

# U-BAHNLINIE U5 OST CITY NORD BIS BRAMFELD

Abschätzung der Baugrubeneinflüsse auf die  
Grundwasserverhältnisse

07. FEBRUAR 2020



## Ansprechpartner

**DR.-ING.  
OLAF MÖLLER**  
Abteilungsleiter  
Geotechnik Nord

**M** +49 173 2889 421  
**E** olaf.moeller@arcadis.com

Arcadis Germany GmbH  
Willy-Brandt-Straße 1  
20457 Hamburg  
Deutschland

**DIPL.-ING.  
JÖRG ORTMÜLLER**  
Abteilungsleiter  
Umwelt SER Germany North  
Sachverständiger nach §18 BBodSchG

**T** +49 40 2385619 17  
**M** +49 151 17143039  
**E** joerg.ortmueller@arcadis.com

Arcadis Germany GmbH  
Willy-Brandt-Straße 1  
20457 Hamburg  
Deutschland

# INHALT

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>UNTERLAGEN</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ERGÄNZENDE INFORMATIONEN ZU ART UND MAß DER GEWÄSSERBENUTZUNG NACH §10 (1) WHG</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ABSCHÄTZUNG DES EINFLUSS DER LECKAGE-WASSERHALTUNG AUF DIE UMGEBUNG</b>	<b>7</b>
4.1	Allgemeines	7
4.2	Berechnung	7
4.2.1	Verwendete Software	7
4.2.2	Bodenkenngößen	8
4.2.3	Modellgrößen	9
4.2.4	Randbedingungen	9
4.2.4.1	Baugrube Haltestelle Nordheimstraße	9
4.2.4.2	Baugrube Notausstieg Fabriciusstraße	9
4.2.5	Ergebnisse der überschlägigen Berechnung	9
<b>5</b>	<b>PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DES GRUNDWASSERAUFSTAUS INFOLGE DER TUNNELHERSTELLUNG</b>	<b>10</b>
5.1	Allgemeines	10
5.2	Plausibilitätsprüfung	10
5.2.1	Verwendete Software	11
5.2.2	Bodenkenngößen	11
5.2.3	Modellgrößen	12
5.2.4	Randbedingungen	12
5.2.5	Ergebnisse der überschlägigen Berechnung	12
<b>6</b>	<b>GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG ZU DEM NOTBRUNNEN AUF DEM GELÄNDE DER STADTTEILSCHULE BRAMFELD</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>14</b>
	<b>IMPRESSUM</b>	<b>15</b>

## 1 VERANLASSUNG

Die Hamburger Hochbahn AG (Hochbahn) plant den Bau der U-Bahnlinie U5 von Bramfeld bis in den Hamburger Westen. Der Teilabschnitt Ost der Linie U5 hat eine Länge von rd. 6 km und verläuft von der City Nord bis Bramfeld. Der vorgenannte Trassenabschnitt umfasst fünf Haltestellen in den folgenden Bereichen:

- Unter dem Bramfelder Dorfplatz,
- in der Gründungsstraße (Steilshoop),
- in der Fuhlsbüttler Straße/Ecke Nordheimstraße,
- oberirdisch an der bestehenden Sengelmannstraße sowie
- unter dem Überseering (City Nord).

Nach derzeitigen Planungsstand soll die Bahntrasse in geschlossener und teilweise u. a. im Bereich von unterirdischen Haltestellen in offener Bauweise hergestellt werden. Aufgrund der gemäß [D 1] vorhandenen Grundwasserstände entlang der Trasse von rd. +5,5 m NHN bis +19,5 m NHN und der nach [D 6] geplanten abschnittswisen Absenkzielen von bis zu rd. -8 m NHN ist ein Zufluss von Grundwasser in die Baugruben zu verhindern. Im Bereich der offenen Bauweise werden daher Trogbaugruben mit natürlichen oder teilweise künstlichen Baugrubensohlen (Unterwasserbetonsole) vorgesehen.

Es ist dabei zu berücksichtigen, dass Trogbaugruben aufgrund der technischen Möglichkeiten nie vollständig dicht sind, sodass geringe Wassermengen u. a. durch die Dichtwände in die Baugrube eindringen. Diese Wassermengen (Leckagewasser) sind während des Rohbaus zu fassen und abzuführen, sodass ein kontinuierliches Arbeiten im trockenen möglich ist.

Überschlägige Berechnungen haben ergeben, dass in einzelnen Trogbaugruben Leckage-Wassermengen von bis zu rd. 50 m<sup>3</sup>/h zu erwarten sind, die in den jeweiligen Baugruben gefasst und abzuführen sind, vgl. beispielsweise [D 4].

Von der Freien und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie wurde die Hochbahn gemäß [D 8] aufgefordert, die Auswirkungen der Grundwasserabsenkungen außerhalb der technischen Baugruben exemplarisch an „Extremfälle“ darzustellen.

Die Arcadis Germany GmbH (Arcadis) wurde von der Hochbahn in der Besprechung vom 15.11.2019 beauftragt, exemplarisch an zwei Baugruben überschlägige Grundwasserabschätzungen durchzuführen, um die Auswirkungen der Leckage-Wasserhaltung auf das Umfeld außerhalb der Baugruben darzustellen.

Weiterhin wurden Arcadis durch die Hochbahn beauftragt, ergänzende Informationen zu Art und Maß der Gewässerbenutzung zu geben, eine Abschätzung zur Gefährdung eines Notwasserbrunnens in der Straße Bramfelder Dorfplatz vorzunehmen und die Angaben des Geotechnischen Berichts [D 1] zum Grundwasseraufstau infolge des Tunnelbaus auf Plausibilität zu überprüfen. Insbesondere im westlichen Bereich der Trasse steht der natürliche Grundwasserstrom senkrecht zur geplanten Baugrube. Die Baugrube bindet dabei in die tieferliegenden gering durchlässigen Böden ein, sodass der natürliche Wasserfluss behindert wird und somit auf der Anstromseite ein Wasseraufstau zu erwarten ist.

In dem vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der oben beschriebenen Aufgabenstellungen zusammengefasst.

## 2 UNTERLAGEN

Für die Bearbeitung stehen uns die nachfolgend genannten Unterlagen zur Verfügung:

- [D 1] Grundbauingenieure Steinfeld und Partner Beratende Ingenieure mbB: Geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten (1. Bericht) „U-Bahnlinie U5 Ost, City Nord bis Bramfeld, Entwurf- und Genehmigungsplanung“ vom 01.07.2019 – Auftr.-Nr. 022445 (ohne Anlagen)
- [D 2] Grundbauingenieure Steinfeld und Partner Beratende Ingenieure mbB: Geologische Längsschnitte, Blätter 1 bis 8 „U-Bahnlinie U5 Ost, City Nord bis Bramfeld, Entwurfsplanung“, Stand Dezember 2018 – Auftr.-Nr. 022445
- [D 3] Grundbauingenieure Steinfeld und Partner Beratende Ingenieure mbB: Grundwassergleichenplan „U-Bahnlinie U5 Ost, City Nord bis Bramfeld, Entwurfsplanung“, Stand Dezember 2018 – Auftr.-Nr. 022445
- [D 4] Arcadis Germany GmbH: Konzept zum Bauwassermanagement – Rev01 „U5 Ost - Bramfeld bis City Nord“ vom 03.04.2019
- [D 5] ZPP Ingenieure AG: Ermittlung Lenz- und Sickerwassermengen Hast. Nordheimstraße, Vorabzug 18.04.2018
- [D 6] Hamburger Hochbahn AG: U5-Ost Aushubniveu\_Absenkziele.xlsx, erhalten am 10.12.2019 per E-Mail (vgl. Anlage 3)
- [D 7] IMM Maidl & Maidl Beratene Ingenieure GmbH & Co. KG: Lageplan Schildstrecke „Entwurfsplanung U5 Ost, City Nord - Bramfeld“ 04.11.01-09\_BuK\_1 R(-) 225\_0346-0354.dwg, erhalten am 05.02.2019 per E-Mail
- [D 8] Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt und Energie: Stellungnahme der Behörde für Umwelt und Energie „Planfeststellungsverfahren für den Neubau der U-Bahnlinie U5-Ost City Nord bis Bramfeld“, Az. 150.1415-902 vom 25.10.2019
- [D 9] SIMMER, K. (1994). Grundbau 1: Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen: Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen, Band 1. B. G. Teubner, Stuttgart, 19 Auflage
- [D 10] Buß, J.: Berechnung von Grundwasserströmungen mit Finiten Elementen in zweidimensionalen Systemen „GGU-2D-SSFLOW, Version 11“ vom Juli 2018

### **3 ERGÄNZENDE INFORMATIONEN ZU ART UND MAß DER GEWÄSSERBENUTZUNG NACH §10 (1) WHG**

In [D8] werden seitens der BUE-W12 ergänzende Angaben zu Art und Maß der Gewässerbenutzung nach §10 (1) WHG gefordert.

Bei einer Wasserhaltung handelt es sich generell um eine Bauverfahren zum temporären oder dauerhaft Trockenhalten von Baugruben. Durch die Wasserhaltung soll das durch die Baugrubenbegrenzung zufließende Grundwasser sowie das anfallende Niederschlagswasser gefasst und aus der Baugrube abgeführt werden. Die Baugrubentrockenhaltung ist grundsätzlich mit einer offenen und/oder geschlossenen Wasserhaltung möglich.

Bei der offenen Wasserhaltung wird dem Aushubarbeiten vorausgehend das zufließende Wasser z. B. über Gräben oder Drainage zu tiefer liegenden Pumpensümpfen geleitet. Von dort wird das gesammelte Wasser mit Pumpen aus der Baugrube gefördert. Je nach Zufluss der Wassermengen ist ein temporärer oder dauerhafter Pumpenbetrieb vorzusehen.

Die Geschlossene Wasserhaltung wird im Allgemeinen angewandt, wenn der Grundwasserspiegel deutlich über der panmäßigen Baugrubensohle liegt. Zur Absenkung des Grundwassers werden vor Baubeginn vertikale Brunnen in bzw. um die Baugrube gesetzt und das Wasser gezielt in der Baugrubenfläche bzw. in dem umgebenden Gelände abgesenkt. Aufgrund des aufwendigeren Verfahrens der geschlossenen Wasserhaltung ist vor der Ausführung die Art, Anzahl und die Filterstrecke der Brunnen zu ermitteln bzw. festzulegen. Die Brunnenart (z. B. Schwerkraftbrunnen) wird u. a. durch die Wasserdurchlässigkeit der anstehenden Böden bestimmt. Bei Böden mit höherer Durchlässigkeit (z. B. Sand- und Kiesböden) kann das Wasser unter Ausnutzung der Schwerkraft einfach dem Brunnen zufließen.

Die Wahl der Wasserhaltungsverfahren erfolgt im Rahmen einer Planung unter Berücksichtigung des geplanten Bauablaufs sowie der vorhandenen Baugrundverhältnisse. Bei dem Baugrund sind u. a. die Durchlässigkeit der anstehenden Böden und die vorhandenen Grundwasserverhältnisse maßgebend. Bei der Planung dürfen neben den Baugrundverhältnissen auch die vorhandenen Randbedingungen, wie beispielsweise vorhandene Nachbarbebauung, nicht vernachlässigt werden. Je nach Bauablauf kann auch eine Kombination aus offener und geschlossener Wasserhaltung zum Einsatz kommen.

Generell gilt, dass bei der Planung der Grundwasserhaltung die allgemeinen Regeln der Technik einzuhalten sind. Ist durch die o.g. Verfahren der Einfluss auf den umgebenden Grundwasserspiegel zu groß oder ist technisch keine ausreichende Absenkung mit den Verfahren möglich, so ist der Zufluss des Wassers in die Baugrube durch absperrende Bauteile z. B. Dichtwände zu verhindern.

Bzgl. des Maß der Gewässerbenutzung, wurden für alle Baugruben mit Wasserhaltungsmaßnahmen die maximalen Absenkziele in Anlage 3 zusammengefasst.

## 4 ABSCHÄTZUNG DES EINFLUSS DER LECKAGE-WASSERHALTUNG AUF DIE UMGEBUNG

### 4.1 Allgemeines

Die Abschätzung des Einflusses der Leckage-Wasserhaltungsmaßnahmen in den Baugruben auf die Flächen außerhalb der Baugruben werden exemplarisch an zwei Trogbaugruben durchgeführt. Für die exemplarischen Berechnungen werden die Baugruben mit den ungünstigsten Randbedingungen gewählt, um die größtmöglichen Auswirkungen der Leckage-Wasserhaltung entlang der Trasse zu ermitteln.

Es wird hierfür eine der größten Baugruben mit möglichst hohen Wasserstanddifferenzen sowie eine kleine Baugrube (Notausstieg) mit den höchsten Wasserstanddifferenzen zwischen den Bereichen innerhalb und außerhalb der Baugrube gewählt.

Nach [D 1] beträgt der bauzeitliche Wasserstand für Haltestelle Nordheimstraße rd. +14 m NHN. Das maximale Absenkziel in der Baugrube ist bei ca. -8,1 m NHN vorgesehen, sodass sich eine maximale Potentialdifferenz (Wasserstanddifferenzen) zwischen der Umgebung und der Baugrube von ca. 22,1 m einstellt, vgl. [D 6].

Nach [D 4] ist mit einer Fördermenge von maximal 45 m<sup>3</sup>/h Leckagewasser zu rechnen. Weiterhin soll die Baugrube für die Haltestelle Nordheimstraße in drei Docks hergestellt werden. Die Grundflächen der Docks betragen nach [D 5] zwischen rd. 1.150 m<sup>2</sup> und 2.300 m<sup>2</sup>. Mit den vorgenannten Flächen sind die Dockgrößen vergleichbar mit den der anderen großen Baugruben.

Die Baugrube der Nordheimstraße ist damit eine der größten Baugruben mit den ungünstigsten Randbedingungen für die Leckage-Wasserhaltung.

Als weitere Baugrube wird die Baugrube des Notausstiegs Fabriciusstraße betrachtet. Die Grundfläche der Baugrube beträgt nach [D 7] ca. 13 m × 25 m. Mit einem anzusetzenden bauzeitlichen Wasserstand von rd. +16,5 m NHN sowie einen Absenkziel von rd. -16,1 m NHN (siehe [D 6]) wird an der vorgenannten Baugrube die größte Wasserabsenkung von ca. 32,6 m für den Bau der U-Bahntrasse erwartet. Die Förderrate wurde in [D 4] mit ca. 7 m<sup>3</sup>/h prognostiziert.

Die vorgenannten Förderraten ergeben sich dabei auf Basis einer Leckagerate durch die Dichtwände von 1 L/(s × 1.000 m<sup>2</sup>), vgl. [D 4].

### 4.2 Berechnung

#### 4.2.1 Verwendete Software

Die Grundwasserberechnung erfolgen mit der kommerziellen Software GGU-2D-SSFLOW, Version 11.07. Das Programm GGU-2D-SSFLOW ermöglicht die Berechnung von stationären Grundwasserströmungen in horizontal ebenen und vertikal ebenen Grundwassersystemen nach der Finite-Element-Methode.

## 4.2.2 Bodenkenngrößen

Für die Berechnungen sind die vertikalen und horizontalen Durchlässigkeiten ( $k_{f,v}$  und  $k_{f,h}$ ) sowie die effektiven Porenanteile  $n_{eff}$  für alle vom Wasser durchströmte Volumen anzugeben.

Die Werte für die Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter werden [D 1] entnommen. Bei der Wahl der Durchlässigkeitswerte wird berücksichtigt, dass sich generell der größte Einfluss einer Wasserhaltungsmaßnahme auf das Umfeld bei der höchsten Durchlässigkeit des Bodens einstellt.

Als Durchlässigkeitswert für den Grundwasserleiter werden die für einen Wasserzustrom ungünstigsten Durchlässigkeitswerte für schluffarme Sande und sandige Kiese angesetzt. In [D 1] sind Bandbreiten von Durchlässigkeiten für einzelne Bodenschichten angegeben, sodass für die Berechnungen die oberen Grenzwerte der Durchlässigkeiten von  $k_f = 5 \times 10^{-3}$  m/s in Ansatz gebracht werden.

Aus programmtechnischen Gründen sind für den Baugrubenfreiraum ebenfalls Durchlässigkeiten und Porenanteile anzugeben. Die Werte sind jedoch so gewählt, dass der Durchfluss in die Baugrube möglichst ungehindert erfolgen kann.

Die Durchlässigkeit  $k_f$  der poröse Dichtwände werden angesetzt auf Basis des Darcy'sch Gesetz

$$k_f = \frac{q}{i} = q \times \frac{\gamma}{\Delta p \times d} \quad (1)$$

q: spezifischer Durchfluss der Wand = 1 L/s je 1.000 m<sup>2</sup>, siehe [D 4]

γ: Wichte des Wassers = 10 kN/m<sup>3</sup>

Δp: Druckunterschied auf beiden Seiten der Dichtwand, siehe [D 6]

d: Dicke der Dichtwand, vgl. [D 7]

Aufgrund der anstehenden Böden mit überwiegend isotropen Verhalten werden die Durchlässigkeiten in vertikale und horizontale Richtung gleichgesetzt. Die effektive Porenanteile werden auf Basis allgemeiner Erfahrungswerte gemäß [D 9] bzw. [D 10] in Ansatz gebracht. Die angesetzten Bodenkennwerte können der Tabelle 1 entnommen werden.

Baugrube	Hast. Nordheimstraße		NA Fabriciusstraße	
	Durchlässigkeit [m/s]	eff. Porenant. [-]	Durchlässigkeit [m/s]	eff. Porenant. [-]
Dichtwand	$3,67 \times 10^{-7}$	0,05	$9,00 \times 10^{-8}$	0,05
Freiraum Baugrube	$1,00 \times 10^{-0}$	0,35	$1,00 \times 10^{-0}$	0,35
Grundwasserleiter	$5,00 \times 10^{-3}$	0,20	$5,00 \times 10^{-3}$	0,20

Tabelle 1 Übersicht der angesetzten Bodenkennwerte



### 4.2.3 Modellgrößen

Die Maße der Berechnungsmodelle für eine rechnerische Abschätzungen des räumlichen Einflusses der Leckage-Wasserhaltungen werden so gewählt, dass Beeinflussungen der Modellränder weitestgehend ausgeschlossen werden können. Der Abstand zwischen Baugrubenwände und den Modellrändern beträgt für jedes Modell das mindestens 3-fache der jeweiligen Baugrubenlänge bzw. -breite.

### 4.2.4 Randbedingungen

#### 4.2.4.1 Baugrube Haltestelle Nordheimstraße

Der geplante Grundwassertrog zum Bau der Haltestelle Nordheimstraße bindet großflächig in tieferliegende gering durchlässige Geschiebeböden ein, vgl. [D 2]. Die Herstellung der Unterwasserbetonsohle ist aufgrund der bereichsweise in den Geschiebeböden eingeschalteten Sandlinsen erforderlich. Die vorgenannten Sandlinsen spielen aber für die hier zu betrachtende Grundwasserhaltung eine untergeordnete Rolle, sodass für die hydraulische Betrachtung ein vereinfachtes ebenes Baugrundmodell mit nur einem Wasserleiter (gut durchlässige Sande) angesetzt wird, vgl. [D 1]. Die Unterkante des Grundwasserleiters wird bei konstant -14,2 m NHN angenommen, vgl. [D 2].

Als Grundwasserstand wurde der bauzeitliche Grundwassertand nach [D 1] bzw. [D 6] von rd. +14 m NHN in Ansatz gebracht. Das planmäßige Absenkziel in der Baugrube wird bei -8,1 m NHN, vgl. [D 6] festgelegt, sodass eine Potentialdifferenz zwischen innerhalb und außerhalb der Baugrube von rd. 22,1 m resultiert. Weiterhin wird angenommen, dass alle drei Baugrubendocks gleichzeitig hergestellt werden.

#### 4.2.4.2 Baugrube Notausstieg Fabriciusstraße

Nach derzeitigen Planungsstand soll die Baugrube Fabriciusstraße bis etwa in die tiefliegenden geringdurchlässigen Geschiebeböden einbinden. Der bauzeitliche Grundwasserstand ist nach [D 1] bei +16,5 m NHN anzusetzen. Der Grundwasserleiter in Form von Beckensanden reicht von etwa +2,4 m NHN bis -16,1 m NHN, vgl. [D 2]. Das Grundwasser steht somit gespannt an.

Die vorgenannten Grundwasserstände werden für die überschlägige Abschätzung für das Berechnungsmodell als konstant angenommen.

### 4.2.5 Ergebnisse der überschlägigen Berechnung

Die Ergebnisse der überschlägigen Grundwasserberechnung sind als Isolinien in den Anlagen 1 und 2 dargestellt.

Die Folgen der Leckage-Wasserhaltung für die Baugrube Haltestelle Nordheimstraße zeigt die Anlage 1. Im unmittelbaren Umfeld der Baugrube werden Grundwasserabsenkungen von ca. 15 cm bis 20 cm ermittelt. In einer Entfernung von ca. 120 m von den Baugrubenwänden resultieren Grundwasserabsenkungen von  $\leq 10$  cm. In einem Abstand von rd. 300 m betragen die möglichen Grundwasserabsenkungen ca.  $\leq 5$  cm.

Die Ergebnisse für den Notausstieg Fabriciusstraße (Anlage 2) weisen in unmittelbarem Baugrubenumfeld bis zu einer Entfernung von etwa 50 m Grundwasserabsenkungen von ca.  $\leq 1$  cm auf. Mit weiterer Entfernung ist kein Einfluss der Leckage-Wasserhaltung mehr erkennbar.

Gemäß [D 1] treten entlang der geplanten U-Bahntrasse jahreszeitlich bedingte Grundwasserschwankungen in Größenordnungen zwischen rd. 0,9 m bis 1,3 m auf, sodass die vorgenannten abgeschätzten Grundwasserabsenkungen von  $\leq 20$  cm innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers liegen.

## 5 PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DES GRUNDWASSERAUFSTAUS INFOLGE DER TUNNELHERSTELLUNG

### 5.1 Allgemeines

Nach derzeitigen Planungsstand sollen die Baugruben für die Haltestelle City Nord mit der anschließenden Abstellanlage und der Trogstrecke bis zur Haltestelle Sengelmannstraße im Schutze einer umlaufenden, technisch wasserdichten Verbauwand mit Einbindung in den gering durchlässigen Geschiebemergel trocken ausgehoben werden. Die Dichtwände sperren somit über eine Länge von ca. 800 m und eine Breite zwischen rd. 11 m und rd. 43 m den oberen Grundwasserleiter ab.

Durch Sperren des Grundwasserleiters ist eine Grundwasserstands-/Grundwasserdruckhöhenveränderungen im Nahbereich eines Bauwerkes wahrscheinlich. Das Ausmaß der v. g. Veränderungen hängt im Wesentlichen von der Länge des Baukörpers, dem vorhandenen hydraulischen Gefälle und der Mächtigkeit des Grundwasserleiters ab.

Im Geotechnischen Bericht [D 1] erfolgte eine Abschätzung der möglichen Veränderung der Grundwasserdruckhöhe aufgrund des analytischen Verfahrens von SCHNEIDER (Die Bautechnik 02/1981, S. 67-69). Als Berechnungsansatz wurde eine rd. 800 m lange Dichtwand betrachtet, auf die senkrecht das Grundwasser anströmt.

Für das maximale hydraulische Grundwasserdruckgefälle (hydraulische Gradient  $i$ ) im Anstrombereich wurde auf Basis des Grundwassergleichenplans Max 2008 der Behörde für Umwelt und Energie Hamburg (siehe [D 3]) der Wert  $i = 0,0029$  in Ansatz gebracht, vgl. [D 1].

Die Baugrundverhältnisse weisen entlang der rd. 800 m langen Grundwasserabspernung schwankende Baugrundverhältnisse auf, sodass abschnittsweise der Grundwasser gespannt und in Teilen frei ansteht. Für die Grundwasserbetrachtung wurde in [D 1] der ungünstigere Fall mit einem freien Grundwasserleiter betrachtet.

Als Ergebnis der Grundwasserbetrachtung wurde in [D 1] ein maximaler Grundwasseraufstau von rd.  $h = 1,2$  m im mittleren Bereich des absperrenden Baugrubenabschnitts ermittelt.

### 5.2 Plausibilitätsprüfung

Zur Ermittlung der Aufstauhöhe können generell unterschiedliche Berechnungsverfahren gewählt werden. Zu einem ist eine Berechnung der Aufstauhöhe mit analytischen Verfahren möglich. Zum anderen bieten sich aufgrund des technischen Fortschritts mit den heutigen Rechnerkapazitäten auch numerische Verfahren an.

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Bei dem analytischen Verfahren kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand ein Ergebnis ermittelt werden. Das analytische Verfahren erlaubt allerdings nur die Betrachtung von einfachen hydraulischen Verhältnissen.

Mit den numerischen Verfahren sind auch Betrachtungen komplexere hydraulischer Verhältnisse möglich. Mit der Komplexität des Modells nimmt aber auch Aufwand der Modellierung zu, sodass die Durchführung der Berechnung in der Regel erheblich länger dauert und somit die Kosten deutlich höher sind.

Zur Plausibilitätsprüfung der analytischen Ergebnisse in [D 1] wird ein numerisches Modell mit vereinfachten Randbedingungen entwickelt und berechnet.

### 5.2.1 Verwendete Software

Die Grundwasserberechnung erfolgen mit der kommerziellen Software GGU-2D-SSFLOW, Version 11.07. Das Programm GGU-2D-SSFLOW ermöglicht die Berechnung von stationären Grundwasserströmungen in horizontal ebenen und vertikal ebenen Grundwassersystemen nach der Finite-Element-Methode.

### 5.2.2 Bodenkenngrößen

Für die Berechnungen sind die vertikalen und horizontalen Durchlässigkeiten sowie die effektiven Porenanteile  $n_{eff}$  für alle vom Wasser durchströmte Volumen anzugeben. Die Werte für die Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter wurden [D 1] entnommen. Abweichend von den in Abschnitt 4.2.2 gewählten Bodenkenngrößen stellen für Untersuchungen für den Aufstau geringere Durchlässigkeitswerte für den Grundwasserleiter den ungünstigeren Betrachtungsfall dar. Bei kleineren Durchlässigkeiten kann das Wasser nur langsamer mögliche Hindernisse umfließen, sodass demzufolge ein größerer Aufstau vor dem Hindernis zu erwarten ist. Es werden daher gemäß [D 1] die geringeren Durchlässigkeitswerte für schluffarme Sande und sandige Kiese von  $k_f = 1 \times 10^{-5}$  m/s in Ansatz gebracht.

Aufgrund des überwiegend isotropen Verhaltens des Grundwasserleiters wurde für die Durchlässigkeiten in vertikale und horizontale die gleichen Werte angesetzt. Die effektive Porenanteil wurde auf Basis allgemeiner Erfahrungswerte gemäß [D 9] bzw. [D 10] in Ansatz gebracht. Es ist darauf hinzuweisen, dass das Maß des effektiven Porenanteils für die Aufstaubetrachtung keinen messbaren Einfluss hat. Die angesetzten Bodenkennwerte können der Tabelle 1 entnommen werden.

Baugrube	Hast. Nordheimstraße	
	Durchlässigkeit [m/s]	eff. Porenant. [-]
<b>Baugrube</b>	$1,00 \times 10^{-11}$	0,05
<b>Grundwasserleiter</b>	$1,00 \times 10^{-5}$	0,20

Tabelle 2 Übersicht der angesetzten Bodenkennwerte

### 5.2.3 Modellgrößen

Als Basis des numerischen Modells wird eine Fläche von rd. 1.400 m × 2.400 m simuliert, in dessen Zentrum eine wasserdichte Baugrube von rd. 800 m Länge und 27 m Breite modelliert wird. Die Baugrube wird vereinfacht als Rechteck dargestellt, sodass mögliche Einflüsse aus der Baugrubengeometrie vernachlässigt werden.

Die o. g. Größe des Modells ist erforderlich, um mögliche Randeinflüsse auf die zu berechneten Wasserstandshöhen zu vermeiden.

### 5.2.4 Randbedingungen

Maßgebend für die Größe des Grundwasseraufstaus ist das hydraulische Grundwasserdruckgefälle (hydraulischer Gradient  $i$ ). Auf Basis der Grundwassergleichenkarte [D 3] kann der hydraulische Gradient östlich der Baugrube mit einem Wert von  $i = 0,0026$  abgeschätzt werden. In [D 1] wurde ein maximaler hydraulische Gradient von  $i = 0,0029$  ermittelt. Die Differenzen zwischen dem Wert aus [D 1] und unserem Schätzwert sind minimal und resultieren aus der Darstellung der Isolinien in [D 3].

Auf der sicheren Seite liegend wird zur weiteren Betrachtung der hydraulische Gradient von  $i = 0,0029$  gemäß [D 1] bzw. [D 6] in Ansatz gebracht, sodass sich als Randbedingungen am westlichen Modellrand ein Potential (Wasserstand) von +4,3 m NHN und am östlichen Rand von +8,4 m NHN ergibt.

Im Bereich der Baugrube resultiert bei ungehindertem Grundwasserfluss ein Wasserstand von rd. +6,5 m NHN. Dies entspricht den nach [D 1] bzw. [D 6] anzusetzenden bauzeitlichen Grundwasserstand.

Die Unterkante des Grundwasserleiters ist nach [D 2] schwankend zwischen ca. -13,7 m und -1,2 m NHN. Im Mittel liegt die Unterkante des Grundwasserleiters bei rd. -7,5 m NHN. Für die Berechnung wurde daher der vorgenannte Mittelwert für das ganze Modell als konstant angenommen.

### 5.2.5 Ergebnisse der überschlägigen Berechnung

Die Ergebnisse der überschlägigen Grundwasserberechnung sind als Isolinien in Anlage 4 dargestellt.

Das Ergebnis der numerischen Berechnung zeigt, dass infolge der Sperrung des Grundwasserleiters durch die Baugrube sich westlich der Baugrube Wasserstände zwischen +7,4 m und +7,6 m NHN und auf der Ostseite zwischen +5,2 m und +5,4 m NHN einstellen. Bezogen auf den bauzeitlichen Wasserstand von +6,5 m NHN staut sich das Grundwasser in der Mitte der Baugrubenlänge auf Werte von 0,9 m bis 1,1 m auf. In der Abstromrichtung westlich der Baugrube stellt sich ein Absenken des Grundwassers von 1,1 m bis 1,3 m ein.

Die mit dem numerischen Verfahren ermittelten Werte entsprechend somit in etwa den Angaben des Geotechnischen Berichts [D 1] mit einer maximalen Aufstauhöhe von rd. 1,2 m. Die in [D 1] angegebene Werte sind somit als plausibel bestätigt werden.

## **6 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG ZU DEM NOTBRUNNEN AUF DEM GELÄNDE DER STADTTEILSCHULE BRAMFELD**

In [D8] wird seitens der BUE-W12 mit Bezug auf Anlage 19.01 UVP-Bericht eine Gefährdungsabschätzung zu dem Notbrunnen in der Straße Bramfelder Dorfplatz gefordert. Der Notbrunnen befindet sich in ca. 100 m Entfernung nördlich der geplanten Baugrube für die Haltestelle Bramfeld auf dem Gelände der Stadtteilschule Bramfeld. Die Baugrube wird mittels betonierter Schlitzwände hergestellt.

Zement und Beton haben sich für Bauteile in Kontakt mit Boden und Grundwasser bewährt. Erfahrungsgemäß und durch Untersuchungen belegt, werden beim Betonieren in der gesättigten Bodenzone nur in geringen Abständen zum Bauteil geringe Konzentrationen an unbedenklichen wasserlöslichen Zementanteilen, wie Erdalkali- und Alkalisalze für kurze Zeit in das Grundwasser abgegeben. In sehr geringen Konzentrationen können auch Schwermetalle wie Chrom und Kupfer auftreten und in unmittelbarer Nähe zum Bauteil kann es kurzzeitig zu einem Anstieg des pH-Wertes kommen. Wegen der sehr geringen Frachten und des geringen Einflussbereiches bewirken sie i.d.R. keine dauernde oder erhebliche schädliche Veränderung des Grundwassers.

Eine Gefährdung in Form einer messbaren bzw. schädlichen Veränderung des Grundwassers im Bereich des Notwasserbrunnens in 100m Entfernung zum Bauteil kann damit praktisch ausgeschlossen werden.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen von überschlägigen Grundwasserberechnungen wurden die Auswirkungen der Leckage-Wasserhaltungen der Baugruben Haltstelle Nordheimstraße sowie Notausstieg Fabriciusstraße auf das umgehende Gelände untersucht, siehe Abschnitt 0. Für die Berechnungen wurden vereinfachte numerische Modelle aufgestellt. Die Mächtigkeit sowie die Ober- und Unterkante der Grundwasserleiter wurden jeweils für das gesamte Modell als konstant angesetzt.

Für die Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter sowie der Dichtwände wurden jeweils die ungünstigsten Werte angesetzt. Als Durchlässigkeit für die Dichtwände wurde jeweils ein Durchfluss von 1 L/s je 1.000 m<sup>2</sup> in Ansatz gebracht.

Die Ergebnisse für die Baugrube Notausstieg Fabriciusstraße weisen Absenkungen des Grundwassers im Umfeld der Baugrube von  $\leq 1$  cm auf. Im Rahmen der Berechnungsgenauigkeit sind aus geotechnischer Sicht die hier ermittelten Werte vernachlässigbar.

Im Bereich der Haltstelle Nordheimstraße wurden in direkter Umgebung der Baugrube Grundwasserabsenkungen von rd. 20 cm ermittelt. In einer Entfernung von rd. 300 m zu der Baugrube sind Absenkungen von  $\leq 5$  cm zu erwarten. Gemäß [D 1] liegen die natürlichen Schwankungsbreiten der Grundwasserstände in einer Größenordnung von rd. 0,9 m bis 1,3 m, sodass sich die zu erwartenden Grundwasserabsenkungen infolge der Leckage-Wasserhaltung innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs befinden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die hier durchgeführten Berechnungen mit vereinfachten Modellen durchgeführt wurden. Einflüsse u. a. aus natürlichen Grundwasserströmungen, aus variablen Mächtigkeiten des Grundwasserleiters oder variablen Baugrunddurchlässigkeiten wurden nicht berücksichtigt.

In Abschnitt 5 wurden die im Geotechnischen Bericht [D 1] abgeschätzten Wasserstandsänderungen infolge der abschnittswisen Sperrung des Grundwasserleiters durch die Tunnelherstellung auf Plausibilität geprüft.

Nach [D 1] resultiert eine maximale Grundwasseränderung aufgrund des behinderten Grundwasserflusses von rd. 1,2 m. Durch eine Kontrollrechnung mit einem vereinfachten numerischen Modell konnte östlich der Baugrube ein Wasseraufstau im Mittel von rd. 1,0 m und eine Wasserabsenkung westlich der Baugrube von ca. 1,2 m ermittelt werden.

Die im Bericht [D 1] angebenen Werte können somit als plausibel bestätigt werden.

Eine Grundwassergefährdung im Bereich des in 100m Entfernung zum Bauteil gelegenen Notwasserbrunnen in der Straße Bramfelder Dorfplatz kann praktisch ausgeschlossen werden.

## IMPRESSUM

### U-BAHNLINIE U5 OST -- CITY NORD BIS BRAMFELD ABSCHÄTZUNG DER BAUGRUBENEINFLÜSSE AUF DIE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

#### AUTOR

Dr.-Ing. Olaf Möller


#### UNSER ZEICHEN

DE0117.001520/om

#### DATUM

07. Februar 2020

i.V.

  
Dipl.-Ing. Jörg Ortmüller  
Abteilungsleiter SER Umwelt Germany North  
Sachverständiger nach § 18 BBodSchG

i.V.

  
Dr.-Ing. Olaf Möller  
Abteilungsleiter Geotechnik Nord

#### Arcadis Germany GmbH

Willy-Brandt-Straße 1  
20457 Hamburg  
Deutschland  
040 2385619-0

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)