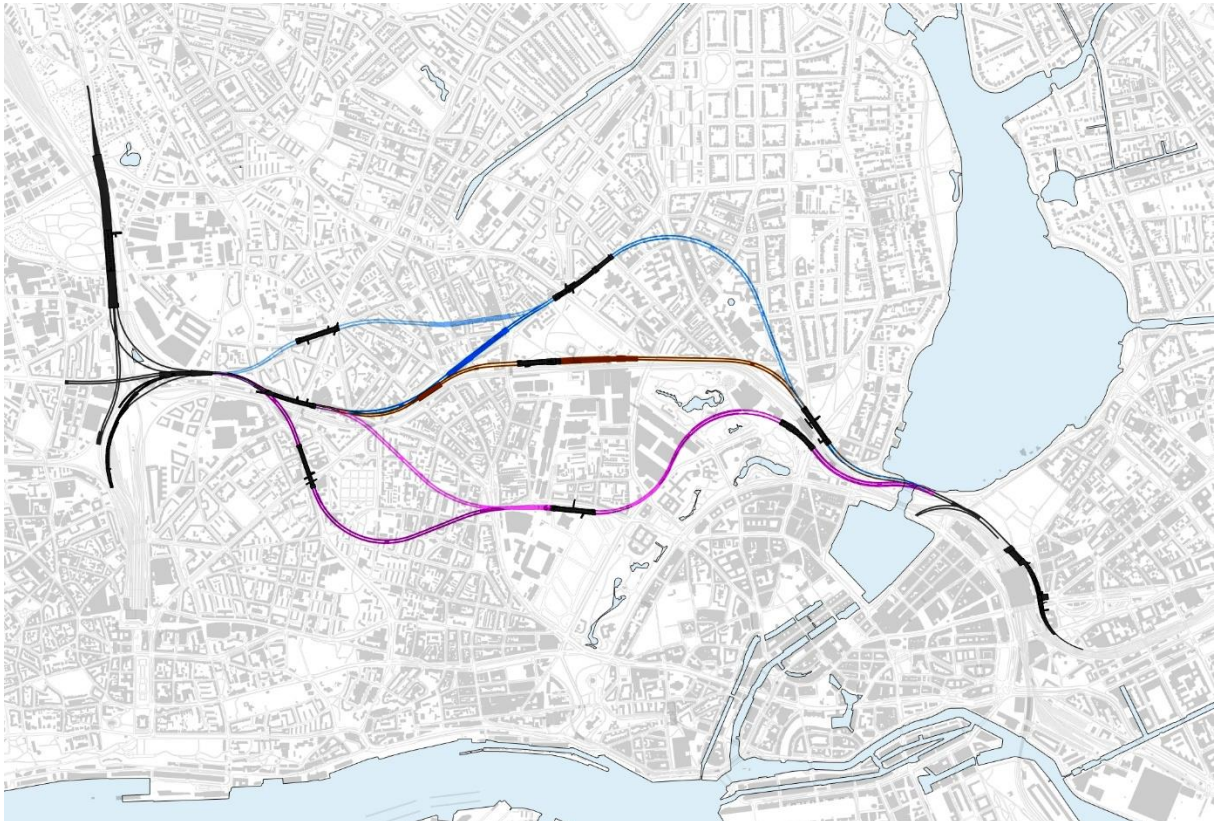


BIM Machbarkeitsstudie

Verbindungsbahn-Entlastungstunnel (VET) Hamburg



Anlage 07 Baugrundgutachten

Stand: 24.04.2023
erstellt im Auftrag der DB Netz AG

Vorhabenträger:



DB Netz AG
Hamburg Hbf und VET, I.NI-N-E-V
Infrastrukturprojekte Nord
Hammerbrookstraße 44, 20097 Hamburg

Beteiligte Planer und Gutachter:

Ingenieurgesellschaft VET Hamburg:

Dorsch Gruppe GRE – SSF Ingenieure AG – Amberg Engineering



Fachplanung Ingenieurbauwerke/ Gesamtprojektleitung:

SSF Ingenieure AG

Beratende Ingenieure im Bauwesen

Fachplanung Verkehrsanlage:

GRE German Rail Engineering GmbH

Niederlassung Dresden

Fachplanung Tunnelbau:

Amberg Engineering AG

Fachplaner, Gutachter:

Baugrund

Baugeologisches Büro Bauer GmbH

.....

Umweltplanung

Prof. Schaller UmweltConsult GmbH

.....

Verkehrsprognose

Intraplan Consult GmbH

.....

Vermessung

Hanack und Partner mbB

.....

BIM-MBS VET Hamburg

Anlage 07 Baugrundgutachten

Revisionsdokumentation für Dokument:

Index	Datum	Erläuterung
-	24.04.2023	Erstfassung

	Seite
1	Grundlagen und Untersuchungen.....3
1.1	Veranlassung und Aufgabenstellung 3
1.2	Bauvorhaben 3
1.3	Verwendete Unterlagen 5
1.4	Verwendete Normen..... 5
1.5	Verwendete Empfehlungen und Richtlinien 7
1.6	Verwendete Daten und Bestandsunterlagen..... 8
1.6.1	Datengrundlagen und Genauigkeit von transformierten Modellelementen 8
1.6.2	Baugrundvisualisierung..... 9
1.6.3	Bestandsbohrungen 10
2	Auswertung der Bestandunterlagen im Untersuchungsraum.....11
2.1	Geographisch-geologischer Überblick.....11
2.2	Schichtbeschreibungen.....14
2.2.1	Schicht 1: Anthropogene Böden 14
2.2.2	Schicht 2: Torfe, Schluffe, Mudden der Eem-Warmzeit..... 14
2.2.3	Schicht 3: Schmelzwasserablagerungen der Elster-, Saale- und Weichseiszeit..... 15
2.2.4	Schicht 4: Moränenablagerungen (Tille) der Saaleeiszeit (ältere, mittlere und jüngere Saale-Eiszeit)..... 15
2.2.5	Schicht 5: Lauenburger Ton..... 16
2.2.6	Schicht 6: Tertiär, undifferenziert 17
2.2.7	Schicht 7: Salzstock mit Hutgesteinen (Gips, Anhydrit, Tonstein und andere) 17
2.3	Hydrogeologische Verhältnisse18
2.3.1	Oberflächengewässer 18
2.3.2	Niederschlagssituation 18
2.3.3	Überschwemmungsgebiete, wassersensible Bereiche, Schutzgebiete und Bodendenkmäler 18
2.3.4	Grundwassersituation 19
2.3.5	Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes..... 20
2.3.6	Grundwasserbeschaffenheit 20
3	Bewertung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse21
3.1	Erdbebengefährdung21
3.2	Baugrundmodell.....21

3.3	Charakteristische Bodenkennwerte.....	22
4	Bautechnische Folgerungen aus geologischer Situation.....	24
4.1	Tunnelbauwerke bzw. geschlossene Bauweise.....	24
4.1.1	Homogenbereiche Tunnelbauwerke bez. geschlossene Bauweise	24
4.1.2	Geschlossene Bauweise mit Vortriebsmaschine	26
4.1.3	Start- und Zielschacht für geschlossene Bauweise mit Vortriebsmaschine	28
4.1.4	Geschlossene Bauweise mit zyklischem Vortrieb	29
4.2	Stationsbauwerke bzw. offene Bauweise	30
4.2.1	HP 1 Hauptbahnhof	30
4.2.2	HP 2 Dammtor	32
4.2.2.1	HP 2 - Variante 1 bzw. 3: Dammtor I (NE).....	32
4.2.2.2	HP 2 - Variante 2 Dammtor III (SW)	34
4.2.3	HP 3	36
4.2.3.1	HP 3 - Variante 1: Schlump I	36
4.2.3.2	HP 3 - Variante 2: Feldstraße	38
4.2.3.3	HP 3 - Variante 3: Sternschanze	40
4.2.4	HP 4	42
4.2.4.1	HP 4 - Variante 1: Alsenplatz II.....	42
4.2.4.2	HP 4 - Variante 2: Max-Brauer-Allee I	43
4.2.4.3	HP 4 - Variante 1 bis 3: Holstenstraße I	45
4.2.5	HP 5	47
4.2.5.1	HP 5 - Variante 1 bis 3: Altona Diebsteich Ic (inkl. nördlicher Anbindung).....	47
4.2.5.2	HP 5 – Variante 1 bis 3: Altona Mitte (inkl. Abzweighbauwerk).....	49
4.3	Notausgänge	52
4.4	Mögliche Herstellung und Bauweisen der Stationsbauwerke	53
4.4.1	Baugrubenverbauten	54
4.4.1.1	Überschnittene Bohrpfehlwand.....	54
4.4.1.2	Schlitzwandverbau	54
4.4.2	Sohlabdichtungssysteme	55
4.4.2.1	Natürliche Dichtsohle im bindigen Untergrund	55
4.4.2.2	Hochliegende Dichtsohle (Unterwasserbetonsohle).....	55
4.4.2.3	Tiefliegende Dichtsohle.....	56
4.4.3	Wasserhaltungsmaßnahmen	56
4.4.3.1	Offene Wasserhaltung	56
4.4.3.2	Entspannungswasserhaltung.....	56
5	Weiterführendes Erkundungskonzept	58
5.1	Ergänzende Baugrundaufschlüsse.....	58
5.2	(Labor-)Untersuchungen	61
6	Schlussbemerkung.....	65

1 Grundlagen und Untersuchungen

1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die DB Netz AG plant einen Verbindungsentlastungstunnel (VET) zwischen dem Hauptbahnhof Hamburg und dem Bahnhof Hamburg-Altona bzw. einem neuen Standort (Hamburg Altona (Diebsteich)). In einer ersten Machbarkeitsstudie (MBS) sollen mehrere Trassenvarianten geprüft werden. Die Planung erfolgt mittels BIM (Building Information Modelling).

Die Baugeologisches Büro Bauer GmbH wurde in diesem Zuge von der INGE MBS VET Hamburg mit dem geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Planungspaket beauftragt. Dieses umfasst die Erstellung eines BIM-fähigen 3D-Modells des Baugrunds im Bereich der Machbarkeitsstudie auf Grundlage von Bestandsaufschlüssen. Aus dem Baugrundmodell sollen erste Schlüsse, Auswirkungen und technische Risiken des Baugrunds auf die Machbarkeit der Tunnelvarianten gezogen und weitere notwendige Erkundungsmaßnahmen aufgezeigt werden.

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der geotechnischen Machbarkeitsstudie zusammenfassend dargestellt.

1.2 Bauvorhaben

Die vorhandenen Fernbahngleise der Verbindungsbahn zwischen dem Hamburger Hauptbahnhof und Altona gehören zu dem überlasteten Schienenweg „Hamburg-Hamburg – Hamburg Rainweg“ (Strecke 2200 und 6100). Daher soll hinsichtlich der Machbarkeit, ein Verbindungsbahnentlastungstunnel als S-Bahnvariante inkl. unterirdischer Stationen und unterirdischen Abstellmöglichkeiten untersucht werden. Dazu sollen die Gleise 3 und 4, die sich im Hauptbahnhof befinden und bisher von der Gleichstrom-S-Bahn genutzt werden für den Schienenpersonennah- und -fernverkehr nutzbar gemacht und somit eine Kapazitätserhöhung im Hamburger Hauptbahnhof geschaffen werden.

Bei der Machbarkeitsstudie sollen folgende, bestehende Ingenieurbauwerke betrachtet werden

1. Tiefbahnhof - Hamburger Hauptbahnhof (inkl. Planungen zur U5)
 2. drei Unterwegshalte – u.a. Dammtor, Sternschanze, Holstenstraße (inkl. Planungen zur U5)
 3. Tiefbahnhof – Altona (alt)
 4. Bahnhof – Altona Nord (neu/Diebsteich)
-

Anlage 07 Baugrundgutachten

sowie folgende zukünftige Ingenieurbauwerke

1. Verbindungsbahntlastungstunnel Hamburg
2. Anschluss an den Tiefbahnhof – Hamburger Hauptbahnhof
3. Unterwegshalte (hierbei ist insbesondere auch eine neue S-Bahnhaltestelle Neue Mitte Altona zu untersuchen)
4. Anschluss an den Tiefbahnhof – Altona (alt)
5. Anschluss an den geplanten Bahnhof - Altona Nord (neu/Diebsteich), ggf. zusätzlicher Tiefbahnhof Altona Nord (hier sind die Planungen wegen der städtebaulichen Entwicklung prioritär zu bearbeiten) und in den nachfolgend beschriebenen drei Grundvarianten mit jeweils zwei Untervarianten (a und b)

untersucht werden.

1. Grundvariante: Lage des neuen Tunnels nördlich der Verbindungsbahn
2. Grundvariante: Lage des neuen Tunnels südlich der Verbindungsbahn
3. Grundvariante: Lage des neuen Tunnels unter/leicht neben der Verbindungsbahn

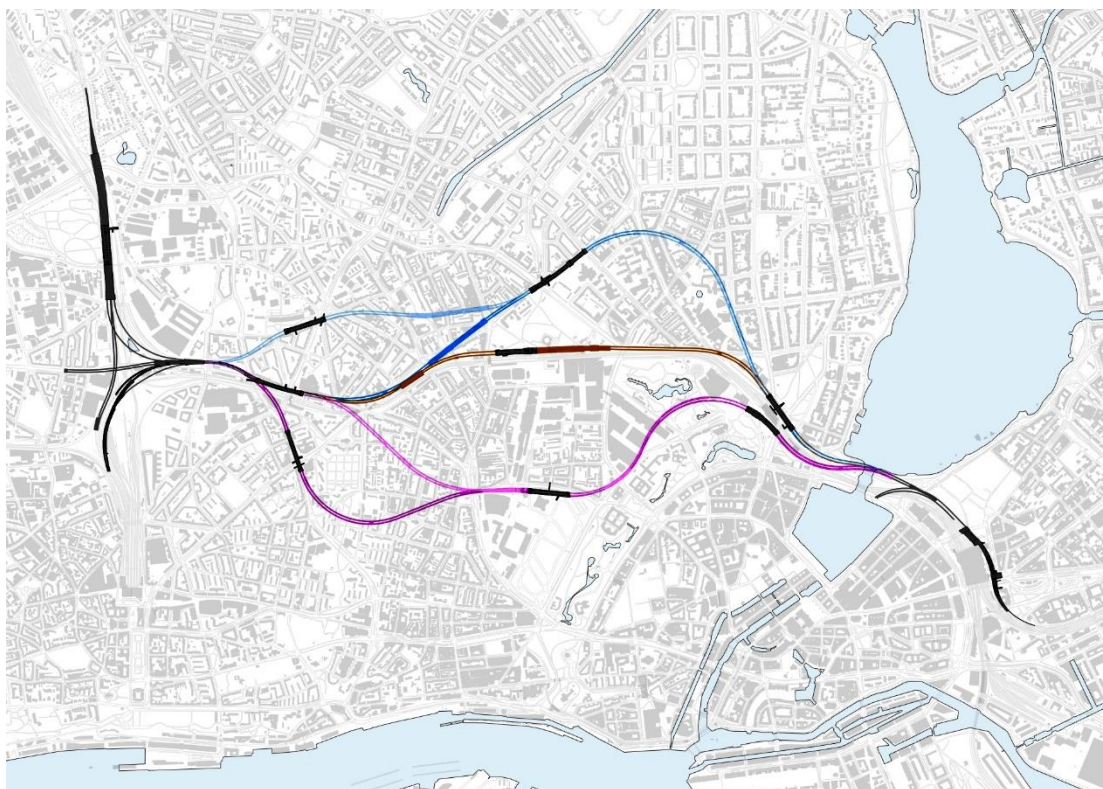


Abb. 1: Darstellung des Projektareals zwischen Hamburg Hauptbahnhof im Osten (rechts) und Hamburg Altona im Westen (links) mit den 3 Grundvarianten (1: (hell)blau, 2: pink/lila, 3: braun) sowie der Bestandsstrecke (grau).

1.3 Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen fanden zur Erstellung dieses Berichtes vor allem Verwendung:

- [U 1] Geologisches Landesamt Hamburg (Hrsg.) (1995): Geologische Karte von Hamburg, 1:25.000, Blatt 2425 Hamburg, Gebinde mit Erläuterungen.– Hamburg.
- [U 2] BUKEA, GLA HH– Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Geologisches Landesamt Hamburg (Hrsg.) (2017): Geologische Karte von Hamburg, 1:5.000, Blatt 6234 Altona-Nord.– Hamburg.
- [U 3] BUKEA, GLA HH– Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Geologisches Landesamt Hamburg (Hrsg.) (2017): Geologische Karte von Hamburg, 1:5.000, Blatt 6434 Dammtor.– Hamburg.
- [U 4] BUKEA, GLA HH– Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Geologisches Landesamt Hamburg (Hrsg.) (2017): Geologische Karte von Hamburg, 1:5.000, Blatt 6634 St. Georg.– Hamburg.
- [U 5] BUKEA, GLA HH– Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Geologisches Landesamt Hamburg (2021): Hamburger 3D-Modell, Modellbereich MBS VET, Ober- und Unterkanten der Quartärschichten, 21.10.2021.
- [U 6] BUKEA, GLA HH– Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Geologisches Landesamt Hamburg (2021): Hamburger 3D-Modell, System-schnitt Modellgebiet, 21.10.2021.
- [U 7] <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/#>, abgerufen am 02.11.2021.
- [U 8] https://www.geoportal-hamburg.de/bohrdaten/index.html?lgv_mapWidth=98p&lgv_mapHeight=430, abgerufen am 15.09.2021.
- [U 9] https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/schleswig-holstein_hamburg/hamburg/_node.html, abgerufen am 22.11.2021.
- [U 10] <https://www.hamburg.de/grundwasser/151478/grundwasserschutz/>, abgerufen am 09.12.2021.
- [U 11] Thuro, K., Singer, J., Käsling, H. & Bauer, M. (2006): Soil Abrasivity Assessment Using the LCPC Testing Device.– Felsbau, 24/6: 37-45; Essen (VGE Verlag GmbH).

1.4 Verwendete Normen

AFNOR NF P18 579:2013-02: Granulats - Détermination des coefficients d'abrasivité et de broyabilité.– Association Française de Normalisation.

DIN 1054:2021-04: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).

DIN 1055-2:2010-11: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngößen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).

- DIN 18196:2011-05: Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 18300:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 18301:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Bohrarbeiten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 18304:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 18312:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Untertagebauarbeiten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 18313:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Schlitzwandarbeiten mit stützenden Flüssigkeiten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4020:2010-12: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4020 Beiblatt 1:2003-10: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Anwendungshilfen, Erklärungen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4023:2006-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4030-1:2008-06: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwert.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
-

- DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1997-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1997-2:2010-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1997-2/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1998-1:2010-12: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1998-1/A1:2013-05: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004/A1:2013.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1998-1/NA:2021-07: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN ISO 14688-1:2020-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2018.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).

1.5 Verwendete Empfehlungen und Richtlinien

- DAUB - Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) German Tunneling Committee (ITA-AITES) (Hrsg.) (2021): Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelbohrmaschinen.–; Köln (DAUB).
-

1.6 Verwendete Daten und Bestandsunterlagen

1.6.1 Datengrundlagen und Genauigkeit von transformierten Modellelementen

Das für das vorliegende Projekt erstellte dreidimensionale Baugrundmodell ist in 3 Teilmodelle zu differenzieren:

- Teilmodell Bohrungen
- Teilmodell Bodenschichten
- Teilmodell Grundwasser

Die Bohrprofilaten für das Teilmodell Bohrungen sind im Bohrdatenportal der Stadt Hamburg [U 8] als *.gml-Dateien frei für den Download verfügbar. Die Lage der Bohrprofile ist sowohl in Gauß-Krüger-Koordinaten als auch in UTM-Koordinaten (ETRS89) angegeben und konnte somit über die Gauß-Krüger-Koordinaten direkt in das für die Planung zu verwendende DBRef 2016 übernommen werden. Die Höhe der Aufschlusspunkte ist in m NHN, im Höhensystem DHHN 2016 angegeben und kann somit ebenfalls direkt für die Planung im DBRef 2016 übernommen werden.

Im Allgemeinen beruhen Baugrundschichtenmodelle auf einer, auf geologischen Sachverstand gestützten, Interpretation (Inter- und Extrapolation) von Erkundungsergebnissen. Erdgeschichtliche Entstehungs-, Ablagerungs- und Alterungsbedingungen beruhen zwar auf natürlichen und bekannten Prozessen, die aus allgemeinen Naturgesetzen resultieren, aber wegen der Komplexität der Einflussfaktoren über Raum und Zeit bleiben diese Interpretationen reine Prognosen, deren Genauigkeit nicht quantifizierbar ist. Zwar unterliegt die Interpolation im 3D-Baugrundschichtenmodell zwischen einzelnen exakt erkundeten Schichtgrenzen an konkreten Bohrpunkten geostatistischen Prinzipien, jedoch kann für die Genauigkeit des Schichtenmodells kein Bestimmtheitsmaß angegeben werden.

Das für den Modellbereich als Grundlage verwendete geologische 3D-Schichtenmodell (Bestandsschichtenmodell, [U 5]) wurde bei der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) angefragt. Das Modell wurde auf Grundlage einer hohen Aufschlussdichte erstellt (etwa 9000 Bohrungen im Modellbereich). Auch die Aufschlussqualität spielt bei der Genauigkeit des Modells eine Rolle. Diese beiden Faktoren sind im Modellgebiet heterogen verteilt, sodass in Bereichen mit höherer Aufschlussdichte und hochwertigeren Bohrergebnissen, das Bestandsschichtenmodell eine bessere Prognose bildet als in anderen Modellbereichen. Im Bestandsschichtenmodell sind untergeordnet vorkommende Linsen (z.B. Sandlinsen innerhalb der Moränenablagerungen) nicht modelliert.

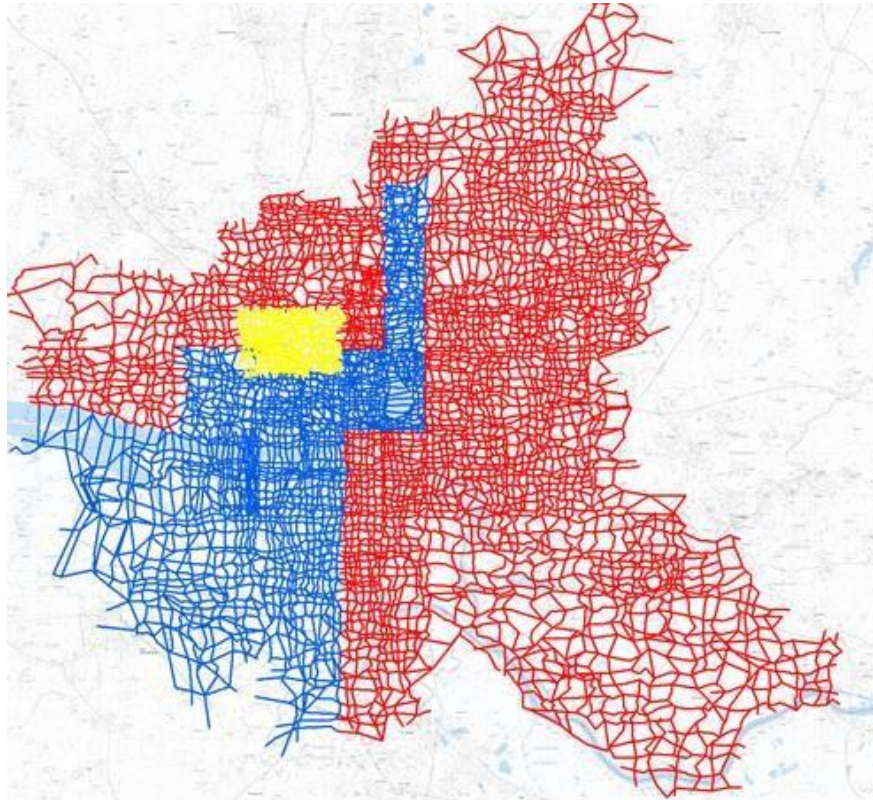


Abb. 2: Profilnetz (Netz der Längs- bzw. Querschnitte) in Hamburg, die die Grundlage für das vorliegende Untergrundmodell bilden.

Das Bestandsschichtenmodell beruht auf N-S bzw. W-E orientierten Schnitten (siehe Abb. 2) durch die vorhandenen, als qualitativ hochwertig festgelegten Bohrungen. Aus den Schnitten wurden über geostatistische Interpolation 3D-Flächen der Schichtober- und Unterkanten modelliert. Das Bestandsschichtenmodell wurde von der BUKEA in UTM-Koordinaten (ETRS89) im *.ts-Format übergeben und von uns in Gauß-Krüger-Koordinaten transformiert. Dabei liegt die Genauigkeit der Transformation bei wenigen Dezimetern. Die Höhe der Schichten ist in m NHN, im Höhensystem DHHN2016 angegeben und kann somit direkt für die Planung im DBRef 2016 übernommen werden.

Die Grundwasserdaten für das Grundwassermodell sind im Geoportal der Stadt Hamburg [U 7] als *.gml-Dateien frei für den Download verfügbar. Die Lage ist in UTM-Koordinaten (ETRS89) angegeben und wurde von uns in Gauß-Krüger-Koordinaten transformiert. Dabei liegt die Genauigkeit der Transformation bei wenigen Dezimetern. Die Höhe der Schichten ist in m NHN, im Höhensystem DHHN2016 angegeben und kann somit direkt für die Planung im DBRef 2016 übernommen werden.

1.6.2 Baugrundvisualisierung

Das dreidimensionale Baugrundmodell mit den Teilmodellen Bohrungen, Baugrundsichten, und Grundwasser wurde durch die Baugeologisches Büro Bauer GmbH mit Hilfe der Software Leapfrog Works erstellt. Grundlage der Modellierung sind die

in Kap. 1.6.3 genannten Aufschlüsse sowie das Bestandsschichtenmodell der Stadt Hamburg, das ebenfalls auf den Bohrungen des Bohrdatenportals beruht.

In diesem Bestandsschichtenmodell wurden Flächen der Ober- bzw. Unterkanten der Baugrundsichten übergeben [U 5]. Diese wurden in Leapfrog Works in Volumenkörper umgewandelt und anhand den uns zur Verfügung stehenden Bohrungen im Bereich der geplanten Trassenvarianten, falls notwendig, mit geologischem und geotechnischem Sachverstand an die Gegebenheiten des Bauvorhabens angepasst und modifiziert (z.B.: Einarbeitung offensichtlicher Sandlinsen in Moränenablagerungen, Modellierung des Othmarschen-Langenefelde Diapirs (Salzstock)).

Alle öffentlich zugänglichen Bohrungen aus dem Bohrdatenportal Hamburg, die tiefer als 10 m sind, werden im Planungsraum dargestellt. Die Informationsgüte der einzelnen Bohrungen variiert und eine stratigraphische Einteilung anhand der Bohrungen ist somit nur teilweise möglich. Die Teufen und Mächtigkeitsangaben einzelner Schichten sind an den Bohrpunkten gesichert.

Die Informationen zu den Grundwasserverhältnissen im Untergrund des Planungsraums werden vom öffentlichen Geoportal Hamburg [U 7] bezogen und im gesamten Planungsraum abgebildet. Es werden die mittlere und die maximale Potentialoberfläche des ersten Hauptgrundwasserleiters in Form von zwei Flächen dargestellt.

Das Modellgebiet wurde zu Beginn wie in Abb. 1 dargestellt festgelegt. Die Modellränder sollen im Bereich der Stationen mindestens 50 m über die Station hinausreichen im Bereich der Tunnelröhren mindestens 30 m. Die Modelltiefe wurde vom Auftraggeber mit 60 m unter Geländeoberkante festgelegt.

1.6.3 Bestandsbohrungen

In der Stadt Hamburg stehen im Bohrdatenportal [U 8] im betrachteten Untersuchungsraum etwa 9000 Bohrungen mit Erkundungstiefen zwischen einem knappen Meter und 408 m zur Verfügung. Die Schichtdaten sind jedoch nur bei etwa der Hälfte der Bohrungen öffentlich und somit können nur diese in das Teilmodell Bohrungen einbezogen werden. Die Bohrungen stammen aus den Jahren 1874 bis 2019 und unterliegen einer sehr heterogenen, stark Bearbeiter-abhängigen Qualität. So ist eine bodenmechanische Ansprache in unterschiedlicher Qualität vorhanden, eine stratigraphische Einteilung fehlt jedoch oft. Da jedoch das in Kap. 1.6.2 beschriebene Bestandsschichtenmodell der Stadt Hamburg auf Grundlage aller zur Verfügung stehenden Bohrungen, auch nicht öffentliche Bohrungen beinhaltet und dieses Modell über Jahre mit einem hohen lokalen Erfahrungsschatz erarbeitet wurde, ist eine stratigraphische Einteilung mithilfe des Bestandsmodells [U 5] möglich.

Aufgrund der vorliegenden Fragestellung wurden für das Bohrsäulenmodell alle öffentlichen Bohrungen mit einer Endteufe von > 10 m herangezogen. Somit liegen insgesamt 3632 Bohrungen für das Teilmodell vor.

2 Auswertung der Bestandunterlagen im Untersuchungsraum

2.1 Geographisch-geologischer Überblick

Der Untersuchungsraum der Machbarkeitsstudie VET Hamburg liegt zwischen dem Hamburger Hauptbahnhof bzw. der Binnen- und Außenalster im Osten und dem Bahnhof Hamburg-Altona im Westen. Im Norden reicht er bis jenseits der bestehenden Station Schlump und im Süden etwa bis zur Station Feldstraße bzw. etwas darüber hinaus (siehe Abb. 1). Das Projektareal liegt nördlich der Elbe im naturräumlichen Bereich der Geest und die Geländeoberkante liegt zwischen einigen Metern über NHN im Bereich der Alster und bis hin zu 30 m NHN im Bereich von Diebsteich. Daher stehen vor allem quartäre Ablagerungen aus dem Pleistozän (Eiszeitalter) an, die in Tiefen von 15 m (NW, Diebsteich) bis hin zumeist mehr als 60 m u. GOK reichen (Außenalster, nördlicher Hbf, zw. Altona-St. Pauli-Eimsbüttel). Darunter folgen die tertiären Ablagerungen, die zunächst durch Glimmertone aufgebaut sind und dann in Braunkohlesande übergehen.

Die über dem Tertiär folgenden eiszeitlichen Ablagerungen unterteilen sich in drei Kaltzeiten (Elster-, Saale-, und Weichseleiszeit). Jede Vereisung hinterließ Gletscherablagerungen (Moränen/ Tille) und Schmelzwassersedimente (vor allem Sande).

Im Untersuchungsraum stehen aus der Elsterkaltzeit Schmelzwassersande sowie der Lauenburger Ton an. Dieser ist ein Stillwassersediment, das sich zur späten Elster-Eiszeit gebildet hat, als die Gletscher bereits schmolzen und das Schmelzwasser durch das niedertauende Eis noch blockiert war und sich in den dort gebildeten Stauseen die Tone und Schluffe des Lauenburger Tons ablagerten. Moränenablagerungen (Tille) aus der Elsterkaltzeit stehen im Projektareal nicht an.

Das mächtigste Schichtpaket im Untersuchungsraum bilden die saalekaltzeitlichen Ablagerungen. Man unterscheidet dabei wieder zwischen drei Eisvorstößen, die im Wechsel mit Schmelzwasserablagerungen stehen:

- Schmelzwasserablagerungen
- Ältere Saale-Moräne (Drenthe-1-Moräne oder Drenthe-Moräne)
- Schmelzwasserablagerungen
- Mittlere Saale-Moräne (Drenthe-2-Moräne oder Niendorfer Moräne)
- Schmelzwasserablagerungen
- Jüngere Saale-Moräne (Warthe-Moräne oder Fuhlsbüttler Moräne)

Im Hamburger Raum beginnt die saalezeitliche Schichtfolge mit Schmelzwassersanden, die über 10 m mächtig werden. Teils können Fremdschollen von Lauenburger Ton innerhalb der Sande vorhanden sein, wie sie im Untersuchungsraum auch in den Bereichen Altona, Binnenalster/Hbf und S-Bahn-Halt Ottensen ab einer Tiefe von min.

Anlage 07 Baugrundgutachten

30 m u. GOK nachgewiesen sind. Diese wurden von den folgenden Gletschern aufgenommen und mit den Sanden verschuppt.

Im Hangenden folgen Ablagerungen der Älteren Saale-Moräne, die sogenannte Drenthe-Moräne bzw. der Drenthe-Till, der etwa im Durchschnitt 5 m bis 10 m, aber zum Teil auch über 30 m mächtig werden kann. Die Ältere Saale-Moräne ist ab 10 m bis teils ab 30 m unter Gelände zu erwarten.

Die dann folgenden Schmelzwasserablagerungen liegen weitestgehend westlich des Untersuchungsraums und liegen, falls vorhanden, nur in geringer Mächtigkeit vor.

Darüber folgt die Mittlere Saale-Moräne (Niendorfer-Till). Dieser tonige, meist kreide-reiche Till ist zwischen einigen Metern und 20 m mächtig und liegt in vielen Bereichen des Untersuchungsraums relativ nah unterhalb des Geländes vor (einige Meter bis ca. 10 m u. GOK).

Die zwischen Mittlerer und Jüngerer Saale-Moräne folgenden Schmelzwassersande sind relativ geringmächtig, da die Hauptentwässerung über das Elbtal erfolgte.

Auch die Jüngere Saale-Moräne (Fuhlsbüttler-Till) weist im Untersuchungsraum nur eine geringe laterale Ausdehnung und auch nur eine geringe Mächtigkeit auf. In kleineren Bereichen bzw. Flecken steht sie meist direkt oberhalb der Mittleren Saale-Moräne an und ist nur teilweise durch die älteren Schmelzwasserablagerungen von ihr getrennt.

In der sogenannten Eem-Warmzeit, die auf die Saale-Kaltzeit folgt, haben sich überwiegend nördlich der Elbe entlang von alten Rinnensystemen Torfe, Mudden und Kalkmudden abgelagert. Diese stehen meist unter einigen Metern mächtigen Schmelzwassersanden der Weichsel-Eiszeit an, können einige Meter mächtig werden und stehen bis zu einer maximalen Tiefe von etwa 15 m bis 20 m u. GOK an. Im Untersuchungsraum sind sie vor allem nördlich der Bestandsstrecke fleckenartig verbreitet, wobei ein großflächigeres Vorkommen im Bereich der U-Bahnhaltestelle Christuskirche vorkommt. Durch die aufliegenden Weichsel-Schmelzwassersande haben sie eine gewisse Auflast erfahren.

In der folgenden Weichsel-Kaltzeit drang das Eis nicht mehr bis zum Untersuchungsraum vor, sodass keine Moränenablagerungen aus dieser Zeit zu finden sind. Es wurden jedoch wiederum Schmelzwassersande mit einer Mächtigkeit von wenigen Metern bis hin zu 20 m abgelagert.

Da der gesamte Untersuchungsraum innerstädtisch liegt, treten über weite Strecken anthropogene Böden als oberstes Schichtglied auf und schließen die Schichtfolge zur Geländeoberkante hin ab.

Im Kapitel 4 sind Schnitte zu den einzelnen Stationen enthalten, geologische-geotechnische Längsschnitte durch die Tunnelachsen sind im 3D-Modell eingehängt.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Eine Besonderheit im Hamburger Untergrund stellen die im Perm entstandenen Salzstöcke (Salzdiapire) dar. Der größte Salzstock ist der Othmarschen-Langenhelde Diapir (OLD) der sich von der Elbe bis in den Hamburger Norden nach Quickborn erstreckt, und überwiegend außerhalb des Modellgebiets, westlich der Bahnstrecke Altona - Diebsteich liegt. Der Salzstock ist bis zu 3000 m tief und reicht in einigen Bereichen sehr nah an die Oberfläche. Dem Geoportal Hamburg zufolge liegt die Bestandsstrecke im Bereich zwischen Holstenkampbrücke und Diebsteich im Grenzbe- reich bzw. teilweise knapp oberhalb des im Untergrund liegenden Salzstocks. Nach dem geologischen Profilschnitt Nord-Süd 4a/4b [U 8] (Ausschnitt siehe Abb. 3) sowie dem Schnitt Rissen 6 liegt der Salzstock in diesem Bereich nur etwa 20 m u. GOK. In 4 Bohrungen (6038 D450, 6038 D490, 6038 D118, 6038 D122) im Bereich des Ziegelsees (außerhalb des Modellbereichs) wurden Ablagerungen angesprochen, die auf das Antreffen des Salzstocks hinweisen (Gips, Residualsedimente, Zechstein). In den Erläuterungen zur geologischen Karte [U 1] ist das Antreffen der Hutgesteine des Salzstockes im Bereich des Ziegelsees ebenfalls beschrieben.

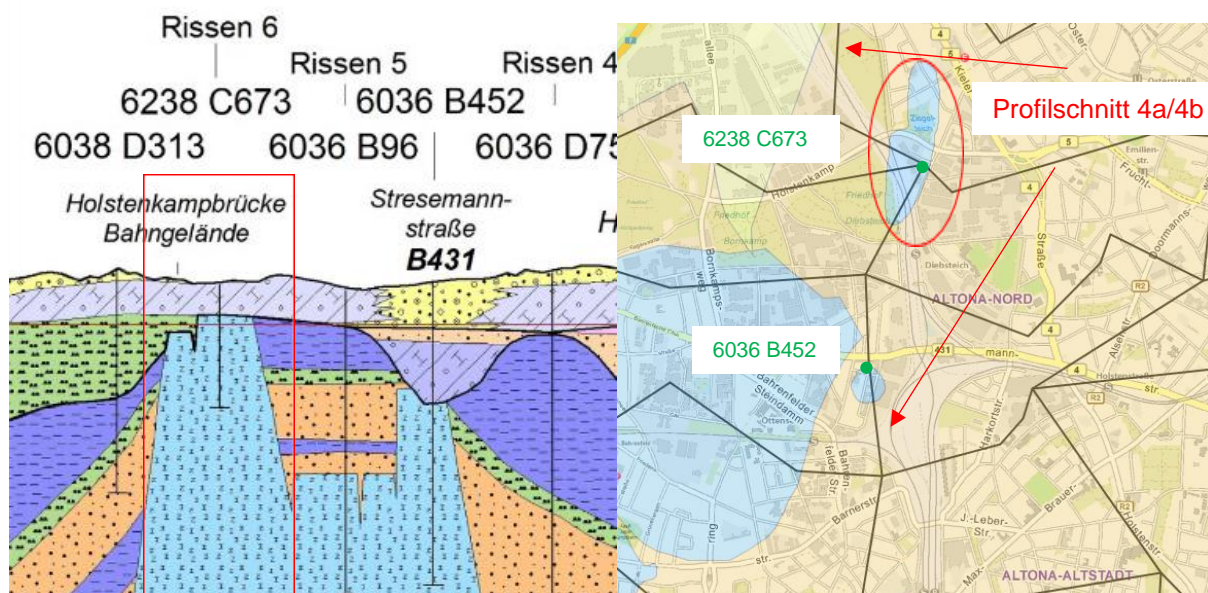


Abb. 3: links: Ausschnitt aus Profilschnitt Nord-Süd 4a, 4b; rechts: Lage des Profilschnitts mit den an Quartärbasis folgenden Einheiten hinterlegt (blau: Salzstock, orange: Oberer Glimmerton (Tertiär), gelb: Pliozän (Tertiär), mit Lage des oberflächennahen Bereichs des Salzstocks in rot und den beiden nicht öffentlichen Bohrungen, die den Salzstock belegen in grün (aus [U 8]).

Im Modellgebiet im Bereich der Holstenkampbrücke wurde in 2 Bohrungen (6038 D106, 6038 D107) beschrieben, dass das Tertiär einem Einfluss des Salzstockes unterliegt. Welcher Einfluss festgestellt wurde ist nicht erläutert.

In den beiden Bohrungen 6238 C673 und 6036 B452 (nicht öffentlich verfügbar), die im online verfügbaren geologischen Profilschnitt Nord-Süd 4a/4b (siehe Abb. 3) angedeutet sind, wurde direkt unterhalb des Quartärs der Salzstock nachgewiesen, so dass auf dieser Grundlage der Salzstock ebenfalls in das Baugrundmodell in diesem

Bereich aufgenommen wird. Die Datenlage zum Salzstock ist jedoch auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Unterlagen sehr dünn und somit sollten im relevanten Modellbereich im Laufe der weiteren Planungsphasen hierzu dringend weitere Erkundungen durchgeführt werden (siehe Kap. 5).

2.2 Schichtbeschreibungen

Nachfolgend werden die oben zeitlich getrennten stratigraphischen Einheiten, anhand ihrer baugrundspezifischen Eigenschaften, zu Baugrundsichten zusammengefasst.

2.2.1 Schicht 1: Anthropogene Böden

Über weite Bereiche treten an oberster Stelle anthropogene Böden (Auffüllungen) im Modellbereich auf. Ihre Mächtigkeit beläuft sich auf wenige Dezimeter bis hin zu etwa 15 m bis 20 m u. GOK im Bereich des Hamburger Hauptbahnhofes (Bauwerkshinterfüllungen, Verkehrswegebau) oder im Bereich nördlich der Station Diebsteich (Dammschüttungen des Bestands).

Bodenmechanisch sind sie nach der Ansprache innerhalb der Bohrprofile vor allem als Sande mit unterschiedlich hohen Beimengungen von Kies, Schluff und Ton zu beschreiben. Untergeordnet können auch kiesig, sandige Tone/Schluffe oder sandige, schluffig-tonige Kiese vorkommen. Bereichsweise sind Bauschutt, Asphalt oder organische Beimengungen innerhalb der anthropogenen Böden beschrieben.

Nach DIN 18196:2011-05 ist mit den Bodengruppen SW, SE, SI, SU/SU*, UL/UM, TL/TM, GU/GU*, GW, GE, GI, OH zu rechnen.

Die anthropogenen Böden können erfahrungsgemäß Grobkomponenten bis hin zur Stein- bzw. Blockgröße enthalten. Die Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der Auffüllungen ist aufgrund der unterschiedlichsten Entstehungsgeschichten als sehr heterogen zu erwarten (locker bis dicht bzw. weich bis halbfest). Es ist mit anthropogenen Verunreinigungen in Form von Schwermetallen, PAKs oder MKWs zu rechnen.

2.2.2 Schicht 2: Torfe, Schluffe, Mudden der Eem-Warmzeit

Vor allem im nördlichen Bereich des Untersuchungsraums im Bereich der U-Bahnstation Christuskirche und teils im Bereich des Bestandshalts Dammtor liegen zwischen einigen Metern und bis zu 15 m mächtige Torfe und Mudden vor. Diese, in ehemals vorhandenen Entwässerungsrinnen entstandenen, Schichten liegen unterhalb von weichselzeitlichen Sandablagerungen vor und sind aufgrund dessen in gewisser Weise vorbelastet, jedoch trotzdem als setzungsempfindlich einzustufen. Die Torfe sind als nicht bis mäßig zersetzt (HN-HZ nach DIN 18196: 2011-05) zu beschreiben, die Mudden sind als Sand-Schluff-Gemische zu beschreiben (F nach DIN 18196: 2011-05) es können ebenfalls Bodengruppen im Bereich von UL/UM und

TL/TM sowie OU vorkommen. Aufgrund des hohen Wassergehaltes kann es bei Grundwasserabsenkungen oder Drainagemaßnahmen zu deutlichen Setzungen innerhalb und oberhalb der Schicht 2 kommen.

2.2.3 Schicht 3: Schmelzwasserablagerungen der Elster-, Saale- und Weichseleiszeit

Unter Schicht 3 sind alle Schmelzwasserablagerungen der Elster-, Saale- und Weichseleiszeit bodenmechanisch bzw. geotechnisch zusammengefasst. In der Weichseleiszeit können ebenfalls Geschiebedecksande bzw. Niederungssande auftreten, die ebenfalls bodenmechanisch mit in Schicht 3 fallen. Die Schmelzwassersande stehen in Wechsellagerung mit den Moränenablagerungen (Schicht 4) an. Bereichsweise können sie dazwischen ausbleiben bzw. wieder ausgeräumt worden sein. Sie können aber auch ohne dazwischenliegende Moränenablagerungen über und unter älteren bzw. jüngeren Schmelzwassersanden auftreten (wie zum Beispiel im recht zentralen Bereich zwischen HP Sternschanze und HP Holstenstraße).

Somit treten die Schmelzwassersande bereichsweise ab Geländeoberkante bzw. unterhalb der anthropogenen Böden auf und können bis zur Quartärbasis in 15 m bis mehr als 60 m Tiefe reichen. Bodenmechanisch handelt es sich meist um weitgestufte Fein- bis Mittelsande bzw. Fein- bis Grobsande mit unterschiedlich hohen Beimengungen an Kies und vereinzelt Steinen. In [U 1] sind ebenfalls teils hohe Kies- und Steinanteile beschrieben. Oft stehen auch reine Sande an. Gelegentlich sind schluffige Beimengungen beschrieben. Nach DIN 18196:2011-05 ist mit den Bodengruppen SW, SE, SI, SU/SU* und untergeordnet mit GW, GE, GI zu rechnen.

Abgesehen von den oberen Dezimetern und vereinzelt untergeordnet vorhandenen Linsen und Lagen liegen die Schmelzwasserablagerungen in mitteldichter bis dichter Lagerung vor.

Der äquivalente Quarzgehalt kann bis zu 90 % betragen, auch können magmatische Komponenten vorherrschen. Größere Komponenten, Steine, Blöcke und Findlinge können nicht ausgeschlossen werden.

2.2.4 Schicht 4: Moränenablagerungen (Tille) der Saaleeiszeit (ältere, mittlere und jüngere Saale-Eiszeit)

In Wechsellagerung mit den Schmelzwasserablagerungen stehen im Projektbereich drei Tille (Geschiebelehme und -mergel/ Moränen) der Saaleeiszeit an. Die jüngsten Ablagerungen (Fuhlsbüttler-Moräne) (Schicht 4a) sind nur an einigen Stellen verbreitet. Vor allem im Bereich des Parks „Planten und Blumen“, des Haltepunkts Schlump und des Haltepunkts Holstenstraße, sowie jeweils nördlich und südlich davon liegen sie etwa ab GOK bzw. 10 m unter GOK mit einer Mächtigkeit von bis zu 6 m vor. Großräumig treten unterhalb der jüngeren Saale-Moräne bzw. den obersten Schmelzwassersanden Ablagerungen der mittleren Saale-Moräne (Niendorfer-Moräne)

(Schicht 4b) auf. Die Ablagerungen treten teils schon knapp unter Geländeoberkante bis teils ab 20 m u. GOK auf und liegen mit Mächtigkeiten von einigen Metern bis hin zu 20 m vor. Als unterste und älteste Moränenablagerung folgt die ältere Saale-Moräne (Drenthe-Moräne) (Schicht 4c). Sie tritt nach einer weiteren Lage von Schmelzwassersanden auf, kann aber bereichsweise auch direkt unterhalb der Niendorfer-Moräne folgen. Ihre Mächtigkeit beläuft sich auf wenige Meter bis hin zu 50 m.

Bodenmechanisch handelt es sich bei den Moränenablagerungen um Sand-Schluff-Gemische, bei denen einerseits der Sand- andererseits der Schluffanteil überwiegt, wobei die bindige Matrix die bodenmechanischen Eigenschaften bestimmt. Im Allgemeinen sind die mittlere und die jüngere Saale-Moräne etwas sandiger als die ältere Saale-Moräne ausgebildet. Trotzdem sind alle drei Moränen als grundwasserhemmend einzustufen.

Es liegen sandige bis stark sandige, schwach tonige bis tonige, schwach kiesige bis kiesige Schluffe, schluffige bis stark schluffige, schwach tonige bis tonige, schwach kiesige bis kiesige Sande bzw. schwach tonige bis tonige, schwach kiesige bis kiesige Sand-Schluff-Gemische vor. Untergeordnet können unregelmäßige Einschaltungen von Geschiebe bis hin zur Steingröße, selten auch bis hin zur Blockgröße vorkommen. Wirkliche Findlinge oder grobes Geschiebe ist in den Bohrungen und auch in den Erläuterungen [U 1] nicht beschrieben. Damit muss aber aufgrund der Genese gerechnet werden. Im Bereich der Geländeoberkante bis hin zu einigen Metern unter Gelände liegen die Moränenablagerungen verwittert bzw. verlehmt vor (Geschiebelehm) und zeichnen sich durch einen geringeren Kalkgehalt und eine steife Konsistenz aus. Nach unten nimmt der Kalkgehalt zu und die Moränenablagerungen (Geschiebemergel) weisen eine zumeist halbfeste Konsistenz auf. Der äquivalente Quarzgehalt kann bis zu 70 % betragen, auch können magmatische Komponenten vorherrschen.

Nach DIN 18196:2011-05 ist mit den Bodengruppen SW, SE, SI, SU/SU*, UL/UM, TL/TM, GU/GU*, GW, GE, GI zu rechnen.

Untergeordnet können innerhalb der bindigen Moränenablagerungen Sand- oder Kieseinschaltungen vorkommen. Diese wurden, falls sie im Bereich der geplanten Trassen vorkommen, als extra Schichtpaket ausgewiesen und sind bodenmechanisch der Schicht 3 zuzuordnen.

2.2.5 Schicht 5: Lauenburger Ton

In drei Bereichen (siehe Kap. 2.1) steht ab einer Tiefe von 30 m u. GOK bzw. tiefer der Lauenburger Ton, ein Beckensediment, im Modellbereich an. Die Linsen sind zwischen einigen Metern bis hin zu 15 m mächtig und bestehen bodenmechanisch aus tonigen bis stark tonigen, schwach sandigen Schluffen in zumeist steifer Konsistenz. Die Lauenburger Tone sind trotz einer gewissen Vorbelastung durch Gletscherauflast als setzungsempfindlich zu beschreiben.

2.2.6 Schicht 6: Tertiär, undifferenziert

Unterhalb der beschriebenen quartären Sedimente folgen ab einer Tiefe von teils 15 m u. GOK bis teils weit über 60 m u. GOK die tertiären Ablagerungen aus dem Miozän.

Vor allem im Bereich Altona und Diebsteich liegen die tertiären Sedimente mit 15 m bis 30 m u. GOK oberflächennah vor, dies gilt auch für den Bereich Feldstraße. Im Bereich Holstenstraße wird die Quartärbasis bzw. das Tertiär mit der vorliegenden Modelltiefe von 60 m nicht erreicht.

Die tertiären Ablagerungen werden im Hamburger Raum zunächst durch Glimmertone repräsentiert. Bei den Glimmertonen handelt es sich um schwach sandige bis sandige Schluffe und Tone in halbfester Konsistenz. Sie sind geologisch vorbelastet und sie sind zumeist mittelplastisch bis ausgeprägt plastisch. Nach DIN 18196:2011-05 ist mit den Bodengruppen UL/UM/UA, TL/TM/TA zu rechnen.

In einigen Bohrungen wurden im Untersuchungsbereich ebenfalls Glimmersande oder die unterhalb der Glimmertone folgenden Braunkohlesande erkundet. Nach DIN 18196:2011-05 liegen für die Glimmersande die Bodengruppen SW, SE, SI, SU/SU* vor.

2.2.7 Schicht 7: Salzstock mit Hutgesteinen (Gips, Anhydrit, Tonstein und andere)

Im westlichen Modellrandbereich (siehe Kap. 2.1) liegt bereichsweise recht oberflächennah der Othmarschen-Langenfelde Diapir unterhalb des Tertiärs bzw. teilweise direkt unterhalb des Quartärs vor. Dieser Salzstock wird als Doppelsalinar bezeichnet, da sich einerseits Salinare des Rotliegenden und andererseits darüber Salinare des Zechsteins am Aufbau des Diapirs beteiligen.

Der Salzstock weist steile Flanken auf und wird von Hutgesteinen von etwa 100 m Mächtigkeit nach oben hin abgeschlossen. Die Hutgesteine haben sich durch Ablaugeprozesse im Grundwasserbereich gebildet. Das besser lösliche Salz löste sich und wurde abtransportiert und die etwas schwerer löslichen Gipse schlossen sich zu einem Gipshut zusammen.

Im Bereich der ehemaligen Kallmorgenschen Tongrube (Ziegelteich) unmittelbar nordöstlich der Holstenkampbrücke, knapp außerhalb unseres Modellgebiets) wurden Ende des 19. bis Anfang des 20. Jahrhunderts Glimmertone (Schicht 6) und Kapseltone (mit Gipslinsen durchsetzt) zur Ziegelherstellung abgebaut. Um die Jahrhundertwende wurde in der Tongrube die Spitze des Gipshutes des Salzstockes (OLD) erreicht. Auch Bohrungen im Teilmodell Bohrungen weisen in diesem Bereich auf das Antreffen des Salzstockes bzw. dessen Hutgestein hin.

Der Salzstock ragt in diesem Bereich (nördlich Diebsteich bis etwa 20 m u. GOK) empor. Die Hutgesteine, die zunächst anstehen, lassen sich als Gipse mit kalkhaltigem Sand oder Tonmergel und Letten beschreiben. Erst in einer Tiefe von über 100 m

unter Gelände ist mit Steinsalz, ebenfalls in Wechsellagerung mit Gipsen, Anhydriten und Tonsteinen zu rechnen.

Aufgrund von Lösungsprozessen, die große Hohlräume innerhalb des Salzstocks bedingen können, traten in der Vergangenheit regional gesehen mehrere Erdfälle über dem Salzstock auf. Pausen sich diese Einstürze nicht bis an die Geländeoberfläche durch, können sie über seismische Erschütterungen erkannt werden.

Gemäß Bestandsgutachten diverser Bauvorhaben im Umfeld sind jedoch lokal gesehen keine Auswirkungen der vorhandenen Salzstruktur, wie z.B. durch Auslaugungen bedingte Erdfälle oder Senkungsgebiete bekannt, zudem gibt es für den Bereich (Station Diebsteich) keine Hinweise hierzu in einschlägigen geologischen Veröffentlichungen.

2.3 Hydrogeologische Verhältnisse

2.3.1 Oberflächengewässer

Im Osten prägt die Alster das Modellgebiet. Vom Hauptbahnhof kommend quert die Bestandsstrecke die Alster bzw. die Alsterseen und trennt sie in die südwestliche Binnenalster und die nordöstliche Außenalster. Die Außenalster wird von Norden von der Alster gespeist und ist bis etwa 4,5 m tief. Durch nahe an der Kennedybrücke liegende Bohrungen wurden Wassertiefen von 2 m bis 3 m erkundet. Die südlich angrenzende Binnenalster wird von der Außenalster gespeist und durch den Jungfernstieg als Dammbauwerk rückgehalten. Über die Kleine Alster und das Alsterfleet mündet die Alster in der südlich liegenden Elbe. Folgt man der Bestandsstrecke nach Westen quert sie den Park „Planten und Blumen“, in dem mehrere kleine Teiche, der Wallgraben sowie der große Parksee als stehende Oberflächengewässer vorliegen. Sonst liegen keine größeren Oberflächengewässer im Modellgebiet vor.

2.3.2 Niederschlagssituation

Nach dem Deutschen Wetterdienst [U 9] liegt der Mittlere Jahresniederschlag im Bereich einer Niederschlagshöhe von 800 mm (Periode 1981-2010). Für die hydrologische Klimabilanz (Periode 1961-1990) wird ein Wert von 100 mm bis 200 mm angegeben.

2.3.3 Überschwemmungsgebiete, wassersensible Bereiche, Schutzgebiete und Bodendenkmäler

Nach dem online verfügbaren „Geoportal Hamburg“ bzw. nach der Schutzgebietskarte der Stadt Hamburg liegen im Untersuchungsareal, abseits der Haltestelle Diebsteich keine Schutzgebiete (Vogelschutz-, Naturschutz-, Landschaftsschutzgebiete, o.ä.) vor. Nord-westlich an die Station Diebsteich Ic (inkl. Nördlicher Anbindung), tw.

Anlage 07 Baugrundgutachten

noch im Eingriffsbereich, grenzt das Landschaftsschutzgebiet Altona Südwest, Otten- sen, Othmarschen, Klein Flottbek, Nienstedten, Dockenhuden, Blankenese, Rissen (Gebietsnr. HH-2003 Teilfläche 5). Nach der Interaktiven Karte zu Überschwem- mungsgebieten in Hamburg liegt das Modellgebiet außerhalb von Überschwem- mungsgebieten.

Nach dem online verfügbaren „Geoportal Hamburg“ befinden sich im Bereich des Projekts zahlreiche Bau-, Garten- und Gewässerdenkmäler.

2.3.4 Grundwassersituation

Im Modellgebiet ist das oberflächennahe Grundwasser (Grundwasserkörper 1, Abb. 4) von Bedeutung bzw. relevant für die geplanten Baumaßnahmen. Den Grundwas- serleiter innerhalb der Hamburger Geest bzw. im Untersuchungsraum bilden die saa- lezeitlichen bzw. bereichsweise die darüber liegenden weichselzeitlichen Schmelz- wassersande. Den Grundwasserstauer bilden die Moränenablagerungen, hier vor al- lem die älteste Saale-Moräne (Drenthe-Moräne), bereichsweise aber auch das da- runter folgende bindige Tertiär (Glimmertone). Teils liegen die jüngeren Moränenab- lagerungen direkt auf der älteren Saale-Moräne auf, sodass in diesen Bereichen kein Grundwasserleiter ausgebildet ist. Bereichsweise liegt auch kein Grundwasserstauer vor, sodass davon auszugehen ist, dass das quartäre Grundwasser ein zusammen- hängender Grundwasserkörper ist, der durch die Moränenablagerungen bereichs- weise gespannt vorliegt.

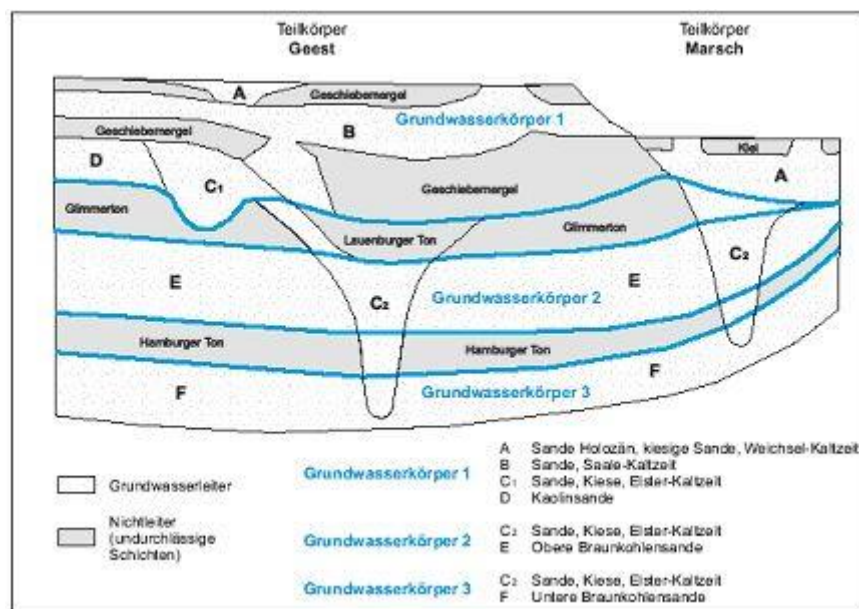


Abb. 4: Schematische Darstellung der drei Grundwasserleiter im Raum Hamburg, links im Bereich der Geest, wie im Modellgebiet (aus [U 10]).

Die mittlere Grundwasserhöhe im Modellbereich (hydrologisches Jahr 2010) liegt zwischen 1 m NHN südlich des Hauptbahnhofes und 16 m NHN zwischen westlichem Rand des Stadtteils Altona- Altstadt und Altona-Nord. Die maximalen

Grundwasserstände (hydrologisches Jahr 2018) liegen zwischen 1,5 m NHN (Hbf) und 17 m NHN (Altona) also etwa 1 m über dem mittleren Grundwasser [U 7]. Der Grundwasserflurabstand liegt zwischen knapp unterhalb des Geländes im Bereich südwestlich des HP Sternschanze und bis zu etwa 14m u. GOK im Bereich zwischen Altona-Altstadt und Altona-Nord.

Die Grundwasseroberfläche ist im Modell als Potentiallinie eingezeichnet. Das heißt, falls das Potential innerhalb der stauenden Schichten der Moränenablagerungen (Schicht 4) liegt, befindet sich der Grundwasserleiter unterhalb der stauenden Schichten und das Grundwasser liegt in diesem Bereich gespannt vor.

Aufgrund der regen Wechsel der stauenden Horizonte und des bereichsweise ausbleibenden Grundwassers bzw. Grundwasserleiters ergibt sich im Untersuchungsraum ein häufiger Wechsel der Grundwasserfließrichtungen. Südlich des Hauptbahnhofes und auch südlich der Station Altona ist die Fließrichtung nach Süden bzw. zur Elbe hin, gerichtet. Im nördlicheren Untersuchungsraum ergibt sich eher eine West-Ost gerichtete Fließrichtung hin zur Binnen- bzw. Außenalster.

2.3.5 Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes

Die Wasserdurchlässigkeit der verschiedenen geologischen Schichten wurde mit Erfahrungswerten abgeschätzt und quantifiziert [U 1].

Erfahrungsgemäß verfügen die bindigen Schichten (bindige Auffüllungen, Torfe, Mud- den und Moränenablagerungen; Schicht 1, Schicht 2 und Schicht 4) über geringe Durchlässigkeiten mit k_f -Werten zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Sie sind als „schwach durchlässig“ bis „sehr schwach durchlässig“ zu klassifizieren. Der Lauenburger Ton (Schicht 5) sowie die Glimmertone (oberstes Schichtglied, Schicht 6) weisen noch geringere Anteile an Sand auf und haben erfahrungsgemäß Durchlässigkeiten von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s und $1 \cdot 10^{-10}$ m/s und sind als „schwach durchlässig“ bis „sehr schwach durchlässig“ zu klassifizieren.

Die Schmelzwassersande (Schicht 3) weisen eine Durchlässigkeit auf, die von ihrem Anteil an bindigen Beimengungen und ihrer Lagerungsdichte abhängt. Typisch für ihre Genese und Zusammensetzung weisen sie Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s auf.

2.3.6 Grundwasserbeschaffenheit

Das Grundwasser der saalekaltzeitlichen Schmelzwassersande im Bereich der Geest weist nach [U 1] erhöhte Chlorid- und Sulfatgehalte auf. Da das Grundwasser oft nicht durch eine stauende, schützende Deckschicht abgedeckt vorliegt, sind die Chloridgehalte aufgrund von Streusalzanwendungen erhöht. Die Sulfatgehalte sind aufgrund der abstromigen Lage zum Salzstock „Othmarschen-Langenhofen“ erhöht, die durch Auslaugungsprozesse des Gipses entstehen. Somit ist mit betonangreifenden Grundwässern im Untersuchungsbereich zu rechnen.

3 Bewertung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse

3.1 Erdbebengefährdung

Nach der vormals gültigen Fassung der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (seit Juli 2021 zurückgezogen) befindet sich das Untersuchungsgebiet außerhalb von Erdbebenzonen, in einem Gebiet mit sehr geringer seismischer Gefährdung und in dem gemäß des zugrunde gelegten Gefährdungsniveaus rechnerisch die Intensität 6 nicht erreicht wird.

Mit der Neuauflage der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 im Juli 2021 entfällt die bisherige Einteilung in Erdbebenzonen. Anstatt dessen muss zur Ermittlung der tatsächlich am Standort zu berücksichtigenden Beschleunigungen die spektrale Antwortbeschleunigung für Fels im Plateaubereich $S_{aP,R}$ aus der online verfügbaren interaktiven Karte (<http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16/index.html>) für den Standort herausgelesen werden.

Für den Standort (Freie Hansestadt Hamburg) wird in der interaktiven Karte keine spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ angegeben. Somit ist der Standort auch nach DIN EN 1998-1/NA:2021-07 als ein Gebiet mit sehr geringer Seismizität einzustufen.

3.2 Baugrundmodell

Der Baugrund im Untersuchungsareal lässt sich baugrund- bzw. geotechnisch als ein 7-Schichten-Modell darstellen.

Über weite Strecken stehen im urbanen und anthropogen geprägten Modellraum oberflächennah anthropogene Böden (Schicht 1) an, die aufgrund ihrer heterogenen bodenmechanischen Ausbildung und Lagerungsdichte bzw. Konsistenz als nur bedingt tragfähig zu werten sind. Darunter folgen in einigen Bereichen Torfe, Mudden oder bindige Ablagerungen der Eem-Warmzeit (Schicht 2), die aufgrund ihrer organischen Bestandteile und des hohen Wassergehalts als (sehr) gering tragfähig und äußerst setzungsempfindlich zu werten sind. Im Liegenden folgt eine Wechsellagerung der Schmelzwassersande (Schicht 3) und der Moränenablagerungen (Schicht 4a-c). Die Schmelzwassersande sind zumeist mitteldicht bis dicht gelagert, können aber auch lockere Partien aufweisen. Sie fungieren als Grundwasserleiter und neigen bei Gleichkörnigkeit bei Anschnitt (Böschungen, Ortsbrust o.ä.) zum Ausfließen. Bereichsweise kann der Kies- bzw. Steinanteil sehr hoch sein, sodass dieser als Rammhindernis wirken kann. Im Allgemeinen sind die Schmelzwasserablagerungen als gut tragfähig zu werten. Die Moränenablagerungen werden von ihren bindigen Eigenschaften geprägt und sind als zumeist halfest zu beschreiben. In den oberen angewitterten Metern können auch steife Konsistenzen auftreten. Sie fungieren als Grundwasserhemmer, können aber bereichsweise untergeordnet Sand- bzw. Kieslinsen (Schicht 3) enthalten, die wasserführend sein können. Einschaltungen von Kiesen

Anlage 07 Baugrundgutachten

und Steinen (Geschieben) sind eher als unregelmäßig beschrieben, es ist aber damit zu rechnen. Auch Grobkomponenten bis hin zur Blockgröße können nicht ausgeschlossen werden. Die Moränenablagerungen sind als gut tragfähig zu beurteilen.

Die punktuell in einigen Bereichen im Liegenden folgenden Lauenburger Tone (Schicht 5) liegen deutlich unterhalb der Stationen und der Tunneltrassen und sind für die nachfolgende Beurteilung und Interpretation nicht relevant.

An der Basis des Baugrundmodells folgen die tertiären Sedimente (Schicht 6) die zunächst mit mehreren Zehnermeter mächtigen Glimmertonen anstehen. Die Glimmertone sind zumeist halbfest ausgebildet und mittelplastisch bis ausgeprägt plastisch und weisen somit ein erhöhtes Verklebungspotential auf. Ihre Tragfähigkeit ist als mäßig bis gut zu charakterisieren.

Im Bereich der Station Diebsteich kommt der Salzstock (Schicht 7) nah an die Geländeoberfläche. Unmittelbar im Stationsbereich liegt er zwischen 40 m und > 60 m u. Gelände und somit zwischen 20 m und > 40 m unterhalb der Stationsunterkante. Ist der Salzstock tatsächlich in etwa so ausgebildet wie modelliert spielt er für das Bauvorhaben keine entscheidende Rolle. Dies sollte jedoch mit einigen tiefreichenden Bohrungen im weiteren Planungsverlauf verifiziert werden.

3.3 Charakteristische Bodenkennwerte

Auf Grundlage von Erfahrungswerten und unter Berücksichtigung der bodenmechanischen Kennwerte in den Erläuterungen der geologischen Karte [U 1], die auf Grundlage zahlreicher bodenmechanischer Versuche angegeben sind, ergeben sich folgende Spannweiten und charakteristische geotechnische Parameter der anstehenden Lockergesteine (Tab. 1). Die dargestellten Kennwerte stellen gemäß DIN 1054:2021-04 vorsichtige Schätzungen der charakteristischen Werte (Mittelwert) dar.

Tab. 1: Zusammenstellung der charakteristischen geotechnischen Bodenparameter der Lockergesteine.

Bezeichnung	Schicht 1 ¹⁾ (anthropogenen Böden)	Schicht 2 (Torfe, Schluffe Mudden)	Schicht 3 (Schmelzwasserablagerungen)	Schicht 4 (Moränenablagerungen)	Schicht 6 (Tertiär, Glimmerton)
Wichte γ , γ_k [kN/m ³]	18-20 19	11-18 14	19-21 20	20-23 21	18-22 20
Wichte unter Auftrieb γ' , γ'_k [kN/m ³]	8-11 9	3-9 6	10-12 11	10-13 11	8-12 10
Reibungswinkel φ' , φ'_k [°]	25-35 27,5	16-21 18	30-35 32,5	25-30 27,5	20-30 25
Kohäsion c' , c'_k [kN/m ²]	0-2 0	2-6 4	0-2 0	5-40 10	5-40 15

Anlage 07 Baugrundgutachten

Bezeichnung	Schicht 1¹⁾ (anthropogenen Böden)	Schicht 2 (Torfe, Schluffe Mudden)	Schicht 3 (Schmelzwasserablagerungen)	Schicht 4 (Moränenablagerungen)	Schicht 6 (Tertiär, Glimmerton)
undrainierte Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	-	9-13 11	-	30-250 100	80-300 150
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	5-40 15	1-8 2	30-70 50	10-60 40	10-60 40
Lagerungsdichte/ Konsistenz	locker-dicht weich-halbfest	breiig-steif	mitteldicht- dicht (locker)	halbfest (weich-steif)	halbfest (steif)
Abrasivität (AFNOR NF P18- 579:2013 02)	schwach abrasiv- abrasiv	nicht abrasiv	abrasiv-stark abrasiv	kaum abrasiv-stark abrasiv	schwach abrasiv
Durchlässigkeits- beiwert, k_f [m/s]	1×10^{-3} - 1×10^{-8}	1×10^{-6} - 1×10^{-9}	1×10^{-3} - 1×10^{-5}	1×10^{-6} - 1×10^{-9}	1×10^{-8} - 1×10^{-10}

- 1) Bei den angegebenen Kennwerten der anthropogenen Böden handelt es sich um einen vorsichtigen Mischwert der heterogen ausgebildeten anthropogenen Böden (bindige, gemischtkörnige oder grobkörnige Böden)

Der Schicht 5 wurden aufgrund der Tiefenlage weit unter den geplanten Stationen und der Tunneltrassen keine Kennwerte zugewiesen.

Für Schicht 7 (Gesteine des Salzstocks) liegen kaum Bohrungen vor und die lithologische bzw. bodenmechanische Ansprache fehlt in den Bestandsaufschlüssen meist zur Gänze. Somit können für dieses Schichtglied zum momentanen Planungszeitpunkt noch keine Kennwerte vergeben werden. Hier bedarf es in den relevanten Bereichen (Diebsteich/Altona) um detaillierte Nacherkundungen (siehe Kap. 5).

4 Bautechnische Folgerungen aus geologischer Situation

4.1 Tunnelbauwerke bzw. geschlossene Bauweise

Der Erfolg eines jeden Tunnelvortriebs hängt von der sicheren Beherrschung des Baugrundes und den darin liegenden Gefahren ab. Auf Grundlage der Bestandsunterlagen und des daraus erzeugten 3D-Baugrundmodells sowie basierend auf Erfahrungswerten können mögliche Schlüsselprobleme entlang der Vortriebsstrecken und deren Gefährdungsbilder definiert werden. Diese sind in Tab. 2 zusammenfassend dargestellt. Dabei handelt es sich in erster Linie um eine allgemeine und qualitative Beschreibung der in den wechselgelagerten quartären Schichten zu erwartenden Bedingungen und Auswirkungen. Diese Schlüsselprobleme sollten anhand der folgenden Erkundungsphasen (siehe Kap. 5) näher gefasst und beschrieben werden, um eine Quantifizierung in Form von Eintretenswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß etc. zumindest als Prognose liefern zu können.

Tab. 2: Schlüsselprobleme und Gefährdungsbilder beim Untertagebau.

Schlüsselproblem	Gefährdungsbilder	Auswirkungen auf
Mixed-Face-Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche bodenmechanische Verhältnisse in einer Ortsbrust • Setzungsunterschiede in der Sohle 	<ul style="list-style-type: none"> • Vortriebsmethode bzw. Wahl der Lösewerkzeuge • Art des Stützmediums • Vortriebsgeschwindigkeit
Hohes Abrasivitätspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Verschleiß an Maschine, Lösewerkzeug, Förderleitungen und Separierungsanlage 	<ul style="list-style-type: none"> • Vortriebsgeschwindigkeit aufgrund Wartungsarbeiten • Wahl der Lösewerkzeuge
Quellfähige Tonminerale	<ul style="list-style-type: none"> • Verklebung der Lösewerkzeuge, in der Abbaukammer und in den Förderleitungen • Beeinflussung der Stützflüssigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Vortriebsgeschwindigkeit aufgrund von Wartungsarbeiten • Ausbau (z.B.: Innenschale)
Stark variierende Wasserdurchlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilitäten an der Ortsbrust 	<ul style="list-style-type: none"> • Art des Stützmediums
Gespannte Grundwasserhältnisse bis über Vortriebsniveau	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wasserdrücke und -andrang an der Ortsbrust 	<ul style="list-style-type: none"> • Art der Vortriebsmethode • Art des Stützmediums
Geringe Überlagerung beim Unterqueren von Gebäuden	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen im Gründungsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäude

4.1.1 Homogenbereiche Tunnelbauwerke bez. geschlossene Bauweise

Die Tunneltrassen (Variante 1 bis Variante 3) durchörtern, außer bei den Anbindungen an Diebsteich, Altona Mitte und Hauptbahnhof, Wechsellagerungen von Moränen- (Schicht 4) und Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3). Abschnittsweise reichen in Becken und Rinnen sedimentierte Ablagerungen der Eem-Warmzeit bis in die Firste. Hier wurden Torfe, Schluffe und Mudden (Schicht 2) abgelagert. Im Bereich

Anlage 07 Baugrundgutachten

der oberirdischen Anbindungen, insbesondere im Bereich Hauptbahnhof und Diebsteich können mächtigere, anthropogene Böden im Bereich der Ortsbrust anstehen. In den bindigen Moränenablagerungen ist mit erhöhtem Verklebungspotential zu rechnen. Die meist sandigen Schmelzwasserablagerungen, aber auch Torfe, Schluffe und Mudden sind wassergesättigt (teilweise sogar gespannt) und neigen zum Ausfließen. Die wasserhemmenden Lagen sind nicht durchgängig aufgeschlossen. Einzelne Grundwasserhorizonte sind nicht voneinander abgrenzbar.

Generalisierend lassen sich drei Homogenbereiche unterscheiden. Homogenbereich A liegt vollständig im Bereich einer Moränenablagerung, Homogenbereich C vollständig innerhalb der Schmelzwasserablagerungen. Im Homogenbereich B sind die bindigen und nichtbindigen Sedimente wechselgelagert:

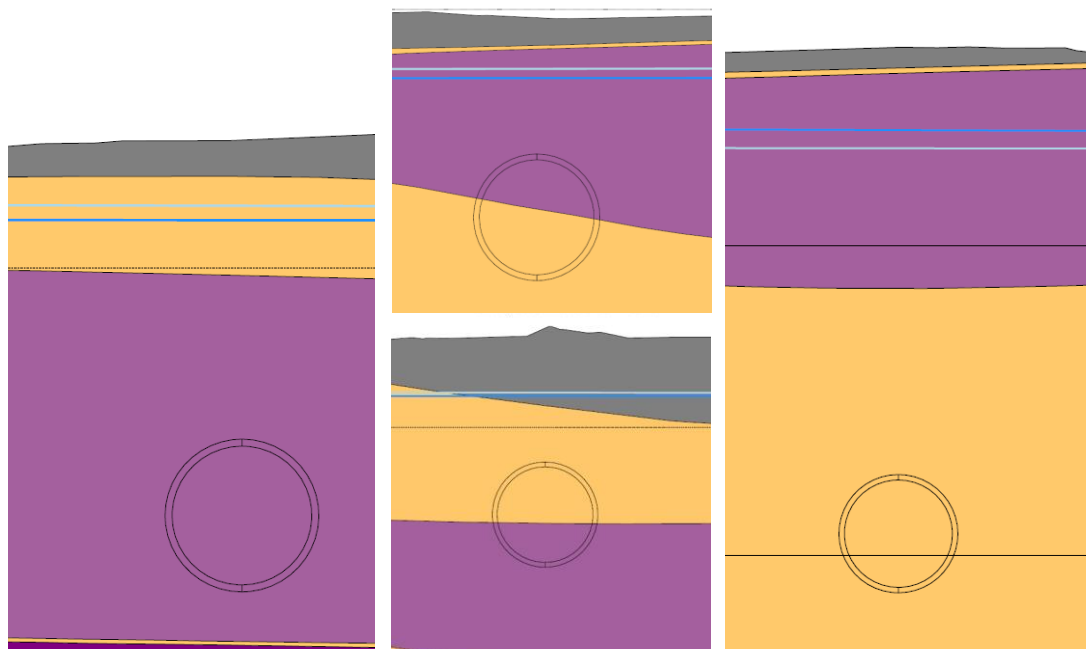


Abb. 5: links: Der komplette Tunnelquerschnitt befindet sich innerhalb der Moränenablagerungen (Homogenbereich A); Mitte: Homogenbereich B liegt im Bereich von einer Wechsellagerung von Schmelzwassersanden und Moränenablagerungen vor; rechts: Der Tunnelquerschnitt liegt ausschließlich in den Schmelzwassersanden (Homogenbereich C).

Bereichsweise können auch Teile der Ortsbrust im Bereich von anthropogenen Böden (Hbf) oder organischen Ablagerungen der Eem-Eiszeit (Alsenplatz) zu liegen kommen. Diese Bereiche treten prozentual gesehen nur sehr untergeordnet auf, so dass sie in dieser Planungsphase nicht weiter betrachtet werden. Für die weiteren Planungsschritte sind sie aber zu berücksichtigen.

Für die drei Streckenvarianten ist in etwa von nachfolgendem prozentuaalem Auftreten der drei Homogenbereiche auszugehen. Die Variante 1 und 2 ist jeweils noch

Anlage 07 Baugrundgutachten

untergliedert. Die Strecken Abzweig Diebsteich, Abzweig S32 und Altona-Diebsteich sind nicht gesondert aufgeführt:

Tab. 3: Abgeschätzte prozentuale Verteilung der Homogenbereiche für die einzelnen Trassenvarianten (Tunnelstrecken Hbf bis Abzweigbauwerk).

Variante	Homogenbereich A	Homogenbereich B	Homogenbereich C
1b (Nord)	34 %	51 %	15 %
1c (Nord)	21 %	54 %	25 %
2 (Süd)	20 %	60 %	20 %
2b (Süd)	19 %	48 %	33 %
3 (Mitte)	31 %	51 %	18 %

Bei allen Trassenvarianten überwiegt der Homogenbereich B sehr deutlich. Homogenbereich A und C kommen in etwa in gleichen Anteilen vor, wobei die maximale Länge dieser Homogenbereichsabschnitte bei 200 m bis 300 m liegt und darauf direkt wieder eine Wechsellagerung (Homogenbereich B) folgt.

Aufgrund der angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im gesamten Modellraum ist für alle Streckenvarianten ein Auffahren des Tunnels mittels einer Vortriebsmaschine zu empfehlen. Aufgrund baulicher Randbedingungen (zu unterfahrende Bauwerke, kreuzende U-Bahnlinien u.a.) werden in vielen Bereichen jedoch auch konventionelle bergmännische Vortriebe notwendig werden. Nachfolgend wird in allgemeiner Form zu beiden Varianten eine geologische, hydrologische und tunnelbautechnische Bewertung vorgenommen.

Generell ist anzumerken, dass der Tunnel für alle geplanten Varianten setzungsempfindliche Bauwerke unterquert, bei teils geringer Überlagerung.

4.1.2 Geschlossene Bauweise mit Vortriebsmaschine

In den anstehenden Bodenschichten, insbesondere innerhalb der Schicht 3 und Schicht 2 ist eine aktive Stützung der Ortsbrust erforderlich. Bei zu hohen Oberflächensetzungen ist eine Gefährdung existierender Bebauung gegeben.

Nach den Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelbohrmaschinen (DAUB 2021) kann hier eine Vorauswahl für folgende Tunnelvortriebsmaschinen erfolgen:

- Flüssigkeitsschild (Slurry Shield, SLS),
- Erddruckschild (Earth Pressure Balance Shield, EPB)

Bei Vortrieb mit SLS wird der Stützdruck über eine angepasste Bentonitsuspension aufgebracht. In den anstehenden Böden sollte sich ein äußerer Filterkuchen, in mittelkörnigen Sanden ein innerer Filterkuchen bilden. Mit Eindringung der Suspension

Anlage 07 Baugrundgutachten

in den Boden ist hingegen nur partiell in lokal eingeschalteten gröberen Lagen zu rechnen. Bei Einsatz von Additiven ist deren Umweltverträglichkeit zu prüfen.

Bei einem Vortrieb mit EPB-Schild besteht ein Risiko für die korrekte Konditionierung des Bodens. In der Wechsellagerung aus bindigen, wasserhemmenden Lagen und wassergesättigten Sanden, ist der natürliche Bergwasserzutritt schwer kalkulierbar. In diesem Zuge ist das Verklebungspotential erhöht. Gegebenenfalls können geeignete Zusätze (Bentonit, Polymere, Schaum) zielführend sein. Dabei ist jedoch auf eine umweltverträgliche Entsorgung des Materials zu achten. Bei Druckbeaufschlagung in teilgefüllter Abbaukammer besteht die Gefahr von Ausbläsern, bei im Firstbereich anstehenden Sanden oder Torfen.

In der Tabelle Tab. 4 sind die Einsatzbereiche beider Schildtypen in einer Matrix in Anlehnung an die DAUB-Empfehlungen (2021) bewertet. Hierbei sind die charakteristischen Bodenparameter Tab. 1 berücksichtigt, sowie die Beschreibungen in Kap. 2.2. Insbesondere zum Quellpotential, aber auch zur Abrasivität liegen derzeit noch keine detaillierten Analysen vor. Ein (+) markiert den Haupteinsatzbereich, ein (o) den erweiterten Einsatzbereich. Bei (-) ist der Einsatzbereich eingeschränkt.

Tab. 4: Bewertungsmatrix für EPB-Schild und SLS-Schild im Homogenbereich A (Moräne), B (Schmelzwasser) und C (mixed-face) in Anlehnung an die DAUB-Empfehlungen (2021).

Bewertungsparameter	SLS			EPB		
	A	C	B	A	C	B
Feinkornanteil (< 0,06 mm)	o/+	o/+	+	+	+	o/+
Durchlässigkeit k_f	o	o/+	o/+	+	-/o	-/o
Konsistenz	o	o/+	+	o	o/+	+
Lagerungsdichte						
Stützdruck	+	+	+	+	o	-/o
Quellpotential	-/o	o	+	-/o	o	+
Abrasivität	o	o	o	o	-/o	-/o

Bei beiden Schildtypen sind Vorkehrungen zu treffen, um mögliche Findlinge vor der Maschine abbauen zu können. Idealerweise können diese Vorkehrung auch zur Beseitigung von Hindernissen innerhalb der anthropogenen Böden (z.B. alte Fundamentreste) zum Einsatz kommen.

Im Bereich der Anbindungen Hauptbahnhof, Diebsteich und Altona liegen keine detaillierten Planunterlagen vor. Hier werden auch jüngere Sedimente und vor allem anthropogene Böden durchörtert.

Wir gehen davon aus, dass für den Betrieb der Tunnelvortriebsmaschinen ein Start- und Zielschacht benötigt wird.

Im Abschnitt der Stationen ist ein Durchzug der Tunnelvortriebsmaschinen einzuplanen bzw. im Bedarfsfall eine Querschnittserweiterung der Tunnelröhren vorzusehen.

Die Rinne- und Muldenfüllungen der Eem-Eiszeit sollten im Vorfeld der Baumaßnahme im Trassenbereich detailliert erkundet werden, hinsichtlich ihrer Erstreckung und Zusammensetzung. Gegebenenfalls sind hier vorab Bodenverbesserungen notwendig.

4.1.3 Start- und Zielschacht für geschlossene Bauweise mit Vortriebsmaschine

Im Trassenbereich sind aktuell zwei Zielschächte für die Vortriebsmaschine vorgesehen. Ein Schacht wird im Westen im Bereich der Anbindung S 32 (Bau-km 6+196 bis km 6+216) hergestellt, ein Schacht im Übergang vom bestehenden Hauptbahnhof zu dem Tunnel der Varianten des VET (Bau-km 0+525 bis 0+545). Die Schachtsohle beider Schächte entspricht der jeweiligen Unterkante des Tunnels.

Die Schächte gründen beide im Verzahnungsbereich der Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und der Niendorfer-Moräne (Schicht 4 b). Die Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig. Im Bereich der Niendorfer-Moräne und auch ggf. bei feinkörnigen Einschaltungen in Anthropogenen Böden ist die Baugrubensohle aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Die Herstellung der Schächte ist als Schlitzwandbauweise geplant. Die Schlitzwände werden bis 6 m unter Unterkante Tunnel geführt. Tunnel und Schachtsohle liegen unterhalb des Grundwasserspiegels.

Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Ein durchgängiger Grundwasserstauer unterhalb der Baugrubensohle liegt erst in größerer Tiefe vor.

Da die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle (hochliegend) nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die

Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.1.4 Geschlossene Bauweise mit zyklischem Vortrieb

Im Stationsbereich des Haltestelle Dammtor III wird die Tiefgarage Kongresszentrum unterfahren, die bestehende Linie U1, sowie der Neubau der Linie U5 gekreuzt, im Stationsbereich Schlump die bestehende Linie U3. Hier sind bergmännische Tunnelvortriebe vorgesehen. Des Weiteren sind neben Offenen Bauweisen, bergmännische Abschnitte im nördlichen Anschluss zur Station Hauptbahnhof, im Osten der Station Schlump, im Westen der Station Feldstraße und im Osten der Sternschanze eingeplant. Einerseits werden in Abstellbereichen (u.a. Schlump) größere Querschnitte benötigt, andererseits werden tiefliegende Bauwerke (u.a. Hotel Möwenpick) oder auch Bestandslinie (u.a. Linie U3) gekreuzt. Je nach Querschnitt, Streckenlänge, Bauwerk sind in den oben beschriebenen Böden bei oberflächennahem Grund- bzw. Druckwasserspiegel folgende Vortriebsoptionen darstellbar: Vortrieb mit Vereisung, Druckluftvortrieb, Rohrvortrieb.

Beim Druckluftvortrieb ist eine durchgängige, ausreichend bemessene Wassersäule bzw. wasserhemmende Überdeckung zu gewährleisten, um Ausbläser zu vermeiden. Vorteil bei Wahl dieser Methode ist, dass ggf. zusätzliche Injektionsschirme ausgeführt werden können. Umwelttechnische Einschränkungen für die Verwendung sind hierbei im Vorfeld abzustimmen.

Vereisungsstrecken sind nur in wassergesättigten Böden realisierbar. Dies betrifft überwiegend die dominant aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) aufgebauten Böden, randlich jedoch auch weiche bis steife bindige Lagen, die in den Schichten Schicht 1 und Schicht 2 auftreten.

Für die Rohrvortriebe sind ausreichende Platzverhältnisse für die erforderlichen Pressen einzuplanen. Verfahren mit Spülförderung können in Kombination mit Druckluftpolstern (Mixschild) gewählt werden. Nach unseren Erfahrungen sollten Durchmesser auf < 4 m beschränkt sein. Beim Rohrvortrieb gilt es zu klären, ob das Einpressen einer thixotropen Suspension (beispielsweise Bentonitsuspension) in den Ringraum notwendig wird, um den auftretenden Reibungswiderstand zwischen Rohr und Boden zu reduzieren.

Eine Besonderheit stellt die Anbindung an den City Tunnel dar, die abschnittsweise unterhalb der Binnenalster liegt. Unterhalb der Bestandsgleise (Damm) ist vorgesehen das Gefrierverfahren anzuwenden, aus Schächten, angeordnet vor und hinter dem Dammbereich. Im Übrigen ist eine offene Bauweise in wasserdichten Verbauten in Planung. Je nach Teufe der Verbauten binden diese in die Moränenablagerungen (Schicht 4) bzw. der Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) ein. Analog zu den Stationsbauwerken sind gespannte Grundwasserverhältnisse zu berücksichtigen und im Bedarfsfall Dichtsohlen (hochliegend/tiefliegend) einzuplanen.

4.2 Stationsbauwerke bzw. offene Bauweise

Die Stationsbauwerke der 3 betrachteten Varianten sind 5 Haltepunkten (HP) zugeordnet. Eine Übersicht hierzu zeigt die Abb. 6. Im Nachfolgenden sind zu den Stationen der Haltepunkte geologisch-geotechnische Verhältnisse aufgezeigt.

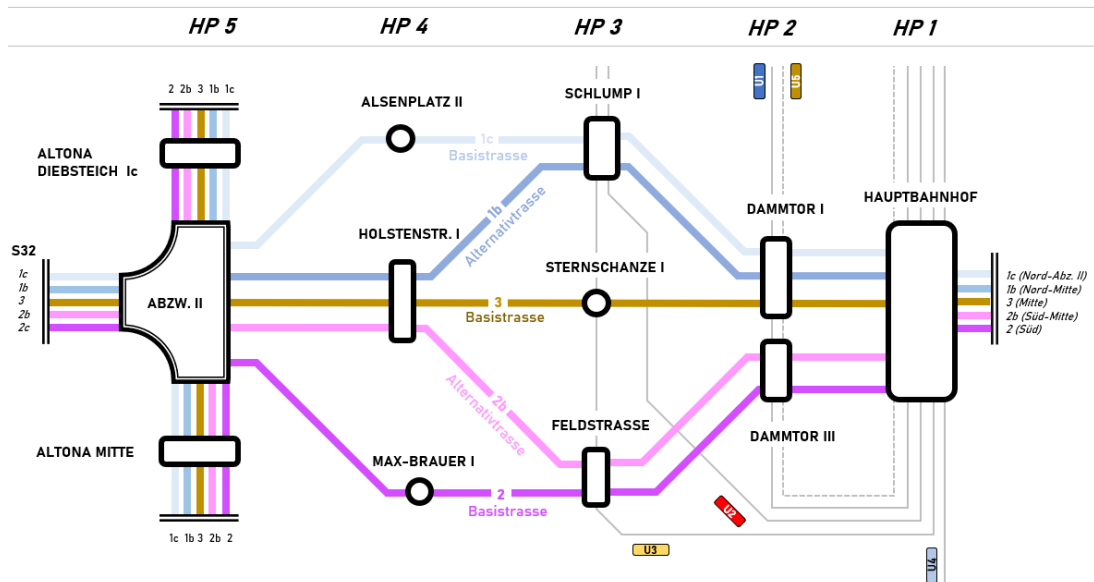


Abb. 6: Trassen im Überblick (Variantenstudie)

4.2.1 HP 1 Hauptbahnhof

Die Geländeoberkante im Bereich des Hauptbahnhofs liegt bei etwa 12 m NHN bis 15 m NHN. Im Bereich des Hauptbahnhofs stehen zunächst anthropogene Böden (Schicht 1) an, die bis hin zu 15 m u. GOK reichen können. Darunter folgen Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) die etwa bis zu einer Tiefe von 18 m u. GOK reichen. Bereichsweise treten noch Randablagerungen der Niendorfer Moräne (Schicht 4b) in dieser Tiefenlage auf. Ab etwa 18 m u. GOK folgen dann die Moränenablagerungen der älteren Saale-Eiszeit (Drenthe, Schicht 4c), die bis mindestens 45 m u. GOK reichen.

Die Unterkante (UK) des Stationsbauwerk ist in einer Höhe von etwa 6,7 m NHN (Süden) und -1,6 m NHN (Norden) bzw. bei 7 m u. GOK (Süden) bzw. 15 m u. GOK (Norden) und kommt somit innerhalb der anthropogenen Böden (Schicht 1), den Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und der Niendorfer Moräne (Schicht 4b) zu liegen.

Die Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig. Im Bereich der Niendorfer-Moräne und auch ggf. bei feinkörnigen Einschaltungen in den Anthropogenen Böden ist die Baugrubensohle aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Das Grundwasserpotential (HW2018) im Bereich des Hauptbahnhofs liegt bei 1,5 m NHN bis 2,3 m NHN und somit etwa bei 10 m bis 13 m u. GOK innerhalb der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) bzw. der Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3). Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung (vor allem im nördlichen tiefliegenden Bereich) Rechnung zu tragen. Ein durchgängiger Grundwasserstauer unterhalb der Baugrubensohle liegt ab ca. -10 m NHN (ca. 25 m u. GOK). Die Grundwasserfließrichtung ist nach Süden gerichtet.

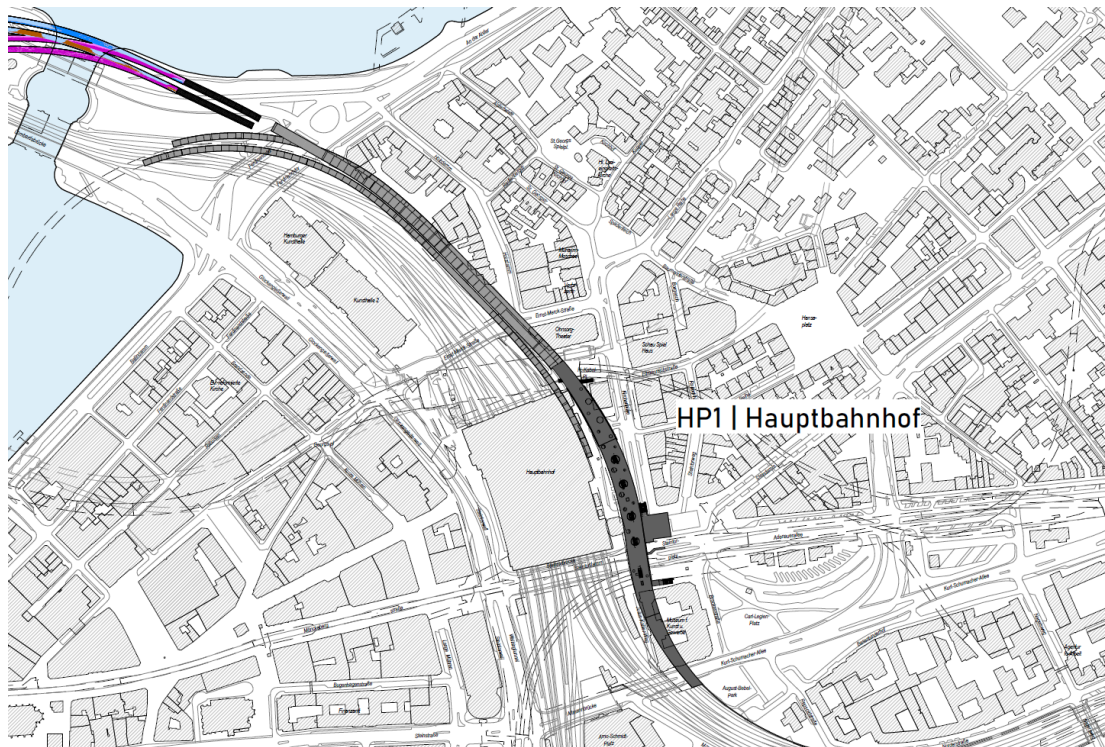


Abb. 7: Lageplan Stationsbauwerk HP 1 Hauptbahnhof (Variantenstudie).

Für die Erstellung der Baugrube im tieferliegenden nördlichen Bereich ist aufgrund der Grundwassersituation ein wasserdichter Verbau erforderlich. Hierbei können die in Kap. 4.4.1.1 und Kap. 4.4.1.2 beschriebenen Verbauarten herangezogen werden.

Der Verbau ist bis in die natürliche Dichtsohle (siehe Kap. 4.4.2.1) hinabzuziehen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren. Der Verbau wird längsseitig vom Grundwasser umströmt, an der Nordseite des

Anlage 07 Baugrundgutachten

Verbaus ist mit einem geringen Grundwasseraufstau zu rechnen, an der Südseite ggf. mit einer geringen Absenkung.

Im südlichen Bereich der Station ist aufgrund der Höhenlage der Baugrubensohle nach bisherigem Planungsstand kein wasserdichter Verbau notwendig. Somit können alternativ zu den vorgenannten Verbauten auch Spundwände oder Trägerbohlverbauten o.ä. zum Einsatz kommen.

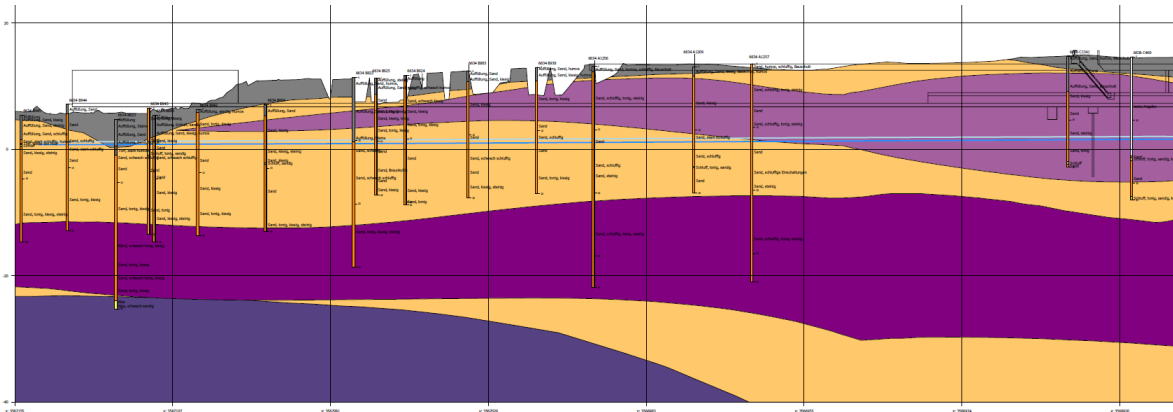


Abb. 8: Längsschnitt HP 1 Hauptbahnhof 0-368 (Abschnitt Süd).

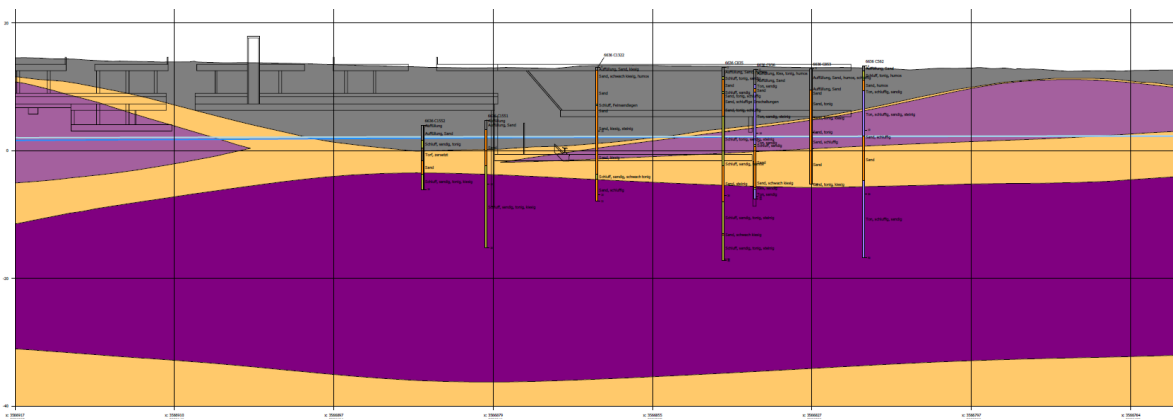


Abb. 9: Längsschnitt HP 1 Hauptbahnhof 364 - 730 (Abschnitt Nord).

4.2.2 HP 2 Dammtor

4.2.2.1 HP 2 - Variante 1 bzw. 3: Dammtor I (NE)

Ein möglicher Haltepunktstandort für das Stationsbauwerk Dammtor stellt der Theodor-Heuss-Platz nordöstlich des bestehenden Haltepunkts Dammtor dar. Diese Stationsvariante wäre für eine Streckenführung der Streckenvarianten 1 und 3 möglich (Abb. 10). Das Gelände im Bereich des Theodor-Heuss-Platzes liegt bei etwa 8,5 m

Anlage 07 Baugrundgutachten

NHN. Die Unterkante (UK) des Stationsbauwerk ist in einer Höhe von etwa -14,5 m NHN bzw. bei 23 m u. GOK. Zunächst stehen im Bereich des Theodor-Heuss-Platzes anthropogene Böden (Schicht 1) an (ca. bis 1,0 m u. GOK). Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 40 m u. GOK bzw. -34 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Im Bereich der Baugrubensohle stehen im SE und im NW die Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) an, zentral stehen die Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) an. Beide Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig. Im Bereich der Drenthe-Moräne ist die Baugrubensohle aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei 4 bis 5 m NHN (HW2018) und somit bei 3,5 m bis 4,5 m u. GOK innerhalb der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b). Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserfließrichtung ist im Bereich Dammtor nach SE gerichtet, das Bauwerk wird längsseitig umströmt. Ein durchgängiger Grundwasserstauer unterhalb der Baugrubensohle ist erst ab einer großen Tiefe vorhanden (> 40 m u. GOK).

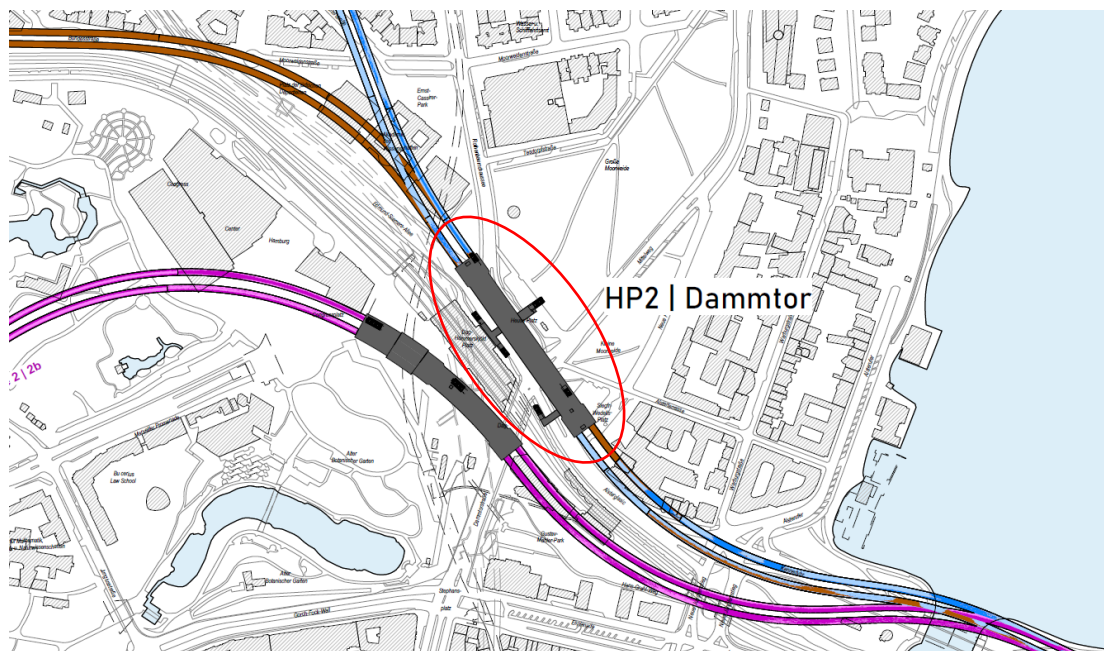


Abb. 10: Lageplan Stationsbauwerk HP 2 Dammtor, Variante 1 (blau/hellblau) bzw. 3 (braun), Station I (NE) (Variantenstudie).

Anlage 07 Baugrundgutachten

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle (hoch- oder tiefliegend) nach Kap. 4.4.2.2 bzw. Kap. 4.4.2.3 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

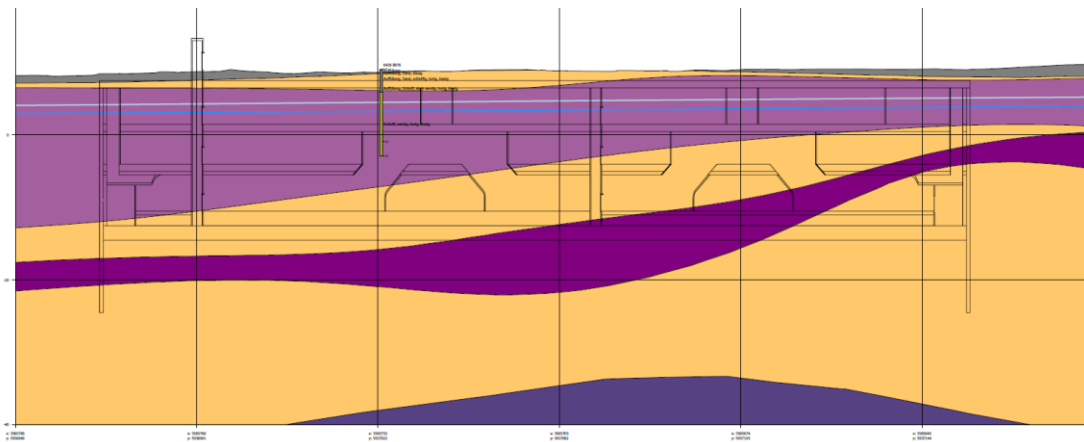


Abb. 11: Längsschnitt HP 2 Dammtor, Variante 1 bzw. 3, Station I (NE).

4.2.2.2 HP 2 - Variante 2 Dammtor III (SW)

Für eine Streckenführung der Streckenvariante 2 ist als Haltepunktstandort das Stationsbauwerk Dammtor III nördlich zum Bestandsbauwerk Dammtor (Abb. 12). Es wird nach bisherigem Planungsstand vom Baukörper der neuen U5 Station gekreuzt und von der U1 unterfahren. Zudem zieht die Station nach Westen hin bis unter den Bau des Kongresszentrums, dessen Tiefgarage mit geringer Überlagerung unterfahren wird. Das Gelände liegt im Stationsbereich zwischen 8 m im Südosten und 13 m NHN im Nordwesten. Die Unterkante (UK) des Stationsbauwerk ist in einer Höhe von etwa -28,5 m NHN bzw. bei 36,5 bis 41,5 m u. GOK. Zunächst stehen im gesamten Bereich anthropogene Böden (Schicht 1) an (bis zu ca. 1,5 m mächtig). Im Querschnittsbereich mit der Linie U5 folgen darunter Torfe, organische Sande und organische Schluffe der Eem-Warmzeit (Schicht 2), die in der Achse bis in eine Tiefe von 5,5 m u. GOK bis auf 2,5 m NHN) reichen, westlich des Bauwerks aber auch bis auf 13,5 m u. GOK bis auf -5,5 m NHN anstehen. Im restlichen Stationsbereich folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 50 m bis 60 m u. GOK bzw. -35 m NHN

Anlage 07 Baugrundgutachten

bis -45 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Im Bereich der Baugrubensohle stehen durchgängig die Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) an. Die Sedimente der Schicht 3 sind zum Abtrag der Stationslasten ausreichend tragfähig.

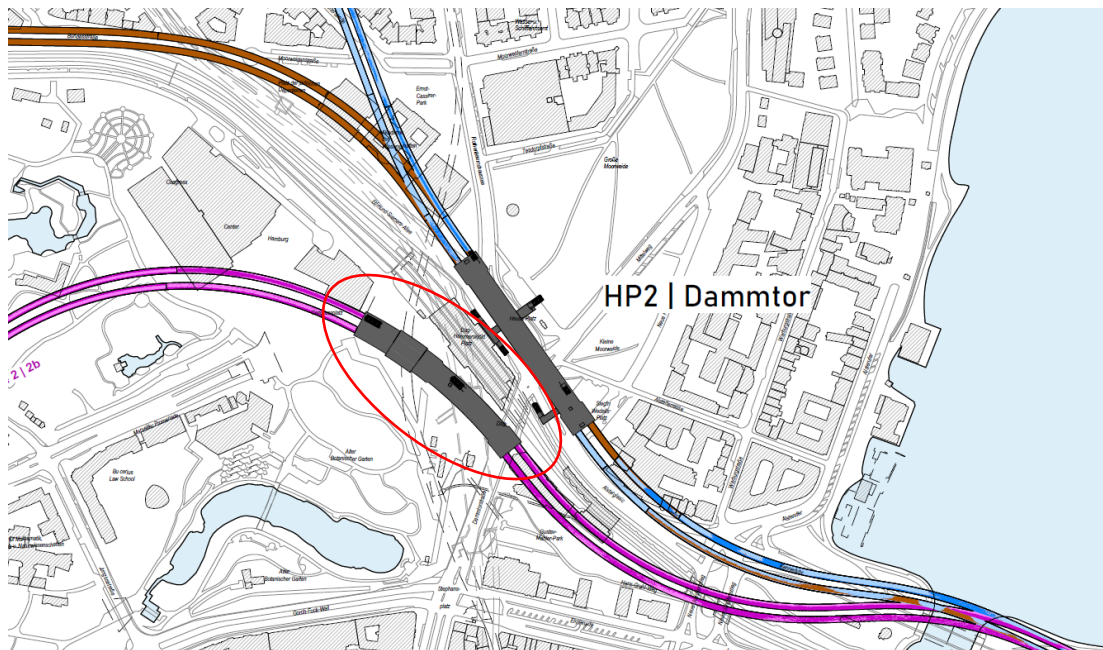


Abb. 12: Lageplan Stationsbauwerk HP 2 Dammtor, Variante 2 (pink/lila), Station II (SW) (Variantenstudie).

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei 4,5 m NHN bis 5,5 m NHN (HW2018) und somit bei 3 m bis 5,5 m u. GOK innerhalb der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) im Nordwesten bzw. den Torfen, Sanden und Schluffen der Eem-Warmzeit (Schicht 2) im Querungsbereich der U5. Zentral und im Südosten liegt der Grundwasserspiegel innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) vor. Bei den Moränenablagerungen sowie den Eem-warmzeitlichen Ablagerungen handelt es sich grundsätzlich um Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserfließrichtung ist im Bereich Dammtor nach SE gerichtet, das Bauwerk wird längsseitig umströmt. Ein durchgängiger Grundwasserstauer unterhalb der Baugrubensohle ist erst ab einer großen Tiefe vorhanden (> 50 m u. GOK).

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer

Anlage 07 Baugrundgutachten

vorliegt ist eine Dichtsohle (hoch- oder tiefliegend) nach Kap. 4.4.2.2 bzw. Kap. 4.4.2.3 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

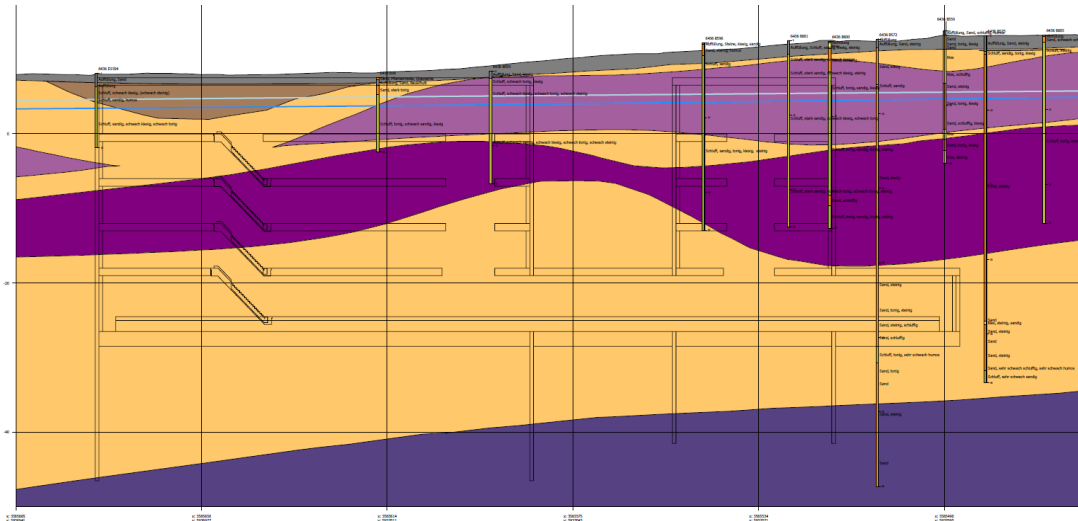


Abb. 13: Längsschnitt HP 2 Dammtor, Variante 1 bzw. 3, Station III (SW).

Die Unterfahrung der U1 soll bergmännisch aus den beiden Baugruben heraus erfolgen. Aufgrund des anstehenden Grundwassers kann dieser Bauabschnitt nicht ohne spezielle Sicherungsmaßnahmen bzw. eine Wasserhaltung vorgetrieben werden. Derzeit ist ein Rohrvortrieb mit Druckbeaufschlagung geplant. Zudem können aufgrund der Setzungsempfindlichkeit des Bestands und der geringen Überlagerung weitere Bodenverfestigungsmaßnahmen (Z.B. Injektionsschirme) notwendig werden.

4.2.3 HP 3

4.2.3.1 HP 3 - Variante 1: Schlump I

Für die Trassenvariante 1 ist der 3. Haltepunkt im Bereich der bestehenden Station Schlump geplant, im Kreuzungsbereich der Schäferkampsallee mit der Straße „Beim Schlump“ / „Kleiner Schäferkamp“, wobei sich die Station NE-SW entlang der beiden Straßen „Beim Schlump“ und „Kleiner Schäferkamp“ orientiert und dabei die U3 unterquert. Das Gelände im Kreuzungsbereich liegt bei etwa 14,5 m NHN. Die Unterkante (UK) des geplanten Stationsbauwerks ist in einer Höhe von etwa -11,5 m NHN bzw. bei 26 m u. GOK, wobei die Unterkante im nordöstlichen Drittel mit Gefälle bis -15,0 m NHN geführt wird und hier 29 m u. GOK liegt. Zunächst stehen im Straßenbereich anthropogene Böden (Schicht 1) mit einer Mächtigkeit von 0,5 m bis max. 4,5 m an. Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 45 m u. GOK bzw. -

Anlage 07 Baugrundgutachten

30 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Im Bereich der Baugrubensohle stehen nahezu über die gesamte Länge die Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) an, der NE gründet in den Schmelzwassersedimenten (Schicht 3). Beide Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig, die Schicht 4c jedoch aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei 4 bis 5 m NHN (HW2018) und somit bei 6,5 m bis 7,0 m u. GOK innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) und liegt somit hier als freies Grundwasser vor. Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden und zwischengelagerten Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserfließrichtung ist hier nach N / NW gerichtet, so dass die Station querseitig umströmt wird. Bei Ermittlung eines Aufstau-Potentials sind die querenden Bauwerke der U3 zudem zu berücksichtigen.

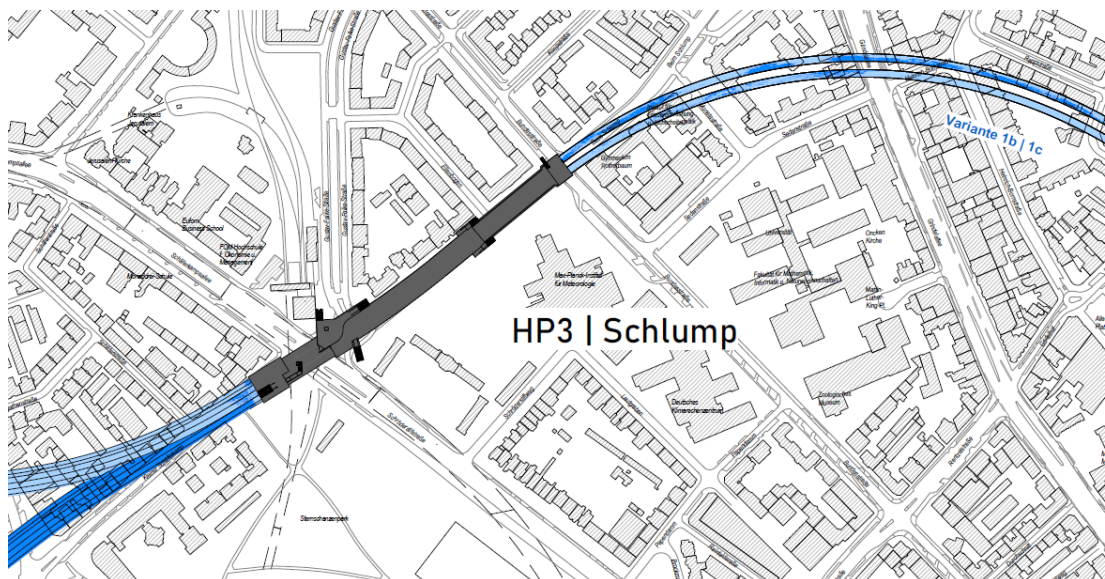


Abb. 14: Lageplan Stationsbauwerk HP 3 Schlump, Variante 1 (blau/hellblau), Station I (Variantenstudie).

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende

Anlage 07 Baugrundgutachten

Dichtsohle im NE Bereich nach Kap. 4.4.2.2 herzustellen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Unter dem Bestand der Linie U3 ist nach derzeitigem Planungsstand ein bergmännischer Vortrieb vorgesehen. Aufgrund des anstehenden Grundwassers kann der Vortrieb in diesem Bauabschnitt nicht ohne spezielle Sicherungsmaßnahmen erfolgen. Nachdem die Grundwasserüberdeckung max. etwa 8 m beträgt, ist aber nur eine geringe Druckbeaufschlagung notwendig. Hier ist derzeit ein Rohrvortrieb geplant, der als setzungsarme Vortriebsvariante der Setzungsempfindlichkeit des Bestands zugutekommt.

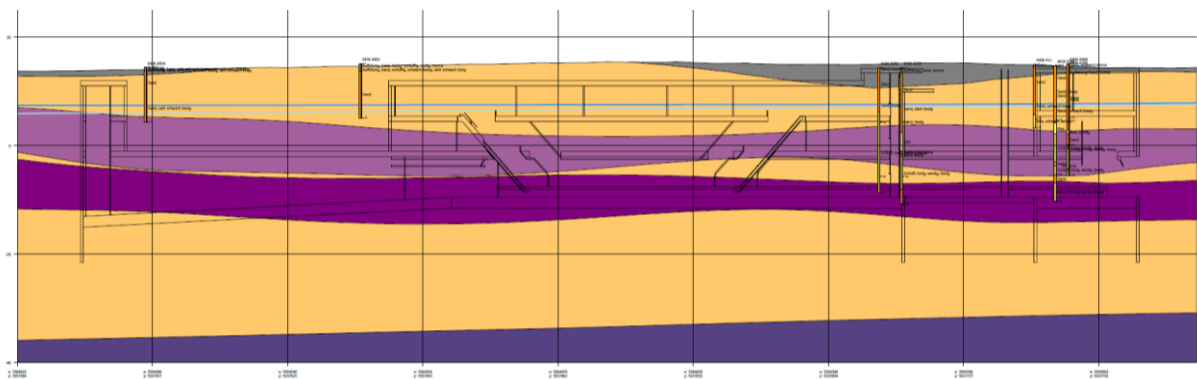


Abb. 15: Längsschnitt HP 3 Schlump, Variante 1, Station I.

4.2.3.2 HP 3 - Variante 2: Feldstraße

Der Haltepunkt 3 der Variante 2 ist im Bereich der Feldstraße östlich der Bestandsstation Feldstraße (U3) geplant. Das Gelände in diesem Bereich liegt zwischen 18,5 m NHN im Westen und 20,5 m NHN im Osten. Die Unterkante (UK) des Stationsbauwerk ist in einer Höhe von etwa -1,2 m NHN bzw. bei ca. 20 m bis 22 m u. GOK. Durch die Aufschlüsse und das Bodenschichtenmodell im Bereich der geplanten Station sind keine anthropogenen Böden (Schicht 1) dokumentiert, wobei damit aufgrund der baulichen Gegebenheiten in jedem Fall in den oberen Dezimetern bis Metern zu rechnen ist. Darunter folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 40 m bis 50 m u. GOK bzw. -22 m bis -33 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Im Bereich der Baugrubensohle stehen überwiegend die Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) an. Diese Schicht ist für eine Gründung ausreichend tragfähig, jedoch aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen. Die Mächtigkeit der Schicht 4c ist unbeständig, In Teilbereichen,

Anlage 07 Baugrundgutachten

insbesondere im Westen des HP stehen Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) an. Die Sedimente der Schicht 3 sind zum Abtrag der Stationslasten ausreichend tragfähig.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei 11 bis 9,5 m NHN (HW2018) und somit bei 8 m bis 11 m u. GOK innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) und liegt somit hier als freies Grundwasser vor. Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden und zwischenlagerten Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserfließrichtung ist nach Westen gerichtet, das Bauwerk wird längsseitig umströmt.

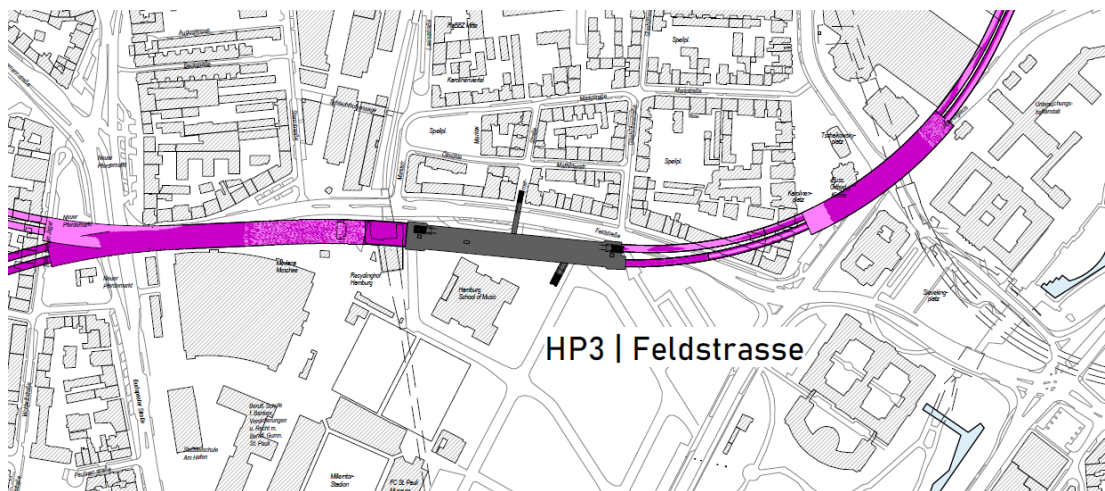


Abb. 16: Lageplan Stationsbauwerk HP 3 Feldstraße, Variante 2 (pink/lila) (Variantenstudie).

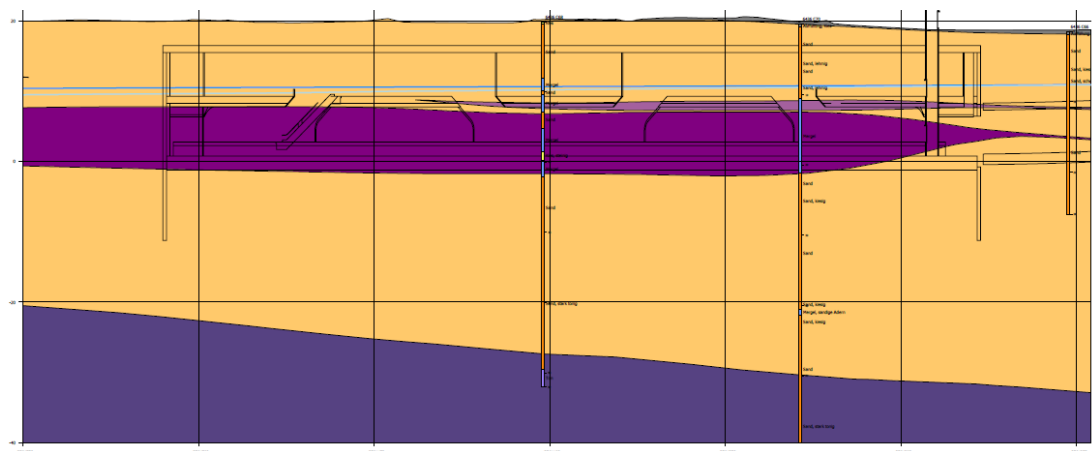


Abb. 17: Längsschnitt HP 3 Feldstraße, Variante 2.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle gegebenenfalls nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende Dichtsohle optional nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.2.3.3 HP 3 - Variante 3: Sternschanze

Für die Trassenvariante 3 (Abb. 18) ist der 3. Haltepunkt nördlich der bestehenden Station Sternschanze sowie westlich der kreuzenden Linie U3 im Bereich der Straße „Sternschanze“ geplant.

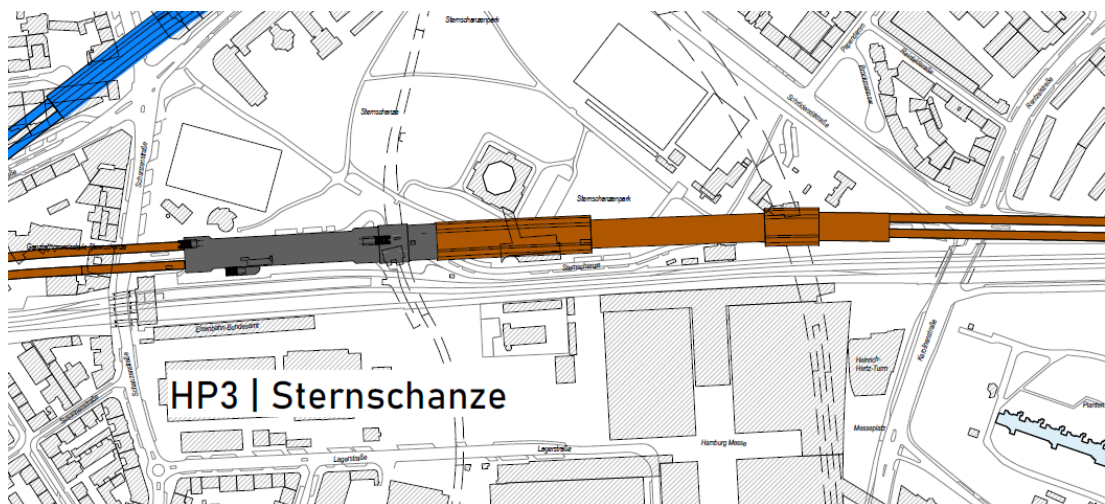


Abb. 18: Lageplan Stationsbauwerk HP 3 Sternschanze, Variante 3 (braun) (Variantenstudie).

Das Gelände in diesem Bereich liegt bei etwa 12,5 m NHN bis 15 m NHN. Die Unterkante (UK) des geplanten Stationsbauwerks ist in einer Höhe von etwa -18,5 m NHN bzw. bei ca. 31 m bis 33,5 m u. GOK. Zunächst stehen im Straßenbereich anthropogene Böden (Schicht 1) mit einer Mächtigkeit von etwa 0,5 m an. Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 45 m bis 47 m u. GOK bzw. -30 m NHN bis -35 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Im Bereich der Baugrubensohle stehen durchgängig die Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) an. Die Sedimente der Schicht 3 sind zum Abtrag der Stationslasten ausreichend tragfähig.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei ca. 10 m NHN (HW2018) und somit bei 2,5 m bis 5 m u. GOK innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) und liegt somit als freies Grundwasser vor. Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden und zwischengelagerten Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserspiegelfläche ist im Stationsbereich horizontal gelagert, nach Norden hin stellt sich jedoch ein Gefälle nach NE ein. Ein durchgängiger Grundwasserstauer unterhalb der Baugrubensohle ist erst ab einer großen Tiefe vorhanden (> 40 m u. GOK).

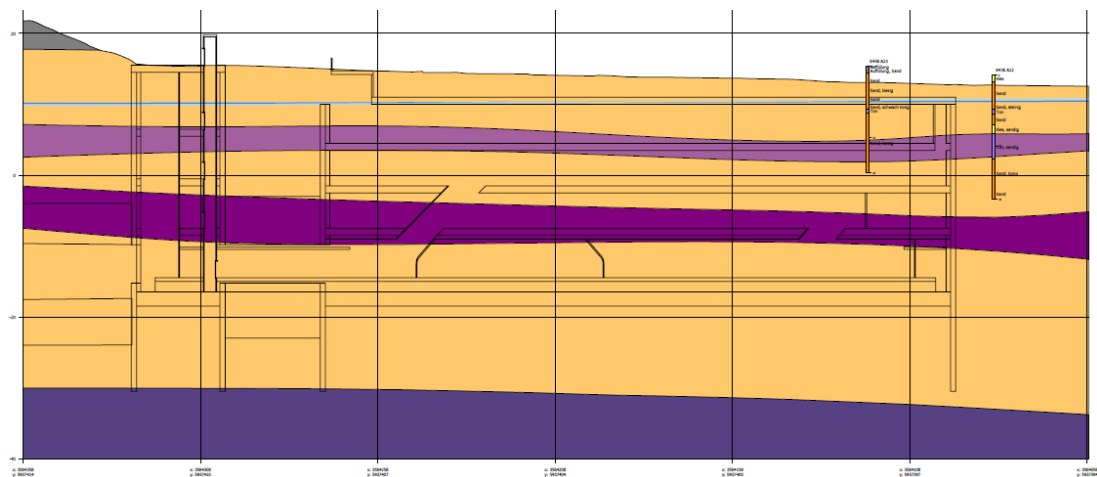


Abb. 19: Längsschnitt HP 3 Sternschanze, Variante 3.

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle (hoch- oder tieflegend) nach Kap. 4.4.2.2 bzw. Kap. 4.4.2.3 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.2.4 HP 4

4.2.4.1 HP 4 - Variante 1: Alsenplatz II

Für die Trassenvariante 1 ist der 4. Haltepunkt im Bereich des Alsenplatzes in NE-SW Orientierung der Waterloostraße folgend geplant.

Das Gelände in diesem Bereich liegt bei etwa 10 m NHN bis 13 m NHN. Die Unterkante (UK) des geplanten Stationsbauwerks ist in einer Höhe von etwa -7 m NHN bzw. bei 17 m bis 20 m u. GOK. Zunächst stehen im Straßenbereich anthropogene Böden (Schicht 1) mit einer Mächtigkeit von etwa 1,0 m bis 3,0 m an. Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c), wobei die Moränenablagerungen klar dominieren. Bis zur Modellbasis stehen im geplanten Stationsbereich quartäre Ablagerungen (Schicht 3) an. Im Nahbereich im Norden und Nordosten sind oberflächennah Torfe, Sande und Schluffe der Eem-Warmzeit in Mulden aufgeschlossen, allerdings nicht im Querschnitt der Station erkundet.

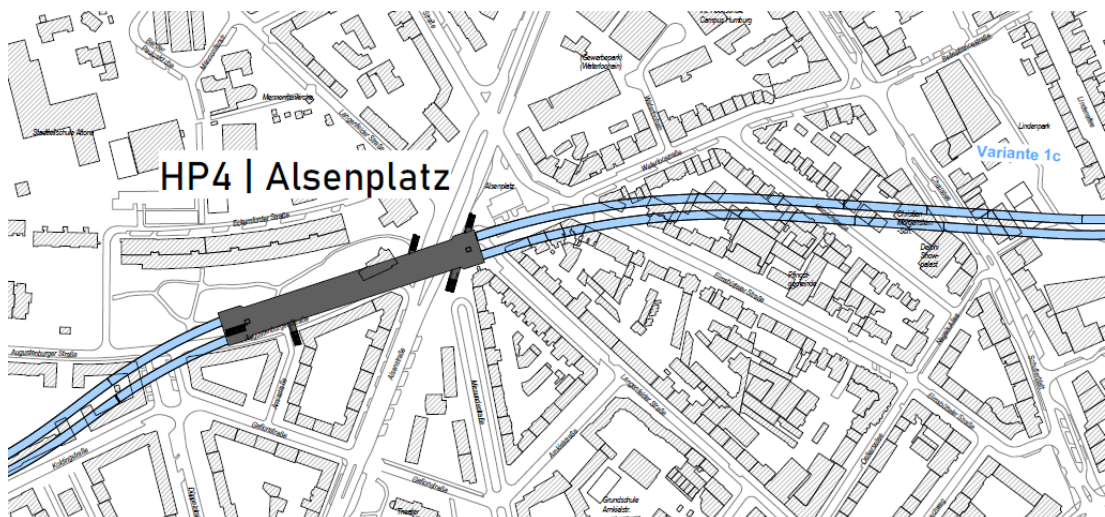


Abb. 20: Lageplan Stationsbauwerk HP 4 Alsenplatz, Variante 1c (hellblau), Station II (Variantenstudie).

Im Bereich der Baugrubensohle stehen über die gesamte Länge die Ablagerungen der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) an. Diese Schicht ist für eine Gründung ausreichend tragfähig, jedoch aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei 10,5 m NHN bis 13,5 m NHN (HW2018) und somit bei bis zu 1 m über GOK. Für das Mittlere Grundwasser (2010) ist in diesem Bereich angegeben, dass aufgrund durchgehender stauender Horizonte im Untergrund kein Grundwasser vorliegt. Es ist davon auszugehen, dass nur bei hohen Grundwasserständen innerhalb der geringmächtigen, oberflächennahen Schmelzwasserablagerungen, bzw. auf den stauenden

Anlage 07 Baugrundgutachten

Moränenschichten ansteigt und bis über das Gelände ansteigen kann. Dies zeigen Karten zum Grundwasserflurabstand [U 7] von 2018 (min) und 2019 (max). Die Baugrubensohle kommt mit der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) in einem Grundwasserstauer zu liegen.

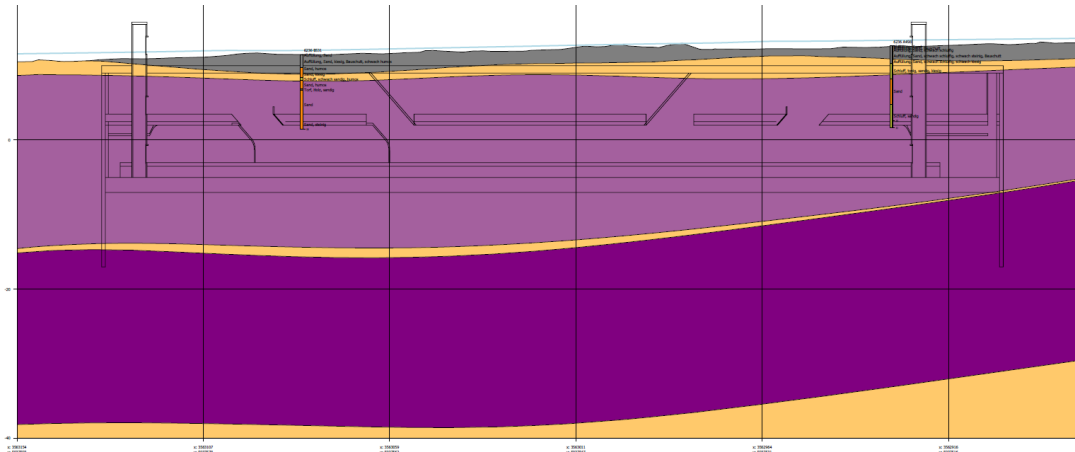


Abb. 21: Längsschnitt HP 4 Alsenplatz, Variante 1, Station II.

Für die Erstellung der Baugrube ist aufgrund der Grundwassersituation ein wasserdichter Verbau erforderlich. Hierbei können die in Kap. 4.4.1.1 und Kap. 4.4.1.2 beschriebenen Verbauarten herangezogen werden. Die Baugrubensohle sowie der Verbau kommen in einer natürlichen Dichtsohle (siehe Kap. 4.4.2.1) zu liegen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das ggf. vorhandene Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.2.4.2 HP 4 - Variante 2: Max-Brauer-Allee I

Für die Trassenvariante 2 ist der 4. Haltepunkt im Bereich Max-Brauer-Allee geplant. Ein möglicher Haltepunktstandort für das Stationsbauwerk stellt die Holstenstraße, zwischen Suttnerstraße und Max-Brauer-Allee der Holstenstraße in SE-NW Richtung folgend dar. Das Gelände im Bereich des geplanten Stationsstandorts liegt bei etwa 22 m NHN. Die Unterkante (UK) des Stationsbauwerk ist in einer Höhe von etwa 2 m NHN bzw. bei 20 m u. GOK. Zunächst stehen im Bereich des Theodor-Heuss-Platzes anthropogene Böden (Schicht 1) an (ca. 1,0 m mächtig). Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und untergeordnet Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c). Ab einer Tiefe von etwa 62 m u. GOK bzw. -40 m NHN stehen die tertiären Ablagerungen (Schicht 5) in Form der Glimmertone an.

Im Bereich der Baugrubensohle stehen über die gesamte Länge die Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) an. Diese Schicht ist für eine Gründung ausreichend

Anlage 07 Baugrundgutachten

tragfähig, jedoch aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

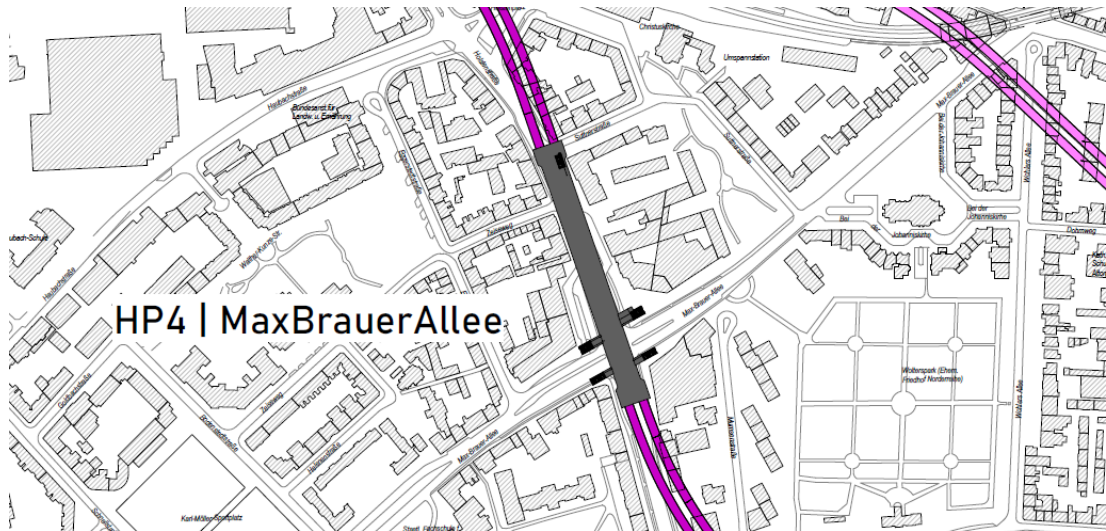


Abb. 22: Lageplan Stationsbauwerk HP 4 Max-Brauer-Allee, Variante 2 (lila), Station I (Variantenstudie).

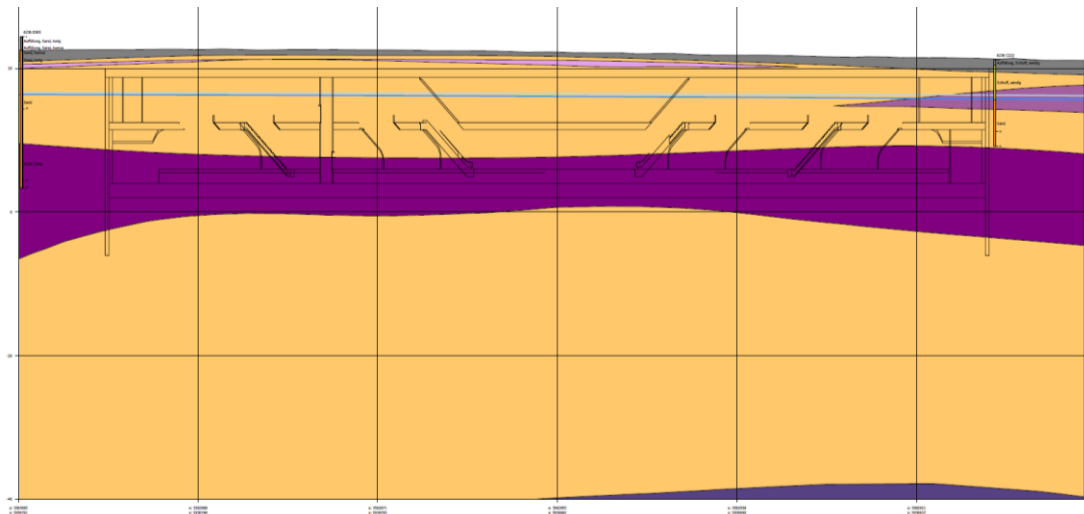


Abb. 23: Längsschnitt Max-Brauer-Allee, Variante 2, Station I.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei ca. 16,5 m NHN (HW2018) und somit bei etwa 6 m u. GOK überwiegend innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) und liegt somit als freies Grundwasser vor. Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um einen Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden und zwischengelagerten Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen. Die Grundwasserspiegelfläche ist im Stationsbereich horizontal gelagert. Die Baugrubensohle kommt zum

Anlage 07 Baugrundgutachten

momentanen Planungszeitpunkt in einem durchgängigen Grundwasserstauer (Schicht 4c) zu liegen.

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle gegebenenfalls nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende Dichtsohle optional nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.2.4.3 HP 4 - Variante 1 bis 3: Holstenstraße I

Für die Trassenvariante 3, 1b und 2b (Abb. 24) ist der 4. Haltepunkt im Bereich der bestehenden Station Holstenstraße geplant. Ein möglicher Haltepunktstandort für das neu geplante Stationsbauwerk stellt die Stresemannstraße zwischen Holstenstraße und Alsenstraße dar, wobei sich die Station E-W orientiert. Das Gelände im Kreuzungsbereich liegt bei etwa 18 m NHN. Die Unterkante (UK) des geplanten Stationsbauwerks ist in einer Höhe von etwa -1 m NHN bzw. bei 19 m u. GOK. Zunächst stehen im Straßenbereich anthropogene Böden (Schicht 1) mit einer Mächtigkeit von bis zu 1,5 m an. Darauf folgt eine Wechselfolge aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Moränenablagerungen (Schicht 4a+4b+4c). Bis zur Modellbasis stehen die beschriebenen quartären Ablagerungen an, das Tertiär (Schicht 5) liegt deutlich unterhalb.

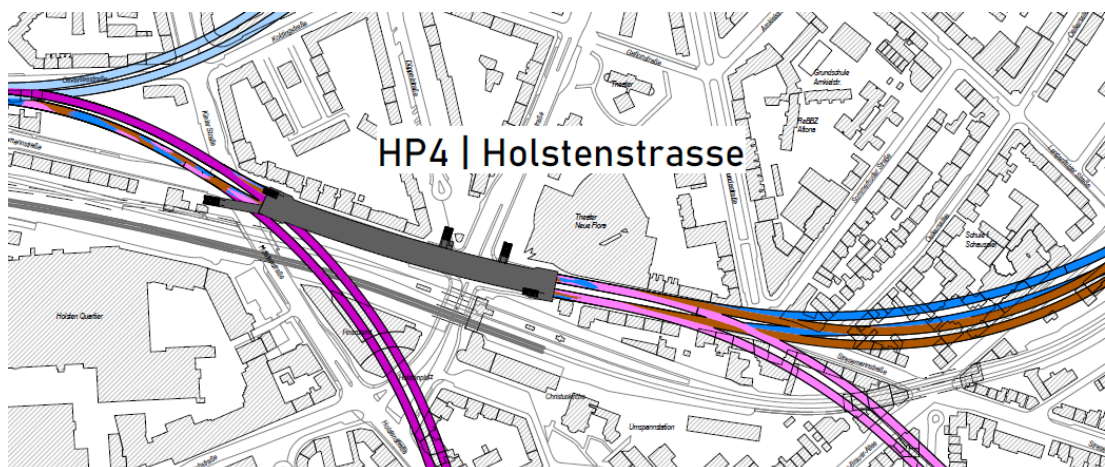


Abb. 24: Lageplan Stationsbauwerk HP 4 Holstenstraße, Variante 3 (braun) / Variante 1b (blau) / Variante 2b (pink), Station I (Variantenstudie).

Anlage 07 Baugrundgutachten

Im Bereich der Baugrubensohle stehen nahezu über die gesamte Länge die Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) an. Diese Schicht ist für eine Gründung ausreichend tragfähig, jedoch aufgrund der bindigen Ausbildung als frostempfindlich und witterungsanfällig zu beurteilen.

Das Grundwasserpotential im Bereich der Station liegt bei etwa 15 m NHN (HW2018) und somit bei etwa 3 m u. GOK innerhalb der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) im Westen bzw. der Fuhlsbüttler-Moräne (Schicht 4a) im Osten. Im Übergangsbereich zur Fuhlsbüttler-Moräne sowie im äußersten Westen liegt der Grundwasserspiegel innerhalb der Schmelzwassersande (Schicht 3) vor. Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten der Schmelzwasserablagerungen gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Die Baugrubensohle kommt zum momentanen Planungszeitpunkt mit der Drenthe-Moräne in einem Grundwasserstauer zu liegen.

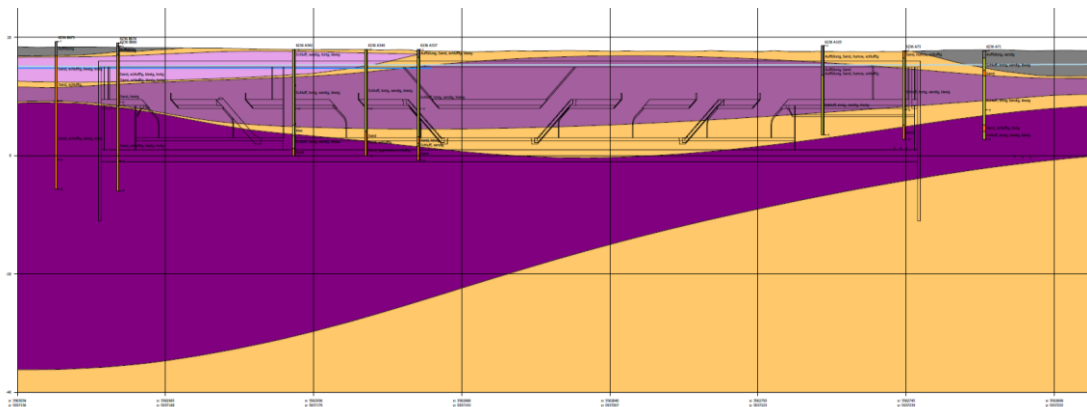


Abb. 25: Längsschnitt HP 4 Holstenstraße, Variante 1 bis 3, Station I.

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle gegebenenfalls nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt und auch bis weit unterhalb der Baugrubensohle kein natürlicher Stauer vorliegt ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende Dichtsohle optional nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Im Bereich der Baugrubensohle steht im Süden auf einer Länge von etwa 100 m die Niendorfer-Moräne (Schicht 4b) an. Im restlichen Teil kommt die Sohle in Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) zu liegen. Beide Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig. Aufgrund der bindigen Eigenschaften der Niendorfer Moräne, sind die südlichen Baugrubenbereiche frostempfindlich und witterungsanfällig.

Das Grundwasserpotential (HW2018) liegt bei etwa 16 m NHN und somit bei 7 m bis 10 m u. GOK. Der relativ horizontale Grundwasserspiegel liegt im Süden in den anthropogenen Böden (Schicht 1), im zentralen Bereich der Baugrube in den Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und im Norden in der Niendorfer Moräne (Schicht 4b), den Schmelzwasserablagerungen und Torfen, Sanden und Schluffen der Eem-Warmzeit (Schicht 2). Bei den Moränenablagerungen (Schicht 4b+4c) handelt es sich grundsätzlich um Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen.

Aufgrund der Tiefenlage der Baugrube sowie der Grundwasserverhältnisse ist ein wasserdichter Verbau auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende Dichtsohle optional nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzeln und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Dass Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Im Süden wäre optional ein Absetzen der Schlitzwand in das Tertiär, einem durchgängigen Stauer durchführbar. Um eventuelle Einflüsse des im Norden anstehenden Salzdiapirs zu reduzieren (Chemismus / Tektonik) ist ein Einbinden allerdings nicht ohne Not empfohlen.

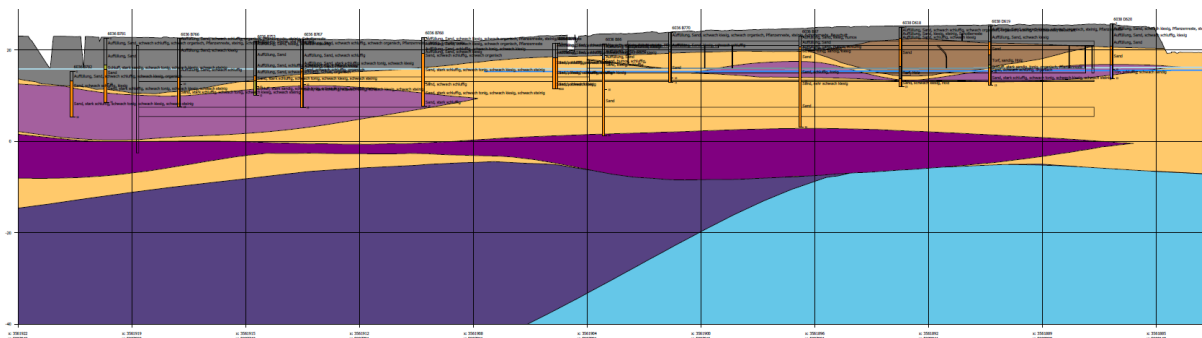


Abb. 27: Längsschnitt HP 5 Altona Diebsteich, Station.

Die Ableitung der Tunnelröhren im Norden der Station Altona Diebsteich ist nach derzeitiger Planung über ein Rahmenbauwerk vorgesehen, dass im Schutze eines

Großrohrschirms erstellt wird. Das Rahmenbauwerk kommt vollständig in den Schmelzwassersedimenten (Schicht 3) zu liegen. Der Grundwasserspiegel steht knapp über der Firste an. Demnach ist der Verbau wasserdicht auszuführen. Wir empfehlen einen Schlitzwandverbau nach Kap. 4.4.1.2. Da die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen, kommt es eine Dichtsohle einzuplanen. Weil diese erst nach dem bergmännischen Aushub als Teil der Tunnelinnenschale erstellt werden kann, muss der Vortrieb unter Druckluft durchgeführt werden. Nach oben hin dichtet der Großrohrschirm während des Vortriebs ab und schützt vor Ausbläsern. Die vollabgedichtete Tunnelinnenschale wird den Wasserdruck aufnehmen können.

4.2.5.2 HP 5 – Variante 1 bis 3: Altona Mitte (inkl. Abzweigbauwerk)

Die Station Altona Mitte ist ein Nord-Süd ausgerichtetes Bauwerk, welches in räumlicher Nachbarschaft zum Abzweigbauwerk steht, welches West-Ost gerichtet ist. Beide Bauwerke sind über, in offener Bauweise zu erstellende Röhren, sowie einen TVM-Vortrieb verbunden und bogenförmig ausgebildet. In den Längsschnitten sind Abzweigbauwerk und der Stationsteil Altona Mitte aneinandergehängt.

Die Geländeoberkante ist im Bereich Abzweigbauwerk eben und liegt bei etwa 18,5 m NHN im Osten und bei etwa 17 m NHN im Westen. Die Unterkante (UK) des geplanten Bauwerks liegt in einer Tiefe von etwa -7,5 m NHN bzw. ca. 24,5 m bis 26 m unter GOK. Der Übergang zur Station Altona Mitte hat hingegen der Station eine Unterkante von 1,5 m NHN bis 3,6 m NHN, ca. 15,5 m bis 13,6 m u. GOK. Im Bereich des südlichen Stationsbauwerks liegt die GOK auf ca. 20 m NHN bis 22 m NHN, allerdings wird hier der Bestandsdamm unterquert, der bis etwa 30 m NHN aufgeschüttet ist. Die Unterkante (UK) des geplanten Stationsbauwerks liegt im Norden auf etwa 5 m NHN bzw. 15 m bis 25 m u. GOK und steigt ab dem Bauwerkszentrum auf ca. 13 m NHN bzw. etwa 12 m u. GOK an.

Im Bereich des Abzweigbauwerks stehen im Infrastruktur-Bestand Anthropogene Böden (Schicht 1) mit einer Mächtigkeit von bis zu 4,5 m an. Darauf folgt ein < 1 m mächtiger Schleier aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3), der im Westen des Bauwerks an der GOK ausstreicht. Danach tritt eine Wechselfolge aus quartären Sedimenten auf, die durch die Niendorfer-Moräne (Schicht 4b), mit einer konstanten Mächtigkeit von ca. 12 m, und die Drenthe-Moräne (Schicht 4c) dominiert wird. Getrennt werden diese von einer <1 m mächtigen Lage aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3). Die Schmelzwasserablagerungen setzen sich unter der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) fort und bilden den westlichen Baugrubenteil unterhalb der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b). Das Tertiär (Schicht 6) steht etwa 1,5 m unter der Bauwerksunterkante bzw. 29 m u. GOK an. Die Baugrubensohle des E-W verlaufenden Stationsbauwerks wird aus Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Ablagerungen der Drenthe-Moräne (Schicht 4c) gebildet. Beide Schichten sind für eine Gründung ausreichend tragfähig. Aufgrund der bindigen Eigenschaften der Drenthe-Moräne (Schicht 4b), sind diese Baugrubengebiete frostempfindlich und witterungsanfällig.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Das Grundwasserpotential (HW2018) liegt bei etwa 17 m NHN im Süden, 16 m NHN im Norden/Westen und 15,5 m NHN im Osten, somit bei 1 m bis 14 m u. GOK. Der Grundwasserspiegel im Bereich des N-S verlaufenden Stationsbauwerks liegt durchgehend in den Ablagerungen der Niendorfer-Moräne (Schicht 4b). Im Bereich des E-W verlaufenden Bauwerks liegt der Grundwasserspiegel in den Anthropogenen Böden (Schicht 1) und dem Grenzbereich Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) und Niendorfer-Moräne (Schicht 4b). Bei den Moränenablagerungen handelt es sich grundsätzlich um Grundwasserhemmer, sodass davon auszugehen ist, dass das Grundwasser innerhalb der unterlagernden Schichten gespannt vorliegt und auf das angezeigte Druckpotential bei Anschnitt ansteigt. Dies trifft auf die Schmelzwasserablagerungen (Schicht 3) unter den Moränenablagerungen (Schicht 4b + 4c) in beiden Baugruben zu. Diesem Sachverhalt ist bei der Planung der Baugrubenherstellung Rechnung zu tragen.

Aufgrund der Tiefenlage der Baugruben sowie der Grundwasserverhältnisse ist in beiden Baugruben ein wasserdichter Verbau auszuführen. Hierbei kann aufgrund der Baugrubentiefe von der in Kap. 4.4.1.2 beschriebene Schlitzwandverbau herangezogen werden. Optional kann jedoch auch eine überschnittene Bohrpfehlwand (Kapitel 4.4.1.1) bis ins Tertiär (Schicht 6) geführt werden.

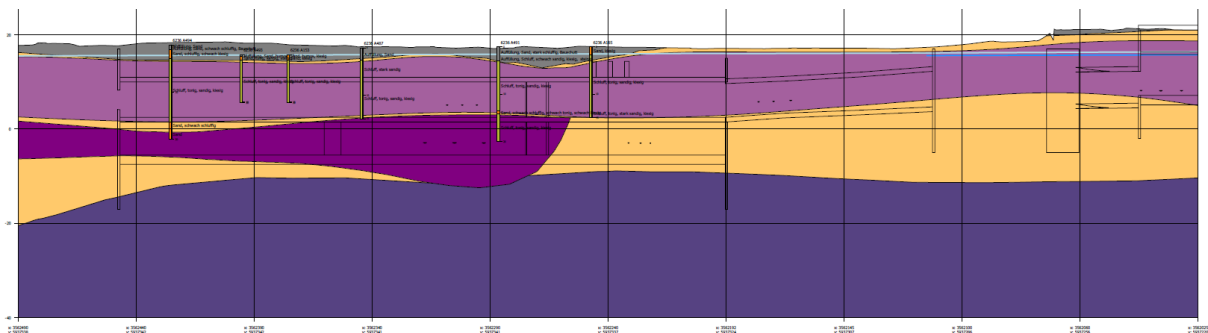


Abb. 29: Längsschnitt Altona Mitte, Abschnitt Ost-West

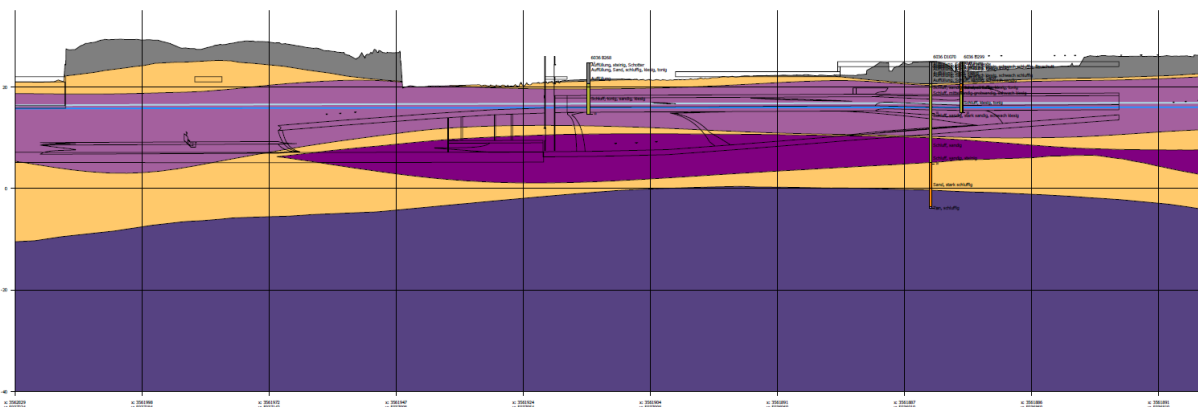


Abb. 30: Längsschnitt Altona Mitte, Abschnitt Nord Süd

Der Verbau für das Abzweigbauwerk kann bis in die natürliche Dichtsohle, das Tertiär (Schicht 6) abgeteuft werden (siehe Kap. 4.4.2.1). Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das ggf. vorhandene Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Im Stadionsteil Altona Mitte ist eine abgeschlossene Baugrube aufgrund der Verzweigungen und dem anschließenden Rampenbauwerk nicht zielführend. Verbau und Baugrubensohle kommen nicht durchgängig in einem natürlichen Stauer zu liegen, hier ist eine Dichtsohle einzuplanen. Wir empfehlen eine hochliegende Dichtsohle optional nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Nachdem der derzeitige Bestand (Gleisanlagen) rückgebaut wird, können die Verbindungsröhren in offener bzw. Deckelbauweise erstellt werden.

Da Verbau und Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen kommt, ist eine Dichtsohle (hoch- oder tiefliegend) nach Kap. 4.4.2.2 bzw. Kap. 4.4.2.3 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

4.3 Notausgänge

Im Bereich der 3 Varianten bzw. 5 Trassenoptionen (Variante 1c, 1b, 3, 2b und 2) sind nachzeitigem Stand 11 Notausgänge über Schächte verteilt. 9 werden mittels Schlitzwandverbauten hergestellt, die 7,6 m unter Schachtsohle reichen. Diese sind in der Tabelle (Tab. 5) zusammenfassend dargestellt mit Bau-km versehen und Angaben zu Schachtsohle. Die Schachtsohle entspricht der Höhe Fluchtweg Tunnel, 2,85 m über der Unterkante Tunnel.

Die Notausgänge binden in den Grundwasserkörper ein. Nachzeitigem Erkenntnissen kommen 4 der 9 Notausgänge in einer natürlichen Dichtsohle zu liegen. Hier ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das ggf. vorhandene Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren.

Anlage 07 Baugrundgutachten

Tab. 5: Übersicht zu geplanten Notausgängen / Schächten mit zusammenfassenden geologisch-geotechnischen Angaben.

Variante	Bau-km	Schachtsohle [m ü. NN]	Schachtsohle	Dichtsohle
1c / 1b / 3	0+710	-13,72	Niendorfer-Moräne (4b)	
2b / 2	0+950	-20,55	Schmelzwasserablagerungen (3) / Drenthe-Moräne (4c)	ggf. erforderlich
3	1+900	-22,91	Schmelzwasserablagerungen (3)	erforderlich
1c / 1b	2+075	-17,60	Schmelzwasserablagerungen (3)	erforderlich
2b / 2	2+155	-6,60	Drenthe-Moräne (4c)	
1c / 1b	2+450	-22,25	Schmelzwasserablagerungen (3)	erforderlich
1b	4+515	-5,98	Drenthe-Moräne (4c)	
2b	3+970	-4,71	Schmelzwasserablagerungen (3)	erforderlich
2	4+000	0,78	Niendorfer-Moräne (4b)	

In den weiteren 5 Notausgängen kommt die Baugrubensohle nicht in einem natürlichen Stauer zu liegen, es ist eine Dichtsohle (hochliegend) nach Kap. 4.4.2.2 einzuplanen. Danach ist die Baugrube zu Lenzen und eine offene Wasserhaltung nach Kap. 4.4.3.1 auszuführen. Aufgrund ggf. vorhandener gespannter Grundwässer ist beim Aushub darauf zu achten, dass die Sohle nicht aufbricht. Das Grundwasser innerhalb des dichten Verbaus ist über Entspannungsmaßnahmen (siehe Kap. 4.4.3.2) zu regulieren. Gegebenenfalls kann alternativ auch die Schlitzwand in einen natürlichen Stauer geführt werden (Schacht 2b / 2 km 0+950).

Zwei weitere Notausgänge liegen im Bereich der Vereisungsstrecken Variante 1c und 1b westlich des HP Schlump I, diese werden im Zuge der Offenen Bauweise hergestellt.

4.4 Mögliche Herstellung und Bauweisen der Stationsbauwerke

Es empfiehlt sich vor allem im vorliegenden innerstädtischen Bereich weitestgehend auf großräumige Grundwasserabsenkungsmaßnahmen zu verzichten, um einerseits Grundwasser-schonende zu bauen, andererseits um das Risiko bzw. die Gefahr von Setzungen zu umgehen. In den setzungsempfindlichen, wassergesättigten Sedimenten, Schmelzwassersedimenten (Schicht 3) bzw. Sedimenten der Eem-Warmzeit (Schicht 2) sind Verformungen, die sich aus den Änderungen im Gleichgewicht von Porenwasser und Korngerüst ergeben schwer kalkulierbar.

Ist keine Grundwasserabsenkung geplant, werden dichte Baugruben erforderlich, die sich aus einem dichten Baugrubenverbau und einer dichten Sohle zusammensetzen. Während des Aushubs und in den unterschiedlichen Bauzuständen (Aushubstadien) können ggf. Grundwassermaßnahmen (Lenzen, Offene Wasserhaltungen, Entspannungswasserhaltungen) eingesetzt werden.

4.4.1 Baugrubenverbauten

Aufgrund der innerstädtischen Lage des Projekts und damit einhergehender beengter Platzverhältnisse, möglicher Rammhindernisse im Untergrund (Schicht 4), der erforderlichen tiefen Baugruben (> 20 m bis hin zu 40 m) und einem hohen Sicherheitsbedürfnis aufgrund von Nachbarbebauung kommen für den Verbau von offenen Baugruben vor allem überschnittene Bohrpfahlwände oder Schlitzwände in Frage.

4.4.1.1 Überschnittene Bohrpfahlwand

Aufgrund des hoch anstehenden Grundwassers sind Pfahlwände im Projektbereich überschnitten herzustellen, um eine Wasserdichtigkeit herzustellen. Aufgrund möglicher Bohrabweichungen sind Bohrpfahlwände nur für Baugrubenwände <25 m bis 30 m Tiefe einsetzbar. Die Bohrpfähle sind in den tragfähigen Untergrund und falls möglich in einen durchgängigen Grundwasserstauer (siehe Kap. 4.4.2.1) einzubinden. Liegt keine natürliche Dichtsohle vor, ist ein anderes Sohlabdichtungssystem zu wählen (Kap. 4.4.2). Eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch sowie Aufschwimmen ist in allen Bauphasen nachzuweisen, ansonsten sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich (siehe Kap. 4.4.3).

Bohrpfahlwände sind verformungsarm, ihre Herstellung ist erschütterungsarm und sie weisen ein minimales Risiko von Setzungen zu Nachbarbebauungen auf. Eine platzsparende Herstellung ist möglich und die Herstellung ist flexibel bzgl. Grundrissform und eventuell nötiger Öffnungen für Querungen o.ä..

4.4.1.2 Schlitzwandverbau

Für alle Stationen, die in offener Bauweise mit Tiefen > 25 m herzustellen sind kommen Schlitzwandverbauten als dichte Baugrubenumschließung in Frage.

Die Schlitzwände sind in den tragfähigen Untergrund und falls möglich in einen durchgängigen Grundwasserstauer (siehe Kap. 4.4.2.1) einzubinden. Liegt keine natürliche Dichtsohle vor, ist ein anderes Sohlabdichtungssystem zu wählen (Kap. 4.4.2). Eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch sowie Aufschwimmen ist in allen Bauphasen nachzuweisen, ansonsten sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich (siehe Kap. 4.4.3).

Auch Schlitzwände sind verformungsarm, ihre Herstellung ist erschütterungsarm und sie weisen ein minimales Risiko von Setzungen zu Nachbarbebauungen auf. Eine platzsparende Herstellung ist möglich und sie können als tragende Elemente in die Gründung (z.B. Schlitzwanddeckelbauweise) integriert werden. Nachteile sind die aufwendige Baustelleneinrichtung, die sich erst bei großen Baugruben rechnet, sowie die kostspielige Entsorgung der Stützflüssigkeit oder deren Separierung.

4.4.2 Sohlabdichtungssysteme

Als Sohlabdichtungssysteme können drei unterschiedliche Varianten eingesetzt werden. Die günstigste Variante liegt bei einer natürlich vorhandenen grundwasserstauenden Schicht vor, in die der Verbau bzw. die Bauwerkssohle einbindet. Liegt kein natürlicher Grundwasserstauer vor, ist eine künstliche Dichtsohle herzustellen, wobei hier die hochliegende und die tiefliegende Dichtsohle zu unterscheiden sind. Grundsätzlich sollte eine wirtschaftliche Betrachtung der zuvor beschriebenen Alternativen im Vorfeld von weiteren Planungen erfolgen.

4.4.2.1 Natürliche Dichtsohle im bindigen Untergrund

Liegt im Bereich der Baugrubensohle bzw. in einer wirtschaftlichen Tiefe eine natürliche wasserstauende Schicht vor, kann diese als Dichtsohle für die wasserdichte Herstellung der Baugruben zur Anwendung kommen. Die mit den Moränenablagerungen (Schicht 4a bis 4c) vorhandenen bindigen Baugrundsichten können als natürliche dichte Baugrubensohle herangezogen werden. Ein Risikofaktor bei einer Einbindung in die Moränenablagerungen stellen ablagerungsbedingte, durchlässigere Lagen bzw. Linsen in Form von Sanden und Kiesen dar. Anhand der im 3D-Modell eingehängten Bestandsbohrungen, konnten solch offensichtliche durchlässige Lagen nicht ausgewiesen werden. Die Hauptgemengteile der Moränenablagerungen können zwar oft durch Sande und untergeordnet durch Kiese gestellt werden, es sind dann aber trotzdem so hohe Anteile an bindigem Material (Ton und Schluff) vorhanden, dass diese die maßgebenden Eigenschaften im Bezug auf die Durchlässigkeit bestimmen. Nichtsdestotrotz sind in den weiteren Erkundungs- und Planungsphasen hierzu detaillierte Nacherkundungen erforderlich (siehe Kap. 5).

In der Planung ist zu berücksichtigen, dass die natürliche bindige Schicht ausreichend mächtig ausgebildet ist, den Wasserdruck bzw. den Auftrieb zu jeder Zeit für alle Bauzustände aufnehmen zu können. Ist dies nicht der Fall, sind hier Grundwasserentspannungsmaßnahmen bis zum Erhalt der Auftriebssicherheit durch die Auflast des Gebäudes einzuplanen (siehe Kap. 4.4.3.2).

4.4.2.2 Hochliegende Dichtsohle (Unterwasserbetonsohle)

Als mögliche hochliegende Dichtsohlen kommen Unterwasserbetonsohlen oder Düsenstrahlsohlen vor. Aufgrund der Vorteile im Hinblick auf Kosten, geringere Risiken von Undichtigkeiten und Sohlaufbrüchen, sowie geringeren Durchlässigkeiten empfehlen wir Unterwasserbetonsohlen im Falle von hochliegenden Sohlen auszuführen. Hier werden bei den vorhandenen hochliegenden Grundwasserständen vermutlich ausschließlich rückverankerte Unterwasserbetonsohlen zur Ausführung kommen.

Auch hier ist in der Planung zu berücksichtigen, dass die Unterwasserbetonsohle ausreichend mächtig ausgebildet ist, um den Wasserdruck bzw. den Auftrieb zu jeder

Zeit für alle Bauzustände aufnehmen zu können. Zusätzlich notwendige Auftriebssicherungen in Form von Verpressankern o.ä.) sind dabei einzuplanen.

4.4.2.3 Tiefliegende Dichtsohle

Tiefliegende Dichtsohlen können mittels Düsenstrahlverfahren oder Injektion von Zement oder Weichgel erfolgen. Machbar sind im Hamburger Untergrund bei den zu meist vorhandenen Sanden eine Feinstzementinjektion, eine Weichgelinjektion oder eine Sohle mittels Düsenstrahlverfahren. Umwelttechnische Einschränkungen für die Verwendung sind hierbei im Vorfeld abzustimmen.

Die Auftriebssicherheit einer tiefliegenden Dichtsohle wird allein durch das Eigengewicht der Sohle und der überlagernden Bodenschichten gewährleistet, d. h. das Eigengewicht ist – unter Beachtung der erforderlichen Sicherheiten – größer als der von unten auf die Dichtsohle wirkende Wasserdruck. Die tiefliegende Sohle wird dementsprechend hydraulisch beansprucht und muss eine ausreichend geringe Durchlässigkeit aufweisen, um die aus der Baugrube zu fördernden Restwassermengen wirksam zu begrenzen. Es ist vor allem beim Düsenstrahlverfahren darauf zu achten, dass die Bohrgenauigkeiten mit zunehmender Baugrubentiefe abnehmen und es hier zu Fehlstellen kommen kann. Hier ist eine besondere Sorgfalt bei der Herstellung von Nöten und es besteht ein Risiko, dass bei zu hoher Durchlässigkeit nochmals nachinjiziert bzw. nachgedüst werden muss.

4.4.3 Wasserhaltungsmaßnahmen

Von großräumigen Wasserabsenkungsmaßnahmen raten wir aufgrund der innerstädtischen Lage, der setzungsempfindlichen Sande und der damit verbundenen Risiken ab.

4.4.3.1 Offene Wasserhaltung

Im Zuge des Stationsbaus sind dichte Baugruben geplant, somit beschränken sich die Wasserhaltungsmaßnahmen, nach dem Lenzen der Baugruben auf das durch den Baugrubenverbau auftretende Sickerwasser, das ggf. vorhandene Sohlwasser (v.a. bei tiefliegender Dichtsohle) sowie den Niederschlag während der Bauzeit. Es sind hierzu geeignete Maßnahmen (Pumpensümpfe, Pumpen, Drainageleitungen bzw. -gräben) einzuplanen.

4.4.3.2 Entspannungswasserhaltung

Zum momentanen Planungszeitpunkt gehen wir davon aus, dass das Grundwasser in den tieferliegenden Sandschichten gespannt vorliegt. Wobei das Druckpotential vermutlich auf Niveau der Grundwasserisohypsen des oberen Grundwassers liegt. Somit ist in einigen Stationsbereichen, in denen eine natürliche Dichtsohle vorliegt, beim Aushub die Gefahr von Sohlaufbrüchen (Aufschwimmen) gegeben. Bereichsweise kann ebenfalls die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs bestehen. Somit

Anlage 07 Baugrundgutachten

ist in diesen Fällen bis zur Herstellung der Station bzw. bis zum Erreichen der Auftriebsicherheit eine Entspannungswasserhaltung notwendig. Diese Wasserhaltung kann über Entspannungsbrunnen innerhalb der Baugrube erfolgen und ist im Detail für die unterschiedlichen Bauzustände zu planen und zu bemessen.

5 Weiterführendes Erkundungskonzept

5.1 Ergänzende Baugrundaufschlüsse

In den weiteren Planungsphase sind umfangreiches, auf das Projekt abgestimmte, Erkundungskonzepte notwendig. Zur Vorerkundung und Auswahl der Vorzugsvariante sind vor allem zusätzliche Aufschlüsse im Bereich der möglichen Trassen und Stationen zu planen, die zudem über eine ausreichende Erkundungstiefe verfügen. Neben der Bestätigung bzw. Verfeinerung der Baugrundsichten sind vor allem Daten zum vorhandenen Grundwasserstockwerken erforderlich.

Die Grundlagen für die Planung von Erkundungsbohrungen und Baugrunduntersuchungen im Allgemeinen sind im Eurocode 7 (EC 7; DIN EN 1997-2:2010-10, DIN EN 1997-2/NA:2010-12) sowie in der DIN 4020:2010-12 festgelegt. Zudem ist der Erkundungsumfang ebenfalls von der Geotechnischen Kategorie nach DIN 4020:2010 12 und DIN 1054:2021 04 abhängig.

Im Hinblick auf den Baugrund und auch die geplanten Bauwerke fällt das Projekt in die Geotechnische Kategorie GK 3 nach DIN 4020:2010-12 und DIN 1054:2021-04. Es herrschen Baugrundverhältnisse mit einem mittleren bis schweren Schwierigkeitsgrad und wechselhaften mechanischen Eigenschaften des Untergrunds und komplexen Grundwasserverhältnissen vor.

Bzgl. des Erkundungsumfangs gibt die DIN EN 1997-2:2010-10 Richtwerte vor, die bereits für Hauptuntersuchungen gelten. Bei großflächigen Bauwerken ist ein Rasterabstand von 60 m (Stationen) und bei Linienbauwerken (Tunnel) ein Achsabstand von 20 m bis 200 m vorgegeben.

Die Aufschlüsse sollten dabei jedoch den Vorgaben der DIN EN 1997-2:2010-10 bzgl. der Erkundungstiefe genügen. Hierbei kommen je nach Gewerk mehrere Kriterien zum Tragen. Bei Tunnelbauwerken ist die Erkundungstiefe um das 1 bis 2-fache der Tunnelbreite unter die Tunnelsohle zu führen. Das heißt bei der geplanten Tunnelbreite von ca. 8 m sollten die Aufschlüsse 8 bis 16 m unter die Tunnelsohle reichen. Da zwei Tunnelröhren angedacht sind, empfehlen wir die höhere Erkundungstiefe von 16 m unter Tunnelsohle.

Bei den Stationsbauwerken (Plattengründungen, Baugruben) gibt es nach DIN EN 1997-2:2010-10 einerseits die Vorgabe, dass die Erkundungstiefe mindestens die 1,5-fache Bauwerksbreite unter die Gründungssohle reichen sollte. Bei der Bauwerksbreite liegen wir bei den Stationsbauwerken bei ca. 25 m und kämen so auf eine Erkundungstiefe von 37,5 m u. Fundamentunterkante. Andererseits gibt es bei Baugruben die Vorgabe, dass bei Grundwasserdruckflächen bzw. Grundwasseroberflächen oberhalb der Baugrubensohle die Mindesterkundungstiefe unter Baugrubensohle der Höhe der Grundwasseroberfläche über Baugrubensohle plus 2 m entsprechen sollte, bzw. der Einbindetiefe des Verbaus plus 2 Meter und bei nicht erreichen

Anlage 07 Baugrundgutachten

eines Grundwasserstauers bis zu dieser Tiefe, sollte bis 5 m unter Verbauunterkante erkundet werden. Bei der tiefsten geplanten Baugrubenvariante (Dammtor III) liegt das Grundwasser 34 m ü. Baugrubensohle und somit ist eine Erkundungstiefe von 36 m u. Baugrubensohle abzuteufen. Bei allen anderen Stationen wäre dieser Wert geringer. Somit sollte die Erkundungstiefe zumindest in einigen ausgewählten Bohrungen an den Stationen mindestens bis in eine Tiefe von ca. 40 m u. BGS reichen.

Auf Grundlage der Projektphase (Übergang von Machbarkeitsstudie zu Vorplanung) empfehlen wir zunächst in den Bereichen, der neu geplanten Trassen und Stationen, in denen keine bzw. keine ausreichend tiefen Baugrundaufschlüsse vorhanden sind, folgende Mindesterkundung (s. Tab. 6 bis Tab. 8) durchzuführen:

Tab. 6: Erkundungsumfang in Anlehnung an DIN EN 1997-2:2010-10 für Bereiche in denen keine Baugrundaufschlüsse bzw. nicht ausreichend tiefe Baugrundaufschlüsse vorhanden sind.

Baugrundaufschlüsse	Rasterabstand	Achsabstand	Erkundungstiefe
Trassen	-	200 m	16 m u. Tunnelsohle
Stationen	60 m	-	40 m u. BGS

Somit ergibt sich für die ca. 25 m x 250 m langen Stationen ein Mindesterkundungsumfang von ca. 6 Aufschlüssen. Davon sollte mindestens die Hälfte bis in die gewünschte Erkundungstiefe reichen. Im Bereich der Station Altona Diebsteich ist zudem die Verbreitung des Salzdiapirs zu erkunden.

Für die etwa 6 km langen Trassen ergeben sich abzüglich der Stationsbereiche (ca. 1250 m) je ca. 20 Baugrundaufschlüsse pro Trasse als Mindesterkundungsumfang, wobei Synergieeffekte bei nahezu identischen Trassenverläufen (Hbf.-Dammtor) genutzt werden können. Von den vorgesehenen Bohrungen sollten mindestens die Hälfte bis in die erforderliche Erkundungstiefe (16 m u. Tunnelsohle) reichen.

Tab. 7: Bewertungsmatrix benötigte Erkundungen Stationen für Voruntersuchungen: Abgleich mit vorhandenen Baugrundaufschlüssen. grün: Mindestmaß eingehalten; orange: Mindestmaß teilweise eingehalten; Mindestmaß nicht eingehalten.

Station	Variante	Rasterabstand	Erkundungstiefe Bestand	Anzahl benötigter Aufschlüsse		zu planende Erkundungstiefe	
Hauptbahnhof	1, 2, 3			3		50 m	
Dammtor I	1, 3			3	3	55 m	30 m
Dammtor III	2			3		70 m	
Schlump I	1			4		65 m	
Feldstraße	2			3		65 m	
Sternschanze	3			3		60 m	

Anlage 07 Baugrundgutachten

Station	Variante	Rasterabstand	Erkundungstiefe Bestand	Anzahl benötigter Aufschlüsse		zu planende Erkundungstiefe	
Alsenplatz II	1			4		55 m	
Max-Brauer-Allee I	2			6		60 m	
Holstenstraße I	3			3		60 m	
Altona Diebsteich Ic	1, 2, 3			4	4	60 m	30 m
Altona Mitte	1, 2, 3			4		60 m	

Tab. 8: Bewertungsmatrix benötigte Erkundungen Trassenvarianten: Abgleich mit vorhandenen Baugrundaufschlüssen. grün: Mindestmaß eingehalten; orange: Mindestmaß teilweise eingehalten; Mindestmaß nicht eingehalten.

Variante	Achsabstand	Erkundungstiefe Bestand	Nacherkundungen alle 200 m erforderlich	zu planende Erkundungstiefe
Variante 1 (Nord)			Hauptbahnhof bis Dammtor I	40 m
			Dammtor I bis Schlump I	55 m
			Schlump I bis Alsenplatz II	50 m
			Alsenplatz II bis Abzweigbauwerk	35 m
Variante 2 (Süd)			Hauptbahnhof bis Dammtor III	55 m
			Dammtor III bis Feldstraße	55 m
			Feldstraße bis Max-Brauer I	45 m
			Max-Brauer I bis Abzweigbauwerk	40 m
Variante 3 (Mitte)			Hauptbahnhof bis Dammtor I	Variante 1
			Dammtor I bis Sternschanze	60 m
			Sternschanze bis Holstenstraße I	35 m
			Holstenstraße I bis Abzweigbauwerk	40 m
Verzweigungen			Schlump I bis Holstenstraße I	45 m
			Feldstraße bis Holstenstraße I	45 m
			Abzweig Altona	40 m
			Abzweig Diebsteich-Altona	30 m
			Abzweig Diebsteich	40 m
			Abzweig S32	45 m

Im Bereich zwischen Bahnhof Altona und Altona Diebsteich kommt der im Untergrund vorhandene Salzdiapir (OLD) sehr nah an die Oberfläche (teils nur ca. 20 m u. GOK). In diesem Bereich sind mehrere Aufschlussbohrungen zur Erkundung des Salzdiapirs, dessen Zusammensetzung und Ausdehnung bzw. Tiefenlage durchzuführen. Diese Bohrungen sollten tiefgreifend in den Salzstock führen, um eventuelle Auslaugungshorizonte zu erfassen (ca. 60 m u. GOK).

Die Baugrundaufschlüsse sollten als gekernte Bohrungen durchgeführt werden (Rammkern- / Rotationskernbohrungen) mit einem Mindestdurchmesser von 176 mm. Ergänzend zu den Aufschlussbohrungen sind in etwa in gleicher Anzahl schwere Rammsondierungen (DPH) und Drucksondierungen (CPTs) durchzuführen, wobei diese bei der Erkundungstiefe deutliche Einschränkungen aufweisen. In den Bohrungen sind zudem in ausgewählten Tiefen, über das gesamte Spektrum der Schichten Bohrlochrammsondierungen (BDPs/SPTs) durchzuführen.

Zur Bestimmung der Grundwassergegebenheiten sowie der hydraulischen Verhältnisse empfehlen wir ein Grundwassermessnetz aufzubauen. Dieses sollte über das ganze Modellgebiet reichen. Dabei sind Messstellen an den Modellrändern (z.B. 6 Stk.) sowie entlang der jeweiligen Trassenvarianten (im günstigen Fall in der Nähe der geplanten Stationen) vorzusehen. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, ggf. getrennten oder auch über hydraulische Fenster verbundenen Grundwasserstockwerken, sind die Pegel nach Bedarf als Mehrfachmessstellen auszubauen oder ggf. zusätzlich mit Piezometer auszurüsten.

In den Messstellen sollten zur Ermittlung von hydraulischen Kennwerten (z.B. Durchlässigkeitsbeiwerten) Pumpversuche durchgeführt werden. Des Weiteren sind die Messstellen mit Datenloggern auszurüsten, um eine kontinuierliche Grundwassermessung im Jahresverlauf zu gewährleisten. Bei der Errichtung der Messstellen sollte die Lage so gewählt werden, dass diese auch später noch in der Bauphase erhalten bleiben können, um hier wertvolle Daten zu liefern. Neben den geplanten Grundwassermessstellen sollten ebenfalls Messdaten aus Messstellen der Stadt Hamburg, ggf. auch der Hamburger Hochbahn AG miteinbezogen werden. Zur weiteren Ermittlung von hydraulischen Kennwerten empfehlen wir in den Aufschlussbohrungen Absink- bzw. Auffüllversuche vorzunehmen.

Abgestimmt auf die Ergebnisse der Vorerkundung sind Aufschlusspunkte im Zuge der Haupterkundung ggf. zu verdichten und Untersuchungsparameter nach Bedarf zu spezifizieren.

5.2 (Labor-)Untersuchungen

Für die kommenden Erkundungsphasen (Vorerkundung) sollten aus den Aufschlussbohrungen Bodenproben entnommen werden. Die Bodenproben sollten die unterschiedlichen beschriebenen Schichten (Schicht 1 bis 7) sowie deren Schwankungsbreite im Hinblick auf Kennwerte und Klassifizierung erfassen. Als Grundlage für die erforderlichen Laborversuche stehen die DIN Normen der DIN 18300ff:2019-09 zur Verfügung. Hierbei kommen bei den vorhandenen Gewerken vor allem die DIN 18300:2019-09 (Erdarbeiten), die DIN 18301:2019-09 (Bohrarbeiten), die DIN 18303:2019-09 (Ramm- und Rüttelarbeiten), DIN 18312:2019-09 (Untertagebauarbeiten) sowie die DIN 18313:2019-09 (Schlitzwandarbeiten) zum Tragen. Die

Anlage 07 Baugrundgutachten

folgenden beiden Tabellen (Tab. 9 & Tab. 10) geben einen Überblick, welche Untersuchungen und Angaben für die geplanten Gewerke erforderlich sind:

Tab. 9: Notwendige Untersuchungen in Lockergesteinen (Schicht 1 bis 6) bei den geplanten Gewerken nach DIN 18300ff:2019-09.

Untersuchung/Kennwert	Norm	DIN 18 XXX				
		300	301	304	312	313
ortsübliche Bezeichnung		✓	✓	✓	✓	✓
Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17892-4	✓	✓	✓	✓	✓
Massenanteil Steine, Blöcke	DIN EN ISO 14688-1	✓	✓	✓	✓	✓
Feuchtdichte	DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	✓			✓	✓
undrained Scherfestigkeit	DIN 4094-4, DIN EN ISO 17892-7 oder DIN EN ISO 17892-8	✓	✓		✓	✓
Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1	✓	✓	✓	✓	✓
Plastizitätszahl	DIN EN ISO 17892-12	✓	✓	✓	✓	✓
Konsistenzzahl	DIN EN ISO 17892-12	✓	✓	✓	✓	✓
Konsistenz	DIN EN ISO 14688-1					
Lagerungsdichte	DIN 18126 und DIN EN ISO 14688-2	✓	✓	✓	✓	✓
organischer Anteil	DIN 18128	✓			✓	✓
Bodengruppen	DIN 18196	✓	✓	✓	✓	✓
Kohäsion	DIN EN ISO 17892-9 und DIN EN ISO 17892-10		✓		✓	
Abrasivität	NF P18-579		✓		✓	
Kalkgehalt	DIN 18129					✓
Benennung und Beschreibung organischer Böden	DIN EN ISO 14688-1					
mineralogische Zusammensetzung der Steine und Blöcke	DIN EN ISO 14689-1				✓	
Sensitivität	DIN 4094-4				✓	
Durchlässigkeit	DIN EN ISO 17892-11					

Tab. 10: Notwendige Untersuchungen im Fels (Schicht 7) bei den geplanten Gewerken nach DIN 18300ff:2019-09.

Untersuchung/Kennwert	Norm	DIN 18 XXX				
		300	301	304	312	313
ortsübliche Bezeichnung		✓	✓	✓	✓	✓
Benennung von Fels	DIN EN ISO 14689	✓	✓	✓	✓	✓
Feuchtdichte	DIN EN ISO 17892-2	✓			✓	✓
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	DIN EN ISO 14689	✓	✓		✓	✓
einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins	DIN 18141-1	✓	✓	✓	✓	✓
Trennflächenrichtung, -abstand, Gesteinskörperform	DIN EN ISO 14689	✓	✓		✓	✓
Abrasivität	DGGT-Empfehlung Nr. 23		✓		✓	
Öffnungsweite und Kluffüllung von Trennflächen	DIN EN ISO 14689-1				✓	
Gebirgsdurchlässigkeit	DIN EN ISO 14689					

Anlage 07 Baugrundgutachten

Neben den aus der Normung hervorgehenden Laborversuchen und visuellen Untersuchungen sollten aufgrund der in Kap. 4 benannten Schlüsselprobleme ebenfalls Untersuchungen hinsichtlich des Verklebungspotentials (quellfähige Tonminerale), des Verwitterungsgrades (Fels, Gips), sowie weitere Untersuchungen der Abrasivität (qualitativer Rundungsgrad, äquivalenter Quarzgehalt).

Auch das Grundwasser ist hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung und deren Auswirkung auf Betonaggressivität und Stahlaggressivität zu erkunden. Über umwelttechnische Untersuchungen sollten zudem Einleitparameter mit der Stadt Hamburg abgestimmt werden.

Somit sollten neben der Bohrkernaufnahme durch einen Sachverständigen für Geotechnik folgende Versuche durchgeführt werden:

Tab. 11: Boden- und felsmechanisches sowie hydrochemisches Erkundungskonzept:

Untergrund	Versuch		Norm/Empfehlung
Boden	Korngrößenverteilung	Siebanalyse	DIN EN ISO 17892-4:2017-04
Boden	Korngrößenverteilung	kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse	DIN EN ISO 17892-4:2017-04
Boden	Zustandsgrenzen	Fließ- und Ausrollgrenzen	DIN EN ISO 17892-12:2020-07
Boden	Wassergehalt	Ofentrocknung	DIN EN ISO 17892-1:2015-03
Boden	Glühverlust		DIN 18128:2002-12
Boden	Kalkgehalt	Kalkgehaltsbestimmung	DIN 18129:2011-07
Boden	Abrasivität	LCPC-Test	AFNOR NF P18-579:2013-02, [U 11]
Boden	qualitativen Kornrundung		-
Boden	Röntgendiffraktometraufnahmen (XRD)	äquivalenter Quarzgehalt	-
Boden	Röntgendiffraktometraufnahmen (XRD)	quellfähige Tonminerale	-
Boden	einaxiale Kompression (Ödometer)	stufenweise	DIN EN ISO 17892 5:2017 08
Boden	direkter Scherversuch		DIN EN ISO 17892 10:2019-04
Fels	Abrasivität	Cerchar-Versuch	AFNOR NF P94-430-1:2000-10, Empfehlung Nr.23 des AK 3.3 der DGGT (2016)
Fels	einaxiale Druckfestigkeit		Empfehlung Nr. 1 des AK 3.3 der DGGT (2004)
Fels	Wasserlagerungsversuch		DIN EN ISO 14689:2018-05
Grundwasser	Betonaggressivität		DIN 4030-1:2008-06, DIN 4030-2:2008-06
Grundwasser	Stahlaggressivität		DIN 50929 3:2018-03:

Anlage 07 Baugrundgutachten

Insbesondere für die Konzeption der Tunnelvortriebsmaschine sind weitere Versuche (Tab. 12) einzuplanen.

Tab. 12: spezialisiertes Erkundungskonzept (Baumaßnahme):

Untergrund	Versuch		Norm/Empfehlung
Boden	einaxiale Druckversuche	undrainierte Kohäsion	DIN EN ISO 17892-7
Boden	Wasserdurchlässigkeit		DIN EN ISO 17892-11
Boden	Dichtebestimmung		DIN EN ISO 17892-2
Boden	Quellversuch	nach Kaiser/Henke	DGGT-Empfehlung Nr. 11
Boden	Siebtrommelversuch		DGGT-Empfehlung Nr. 20
Grundwasser	umwelttechnische Untersuchungen	Parameterliste der Stadt Hamburg	BUKEA/W22

6 Schlussbemerkung

Der vorliegende geologisch-geotechnische Bericht zur Machbarkeitsstudie des Verbindungsentlastungstunnels zwischen Hamburg Hauptbahnhof und Hamburg Altona Diebsteich / Hamburg Altona wurde auf Grundlage von online verfügbaren Bestandsaufschlüssen sowie des darauf fußenden 3D-Untergrundmodells der Stadt Hamburg gefertigt, das von der Baugeologischen Büro Bauer GmbH hinsichtlich der projektspezifischen Belange weiter verfeinert wurde.

Anhand umfangreicher Laborversuche, die im Zuge der geologischen Erläuterungen des Blattes Hamburg [U 1] gemacht wurden sowie unserer geologisch-geotechnischen Erfahrungen konnten bereits erste bodenmechanische Kennwerte für die Schichten (1 bis 6) gegeben werden, die jedoch vorläufig und vorbehaltlich der durchzuführenden weiteren Erkundungen zu sehen sind (siehe Kap. 5).

Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass die Baugrunderkundungen vor allem hinsichtlich der geplanten Gewerke ergänzt werden müssen. Hier mangelt es bereichsweise an der Erkundungsdichte und in fast allen Bereichen an der Erkundungstiefe. Das heißt, es sind vor allem tieferreichende Aufschlüsse in den relevanten Bereichen sowie gezielte Laborversuche hinsichtlich der aufgeführten Schlüsselprobleme erforderlich (siehe Kap. 4 und 5). Zudem sind die hydrologischen Gegebenheiten über ein Monitoring, mittels eines Netzes aus Grundwassermessstellen, zu detaillieren.

Im vorliegenden Bericht wurde der Mindesterkundungsumfang für die nächsten Planungsphasen zusammengefasst. Eine detaillierte Hauptuntersuchung nach EC 7 (DIN EN 1997-2:2010-10, DIN EN 1997-2/NA:2010-12) sowie DIN 4020:2010-12 ist nach Festlegung der Trassenvariante und der Stationen durchzuführen.

Des Weiteren sollten in der kommenden Erkundungsphase orientierende umwelttechnische Untersuchungen an Bodenproben der jeweiligen Schichten erfolgen und für eine kommende Hauptuntersuchung sollte ein eigenständiger Bericht zu einem Bodenverwertungskonzepts (BoVek) erstellt werden.
