



Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Geologische Übersicht.....	1
2. Hydrogeologische Situation.....	3
2.1 Hydrogeologische Übersicht.....	3
2.2 Elbwasserstände	5
2.3 Stauwasserstände/Grabenwasserstände	5
2.4 Grundwasserstände.....	5
2.5 Grundwasserfließrichtung, Grundwasserdruckgefälle, Grundwasserflurabstand	6
2.6 Hydraulische Leitfähigkeit der Böden	8
3. Grundwasserbeschaffenheit und wasserwirtschaftliche Nutzungen	8
4. Beurteilung der Auswirkungen des geplanten Elbtunnels auf die Grundwasserhältnisse	9
4.1 Position des Tunnelbauwerkes.....	9
4.2 Auswirkung der Bautätigkeiten zur Herstellung des Elbtunnels (Tunnelröhren und Trogstrecken) auf die hydrogeologischen Verhältnisse	10
4.3 Auswirkungen des Bauvorhabens im Endzustand auf die hydrogeologischen Verhältnisse.....	10
5. Wassermanagement in den Unterwasserbaugruben und Einfluss der Baugrubenherstellung auf den Grundwasserleiter und die Entwässerungsgräben	13
6. Überlagerung von Grundwasser- und Grabenwasserentnahmen	17
7. Bentonitsuspension für die Herstellung von Schlitzwänden	17
8. Bentonit-Zementplomben der geotextilummantelten Sandsäulen	18
9. Herstellung von Auflastkörpern und Geländeaufhöhungen	18
10. Auflastbedingte Austritte von Porenwasser.....	20
11. Abschätzung der anfallenden Qualmwassermengen.....	20
12. Möglichkeiten der Mengenerfassung von Qualmwasseraustritten	21
13. Auswirkungen des Eisengehaltes des Qualmwassers auf die Umgebung.....	22
14. Grabenaushub im Zuge der Verlegung der Landwegwettern und der Kleinen Wettern.....	22



Anlagenverzeichnis

Anlage 012605/1.2.2	Lageplan der Baugrundaufschlüsse und Grundwassermessstellen
Anlage 012605/15 e	Grundwasserdruckhöhen im Tunnellängsschnitt
Anlage 015254/2	Hydrogeologischer Längsschnitt der Tunneltrasse
Anlage 021661/3a und 4a	Schematische geologische Längsschnitte Ostseite
Anlage 021661/5	Ergebnisse von aktuellen Grundwasseranalysen



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

ERDBAULABORATORIUM HAMBURG

GRÜNDUNGEN · BODENMECHANIK · WASSER-
SENKUNGEN · DAMM- UND TALSPERRENBAU
TUNNELBAU · HAFENBAU · DEPONIETECHNIK

DNV · GL ZERTIFIZIERTES MANAGEMENT-
SYSTEM MIT DEM STANDARD SCC** : 2011

REIMERSBRÜCKE 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)

021661

16. Dezember 2016
- Bt -

BAB A 20, Nord-West-Umfahrung Hamburg
Abschnitt Landesgrenze Niedersachsen/Schleswig-Holstein bis B 431
hier: Geotechnische und hydrogeologische Angaben für den Fachbeitrag
zur Wasserrahmenrichtlinie

Anlagen: siehe Anlagenverzeichnis

Stellungnahme

Nach dem Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes Leipzig vom 28.04.2016 muss für den Neubau der BAB A 20, Abschnitt Landesgrenze Niedersachsen/Schleswig-Holstein bis B 431, der Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie neu ausgelegt werden. Hierzu werden im Folgenden die geotechnischen und hydrogeologischen Themenbereiche beschrieben.

1. Geologische Übersicht

Der Elbtunnel besteht aus zwei parallel verlaufenden Tunnelröhren mit jeweils rd. 14 m Außendurchmesser sowie nördlich und südlich daran angeschlossenen Trogstrecken.

Die Tunneltrasse verläuft vollständig im Bereich der tiefliegenden und z. T. gepolderten Elbmarsch. Die Polderflächen in Drochtersen und Groß Kollmar werden durch Entwässerungsgräben und Schöpfwerke entwässert.



Der Baugrund besteht vom Hangenden zum Liegenden aus

- holozänen, gering wasserdurchlässigen Weichschichten (Klei, Torf), z. T. mit wasserführenden Sandeinlagerungen
- holozänen und jungpleistozänen wasserführenden Sanden mit Kieseinlagerungen (Hauptgrundwasserleiter, Elbeurstromtal)
- mittelpleistozänen Rinnenfüllungen aus grundwasserführendem Feinsand und bereichsweise Geschiebemergel, Schluff und Ton
- jungtertiärem (wasserstauendem) Glimmerschluff und Glimmerton.

Jungtertiäre Meeresablagerungen (miozäner Glimmerschluff und Glimmerton) stehen in Tiefenlagen ab ca. NN -30 m und tiefer unterhalb des Elbtales an. Sie wurden bis in Tiefen von NN -80 m und tiefer erbohrt.

Vermutlich während der Elstervereisung im Mittelpleistozän wurden diese jungtertiären Ablagerungen oberflächennah abgetragen und bereichsweise rinnenartig erodiert. Die Rinnen, deren Unterkanten in unterschiedliche Tiefen zwischen ca. NN -30 m und mehr als NN -70 m hinabreichen, wurden später vermutlich mit elstereiszeitlichen Ablagerungen aus glimmerhaltigen Feinsanden, Schluff und Ton (aus jungtertiärem Ausgangsmaterial) sowie Geschiebemergel verfüllt.

Während der Saalevereisung im jüngeren Pleistozän wurde das Untersuchungsgebiet von den Gletschern der Inlandvereisung überfahren und dabei Geschiebeböden und Schmelzwassersande abgelagert. Diese Ablagerungen, die an den Geesträndern im Norden und Süden des Elbtales anstehen, wurden jedoch während der Weichseiszeit im jüngsten Pleistozän im Rahmen der Entstehung des Elbeurstromtales (welches im Untersuchungsgebiet mehr als 20 km breit ist) vermutlich vollständig abgetragen.

Während der Weichselzeit wurde das Elbeurstromtal mit Fluss- und Schmelzwassersanden und örtlichen Kieslagen sowie basalen Steinsohlen aufgefüllt.

Im Holozän, nach dem Ende der Vereisung und den damit verbundenen klimatischen Veränderungen, dem Meeresspiegelanstieg und dem Anstieg des Grundwasserstandes kam es im



Elbtal zur Bildung von organischen Weichschichten (Torf und Klei) im Wechsel mit Fluss- und Wattsanden.

2. Hydrogeologische Situation

2.1 Hydrogeologische Übersicht

Im Bereich des geplanten Elbtunnels sind zwei großflächige Grundwasserkörper ausgebildet:

- El 10: Stör – Marschen und Niederungen sowie
- N8: Südholstein.

Der Grundwasserkörper N8: Südholstein beginnt in ca. 130 m unter Gelände und wird durch eine ca. 100m dicke Schicht aus gering wasserdurchlässigem Glimmerton geschützt. Allein dieser tiefe Grundwasserkörper wird für die Trinkwassergewinnung genutzt. Er liegt deutlich außerhalb des Eingriffsbereichs.

Der obere Grundwasserkörper (El 10), der nicht zur Trinkwassergewinnung dient, ist im Mittel rd. 20 m mächtig und wird im Planungsraum von einer bis zu 12 bis 14 m dicken, gering wasserdurchlässigen Kleischicht (Grundwassergeringleiter) abgedeckt.

Der obere Grundwasserkörper El 10 wird gebildet aus holozänen Sanden (Watt- und Flusssande) sowie pleistozänen Sanden (Flusssande, Schmelzwassersande, glimmerhaltige Feinsande) und pleistozänen Kiesen und Steinsohlen.

Zu den Grundwassergeringleitern gehören die holozänen organischen Weichschichten (Klei, Torf), die pleistozänen bindigen Ablagerungen (Geschiebemergel, Schluff und Ton) und der miozäne Glimmerschluff und Glimmerton. Angaben zu deren ungefähren Schichtmächtigkeiten sind der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.



Tabelle 1: Hydrogeologische Schichtenfolge im Bereich der geplanten Tunneltrasse mit ungefähren Schichtmächtigkeiten

Stratigraphische Gliederung	Grundwasserleiter ($k \geq 10^{-6}$ m/s)	Grundwassergeringleiter ($k < 10^{-6}$ m/s)
Holozän (qh)	Wattsande und Flusssande (0 - 20 m)	Klei und Torf (0 - 20 m)
Pleistozän (qp) weichselzeitlich	Flusssande, Schmelzwassersande (kiesige Sande und Kiese) (8 m - 26 m)	-
elsterzeitlich (vermutlich)	Feinsande, örtlich (0 - \geq 21 m)	Geschiebemergel, örtlich (0 - \geq 20 m) Schluff und Ton, örtlich (0 - 16 m)
Tertiär Miozän (tmi)	-	Glimmerschluff und Glimmerton ($>$ 100 m, davon bis 35 m erbohrt)

Die Abfolge und Mächtigkeit der einzelnen v. g. Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter sind im hydrogeologischen Längsschnitt zum Elbtunnel in der Anlage 015254/2 dargestellt. Der Schnitt veranschaulicht u. a. die wechselnden Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder, die örtliche Verzahnung einzelner wasserleitender und gering wasserleitender Schichtglieder (z. B. der Wattsande mit dem Klei) und die unregelmäßige, durch wasserführende rinnenartige Vertiefungen geprägte Oberfläche des miozänen Wasserstauers (Glimmerschluff/-ton).

Nach den Ergebnissen der ausgeführten Aufschlussbohrungen bestehen im Bereich der geplanten Tunneltrasse zwischen den unteren holozänen Watt- und Flusssanden, den darunter anstehenden jungpleistozänen Sanden, kiesigen Sanden und Kiesen sowie den darunter folgenden mittelpleistozänen Feinsanden flächenhafte hydraulische Verbindungen, so dass diese Schichtenabfolge als ein zusammenhängender Hauptgrundwasserleiter (El 10 auf schleswig-holsteiner Seite und NI 11_5 auf niedersächsischer Seite) betrachtet werden kann.

Dieser Hauptgrundwasserleiter steht zumindest im Bereich der ausgebaggerten Elbfahr-
rinne in flächenhaftem hydraulischem Kontakt zur Elbe.



2.2 Elbwasserstände

Der Wasserstand der Elbe und der mit ihr offen verbundenen Nebenflüsse ist tideabhängig. Am Pegel Glückstadt, der rd. 5 km nordwestlich stromabwärts der geplanten Tunneltrasse liegt, wurden nach Angabe des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Hamburg für die Elbe folgende langfristige Normal- und Extremwasserstände gemessen.

Höchstes Tidehochwasser (HHThw)	NN +5,83 m (03.01.1976)
Mittleres Tidehochwasser (MThw)	NN +1,56 m ^{)*}
Mittleres Tideniedrigwasser (MTnw)	NN -1,28 m ^{)*}
Niedrigstes Tideniedrigwasser (NNTnw)	NN -3,72 m (25.01.1937)

^{)*} langfristiges Mittel der Jahre 1991 - 2000

2.3 Stauwasserstände/Grabenwasserstände

Die in der Elbmarsch flächenhaft bis zur Geländeoberfläche anstehenden holozänen Weichschichten aus Klei und Torf sind gering wasserdurchlässig. Sie behindern die Versickerung von Niederschlägen. Lang anhaltende Niederschläge können daher zu flächenhaften Vernässungen (Stauwasser) auf der Geländeoberfläche führen.

Die Elbmarsch jenseits der Deichlinien wird durch zahlreiche Neben- und Hauptgräben überwiegend mit Anschluss an Schöpfwerke entwässert.

Auf der schleswig-holsteinischen Seite des Untersuchungsgebietes münden die Nebengräben in die Langenhalsener Wettern, dessen Wasser durch das Schöpfwerk Bielenberg (ca. 1,5 km stromabwärts der geplanten Tunneltrasse) in die Elbe gepumpt wird. Nach Angabe des Deich- und Hauptsielverbandes Kremper Marsch wird der Regelwasserstand der Langenhalsener Wettern im Höhenbereich zwischen rd. NN -2,3 m und rd. NN -1,4 m gehalten. Er liegt damit bis rd. 1 m tiefer als der mittlere Tideniedrigwasserstand der Elbe.

2.4 Grundwasserstände

In den wasserleitfähigen Sanden unterhalb der gering wasserleitfähigen Deckschicht aus holozänem Klei und Torf steht flächenhaft Grundwasser an. Aufgrund der hydraulischen Verbindung des Hauptgrundwasserleiters zur Elbe sind tideabhängige Grundwasserstandsschwankungen vorhanden.



Weil die Unterkante der Grundwasserdeckschicht aus Klei und Torf auf der schleswig-holsteinischen Seite überwiegend bis mindestens zur Höhenkote NN -7 m bis NN -12 m hinabreicht, steht das Grundwasser überwiegend gespannt an. In Abhängigkeit von der Höhenlage der Geländeoberfläche und dem Tideeinfluss auf die Grundwasserdruckhöhe liegen örtlich bzw. zeitweise artesisch gespannte Grundwasserverhältnisse vor.

Zur Ermittlung der Grundwasserstände im Bereich der geplanten Tunneltrasse wurden im Rahmen der Baugrunderkundung auf schleswig-holsteinischer Seite insgesamt 6 Grundwassermessstellen eingerichtet (GWM 1 bis GWM 3 und GWM 11 bis GWM 13), in die Datenlogger eingebaut wurden, die den Verlauf der Grundwasserstände bzw. -druckhöhen seit 2005 kontinuierlich aufzeichnen.

Die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen zeichnen phasenverschoben und mit gedämpfter Amplitude den Tideneinfluss der Elbe nach. Mit zunehmender Entfernung von der Elbe nimmt der Tideneinfluss erwartungsgemäß stark ab. So wurde während des Messzeitraumes 09/2005 bis 11/2006 z. B. auf der schleswig-holsteinischen Seite bei der GWM 1, die rd. 150 m vom Elbufer entfernt liegt, eine mittlere tägliche Grundwasserdruckhöenschwankung von rd. $\Delta h = 1,4$ m und bei der GWM 3, die rd. 1.350 m zum Elbufer entfernt liegt, eine mittlere tägliche Grundwasserdruckhöenschwankung von nur noch rd. $\Delta h = 0,1$ m ermittelt. Die jeweilige Tidendämpfung der Grundwasserdruckhöhen in den Grundwassermeßstellen geht aus dem Diagramm in der Anlage 012605/15e hervor.

2.5 Grundwasserfließrichtung, Grundwasserdruckgefälle, Grundwasserflurabstand

Zur Ermittlung der generellen Grundwasserfließrichtung im Untersuchungsgebiet wurden die Grundwasserhöchststände von zwei Stichtagsmessungen, vom 10./11.04.2006 (bei normalen Elbwasserstandsverhältnissen) und vom 01.11.2006 (Sturmflutverhältnisse), den Grundwassermessstellen des Untersuchungsgebietes zugeordnet, in den Lageplan eingetragen und daraus Grundwassergleichenpläne konstruiert.

Die Grundwasserstandsmessergebnisse bzw. die Grundwassergleichenpläne weisen bei Elbehochwasser ein deutliches Grundwasserdruckgefälle von der Elbe weg in Richtung zum Binnenland auf. Die Grundwasserdruckerhöhung wandert bei Flut mit dem Elbeflutstrom stromaufwärts.



Bei Elbeniedrigwasser entsteht ein umgekehrtes Grundwasserdruckgefälle vom Binnenland zur Elbe hin. Die Verringerung des Grundwasserdruckes wandert bei Ebbe mit dem Elbeebbstrom stromabwärts.

Die Höhe des Grundwasserdruckgefälles quer zur Elbe lässt sich generell aus den Abständen der Grundwassergleichen ermitteln. Danach ergibt sich beispielsweise für die Sturmflutsituation vom 01.11.2006 auf der schleswig-holsteinischen Seite ein Grundwasserdruckgefälle zwischen den elbnahen Messstationen GWM 1 und GWM 2 von rd. $i = 0,0016$, das sich landeinwärts abschwächt.

Bei Normaltide entstehen demgegenüber deutlich geringere Grundwasserdruckgefälle.

Bei höheren Sturmfluten als der vom 01.11.2006 sind entsprechend höhere Grundwasserdruckhöhen und Grundwasserdruckgefälle zu erwarten.

Die Grundwasserströmungsrichtung und das Grundwassergefälle im Elbtal-Hauptgrundwasserleiter sind aufgrund der Tideabhängigkeit dynamisch. Die Grundwasserströmung ist bei Ebbe elbabwärts und bei Flut elbaufwärts gerichtet. Das Grundwassergefälle ist bei ab- und auflaufendem Elbwasser größer als zum Zeitpunkt der Gezeitenwenden (Kenterpunkt). Im Zeitraum der Gezeitenwenden (höchste und niedrigste Elbe-Tidewasserstände) schwächt sich das Elbe-Wasserstandsgefälle sehr stark ab und geht dabei gegen Null.

Generell ist davon auszugehen, dass das Grundwasserdruckgefälle parallel zur Fließrichtung der Elbe kleiner ist als das tidebedingte Druckgefälle zwischen Elbfahrrinne und Landbereichen.

Die Grundwasserflurabstände (Abstand zwischen der Grundwasseroberfläche bzw. der Grundwasserdruckhöhe und der GOK) sind entsprechend den Grundwasserdruckhöhen tidezeitlichen Schwankungen unterworfen. Sie variieren auch in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Höhenlagen der Geländeoberfläche zwischen wenigen Zentimetern und wenigen Metern.



In der Elbmarsch von Groß-Kollmar treten aufgrund der geringen Höhenlage des Geländes und des starken Tideeinflusses nur bei Ebbe Flurabstände von wenigen Dezimetern auf. Bei Flut herrschen hier artesisch gespannte Grundwasserverhältnisse mit negativen Grundwasserflurabständen.

2.6 Hydraulische Leitfähigkeit der Böden

Die hydraulische Leitfähigkeit (Wasserdurchlässigkeit) der vom geplanten Elbtunnel durchörterten Böden hängt vor allem von deren Korngrößenzusammensetzung, insbesondere der wirksamen Korngröße (d_{10}) und dem mengenmäßigen Anteil der Schluff- und Tonfraktionen ab. Im Rahmen der ausgeführten Aufschlussbohrungen wurden u. a. zahlreiche Bodenproben aus den grundwasserführenden Schichten entnommen und daran die Korngrößenzusammensetzung ermittelt.

Die Wasserdurchlässigkeit (k) der Sande und Kiese wurde anhand der Ergebnisse der ermittelten Korngrößenverteilungen abgeschätzt und hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit ausgewertet.

3. Grundwasserbeschaffenheit und wasserwirtschaftliche Nutzungen

Im Rahmen der Baugrunderkundung für die geplante Elbquerung waren insgesamt 18 Grundwasserproben entnommen und auf Betonaggressivität nach DIN 4030, Stahlaggressivität nach DIN 50929 sowie bereichsweise auf ergänzende Parameter untersucht worden. Zur Aktualisierung und Ergänzung der Daten zur Grundwasserbeschaffenheit wurden aus den Grundwassermeßstellen GWM 1, GWM 2, GWM 11, GWM 12 und GWM 13 am 15.08.2016 insgesamt fünf weitere Wasserproben entnommen und einer ausführlichen Analyse auf die chemischen Inhaltsstoffe unterzogen. Die hydrochemischen Untersuchungsergebnisse sind in der Anlage 021661/5 zusammengestellt.

Gemäß den Untersuchungsergebnissen werden im Bereich der Baugruben für den Startschacht und die Trogstrecke u. a. die Einleitrichtwerte für Ammonium und den chemischen Sauerstoffbedarf CSB sowie örtlich für Eisen überschritten, so dass das Wasser vor Einleitung in die Vorflut aufbereitet werden muss.



Die für die Einstufung der Grundwasserqualität geltenden Schwellenwerte nach Anlage 2 der Grundwasserverordnung werden nur von zwei Parametern überschritten. Für den Parameter Ammonium wurde mit einer Konzentration von bis zu 24 mg/l der Schwellenwert der GVO von 0,5 mg/l und für den Parameter Chlorid mit Konzentrationen zwischen 279 mg/ und 735 mg/l der Schwellenwert der GVO von 250 mg/l überschritten. Da diese Parameter aber vom zuständigen LLUR als geogen bedingt eingestuft werden, beeinflussen sie die Einstufung der Grundwasserqualität nicht. Damit ist die Qualität des untersuchten Grundwassers nach Anlage 2 der Grundwasserverordnung als gut einzustufen.

Im Trassenbereich der geplanten Elbquerung sind keine öffentlichen, gewerblichen oder privaten Grundwassernutzungen (Förderbrunnen) bekannt.

4. Beurteilung der Auswirkungen des geplanten Elbtunnels auf die Grundwasserverhältnisse

4.1 Position des Tunnelbauwerkes

Die geplanten Tunnelröhren verlaufen gemäß dem hydrogeologischen Längsschnitt der Anlage 015254/2 zu einem großen Teil innerhalb des Hauptgrundwasserleiters. Die Tunnelsohlen werden dabei über weite Strecken an der Basis des Hauptgrundwasserleiters im Übergangsbereich zum gering wasserleitenden tertiären Glimmerschluff bzw. Glimmerton geführt bzw. binden in diesen ein.

Unterhalb der Elbfahrrinne werden die Tunnelröhren nahezu vollständig in den Glimmerschluff/-ton eingebettet. Die nördlichen Tunnelenden verlaufen auf ca. 400 m Streckenlänge sowohl durch grundwasserführende holozäne Sande als auch gering wasserleitfähige holozäne Weichschichten.

Die südliche Trogstrecke liegt nahezu vollständig in den holozänen Weichschichten. Die nördliche Trogstrecke liegt in holozänen Weichschichten sowie teilweise in holozänen Sanden.

Die Dammstrecken verlaufen oberhalb der holozänen Weichschichten auf Sanddämmen, die auf die holozänen Weichschichten aufgesetzt werden.



4.2 Auswirkung der Bautätigkeiten zur Herstellung des Elbtunnels (Tunnelröhren und Trogstrecken) auf die hydrogeologischen Verhältnisse

Das für die Auffahrung der Tunnelröhren geplante Bauverfahren, Schildvortrieb mit suspensionsgestützter Ortsbrust, ist Stand der Technik (z. B. bei der Herstellung der 4. Röhre des Elbtunnels in Hamburg). Der Tunnelvortrieb im Grundwasser wird dabei ohne Grundwasserhaltung ausgeführt. Der Grundwasserstand und die Grundwasserbeschaffenheit werden durch den Tunnelvortrieb und die dabei verwendeten mineralischen Stoffe (wie z. B. Bentonit für die Stützflüssigkeit und Zementmörtel für die Ringspaltverpressung) nicht verändert.

Die Baugruben für die Trogstrecken und die Start- und Zielschächte des Tunnelvortriebs werden im Schutz von seitlich wasserdichten Stahlbetonschlitzwänden grundwasser-schonend im Unterwasseraushubverfahren hergestellt und nach Erreichen der Endaushubtiefe mit einer gegen Auftrieb rückverankerten Unterwasserbetonsohle wasserdicht abgeschlossen. Auf der schleswig-holsteinischen Seite wird das Volumen des Baugrubenaus-hubes durch Grundwasser aus einer Brunnenanlage aushubbegleitend ersetzt. Die Brunnenanlage dient bei Sturmflutwasserständen der Elbe gleichzeitig als Sicherung gegen einen hydraulischen Bodenaufbruch der Aushubsohle. Nachteilige Auswirkungen auf die Gebäude der Umgebung oder auf die Grundwasserverhältnisse ergeben sich hierdurch nicht.

4.3 Auswirkungen des Bauvorhabens im Endzustand auf die hydrogeologischen Verhältnisse

Durch die Position der Tunnelröhren im Grundwasserleiter und durch die Ausbildung des wasserdichten Baugrubenverbaues für die Trogstrecken bis mehrere Meter tief in den Grundwasserleiter wird der Durchflussquerschnitt des Grundwasserleiters reduziert. Der Durchflussquerschnitt wird jedoch gemäß den Ergebnissen der hydrogeologischen Untersuchungen an keiner Stelle vollständig abgeschottet.

Im Bereich der Tunnelröhren verbleiben flächenhaft Unter- und Überströmungsmöglichkeiten. Im Bereich der Trogstrecken verbleiben flächenhaft Unterströmungs- und seitliche Umströmungsmöglichkeiten.



Bei verhinderten Um-, Über und Unterströmungsmöglichkeiten kann es generell zu Grundwasserstands-/ Grundwasserdruckhöhenveränderungen im Nahbereich des Bauwerkes kommen. Das Ausmaß dieser Grundwasserstands-/Grundwasserdruckhöhenveränderungen hängt im Wesentlichen von der Länge des Baukörpers, dem vorhandenen hydraulischen Gefälle und der Mächtigkeit des Grundwasserleiters ab.

Zur Abschätzung der theoretisch möglichen Grundwasserstands-/ Grundwasserdruckhöhenveränderungen wurden von uns Berechnungen gemäß den Ansätzen von SCHNEIDER (Die Bautechnik 11/1983, S. 391 ff) durchgeführt.

Dazu wird beispielhaft ein rd. 600 m langer Tunnelabschnitt aus dem Bereich der Stationen km 7+000 bis km 8+000 betrachtet (wo der Hauptgrundwasserleiter unterhalb der holozänen Weichschichten nur rd. 13 m bis 19 m mächtig ist) und zusätzlich ungünstig angenommen, dass in diesem Tunnelabschnitt überhaupt keine, sondern erst wieder seitlich davon Über- und Unterströmungsmöglichkeiten bestehen. Es werden ferner der ungünstigste Fall einer senkrecht zur Tunnelachse auf die Tunnelwand ausgerichteten Grundwasseranströmung und ein auf der sicheren Seite liegendes hohes Grundwasserdruckgefälle von $i = 0,001$ sowie ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters von $k = 4 \times 10^{-4}$ m/s angenommen.

Bei den v. g. ungünstigen Randbedingungen ergibt sich rechnerisch eine maximale Anhebung des Grundwasserdruckniveaus von rd. $\Delta h = 0,3$ m im mittleren Bereich des absperrenden Tunnelabschnittes. Auf der gegenüberliegenden Bauwerksseite ist mit einer etwa gleichgroßen theoretischen Absenkung (Sunk) des Grundwasserstandes (bzw. der Grundwasserdruckhöhe) zu rechnen. Mit zunehmender seitlicher Entfernung hiervon ergeben sich niedrigere Beträge der Grundwasserdruckerhöhung/-verminderung.

In den seitlich angrenzenden Bereichen mit vorhandenen Unter- und Überströmungsmöglichkeiten ist demgegenüber von vernachlässigbar kleinen Grundwasserstandsbeeinflussungen auszugehen.



Schädliche Auswirkungen an der Geländeoberfläche auf die dort örtlich im Nahbereich vorhandene Bebauung (z. B. Ziegelei) und die Vegetation sind durch die v. g. geringen und lokal begrenzten Grundwasserdruckveränderungen nicht zu erwarten. Zudem wird der betrachtete Grundwasserleiter nahezu flächenhaft von einer gering wasserdurchlässigen Deckschicht aus Klei und Torf überdeckt und enthält gespanntes Grundwasser. Grundwasserdruckveränderungen wirken sich daher im betrachteten Grundwasserleiter nicht als reale Schwankungen des Grundwasserspiegels, sondern nur als Wasserdruckschwankungen innerhalb des nach oben abgeschirmten Grundwasserleiters aus.

Die v. g. Betrachtungen und Berechnungen fußen auf ungünstigen Annahmen. Die Resultate liegen weiterhin auch aus den nachfolgenden Gründen auf der sicheren Seite.

Die Grundwasserströmungsrichtung, die Grundwasserdruckhöhen und das Grundwassergefälle sind im Elbtal-Hauptgrundwasserleiter aufgrund der Tideabhängigkeit nicht konstant. Die Grundwasserströmung ist im Einflussbereich der Tide bei Ebbe elbabwärts und bei Flut elbaufwärts gerichtet. Das Grundwassergefälle ist bei ab- und auflaufendem Elbwasser größer als zum Zeitpunkt der Gezeitenwenden (Kenterpunkt).

Im Zeitraum der Gezeitenwenden (höchste und niedrigste Elbe-Tidewasserstände) schwächt sich das Elbe-Wasserstandsgefälle sehr stark ab und geht dabei gegen Null. Der vom Wasserstandsgefälle abhängige mögliche Grundwasseraufstau bzw. die Grundwasserdruckerhöhung vor dem Elbtunnelbauwerk schwächt sich bei nachlassendem Wasserstandsgefälle daher ebenfalls ab und geht zum Zeitpunkt der Gezeitenwende gegen Null.

Darüber hinaus ist insbesondere auf der niedersächsischen Seite der Elbmarsch aufgrund der dort kontinuierlich erforderlichen Entwässerung über Gräben und Schöpfwerke und des hier nur sehr geringen Tideneinflusses landseits der Deichlinie kein klares Grundwassergefälle senkrecht zum Tunnelbauwerk vorhanden.

Für den tidenbeeinflussten Teil des Grundwasserleiters ist davon auszugehen, dass das Tunnelbauwerk überwiegend von einer schräg bis parallel zum Bauwerk ausgerichteten



Grundwasserströmung mit wiederkehrendem tideabhängigem Wechsel der Anströmungsrichtung und des Strömungsgefälles betroffen ist. Daraus resultieren nach unserer Einschätzung nur geringe Grundwasseraufstauhöhen in der Größenordnung von wenigen Zentimetern, die zudem nur lokal begrenzt auftreten können.

5. Wassermanagement in den Unterwasserbaugruben und Einfluss der Baugrubenherstellung auf den Grundwasserleiter und die Entwässerungsgräben

Auf der Elbnordseite sind bei der Planung und Ausführung der Baugruben für den Startschacht, den Tunnelabschnitt in offener Bauweise und die Trogstrecke 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 Sohlaufbrüchen im Klei mit einem Baugrubenwasserstand ausgeführt werden, der immer 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 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.

Daher muss vor Beginn der Baugrubenherstellung zunächst das gesamte Gelände um den Baugrubengrundriss herum um ca. 3,5 m aufgehört werden. Nach Herstellung der umlaufenden Stahlbetonschlitzwand von dieser erhöhten Arbeitsebene aus wird dann die Baugrube bis zu einem Niveau von rd. NN +2 m (bis rd. 2,5 m über Ursprungsgelände) mit Wasser aufgefüllt und anschließend mit dem Unterwasseraushub begonnen. Beim Bodenaushub muss zur Sicherstellung des Wasserüberdrucks in der Baugrube das Volumen des entnommenen Bodens mit Wasser wieder aufgefüllt werden.



Mit v. g. 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.

Durch Installation und Betrieb der Brunnenanlage wird das durch den Unterwasseraushub des Bodens aus den Schlitzwandbaugruben entfernte Volumen durch die aushubbegleitende Einleitung von Grundwasser ausgeglichen. Bei einer geschätzten Abbauleistung von rd. 3.000 m³ Boden pro Tag müssen aus den Förderbrunnen neben dem Startschacht damit ebenfalls rd. 3.000 m³ Wasser pro Tag gefördert werden.

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 herrschende Druckwasserspiegel von rd. NN +1 m. Der Wasserstand in den Baugruben im Niveau NN +2 m wurde zusammen mit dem deutlich über dem mittleren Hochwasserstand liegenden Tidehochwasser gewählt, um einen von der Jahreszeit möglichst unabhängigen Bauablauf zu gewährleisten. Der Wasserüberdruck in den Baugruben von mindestens 1 m gegenüber dem Druckniveau des Grundwasserleiters muss ständig gewährleistet sein.

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.

Wenn der Aushub in einer Tiefe von ca. 14 m unter GOK die Basis der Kleideckschicht durchstößt und das Baugrubenwasser mit dem Sand des Grundwasserleiters in hydraulischen Kontakt kommt, versickert ein Teil des Baugrubenwassers aufgrund des Wasserüberdrucks in der Baugrube in die Aushubsohle. Dieser Anteil muss zusätzlich aus den Brunnen gefördert und in die Baugrube eingespeist werden. Die Menge des versickernden Wassers ist abhängig von den Elbwasserständen. Je tiefer die Elbwasserstände, desto größer ist die Druckdifferenz zum Baugrubenwasserstand und damit die versickernde Menge.



Für einen selten auftretenden sehr niedrigen Elbwasserstand bei NN -2,0 m wurde die insgesamt aus den Brunnen zu fördernde Menge zu ca. 400 m³/Stunde abgeschätzt. Allerdings wird der versickernde Anteil von 100 bis 150 m³/Stunde nach Versickerung durch die Aushubsohle auch gleich wieder von den Brunnen gefördert und damit im Kreislauf gepumpt. Damit bleibt als dauerhafte Grundwasserentnahme nur die tägliche Förderung von ca. 3.000 m³ bzw. insgesamt ca. 50.000 m³ bis zur Fertigstellung des Aushubs. Wenn die Aushubsohle erreicht ist, wird unter Wasser eine mit Zuggpählen gegen Auftrieb gesicherte Unterwasserbetonsohle hergestellt und damit die Baugrube vollständig gegen das Grundwasser abgedichtet.

Wenn man die tägliche Entnahmemenge von ca. 3.000 m³ Grundwasser in Relation setzt zum verfügbaren Grundwasservolumen des oberen Grundwasserkörpers El 10, das in Ableitung der Ergebnisse des von unserem Büro aufgestellten dreidimensionalen Grundwassermodells bei Zugrundelegung einer Einzugsfläche von rd. einem Quadratkilometer, einer Mächtigkeit des Grundwasserleiters von ca. 20 m und einem nutzbaren Porenraum von ca. 25 % etwa 5 Millionen m³ beträgt, so entspricht die tägliche Entnahmemenge von ca. 3.000 m³ gerade einmal etwa 0,06 % bzw. die entnommene Gesamtmenge von ca. 50.000 m³ ca. 1 % der zur Verfügung stehenden Grundwassermenge.

Für das Verständnis der hydraulischen Verhältnisse ist weiterhin wichtig, dass hier keine klassische Absenkung des Grundwasserspiegels mit einem Entnahmetrichter und dem damit einhergehenden Trockenfallen des oberflächennahen Stauwasserhorizontes stattfindet, sondern lediglich eine Reduzierung der Grundwasserdruckspiegelhöhe, die im oberflächennahen Stauwasserhorizont keine Wasserstandsveränderungen verursacht. Dies liegt daran, dass auf der gesamten schleswig-holsteinischen Elbtalseite und damit auch im Bereich der Baugruben wie bereits erwähnt der Grundwasserleiter der Elbtalsande, in dem die Brunnen ausgefiltert sind, durch die i. M. rd. 12-14 m mächtige gering wasserdurchlässige Kleideckschicht gegen die Geländeoberkante abgedichtet wird. Auch der hier örtlich vorhandene „Sanddom“ ist durch eine durchgehende Torfschicht gegen den Grundwasserleiter abgedichtet, während der Grundwasserleiter zur Elbe über die Flusssohle eine direkte hydraulische Verbindung hat.

Das gegen den Grundwasserleiter des Elbtales abgedichtete oberflächennahe Stauwasser wird durch die vorhandenen Entwässerungsgräben des Sielverbandes auf einem Niveau zwischen rd.



NN -2,3 m und rd. NN -1,4 m gehalten, also deutlich unterhalb des Meereswasserspiegels und auch des mittleren Tideniedrigwassers der Elbe von rd. NN -1,28 m. Niederschläge tragen hier nicht nennenswert zur Grundwasserneubildung bei, sondern werden durch die Entwässerungsgräben gefasst und über die Pumpwerke in die Elbe eingeleitet.

Damit wirkt sich selbst eine zeitweilige maximale Grundwasserentnahme von 400 m³/Stunde, die nur für die Herstellung des Startschachtes nach Entfernen der Kleideckschicht und dort nur bei ungewöhnlich niedrigen Elbwasserständen und auch dann ohnehin nur maximal jeweils 2 x am Tag für bis zu ca. 6 Stunden erfolgt, nicht auf das natürliche tidebeeinflusste Gleichgewicht zwischen Elbe und Grundwasserleiter aus.

Der Wasserstand in den Entwässerungsgräben im Nahbereich der Baugruben wird durch die Grundwasserdruckentspannung nicht beeinflusst, da diese durch die mächtige Kleideckschicht gegen den Grundwasserleiter abgeschirmt sind.

Auch der chemische Zustand des Grundwasserleiters wird durch die Baugrubenherstellung nicht nachteilig beeinflusst, da das mit Ammonium belastete Baugrubenwasser in der Startschachtbaugrube nach Durchstoßen der Kleideckschicht zwar nach unten in die Elbtalsande einsickert, aber durch die laufenden Brunnen gleich wieder gefördert und so im Kreislauf gepumpt wird, bis die Baugrubensohle betoniert und damit abgedichtet ist.

Der nach Fertigstellung des Startschachtes beginnende Unterwasseraushub für die Herstellung der Baugruben der Trogstrecke erfordert nur noch geringe zusätzliche Grundwasserentnahmen, da das beim Lenzen des Startschachtes in einem Speicherbecken zwischengelagerte Baugrubenwasser in einer Größenordnung von ca. 50.000 m³ jeweils für die abschnittsweise Herstellung der weiteren Teilbaugruben genutzt wird. Auch wird beim Aushub dieser flacheren Teilbaugruben die Kleideckschicht nicht durchstoßen, so dass hier anders als beim Startschacht keine Versickerung von Baugrubenwasser durch die Aushubsohle nach unten auftreten kann, die durch Wasserzugabe ausgeglichen werden müsste.

Damit ist auch zufolge der Herstellung der Trogbaugruben keine nachteilige Beeinflussung des Grundwassers gegeben.



Insgesamt stellt die geplante mehrfache Nutzung des einmal bei der Startschachtherstellung geförderten Grundwassers für alle weiteren Teilbaugruben zusammen mit dem Unterwasser-aushubverfahren ein sehr grundwasserschonendes Verfahren dar.

6. Überlagerung von Grundwasser- und Grabenwasserentnahmen

Die im benachbarten Marschenabschnitt der A20 geplanten Wasserentnahmen aus den Gräben für die Aufspülung der Autobahndämme führen aufgrund der in Abschn. 5 dargelegten hydraulischen Trennung zwischen Oberflächenwasser und dem Grundwasserleiter durch die Kleideckschicht nicht zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels im verfahrensgegenständlichen Planungsabschnitt.

7. Bentonitsuspension für die Herstellung von Schlitzwänden

Bei der Schlitzwandherstellung für die Baugrubenumschließungen des Startschachtes und der Trogbaugruben wird für die Stützung des offenen Schlitzes eine Bentonitsuspension verwendet, die die Poren des anstehenden Sandes verschließt und auf der Oberfläche der Schlitzseitenwände einen sog. Filterkuchen bzw. eine Membran bildet. Über diese Membran wird der Flüssigkeitsdruck der Suspension im Schlitz auf die Seitenwände übertragen und verhindert so ein Zusammenbrechen des offenen Schlitzes während der Herstellung. Für diese einfache Funktion der Bentonitsuspension ist in der Regel keine Zugabe von Additiven erforderlich. Im vorliegenden Fall muss wegen des Salzgehaltes im Grundwasser lediglich Kaliumcarbonat (Pottasche) zur Erhöhung des pH-Wertes zugegeben werden, was keine negativen Folgen für das Grundwasser hat. Ohnehin dringt die Bentonitsuspension bzw. das ausgepresste Filtratwasser nur wenige Millimeter bis Zentimeter in den Porenraum des anstehenden Sandes ein. Beim Betonieren wird die Suspension vom Beton nach oben verdrängt, abgepumpt und in einer Separationsanlage zur Wiederverwendung gereinigt bzw. entsorgt.

Eine grundwasserschädigende Wirkung geht von der Bentonitsuspension nicht aus. Die Herstellung von Schlitzwänden ist ein bei tiefen Baugruben übliches Verfahren, das häufig eingesetzt wird. Einschränkungen der Anwendung in Wasserschutzgebieten sind nicht bekannt und fachlich auch nicht zu begründen.



8. Bentonit-Zementplomben der geotextilummantelten Sandsäulen

Ein Großteil der vorgesehenen Geländeaufhöhungen wird zur Minimierung von Setzungen des im Untergrund anstehenden Kleibodens auf geotextilummantelten Sandsäulen gegründet. Damit bei der Herstellung der Sandsäulen keine ungewollte hydraulische Verbindung von den Elb-talsanden zur Geländeoberfläche geschaffen wird, werden im Säulenfußbereich Dichtungs-plomben aus einer Bentonit-Zementmischung verwendet. Diese Dichtungen verhindern bei der Durchstoßung der Kleideckschicht über dem Grundwasserleiter die unzulässige Schaffung einer hydraulischen Verbindung zwischen ggf. schadstoffbelastetem Oberflächenwasser und dem oberen Grundwasserleiter. Für diesen Verwendungszweck werden dem Bentonit keine Additive zugegeben. Der Bentonitanteil der Mischung dient der dauerhaften Elastizität der Dichtungs-plombe und verhindert Rissbildungen zufolge mechanischer Beanspruchungen.

9. Herstellung von Auflastkörpern und Geländeaufhöhungen

Vor Beginn des Tunnelvortriebs wird zur Sicherstellung einer ausreichenden Auflast im Anfahr-bereich der Vortriebsmaschinen eine bauzeitliche Bodenauflast aufgebracht. Die Höhe dieses Auflastkörpers beträgt beim Startschacht beginnend auf einer Länge von ca. 250 m und einer mittleren Breite von rd. 55 m rd. 5,2 m über derzeitiger GOK. Südlich dieser Fläche wird bis kurz vor der Straße Steindeich über eine Länge von rd. 180 m und eine mittlere Breite von rd. 52 m eine Bodenauflast mit einer Höhe von rd. 3 m über derzeitiger GOK aufgebracht. Im End-zustand wird die bauzeitliche Auflast auf einer Länge von rd. 200 m vom Startschacht an auf eine Höhe von ca. 3 m über derzeitiger GOK reduziert.

Im Bereich des höheren Auflastkörpers, in dem die Tunnelröhren teilweise in geringtragfähigem Klei liegen, werden zur ausreichenden seitlichen Stützung der Tunnelquerschnitte Rüttelstopf-säulen in rasterförmiger Anordnung mit einem Achsabstand von ca. $a = 1,5$ m hergestellt. Diese sollen rd. 0,5 m in die unterlagernden Sande unter der Kleibasis einbinden und im Fußbereich auf zwei Metern Höhe gegen artesisch aufsteigendes Grundwasser abgedichtet werden. An der Basis der Auffüllungen in Höhe der derzeitigen GOK wird zur Abtragung der Zusatzlasten auf die Rüttelstopfsäulen ein zugfestes Geogitter ausgelegt.



Die in den oberflächennahen Vortriebsbereichen vorgesehenen bauzeitlichen und dauerhaften Aufschüttungen verursachen eine Zusammendrückung der gering tragfähigen Klei- und Torfböden. Nach den Ergebnissen durchgeführter Finite-Elemente-Berechnungen unter Berücksichtigung des geplanten Bauablaufes und der vorgesehenen mindestens einjährigen Liegezeit der Auflast vor Auffahrung der Tunnelröhren werden u. a. bedingt durch die Dränwirkung der Rüttelstopfsäulen nach einer Liegezeit von ca. sechs Monaten die auflastbedingten Setzungen des höheren Auflastkörpers in einer rechnerischen Größenordnung von bis zu max. ca. $s = 60 - 70$ cm eingetreten sein. Im Bereich des flacheren Auflastkörpers sind Setzungen in einer geringeren Größenordnung von max. ca. $s = 30 - 40$ cm zu erwarten.

Die Arbeitsebene für die Herstellung des Startschachtes und der Baugruben wird zur Verhinderung von hydraulischen Sohlaufbrüchen etwa 3-3,5 m über der derzeitigen GOK auf einem Niveau von ca. NN +3 m angeordnet. Auch die Fläche der Baustelleneinrichtung wird ca. 1 m über der derzeitigen GOK angeordnet. Schließlich wird entlang der Baugrubenseiten eine dauerhafte Verwallung (Troglumwallung) mit einer Kronenhöhe von rd. NN +3,5 m zum Schutz gegen Elbwasser im Falle eines Deichbruches sowie eine umlaufende Betriebsstraße vorgesehen.

Die Geländeauffüllungen werden außerhalb des Baugrubengrundrisses auf ganzer Fläche auf geotextilmantelten Sandsäulen gegründet, um während der Bauzeit die durch schwere Baufahrzeuge befahrenen Flächen zu stabilisieren und im Endzustand langandauernde Kriechverformungen unter den Betriebsstraßen und den Troglumwallungen zu vermeiden. Zwischen Geotextilsäulen und Geländeauffüllung wird zur Übertragung der Zusatzlasten in zwei Lagen ein zugfestes Geogitter angeordnet, über das die Zusatzlasten aus Geländeauffüllung und Troglumwallung sicher in die Geotextilsäulen einleitet werden. Bei diesem Gründungsverfahren treten nur relativ geringe Baugrundsetzungen in einer Größenordnung von wenigen Dezimetern auf, die auch bereits wenige Monate nach Lastaufbringung abklingen.

Der nach Norden an die Trogstrecke anschließende Autobahndamm wird ebenfalls mit diesem Verfahren gegründet.



10. Auflastbedingte Austritte von Porenwasser

Durch das Zusatzgewicht der Auflastkörper werden die organischen Weichschichten aus Klei und Torf komprimiert. Hierbei wird mit Ammonium und Eisen belastetes Porenwasser ausgepresst. Die Größenordnung der anfallenden Porenwassermengen wird für den durch Rüttelstopfsäulen und Geogitterlagen stabilisierten höheren Auflastkörper auf insgesamt ca. 5.000 m³ und für den flacheren Auflastkörper auf ca. 2.000 m³ abgeschätzt.

Im Bereich des auf geotextilummantelten Sandsäulen mit Geogitterpolster gegründeten Straßendammes ist mit einem Porenwasseranfall von ca. 25 - 30 m³ je m Dammlänge über einen Zeitraum von ca. einem halben Jahr zu rechnen.

Das im Verlauf der Geländesetzungen austretende Porenwasser in Verbindung mit dem anfallenden Niederschlagswasser wird nicht in die örtliche Vorflut geleitet, sondern entlang der Böschungsfüße in Gräben gefasst und unter Einhaltung der Einleitwerte in die Elbe eingeleitet.

11. Abschätzung der anfallenden Qualmwassermengen

Der Baugrund im Bereich der Trogstrecke Nord und des zur Elbe hin anschließenden, im Endzustand überschütteten Rechtecktunnels besteht generell von der GOK im Niveau rd. NN -0,1 m bis NN +0,5 m bis zur Tiefe von ca. 12 m bis 14 m unter GOK aus gering wasserdurchlässigem Klei mit Torflagen. Darunter stehen die holozänen und pleistozänen Sande der Elbtalniederung an, die den weiträumigen Hauptgrundwasserleiter bilden. In einem Teilbereich ist in den kompakten Klei eine größere Sandstruktur eingelagert, die von den unterlagernden Sanden des Hauptgrundwasserleiters durch eine nur wenige Dezimeter dicke Torflage getrennt ist.

Nach Durchführung ergänzender Baugrundaufschlüsse und der Errichtung weiterer Grundwassermessstellen zeigte sich, dass die Sandstruktur, in der die Trogstrecke liegt, gegen den unterlagernden Grundwasserleiter durch die Basistorflage vollständig abgedichtet ist. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Grundwasserstände in der innerhalb der Sandstruktur eingerichteten Grundwassermessstelle GWM 12 (BK 129b) zeigte keine Tidenbeeinflussung, sondern eine tiefe und relativ konstante Grundwasserdruckspiegelhöhe unterhalb der Geländeoberkante im Niveau rd. NN -1,0 m bis NN -1,2 m.



Da die Seitenwände des Rechtecktunnels und des Trogbauwerks Nord ohne Baugrubenseitenraum direkt gegen die Schlitzwände betoniert werden und zur Sicherstellung der Auftriebsicherheit der Bauteile sogar eine durchgehend betonierete Knagge in die Schlitzwände eingearbeitet wird, sind hier im Endzustand auch im Sturmfluthochwasserfall der Elbe keine nennenswerten Qualmwasseraustritte aus Bauwerksfugen zu erwarten. Die abdichtende Wirkung der kompakten Kleischichten und der Torflage wird bereits beim Betonieren der Schlitzwandlamellen aufgrund des hohen Betonierdruckes wiederhergestellt.

Ein Wasseraustritt in den Kontaktflächen zwischen Bauwerk und Baugrubenumschließung ist ohnehin theoretisch nur bei Undichtigkeiten in den Schlitzwänden – insbesondere zwischen den einzelnen betonierten Schlitzwandlamellen - oder entlang der Kontaktfläche zwischen Schlitzwänden und Unterwasserbetonsohle möglich. Da vor Errichtung der Bauteile die Baugruben gelenzt werden müssen und in diesem Bauzustand auch ein erheblich größeres Grundwasserdruckgefälle zwischen außen und innen als im Endzustand herrscht, stellen die nach erfolgter Nachdichtung undichter Stellen in der Baugrube noch anfallenden Wassermengen für den Endzustand eine Grenzmenge dar, die selbst bei Beibehaltung eines Baugrubenseitenraumes und Sturmfluthochwasser nicht erreicht werden könnte.

12. Möglichkeiten der Mengenerfassung von Qualmwasseraustritten

Eine saubere trennscharfe Erfassung von Wasseraustritten aus der Betonierfuge zwischen Trogbauwerk bzw. überschüttetem Rechtecktunnel und Baugrubenumschließung ist systembedingt mit vertretbarem Aufwand grundsätzlich nicht möglich. Hilfsweise soll im Bereich des Rechtecktunnels eine Dränleitung auf der Tunneldecke beidseitig direkt neben der Schlitzwand verlegt werden. Bei der Auswertung der zu erfassenden Wassermengen sind hierbei die in der Überschüttung des Tunnels versickernden Niederschlagsmengen abzuziehen, die zumindest den Hauptteil der erfassten Wassermengen, voraussichtlich jedoch die gesamte gemessene Menge ausmachen.



Im Trogbereich werden in entsprechender Weise Dränleitungen auf der Oberkante der Schlitzwände beidseits direkt neben den Trogwänden angeordnet und zu einer zentralen Mengenerfassung geleitet. Auch hier gilt jedoch das oben zum Einfluss der Niederschlagsmengen gesagte.

13. Auswirkungen des Eisengehaltes des Qualmwassers auf die Umgebung

Eine gegenüber dem jetzigen Zustand nachteilige Beeinflussung der Umgebung durch ggf. im Gefolge der Bauaktivitäten aufsteigendes stark eisenhaltiges Qualmwasser ist nicht anzunehmen, da dieser Vorgang ohnehin bereits jetzt bei jedem normalen Elbhochwasser zu beobachten ist. In der näheren Umgebung der geplanten Baufläche wurden bei Ortsbegehungen während Tidehochwasserzeiten an mehreren Stellen Wasseraustritte an der GOK beobachtet, die teilweise durch Entwässerungsgräben gefasst werden.

14. Grabenaushub im Zuge der Verlegung der Landwegwettern und der Kleinen Wettern

Vor Herstellung der Baustelleneinrichtungsfläche muß im Nahbereich des geplanten Startschachtes die hier in einem spitzen Winkel verlaufende Landwegwettern bauzeitlich auf einer Länge von ca. 205 m verlegt werden. Die gesamte Rück-/Umbaustrecke der Landwegwettern beträgt ca. 300 m, wovon am Ende der Baumaßnahme ca. 230 m in endgültiger Lage hergestellt werden. Nördlich der Trogstrecke wird die Kleine Wettern auf einer Länge von ca. 405 m nach Westen verlegt.

Zur Prüfung, in welchen Konzentrationen Stoffe wie Ammonium, Eisen, Sulfat, ortho-Phosphat etc. im Kleiboden vorhanden sind, wurden an zwei Stellen aus dem Bereich der zu verlegenden Landwegwettern aus einer Tiefe von rd. 1,5 m bis 2 m unter GOK Kleiprobe entnommen und im chemischen Labor analysiert. Hierzu wurden die Kleiprobe in einem wässrigen Eluat bei einem Mengenverhältnis von 1 Teil Boden zu 10 Teilen Wasser nach DIN EN 12457-4 24 Stunden lang geschüttelt und anschließend die Parameter im Eluat bzw. für Eisen gesamt und Stickstoff im Feststoff bestimmt.

Die Analysenergebnisse gehen aus der nachfolgenden Tabelle 2 hervor.



Tabelle 2: Ergebnisse der chemischen Analysen an Kleiprobe aus dem Bereich der geplanten Verlegung der Landwegwettern

Probenbezeichnung		Probe 1	Probe 2
Bodenart		Klei	Klei
Probenmenge		ca. 1 kg	ca. 1 kg
Probeneingang		06.09.2016	06.09.2016
Analysenergebnisse	<i>Einheit</i>		
Trockenrückstand	Masse-%	64,8	65,8
Leitfähigkeit (Boden)	µS/cm	120	100
pH-Wert (H2O)		8,2	8,0
Aufschluss mit Königswasser			
Eisen, ges.	mg/kg TM	19.840	22.010
Stickstoff ges.	mg/kg TM	1.300	1.100
Eluat			
pH-Wert		7,5	7,6
Leitfähigkeit	µS/cm	107	85
Ammonium	mg/L	< 0,025	0,11
Sulfat	mg/L	3,0	1,5
Chlorid	mg/L	1,2	< 0,6
Eisen (II)	mg/L	< 0,10	< 0,10
Eisen, ges.	mg/L	8,6	0,54
ortho-Phosphat	mg/L	< 0,10	0,73
ortho-Phosphat-P	mg/L	< 0,033	0,24

Die Konzentration der untersuchten Parameter ist im Vergleich mit den Schwellenwerten in der Anlage 2 der Grundwasserverordnung gering. Auffällig sind die gegenüber dem Klei aus tieferen Horizonten erheblich geringeren Konzentrationen des oberflächennahen Kleibodens an wasserlöslichen Ionen wie Ammonium und Sulfat. Unter Berücksichtigung der 10fachen Verdünnung bei der Eluatuntersuchung ergibt sich für die Probe 2 ein Ammoniumgehalt von nur 1,1 mg/kg Feststoff und bei der Probe 1 aufgrund der Bestimmungsgrenze von 0,025 mg/L im Eluat sogar weniger als 0,25 mg/kg Feststoff gegenüber dem in 2007 im Startschachtbereich an einer Kleiprobe aus rd. 4,4 m Tiefe unter GOK ermittelten Ammoniumgehalt von 14 mg/kg Feststoff.



Dieser Befund wird darauf zurückgeführt, dass durch die die in der gesamten Fläche vorhandenen Dränleitungen und die kontinuierliche Entwässerung des Bodens durch Fassung und Abführung des von oben zusickernden Niederschlagswassers bis ca. 2,3 m unter GOK die wasserlöslichen Ionen bereits weitgehend ausgewaschen sind. Damit ist davon auszugehen, dass durch die Anlage der neuen Grabenabschnitte keine wesentlich erhöhten Konzentrationen an wasserlöslichen Ionen wie Ammonium, Sulfat oder Chlorid im Grabenwasser auftreten.

Aus den bis zu ca. 1 m unterhalb der v. g. Dränebene liegenden Grabensohlen der neuen Abschnitte können aufgrund der hier geringeren Auswaschung etwas höhere Ammoniumanteile in Lösung gehen, die aber aufgrund der kleinen Teilflächen und der zur Tiefe kontinuierlich abnehmenden Auswaschung die Gesamtkonzentrationen nicht maßgeblich beeinflussen.

Die Herstellung der Grabenquerschnitte in den anstehenden Kleiböden ist im Trockenaushubverfahren und in Teilabschnitten vorgesehen. Als zusätzliche Maßnahme zur Begrenzung von Ionenanreicherungen des Grabenwassers werden die Arbeiten mit einem Bagger mit Glattschaufel ausgeführt, um möglichst glatte Böschungsflächen herzustellen und die Kontaktflächen zum Grabenwasser nach Fluten der Grabenabschnitte zu minimieren.

Sofern in einzelnen Teilabschnitten ein Trockenaushub nicht möglich ist oder ein lokaler Wassereinbruch erfolgt, wird in diesem Bereich auf Nassaushub umgestellt und das Grabenwasser auf die im Klei vorhandenen Schadstoffe analysiert und bei Bedarf gesondert gefasst und gereinigt.

Bearbeiter: Bienert

Grundbauingenieure
Steinfeld und Partner GbR
i. A.