



ERDBAULABORATORIUM HAMBURG

GRÜNDUNGEN · BODENMECHANIK · WASSER-
SENKUNGEN · DAMM- UND TALSPERRENBAU
TUNNELBAU · HAFENBAU · DEPONIETECHNIKREIMERSBRÜCKE 5 · 20457 HAMBURG
TEL. 040 / 38 91 39 · 0 · FAX 040 / 380 91 70
E-MAIL: HH@STEINFELD-UND-PARTNER.DE
INTERNET: WWW.STEINFELD-UND-PARTNER.DE

(BITTE IMMER ANGEBEN)

012605/19

24. Juni 2009

- Li/Na -

Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr
Schleswig-Holstein
Niederlassung Itzehoe
Projektgruppe A 20 West
Breitenburger Straße 37
25524 Itzehoe

BAB A 20, Nord-West-Umfahrung Hamburg

Neue Elbquerung

hier: Numerische Grundwassermodellierung zum
Grundwassermanagement der offenen Baugruben
auf der Nord- und Südseite der Elbe

Anlagen: 012605/18	Lageplan des Grundwassermodells Nordseite
012605/19.1 bis 19.8	Ergebnisse der FE-Modellberechnungen Nordseite
012605/20	Lageplan des Grundwassermodells Südseite
012605/21.1 bis 21.3	Ergebnisse der FE-Modellberechnungen Südseite

4. Bericht**1. Veranlassung**

Die Baugruben für die in offener Bauweise herzustellenden Tunnel- und Trogstrecken der Elbquerung mit dem Startschacht auf der Elbnordseite und dem Zielschacht auf der Südseite der Elbe sollen im Hinblick auf die schwierigen Randbedingungen insbesondere auf der Nordseite im Unterwasseraushubverfahren hergestellt werden.

INHABERDr.-Ing. Kahl
Dr.-Ing. Rechtern
Dipl.-Ing. Steiner
Dr.-Ing. Weihrauch**HAUPTSITZ**Reimersbrücke 5
20457 Hamburg
Tel. 040 / 38 91 39-0
Fax 040 / 380 91 70**NL BERLIN-BRANDENBURG**Blumberger Weg 20
16356 Ahrensfelde
Tel. 033394 / 564 56
Fax 033394 / 564 58**NL STRALSUND**Semlower Straße 13
18439 Stralsund
Tel. 03831 / 28 00 06
Fax 03831 / 28 00 92**BANKVERBINDUNGEN**

Dresdner Bank AG	BLZ 200 800 00	Konto 50 800 58
Hamburger Sparkasse	BLZ 200 505 50	Konto 1269 / 121 420
Deutsche Bank AG	BLZ 200 700 00	Konto 656 49 00



Zur Gewinnung des für den Unterwasseraushub als Volumenersatz des geförderten Bodens erforderlichen Wassers sowie zur ggf. erforderlichen Flutung der Baugruben vor auflaufenden Sturmfluthochwasserständen der Elbe bei gleichzeitiger Druckreduzierung im Grundwasserleiter soll auf der Elbnordseite eine Grundwasserförderanlage installiert werden.

Im vorliegenden 4. Bericht werden die Ergebnisse einer numerischen dreidimensionalen Grundwassermodellierung dokumentiert, die u. a. zur Vordimensionierung dieser Förderanlage und zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Umgebung durchgeführt worden ist.

2. Unterlagen

Für die Bearbeitung des vorliegenden Berichtes stehen uns die nachfolgend genannten Unterlagen zur Verfügung.

Von der elbe-link Ingenieurgesellschaft GbR, Hamburg:

- 2.1 Neubau der A 20, Nord-West-Umfahrung Hamburg, Abschnitt K 28 (Niedersachsen) bis B 431 (Schleswig-Holstein), Erläuterungsbericht zum Bauwerksentwurf mit Anlagen, Stand 06/2008
- 2.2 Pegeldata der Elbwasserstände des Pegels Glückstadt für den Zeitraum September 2005 bis Januar 2009

Eigene Unterlagen:

- 2.3 Kontinuierliche Pegelmessungen mit automatischen Datenloggern in den Grundwasser-messstellen GWM 1 bis GWM 13 im Zeitraum von September 2005 (GWM 1 - 3), von Dezember 2005 (GWM 4 - 8) bzw. von März 2008 (GWM 9 - 13) bis Januar 2009
- 2.4 Neubau der A20, Nord-West-Umfahrung Hamburg, Abschnitt K 28 (Niedersachsen) bis B 431 (Schleswig-Holstein), Geotechnischer Bericht zum Bauwerksentwurf Elbquerung von Juni 2008

3. Wassermanagement in den offenen Baugruben

3.1 Baugruben Nordseite

Auf der Elbnordseite sind bei der Planung und Ausführung der Baugruben im Unterwasseraushubverfahren die schwierigen Randbedingungen zufolge des starken Tideneinflusses der Elbe mit zeitweise artesischen Druckverhältnissen im Grundwasserleiter zusammen mit der geringen Geländehöhe um NN ± 0 m zu berücksichtigen. Diese führen



dazu, dass bei hohen Elbwasserständen selbst für das vorhandene Gelände die rechnerische Aufbruchsicherheit nicht nachzuweisen ist.

Unter Berücksichtigung der v. g. Randbedingungen muss daher der Unterwasseraushub zur Verhinderung von aufwärtsgerichteten Grundwasserströmungen bzw. hydraulischen Sohlaufrüchen im Klei mit einem Baugrubenwasserstand ausgeführt werden, der zu jeder Zeit höher ist als das der Tidenbewegung der Elbe gedämpft folgende, von unten wirkende Grundwasserdruckniveau. Weiterhin müssen neben dem Regelaushub bei „normalen“ Elbwasserständen Vorkehrungen getroffen werden, um für den Fall einer während der kritischen Bauzeit vor Fertigstellung der Unterwasserbetonsohle nicht auszuschließenden Sturmflut mit sehr hohen artesischen Grundwasserdrücken die Baugrube kurzfristig und kurzzeitig bis zu einer entsprechend aufbruchsicheren Höhe zu fluten.

Mit diesen Randbedingungen wurde unter baupraktischen Gesichtspunkten ein Konzept für die Baugrubenherstellung entwickelt, bei dem das für den Unterwasseraushub erforderliche Baugrubenwasser über eine Brunnenanlage mit insgesamt 12 um die Baugruben herum angeordneten Förderbrunnen aus dem pleistozänen Grundwasserleiter gewonnen wird. Neben der Wassergewinnung wird gleichzeitig insbesondere bei Elbhochwasserständen als positiver Zusatzeffekt eine Druckentlastung des Grundwasserleiters im Nahbereich der Baugrube herbeigeführt.

Durch Installation und Betrieb der Brunnenanlage mit vollständiger Ausfilterung über die Höhe des pleistozänen Grundwasserleiters wird das durch den Unterwasseraushub des Bodens aus den Schlitzwandbaugruben entfernte Volumen durch die aushubbegleitende Einleitung von Grundwasser ausgeglichen. Der Wasserstand in den Baugruben soll aus baupraktischen Überlegungen konstant auf einem Niveau von NN +2 m gehalten werden. Dieser Wasserstand liegt rd. 1 m höher als der bei einem Tidehochwasser von NN +2 m im Grundwasserleiter unter dem Startschacht zu erwartende Druckwasserspiegel von rd. NN +1 m. Der Wasserstand in den Baugruben wurde zusammen mit dem bereits deutlich über dem mittleren Hochwasserstand (NN +1,5 m) liegenden Tidehochwasser von NN +2 m gewählt, um einen möglichst ganzjährig normalen Bauablauf mit nur wenigen Unterbrechungen durch mögliche Sturmflutereignisse zu gewährleisten.



In der an den Startschacht anschließenden Baugrube der Tunnelstrecke in offener Bauweise sowie der Trogstrecke, die etwa alle 100 m durch Querschottwände unterteilt wird, werden die bis zu ca. 15 m dicken gering wasserdurchlässigen Klei- und Torfschichten überwiegend nicht durchörtert, so dass das Halten des erhöhten Wasserspiegels problemlos möglich ist. Auch im Bereich des in den Aufschlussbohrungen und Drucksondierungen angetroffenen „Sanddome“ ist durch die flächenhaft im Niveau rd. NN -13,5 m festgestellte Basistorfschicht und nach den Ergebnissen der Grundwasserstandsbeobachtungen in der Grundwassermessstelle GWM 12 voraussichtlich eine ausreichende Abdichtung nach unten gegen den pleistozänen Hauptgrundwasserleiter gegeben. Beim Aushub der tiefen Startschachtbaugrube hingegen werden die Kleischichten durchstoßen und die Baugrube wird hydraulisch direkt an den pleistozänen Grundwasserleiter angebunden. Zur Haltung des Wasserspiegels auf NN +2 m muss daher in der Startschachtbaugrube ständig das nach unten in den Grundwasserleiter versickernde Wasser wieder aufgefüllt werden.

Bei Sturmflutwasserständen hat die Brunnenanlage die Aufgabe, den Wasserstand in den Baugruben unter Ausnutzung der amtlichen Vorwarnzeiten bis auf das Niveau rd. NN +3,5 m anzuheben und gleichzeitig das Druckniveau im pleistozänen Grundwasserleiter unter den Aushubsohlen der Baugruben zu reduzieren.

Zur Vordimensionierung einer entsprechenden Brunnenanlage wurde ein dreidimensionales numerisches Grundwassermodell (Finite-Elemente-Methode) mit schematisiertem Baugrundaufbau erarbeitet. Die Modellgrenzen wurden so groß gewählt, dass störende Randinflüsse vernachlässigbar klein sind und die Beurteilung einer möglichen Beeinflussung der nächstgelegenen Bebauung vorgenommen werden kann.

Die in das Modell einzuführenden Grundwasserfördermengen für den Volumenausgleich des Unterwasseraushubs wurden nach den planerseitigen Angaben für eine Tagesförderleistung von ca. 3.000 m³ pro Tag verteilt auf 12 Stunden entsprechend rd. $Q = 250 \text{ m}^3/\text{Std.}$ abgeschätzt. Die unabhängig vom Aushubgeschehen im Startschacht zum Ausgleich des in den Grundwasserleiter versickernden Wassers zu fördernden Grundwassermengen wurden



für die Fälle Tidehochwasser auf NN +2 m und Tideniedrigwasser auf NN -2 m ermittelt. Hierbei wurde nach den einschlägigen Erfahrungen bei Versickerungsanlagen zur Berücksichtigung des Zusetzens der Baugrubensohle durch Feinteile nur ein Drittel der rechnerischen Menge angesetzt.

3.2 Baugruben Südseite

Die Randbedingungen für die Herstellung der Baugruben für den Zielschacht, die Tunnelstrecke in offener Bauweise und den Trog Süd sind aufgrund des dort nur sehr untergeordnet vorhandenen Tideneinflusses erheblich einfacher als auf der Elbnordseite.

Die in den Unterwasserbaugruben einzuhaltende Wasserstandshöhe soll analog zur Elbnordseite 1 m über dem Grundwasserdruckniveau und damit im Regelfall auf rd. NN +1,5 m gehalten werden.

Im Gegensatz zur Elbnordseite ist hier jedoch eine Verwendung von Grundwasser aus geotechnischer Sicht nicht vertretbar, da nach den in den folgenden Kapiteln dokumentierten Ergebnissen der ausgeführten Grundwassermodellberechnungen durch eine Grundwasserentnahme mit Förderbrunnen Setzungsschäden an den umliegenden Bebauungen nicht ausgeschlossen werden können. Der Ausgleich des im Unterwasseraushub geförderten Bodenvolumens erfolgt daher über ein zwischengeschaltetes Speicherbecken mit Oberflächenwasser.

4. Grundwassermodellierung mit der FE-Methode

4.1 Allgemeines

Jeweils für den Startschacht (Elbnordseite) und den Zielschacht (Elbsüdseite) wurden in Abhängigkeit verschiedener Elbwasserstände für den erforderlichen Aushubersatz beim Unterwasseraushub (Aushubrate 250 m³/h bei 12 Stunden Aushubarbeiten pro Tag) und den Ausgleich des durch die Aushubsohle versickernden Baugrubenwassers die rechnerisch erforderlichen Grundwasserfördermengen ermittelt. Hierbei wurde in einem iterativen Anpassungsprozess eine geeignete Brunnenanlage konzipiert.



Der Tideneinfluss der Elbwasserstände ist auf der Südseite der Elbe im Baugrubenbereich nur untergeordnet vorhanden und kann bei der vorliegenden Fragestellung modelltechnisch vernachlässigt werden.

Ferner wird bei der jeweils für den Startschacht und den Zielschacht maximal erforderlichen Grundwasserfördermenge der Einfluss auf die umliegende Bebauung untersucht.

Die numerische Modellierung der stationären Grundwasserströmungen wird unter Ausnutzung der Symmetrie nach der Finiten-Element-Methode in einem dreidimensionalen Grundwassersystem unter Anwendung des FE - Programms GW3, Version 2.5, GGU-Software, durchgeführt.

Die Berechnungen beruhen hierbei auf dem Darcy'schen Gesetz, der Kontinuitätsgleichung und der Potentialtheorie. Unter Angabe von Randbedingungen wie Standrohrspiegelhöhen (Potentialen) und Quellen (positiv = Einleitung bzw. negativ = Entnahme) an maßgebenden Knoten werden die übrigen Standrohrhöhen elementweise linear berechnet. Aus dieser linearen Annäherung der Standrohrhöhen ergibt sich eine elementweise konstante Annäherung der Strömungsgeschwindigkeiten.

4.2 Berücksichtigung der Tide und vorzuhaltende Wasserstände in den Baugruben

Bei der stationären Grundwassermodellierung wird der Einfluss der Tide auf die Grundwasserstände innerhalb des Modellgebietes vereinfacht mit Hilfe von konstanten Standrohrspiegelhöhen (Potentialen) definiert. Nach den vorliegenden Pegelmessungen (Unterlage 2.3) resultieren aus der Tide die in nachfolgender Tab. 1 zusammengestellten Druckwasserstände im Grundwasserleiter unter dem Start- bzw. Zielschacht. Ferner sind in Tab. 1 die in den Baugruben während des Unterwasseraushubs bis zur Fertigstellung und Inbetriebnahme der Unterwasserbetonsohlen vorzuhaltenden Betriebswasserstände zur Sicherung des erforderlichen Wasserdruckgefälles angegeben.



	Startschacht (Elbnordseite)		Zielschacht (Elbsüdseite)	
	GW-Druckniveau unter der Baugrubensohle rd. [mNN]	Festgelegter Betriebs- wasserstand in den Baugruben rd. [mNN]	GW-Druckniveau unter der Baugrubensohle rd. [mNN]	Festgelegter Betriebs- wasserstand in den Baugruben rd. [mNN]
Wasserstand Elbe [mNN]				
Ungünstiges normales Tidehochwasser (ThW): rd. NN +2,0 m	+1,1	+2,0	+0,5	+1,5
Ungünstiges normales Tideniedrigwasser (TnW): rd. NN -2,0 m	-1,2	+2,0	-0,5	+1,5
Bauzeitlich angesetztes Extremhochwasser: rd. NN +6,0 m	+3,5	+3,5 (OK Umwallung)	+1,5	+1,5

Tab. 1: Wasserdruckniveau unter der Baugrubensohle (Start- / Zielschacht) in Abhängigkeit des Elbwasserstandes (nach Unterlage 2.3) und festgelegte Betriebswasserstände innerhalb der Baugruben

4.3 Modellbildung

Symmetrienausnutzung: Der Untergrundausschnitt wird für die Grundwassermodellierung unter Ausnutzung der Symmetrie modelliert, wobei die Symmetrieachse mittig innerhalb der Baugrube des Start- bzw. Zielschachtes und des Troges entlang der Baugrubenachse verläuft (s. Anlagen 012605/19.1 und 21.1).

Baugrund: Die Baugrundverhältnisse werden gemäß den im Bereich der Baugruben ausgeführten Aufschlüssen (s. a. Unterlage 2.4) schematisiert berücksichtigt. Die schematisierte Baugrundsichtung ist den Tab. 2 und 3 sowie den Darstellungen in den Anlagen 012605/19.2 und 21.2 zu entnehmen.

Boden- und Materialkennwerte: Das hydraulische Verhalten der bindigen und nicht-bindigen Böden sowie der Baugrubenschlitzwand des Start- bzw. Zielschachtes wird durch die effektive Porosität n_{eff} und die Wasserdurchlässigkeiten k_x , k_y und k_z beschrieben. Die effektive Porosität n_{eff} beschreibt den Porenanteil eines Gesteins- oder Bodenvolumens, der einen hydraulischen Transport von Fluiden im Untergrund zulässt.



Für den schematisierten Baugrundaufbau wurden die in den nachfolgenden Tab. 2 und 3 jeweils für die Nord- und Südseite der Elbe zusammengestellten Kennwerte verwendet.

Elbnordseite	Tiefenbereich	$k_x = k_y = k_z$ [m/s]	n_{eff} [-]
Klei und Torf	von NN $\pm 0,0$ m bis NN -15,0 m	$1 \cdot 10^{-8}$	0,05
Sand	von NN -15,0 m bis NN -30,0 m	$1 \cdot 10^{-4}$	0,15
kiesiger Sand und Kies	von NN -30,0 m bis NN -36,0 m	$1 \cdot 10^{-3}$	0,20
Sand	von NN -36,0 m bis NN -40,0 m	$1 \cdot 10^{-4}$	0,15

Tab. 2: Elbnordseite - Kennwerte der Baugrundsichten

Elbsüdseite	Tiefenbereich	$k_x = k_y = k_z$ [m/s]	n_{eff} [-]
Klei und Torf	von NN +2,0 m bis NN -13,0 m	$1 \cdot 10^{-8}$	0,05
Sand	von NN -13,0 m bis NN -23,0 m	$1 \cdot 10^{-4}$	0,15
kiesiger Sand und Kies	von NN -23,0 m bis NN -26,0 m	$1 \cdot 10^{-3}$	0,20
Sand	von NN -26,0 m bis NN -37,0 m	$1 \cdot 10^{-4}$	0,15
Feinsand, schluffig	von NN -37,0 m bis NN -50,0 m	$1 \cdot 10^{-5}$	0,10

Tab. 3: Elbsüdseite - Kennwerte der Baugrundsichten

Die sehr gering wasserdurchlässige Baugrubenschlitzwand mit einer angenommenen Absatztiefe bei NN -32 m wurde in der Grundwassermodellierung mit einer Wasserdurchlässigkeit von $k_{x/y/z} = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s und einer effektive Porosität von $n_{\text{eff}} = 0,05$ berücksichtigt. Der durch die Baugrubenwand umschlossene Modellbereich oberhalb der jeweilig



vorgesehenen Baugrubensohle (ca. NN -20,0 m) wird vereinfachend mit den Kennwerten $k_{x/y/z} = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $n_{\text{eff}} = 0,20$ beschrieben.

Randbedingungen: Die Symmetrieachse und die Achse der Elbfahrinne (Nordseite der Elbe) werden als wasserundurchlässige Modellränder vorgegeben. Es erfolgt somit keine Durchströmung durch diese Ränder. Die übrigen geometrischen Modellränder des dreidimensionalen Modells sind über die Festlegung von Standrohrspiegelhöhen (Potentialen) zur Beschreibung des entsprechend der Tide vorherrschenden Grundwasserdruckhöhen als wasserdurchlässige Modellränder vorgegeben.

Ferner werden im Modell die Förderbrunnen in Form von negativ definierten Quellen berücksichtigt. Die Wasserentnahme aus dem Grundwassermodell erfolgt hierbei jeweils in den gut durchlässigen Sanden in einem Tiefenniveau unterhalb der Absetztiefe der Baugrubenschlitzwand. Die Lage der Förderbrunnen kann den Lageplänen in den Anlagen 015605/18 und 20 entnommen werden.

Netzgenerierung: Die Qualität der Berechnungsergebnisse steigt im Allgemeinen mit feinerer Netzeinteilung. Die Netzeinteilung erfolgt im verwendeten FE - Programm GW3 mit Dreieckselementen bzw. Dreiecksprismen.

Für die Bereiche der Förderbrunnen und der Baugrubensohle des Start- bzw. Zielschachtes wurde ein sehr enges Elementnetz gewählt, da dort die größten hydraulischen Veränderungen auftreten.

Die Baugrubenwand hat im Verhältnis zu den Modellausmaßen relativ schlanke Abmessungen, was zur Vergleichmäßigung der Form der Dreieckselemente ebenso eine Verdichtung des Elementnetzes erforderlich gemacht hat.



Ferner wurden auch die an die Baugrubenwand angrenzenden Bereiche feiner vernetzt, um die über die Tiefe teilweise sehr starken Unterschiede zwischen den Wasserdurchlässigkeiten des Bodens und der Baugrubenwand zu berücksichtigen und die numerische Lösung der Berechnungsergebnisse in diesen Bereichen zu verbessern.

Das FE-Netz weist bei den gewählten Modellausschnitten für die Nordseite der Elbe (Abmessungen $a \times b \times t = 1250 \text{ m} \times 3000 \text{ m} \times 40 \text{ m}$, Anlagen 012605/18 und 19.1) 2850 Dreiecksprismen und 1890 Knoten bzw. für die Elbsüdseite (Abmessungen $a \times b \times t = 1250 \text{ m} \times 4000 \text{ m} \times 52 \text{ m}$, Anlagen 012605/20 und 21.1) 3872 Dreiecksprismen und 2412 Knoten auf.

4.4 Berechnungsvorgang

4.4.1 Nordseite der Elbe (Startschacht)

Tidehoch- und Tideniedrigwasser:

Es wurden jeweils für die beiden Zustände Tidehoch- und Tideniedrigwasser die Versickerungsraten durch die Sohle der Baugrube für den Startschacht resultierend aus dem dort herrschenden Grundwasserdruckniveau und dem festgelegten Betriebswasserstand innerhalb Baugrube ermittelt.

Ferner wurden jeweils für die beiden Zustände Tidehoch- und Tideniedrigwasser die Versickerungsraten durch die Sohle der Baugrube für den Startschacht resultierend aus einer Reduzierung des dort herrschenden Grundwasserdruckniveaus infolge der Grundwasserförderung zum Ausgleich des Bodenaushubvolumens und zur Bereitstellung von Brauchwasser z. B. für die Baustelleneinrichtung, Separationsanlage o. ä. ($Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$) ermittelt. Hierbei wurden ausschließlich die Brunnen im Trogbereich verwendet, um das Grundwasserdruckniveau in der Baugrubensohle des Startschachtes so wenig wie möglich zu reduzieren und die daraus resultierende Erhöhung der Versickerungsrate zu minimieren.

Zur Abschätzung der Auswirkungen der notwendigen Grundwasserförderung während des Aushubs auf die rd. 500 m entfernte Bebauung (maßgebender Zustand: Tideniedrigwasser) wurde die resultierende Grundwasserabsenkung in diesem Bereich ermittelt.

**Extremhochwasser:**

Für den Zustand eines bauzeitlich mit NN +6 m angenommenen Sturmfluthochwassers wurde die Grundwasserförderrate ermittelt, die erforderlich ist, um das Wasserdruckniveau im Grundwasserleiter unter der Startschachtbaugrube von rd. NN +3,5 m um einen Meter auf NN +2,5 m zu reduzieren.

Für die bei Sturmflutereignissen erforderliche Flutung der Baugruben bis zur OK Baugrubenumschließung im Niveau NN +3,5 m wurde ein Brunnenbetrieb mit allen Förderbrunnen berücksichtigt ($Q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$). Ferner wurde die Versickerungsrate durch die Sohle der Startschachtbaugrube resultierend aus dem dort herrschenden abgesenkten Grundwasserdruckniveau und dem Wasserstand in der gefluteten Baugrube ermittelt.

4.4.2 Südseite der Elbe (Zielschacht)

Zur Abschätzung der Auswirkungen einer Grundwasserförderrate von $Q = 250 \text{ m}^3/\text{h}$ zum Ausgleich des Bodenaushubvolumens während des Unterwasseraushubs auf die in einem Abstand von mindestens rd. 150 m vorhandene Bebauung wurde die resultierende Grundwasserabsenkung in diesem Bereich ermittelt.

5. Berechnungsergebnisse der Grundwassermodellierung**5.1 Nordseite der Elbe (Startschacht)**

Die Ergebnisse der Grundwassermodellierung für die Nordseite der Elbe sind in nachfolgender Tab. 4 zusammengestellt.



Lastfall		Wasserspiegel Startbaugrube	Brunnenbetrieb	Förderraten (m ³ /h)
I	Ausgleich der Versickerung in der Startbaugrube	NN +2,0 m	Thw: 1 Brunnen (Trognordseite)	ca. 20 - 50
			Tnw: 2 - 3 Brunnen (Trognordseite)	ca. 75 - 125
II	Einschließlich der GW- Förderung zum Aus- gleich des Bodenaus- hubvolumens und zur Bereitstellung von Brauchwasser für die Baustelleneinrichtung	NN +2,0 m	Thw: 7 - 8 Brunnen (davon 6 im Trogbereich)	ca. 350 - 400
			Tnw: 8 - 9 Brunnen (davon 6 im Trogbereich)	ca. 400 - 450
III	Extremhochwasser Elbe: NN +6,0 m	NN +3,5 m	Alle Brunnen (Trogbereich + Start- schacht) bis Erreichen NN +3,5 m	ca. 600
			Danach Reduzierung der Förderrate im Trogbereich	ca. 350

Tab. 4: Rechnerisch erforderliche Förderraten der Brunnenanlage im Bereich der Baugruben auf der Nordseite der Elbe

Die in der Grundwassermodellierung für die notwendigen Grundwasserförderraten (s. Tab. 4) ermittelten Wasserdruckhöhen im Grundwasserleiter innerhalb des Modellgebietes sind für die Nordseite in Abhängigkeit des Tidehochwassers, Tideniedrigwassers und Extremhochwassers in den Anlagen 012605/19.3 bis 19.8 in Form von Isolinien dargestellt.

Hierbei wird zum einen die notwendige Grundwasserförderrate zum Ausgleich der Versickerungsmenge durch die Baugrubensohle des Startschachtes (Anlagen 012605/19.3 und 19.4) und zum anderen die insgesamt notwendige Grundwasserförderung zum Ausgleich des Bodenaushubvolumens und der Versickerungsmenge während des Aushubs (Anlagen 012605/19.5 und 19.6) berücksichtigt.

Ferner ist in Anlage 012605/19.6 der Bereich der nächstgelegenen Bebauung dargestellt, um die Auswirkungen der aus der Grundwasserförderung resultierenden Absenkung des Grundwasserdruckspiegels in diesem Bereich abzuschätzen (maßgebender Zustand: Tideniedrigwasser). Dazu sind in Anlage 012605/19.7 zum Vergleich die rechnerischen



Wasserdruckhöhen innerhalb des Modellgebietes dargestellt, wie sie bei ungünstigem Tideniedrigwasser (NN -2 m) zu erwarten sind.

Danach führt die Grundwasserförderung während des Aushubs im Bereich der rd. 500 m entfernten Nachbarbebauung selbst bei einem ungünstigen Tideniedrigwasser von NN -2 m zu einer nur geringen Absenkung des Wasserdruckniveaus von $\Delta h_w \leq 0,3$ m.

Die Betrachtung des Extremhochwassers mit einem Elbwasserstand von NN +6 m ergab eine erforderliche Förderrate von etwa $Q = 350$ m³/h zur Reduzierung des Grundwasserdruckniveaus um rd. 1 m von NN +3,5 m auf NN +2,5 m.

Die aus dem zum Fluten der Baugruben notwendigen Vollbetrieb der Förderbrunnen ($Q = 600$ m³/h) resultierenden Wasserdruckhöhen im Grundwasserleiter innerhalb des Modellgebietes sind in der Anlage 012605/19.8 in Form von Isolinien dargestellt.

5.2 Südseite der Elbe (Zielschacht)

Nach den Ergebnissen der Grundwassermodellierung für die Südseite der Elbe ist durch die Grundwasserentnahme mit Förderbrunnen mit einer deutlichen Absenkung des Wasserdruckniveaus im Bereich der nächstgelegenen Bebauung von max. rd. $\Delta h_w = 0,9$ m zu rechnen (s. Anlage 012605/21.3).

Da hier der Tideneinfluss der Elbwasserstände nur noch gering ausgeprägt ist, können bei einer Grundwasserabsenkung um das v. g. Maß Setzungsschäden an der Bebauung nicht ausgeschlossen werden. Aus geotechnischer Sicht ist eine Grundwasserförderung auf der Elbsüdseite daher nicht vertretbar.

6. Zusammenfassung

Auftragsgemäß erfolgt mit diesem Bericht die Dokumentation der numerischen Grundwassermodellierung zum Grundwassermanagement der offenen Baugruben auf der Nord- und Südseite der Elbe unter Berücksichtigung des Tideneinflusses der Elbe.



Die Zusammenstellung der berücksichtigten Tidenzustände, die Beschreibung zur FE-Modellbildung sowie Erläuterungen zum Berechnungsvorgang sind Abschn. 4 zu entnehmen.

Die Berechnungsergebnisse sind in Abschn. 5 angegeben.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Linke
Dipl.-Geol. Bienert
Dr.-Ing. Weihrauch

Grundbauingenieure
Steinfeld und Partner GbR
i. A.

St. Weihrauch *Bienert*