

**Baugrunduntersuchung
Baugrundbeurteilung
Betriebshof Gröpelingen
Teilprojekt 2: Betriebshof**

Projekt Nr.: 2957-2-1-18

Auftraggeber: Bremer Straßenbahn AG
Flughafendamm 12
28199 Bremen

Auftragnehmer: Ingenieurgeologisches Büro
underground
Plantage 20
28215 Bremen

Sachbearbeiter: Dipl.-Geol. A. Malkwitz

Datum: 27.06.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Vorgang	4
2. Durchgeführte Maßnahmen	6
3. Bodenaufbau	7
3.1 Kleinrammbohrungen Wall 1 bis Wall 3	7
3.2 Kleinrammbohrungen Gleis 2-1 bis Gleis 2-4	7
3.3 Kleinrammbohrungen Tank 1 und Tank 2	8
4. Einordnung der Böden	9
4.1 Eigenschaften der Böden	9
4.2 Homogenbereiche	10
4.3 Abschätzung der Bodenkennwerte	11
4.4 Bodenverunreinigungen	11
5. Gründung	12
5.1 Baugrundrisiko	13
5.2 Geotechnische Kategorie	13
5.3 Gründungsempfehlung Hochbau	14
5.3.1 Gründung des Gebäudes	15
5.3.2 Herstellung des Industriebodens	17
6. Herstellung der Verkehrsflächen	18
6.1 Frostsicherheit	18
6.2 Tragfähigkeit	19
6.3 Hinweise zur Ausführung	20
6.4 Empfehlungen zur Ausführung der Gleisanlagen	21
7. Hinweise und Empfehlungen zur Bauausführung	22
7.1 Baugrube	22
7.2 Erdarbeiten	22
7.3 Durchlässigkeit des Untergrundes	22
7.4 Festlegung der Expositionsklasse nach EN 206	23
7.5 Wiederverwendbarkeit von Bodenaushub für bautechnische Zwecke	23
7.6 Befahrbarkeit	23

Tabellen

Tabelle 1: Eigenschaften der Homogenbereiche	10
Tabelle 2: Bodenkennwerte (Mittel- und Erfahrungswerte)	11
Tabelle 3 Nach DIN 4017 T 1 berechnete Bemessungswerte für den Grundbruchwiderstand und nach DIN 4019 T 1, abgeschätzte Setzungen für Einzel- und Streifenfundamente Bodenaufbau KRB 19	16
Tabelle 4: Nach DIN 4017 T 1 berechnete Bemessungswerte für den Grundbruchwiderstand und nach DIN 4019 T 1 abgeschätzte Setzungen für Einzel- und Streifenfundamente Bodenaufbau Grünfläche 2	16
Tabelle 5: Mehr - und Minderdicken des frostsicheren Oberbaus nach RStO 12	18
Tabelle 6: BSAG Standardbauweise auf F 2-Untergrund angelehnt an die Bauweise mit Betondecke", Tafel 2, Zeile 1.1. Bk 10 der RStO	19

Anlagen

- Anlage 1: Lageplan
- Anlage 2: Bohrprofile

1. Vorgang

Die Bremer Straßenbahn AG beabsichtigt den Betriebshof Gröpelingen umzugestalten und neu zu ordnen.

In diesem Zusammenhang wurden im Jahre 2016 bereits geotechnische Untersuchungen durchgeführt:

- Ingenieurgeologisches Büro underground; August 2016:
Baugrunduntersuchung Baugrundbeurteilung, Neubau Betriebshof und Umsteiganlage Gröpelingen in Bremen

Um die in den genannten Berichten erlangten Ergebnisse zu verdichten und auch das Umfeld der Baumaßnahme mit einzubeziehen, wurde das Ingenieurgeologische Büro underground mit einer Erkundung des Untergrundes im gesamten Bereich, der von der Neugestaltung des Betriebshofes betroffen ist, beauftragt.

Dabei wurden von Seiten des AG drei Teilbereiche unterschieden:

- Teilbereich 1: Städtebauliche Umfeldanpassung (grüner Bereich)
- Teilbereich 2: Betriebshof (blauer Bereich)
- Teilbereich 3: Umsteiganlage (roter Bereich)

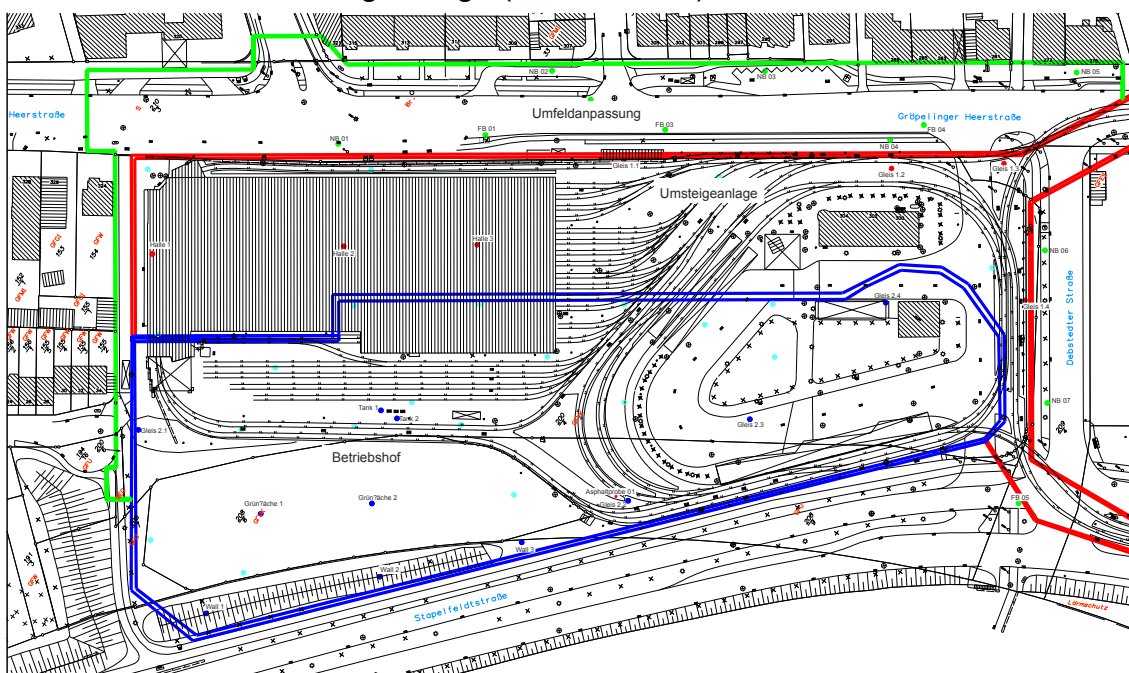


Bild 1: Darstellung der Teilbereiche

Das Untersuchungskonzept sieht vor, für jeden Teilbereich eine weiterführende Baugrunduntersuchung, eine weiterführende Orientierende Untersuchung sowie eine Einstufung der Böden hinsichtlich der Wiederverwertung/Entsorgung nach den Richtlinien der LAGA vorzunehmen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die weiterführende Baugrunduntersuchung im Teilbereich 2 (Betriebshof).

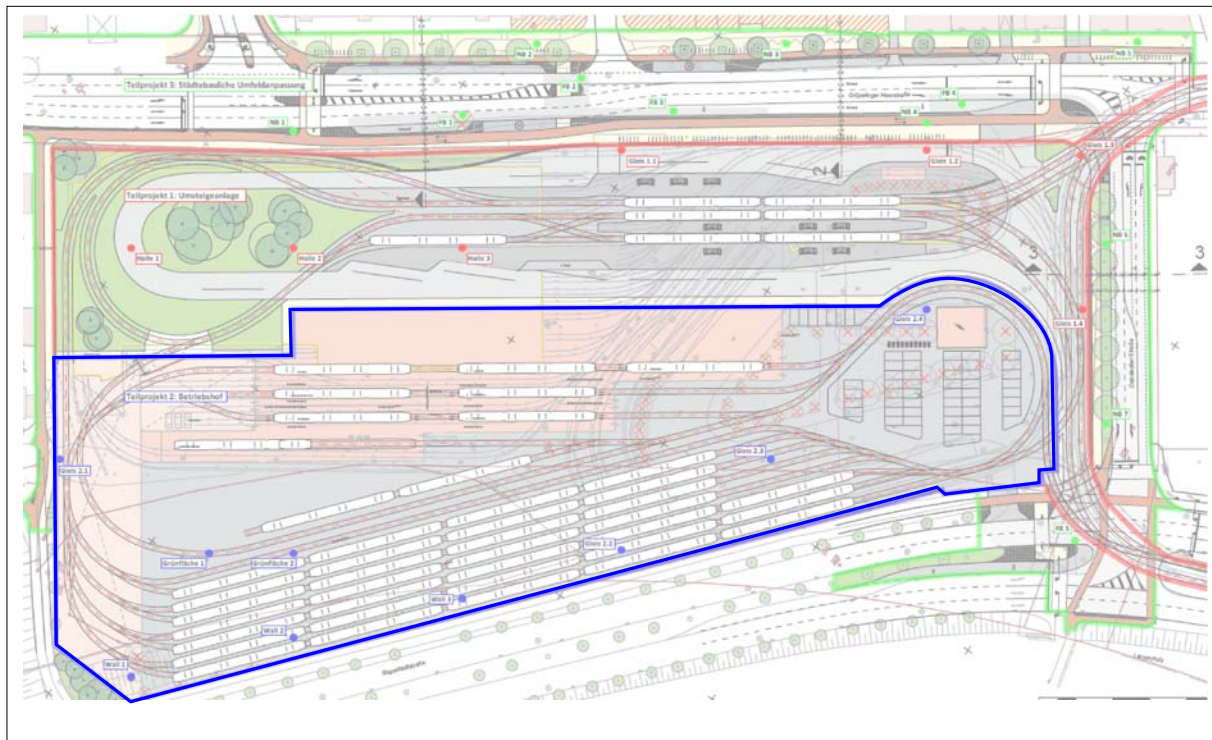


Bild 2: Teilbereich Betriebshof (blauer Bereich) mit den aktuellen Planungen

Der Untersuchungsumfang sowie die Ansatzpunkte der Kleinrammbohrungen wurden durch den AG festgelegt.

Außerdem wurde für den hier untersuchten Bereich eine abfalltechnische Bewertung (Abfalltentechnische Einordnung BV BSAG Gröpelingen Teilprojekt 2: Betriebshof Ingenieurgeologisches Büro underground; Juni 2018) sowie eine weiterführende Orientierende Untersuchung (Weiterführende Orientierende Untersuchung BV BSAG Gröpelingen Teilprojekt 2: Betriebshof Ingenieurgeologisches Büro underground; Juni 2018) vorgelegt.

Nach der Durchführung sämtlicher geotechnischer Untersuchungen wurde eine historische Recherche aufgrund der langjährigen gewerblichen Nutzung des Grundstücks erstellt (Historische Recherche des BSAG Betriebshofes Gröpelingen, Bremen, Dr. Pirwitz Umweltberatung, Juli 2018) und vorgelegt.

Im Folgenden werden im Abgleich mit der früheren Baugrunderkundung Aussagen zur Tragfähigkeit des Untergrundes getroffen und vorläufige Gründungsempfehlungen gegeben.

2. Durchgeführte Maßnahmen

Im Rahmen der vorliegenden geotechnischen Untersuchungen wurden im März 2018 insgesamt 13 Kleinrammbohrungen (KRB) bis in Tiefen von maximal 9,00 m u. GOK niedergebracht.

Drei der Kleinrammbohrungen (Wall 1 bis Wall 3) lagen im Bereich des Walles an der Grundstücksgrenze zur Stapelfeldstraße, je zwei Kleinrammbohrungen lagen im Bereich der bekannten Tanks (Tank 1 und Tank 2), bzw. der Grünfläche (Grünfläche 1 und Grünfläche 2). Sechs Kleinrammbohrungen lagen (Gleis 2.1 bis Gleis 2.4) im Bereich der bestehenden bzw. geplanten Gleisanlagen (s. Anlage 1).

Das Bohrgut wurde fortlaufend ausgelegt und bemustert.

Der Wasserstand wurde in den offenen Bohrlöchern gemessen.

Aus den Proben aus den Kleinrammbohrungen wurden drei Mischproben zusammengestellt.

Die Mischproben wurden gemäß den Vorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (i. F. LAGA) im Vollumfang der LAGA M 20 Boden im Feststoff und Eluat untersucht.

Zusätzlich wurde eine Einzelprobe aus der Kleinrammbohrung Wall 3 (0,3-1,1 m u. GOK) aufgrund des Bauschuttanteiles gemäß den Vorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (i. F. LAGA) im Vollumfang der LAGA für Recyclingbaustoffe / nicht aufgearbeiteten Bauschutt im Feststoff und Eluat untersucht.

Außerdem wurden zwei Asphaltproben (AS 02 und AS 03) mittels Kernbohrung gewonnen und auf ihre Gehalte an PAK, Phenol und Asbest untersucht.

Die Abfalltechnische Bewertung wird in einem eigenen Bericht vorgelegt.

3. Bodenaufbau

Im Zuge der Untersuchungen wurden im Gelände die wichtigsten bodenkundlichen Kenngrößen der erbohrten Schichten erfasst. Die Bestimmungen erfolgten auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung und DIN 4022 T.3. Die Ergebnisse sind in Bohrprofilen dokumentiert (s. Anlage 2).

Die Ansatzpunkte der Bohrungen sind dem Lageplan (Anlage 1) zu entnehmen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen folgendes Bild des oberflächennahen Bodenaufbaus:

3.1 Kleinrammbohrungen Wall 1 bis Wall 3

Die Kleinrammbohrungen Wall 1 und Wall 2 wurden auf dem Top des Walles, die Kleinrammbohrung Wall 3 am Fuß durchgeführt. Der Wall ist etwa 3,00 m bis 3,50 m hoch.

Wie die Ergebnisse der Kleinrammbohrungen Wall 1 und Wall 2 zeigen, besteht der Wall aus natürlichen, gelegentlich schluffigen Sanden ohne Fremdbestandteile. Zuoberst tritt im Bereich der Kleinrammbohrung Wall 2 ein Mutterboden über einem durchwurzeltten Sand auf.

Im Bereich der Kleinrammbohrung Wall 3 tritt unterhalb eines geringmächtigen Mutterboden eine etwa 0,80 m mächtige Bauschutt- bzw. Schotterlage auf.

Die Basis dieser Auffüllungen liegt zwischen +3,81 m NN und +6,57 m NN.

Bis zur Endteufe folgen Sande mit unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen in die gelegentlich geringmächtige Weichschichten eingeschaltet sind.

3.2 Kleinrammbohrungen Gleis 2-1 bis Gleis 2-4

Die Kleinrammbohrung Gleis 2.4 wurde dreimal angesetzt und jeweils in einer Tiefe von 3,00 m u. GOK aufgrund eines Bohrhindernisses abgebrochen. Die sandige Auffüllung wurde dabei bis in eine Tiefe von +2,39 m NN nicht durchörtert. Größe und Art des Hindernisses konnte nicht ermittelt werden.

Im Bereich der anderen Kleinrammbohrungen (Gleis 2-1 bis Gleis 2-3) tritt unterhalb der Pflaster- bzw. Asphaltversiegelungen mit verschiedenen Unterbauten eine sandige, selten auch schluffige Auffüllung ohne nennenswerte Fremdbestandteile auf.

Die Basis dieser Sandauffüllung liegt hier zwischen +5,50 m NN und +2,89 m NN.

Bis zur Endteufe folgen Sande mit unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen in die gelegentlich in größerer Tiefe Weichschichten (Auelehm, Torf) eingeschaltet sind.

3.3 Kleinrammbohrungen Tank 1 und Tank 2

Im Bereich der Kleinrammbohrungen Tank 1 und Tank 2 tritt unterhalb einer Pflasterversiegelung eine sandige Auffüllung ohne nennenswerte Fremdbestandteile auf.

Die Basis dieser Sandauffüllung liegt zwischen +3,20 m NN und +1,66 m NN.

Bis zur Endteufe folgen Sande mit unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen in die gelegentlich in größerer Tiefe Weichschichten (Auelehm, Torf) eingeschaltet sind.

3.4 Kleinrammbohrungen Grünfläche 1 und Grünfläche 2

Im Bereich der Kleinrammbohrungen Grünfläche 1 und Grünfläche 2 tritt unterhalb einer zwischen 0,40 m und 0,50 m mächtigen Mutterbodenabdeckung eine erst schluffige, dann sandige Auffüllung ohne nennenswerte Fremdbestandteile auf.

Die Basis dieser Auffüllung liegt zwischen +3,12 m NN und +1,03 m NN.

Bis zur Endteufe folgen Sande mit unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen, in die gelegentlich in größerer Tiefe Weichschichten (Auelehm, Torf) eingeschaltet sind.

Organoleptische Auffälligkeiten wie Verfärbungen und/oder Gerüche wurden nicht festgestellt.

Wasser wurde in den Kleinrammbohrungen in Tiefen zwischen +1,01 m NN bis +2,28 m NN. Einmal wurde ein Wasserstand von +3,63 m NN angetroffen. Dabei handelt es sich um Stauwasser auf den bindigen Schichten. Die anderen Wasserstände repräsentieren die Grundwasserstände zum Zeitpunkt der Untersuchungen. Mit schwankenden Wasserständen ist zu rechnen.

In der Untersuchung von 2016 wurden in den temporären Pegeln ein Wasserständen zwischen +1,40 mNN und 1,44 mNN ermittelt.

Nach den Angaben der Baugrunderkarte Bremen liegt der Grundwasserstand bei rund +0,75 mNN, der zu erwartende Grundwasserhöchststand bei etwa +1,50 mNN.

4. Einordnung der Böden

4.1 Eigenschaften der Böden

Nach den Ergebnissen der Geländeansprache sowie der geotechnischen Untersuchungen aus dem Jahre 2016 sind den angetroffenen Böden unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten folgende Eigenschaften zuzuordnen:

Aufgefüllter Sand [SE, SU]:

Dichte:	überwiegend sehr locker bis locker
Scherfestigkeit:	mittel
Zusammendrückbarkeit:	mittel
Wasserempfindlichkeit:	gering bis mittel
Wasserdurchlässigkeit:	mittel bis groß
Frostempfindlichkeit	F 1 bis F 2
Verdichtbarkeit:	mäßig bis gut
Tragfähigkeit:	gering bis mäßig

Aufgefüllter Schluff [UM, OU]:

Konsistenz:	steif
Scherfestigkeit:	gering bis mittel
Zusammendrückbarkeit:	mittel bis groß
Wasserempfindlichkeit:	groß
Wasserdurchlässigkeit:	gering
Frostempfindlichkeit	F 3
Verdichtbarkeit:	schlecht
<u>Tragfähigkeit:</u>	gering bis mittel

Sande der Bremer Düne [SE, SU]:

Dichte:	überwiegend locker
Scherfestigkeit:	mittel
Zusammendrückbarkeit:	mittel bis gering
Wasserempfindlichkeit:	gering bis mittel
Wasserdurchlässigkeit:	mittel bis groß
Frostempfindlichkeit	F 1 bis F 2
Verdichtbarkeit:	mäßig bis gut
Tragfähigkeit:	gering bis mäßig

Schluff (UM):

Konsistenz:	weich bis steif
Scherfestigkeit:	gering
Zusammendrückbarkeit:	groß
Wasserempfindlichkeit:	groß
Wasserdurchlässigkeit:	sehr gering
Verdichtbarkeit:	nicht verdichtbar
Tragfähigkeit:	gering

Torf, zersetzt (HZ):

Konsistenz:	-
Scherfestigkeit:	gering bis sehr gering
Zusammendrückbarkeit:	sehr groß
Wasserempfindlichkeit:	groß
Wasserdurchlässigkeit:	gering
Frostempfindlichkeit	F 3
Verdichtbarkeit:	nicht verdichtbar
Tragfähigkeit:	sehr gering

schluffiger Sand (SU):

Dichte:	mitteldicht
Scherfestigkeit:	mittel bis groß
Zusammendrückbarkeit:	gering
Wasserempfindlichkeit:	mittel
Wasserdurchlässigkeit:	mittel
Frostempfindlichkeit	F 1 bis F 2
Verdichtbarkeit:	mäßig bis gut
Tragfähigkeit:	gut

enggestufter Sand (SE):

Dichte:	mitteldicht bis dicht
Scherfestigkeit:	groß
Zusammendrückbarkeit:	gering
Wasserempfindlichkeit:	gering bis mittel
Frostempfindlichkeit	F 1
Wasserdurchlässigkeit:	mittel bis groß
Verdichtbarkeit:	mäßig bis gut
Tragfähigkeit:	gut

4.2 Homogenbereiche

Im Folgenden werden die im untersuchten Bereich angetroffenen Böden entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen in Homogenbereiche eingeteilt. Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für einsetzbare Erdbaugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist.

Tabelle 1: Eigenschaften der Homogenbereiche

Homogenbereich	1	2	3	4
Ortsübliche Bezeichnung	Auffüllung überwiegend nichtbindig, selten bindig	Sande der Bremer Düne	vereinzelt Weichschichten	Sande der Weserterrasse
UK Schicht Tiefenlage mNN	+1,03 bis +6,57	ca. -1,00 bis ca. +2,20	ca. -1,50 bis ca. +2,00	bis min. -12,10
Bodengruppe nach DIN 18196	[SE], [SU], [UM], [OU]	SE, SU	UM, HZ	SE, SU
Massenanteil an Steinen und Blöcken	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5%
Konsistenz	-	-	weich	-
Lagerungsdichte	sehr locker bis locker	locker	-	mitteldicht bis dicht

4.3 Abschätzung der Bodenkennwerte

Nach den Ergebnissen der Kleinrammbohrungen und der Rammsondierungen (aus dem Jahre 2016) können, unter Einbeziehung von Erfahrungswerten bezüglich der anstehenden Böden, für die erdstatischen Berechnungen die in der folgenden Tabelle 2 aufgeführten Bodenkennwerte (cal-Werte) angesetzt werden.

Tabelle 2: Bodenkennwerte (Mittel- und Erfahrungswerte)

Bodenart	Boden- gruppe	Wichte cal γ / γ' [kN/m ³]	Reibungs- winkel cal ϕ' [°]	Kohäsion cal c' [kN/m ²]	Steife- modul cal E_s [MN/m ²]	empfohlener Rechenwert Steifemodul E_s [MN/m ²]
Aufgefüllter Sand, und Dünensand sehr locker bis locker	[SE], [SU]	17 / 8	27,5	-	5 - 10	8
Dünensand locker bis mitteldicht	SE, SU	18 / 8	30,0	-	15 - 30	20
Torf, zersetzt, mäßig vorbelastet	HZ	12 / 2	22,5	5 - 10	1 - 2	1,5
Schluff, weich	UM	19 / 9	26,0	5 - 15	4 - 8	6
schluffiger Sand, mitteldicht	SU	20 / 11	32,5		30 - 60	40
Sand, mitteldicht	SE	19 / 11	32,5	-	30 - 60	40

4.4 Bodenverunreinigungen

Im Bereich der Sandauffüllung wurden geringe Anteile an bodenfremde Bestandteile angetroffen sowie Lagen von Bauschutt und RC-Material, hier besonders im Bereich der Kleinrammbohrung Wall 3, angetroffen. Ansonsten keine Hinweise wie Verfärbungen oder Gerüche festgestellt, die auf eine Bodenverunreinigung hindeuten.

In Zusammenhang mit den vorliegenden Untersuchungen wurde auch die Belastungssituation der Böden auf dem Grundstück behandelt. Die Ergebnisse der altlastentechnischen Untersuchungen werden in einem separaten Bericht dargestellt.

5. Gründung

Nach dem vorliegenden Konzept zur Umgestaltung des Betriebshofes soll die Umsteiganlage an die Gröpelinger Heerstraße verlegt werden. Anschließend an die Umsteiganlage soll eine Halle errichtet werden. An der Stapelfeldstraße ist die Herstellung einer Abstellanlage angedacht.

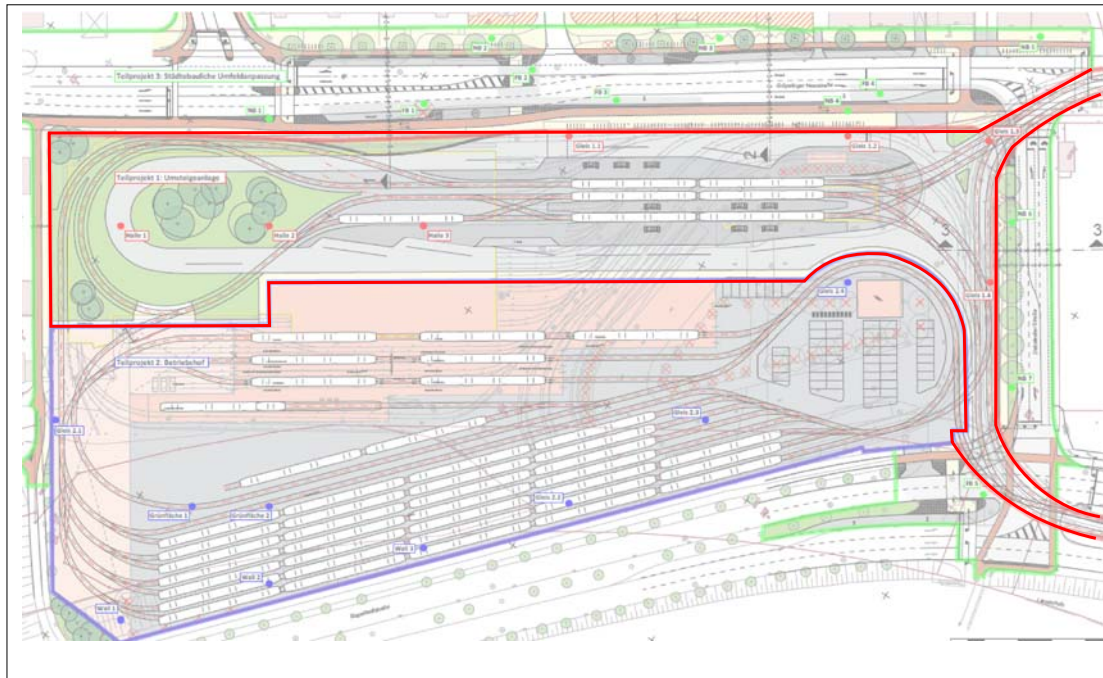


Bild 3: Konzept der Umgestaltung

Der im vorliegenden Bericht behandelte überplante Bereich umfasst die Fläche des geplanten Betriebshofes (blau markierter Bereich).

Hier soll der Bestand rückgebaut werden und eine Werkstatthalle errichtet sowie eine Abstell- und Wendeschleife für Straßenbahnen entstehen.

Im Rahmen der geotechnischen Beurteilung wird davon ausgegangen, dass es sich bei der auf dem Grundstück geplanten Halle um einen Gewerbebau in einfacher Bauweise mit einer Gründung auf Einzelfundamenten und Streifenfundamenten ohne besondere Anforderungen gegenüber dem Setzungsverhalten handelt.

Da zum jetzigen Stand keine Informationen zu den auftretenden Lasten vorliegen, wurden Setzungsberechnungen für Einzel- und Streifenfundamente verschiedener Größen mit charakteristischen Sohlspannungen von 200 kN/m^2 ausgeführt. Für die erdstatischen Berechnungen der Einzelfundamente werden zur Berechnung der Grundbruchsicherheiten die lotrechten Lasten herangezogen. Die Beanspruchung durch Momentkräfte ist noch zu prüfen.

Für die Gleisanlagen und die von Bussen befahrenen Flächen wird ein Aufbau angelehnt an die Richtlinien der RSTO 12 Bauweise mit Betondecke, Tafel 2 Zeile 1.1 zugrunde gelegt.

Für die Schottertragschicht der Betontragplatte wird ein Tragfähigkeitsnachweis in Form eines Verformungsmoduls E_{v2} von 120 MN/m² gefordert.

5.1 Baugrundrisiko

Aufgrund der naturgemäß nur stichprobenartigen Betrachtung des Baugrundes kann nicht ausgeschlossen werden, dass in Teilbereichen der überplanten Fläche Schwankungen der Schichtmächtigkeiten vorhanden sind, die durch die Baugrunduntersuchung nicht erfasst wurden. Dieser Umstand und andere Abweichungen von den festgestellten Verhältnissen sowie anthropogene Einflüsse wie Fundamentreste, Keller, Bunker und andere Reste früherer Nutzungen werden unter dem Begriff des Baugrundrisikos zusammengefasst.

Im vorliegenden Fall wird das Baugrundrisiko in erster Linie durch die lockere Lagerung der oberflächennahen nichtbindigen Böden und die gelegentlich auftretenden Weichschichten geprägt. Das Baugrundrisiko ist als leicht überdurchschnittlich anzusehen.

5.2 Geotechnische Kategorie

Unter der geotechnischen Kategorie nach DIN 4020 ist die Einstufung zu verstehen, die bautechnische Maßnahmen hinsichtlich ihres Schwierigkeitsgrades bezüglich Bauwerk und Baugrund sowie den Wechselwirkungen der Maßnahmen mit der Umgebung bewertet.

- Geotechnische Kategorie 1: Einfache Bauwerke und einfache Baugrundverhältnisse
- Geotechnische Kategorie 2: Bauwerke oder Baugrundverhältnisse mittleren Schwierigkeitsgrades, die eine ingenieurmäßige Bearbeitung mit geotechnischen Kenntnissen und Erfahrungen verlangen
- Geotechnische Kategorie 3: Bauwerke oder Baugrundverhältnisse hohen Schwierigkeitsgrades, die vertiefte geotechnische Kenntnisse und Erfahrungen verlangen

Die geplanten bautechnischen Maßnahmen können nach den Vorgaben der DIN 4020 "Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke" in die geotechnische Kategorie 2 (GK 2) eingestuft werden.

5.3 Gründungsempfehlung Hochbau

Aufgrund der im Baufeld angetroffenen sehr lockeren und lockeren nichtbindigen Böden sowie die gelegentlich auftretenden Weichschichten ist die Tragfähigkeit des Untergrundes als gering bis mäßig anzusehen.

Um eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes für die gestellten Anforderungen herzustellen, wird empfohlen eine Baugrundverbesserung durch Nachverdichtung der oberflächennahen Böden auszuführen. Dazu sind die angetroffenen lockeren nichtbindigen Böden auszubauen und bei Eignung und Verdichtungsfähigkeit verdichtet wieder einzubauen. Der vereinzelt auftretende Mutterboden ist abzuschleifen.

Die Baugrundverbesserung ist im Bereich der Einzel- und Streifenfundamente bis in Tiefen von 1,20 m unterhalb der Fundamentunterkante (Einbindetiefe 0,80 m) auszuführen. Dabei ist ein Lastabtragungswinkel von 60° zu beachten. Unter der Hallensohle ist die Baugrundverbesserung bis in eine Tiefe von 1,30 m unterhalb der UK Sohle zu führen.

In diesem Zusammenhang ist auch ein Bodenmanagement auszuführen, um die bautechnisch für einen Wiedereinbau geeigneten nichtbindigen Böden von den nicht geeigneten Böden (bindige Böden, stark humose Böden) zu trennen.

Bei den zugrunde gelegten Bauwerks- und Verkehrslasten wurden rechnerische Maximalsetzungen von rund 2,5 cm ($\pm 25\%$) im Bereich der Stützenfundamente mit den angenommenen Fundamentlasten ermittelt. Bei Setzungen in dieser Größenordnung sind in aller Regel keine Bauwerksschäden zu erwarten. Um Setzungsunterschiede aufgrund des inhomogenen Bodenaufbaus zu minimieren, sollte eine Baugrundverbesserung im Bereich der oberflächennahen Auffüllung ausgeführt werden. Mit dieser Maßnahme kann das Risiko von Schönheitsrissen und leichten Schiefstellungen der aufgehenden Gebäudekonstruktion deutlich auf ein vertretbares Maß verringert werden.

Größere Setzungen des Hallenbodens bei Verkehrslasten von rund 20 kN/m² sind bei der flächenhaften Ausführung der vorgeschlagenen Baugrundverbesserung nicht zu erwarten.

Die Entscheidung über die Gründungsvariante hängt in erster Linie von den an die Halle gestellten Anforderungen ab. Es wird empfohlen, bei Vorliegen der Gebäudelasten eine genauere Abschätzung des Setzungsverlaufes ausführen zu lassen.

5.3.1 Gründung des Gebäudes

Die Möglichkeit einer Flachgründung wird im Folgenden anhand von erdstatischen Berechnungen überprüft.

Die Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen für das geplante Bauwerk sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Die Setzungen werden nach der allgemeinen Setzungsformel:

$$s = \frac{\sigma \cdot h}{E} \text{ gemäß DIN 4019 abgeschätzt.}$$

mit s: Setzungen in cm

σ : Bodenpressung durch die Bauwerkslast in der Bodenschicht in kN/m²

h: Mächtigkeit der Bodenschicht

E: Steifemodul der Bodenschicht

Der Baugrund setzt sich durch die Belastung aus dem Bauwerk entsprechend seiner Zusammendrückbarkeit.

Bei den erdstatischen Berechnungen wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Die Einbindetiefe der Fundamente liegt bei min. 0,80 m
- Verdichtung der Böden auf eine Lagerungsdichte von min D=0,4
- Baugrundverbesserung durch Nachverdichtung bis 1,20 m unter Fundamentsohlen in einem Lastabtragungswinkel von 60° über die Fundamentaußenkanten hinaus
- Bei der Angabe der Bemessungswerte bezüglich Grundbruch werden die Momentkräfte nicht berücksichtigt. Eine Prüfung der Auswirkung der Momentkräfte auf den Baugrund ist im Rahmen der Ausführungsplanungen auszuführen.

Für eine erste Abschätzung wurden erdstatische Berechnungen für Einzel- und Streifenfundamente durchgeführt. Für eine Grenzwertbetrachtung wurde der ungünstigsten im untersuchten Bereich angetroffene Bodenaufbau für die erdstatischen Berechnungen herangezogen. Dabei wird zum einen ein Bodenaufbau mit Weichschichten im Untergrund im Bereich der geplanten Werkstatt (Bodenaufbau KRB 19 aus dem Jahre 2016) und zum anderen ein Bodenaufbau mit großen Mächtigkeiten locker gelagerter Böden (Bodenaufbau Grünfläche 2) geprüft. Um unzulässig hohe Setzungsbeträge zu vermeiden, wird die charakteristische Bodenpressung der Fundamente zunächst auf $\sigma_{zul.} = 200 \text{ kN/m}^2$ begrenzt.

Es wird der Bemessungswert für den Grundbruchwiderstand σ_{Rd} (R_d nach DIN 1054:2010-12) angegeben. Der Bemessungswert für den Grundbruchwiderstand ergibt sich aus

$$\sigma_{Rd} = R_d = R_{n,k} / \gamma_{R,v} \text{ mit}$$

$R_{n,k}$: die normal zur Sohlfläche wirkende Komponente des Grundbruchwiderstandes aus charakteristischen Bodenkenngrößen

$\gamma_{R,v}$: Teilsicherheitsbeiwert für den Grundbruchwiderstand

Tabelle 3: Nach DIN 4017 T 1 berechnete Bemessungswerte für den Grundbruchwiderstand und nach DIN 4019 T 1, abgeschätzte Setzungen für Einzel- und Streifenfundamente **Bodenaufbau KRB 19**

	Einzelfundamente Breite a × b [m], Einbindetiefe 0,8 m			
	1,0 × 1,0	1,5 × 1,5	2,0 × 2,0	2,5 × 2,5
Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	452	454	467	485
Setzung bei charakteristischer Bodenpressung 200 kN/m²(±25%)	0,6	1,0	1,5	1,8
	Streifenfundamente Breite b [m], Einbindetiefe 0,8 m			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	352	370	385	392
Setzung bei charakteristischer Bodenpressung 200 kN/m²(±25%)	0,7	0,9	1,0	1,2

Tabelle 4: Nach DIN 4017 T 1 berechnete Bemessungswerte für den Grundbruchwiderstand und nach DIN 4019 T 1 abgeschätzte Setzungen für Einzel- und Streifenfundamente **Bodenaufbau Grünfläche 2**

	Einzelfundamente Breite a × b [m], Einbindetiefe 0,8 m			
	1,0 × 1,0	1,5 × 1,5	2,0 × 2,0	2,5 × 2,5
Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	399	375	371	374
Setzung bei charakteristischer Bodenpressung 200 kN/m²(±25%)	0,7	1,3	2,1	2,7
	Streifenfundamente Breite b [m], Einbindetiefe 0,8 m			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	352	370	394	415
Setzung bei charakteristischer Bodenpressung 200 kN/m²(±25%)	0,9	1,1	1,3	1,5

Wie den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen ist, ist die Grundbruchsicherheit bei der zugrunde gelegten charakteristischen Bodenpressung von 200 kN/m^2 (Bemessungswert ca. 280 kN/m^2) gegeben.

Im Zuge der Ausführungsplanungen wird empfohlen, die Fundamentgrößen hinsichtlich einer Minimierung bzw. Angleichung der Setzungsbeträge zu optimieren. Dazu sollten weitere erdstatische Berechnungen auf Basis der durch die Tragwerksplanung ermittelten Fundamentlasten durchgeführt werden.

5.3.2 Herstellung des Industriebodens

Für die Herstellung eines Industriebodens ist die oben beschriebene Baugrundverbesserung bis in eine Tiefe von min. 1,30 m unter UK Sohle zu führen. Sollten die zugrundegelegten auf den Boden wirkenden Lasten von durchschnittlich 20 kN/m^2 überschritten werden, ist die Baugrundverbesserung bis in größere Tiefen zu führen.

Bei der Herstellung eines Industriefußbodens wird durch den Hersteller in aller Regel ein Verformungsmodul auf der Tragschicht von zumeist $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^3$ gefordert. Aufgrund der vorgeschlagenen Baugrundverbesserung bis in eine Tiefe von ca. 1,30 m unter UK Sohle sollte dieser Wert nach einem Einbau einer zwischen 0,20 m und 0,30 m mächtigen Schotterlage erreicht werden.

6. Herstellung der Verkehrsflächen

Im Folgenden sollen Empfehlungen für den Aufbau der Gleisanlagen und der mit Bussen befahrenen Flächen entsprechend der aktuell gültigen RStO 12 gegeben werden. Diese Flächen sollen mit Fahrbahnbeton angelehnt an die Richtlinien der RStO 12 Bauweise mit Betondecke, Tafel 2 Zeile 1.1. hergestellt werden. Die Flächen sollen den Anforderungen der Belastungsklasse Bk 10 genügen. Als grundlegendes Kriterium ist nach RStO 12 eine ausreichende Tragfähigkeit des Planums gefordert. Diese ist durch ein Verformungsmodul von mind. 45 MN/m² nachzuweisen. Der Aufbau ist frostsicher durchzuführen. Durch die vorgeschlagene Vorgehensweise soll eine Wiederverwendung bautechnisch geeigneter Böden und ein dem Bodenaufbau angepasstes Prüfprogramm bei der Herstellung des Planums sowie eine ökonomisch günstige Ausführung der Erdarbeiten ermöglicht werden. Um die fachgerechte Umsetzung dieses Konzeptes zu gewährleisten, ist es nach unserer Erfahrung ratsam, bei der Planung und Überwachung der Arbeiten den Baugrundgutachter hinzuzuziehen.

6.1 Frostsicherheit

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen wird das Planum (aufgefüllte schluffige und enggestufte Sande) in die Frostempfindlichkeitsklasse F 2 eingestuft. Die Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus (aus Frostschutzkriterien) wird für die Bauklasse Bk 10 über den Grundwert von 55 cm definiert, der zusätzlich von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst wird. In Tabelle 5 sind die örtlichen Gegebenheiten aufgeführt, die jedoch betreffend der Bauausführung zum Teil auf Annahmen beruhen, die von planerischer Seite zu prüfen sind.

Tabelle 5: Mehr - und Minderdicken des frostsicheren Oberbaus nach RStO 12

Örtliche Verhältnisse		Mehr- oder Minderdicken
Frosteinwirkung	Zone I	± 0 cm
kleinräumige Klimaunterschiede	keine besonderen Klimateinflüsse	± 0 cm
Wasserverhältnisse im Untergrund	kein Grund- oder Schichtenwasser bis in eine Tiefe von 1,5 m unter Planum	gelegentlich +5 cm
Lage der Gradienten	Gelände bis Damm ≤ 2,0 m	± 0 cm
Entwässerung /Ausführung der Randbereiche	über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen	- 5 cm

Die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus liegt damit in Bereichen, in denen Stauwasser auftritt bei 55 cm, in Bereichen, in denen die Entwässerung über Rinnen und Abläufe geführt wird, kann die Mindestdicke für die Bauklasse Bk 10 um 5 cm reduziert werden.

6.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit des Planums der angetroffenen Böden ist aufgrund der lockeren Lagerung der angetroffenen Sande als mäßig einzustufen. Zudem wird die Tragfähigkeit durch die gelegentlich eingelagerten Schlufflagen eingeschränkt.

In den Bereichen sandiger Böden kann das geforderte Verformungsmodul E_{v2} von mind. 45 MN/m² nach fachgerechter Verdichtung des Planums aller Voraussicht nach erreicht werden.

Um das Risiko von Setzungen durch die lockeren nichtbindigen Böden zu reduzieren, wird empfohlen diese Böden bis in eine Tiefe von 1,0 m unterhalb der Planumsebene zu verdichten.

Die Fahrbahndecken der mit Bussen befahrenen Flächen sollen angelehnt an die Richtlinien der RStO 12 "Bauweise mit Betondecke", Tafel 2, Zeile 1.1. Bk 10 hergestellt werden.

Abweichend von der Bauweise der RStO soll die Fahrbahn in der Standardbauweise der BSAG (Tabelle 6) ausgeführt werden:

Tabelle 6: BSAG Standardbauweise auf F 2-Untergrund angelehnt an die Bauweise mit Betondecke", Tafel 2, Zeile 1.1. Bk 10 der RStO

Bauweise mit Beton Bk 10	Mindestdicke [cm]	Mindestwert E_{v2} [MN/m ²] OK Schicht
Fahrbahnbeton	21	-
Vliesstoff		-
Betontragplatte (unbewehrt)	20	-
Schottertragschicht 0/32	25	120
Frostschuttschicht	15	-
Σ frostsicherer Oberbau :	81	
Planum	-	45

6.3 Hinweise zur Ausführung

Der vorhandene oberflächennahe Boden ist aufgrund der gelegentlich auftretenden schluffigen Böden nicht ohne Weiteres für einen Wiedereinbau als Frostschutzschicht gemäß den Regeln der RStO geeignet.

Die Böden mit hohen schluffigen Anteilen und bindige Böden sind für die Verwendung im Bereich des Oberbaus nicht geeignet.

Die Sande mit Bauschuttanteilen sind nach den technischen Regeln nicht oder nur bedingt geeignet, da Kriterien wie Verwitterungsbeständigkeit und Frost- Tauwechselbeständigkeit bei Bauschutt in der Regel nicht erfüllt werden.

Die Sande ohne schluffige oder bodenfremde Bestandteile sind nach den Ergebnissen der Korngrößenanalysen teilweise für einen Wiedereinbau in die Frostschutzschicht geeignet. Diese Böden können nach Prüfung der Frostschutzkriterien und der Verdichtbarkeit als Frostschutzschicht eingesetzt werden.

Folgende Vorgehensweise wird für die Ausführung empfohlen:

- Rückbau der alten Oberflächenbefestigung
- Kontrollierter Aushub des Bodens bis OK Planum
- Intensive Verdichtung der anstehenden Böden bis in eine Tiefe von min. 1,0 m unterhalb der Planumsebene; Durch die Verdichtung sollte eine Lagerungsdichte D von min. 0,35 erreicht werden. Um auch tieferliegende Schwächezonen der Sande zu erfassen, wird empfohlen, die Verdichtung mittels Walzenzügen durchzuführen.
- Bindige Böden in der Planumebene sind auszutauschen
- Bautechnisch augenscheinlich für einen Wiedereinbau geeignete Böden (helle Sande) sollten separiert und geprüft werden.
- stark schluffige bzw. bindige Böden sind für den Wiedereinbau im Bereich der Frostschutzschicht als nicht geeignet anzusehen.
- bauschutthaltige Böden sind für einen Wiedereinbau nur bedingt geeignet; aus ökonomischen Gründen kann eine Wiederverwertung bei geringen Bauschuttanteilen nach genauer Prüfung dieses Materials erwogen werden.
- Prüfung des Planums auf Tragfähigkeit (statische Lastplattendruckversuche). Festlegung der Bereiche, in denen eine Baugrundverbesserung für das Erreichen der Mindestanforderungen an das Verformungsmodul E_{v2} von mind. 45 MN/m² in der Ebene des Planums notwendig wird. Nach Eichung auf den

unterschiedlichen Untergründen mittels statischen Lastplattendruckversuchen kann das Planum flächenhaft kostengünstig und schnell mittels dynamischer Plattendruckversuche geprüft werden.

- Festlegung des technisch und ökonomisch sinnvollen Aufbaus des Oberbaus durch die Herstellung von Probefeldern mit unterschiedlichen Aufbauten und Prüfung durch Lastplattendruckversuche
- Wiederaufbau mit begleitenden Qualitätskontrollen

6.4 Empfehlungen zur Ausführung der Gleisanlagen

Im Bereich der Gleisanlagen soll der BSAG-Standardaufbau wie in Tabelle 6 beschrieben ausgeführt werden.

Die Herstellung der Flächen ist für den Bereich des Gleisbaus in einer für die Herstellung der Verkehrsflächen (Abschnitt 6) analogen Vorgehensweise auszuführen.

7. Hinweise und Empfehlungen zur Bauausführung

7.1 Baugrube

Bei der Herstellung von Baugruben ist die DIN 4124 zu beachten. Bei Arbeiten an bestehenden Fundamenten ist die DIN 4123 zu beachten.

7.2 Erdarbeiten

Bei den Erdarbeiten ist darauf zu achten, dass die angetroffenen Untergrundverhältnisse mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung übereinstimmen, da Abweichungen naturgemäß nicht auszuschließen sind. Im Zweifelsfall sollte der Gutachter benachrichtigt werden.

Die Aushubsohlen der Baugruben sind durch den Gutachter zu prüfen.

Für die Umsetzung der vorgeschlagenen Baugrundverbesserung ist im Bereich der aufgefüllten Böden ein Bodenmanagement auszuführen, um die bautechnisch für einen Wiedereinbau geeigneten Böden (nichtbindiges Material ohne oder geringen humosen Anteilen) von den nicht geeigneten Böden (bindige Böden, stark humose Böden) zu trennen.

Der Erfolg der Baugrundverbesserung und vor allem der Verdichtung der eingebauten Austauschböden der anstehenden Sandböden ist in jedem Fall nach Abschluss der Arbeiten zu prüfen. Für Verdichtungsprüfung sollten leichte Rammsondierung als Fremdüberwachung ausgeführt werden.

7.3 Durchlässigkeit des Untergrundes

Nach ATV liegt der entwässerungstechnisch relevante Versickerungsbereich in einem k_f - Wertbereich von 1×10^{-3} bis 1×10^{-6} m/s.

Der Untergrund im Bereich des untersuchten Grundstückes weist nach Augenschein eine Durchlässigkeit auf, die diesen Anforderungen in weiten Bereichen entspricht.

Eine Versickerung des Regenwassers ist prinzipiell möglich.

Aufgrund des relativ großen Grundwasserflurabstandes (rund 4,50 m) ist die Realisierung von Rigolen und Schachtversickerungen möglich.

7.4 Festlegung der Expositionsklasse nach EN 206

Bei einer Flachgründung ist aufgrund der anstehenden Böden und dem ausreichend großen Grundwasserflurabstand nicht mit einem chemischen Angriff nach EN 206 zu rechnen.

7.5 Wiederverwendbarkeit von Bodenaushub für bautechnische Zwecke

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist der weitaus größte Teil der nichtbindigen Auffüllung wiederverwendbar und kann verdichtet wieder eingebaut werden.

Bindige Böden sind abzufahren.

7.6 Befahrbarkeit

Nach Entfernen der Oberflächenbefestigung ist ein Befahren der Fläche nur noch eingeschränkt möglich. Die enggestuften, schluffarmen Sande sind für auf Ketten laufende Fahrzeuge gut befahrbar.

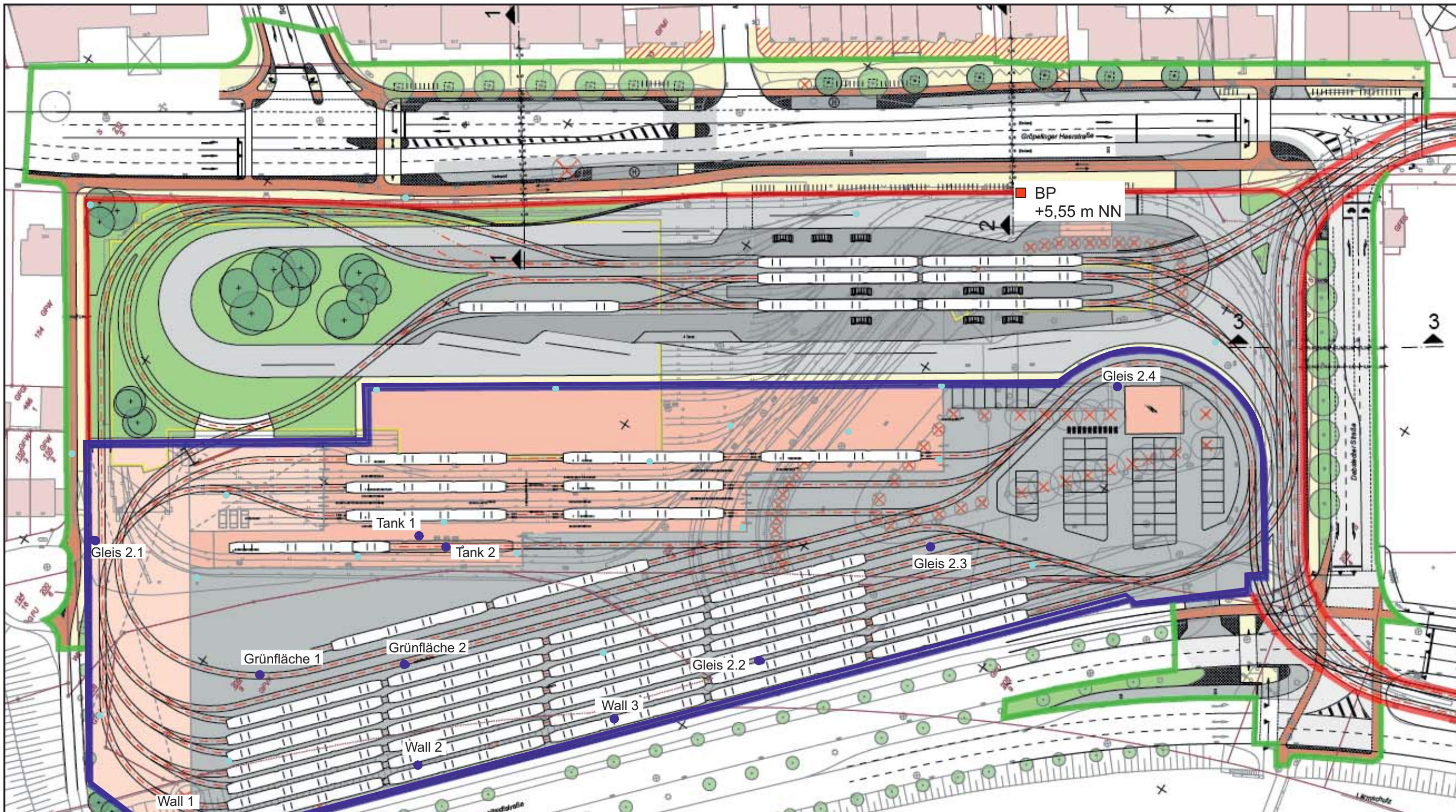
Beim Befahren durch Reifen neigen die Sande jedoch zum Ausweichen. Soll eine gute Befahrbarkeit durch bereifte Fahrzeuge erreicht werden, wird empfohlen eine Tragschicht aus gebrochenem Material einzubauen.

Ingenieurgeologisches Büro
underground

- Malkwitz -

Anlage 1:

Lageplan



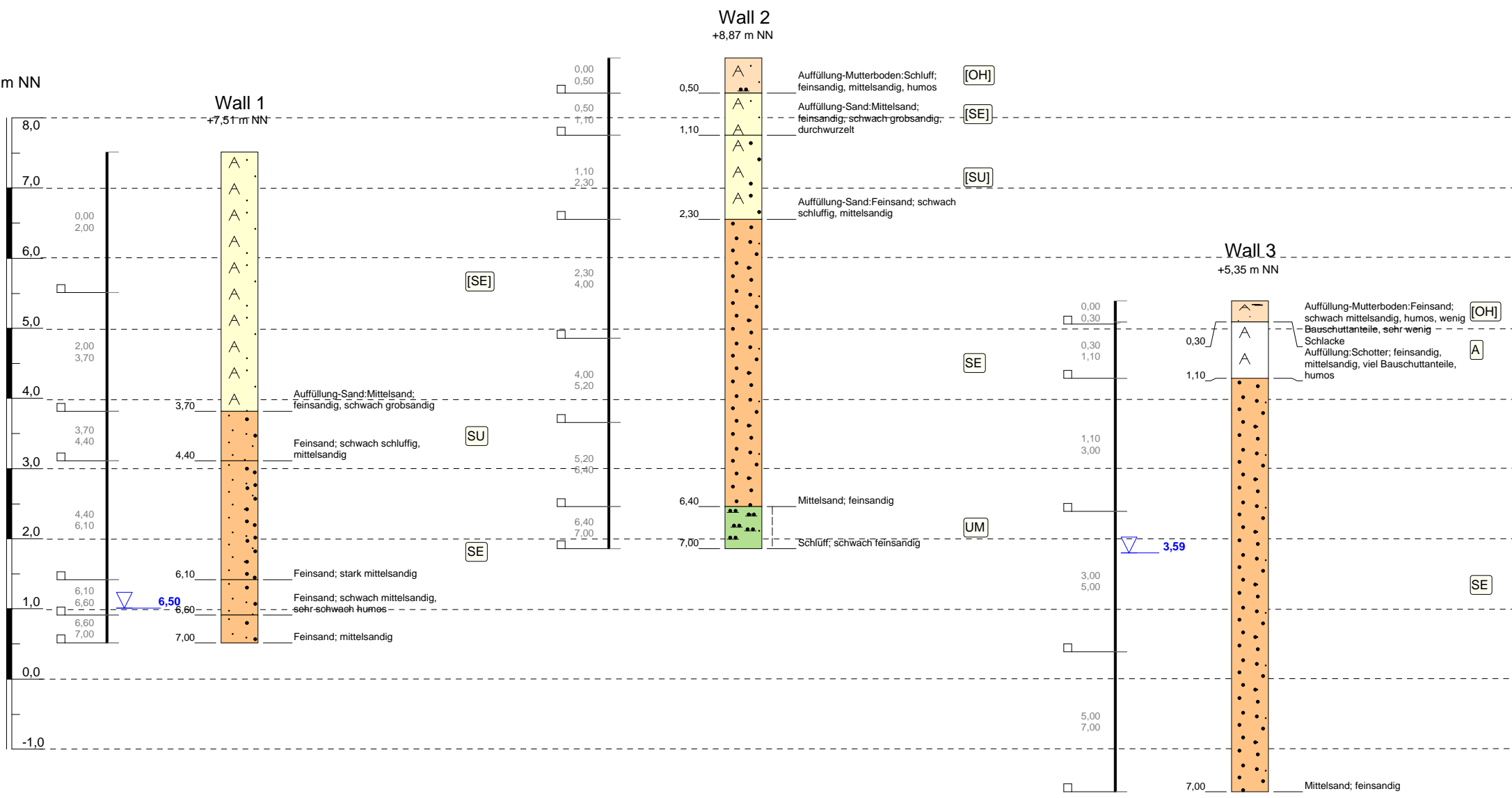
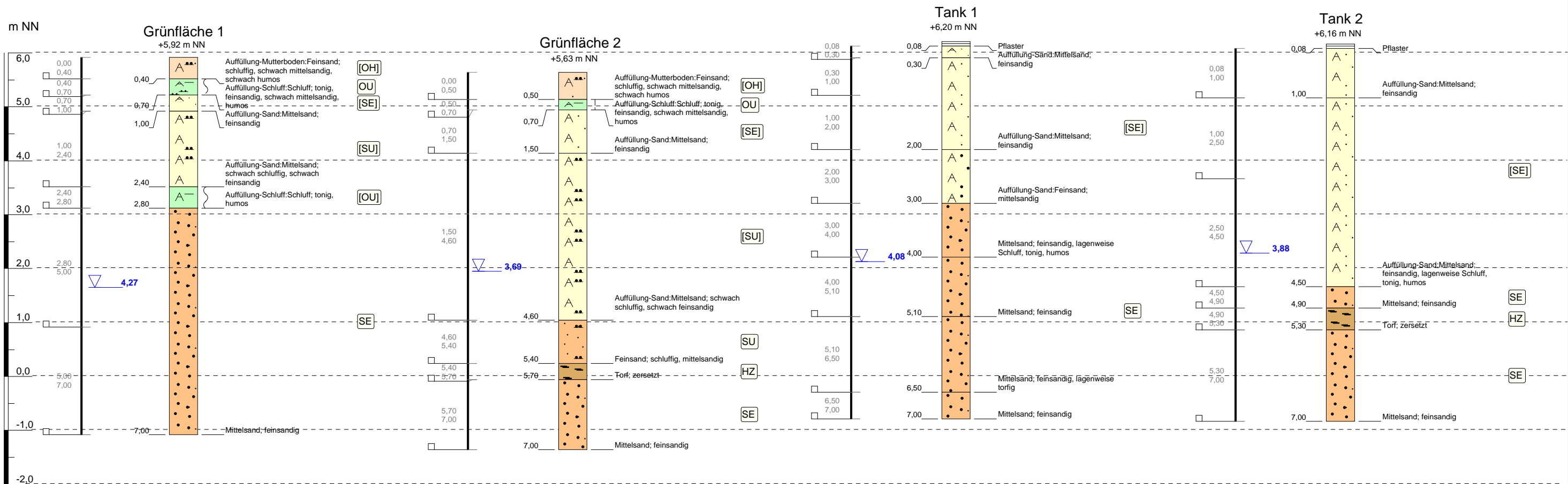
Legende:	
BP +5,55 m NN	Bezugspunkt der Höhenvermessung
Wall 03	Kleinrammbohrung mit Bezeichnung
	Kleinrammbohrung 2016
	Teilprojekt 1: Umsteiganlage

Gefertigt: 03/18	Maßstab: ohne
Auftraggeber: Bremer Straßenbahn AG Flughafendamm 12 28199 Bremen	
aufgestellt von:  Ingenieurgeologisches Büro underground GbR Tel.: 0421/533053 Fax: 0421/533054	

Anlage 1 Lageplan der Kleinrammbohrungen
Projekt: Neubau Betriebshof und Umsteiganlage Gröpelingen, Teilprojekt 2: Betriebshof
Proj. Nr.: 2957-2-1-18

Anlage 2:

Bohrprofile



SE Bodengruppe nach Geländeansprache

Konsistenz nach Bodenansprache	Lagerung nach Bohrungsstand
⋄ breig	• sehr locker, locker
⋄ weich	∞ mitteldicht, dicht
steif	
halbfest	
fest	

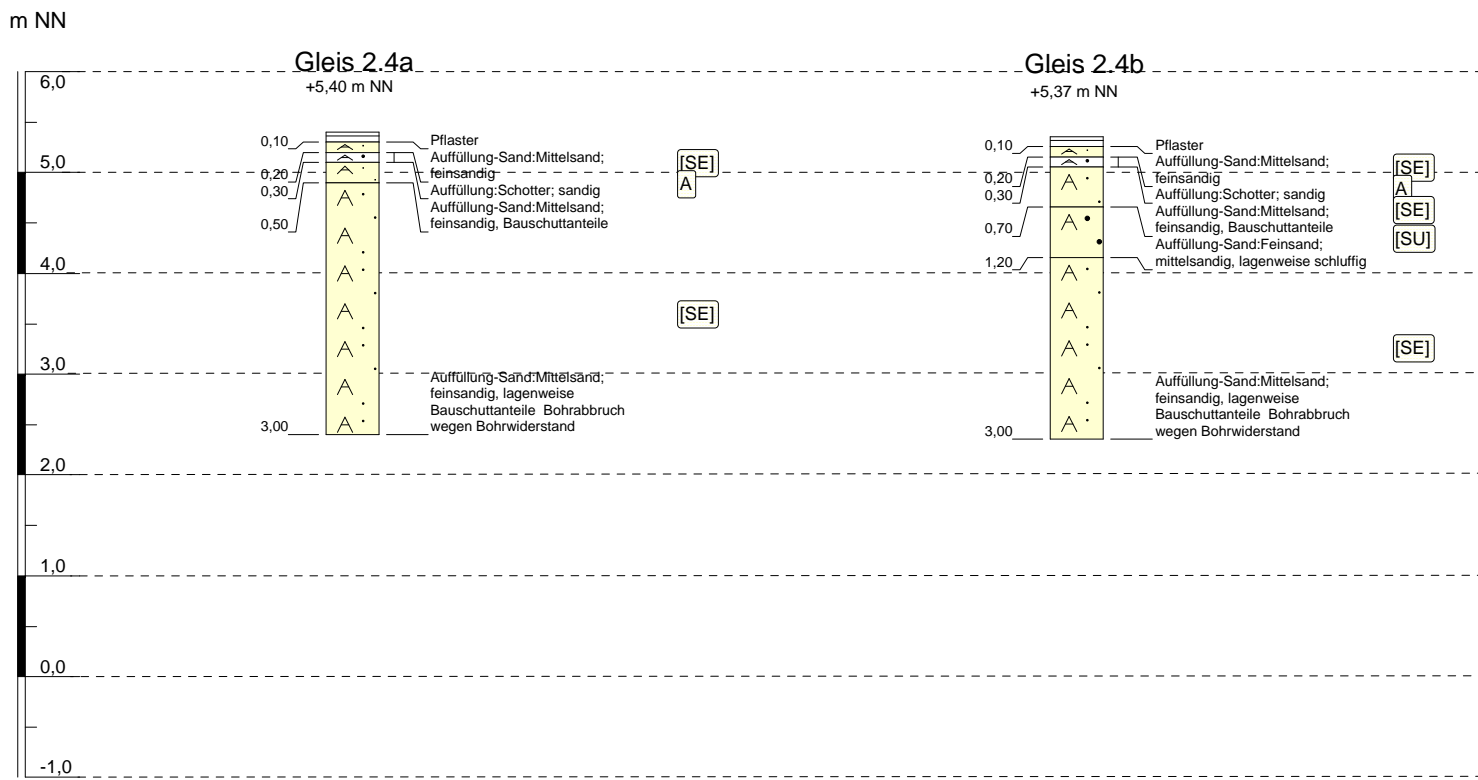
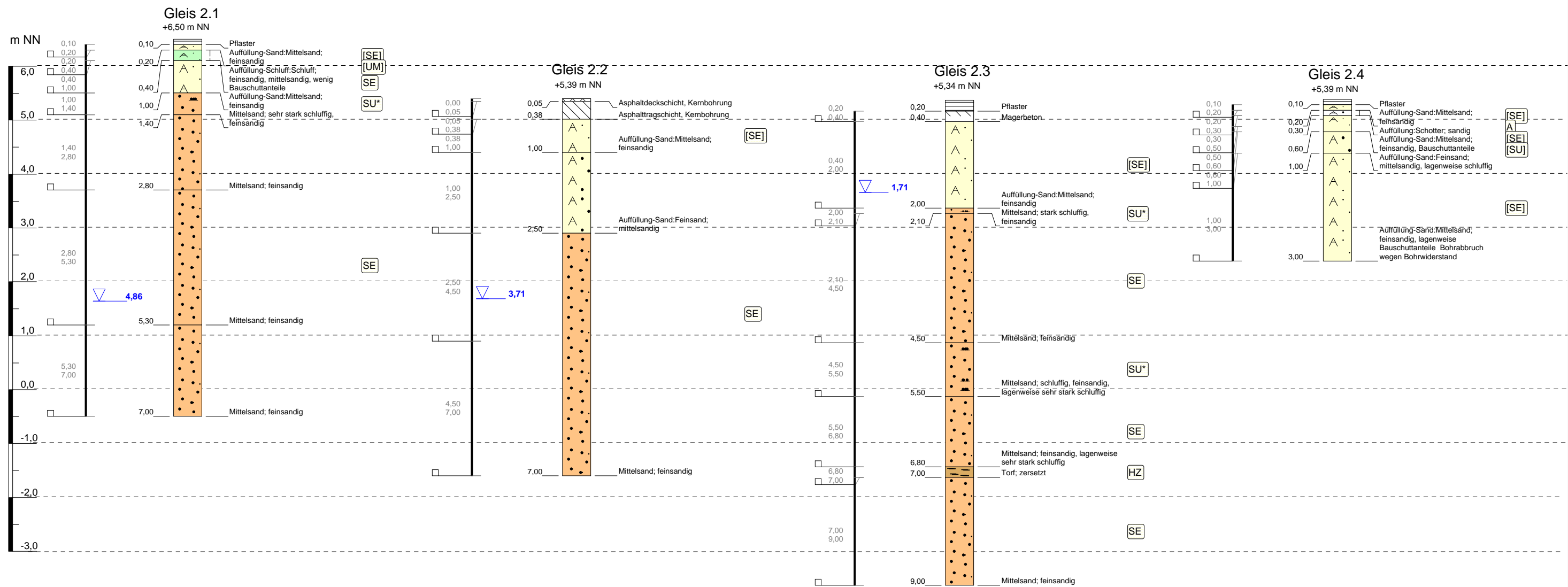
▽ 1.26 Wasserstand im Bohrloch

Maßstab 1:75

Anlage 2: Bohrprofile

Projekt: BV BSAG Betriebshof Gröpelingen
Teilprojekt 2: Betriebshof

Proj. Nr.: 2957-2-18



SE Bodengruppe nach Geländeansprache	
Konsistenz nach Bodenansprache	Lagerung nach Bohrwiderstand
⊃ breiig	• sehr locker, locker
⊂ weich	∞ mitteldicht, dicht
steif	
halbfest	
fest	
▽ 1.26	Wasserstand im Bohrloch
Maßstab 1:75	

Anlage 2: Bohrprofile
 Projekt: BV BSAG Betriebshof Gröpelingen
 Teilprojekt 2: Betriebshof
 Proj. Nr.: 2957-1-18