



Anlage 10.5.1 wird ersetzt durch  
Anlage 12.8.3a

DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB ProjektBau GmbH  
S-Bahn Rhein-Main (I.BV-MI-P(5))  
Hahnstraße 52  
60528 Frankfurt am Main

Projekt-Nr.  
28.2288

Datei  
P2288s140627.docx

Diktat  
CSp/Fe

Büro  
Witten

Datum  
27.06.2014

## **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn**

### **Planfeststellungsabschnitt Frankfurt**

#### **- Hydrogeotechnische Stellungnahme Stationsbaugrube, östl. Rampenbauwerk, Bergung Verbauträger -**

### **ANLAGE 10.5.1**

**Gesellschaft:** HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang

**Zentrale Witten:** Westfalenstraße 5 - 9, D-58455 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de  
<http://www.dr-spang.de>

**Niederlassungen:** 09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de  
73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de  
06618 Naumburg, H.-von-Stephan-Platz 1, Tel. (03445) 762-0, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de  
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de

**Banken:** Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDEDB430  
Stadtsparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



## 1. VERANLASSUNG

Im Zuge der fortgeschrittenen Planung werden hydrogeotechnische Berechnungen für die in das Grundwasser eingreifenden Baugruben mit Grundwasserförderung erforderlich. Im Zuge der unterirdischen Streckenführung betrifft dies zum einen das Stationsbauwerk Frankfurt – Ost auf dem Danziger Platz und einen Teil der nach Osten aufsteigenden Rampe mit der die Bahnstrecke zum Teil in einem Tunnel in offener Bauweise und einem offenen Trogbauwerk (Rampenbauwerk) geführt wird. Zum anderen müssen zur Unterfahrung der U-Bahn-Station der U 6 auf dem Danziger Platz Verbauträger neben und unter dem Stationsbauwerk geborgen werden, die beim Bau der U-Bahn-Station im Baugrund verblieben sind. Hierzu ist auf der östlichen Seite der U-Bahn-Station eine offene Baugrube geplant und unter der Station zusätzlich ein Bergestollen, aus dem die restlichen Träger geborgen werden sollen.

## 2. UNTERLAGEN

Die Berechnungen werden auf der Basis folgender Planfeststellungsunterlagen erstellt:

- [U 1] **Anlage 12.8.: Geotechnisches und tunnelbautechnisches Gutachten, S-Bahn Rhein-Main, Nordmainische S-Bahn, Tunnelstrecke „Grüne Straße“ - Station Ostbahnhof, Station Ostbahnhof, Tunnelstrecke Station Ostbahnhof km 54,310 ; Dr. Spang GmbH, Witten, 11.01.2012.**
- [U 2] **Anlage 6.1.10: Tunnel West, Schnitt 4-4, Unterfahrung U-Bahn.**
- [U 3] **Anlage 6.1.12: Tunnel Ost, Schnitt 8-8, Rahmenbauwerk.**
- [U 4] **Anlage 6.1.13: Tunnel Ost, Schnitt 9-9, Trog.**
- [U 5] **Anlage 6.2.1: S-Bahn-Station Frankfurt (M) – Ost, Grundriss Bahnsteigsebene.**
- [U 6] **Anlage 6.2.2: S-Bahn-Station Frankfurt (M) – Ost, Schnitt 5-5, Längsschnitt.**



**[U 7] Anlage 6.2.3: S-Bahn-Station Frankfurt (M) – Ost, Schnitt 6-6, Querschnitt.**

### **3. GEOLOGIE**

Der Untergrund besteht bis in relevante Tiefe aus einer Wechselfolge von rolligen und bindigen quartären und tertiären Sedimenten. Für eine bessere Abgrenzung der Sedimente wurden die nachfolgend aufgeführten Schichten in [U 1] ausgewiesen. Die Reihenfolge gibt gleichzeitig die zu erwartende Schichtenfolge von oben nach unten an.

Durch das nordwestlich gerichtete Einfallen der Schichten sind allerdings im östlichen Bereich nicht mehr alle Schichten vorhanden. Die Schichten I.2 (Aue-/Hochflutlehm) und I.4 (Terrasse des Mains) sind im Stadtgebiet bereichsweise ausgeräumt und durch anthropogene Auffüllungen ersetzt.

- Schicht I.1    Auffüllungen**
- Schicht I.2    Aue-/ Hochflutlehm**
- Schicht I.3    Flugsand (im Bereich der Tunnelachse nicht angetroffen)**
- Schicht I.4    Terrasse des Mains**
- Schicht II.3    Hydrobienschichten**
- Schicht II.4    Inflatenschichten**
- Schicht II.5    Cerithienschichten**

Die Hydrobien und Inflatenschichten werden nur im westlichen Tunnelabschnitt angetroffen und können für die Berechnung der Grundwasserhaltungsmaßnahmen vernachlässigt werden. Die Quartären Schichten I.1 bis I.4 werden zur Vereinfachung des Berechnungsmodells in eine gemeinsame Schicht zusammengefasst, mit den Kennwerten der Schicht I.4 (Terrasse des Mains).

Die Cerithienschichten lassen sich nach der detaillierten Auswertung der 2. EKP im Bereich der Station in zwei Untereinheiten gliedern. Die obere Einheit weist Festgesteine und zu Lockergestein umgewandelte Festgesteine von grauer Färbung auf. Dieses Schichtpaket wird hier daher als „**graue Cerithien**“ (**Schicht II.5a**) bezeichnet. Es wurden überwiegend Kalksteine, Mergelsteine, Kalkmergelsteine und untergeordnet Sandsteine, sowie z.T. schluffige Kalksande und Tone erkundet. Dieses Schichtpaket ist vergleichsweise heterogen zusammengesetzt. Die Kalksteine dieses





Schichtpakets sind teilweise klüftig und können Hohlräume aufweisen. Durchgehende Strukturen, wie z.B. Kalkbänke, konnten in diesem Schichtpaket nicht festgestellt werden.

Die untere Einheit der Cerithien weist im Wesentlichen eine grüne Färbung auf und wird hier daher als „**grüne Cerithien**“ (**Schicht II.5b**) bezeichnet. Dieses untere Schichtpaket besteht im Wesentlichen aus festen bis halbfesten Tonen (umgewandelte Mergelsteine), Kalksandsteinbank. Dieses Schichtpaket ist deutlich homogener und kompakter als das obere Schichtpaket der Cerithien. Die Oberkante der grünen Cerithien fällt von Ost nach West ein. Am östlichen Ende des Stationsbauwerks wurde die OK der grünen Cerithien bei ca. 69,6 m NHN erkundet. Am westlichen Ende der Station liegt die OK nur noch bei ca. 62,4 m NHN. Die Schichtoberkante fällt von der östlichen Stationsseite bis zur westlichen Stationsseite um ca. 2,6 m – 4,0 m ein. Die Oberfläche der grünen Cerithien (Schicht II.5b) ist in Anlage 12.8.1.4 dargestellt.

Die Durchlässigkeiten der Bodenschichten können als Bandbreiten nach den aktuellen Untersuchungsergebnissen gemäß Tabelle 3-1 angesetzt werden. Es ist insbesondere in den Wechselfolgen der Cerithien mit Sanden, Kalkbänken, Tonen und Mergeln von einer ausgeprägten Anisotropie der Durchlässigkeiten auszugehen, d. h. sie sind parallel der Schichtung durchlässiger als senkrecht dazu. Für die Cerithiensichten (Schicht II.5) kann angenommen werden, dass die senkrechte Durchlässigkeit um etwa den Faktor 10 undurchlässiger ist als die horizontale Durchlässigkeit. Die grauen Cerithien (Schicht II.5a) weisen dabei eine deutlich höhere Durchlässigkeit auf als die grünen Cerithien (Schicht II.5b). Die Durchlässigkeit der grauen Cerithien wird dabei maßgeblich von den z.T. verkarsteten Kalkbänken und den Kalksandsteinen geprägt. Die grünen Cerithien stellen sich hingegen deutlich homogener dar. In den durchgeführten Wasserabpressversuchen (WD-Tests) konnte in den grünen Cerithien kein signifikanter Unterschied zwischen den Tonen und der Kalkbank festgestellt werden. Die Kalkbank der grünen Cerithien kann damit als weitgehend kompakt und gering durchlässig angesehen werden.

Die Festlegung der Durchlässigkeiten berücksichtigt insbesondere auch die im Rahmen der 2. Erkundungsphase durchgeführten Pumpversuche auf dem Danziger Platz, die in [U 1] dokumentiert sind.





Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit $k_f$ [m/s]
I.4	Terrassen des Mains (Quartär gesamt)	$1 \times 10^{-5}$ bis $1 \times 10^{-3}$
II.5a	graue Cerithienschichten	$1 \times 10^{-8}$ bis $5 \times 10^{-5}$
II.5b	grüne Cerithien	$1 \times 10^{-7}$ bis $1 \times 10^{-6}$

**Tabelle 3-1:** Durchlässigkeiten

Für die Stationsbaugrube werden zur Abschätzung der zu erwartenden Wassermenge und des Einflusses der Wasserhaltung auf den Grundwasserspiegel zwei unterschiedliche hydraulische Modelle gerechnet. Im Modell 1 werden die grauen Cerithien (Schicht II.5a) mit einer anisotropen Durchlässigkeit angesetzt, wobei die vertikale Durchlässigkeit ein Zehnerpotenz geringer als die horizontale Durchlässigkeit angenommen wird, und im Modell 2 wird eine isotrope Durchlässigkeit angesetzt, wobei die Durchlässigkeit der (höheren) horizontalen Durchlässigkeit des Modells 1 entspricht. Alle anderen Schichten werden in beiden Modellen gleich angenommen. Da die höhere vertikale Durchlässigkeit der grauen Cerithien im Modell 2 eine höhere zu fördernde Wassermenge und eine größere Beeinflussung des Grundwasserspiegels zur Folge hat, wird für die Berechnung der Baugrube für die östliche, aufsteigende Rampe und für die Bergung der Verbausträger unter der U-Bahn-Station nur das Modell 2 verwendet. Für die Stationsbaugrube werden beispielhaft beide Modelle berechnet. Die angesetzten Durchlässigkeiten der beiden hydraulischen Modelle sind in Tabelle 3-2 zusammengestellt.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit $k_f$ hyd. Modell 1 [m/s]	Durchlässigkeit $k_f$ hyd. Modell 2 [m/s]
I.4	Terrassen des Mains (Quartär gesamt)	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
II.5a	graue Cerithienschichten	$k_h = 1 \times 10^{-5}$ $k_v = 1 \times 10^{-6}$	$k_h = k_v = 1 \times 10^{-5}$
II.5b	grüne Cerithien	$5 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-7}$

**Tabelle 3-2:** angesetzte Durchlässigkeiten in den hydraulischen Modellen



Der anzusetzende Bemessungswasserstand im Bauzustand wurde für die Bergung der Verbauträger an der U-Bahn-Station und an der Stationsbaugrube Frankfurt (M) – Ost mit 94,50 m NHN und an der Baugrube für die östliche ansteigende Rampe mit 94,7 – 94,9 m NHN angesetzt. Die angesetzten Grundwasserstände entsprechen hohen Bauwasserständen gemäß den höchsten gemessenen Wasserständen im Beobachtungszeitraum (siehe [U 1]).

#### 4. MODELLIERUNG

Für die Berechnung der anfallenden Wassermengen, der Grundwasserabsenkung, des Potentials und des Wasserdrucks auf die Verbauwände wurden **2D-Finite-Elemente-Berechnungen** ausgeführt. Die Berechnungen wurden für die Stationsbaugrube und für das östliche aufsteigende Rampenbauwerk mit dem Programm GGU SSFlow2D (GGU GmbH, Braunschweig) als vertikal ebene Berechnungen ausgeführt.

Bei den Berechnungen wurde das Potential in den Entspannungsbrunnen und Entspannungsanlagen als Potentialrandbedingung vorgegeben und die den Brunnen und Lanzen zuströmende Wassermenge berechnet. Als weitere Randbedingung wurde der anzusetzende bauzeitige Grundwasserstand am Rand des Berechnungsmodells als Potentialrandbedingung vorgegeben. Die Modellgröße wurde hierbei nicht auf Basis einer Abschätzung der Reichweite einer möglichen Grundwasserabsenkung festgelegt, sondern um die Modellgröße beherrschbar zu halten für die Stationsbaugrube und für die Baugrube der östlichen Rampe mit 50 m angesetzt. Da die Modellgröße damit kleiner als die anzunehmende Reichweite der Grundwasserhaltung ist, kann aus der numerischen Berechnung nicht unmittelbar die Absenkkurve (Verlauf der Absenkung) entnommen werden. Es ergibt sich aus der dann zu nah zur Entnahmestelle angesetzten Randbedingung eine zu steile Absenkkurve, die aber hydraulisch aufgrund des etwas zu groß ermittelten hydraulischen Gradienten zu einer auf der sicheren Seite liegenden (somit zu großen) Zuströmung zu den Brunnen und in der Folge zu einer auf der sicheren Seite liegenden Ermittlung der Entnahmemenge und der Potentiale an der Baugrube führt. Die Absenkung an der Baugrube selber ist auch in den numerischen Modell maßgeblich von den Entspannungsbrunnen beeinflusst und nicht von der äußeren Randbedingung abhängig und kann somit als richtig angenommen werden.





Für die Baugrube zur Bergung der Verbauträger westlich der U-Bahn-Station und für die Bergung der Verbauträger aus einem Bergestollen erfolgt eine Grundwasserabsenkung sowohl im Quartär als auch im Tertiär. Hier handelt es sich im Tertiär nicht nur um eine Entspannung, sondern um eine Absenkung bis auf eine Höhe, dass die Baugrubensohle bzw. die Sohle des Bergestollens sicher trocken bleibt. Im Bereich der U-Bahn-Station ist der Baugrund lokal durch die bisherigen Bauvorgänge gestört (die U-Bahn-Station reicht selber bis in das Tertiär; unter der U-Bahn-Station wurde eine Drainageschicht im Tertiär eingebaut; von der Baumaßnahme sind wahrscheinlich noch bis in das Tertiär reichende Brunnen vorhanden; Verbauträger sind im Baugrund verblieben und nur am Fuß ausbetoniert). Dadurch ist lokal mit einer erheblich erhöhten Durchlässigkeit im Tertiär zu rechnen, die näherungsweise der Durchlässigkeit des Quartärs entsprechen kann. Auf der sicheren Seite liegend wurde daher für die Berechnung der Entnahmemengen und der Absenkung angenommen, dass die Cerithien lokal dieselbe Durchlässigkeit wie das Quartär aufweist. Da es sich dann nur noch um ein Ein-Schicht-Modell (ausschließlich Quartär) mit freiem Grundwasserspiegel handelt, ist eine numerische Berechnung der Grundwasserabsenkung mit Brunnen über die Finite-Elemente-Methode nicht mehr erforderlich. Es wurden daher Berechnungen mit dem Programm GGU-Drawdown (GGU GmbH; Braunschweig) nach der Mehrbrunnenmethode durchgeführt.

Um eine Bewertung des Einflusses auf die Vegetation und ggf. betroffene Gebäude zu ermöglichen wird eine gesonderte Abschätzung der Reichweite und der Absenkkurve für alle Grundwasserhaltungen durchgeführt. Für die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserabsenkung im Quartär wird auf die empirische Bestimmungsformel nach Sichardt ( $R = 3000 \times s \times \sqrt{kf}$ ) zurückgegriffen. Dabei wird die Reichweite auf der sicheren Seite liegend mit der Formel für einen Einzelbrunnen ermittelt. Für langgezogene Entnahmen, wie für die Stationsbaugrube und die Baugrube für die östlich ansteigende Rampe könnte näherungsweise auch auf den ebenen Fall zurückgegriffen werden. Es würde sich dann eine nur halb so große Reichweite ergeben. Die berechneten Reichweiten liegen somit auf der sicheren Seite und können den durch die Grundwasserentnahme beeinflussten Bereich sicher abschätzen. Aufgrund der weitgehenden anthropogenen Überprägung des Frankfurter Stadtgebiets mit unterschiedlichen Auffüllungsmächtigkeiten und damit unterschiedlichen Restmächtigkeiten an Auelehmen und Sedimenten der Mainterrasse, die nicht im gesamten Einzugsgebiet der Grundwasserhaltungsmaßnahmen bekannt sind, und auch nicht mit hinreichender Detaillierung ermittelt werden können, wird auch für die Reichweitenabschätzung und Ermittlung der Absenkkurve die quartären Schichten zu einem einheitlichen Schichtpaket zusammengefasst. Durch diese Vereinfachung des Modells wird die Ermittlung der Reichweite und





der Absenkkurve über Näherungsformeln als zielführend angesehen. Ein größeres numerisches Modell wird aufgrund der weitgehenden Annahmen in der Modellbildung der quartären Schichten nicht zu einer höheren Vorhersagewahrscheinlichkeit führen.

Die Absenkkurven werden aus der abgeschätzten Reichweite nach Sichardt und der Absenkung an der Baugrube nach Dupuit-Thiem für den ebenen Fall (Stationsbaugrube und Baugrube östliche Rampe) mit

$$y = \sqrt{h_0^2 + \frac{x \times (H^2 - h_0^2)}{R}}$$

und für die Baugrube zur Bergung der Verbauträger als auch für die Bergestollen für den axial-symmetrischen Fall mit

$$y = \sqrt{H - \frac{Q \times (\ln R - \ln x)}{\pi \times k_f}}$$

berechnet. Dabei sind

- $h_0$  abgeschätzte benetzte Filterlänge des Brunnens,
- $H$  ungestörter Grundwasserhöhe im Aquifer,
- $R$  Reichweite nach Sichardt,
- $Q$  zur Grundwasserentnahme zufließende Wassermenge,
- $k$  Durchlässigkeit der quartären Schichten,
- $x$  Abstand von der Grundwasserentnahme,
- $y$  Absenkung gegenüber unbeeinflusster Grundwasseroberfläche.

Bei der hier durchgeführten Abschätzung der Reichweite und der Absenkkurve wird davon ausgegangen, dass sich die Grundwasserabsenkung rund um die Entnahme gleichmäßig ausbildet. Tatsächlich wird die Grundwasserabsenkung von der Grundwasserströmung überlagert. Bei den hier gegenständlichen Entnahmen ist von einer Grundwasserströmung im Wesentlichen von Nord nach Süd zum Main hin auszugehen. Im Bereich der Anströmung (nördlich der jeweiligen Grundwasserentnahme) wird der Absenktichter durch die Grundwasserströmung von Norden her aufgefüllt, so



dass sich tatsächlich eine etwas kleiner Reichweite und eine etwas geringere Absenkung ergeben wird. Umgekehrt wird sich im Bereich der Abströmung (südlich der jeweiligen Grundwasserentnahme) eine etwas größere Reichweite einstellen. In südliche Richtung wird die Reichweite der Beeinflussung im Quartär aber durch den Main begrenzt, so dass sich die tatsächliche Grundwasserströmung nicht auf die Ermittlung des beeinflussten Bereichs auswirken wird.

Im Tertiär wird weitgehend keine Absenkung stattfinden, sondern eine Entspannung die den Wasserdruck in den wasserführenden Schichteinheiten der Cerithien reduziert. Da es sich hierbei nicht um einen freien Grundwasserspiegel, sondern um einen gespannten Grundwasserspiegel handelt, kann diese nicht als eine Grundwasserabsenkung behandelt werden. Aus der Entspannung des Wasserdrucks in den überkonsolidierten Cerithien ist nicht mit Setzungserscheinungen zu rechnen. Für die Vegetation liegen die Cerithien zu tief, so dass auch hieraus keine Beeinflussung zu erwarten ist.

## 5. BERECHNUNGSERGEBNISSE

### 5.1 Stationsbaugrube

Das favorisierte Konzept der innenliegenden Entspannungsbrunnen verfolgt das Ziel einer Minimierung der zu fördernden Wassermengen und gleichzeitig einer Minimierung der Beeinflussung der Grundwasserstände rund um die Station.

Eine Voruntersuchung zum Wasserdruck auf die Verbauwand hat ergeben, dass nur durch innenliegende Entspannungsbrunnen der Wasserdruck nicht soweit reduziert werden kann, dass der Wasserdruck zusätzlich zum Erddruck von der Verbauwand aufgenommen werden kann. Es wird daher eine Ausführung mit in der Baugrube angeordneten innenliegenden Entspannungsbrunnen und schräg durch die Verbauwand im Tertiär angeordneten außenliegende Entspannungsanlagen vorgesehen. Die **innenliegende Entspannungsbrunnen** werden bis ca. 5,8 m unter die Baugrubensohle geführt. Die abdichtenden, kürzeren Verbauelemente (Primärpfähle) werden bis 1 m unter die Entspannungsbrunnen geführt, so dass die Entspannungsbrunnen nicht horizontal vom die Baugrube umgebenden Tertiär angeströmt werden können, sondern unten um die Verbauwand herum. Damit wird eine Reduzierung der zuströmenden Wassermenge in die vertikalen Entspan-



nungsbrunnen innerhalb der Baugrube erreicht. Zusätzlich wird auf der Sohle der Baugrube eine horizontale Drainageschicht angeordnet. Die bewehrten Sekundärpfähle der Verbauwand werden aus statischen Gründen tiefer als die Primärpfähle geführt. Zusätzlich werden **außenliegende schräg angeordnete Entspannungs-lanzen** mit einer drucklosen Entspannung auf ca. 20 m unter Geländeoberfläche (GOF) benötigt, um den Wasserdruck auf die Verbauwand zu beherrschen.

Die nachfolgenden Randparameter der Baugrube wurden dabei angesetzt (siehe auch [U 5] - [U 7]):

- **GOF (Danziger Platz):** 100 m NHN
- **Aushubsohle:** 75,4 m NHN
- **Verbauwand:** Bohrpfahlwand, Primärpfähle 1 m tiefer als Entspannungsbrunnen
- **Lichte Weite:** ca. 23 m
- **Länge:** ca. 214 m

Für die Ermittlung des Wasserdrucks im Bauzustand (Endaushubzustand der Baugrube) wird von einem **Absenkziel von 0,5 m unter der Baugrubensohle** (im kritischen Punkt / Mitte zwischen zwei Brunnenreihen) ausgegangen. Das Absenkziel liegt somit in der eingeplanten Drainageschicht unter der Baugrubensohle.

Für die Ermittlung der Wasserdruckverteilung auf die Verbauwand werden **2 Baugrundmodelle** betrachtet. Im Baugrundmodell 1 werden unterhalb einer gut durchlässigen Schicht aus quartären Terrassensedimenten durchgängige graue **Cerithienschichten** mit einer anisotropen Durchlässigkeit von  $k_h = 10^{-5} \text{ m/s}$  und  $k_v = 10^{-6} \text{ m/s}$  und für die grünen Cerithienschichten von  $k_h = k_v = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$  angesetzt. Im Baugrundmodell 2 wird für die grauen **Cerithienschichten** eine Durchlässigkeit von  $k_h = k_v = 10^{-5} \text{ m/s}$  angesetzt.

Zur Ermittlung der auf den Baugrund wirkenden Strömungskräfte, die bei der Ermittlung des anzusetzenden Erddrucks zu berücksichtigen sind, kann der vertikale hydraulische Gradient vereinfachend aus der Wasserdruckverteilung an der Wand ermittelt werden. Da die schrägen Entspannungs-lanzen für einen erhöhten Potenzialabbau oberhalb der Lanzen sorgen, ist der hydraulische Gradient oberhalb und unterhalb der Lanze zu ermitteln. Vereinfachend auf der sicheren





Seite kann dieser unmittelbar hinter der Verbauwand aus der Potenzialdifferenz und dem zugehörigen Sickerweg bestimmt werden. Die Potentiale bzw. Wasserdruckverteilung an der Verbauwand kann den Anlagen 10.5.2.1.1 bis 10.5.2.1.4 (Baugrundmodell 1) und 10.5.2.1.5 bis 10.5.2.1.8 (Baugrundmodell 2) entnommen werden.

Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen können der Tabelle 5.1-1 entnommen werden. Da das Baugrundmodell 2 sowohl hinsichtlich der zu fördernden Wassermenge als auch bezüglich der Absenkung ungünstigere Ergebnisse liefert, wird empfohlen daher für die wasserrechtliche Beantragung und für die Abschätzung der Beeinflussung das Baugrundmodell 2 zu verwenden.

Anlage	Baugrubenecke	Baugrundmodell	Wasseranfall [l / m Baugrube x h]	max. Wasserdruck [kN/m <sup>2</sup> ]	GW-Absenkung an Baugrube [m]
10.5.2.1.1	südwest	1: graue Cerithien $k_h = 10^{-5}$ m/s, $k_v = 10^{-6}$ m/s	271	114	0,15
10.5.2.1.3	nordost		263	128	0,17
10.5.2.1.5	südwest	2: graue Cerithien $k_h = k_v = 10^{-5}$ m/s	1.482	119	1,05
10.5.2.1.7	nordost		1.356	120	1,1

**Tabelle 5.1-1:** Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse Stationsbaugrube

Die Wasserdruckverteilung auf die Verbauwand ist jeweils in den Anlagen 10.5.2.1.2, 10.5.2.1.4, 10.5.2.1.6 und 10.5.2.1.8 dargestellt.

Durch die Grundwasserentspannung an der Stationsbaugrube kommt es bezogen auf den Bauwasserstand von 94,5 m NHN zu einer geringfügigen Absenkung im Quartär von max. 1,1 m. Daraus ergibt sich eine Reichweite nach Sichardt von  $R = 104$  m. Aus der Berechnung der Absenkkurve für eine langgezogene Baugrube (ebener Fall) beträgt die Absenkung in einer Entfernung von 10 m zur Baugrubenumschließung noch 1,0 m und in einer Entfernung von 55 m noch 0,5 m. Der Absenkrichter ist auf dem Lageplan in Anlage 10.5.3.1 dargestellt.



## 5.2 Baugrube östliches Rampenbauwerk

Im Zuge der östlich ansteigenden Rampe muss ein Teil des Tunnels in offener Bauweise errichtet werden, an dem sich ein Trogbauwerk anschließt. Dabei wird der Tunnel in offener Bauweise in dem Abschnitt von km 54,220 bis km 54,300 und daran anschließend das Trogbauwerk im Grundwasserbereich von km 54,300 bis ca. km 54,380 errichtet. Die Baugrube für beide Bauwerke an der östlichen Rampe wird mit einem wasserdruckhaltenden, vertikalen Verbau erstellt. Das über die Baugrubensohle einströmende Grundwasser soll mit innenliegenden Entspannungsbrunnen gefasst und gehoben werden. Die abdichtenden, Verbauelemente (Bohrpfähle) werden bis 1 m unter die Entspannungsbrunnen geführt, so dass die Entspannungsbrunnen nicht horizontal vom die Baugrube umgebenden Tertiär angeströmt werden können, sondern unten um die Verbauwand herum. Damit wird eine Reduzierung der zuströmenden Wassermenge in die Entspannungsbrunnen in der Baugrube erreicht. Die Einbindetiefe der Verbauwand steht noch nicht endgültig fest und wurde daher für die hydraulischen Berechnungen mit  $\frac{1}{4}$  der Baugrubentiefe + 1 m angenommen.

Die nachfolgenden Randparameter der Baugrube wurden dabei für die Baugrube angesetzt (siehe auch [U 3] und [U 4]):

- |                        |  |
|------------------------|--|
| ▪ <b>GOF:</b>          | 102,1 – 102,4 m NHN  |
| ▪ <b>Verbauwand:</b>   | Bohrpfahlwand, Primärpfähle 1 m tiefer als Entspannungsbrunnen |
| ▪ <b>Lichte Weite:</b> | ca. 20,6 m – 25,8 m  |
| ▪ <b>Länge:</b>        | ca. 160 m  |

Die Verbauwände am Rampenbauwerk binden in die Cerithien ein. Die Einbindung nimmt nach Osten hin ab, beträgt aber mindestens 1 m. Da die Cerithien durch die Überprägung durch die Mainterrasse gestört sein kann, wurde hier, auf der sicheren Seite liegend, eine Durchlässigkeit für die Cerithien von  $k_h = k_v = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  angenommen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Einbindung der Verbauwände in die Cerithien wird in diesem Modell nicht in grüne und graue Cerithien unterschieden.

Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen können der Tabelle 5.2-1 entnommen werden.



An-lage	Schnitt	Baugrundmodell	Wasseranfall [l / m Bau- grube x h]	max. Was- serdruck [kN/m <sup>2</sup> ]	GW-Absenkung an Baugrube [m]
10.5. 2.2.1	km 54,220	Cerithien $k_h = k_v = 10^{-5}$ m/s	2.942	84	1,2
10.5. 2.2.3	km 54,325		1.361	38	1,1

**Tabelle 5.2-1:** Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse Rampenbauwerk

Die Wasserdruckverteilung auf die Verbauwand ist jeweils in den Anlagen 10.5.2.2.2 und 10.5.2.2.4 dargestellt.

Durch die innenliegende Grundwasserabsenkung in der Baugrube kommt es bezogen auf den Bauwasserstand von 94,7 – 94,9 m NHN zu einer geringfügigen Absenkung im Quartär von max. 1,1 – 1,2 m. Daraus ergibt sich eine Reichweite nach Sichardt von max.  $R = 114$  m. Aus der Berechnung der Absenkkurve für eine langgezogene Baugrube (ebener Fall) beträgt die Absenkung in einer Entfernung von 15 m zur Baugrubenumschließung noch 1,0 m und in einer Entfernung von 65 m noch 0,5 m. Der Absenktichter ist auf dem Lageplan in Anlage 10.5.3.2 dargestellt.

### 5.3 Baugrube Bergung Verbauträger östlich der Station

Zur Bergung der Verbauträger, die östlich der U-Bahn-Station im Baugrund verblieben sind und insbesondere für die Errichtung eines Injektionsschirms zur Sicherung der U-Bahn-Station, aber auch da sie zum Teil bis in den geplanten Tunnelquerschnitt hineinragen, entfernt werden müssen, ist unmittelbar östlich der Station eine ca. 44 m lange und 5 m breite Baugrube vorgesehen. Zur Bergung der Verbauträger ist ein Aushub bis auf ein Niveau von ca. 87,6 m NHN erforderlich und somit bis ca. 12,4 m unter die Oberfläche des Danziger Platzes (siehe auch [U 2]).

Zur Trockenhaltung der Baugrube wird eine Wasserhaltung über Brunnen vorgesehen. Aufgrund der wahrscheinlich vorliegenden Störung des Baugrunds durch den Bau der U-Bahn-Station wird für die Berechnung der Grundwasserabsenkung (Fördermenge und Reichweite) auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass ein gestörter Baugrund mit durchgängig den Eigenschaften des Quartärs vorliegt. Dieser sehr ungünstige Ansatz führt zu erheblichen zu hebenden Was-





sermengen und zu einer deutlichen Reichweite. Es ist davon auszugehen, dass sich die tatsächlichen Baugrundverhältnisse deutlich günstiger darstellen. Für die endgültige Bemessung der Mehrbrunnenanlage ist auch ein Modell mit geringen Durchlässigkeiten im Tertiär entsprechend Tabelle 3-1 zu berechnen. Eine solche Berechnung wird i.d.R. für die Brunnenanzahl und den Brunnenabstand maßgebend. Für die Beurteilung der maximal möglichen Auswirkungen der Grundwasserhaltung ist diese Berechnung aber nicht relevant.

Die Berechnung für die Grundwasserabsenkung dieser Baugrube wurde als Mehrbrunnenanlage in einem Einschichtmodell (nur quartär Baugrundeigenschaften) mit freier Grundwasseroberfläche durchgeführt. Für die Berechnung wurden die Brunnen auf einer Längsseite der Baugrube angeordnet. Auf der anderen Seite steht das Stationsbauwerk. Die dichtende Randbedingung des Stationsbauwerks auf einer Längsseite der Baugrube wurde auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Es ergibt sich dadurch rechnerisch eine Überschätzung der zu fördernden Wassermenge. Als Ausgangsgrundwasserstand wurde ein Bauwasserstand von 94,5 m NHN angesetzt. Aus der Berechnung ergibt sich eine **maximale zu fördernde Wassermenge von 712 m³/h** (siehe Anlage 10.5.2.3).

Die sich aus der Fördermenge, der Absenkung und der Durchlässigkeit des Quartärs ergebende Absenkkurve wurde axialsymmetrisch um die Baugrube herum ermittelt. Zum Teil liegen die Absenkungen im Tertiär. Im Tertiär wird sich jedoch überwiegend kein freier Grundwasserspiegel ausbilden, da das Grundwasser an durchlässigere Kalksandlagen und Kalkbänke gebunden ist. Es ist dann von einer Absenkung bis auf UK Quartär auszugehen. Rechnerisch ergibt sich eine Absenkkurve mit den Absenkbeträgen der Tabelle 5.3-1. Der Absenktichter ist auf dem Lageplan in Anlage 10.5.3.3 dargestellt.

<b>Absenkung bezogen auf max. Bauwasserstand</b> <b>[m]</b>	<b>Abstand von Außenkante Baugrube</b> <b>[m]</b>
7,5	30
7,0	65
6,5	100
6,0	140
5,5	180
5,0	220



<b>Absenkung bezogen auf max. Bauwasserstand [m]</b>	<b>Abstand von Außenkante Baugrube [m]</b>
4,5	265
4,0	310
3,5	360
3,0	410
2,5	465
2,0	515
1,5	575
1,0	635
0,5	695

**Tabelle 5.3-1:** Grundwasserabsenkung durch Baugrube Verbauträgerbergung

#### 5.4 Bergestollen

Die westlichen Verbauträger sowie die Mittelbohrträger unter der U-Bahn-Station werden aus Bergestollen heraus geborgen. Für die Erstellung der Bergestollen ist eine lokale Grundwasserabsenkung erforderlich. Die Entwässerung erfolgt während des Vortriebs aus der Ortsbrust und der Stollensohle heraus. Die Sohlentiefe des Bergestollens mit einem Außendurchmesser von ca. 4,1 m liegt auf ca. 82,0 m NHN. Die Gesamtlänge des Bergestollensystems beträgt ca. 60 m (siehe auch [U 2]).

Aufgrund der wahrscheinlich vorliegenden Störung des Baugrunds durch den Bau der U-Bahn-Station wird für die Berechnung der Grundwasserabsenkung (Fördermenge und Reichweite) auf der sicheren Seite legend davon ausgegangen, dass ein gestörter Baugrund mit durchgängig den Eigenschaften des Quartärs vorliegt. Dieser sehr ungünstige Ansatz führt zu erheblichen zu hebenden Wassermengen und zu einer deutlichen Reichweite. Es ist davon auszugehen, dass sich die tatsächlichen Baugrundverhältnisse deutlich günstiger darstellen.

Die Berechnung für die Grundwasserabsenkung der Bergestollen wurde vereinfachend als Mehrbrunnenanlage in einem Einschichtmodell (nur quartäre Baugrundeigenschaften) mit freier Grundwasseroberfläche durchgeführt. Anstatt einer kontinuierlichen Wasserentnahme über den gesam-



ten Stollen wurden mehrere punktuelle Brunnen in Stollenmitte simuliert. Als Ausgangsgrundwasserstand wurde ein Bauwasserstand von 94,5 m NHN angesetzt. Aus der Berechnung ergibt sich eine **maximale zu fördernde Wassermenge von 1.331 m³/h** (siehe Anlage 10.5.2.4).

Die sich aus der Fördermenge, der Absenkung und der Durchlässigkeit des Quartärs ergebende Absenkkurve wurde axialsymmetrisch um die Bergestollen herum ermittelt. Zum Teil liegen die Absenkungen im Tertiär. Im Tertiär wird sich jedoch überwiegend kein freier Grundwasserspiegel ausbilden, da das Grundwasser an durchlässigere Kalksandlagen und Kalkbänke gebunden ist. Es ist dann von einer Absenkung bis auf UK Quartär auszugehen. Rechnerisch ergibt sich eine Absenkkurve mit den Absenkbeträgen der Tabelle 5.4-1. Der Absenktichter ist auf dem Lageplan in Anlage 10.5.3.4 dargestellt.

<b>Absenkung bezogen auf max. Bauwasserstand</b>	<b>Abstand von Kreuzungspunkt U-Bahn / S-Bahn</b>
<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
12	40
11	110
10	190
9	270
8	350
7	440
6	530
5	630
4	730
3	840
2	950
1	1070
0,5	2030

**Tabelle 5.4-1:** Grundwasserabsenkung durch Bergestollen Verbauträgerbergung

Für Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.





Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Ing. Christian Spang  
(Geschäftsführer)

i.V.

Dr.-Ing. Gerd Festag  
(Projektleiter)

- Anlagen:**
- Anlage 10.5.2.1: Hydraulische Berechnung Stationsbaugrube (8)
  - Anlage 10.5.2.2: Hydraulische Berechnung östl. Rampenbauwerk (4)
  - Anlage 10.5.2.3: Hydraulische Berechnung Bergebaugrube (3)
  - Anlage 10.5.2.4: Hydraulische Berechnung Bergestollen (3)
  - Anlage 10.5.3: Darstellung Absenktrichter (4)
- Verteiler:**
- DB ProjektBau GmbH, Frau Baser, Frankfurt, 2 x, davon 1 x vorab per Mail an <belgin.baser@deutschebahn.com>
  - - DB ProjektBau GmbH, Herr Gregorski, Frankfurt, 1 x per Mail an <heiko.gregorski@deutschebahn.com>
  - Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x