

**Landeshauptstadt Düsseldorf  
Amt für Verkehrsmanagement 66/4  
Auf'm Hennekamp 45  
40225 Düsseldorf**

Projekt: 00.153\_B05a

Datum: 20.01.2015

Seite: 1 / 7

**Stadtbahnlinie U81 Freiligrathplatz bis Flughafen Terminal, 1. Bauabschnitt  
Grundlagen der Wassermengenermittlung im Bereich der Rampen und den Tunneln in offener  
Bauweise  
Bericht 00.153\_B05a**

## **1 Vorgang und Aufgabenstellung**

Die Landeshauptstadt Düsseldorf plant die Anbindung des Düsseldorfer Flughafens an das Stadtbahnnetz durch die Linie U81. Im Bereich des Flughafenterminals ist ein Rampenbauwerk als Einfahrt in den U-Bahnhof Flughafen Terminal vorgesehen. Diese Rampenbauwerk wird soll in offener Bauweise erstellt. In der Variante Gesamttunnel werden ein weiteres Rampenbauwerk und ein Tunnelteilstück in offener Bauweise im Bereich nördlich des Freiligrathplatz geplant. Bei dem Gesamttunnel werden weitere Baugruben für die Notausstiege erforderlich. Da die Baugruben zumindest teilweise in das Grundwasser einbinden, sind die Wasser- und Fördermengen zu bestimmen, die den Baugruben zuströmen. Die Mengen werden durch die Ingenieurgemeinschaft Grassl-Vössing (IGV) ermittelt. Im Folgenden werden die Grundlagen der Mengenermittlung mitgeteilt.

Die Förderraten und Wassermengen werden für die Antragsstellung auf wasserrechtliche Erlaubnis der bauzeitlichen Grundwasserentnahme und für die weitere Planung benötigt.

Der vorliegende Bericht Index a ersetzt den Bericht 00.153\_B05 vom 17.04.2014, da dort die Angaben zu Wasserständen aus dem Baugrundgutachten (Bericht 00.153\_B01 vom 05.03.2013) nicht richtig wiedergegeben sind.

## 2 Grundlagen der Mengenermittlung

### 2.1 Vorbemerkungen

Die Baugrubenumschließungen zur Herstellung der Baugruben werden als baupraktisch wasserdichte Ortbetonwände, die entweder einige Meter (etwa 3 bis 5 m) in das wenig durchlässige, abdichtende Tertiär einbinden oder mit dichtenden Unterwasserbetonsohlen (UWBS) geplant. Die höher liegende UWBS ist dann wie die zugehörige Unterkante der Verbauwände in den quartären Schichten.

Durch die UWBS bzw. die Einbindung der Verbauwände in das wenig durchlässige Tertiär wird die Grundwassermenge, die in eine Baugrube strömt, erheblich reduziert, so dass nur Restwassermengen zu behandeln sind, welche unvermeidbar von unten in die Baugrube bzw. durch die nahezu dichten Umschließungswände eintreten. Insgesamt sind folgende Wasserzutritte zu betrachten:

#### Planmäßig

1. Tagwasser (Oberflächenwasser und Niederschläge)
2. Grundwasser aus dem Zustrom von unten durch das Tertiär
3. Grundwasser aus dem Zustrom durch die nahezu dichten Umschließungswände
4. Grundwasser aus dem Zustrom durch die nahezu dichten UWBS

#### Unplanmäßig

5. Grundwasser aus dem Zustrom durch Undichtigkeiten (Leckagen) in den Umschließungen

Die planmäßigen Wasserzutritte werden von der Geometrie der Baugrube, besonders Umfang, Grundfläche und Einbindetiefen der Umschließungswände und der Durchlässigkeit des Untergrundes, besonders des Tertiärs bestimmt. Weiter ist die Dichtigkeit der Umschließung (Wände und UWBS) entscheidend.

Zusätzlich zu den Restwassermengen werden Wasserentnahmen für das Entwässern bzw. Lenzen der Baugruben beim Absenken des Wasserspiegels innerhalb der Baugruben erforderlich. Beim Entwässern der Tertiärbaugrube wird der Wasserspiegel innerhalb auf das Niveau der Baugrubensohle zuzüglich eines Zuschlags von 0,5 m abgesenkt. Die zu entnehmende Wassermenge ergibt sich dann aus der Spiegeldifferenz zwischen dem Bauwasserspiegel außerhalb der Baugrube und dem innen abgesenkten Wasserspiegel sowie dem entsprechenden entwässerbaren Porenanteil des Bodens. Näherungsweise wird der Porenanteil mit  $n=0,3$  angesetzt.

Baugruben mit dichtender UWBS werden unter Wasser ausgehoben. Nach dem Unterwasseraushub folgt die Betonage der UWBS. Für das Lenzen der Baugrube wird ein Volumen bis auf die Oberkante der UWBS angesetzt.

## 2.2 Angesetzte Wasserstände

Auf Grundlage der Baugrunduntersuchungen sind folgende Grundwasserstände in Tabelle 1 aus dem Baugrundgutachten <sup>1</sup> zu berücksichtigen, wobei bei der Ermittlung der Wassermengen und Förderraten jeweils der Bauwasserstand (BW) zu Grunde gelegt werden sollte. Die Bezeichnungen der Bauwerksabschnitte wurden gegenüber dem Baugrundgutachten auf die Variante Gesamttunnel angepasst.

**Tabelle 1: Vorgeschlagene charakteristische Wasserstände (aus Baugrundgutachten <sup>1</sup>)**

|  | Niedrigwasser | Mittelwasser | Bemessung Hochwasser Bauzeit | Höchster bekannter Grundwasserstand |
|--|---------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Bezeichnung                                    | NGW           | MGW          | BW                           | HGW                                 |
| Bahnhof Terminal                               | +27,7 mNN     | +29,1 mNN    | +31,0 mNN                    | +32,0 mNN                           |
| Tunnelstrecke und Rampe                        |               |              | +30,5 mNN                    |                                     |
| Notausstiege, Tunnel in geschlossener Bauweise | +26,5 mNN     | +28,0 mNN    | +30,0 mNN                    | +31,0 mNN                           |
| Südlicher Tunnel in offener Bauweise und Rampe | +25,2 mNN     | +27,5 mNN    | +29,0 mNN                    | +29,5 mNN                           |

## 2.3 Zustrom aus dem Tertiär

Auf Grundlage von Untersuchungen zu benachbarten Bauprojekten wurde folgende Nahrungsgleichung zur Ermittlung des Zustroms aus dem Tertiär entwickelt. Die jeweils angesetzte Wasserdruckdifferenz  $\Delta h$  wird aus dem Bauwasserstand BW, der Tiefenlage der Baugrubensohle und einem Zuschlag von 0,5 m bestimmt.

---

<sup>1</sup> Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung, Stadtbahnlinie U81, Freiligrathplatz bis Flughafen Terminal, 1. Bauabschnitt, geoteam Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund, Bericht 00.153\_B01 vom 05.03.2013

$$Q_T = 0,2685 \cdot \Delta h \cdot t^{-0,6} \cdot k_{T,v} \cdot A$$

|     |                             |  |
|-----|-----------------------------|--|
| mit | $Q_T$ : [m <sup>3</sup> /s] | Zustrom von Grundwasser zur Baugrube                   |
|     | $\Delta h$ : [m]            | Wasserdruckdifferenz inner- und außerhalb der Baugrube |
|     | t: [m]                      | Einbindetiefe ins Tertiär                              |
|     | $k_{T,v}$ [m/s]             | vertikale Durchlässigkeit des Tertiärs                 |
|     | A: [m]                      | Grundfläche der Baugrube                               |

Für die Ermittlung des Zustroms wird auf Grund der angenommenen näherungsweise isotropen Eigenschaften für die vertikale Durchlässigkeit ein mittlerer Wert von

$$k_{T,v} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

angesetzt.

## 2.4 Zustrom durch die Umschließungsflächen

Für die Zustrommenge durch die nahezu dichten Umschließungsflächen wird die Grundfläche der Baugrube mit UWBS und die benetzten Baugrubenwandflächen angesetzt. Als benetzte Baugrubenwandfläche werden hierbei die Flächen gewertet, die höhenmäßig vom Außenwasserstand bis zur Oberkante der UWBS bzw. bis zur Unterkante der Schlitzwände reicht.

Mit der baupraktischen Annahme einer dichten Umschließung wird üblicherweise eine Dichtigkeitsanforderung an die Konstruktion gestellt. Dabei wird festgelegt, dass der Zustrom durch die Umschließung höchstens

$$Q_w \leq 1,5 \text{ l/s je } 1000 \text{ m}^2 \text{ benetzter Fläche}$$

betragen darf. Dieser Zustrom wird i.d.R. als unvermeidbar und baupraktisch erreichbar eingestuft. Ein größerer oder zusätzlicher Zustrom ist als unplanmäßiger Zutritt zu behandeln. Die vorgenannte planmäßige und geringe Undurchlässigkeit resultiert i. W. ggf. aus der Durchführung der Sohlverankerungen, aus der Herstellung der Fugen zwischen UWBS und Bohrwänden sowie den Fugen zwischen Bohrpfählen oder den einzelnen Schlitzwandlamellen.

## 2.5 Lenz- und Entwässerungsmengen

Die Lenzwassermengen fallen in Baugruben mit UWBS an. Nach dem Herstellen der nahezu dichten Umschließungswände, dem Bodenaushub unter Wasser und der Herstellung der rückverankerten UWBS wird das Wasser aus der Baugrube gepumpt. Das Wasservolumen ergibt sich aus der Grundfläche und dem Abstand der Oberkante der UWBS bis zum Bauwasserstand:

$$Q_L = GF_i \cdot t \quad [m^3]$$

mit

$GF_i$  = Grundfläche der i-ten Teilbaugrube

$t$  =  $BW - OK_{UWBS}$

Die Tertiärbaugrube wird parallel oder vorlaufend mit dem Aushub nach Herstellung der Schlitzwände bis zur tiefsten Aushubkote plus eines Tiefenzuschlags von 0,5 m entwässert. Dies ist dann der innere Wasserspiegel. Dabei wird das Wasser aus dem Porenvolumen des wassergesättigten Bodens über temporäre Brunnen abgepumpt.

Die anfallenden Entwässerungsmengen berechnen sich zu

$$Q_E = GF_i \cdot \Delta h \cdot n \quad [m^3]$$

mit

$GF_i$  = Grundfläche der i-ten Teilbaugrube

$\Delta h$  = Grundwasserspiegeldifferenz zwischen innen und außen

$n$  = 0,3; angesetzter Porenanteil des wassergesättigten Bodens

## 2.6 Unwägbarkeiten und Berechnungszuschläge

Die vorangestellten berechneten Wassermengen und Förderraten unterliegen mehreren Unwägbarkeiten, die letztendlich nicht auszuschließen sind. Im Wesentlichen sind hierzu nennen:

- Ungenauigkeit der angesetzten (homogenen) Durchlässigkeiten
- Unregelmäßigkeiten in einer welligen oder mäandernden Tertiäroberfläche
- Ungewollt höhere Absenktiefen innerhalb der Baugruben
- Ungenauigkeiten in der Modellbildung

Die verschiedenen Unwägbarkeiten können durch entsprechende Abschätzungen näherungsweise einzeln quantifiziert und mit einem zusammenfassenden Zuschlag berücksichtigt werden.

Bei der Ungenauigkeit der angesetzten Durchlässigkeiten sind lokale Variationen und generelle Ungenauigkeiten zu unterscheiden. Generell ist mit Schwankungen der Durchlässigkeit im Schichtverlauf der jeweiligen Schicht zu rechnen. Die wird durch den Ansatz von mittleren effektiven Durchlässigkeitsbeiwerten ( $4 \cdot 10^{-3}$  m/s im Quartär und  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s im Tertiär) erfasst.

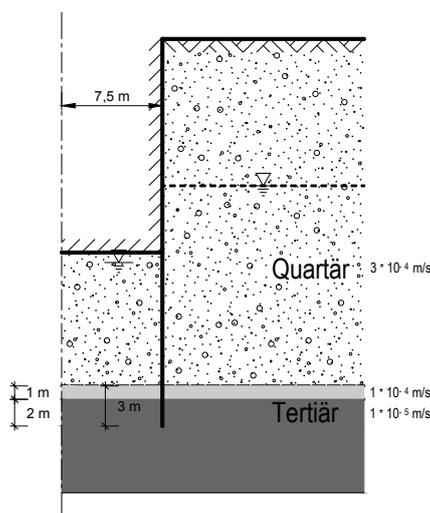
Lokale Variationen sind vor allem im Einbindebereich der Wände in das Tertiär für die Wassermengen und Förderraten von Bedeutung. Um diese zu quantifizieren, sind Vergleichsberechnungen an einem ebenen Schnitt durchgeführt worden, wobei die Durchlässigkeit der oberen Tertiärschicht (Dicke 1,0 m) mit einer größeren Durchlässigkeit von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s berücksichtigt wurde. Die untersuchte Geometrie ist in Abb. 1 dargestellt. Mit dieser Untersuchung wird auch näherungsweise eine auf kurze Distanzen wellige bzw. mäandernde Tertiäroberfläche erfasst. Daraus ergibt sich aus den Vergleichsberechnungen eine Erhöhung der Förderrate und der Wassermenge von etwa 10%.

Alternativ kann die Unwägbarkeit der Tertiäroberfläche über die o.g. Nahrungsgleichung erfasst werden, wenn die planmäßige Einbindung von 3 m sich auf 2 m reduziert. Dann erhöhen sich Förderrate und Wassermenge um etwa 30 %.

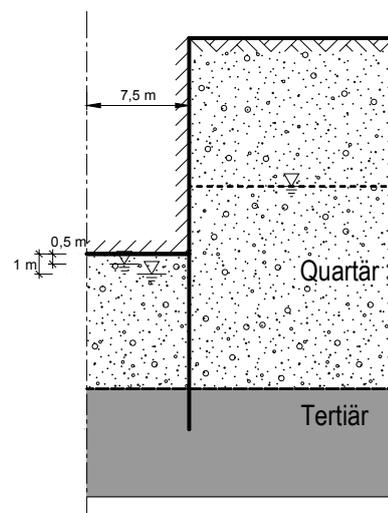
Insgesamt ergibt sich damit für die Unwägbarkeiten bei der Ermittlung des Zustroms aus dem Tertiär ein mittlerer Zuschlag von

Zuschlag Tertiär

$$Z_T \approx (10 + 30) / 2 = 20 \%$$



a) Unwägbarkeit in Tertiäroberfläche



b) Unwägbarkeit im Absenkniveau

**Abbildung 1: Untersuchungen in ebenen Schnitten**

Eine weitere Unwägbarkeit ist das tatsächliche Absenkniveau des Wasserspiegels innerhalb der Baugrube. Falls der Wasserspiegel unplanmäßig tiefer abgesenkt wird als 0,5 m, dann erhöhen sich die Förderrate und die Wassermenge. Aus einer Vergleichsberechnung am ebenen Schnitt (vgl. Abb. 1b) ergibt sich eine Erhöhung von < 5 %. Alternativ errechnet sich eine Erhöhung nach der Nahrungsgleichung mit einer größeren Druckdifferenz mit zusätzlicher Höhe von 0,5 m zu etwa 10 %.

Insgesamt kann damit die Unwägbarkeit des tieferen Absenkens in der Baugrube erfasst werden, mit einem mittleren Zuschlag von

$$\text{Zuschlag Absenkung} \quad Z_A \approx (0 + 10) / 2 = 5 \%$$

Die Unwägbarkeiten in der Modellbildung sind kaum zu erfassen. Hier schlagen wir vor, eine pauschale Erhöhung anzusetzen.

$$\text{Zuschlag Modell} \quad Z_M \approx 10 \%$$

Die einzelnen Zuschläge summieren sich auf einen Gesamtzuschlag auf die Wassermengen und die Förderraten von

$$\text{Zuschlag Gesamt} \quad Z_G = 20 + 5 + 10 = 35 \%$$

Dieser Gesamtzuschlag wird bei der beantragten Wassermenge und Förderrate angesetzt. Es ist zu empfehlen, den Zuschlag für die Ausschreibung und Planung zu berücksichtigen.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

geoteam Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund

  
M.Sc. Caterina Hollenhorst

  
Dr.-Ing. Stephan Gütjahr  
ppa.