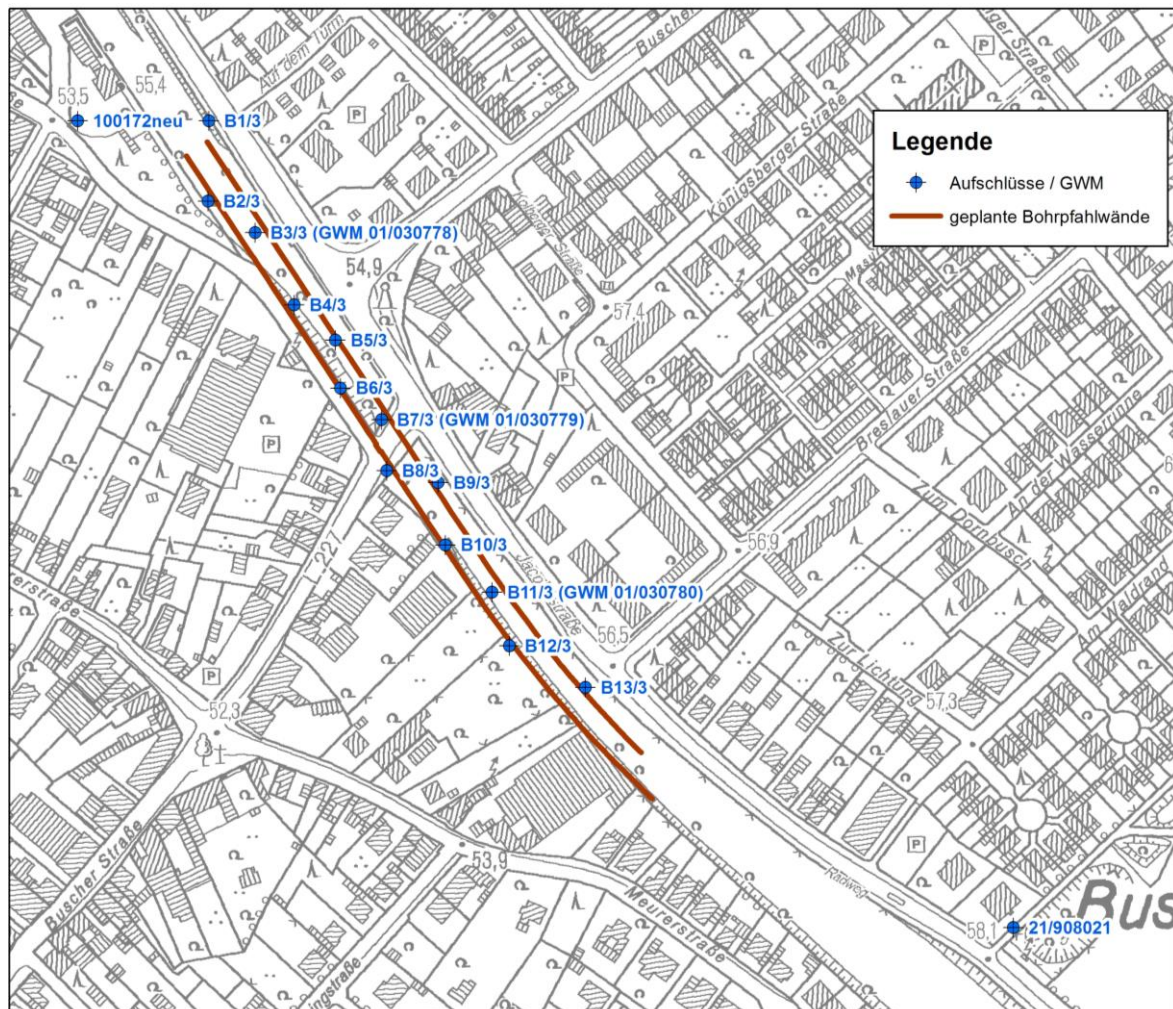


Abbildung 1: Lage der Aufschlüsse und der geplanten Tragwerkkonstruktion

3.2 Hydrogeologie

3.2.1 Hydraulische Versuche

Zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte des Untergrundes im unmittelbaren Untersuchungsbereich wurden hydraulische Versuche an der GWM 01/030778 und der GWM 01/030779 durchgeführt. Die Lage der Messstellen ist in Abbildung 1 zu sehen. Die Schichtenverzeichnisse und Messstellenausbauzeichnungen sind in den entsprechenden Höhenplänen des Dipl.-Geol. Michael Eckardt enthalten. Die nachfolgende Tabelle 2 enthält die daraus abgeleiteten wesentlichen Stammdaten der Messstellen.

Tabelle 2: Stammdaten der getesteten Grundwassermessstellen

| Messstelle | Filterstrecke von – bis [m u. GOK] | Grundwas- serleiter | Ruhegrundwas- serspiegel vor hydr. Versuch [m u. POK / GOK] | hydraulisch wirksame Mächtigkeit [m] | UK Quartär [m u. GOK] |
|------------|--|------------------------|--|---|-----------------------------|
| 01/030778 | 9,00 – 15,00 | Tertiär | 9,60 / 8,80 | 6,20 | 8,00 |
| 01/030779 | 9,00 – 15,00 | Quartär und Tertiär | 9,58 / 8,78 | 6,22 | 10,80 |

Die Mächtigkeit des durch den jeweiligen hydraulischen Versuch beeinflussten Bereiches des Grundwasserleiters ist durch die Lage der Filterstrecke gegeben. Da der Grundwasserspiegel jeweils oberhalb der Filterstrecke lag, ergibt sich die hydraulisch wirksame Mächtigkeit aus der Differenz der Unterkante der Filterstrecke in m u. GOK und des Grundwasserspiegels in m u. GOK.

Im Bereich der Messstelle 01/030778 liegt das Grundwasser zum Versuchszeitpunkt ausschließlich in den kreidezeitlichen Oligozänen Meeressanden. Im Bereich der GWM 01/030779 liegt die Unterkante des Quartärs bezogen auf die GOK um etwa 2,80 m tiefer. Bei einem ähnlichen Grundwasserstand wie an GWM 01/030778 liegt hier die Grundwasseroberfläche somit ca. 2,00 m über der Unterkante des Quartärs. An der GWM 01/030778 wird demnach die hydraulische Durchlässigkeit ausschließlich der tertiären Oligozänen Meeressande ermittelt. An GWM 01/030779 wird dagegen eine hydraulische Durchlässigkeit ermittelt, die das Quartär und das Tertiär gemeinsam repräsentiert. Über die

entsprechenden Transmissivitäten kann schließlich jeweils ein repräsentativer Durchlässigkeitsbeiwert für das bereichsweise grundwasserführende Quartär sowie für das überall grundwassererfüllte Tertiär berechnet werden.

Am 17. und 18.10.2017 wurden schließlich die beiden hydraulischen Versuche in Form von Kurzpumpversuchen (KPV) durchgeführt. In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist exemplarisch der Versuchsaufbau an der GWM 01/030779 zu sehen.



Abbildung 2: Versuchsaufbau an GWM 01/030779

Zur Grundwasserentnahme wurde jeweils eine leistungsstarke und ausfallsichere frequenzgesteuerte Unterwassermotorpumpe (Grundfos SP 8A-5) an einer 13 m langen Steigleitung eingebaut. Die Stromversorgung wurde mittels eines 380V/400V Stromaggregates gewährleistet. Die Ablaufleitung wurde zu einem nahe gelegenen Kanalisationsschacht verlegt.



Abbildung 3: Versuchsaufbau an GWM 01/030779

Die Kurzpumpversuche liefen jeweils über 4,5 bis 5 Stunden. Nach einer kurzen Anlaufphase wurde eine möglichst konstante Förderrate eingestellt und der Verlauf der Grundwasserabsenkung in der Messstelle mit einer Drucksonde gemessen und mit einem Datenlogger aufgezeichnet. Die Messwertregistrierung erfolgte zu Versuchsbeginn in Zeitschritten von 10 Sekunden. Im weiteren Verlauf wurden die Messwerte ereignisgesteuert bei Wasserspiegeländerungen > 5 mm aufgezeichnet. Zur Plausibilitätsprüfung wurde der Wasserstand parallel dazu mittels eines manuellen Kabellichtlotes in regelmäßigen Abständen kontrolliert. Die Förderraten wurden über einen MID (magnetisch induktives Durchflussmessgerät) mit Datenlogger erfasst und gespeichert. Zusätzlich wurde der Förderstrom zur Plausibilitätsprüfung zeitweise ausgelitert.

Der Wiederanstieg wurde anschließend bis zum Folgetag gemessen, dafür verblieb das automatische Grundwasserstandsmesssystem in der Messstelle. Das entsprechende Messsystem, das in der GWM 01/030779 am Abend des 18.10.2017 eingebaut wurde, wurde offensichtlich durch Dritte entwendet, so dass für diesen Versuch keine weiteren Grundwasserstandsmesswerte vorliegen.

Die wesentlichen Daten zu den Kurzpumpversuchen sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Versuchsdaten

| Messstelle | Dauer Pumpphase [h] | durch- schnittliche Förderrate [m³/h] | max. Absenkungsbe- trag zum Ende des Versuchs [m] | Grundwasserleiter / Auswerteverfahren |
|------------|---------------------------|--|--|--|
| 01/030778 | 4,5 | 0,83 | 1,37 | ungespannt |
| 01/030779 | 5,0 | 1,78 | 1,16 | ungespannt |

Anhand der Versuchsdaten wird deutlich, dass an der GWM 01/030779 bei mehr als doppelter Förderrate eine geringere Absenkung als an GWM 01/030778 registriert wird. Damit zeigt sich grundsätzlich eine höhere hydraulische Durchlässigkeit an GWM 01/030779. Dies bestätigt bereits qualitativ, dass an der GWM 01/030779 neben den Oligozänen Meeressanden auch die gut durchlässigen quartären Sande und Kiese grundwassererfüllt und verfiltert sind und damit getestet werden.

Die Diagramme in der nachfolgenden Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die während der Versuche gemessenen Absenkkurven in den Grundwassermessstellen.

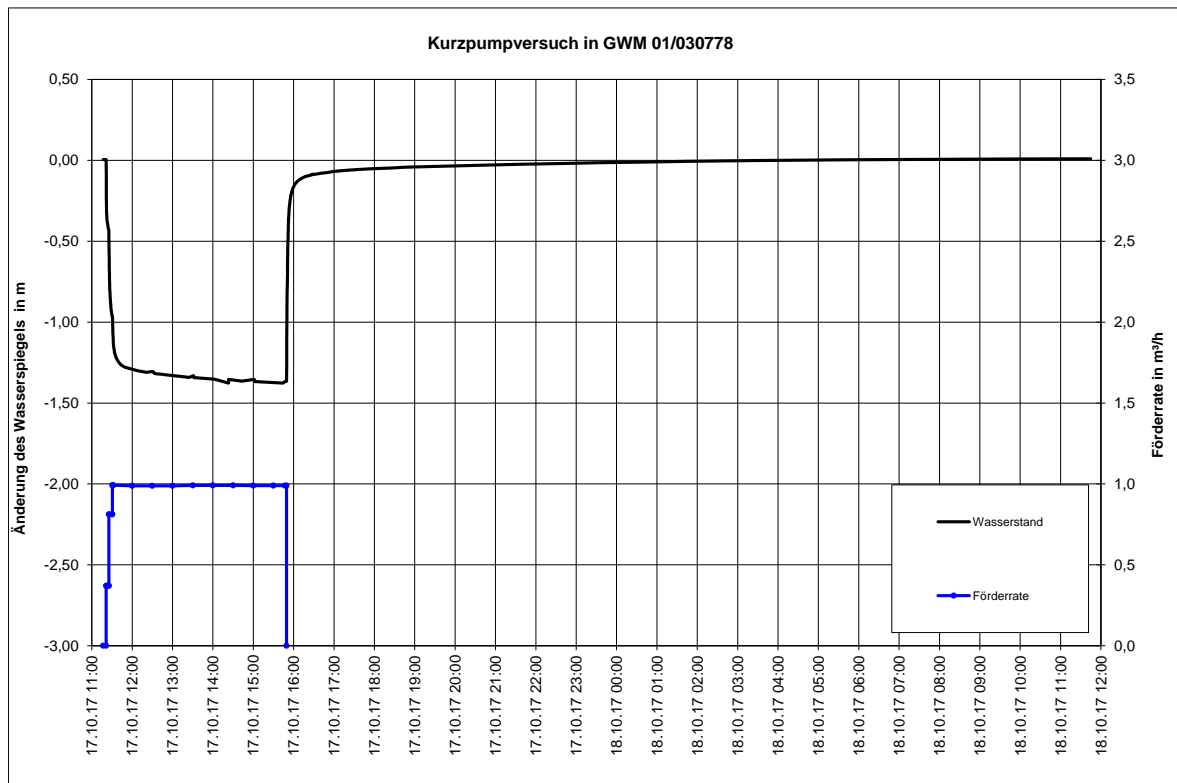


Abbildung 4: Zeit-Absenkungsdiagramm zum KPV an GWM 01/030778

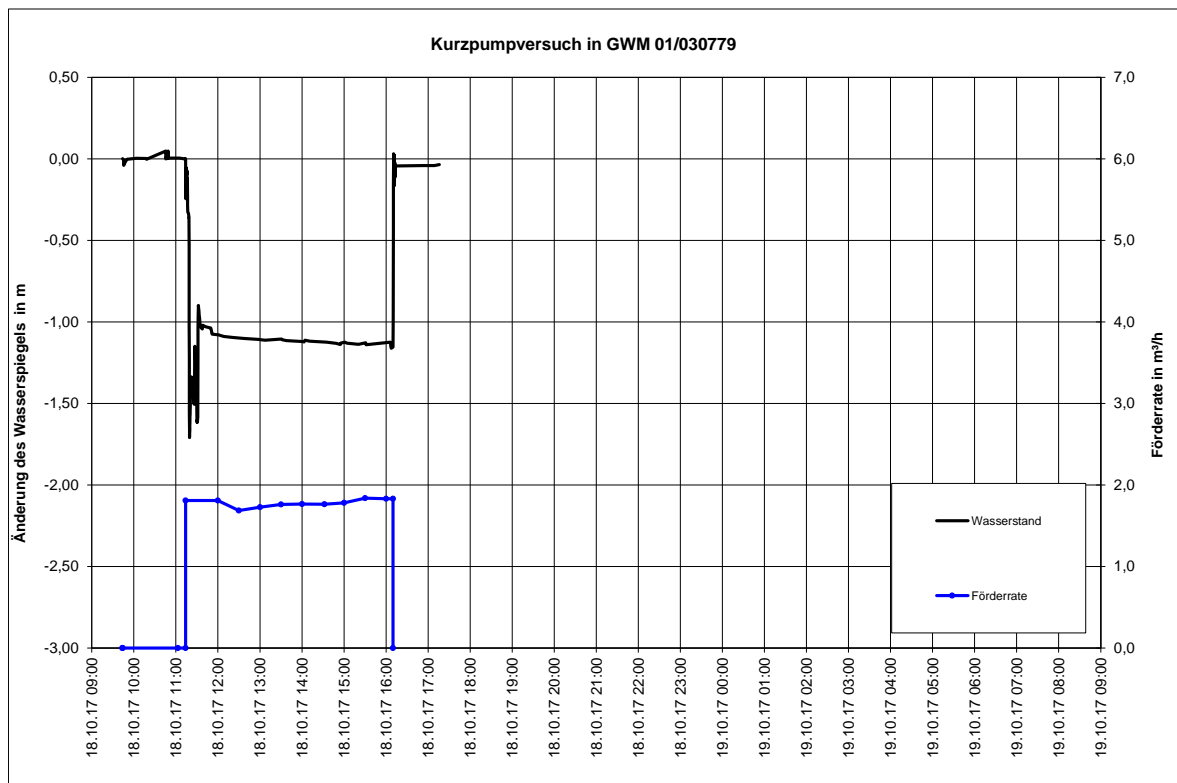


Abbildung 5: Zeit-Absenkungsdiagramm zum KPV an GWM 01/030779

Zum Ende der Versuche konnte jeweils ein quasistationärer Zustand erreicht werden (Zustrom zur GWM entspricht ungefähr der Förderrate). Die Auswertung dieser mittels Datenlogger während der Kurzpumpversuche aufgezeichneten Zeit-Absenkungsdaten erfolgte nach einer Plausibilitätsprüfung der Messwerte EDV-gestützt mit dem Auswerteprogramm AQTESOLV® der Firma Hydro-SOLVE Inc. Die Auswertung erfolgte nach den gängigen Verfahren von Theis, Neuman und Cooper & Jacob für stationäre Strömungszustände in einem ungespannten Grundwasserleiter. Diese Methoden werden für die Absenkphase sowie für die Erholungs- bzw. Wiederanstiegsphase genutzt und dienen der Bestimmung der Transmissivität des bzw. der getesteten Grundwasserleiter.

Die Verfahren zur Auswertung des Absenkungsverhaltens nach Theis und Neuman bedienen sich des sog. Typkurvenverfahrens. Das Verfahren nach Cooper & Jacob wertet mittels der Methode der Ausgleichsgeraden bei halblogarithmischer Messwertauftragung in einem Zeit-Absenkungs-Diagramm (s/t) aus. Das Verfahren zur Auswertung des Wiederanstiegs erfolgt ebenfalls über eine Ausgleichsgerade bei halblogarithmischer Darstellung des Zeit-Wiederanstieg-Verhaltens, wobei auf der Zeitachse die Zeit gemäß t/t' dargestellt wird, wobei t' der Zeit seit Abstellen der Pumpe entspricht. Aus einer angelegten Ausgleichsgeraden wird die Wasserspiegeländerung pro logarithmischem Zyklus abgelesen und in die Auswerteformel übernommen. Die Verfahren von Theis und Cooper & Jacob wurden primär für die Auswertung gespannter Grundwasserleiter entwickelt. Für einen ungespannten Grundwasserleiter sind die Verfahren dennoch geeignet, wenn die Wasserspiegeländerungen im Vergleich zur Gesamtmächtigkeit des Grundwasserleiters gering sind. Entsprechend muss eine korrigierte Absenkung s_k gemäß der folgenden Formel

$$s_k = s - s^2 / 2 \cdot M$$

angesetzt werden. Dabei ist s die gemessene Absenkung in m und M die hydraulisch wirksame Mächtigkeit vor Versuchsbeginn in m. Aus den je nach Auswerteverfahren berechneten Transmissivitäten wird über die Beziehung

$$T = k_f \cdot M$$

der Durchlässigkeitsbeiwert k_f ermittelt.

Die anhand der aus den verschiedenen Auswerteverfahren ermittelten Werte sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Ermittelte Durchlässigkeitsbeiwerte

| Messstelle | Grundwasserleiter | ermittelte k_f -Werte [m/s] | | | Bodenansprache im Bereich der grundwassererfüllten Filterstrecke |
|------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---|
| | | unterer | oberer | Mittelwert | |
| 01/030778 | Tertiär | $3,1 \cdot 10^{-5}$ | $4,7 \cdot 10^{-5}$ | $4,0 \cdot 10^{-5}$ | 6 m schwach schluffiger bis schluffiger Feinsand (Tertiär) |
| 01/030779 | Quartär / Tertiär | $3,9 \cdot 10^{-5}$ | $7,9 \cdot 10^{-5}$ | $6,5 \cdot 10^{-5}$ | 1,8 m schluffiger und sandiger Kies (Quartär) über 4,2 m schwach schluffiger Feinsand (Tertiär) |

Der ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert für die Oligozänen Meeressande an der GWM 01/030778 liegt mit $4,0 \cdot 10^{-5}$ m/s im oberen Bereich der Literaturangaben.

Die an der GWM 01/030779 ermittelte Transmissivität repräsentiert wie oben beschrieben die Transmissivität der Oligozänen Meeressande und darüber hinaus die des unteren Quartärs. Zum Ende des Kurzpumpversuchs beträgt die Absenkung hier 1,16 m. Der Grundwasserspiegel liegt somit bei 9,94 m u. GOK. Die Unterkante der quartären Sande und Kiese liegt hier bei 10,80 m u. GOK, die Unterkante der Filterstrecke liegt bei 15 m u. GOK in den Oligozänen Meeressanden. Demnach wird zum Ende des KPV Grundwasser aus den untersten 0,86 m des Quartärs und den obersten 4,20 m des Tertiärs gefördert. Über die Einzeltransmissivitäten für das Quartär und das Tertiär kann ein Durchlässigkeitsbeiwert für das unterste, grundwassererfüllte Quartär nach folgender Beziehung berechnet werden:

$$T_{ges} = T_Q + T_T$$

⇔

$$T_Q = T_{ges} - T_T$$

⇔

$$kfQ * MQ = T_{ges} - TT$$

⇔

$$kfQ = \frac{T_{ges} - TT}{MQ}$$

mit

$T_{ges} = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Transmissivität aus KPV 01/030779)

$TT = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Transmissivität aus KPV 01/030778)

$MQ = 0,86 \text{ m}$ (Mächtigkeit des Quartärs, aus dem Grundwasser gefördert wird).

Es ergibt sich ein Durchlässigkeitsbeiwert für das Quartär von $1,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Im Grundwassermodell werden folgende Durchlässigkeitsbeiwerte berücksichtigt:

Quartär: $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Tertiär: $4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

3.2.2 Grundwasserstände und Grundwassergleichenplan

Im Untersuchungsbereich liegt nach [1] im für das Bauvorhaben relevanten Tiefenbereich ein zusammenhängender, relativ geringmächtiger Grundwasserleiter vor, der sich aus dem Quartär und den Oligozänen Meeressanden (Tertiär) zusammensetzt. Wie beschrieben sind bereichsweise die untersten Meter des Quartärs sowie die Oligozänen Meeressande grundwassererfüllt. Zur Erstellung eines lokalen Grundwassergleichenplans konnten somit die Grundwasserstandsmesswerte der vier unmittelbar im Bereich der geplanten Bohrfahlwände gelegenen Grundwassermessstellen genutzt werden. Für die GWM 01/030778, 01/030779 und 01/030780 liegen Grundwasserstände seit ihrer Errichtung im Jahr 2008 vor. Für die neu errichtete GWM 100172neu [2] liegen Daten seit Ende 2016 vor. Aus den vorliegenden Daten wurden mittlere Grundwasserstände für den Ist-Zustand abgeleitet:

| | |
|-------------------|-------------|
| GWM 01/030778: | 45,46 mNHN, |
| GWM 01/030779: | 45,62 mNHN, |
| GWM 01/030780: | 45,39 mNHN, |
| GWM 01/100172neu: | 45,45 mNHN. |

Mit diesen Daten wurde unter Berücksichtigung der generellen Grundwasserfließrichtung im weiteren Untersuchungsbereich (Erftverband) ein Grundwassergleichenplan für mittlere Verhältnisse erstellt. Er ist gemeinsam mit dem Modellgebietsrand in Abbildung 7 dargestellt. Die Auswertung ergibt näherungsweise eine Parallelströmung mit südwestlicher Richtung und einem im gesamten Modellgebiet mehr oder weniger konstanten hydraulischen Gradienten. Unter Berücksichtigung dieses Grundwassergleichenplans wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt.

Unter den Bedingungen des mittleren Ist-Zustands ist mit keinen nennenswerten Auswirkungen der überschrittenen Bohrpfahlwand auf die Grundwassersituation zu rechnen, da die Sekundärpfähle nur in den Abschnitten 4-4 und 6-6 ins Grundwasser eintauchen und einen gewissen hydraulischen Widerstand darstellen werden. In den Abschnitten 3-3, 5-5 und 7-7 berühren die Unterkanten der Sekundärpfähle gerade die freie Grundwasseroberfläche. Die Primärpfähle sind so geplant, dass sie im gesamten Bauabschnitt oberhalb des mittleren Grundwassers liegen. Aus diesen Gründen werden die durch die Errichtung der überschrittenen Bohrpfahlwand zu erwartenden Auswirkungen auf die Grundwassersituation gezielt für ungünstige Verhältnisse mit hohen Grundwasserständen entsprechend den in unseren früheren Berichten genannten höchsten Grundwasserständen berechnet. Bei hohen Grundwasserverhältnissen wirkt sich die Barrierewirkung der überschrittenen Bohrpfahlwand deutlicher aus. Es wurden folgende höchste zu erwartende Grundwasserstände berücksichtigt (vgl. [2] und Kapitel 5):

| | |
|-------------------|-------------|
| GWM 01/030778 | 47,88 mNHN, |
| GWM 01/030779 | 48,04 mNHN, |
| GWM 01/030780 | 47,92 mNHN, |
| GWM 01/100712neu: | 47,53 mNHN. |

3.3 Bohrpfahlwände

Die Bohrpfahlwände wurden in abstrahierter, modelltechnisch umsetzbarer Form in das Grundwassermodell übernommen. Die unbewehrten Primärpfähle und die bewehrten Sekundärpfähle werden gemäß dem Planungsstand vom November 2017 grundsätzlich in unterschiedlichen Teufen abgesetzt. Die Primärpfähle werden nach Rücksprache mit dem Planungsbüro 2 m unter der geplanten Gradienten abgesetzt, somit orientiert sich die Unterkante der Primärpfähle exakt am Verlauf der Gradienten. Die Gradienten verläuft von den Seiten (West und Ost) mit einem Gefälle um 2 % bis 3 % zum tiefsten Punkt im Zentrum im Bereich der Überführung der Buscher Straße. Der Planung entsprechend beginnt sie im Westen bei einem Niveau von 54,535 mNHN und im Osten bei einem Niveau von 54,281 mNHN. Der tiefste Punkt in der Mitte liegt auf einem Niveau von 49,275 mNHN.

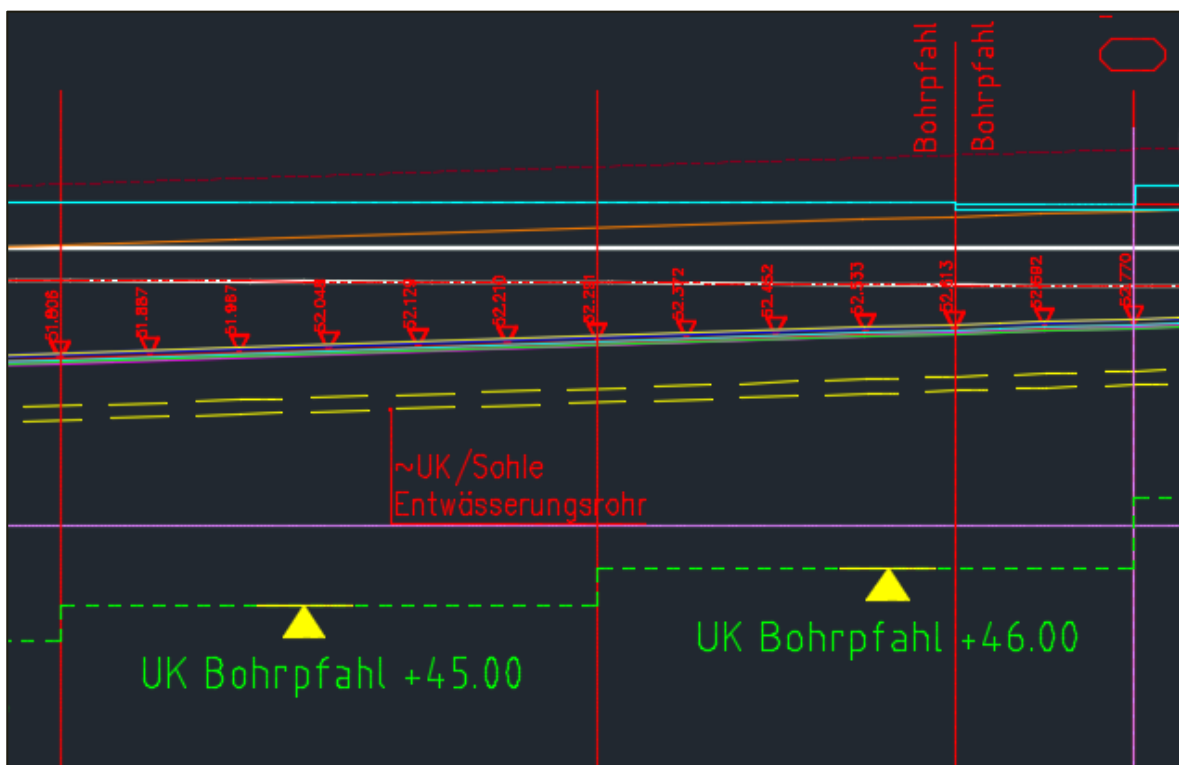


Abbildung 6: Ausschnitt aus Planungsunterlagen für den östlichen Bereich des geplanten Trops

Die Sekundärpfähle werden abhängig von der Stationierung ebenfalls in unterschiedlichen Tiefen abgesetzt. Deren Unterkante orientiert sich dabei jedoch

nicht exakt am Verlauf der Gradiente, sondern nimmt stufenartig zum Bereich der Überführung im zentralen Bereich zu. Außen (West und Ost) beträgt das Absetzniveau jeweils 48 mNHN, zur Mitte hin nimmt es zu und erreicht im tiefsten Punkt 42 mNHN.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus den Planungsunterlagen des Planungsbüros. Zu sehen ist ein Teil des östlichen Trogabschnittes. Die Unterkante der Sekundärpfähle (grün) ist entsprechend abschnittsweise vorgegeben. Für diese Abschnitte wurde anschließend jeweils das mittlere Planungsniveau der Gradiente (rot) ermittelt. Von diesem Mittelwert wurden dann 2 m für das Niveau der Unterkante der Primärpfähle abgezogen.

Aus den Mittelwerten der Unterkanten der Primärpfähle und der Sekundärpfähle wird dann abschnittsweise eine gemeinsame gemittelte Höhenlage der Unterkante berechnet. Die tiefer reichenden Sekundärpfähle überdecken wegen des Überschnitts grundsätzlich eine größere Bohrpfahlwandfläche als die weniger tief reichenden Primärpfähle. In den Abschnitten mit einem Pfahldurchmesser von 0,9 m ergibt sich bei einem Überschnitt von 7,5 cm rechnerisch ein Verhältnis der geschlossenen Flächen zu den offen durchströmbaren Flächen von $3/5$ zu $2/5$. In den Abschnitten mit einem Pfahldurchmesser von 1,2 m ergibt sich bei einem Überschnitt von 7,5 cm rechnerisch ein Verhältnis der geschlossenen Flächen zu den offen durchströmbaren Flächen von $4/7$ zu $3/7$. Im Überschnittsbereich, der ein Strömungshindernis für das Grundwasser darstellt, ist die Breite der Sekundärpfähle lotrecht zum Verlauf der Bohrpfahlwand deutlich reduziert ist (etwa zwischen 0 cm und 50 cm). In einem vereinfachten Ansatz wurden die flächenhaften Aussparungen in Folge der weniger tief reichenden Primärpfähle gleichgewichtig wie die Sekundärpfähle behandelt und rechnerisch die Mitte zwischen den Unterkanten von Primär- und Sekundärpfählen genommen. Bei dieser Festlegung wurde berücksichtigt, dass der Bereich zwischen den parallelen Bohrpfahlwänden bei den Modellrechnungen als undurchlässig angesetzt wurde (s. Kapitel 5), obwohl das Grundwasser in der Realität nach Durchströmen der oben genannten Aussparungen in der nordöstlichen Bohrpfahlwand wieder den vollen Fließquerschnitt benutzen kann, bevor das Grundwasser durch die Aussparungen der südwestlichen Bohrpfahlwand oder unter ihr hindurch strömt.

Dies ist eine sehr ungünstige Abbildung der Bohrpfahlwände mit einem überhöhten Fließwiderstand.

Für den Ausschnitt aus Abbildung 6 errechnet sich der Mittelwert der Absetztiefen der Bohrpfähle demnach beispielhaft wie folgt:

- Unterkante Sekundärpfähle Abschnitt 46,00 mNHN,
- Planungsniveau Gradienten: 52,291 mNHN (West) bis 52,770 mNHN (Ost),
 - ➔ mittleres Planungsniveau Gradienten: 52,53 mNHN,
 - ➔ mittlere Unterkante Primärpfähle in diesem Abschnitt (nach Vorgabe von Planungsbüro 2 m unter Gradienten): 50,53 mNHN.

Die nach dem oben genannten vereinfachten Ansatz gemittelte, gemeinsame Unterkante für die Primär- und Sekundärpfähle für diesen Abschnitt errechnet sich sodann aus der Unterkante der Primärpfähle (50,53 mNHN) und der Unterkante der Sekundärpfähle (46,00 mNHN). Diese beträgt somit 48,265 mNHN.

Tabelle 5: Tiefenlage Unterkante Bohrpfahlwände, abstrahiert für Grundwassermodell

| | Abschnitt | Unterkante Sekundärpfähle | Niveau Gradienten über Abschnitt gemittelt | Unterkante Primärpfähle gemittelt | Unterkante Primär- und Sekundärpfähle gemittelt |
|------|-----------|------------------------------|--|---|---|
| | | [mNHN] | [mNHN] | [mNHN] | [mNHN] |
| WEST | 1 | 48,00 | 53,60 | 51,60 | 49,80 |
| | 1 | 48,00 | 53,60 | 51,60 | 49,80 |
| | 2 | 46,00 | 52,30 | 50,30 | 48,15 |
| | 2 | 46,00 | 52,30 | 50,30 | 48,15 |
| | 3 | 45,00 | 50,64 | 48,64 | 46,82 |
| | 3 | 45,00 | 50,64 | 48,64 | 46,82 |
| | 4 | 42,00 | 49,32 | 47,32 | 44,66 |
| | 4 | 42,00 | 49,32 | 47,32 | 44,66 |
| | 5 | 45,00 | 50,38 | 48,38 | 46,69 |
| | 5 | 45,00 | 50,38 | 48,38 | 46,69 |
| | 6 | 44,00 | 51,61 | 49,61 | 46,81 |
| | 6 | 44,00 | 51,61 | 49,61 | 46,81 |
| | 7 | 45,00 | 52,05 | 50,05 | 47,53 |
| | 7 | 45,00 | 52,05 | 50,05 | 47,53 |
| | 8 | 46,00 | 52,53 | 50,53 | 48,27 |
| OST | 8 | 46,00 | 52,53 | 50,53 | 48,27 |
| | 9 | 48,00 | 53,53 | 51,53 | 49,77 |
| | 9 | 48,00 | 53,53 | 51,53 | 49,77 |

So wurde für alle 9 Abschnitte, in denen sich die Unterkante der Sekundärpfähle stufenartig ändert, vorgegangen. In Tabelle 5 sind die Absetzniveaus zusammengestellt. In jedem Abschnitt sind die nordöstliche und die südwestliche Bohrpfahlwand berücksichtigt. Daraus resultieren jeweils 2 Einträge, die jedoch hinsichtlich der Niveauangaben identisch sind. Die Niveauangaben „Unterkante Primär- und Sekundärpfähle gemittelt“ wurde als Unterkante der Bohrpfahlwände im Modell verwendet.

4 Modellaufbau

Zur Berechnung der in Folge der Tragkonstruktion zu erwartenden Auswirkungen auf die Grundwassersituation wurde ein abstrahiertes numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt, das die Grundwassersituation im obersten Grundwasserleiter, der sich aus dem Quartär und den Oligozänen Meeressanden zusammensetzt, dreidimensional abbildet. Es wurde ein näherungsweise rechtwinkliges Modellgebiet (Abbildung 7) gewählt, das sich an der Grundwassersituation im Ist-Zustand orientiert und eine Ausdehnung von ca. 650 m mal 750 m aufweist.

Der geplante Trog befindet sich zentral im Modellgebiet. Das Modellgebiet ist so weit ausgedehnt, dass sich die Auswirkungen durch die Errichtung der Bohrpfahlwände nicht bis an die Modellränder auswirken. Aus diesem Grund können die Randbedingungen als stabil betrachtet werden. Das Modell ist entsprechend der südwestlichen Strömungsrichtung verdreht, so dass der nordöstliche Modellrand der Einstromrand und der südwestliche Modellrand der Ausstromrand ist und die beiden übrigen Modellränder Randstromlinien (no-flow-boundary) repräsentieren. Durch diese Verdrehung des Modellgebiets ergibt sich eine parallele Grundwasserströmung durch das Modellgebiet.

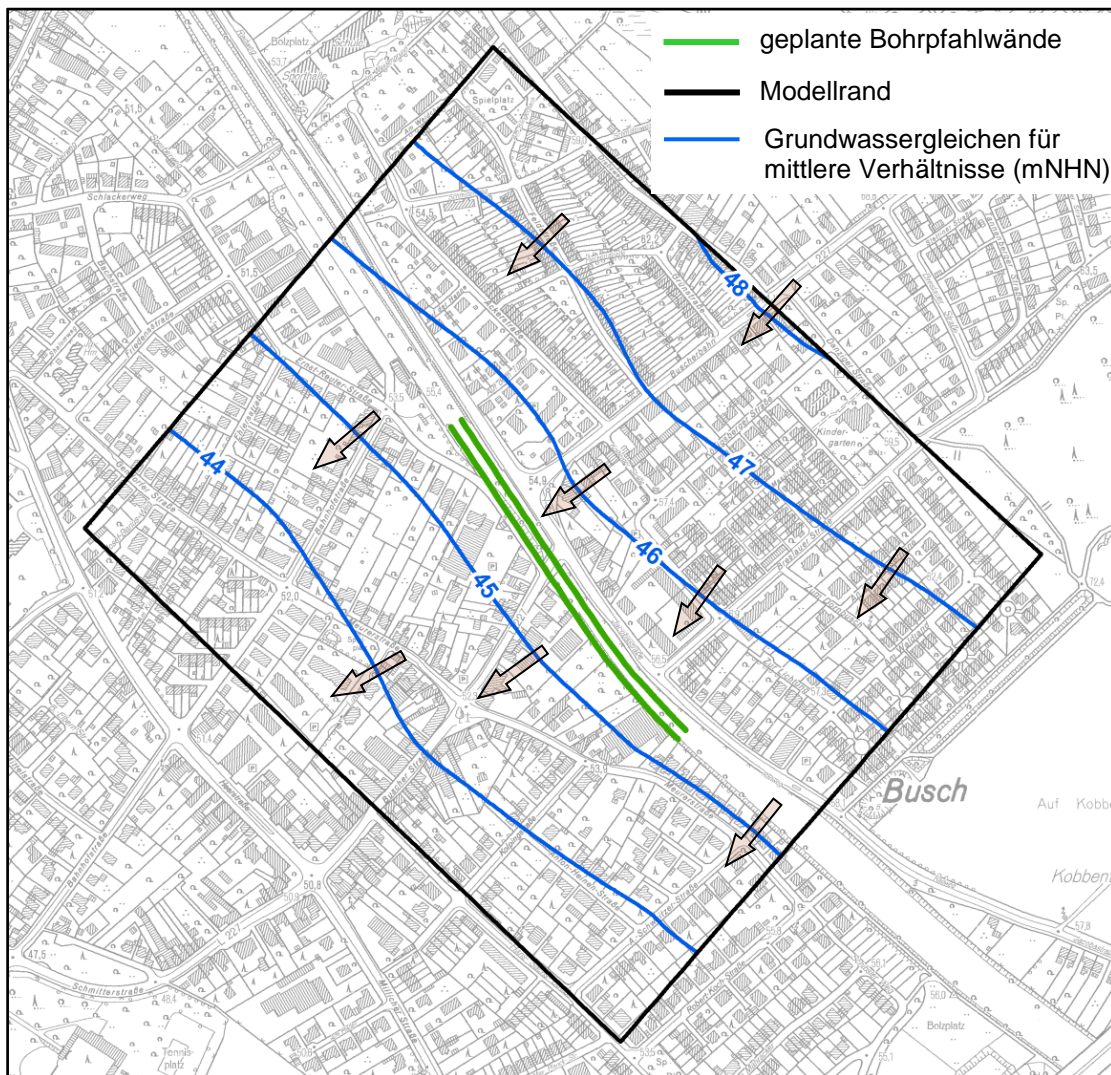


Abbildung 7: Übersicht über das Modellgebiet, mittlere Grundwassergleichen

Die Modellrechnungen wurden mit dem Finite-Elemente-Simulationsprogramm SPRING durchgeführt. Zunächst wurde das Modellgebiet durch das Finite-Elemente-Netz in eine Vielzahl von Elementen (Dreiecken und Vierecken) horizontal aufgeteilt. An den Ecken der Elemente befinden sich die sogenannten Knoten, die die Stützstellen der Diskretisierung der partiellen Differenzialgleichung darstellen. Die Knotenabstände betragen im engeren Randbereich ca. 20 m, im Inneren des Modellgebietes ca. 15 m und in der unmittelbaren Umgebung des geplanten Trops 10 m. Das Modell verfügt horizontal betrachtet über ca. 2300 Knoten. Das horizontale Finite-Elemente-Netz ist in Abbildung 8 dargestellt.

Der dreidimensionale Aufbau des Grundwasserströmungsmodells erfolgte unter Berücksichtigung der lokalen Geologie und der Kubatur der geplanten Tragkonstruktion (Bohrpfahlwände). Dem Modell wurden zunächst Geländehöhen flächendeckend zugewiesen. Sie variieren etwa zwischen 51 mNHN und 57 mNHN. Anschließend wurden dem Modell die aus den Bohrungen ermittelte Unterkanten der Oligozänen Meeressande (37 mNHN bis 44 mNHN), die die Basis des Grundwasserleiters darstellt, und des Quartärs (43 mNHN bis 49 mNHN) flächendeckend zugewiesen. Damit ist eine Zweiteilung des hydrogeologischen Körpers in einen oberen quartären Teilgrundwasserleiter und einen unteren aus den Oligozänen Meeressanden bestehenden Teilgrundwasserleiter im Modell abgebildet. Um numerisch genauer rechnen zu können und um die Unterkante der Bohrpfahlwände lagegenau im Modell abbilden zu können, wurden das Quartär und die Oligozänen Meeressande jeweils in 5 Modellschichten unterteilt. Lokal im Bereich des Trops wurden die Elementschichten noch weiter unterteilt und die Höhenlagen der Knotenschichten abschnittsweise so variiert, dass die Unterkanten der überschrittenen Bohrpfahlwand genau auf Knotenlagen liegen. Insgesamt verfügt das Modell über 14 Elementschichten und 15 Knotenschichten, wobei außerhalb des Trogbereichs nur 10 Elementschichten körperhaft ausgebildet sind.

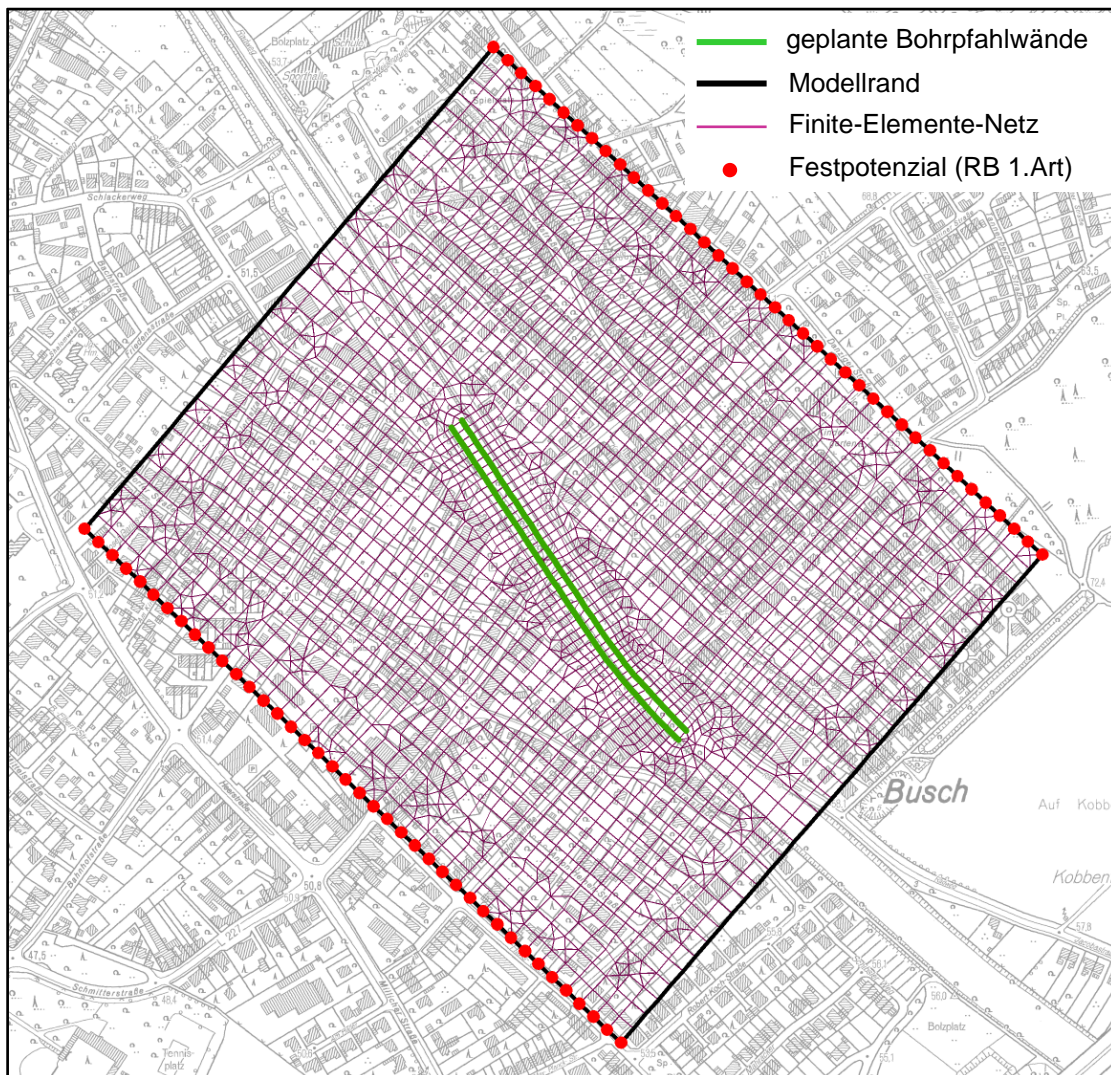


Abbildung 8: Finite-Elemente-Netz und Randbedingungen

Das Grundwassermodell wurde zunächst für mittlere Grundwasserverhältnisse im Ist-Zustand aufgebaut, wie sie in Abbildung 7 in Form von Grundwassergleichungen dargestellt sind. Daraus ergeben sich die Festlegungen der Randbedingungen. Am nordöstlichen Modellrand (Einstromrand) und am südwestlichen Modellrand (Ausstromrand) wurden Randbedingungen 1. Art (Festpotenziale) entsprechend dem in Abbildung 7 dargestellten Gleichenplan im Modell implementiert. Die Randbedingungen sind in Abbildung 8 aufgenommen. Die Randbedingung 2. Art mit $Q = 0$ (Randstromlinie) auf dem nordwestlichen und südöstlichen Modellrand ist in Abbildung 8 an dem Fehlen einer Markierung auf den Randknoten erkennbar.

Anschließend wurden dem Modell flächendeckend die Grundwasserstände des mittleren Ist-Zustands (siehe Abbildung 7) per Interpolation zugewiesen. Den Elementschichten des Quartärs wurden die in den hydraulischen Versuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (Quartär: $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, Tertiär: $4 \cdot 10^{-5}$ m/s) zugewiesen. Die Anisotropie (Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Durchlässigkeit) wurde entsprechend langjährigen Erfahrungen mit einem Faktor 10 berücksichtigt. Eine Grundwasserneubildung wurde in der Modellstudie nicht berücksichtigt.

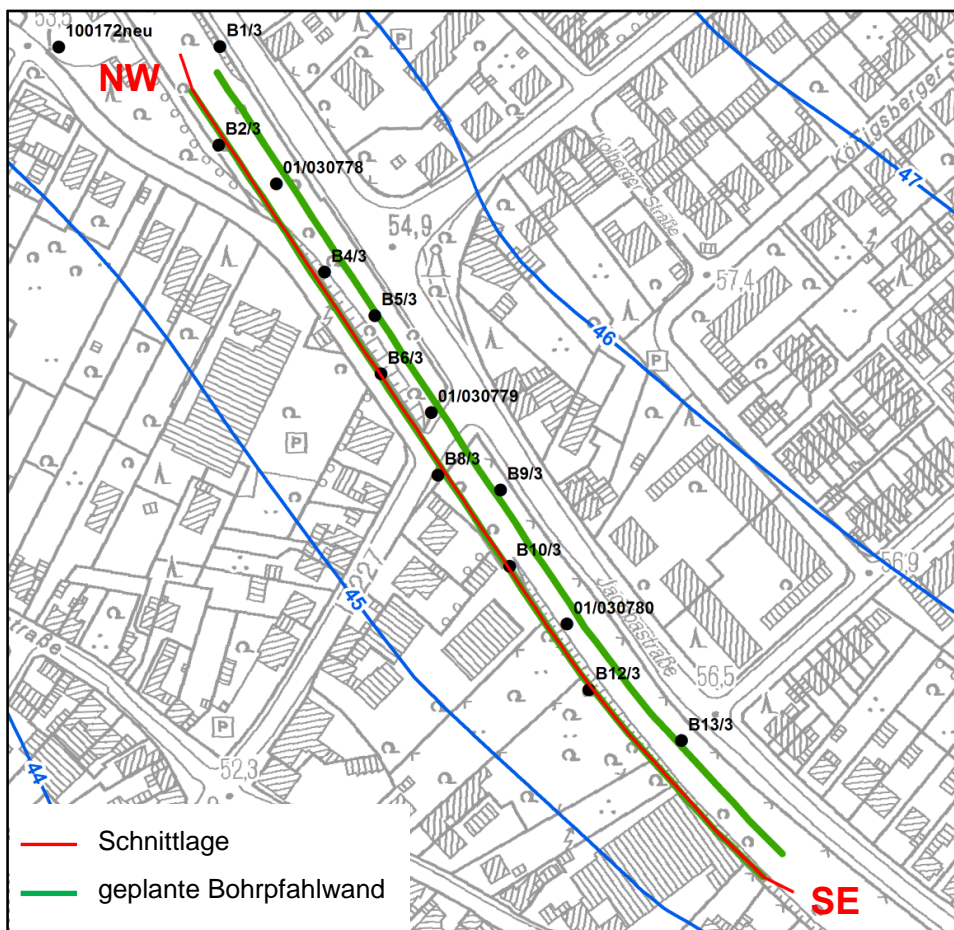


Abbildung 9: Schnittlage

In den beiden Schnittdarstellungen in Abbildung 10 ist das vertikale Finite-Elemente-Netz längs der geplanten südwestlichen Bohrpfahlwand dargestellt. Der Verlauf der Schnittlage ist in Abbildung 9 enthalten. In Abbildung 10 sind die Elementschichten, die das Quartär repräsentieren, gelb unterlegt und die Elementschichten, die die Oligozänen Meeressande repräsentieren, grün unterlegt.

In dem unteren Schnitt ist zusätzlich die überschnittene Bohrpfahlwand entsprechend der Auswertung aus Tabelle 5 eingetragen. Dadurch wird deutlich, dass die Oligozänen Meeressande nur in einem kurzen Abschnitt von der Bohrpfahlwand abriegelnd erreicht werden. Gut zu erkennen sind außerdem die lokalen Anpassungen des Finite-Elemente-Netzes, um die Unterkanten der Bohrpfahlwand genau auf Knotenlagen legen zu können. In beiden Schnitten ist die freie Grundwasseroberfläche gemäß dem mittleren Ist-Zustand (etwa bei 45 mNHN) und dem Zustand unter höchsten zu erwartenden Grundwasserständen (etwa bei 48 mNHN) eingetragen.

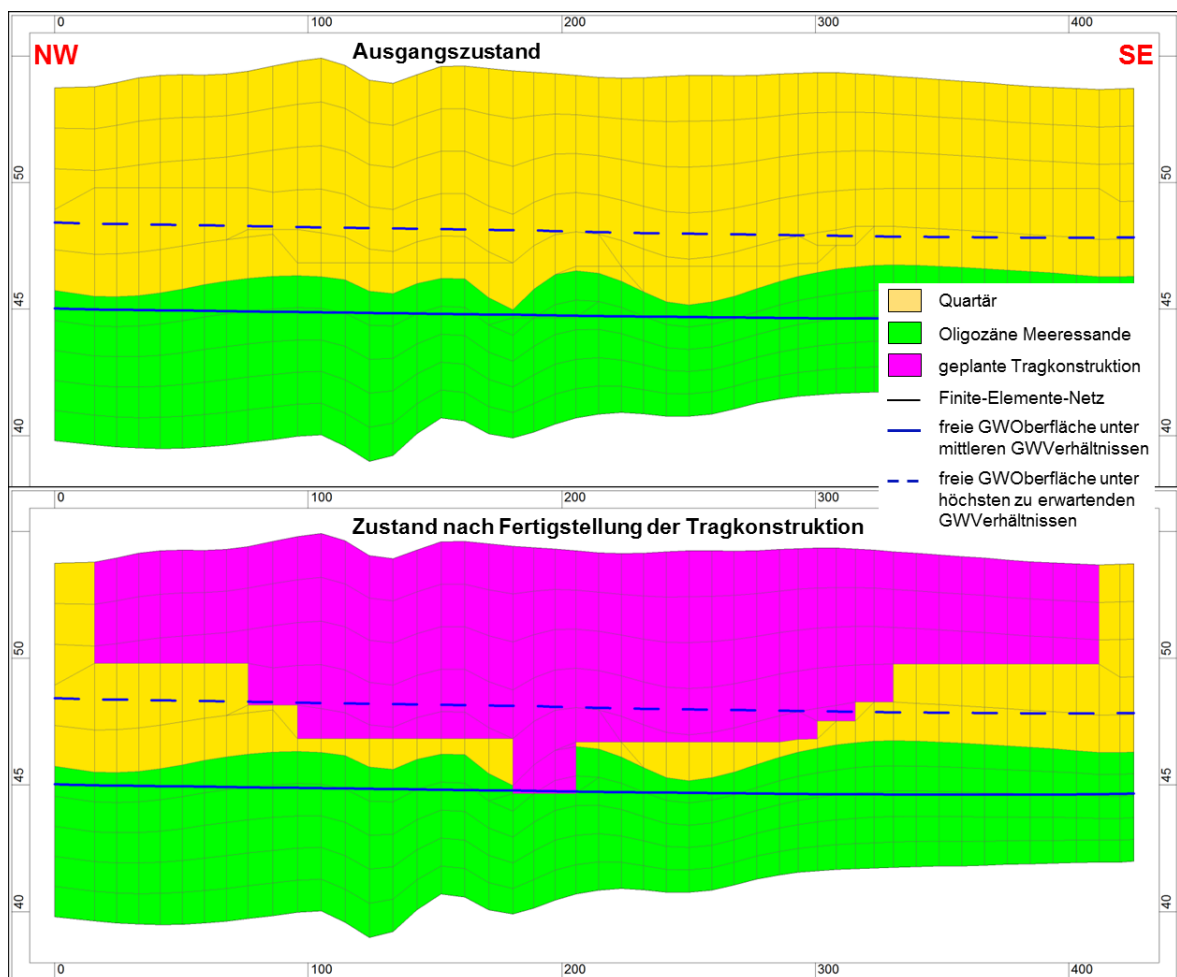


Abbildung 10: Längsschnitte

Abschließend wurde mit dem beschriebenen Grundwassermodell die Grundwassersituation im Sinne einer Simulation berechnet. Es ergab sich ohne eine Variation der Modellparameter eine gute Übereinstimmung mit der aus den

Messwerten konstruierten mittleren Grundwassersituation gemäß dem Ist-Zustand, so dass mit dem Modell belastbare Prognosen berechnet werden können.

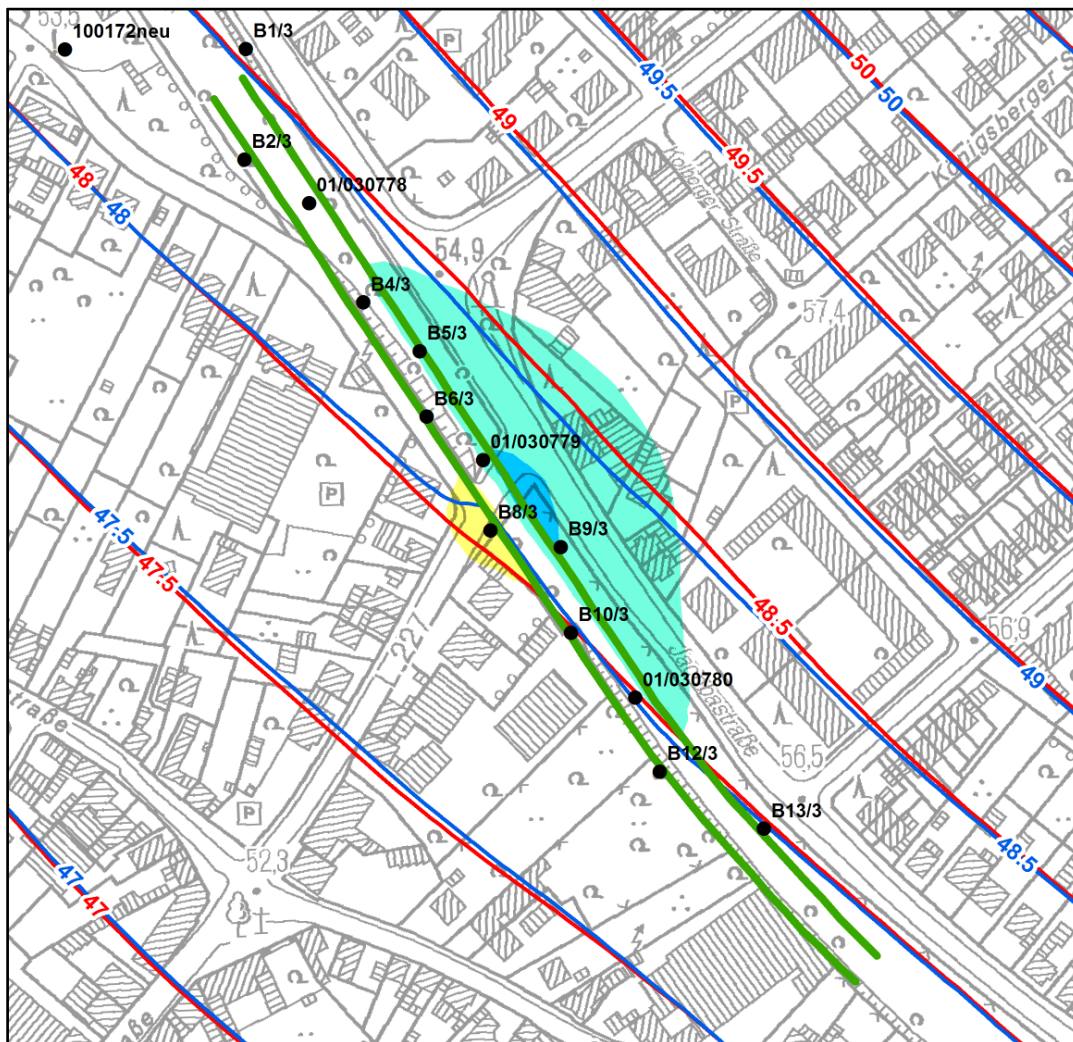
5 Simulationsvarianten

Mit dem Grundwassermodell sollten die in Folge der Errichtung der überschnittenen Bohrpfahlwand zu erwartenden Auswirkungen auf die Grundwassersituation nach Beendigung der Bauphase berechnet werden. Schon der untere Schnitt in Abbildung 10 belegt ein sehr geringes Eintauchen der Bohrpfahlwand in das Grundwasser, so dass für mittlere Verhältnisse gemäß dem Ist-Zustand mit keinen Auswirkungen zu rechnen ist. Aus diesem Grund wurden die Untersuchungen mit dem Grundwassermodell **für höchste zu erwartende Grundwasserstände** entsprechend den Angaben in Kapitel 3.2.2 durchgeführt. Bei hohen Grundwasserständen ist die Barrierewirkung der Bohrpfahlwand ausgeprägter. Um das Grundwassermodell auf höchste zu erwartende Grundwasserverhältnisse (HHW) zu portieren, wurden alle Festpotenziale (Randbedingungen 1. Art) um 3,25 m erhöht. Damit ergeben sich im Modell simulationstechnisch Grundwasserstände um ca. 48 mNHN (zwischen 47,8 mNHN und 48,4 mNHN) im Bereich des geplanten Trops (rote Grundwassergleichen in Abbildung 11).

Mit diesem Modell wurden zunächst zwei Varianten unter Berücksichtigung der Tragkonstruktion gemäß Planungsstand November 2017 berechnet. Zunächst wurde das Modell mit den angesetzten Durchlässigkeitsbeiwerten verwendet (Variante 1). Anschließend wurden im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung die Durchlässigkeitsbeiwerte im Hinblick auf die Barrierewirkung der Tragkonstruktion ungünstig verändert. Hierzu wurde der Durchlässigkeitsbeiwert für das Quartär um den Faktor 2 auf $4 \cdot 10^{-4}$ m/s vergrößert, während der Durchlässigkeitsbeiwert für das Tertiär um den Faktor 2 auf $2 \cdot 10^{-5}$ m/s verringert wurde (Variante 2). Abschließend wurden mit dem Modell in einer Variante 3 die für den Planungsstand September 2018 zu erwartenden Auswirkungen auf die Grundwassersituation untersucht. In allen Varianten wurden nicht nur die Bohrpfahlwände selber sondern der gesamte Bereich zwischen den beiden Bohrpfahlwänden im Sinne eines sehr ungünstigen Ansatzes als undurchlässig abgebildet ($1 \cdot 10^{-11}$ m/s). Diese Undurchlässigkeit reicht genau bis zu den rechnerisch gemittelten Bohrpfahlunterkanten.

5.1 Variante 1

In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Modellrechnung zu Variante 1 (Errichtung der Bohrpfahlwand gemäß Planungsstand November 2017 unter Berücksichtigung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte) in Form von Grundwassergleichen und Grundwasserstandsveränderungen dargestellt.



Grundwasserstandsveränderungen im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand

Grundwasserabsenkung (m)

0,05 – 0,10

Grundwasseranstieg (m)

0,05 – 0,10

0,10 – 0,14

— Grundwassergleichen HHW
 im unbeeinflussten Zustand (mNHN)

— Grundwassergleichen HHW
 nach Errichtung des Bauwerks (mNHN)

Abbildung 11: Variante 1 – Grundwasserstandsveränderungen

Die Grundwasserströmung erweist sich als stabil. Es kommt zu keinen nennenswerten Veränderungen der Fließrichtungen. Es ist auch nur mit geringen Grundwasserstandsveränderungen zu rechnen. Im Grundwasseranstrom auf der nordöstlichen Seite des Trops sind Grundwasseranstiege bis max. 0,14 m zu erwarten. Im Grundwasserabstrom sind Grundwasserabsenkungen bis max. 0,10 m zu erwarten. Hierbei handelt es sich um so geringe Grundwasserstandsveränderungen, dass sie messtechnisch nach unserer Erfahrung kaum zu belegen sein werden. Die Detailanalyse der vom Modell berechneten Grundwasserstände belegt, dass in dieser Variante 1 für beide Bohrpfahlwände nur lokal geringe Grundwasserstandsunterschiede von maximal 0,15 m zwischen den beiden Seiten, d. h. jeweils zwischen Anstrom und Abstrom, zu erwarten sind. Die Verteilung der Grundwasserstandsunterschiede orientiert sich an den in Abbildung 11 dargestellten Grundwasseranstiegen. Nach unserer Einschätzung wird dies die Statik der Bohrpfahlwand im Hinblick auf einen hydraulischen Grundbruch nicht beeinflussen. Wir empfehlen, diese Einschätzung vom Statiker für die Bohrpfahlwand bestätigen zu lassen.

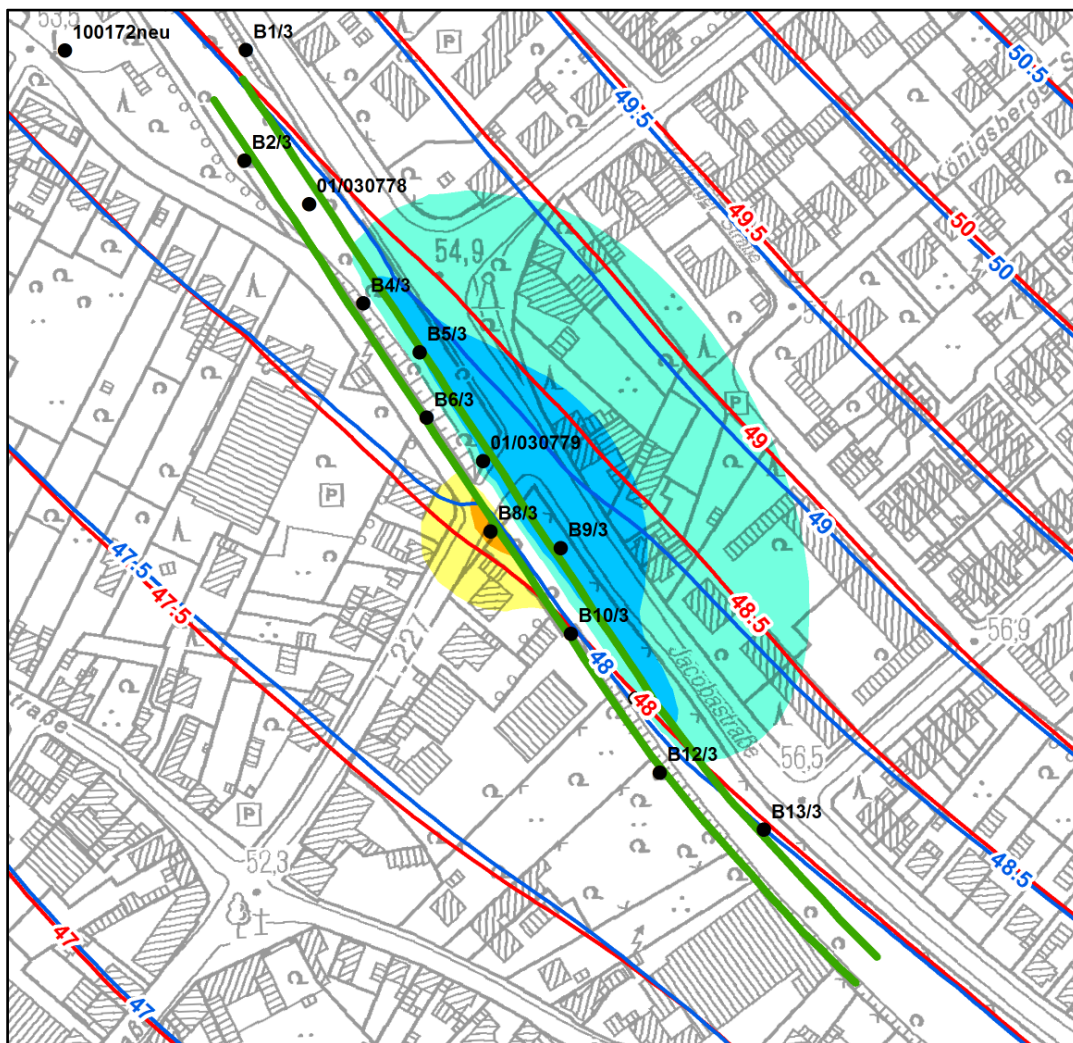
Im Bereich der östlich benachbarten Bebauung sind vernachlässigbare Grundwasseranstiege von max. 0,1 m zu erwarten. Insgesamt ist von keinen nennenswerten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse auszugehen.

5.2 Variante 2

In Abbildung 12 sind die Ergebnisse der Modellrechnung zu Variante 2 (Errichtung der Bohrpfahlwand gemäß Planungsstand November 2017 unter Berücksichtigung einer gezielt ungünstig gewählten Durchlässigkeitsverteilung) in Form von Grundwassergleichen und Grundwasserstandsveränderungen dargestellt. Die Grundwasserströmung erweist sich wieder als stabil. Es kommt zu keinen nennenswerten Veränderungen der Fließrichtungen.


Die Grundwasserstandsveränderungen fallen etwas größer als in Variante 1 aus. Die Grundwasseranstiege erreichen max. 0,22 m und die Grundwasserabsenkungen max. 0,13 m. Die Detailanalyse der vom Modell berechneten Grundwasserstände belegt, dass in dieser Variante 2 für beide Bohrpfahlwände nur lokal geringe Grundwasserstandsunterschiede von maximal 0,2 m zwischen den beiden Seiten, d. h. zwischen Anstrom und Abstrom, zu erwarten sind. Die


Verteilung der Grundwasserstandsunterschiede orientiert sich an den in Abbildung 11 dargestellten Grundwasseranstiegen. Nach unserer Einschätzung wird dies die Statik der Bohrpfahlwand im Hinblick auf einen hydraulischen Grundbruch nicht beeinflussen. Wir empfehlen, diese Einschätzung vom Statiker für die Bohrpfahlwand bestätigen zu lassen.




Grundwasserstandsveränderungen im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand


Grundwasserabsenkung (m)


 0,05 – 0,10

 0,10 – 0,13

Grundwasseranstieg (m)

 0,05 – 0,10

 0,10 – 0,22

 Grundwassergleichen HHW
im unbeeinflussten Zustand (mNHN)


 Grundwassergleichen HHW
nach Errichtung des Bauwerks (mNHN)

Abbildung 12: Variante 2 – Grundwasserstandsveränderungen

Im Bereich der östlich benachbarten Bebauung sind vernachlässigbare Grundwasseranstiege von max. 0,12 m zu erwarten. Wir betrachten diese Ergebnisse als nur unter sehr ungünstigen Bedingungen erwartbare Extremwerte. Insgesamt sind diese Werte aber als hinnehmbar einzuschätzen. Die Modellrechnungen belegen, dass nur mit geringen Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse zu rechnen ist.

5.3 Variante 3

In Variante 3 wurde der Planungsstand vom September 2018 zu Grunde gelegt. Er unterscheidet sich im Wesentlichen vom Planungsstand November 2017 dadurch, dass im Bereich des Stauraumkanals, also von km 1.850 bis km 1.880 die Bohrpfahlwände tiefer absetzt werden. In diesem Abschnitt reichen die Primärpfähle nunmehr bis 41,6 mNHN und die Sekundärpfähle bis 39,2 mNHN hinab, wobei die Unterkante der Oligozänen Meeressande im Mittel bei 40,0 mNHN liegt. Auf den übrigen Abschnitten gibt es nur geringe Veränderungen im Vergleich zum Planungsstand November 2017. Bei der Abbildung der Sperrwirkung der Bohrpfahlwände wurde zur Festlegung einer vereinfachten Unterkante der Bohrpfahlwände für die Modellrechnung abweichend von den Varianten 1 und 2 nicht mehr zwischen den Absetztiefen der Primär- und Sekundärpfähle gemittelt (siehe Kapitel 3.3). Es wurde gemäß der ermittelten und in Kapitel 3.3 aufgeführten Anteile von geschlossener und offen durchströmbarer Bohrpfahlwandfläche ($\frac{3}{5}$ zu $\frac{2}{5}$ bei Bohrpfahldurchmessern von 0,9 m und $\frac{4}{7}$ zu $\frac{3}{7}$ bei Bohrpfahldurchmessern von 1,2 m) eine etwas tiefer liegende Unterkante für die Abbildung im Grundwassermodell errechnet. Auf dem 30 m langen Abschnitt im Bereich des Stauraumkanals ergibt sich rechnerisch eine Höhenlage der hydraulisch wirksamen Unterkante der überschnittenen Bohrpfahlwand von $40,0 + 0,4 \cdot (41,6 - 40,0) \text{ mNHN} = 40,64 \text{ mNHN}$. Für Variante 3 wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte gemäß Variante 1 verwendet.

Im Schnitt in Abbildung 13 ist in Analogie zum unteren Schnitt in Abbildung 10 neben der Geologie (Quartär, Oligozäne Meeressande) die Höhenlage der vereinfachten südwestlichen Bohrpfahlwand gemäß Planungsstand September 2018 dargestellt. Die Schnittlage ist jeweils längs der südwestlichen Bohrpfahlwand. Gut erkennbar ist der nunmehr deutlich tiefer reichende Bohrpfahlwand-

abschnitt im Bereich des Stauraumkanals. In diesem Abschnitt ragt die Bohrpfehlwand auch bei mittleren Verhältnissen in den grundwassererfüllten Bereich hinab. Ihre Sperrwirkung erachten wir unter mittleren Verhältnissen aber für völlig vernachlässigbar, da sie nur auf einer Länge von 30 m einen Einfluss hat.

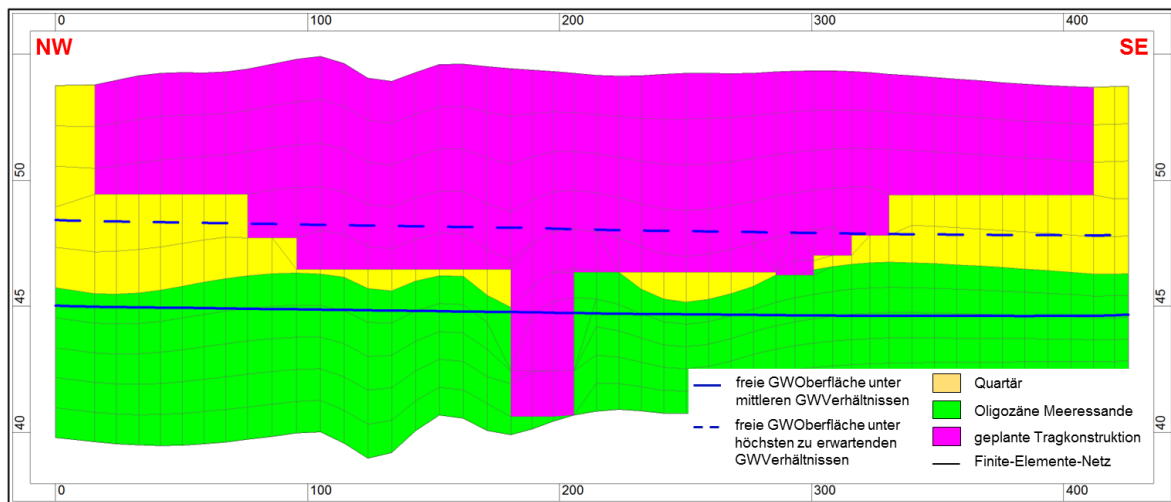
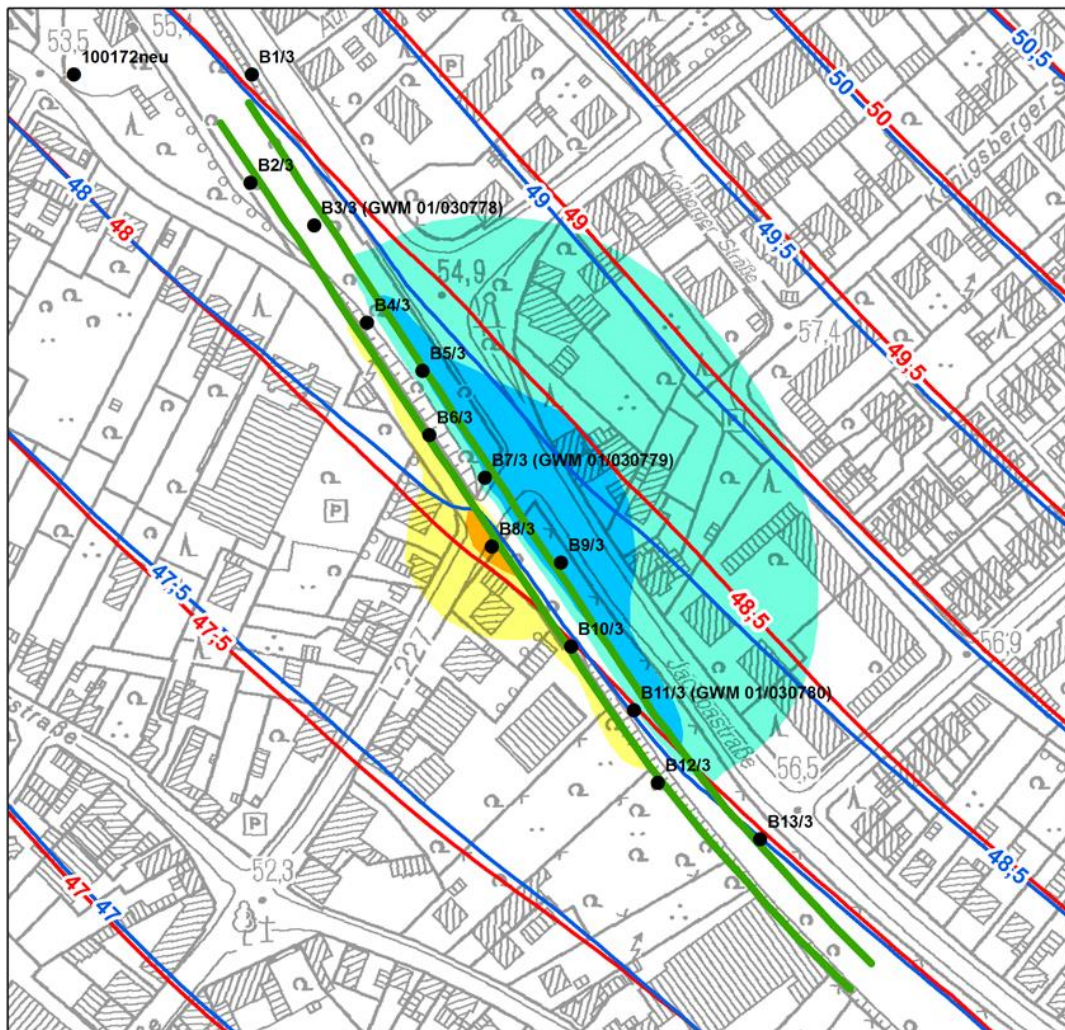


Abbildung 13: Längsschnitt

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Modellrechnung zu Variante 3 (Errichtung der Bohrpfehlwand gemäß Planungsstand September 2018 unter Berücksichtigung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte) in Form von Grundwassergleichen und Grundwasserstandsveränderungen dargestellt. Die Grundwasserströmung erweist sich wieder als stabil. Es kommt zu keinen nennenswerten Veränderungen der Fließrichtungen. Es ist auch nur mit geringen Grundwasserstandsveränderungen zu rechnen. Im Grundwasseranstrom auf der nordöstlichen Seite des Trops sind Grundwasseranstiege bis max. 0,22 m zu erwarten. Im Grundwasserabstrom sind Grundwasserabsenkungen bis max. 0,15 m zu erwarten. Hierbei handelt es sich um so geringe Grundwasserstandsveränderungen, dass sie messtechnisch nach unserer Erfahrung kaum zu belegen sein werden. Im Vergleich zu Variante 1 (Planungsstand November 2017) vergrößern sich die zu erwartenden Grundwasseranstiege um 0,08 m und die zu erwartenden Grundwasserabsenkungen um 0,05 m. Ein geringer Anteil an der Vergrößerung der Grundwasserstandsveränderungen ist auf die Anpassung der Berechnung der Bohrpfehlwandunterkante für das Modell zurückzuführen.



Grundwasserstandsveränderungen im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand



Abbildung 14: Variante 3 – Grundwasserstandsveränderungen

Die Detailanalyse der vom Modell berechneten Grundwasserstände belegt, dass in dieser Variante 3 für beide Bohrpfahlwände nur lokal geringe Grundwasserstandsunterschiede von maximal 0,22 m zwischen den beiden Seiten, d. h. jeweils zwischen Anstrom und Abstrom, zu erwarten sind. Die Verteilung der

Grundwasserstandsunterschiede orientiert sich an den in Abbildung 14 dargestellten Grundwasseranstiegen. Nach unserer Einschätzung wird dies die Statik der Bohrpfahlwand im Hinblick auf einen hydraulischen Grundbruch nicht beeinflussen. Wir empfehlen, diese Einschätzung vom Statiker für die Bohrpfahlwand bestätigen zu lassen.

Im Bereich der östlich benachbarten Bebauung sind vernachlässigbare Grundwasseranstiege von max. 0,1 m zu erwarten. Insgesamt ist von keinen nennenswerten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse auszugehen.

Auf die Berechnung einer weiteren Variante zum Planungsstand September 2018 mit ungünstig veränderten Durchlässigkeitsbeiwerten wurde verzichtet. In Analogie zu den Ergebnissen der Varianten 1 und 2 erwarten wir somit unter ungünstigen Durchlässigkeitsverhältnissen Grundwasseranstiege bis 0,27 m und Grundwasserabsenkungen bis 0,20 m, die aber nur sehr lokal und kleinflächig auftreten.

D. Vortef