

**2. S-Bahn-Stammstrecke München
Planfeststellung, PFA 3 Ost**

Erläuterungsbericht Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasser- wirtschaft

0	Ausgangsverfahren: Antragsfassung	04.12.2020			
Index	Änderungen bzw. Ergänzungen	Planungsstand			
<p>Vorhabenträgerin:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München </td> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München </td> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München </td> </tr> </table>			DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München	DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München	DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München
DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München	DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München	DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München			
<p>Vertreter der Vorhabenträgerin:</p> DB Netz AG Großprojekt 2. S-Bahn- Stammstrecke München Arnulfstraße 25-27 80335 München		<p>Verfasser:</p> Boley Geotechnik GmbH mplan eG 30.10.2020			
Datum	Unterschrift	Datum			
Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt					

Beteiligte Planer und Gutachter:

INGE 2.S-Bahn-Stammstrecke München

atelier 4d / BPR / ILF / Vössing Ingenieure / BURK / SSF Ingenieure

Fachplaner, Gutachter

ifuplan

Möhler + Partner Ingenieure AG

Boley Geotechnik GmbH

mplan eG

Inhaltsverzeichnis	Seite
1	Allgemeines 1
1.1	Allgemeine Projektbeschreibung 1
1.2	Aufgabenstellung 1
1.3	Verwendete Literatur/Unterlagen 3
2	Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahmen 7
3	Geologischer/Hydrogeologischer Überblick 9
3.1	Allgemeine geologische Verhältnisse 9
3.2	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse 10
3.3	Altlastenverdachtsflächen 11
3.4	Lagerstätten 15
3.5	Erdbebenzonen 15
3.6	Kampfmittel 16
4	Untersuchungsumfang oberirdische Strecke 17
4.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten 17
4.2	Projektspezifische Untersuchungen im Planungsfeststellungsabschnitt ... 17
4.2.1	Bohrungen nach DIN 4021 17
4.2.1.1	Rammkernbohrungen 17
4.2.1.2	Kleinrammbohrungen 17
4.2.2	Baggerschürfe/Handschürfe 17
4.2.3	Bohrlochversuche 17
4.2.3.1	BDP nach DIN EN ISO 22476-3 17
4.2.3.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN EN ISO 22476-7 17
4.2.3.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN 18130-2 17
4.2.4	Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2 17
4.2.5	Bodenmechanische Laboruntersuchungen 18
4.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Boden 18
4.2.7	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser 18
4.2.7.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030 18
4.2.7.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter 18
4.2.8	Bodenluftuntersuchungen 18
5	Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen 19
5.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten und bisherigen Erkundungsprogrammen für die 2. S-Bahn-Stammstrecke München 19

5.2	Projektspezifische Untersuchungen im Planfeststellungsabschnitt 3 Ost..	19
5.2.1	Bohrungen nach DIN 4021	19
5.2.2	Feldversuche.....	19
5.2.2.1	BDP nach DIN EN ISO 22476-3	19
5.2.2.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN EN ISO 22476-7	19
5.2.2.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN 18130-2	19
5.2.3	Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2.....	19
5.2.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	20
5.2.5	Chemische Laboruntersuchungen Boden	20
5.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser	21
5.2.6.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030.....	21
5.2.6.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter	21
5.2.7	Bodenluftuntersuchungen	21
6	Beurteilung der Baugrundverhältnisse	22
6.1	Unterirdische Streckenabschnitte	22
6.1.1	Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten.....	22
6.1.2	Oberboden und Auffüllungen (Schicht I).....	22
6.1.3	Quartäre bindige Deckschichten / Decklehme (Schicht II)	23
6.1.4	Quartäre Kiese (Schicht III).....	23
6.1.5	Tertiäre Schluffe und Tone (Schicht IV).....	24
6.1.6	Tertiäre Sande (Schicht V).....	24
6.2	Oberirdische Streckenabschnitte	25
7	Hydrologie und Hydrogeologie	26
7.1	Oberflächengewässer	26
7.2	Niederschlagssituation	26
7.3	Grundwasserverhältnisse	27
7.3.1	Verteilung der Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer	27
7.3.2	Grundwasserströmung.....	28
7.3.3	Durchlässigkeitsverhältnisse.....	29
7.4	Bemessungswasserstände.....	29
7.4.1	Allgemeines.....	29
7.4.2	Bauzustand	30
7.4.3	Endzustand	30
7.4.4	Tabellarische Übersicht der Bemessungswasserstände.....	31

8	Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdischer Streckenabschnitt	32
8.1	Strecke	32
8.1.1	Gleisbau	32
8.1.1.1	Gründung	32
8.1.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	33
8.1.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	33
8.1.1.4	Entwässerung	33
8.1.2	Oberleitungsmasten	34
8.1.2.1	Gründung	34
8.1.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	34
8.1.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	34
8.1.2.4	Entwässerung	34
8.1.3	Feuerwehrezufahrt	34
8.1.3.1	Erdplanum	34
8.1.3.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	34
8.1.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	34
8.1.3.4	Entwässerung	34
8.2	Ingenieurbauwerke	35
8.2.1	Fußgängersteg Leuchtenbergring	35
8.2.1.1	Gründung	35
8.2.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	35
8.2.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	35
8.2.1.4	Entwässerung	35
8.2.2	Stützwände	35
8.2.2.1	Gründung	36
8.2.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	37
8.2.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	37
8.2.2.4	Entwässerung	37
8.2.3	Kreuzungsbauwerk km 1,871	37
8.2.3.1	Gründung	37
8.2.3.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	37
8.2.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	38
8.2.3.4	Entwässerung	38
8.2.4	Tramgleichrichterwerk (TGW)	38
8.2.4.1	Gründung	38
8.2.4.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	38
8.2.4.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	38
8.2.5	Anprallschutz Kreuzungsbauwerk km 1,722	39
8.2.5.1	Gründung	39
8.2.5.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	39
8.2.5.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	39
8.2.5.4	Entwässerung	39
8.3	Hp Leuchtenbergring	39
8.3.1	Zugänge zum Bft Leuchtenbergring	39
8.3.1.1	Gründung	40
8.3.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	40

8.3.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	40
8.3.1.4	Entwässerung	40
8.3.2	Bahnsteig 0	41
8.3.2.1	Gründung	41
8.3.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	41
8.3.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	41
8.3.2.4	Entwässerung	41
8.3.3	Bahnsteig A.....	41
8.3.4	Bahnsteig B.....	41
8.3.4.1	Gründung	41
8.3.4.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	41
8.3.4.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	42
8.3.4.4	Entwässerung	42
8.4	Baustraßen	42
8.5	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen.....	42
9	Folgerungen für die Tunnelstrecken mit Trögen	44
9.1	Haltepunkt Ostbahnhof (tief) und PU-West, PU Friedenstraße, PU Ost sowie temporäre PÜ	44
9.1.1	Baugrundverhältnisse und Gründung	44
9.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	45
9.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	46
9.1.4	Entwässerung	46
9.1.5	Grundwasserüberleitungen.....	46
9.2	Tröge und Tunnel in offener Bauweise	47
9.2.1	Baugrundverhältnisse und Gründung	47
9.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	48
9.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	49
9.2.4	Entwässerung	50
9.2.5	Grundwasserüberleitungen.....	50
9.3	Verkehrstunnel und Erkundungs- und Rettungsstollen in geschlossener Bauweise	51
9.3.1	Maschinelle Vortriebe	51
9.3.2	Spritzbetonvortriebe	54
9.3.2.1	Querschläge.....	54
9.3.2.2	Abzweigstelle Maximiliansanlagen (MPRA)	55
9.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	55
9.4	Rettungsschächte und Stollen	56

9.4.1	Herstellung	59
9.4.2	Grundwasserhaltung	60
9.4.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	61
9.5	Ertüchtigungsmaßnahmen Eisenbahnüberführung Berg-am-Laim.....	61
9.5.1	Baugrundverhältnisse und Gründung	61
9.6	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen	62

Abkürzungsverzeichnis

A

Abzw	Abzweigstelle
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz

B

BE	Baustelleneinrichtung
Bf München Ost Pbf	Bahnhof München Ostbahnhof Personenbahnhof
Bf	Bahnhof
Bft	Bahnhofsteil
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSK	Brandschutzkonzept
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht

D

DB	(bei Grunderwerb) Dienstbarkeit für Landschaftspflegerische Maßnahmen
DB AG	Deutsche Bahn AG
DDR	Dienstbarkeit Dritte
DT	Dienstbarkeit Technik
DPH	Schwere Rammsondierung

E

EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ESTW-A	Ausgelagerter Stellrechner eines elektronischen Stellwerkes
ESTW-UZ	Elektronisches Stellwerk –Unterzentrale
EÜ	Eisenbahnüberführung

G

GOK	Geländeoberkante
GG	Gegengleis

H

Hbf	Hauptbahnhof
Hp	Haltepunkt
HK	Handlungskategorie

K

km/h	Kilometer pro Stunde
k _f -Wert	Durchlässigkeitsbeiwert

L

LHM	Landeshauptstadt München
LSW	Lärmschutzwand

M

MHBP	Hp München Hbf Bahnhofplatz
ML	Bf München-Laim Pbf
MLEU	Bf München Ost Pbf - Bft München-Leuchtenbergring
MOP	Bf München Ost Pbf - Bft München Ost Pbf
MVG	Münchner Verkehrsgesellschaft mbH

N

NN	Normalnull
----	------------

O

OK	Oberkante
----	-----------

P

PFA	Planfeststellungsabschnitt
Pbf	Personenbahnhof
PSS	Planumsschutzschicht
PU	Personenunterführung
PÜ	Personenüberführung

R

Rbf	Rangierbahnhof
RS	Rettungsschacht
Ril	Richtlinien der DB AG
RiG	Richtungsgleis
RKB	Rammkernbohrung
RKS	Rammkernsondierung

S

SWM	Stadtwerke München GmbH
SBSS	S-Bahn Stammstrecke
SO	Schienenoberkante

U

UK	Unterkante
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

V

v_e, v	(Entwurfs-) Geschwindigkeit
VB	Vorübergehende Inanspruchnahme Biotop
VG	Vorübergehende Grundinanspruchnahme
VT	Vorübergehende Grundinanspruchnahme Technik

Begriffsdefinitionen

Soweit zum Verständnis nicht zwingend erforderlich, wird in den Unterlagen auf den Namensteil „München“ in den Betriebsstellenbezeichnungen verzichtet.

2. S-Bahn-Stammstrecke

Bezeichnet wird hiermit die neu zu errichtende zweigleisige S-Bahnstrecke, beginnend im Bf Laim und endend im Bft Leuchtenbergring mit den dazwischen liegenden Haltepunkten Hauptbahnhof Bahnhofplatz, Marienhof und Ostbahnhof (tief).

Spanische Lösung

Anordnung von Bahnsteigkanten beidseitig des S-Bahnzuges, wodurch die Ein- und Ausstiegsvorgänge getrennt werden und damit der Fahrgastwechsel beschleunigt wird (z. B. wie am bestehenden Hp Marienplatz). Dieses Prinzip wird „Spanische Lösung“ genannt und wird beispielsweise am bestehenden Hp Marienplatz bereits verwendet.

Hp Ostbahnhof (tief)

Der Hp Ostbahnhof (tief) bezeichnet das neu zu errichtende Haltestellenbauwerk südlich des Ostbahnhofs im Bereich der Friedenstraße.

Gleis 100 / Gleis 200

Die Baukilometrierung bezieht sich auf das rechte Gleis (Gleis 100) der neu zu erstellenden Strecke 5547.

Gleis 100 ist das Richtungsgleis der 2. S-Bahn-Stammstrecke vom Bf Mü Laim Pbf zum Bft Mü Leuchtenbergring, Gleis 200 ist das Richtungsgleis vom Bft Mü Leuchtenbergring zum Bf Mü Laim Pbf.

1 Allgemeines

1.1 Allgemeine Projektbeschreibung

Der Planfeststellungsabschnitt PFA 3 Ost ist Teil des Gesamtprojekts „2. S-Bahn-Stammstrecke München“. Das Gesamtprojekt dient der Entlastung und Ertüchtigung der bestehenden S-Bahnstrecke und umfasst den Neubau einer zweigleisigen, elektrifizierten S-Bahnstrecke zwischen den S-Bahnhöfen Laim und Leuchtenbergring. Des Weiteren umfasst das Projekt den Um- bzw. Neubau der bestehenden S-Bahnanlagen im Bahnhof Laim und im Ostbahnhof. Das Gesamtbauvorhaben beinhaltet drei neue unterirdische Stationen am Hauptbahnhof, am Marien- hof und am Ostbahnhof sowie den Umbau bzw. die Erweiterung der Stationen in Laim und am Leuchtenbergring.

1.2 Aufgabenstellung

Der vorliegende Erläuterungsbericht "Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft", erstellt durch Boley Geotechnik und mplan eG, bezieht sich auf den Planfeststellungsabschnitt 3 Ost.

Folgender Streckenabschnitt (unterirdischer Bereich) wurde von Boley Geotechnik bearbeitet:

- Strecke 5547 (neu): Bau-km 107,853 bis ~110,960

Folgende Bauwerke wurden von Boley Geotechnik bearbeitet:

- Hp Ostbahnhof (tief)
- PU West, PU Ost, PU Friedenstraße und temporäre PÜ
- Tunnel in geschlossener Bauweise
- Tunnel/Trog in offener Bauweise
- Rettungsschächte 7, 8, 9
- Herstellung eines Abzweig- / Anschlussbauwerks in Spritzbetonbauweise im Bereich des Rettungsschachts (RS 7) für einen späteren Anschluss / Anbindung des Abzweigs U04 Südast
- Baugrube Rettungsschacht 9
- Unterquerung Berg-am-Laim Straße
- Umbau und bereichsweise Erneuerung der bestehenden EÜ Berg-am-Laim Straße
- Dükerbauwerke und Versickerungsflächen

Folgende Streckenabschnitte wurden von mplan eG bearbeitet:

- Strecke 5547 (neu) ab Tunnelportal: Bau-km 110,920 bis 111,000
- Strecke 5553: km 0,700 bis 1,930
- Strecke 5554: km 0,620 bis 2,010
- Strecke 5603: km 0,200 bis 2,010
- Wendeanlage: km 1,400 bis 1,780

Folgende Verkehrsbauwerke wurden von mplan eG bearbeitet:

- Oberleitungsmasten
- Feuerwehrezufahrt

Folgende Ingenieurbauwerke wurden von mplan eG bearbeitet:

- Entwässerungseinrichtungen
- Bahnsteigneubau (0), Bahnsteigumbau (B) am Bft MLEU
- Stützwände
- Fußgängersteg und Zugangsbauwerke zu den Bahnsteigen am Bft MLEU
- Zugang vom Bahnsteig 0 zur EÜ Leuchtenbergring
- Kreuzungsbauwerk bei 5554 GG, km 1,871
- Kreuzungsbauwerk Stützwand West (bei 5554 GG, ca. km 1,813) und Stützwand West Ost (bei 5554 GG, ca. km 1,922)
- Anprallschutz Kreuzungsbauwerk bei 5553 GG, km 1,722

Mit dem Erläuterungsbericht werden die Ergebnisse der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen im Hinblick auf die Planfeststellung für den Planfeststellungsabschnitt 3 Ost dargestellt und beurteilt.

Die Bearbeitungsschwerpunkte im Erläuterungsbericht "Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft" ergeben sich aus den Erfordernissen der Planfeststellung. Neben der Erfassung des Untergrundaufbaus, der Grundwasserverhältnisse sowie der Gewässer werden die sich hierdurch ergebenden bautechnischen Konsequenzen aufgezeigt und beurteilt. Zur Beschreibung der möglichen Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Schutzgüter Boden und Grundwasser werden hier die geotechnischen Maßnahmen beschrieben.

1.3 Verwendete Literatur/Unterlagen

- [U1] Technische Universität München – Zentrum Geotechnik: Geotechnisches Gutachten – Teil I – Baugrunduntersuchungen; Fassung H vom 28.11.2014

- [U2] Technische Universität München - Zentrum Geotechnik: Geotechnisches Gutachten – Teil VIII – Folgerungen zum Hp Ostbahnhof tief; Fassung D vom 21.12.2016

- [U3] 115. Stellungnahme: Bohrprofilauswertung der tertiären Schichten, Projekt Nr.: 11222/1081 Prof. Dr.-Ing. N. Vogt, Zentrum Geotechnik TU München vom 24.02.2014

- [U4] 125. Stellungnahme: Herstellung von DSV-Körpern im Münchner Tertiär, Projekt Nr.: 11222/1110, Prof. Dr.-Ing. N. Vogt, Zentrum Geotechnik TU München vom 16.06.2014

- [U5] Boley Geotechnik: Geotechnischer Bericht - 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Streckenabschnitt Marienhof bis offene Bauweise Ost inklusive Haltepunkt Ostbahnhof (tief), Zwischenbericht, 28.09.2018

- [U6] Boley Geotechnik: Geotechnischer Bericht - 1. Ergänzung - 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Streckenabschnitt Marienhof bis offene Bauweise Ost inklusive Haltepunkt Ostbahnhof (tief), Zwischenbericht, 12.03.2019

- [U7] Maidl Tunnelconsultants: Tunnelbautechnischer Bericht Streckentunnel – Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (SM-V4), mtc-Projekt-Nr.: DBM2S111, 8. Überarbeitung, 18.06.2018

- [U8] DIN 4094-5:2001-06 „Felduntersuchungen – Teil 5 Bohrlochaufweitungsversuche“, wurde ersetzt durch DIN EN ISO 22476-4:2013-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 4: Pressiometerversuch nach Ménard (ISO 22476-4:2012)“, DIN EN ISO 22476-5:2013-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 5: Versuch mit dem flexiblen Dilatometer (ISO 22476-5:2012)“, DIN EN ISO 22476-7:2013-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 7: Seitendruckversuch (ISO 22476-7:2012)“, alle Beuth-Verlag, Berlin

- [U9] DIN 4149-1:2005-04 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“, Beuth-Verlag, Berlin

- [U10] DIN 18122-1:1997-07 „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Teil 1: Bestimmung der Fließ- und

-
- Ausrollgrenze“, wurde ersetzt durch DIN EN ISO 17892-12:2018-10 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen (ISO 17892-12:2018)“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U11] DIN 18124:2019-02 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korndichte – Kapillarpiknometer, Weithalspiknometer, Gaspyknometer“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U12] DIN 18127:2012-09 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U13] DIN 18130-1:1998-05 „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte – Teil 1: Laborversuche“, wurde ersetzt durch: DIN EN ISO 17892-11:2019-05 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019)“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U14] DIN 18137-2:2011-04 „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 2: Triaxialversuch“, wurde ersetzt durch: DIN EN ISO 17892-8:2018-07 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter Triaxialversuch (ISO 17892-8:2018)“ und DIN EN ISO 17892-9:2018-07 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden (ISO 17892-9:2018)“, beide Beuth-Verlag, Berlin
- [U15] DIN 18137-3:2002-09 „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 3: Direkter Scherversuch“, wurde ersetzt durch DIN EN ISO 17892-10:2019-04 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 10: Direkte Scherversuche (ISO 17892-10:2018)“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U16] DIN EN 13925-2:2003-07 „Zerstörungsfreie Prüfung – Röntgendiffraktometrie von polykristallinen und amorphen Materialien – Teil 2: Verfahrensabläufe“, Beuth-Verlag, Berlin
- [U17] DIN EN ISO 17892-1:2015-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts“, Beuth-Verlag, Berlin

-
- [U18] DIN EN ISO 17892-4:2017-04 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung“, Beuth-Verlag, Berlin
 - [U19] DIN EN ISO 17892-5:2017-08 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 5: Ödometerversuch mit stufenweiser Belastung“, Beuth-Verlag, Berlin
 - [U20] DIN EN ISO 17892-7:2018-05 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 7: Einaxialer Druckversuch“, Beuth-Verlag, Berlin
 - [U21] DIN SPEC 18537:2017-11 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker“, Beuth-Verlag, Berlin
 - [U22] Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen, Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB), 10/2010
 - [U23] Landeshauptstadt München: U-Bahn-Referat, Rekonstruktion der Grundwasserhöhengleichen vom Sommer 1940 (HW 1940)
 - [U24] Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben" – EAB – 5. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn Verlag, 2012
 - [U25] RiL 804 „Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten“, DB Netz AG, 01.01.2013
 - [U26] RiL 836 „Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, 7. Aktualisierung, DB Netz AG, 01.11.2019
 - [U27] RiL 853 „Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten“, 9. Aktualisierung, DB Netz AG, 01.09.2018
 - [U28] DB Modul 132.0118 „Grundsätze der Gesundheitsförderung, des Arbeitsschutzes und der Unfallverhütung, Arbeiten im Gleisbereich“, 2012
 - [U29] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) BGI/GUV-I 781 „Sicherheitshinweise für Arbeiten im Gleisbereich von Eisenbahnen“, Berlin 2013
 - [U30] Glitsch, W., Spang, C.: Innerstädtische Tunnelbauwerke als Strömungshindernis für das Grundwasser, Tunnelbau Taschenbuch, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., VGE Verlag GmbH, 2009
 - [U31] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Geologische Karte von Bayern 1:50 000, Blatt L 7934 München; München 1995
 - [U32] mplan eG: Baugrunduntersuchung 2. S-Bahn-Stammstrecke; München Ostbahnhof bis München Leuchtenbergring (28. Oktober 2020)

- [U33] Gutachten der mplan eG von 2004 bis 2010 für Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen
- [U34] Stellungnahme zur Festlegung von Bemessungswasserständen auf der Grundlage statistischer Analysen langjähriger Grundwasserbeobachtungen (TU München, Zentrum Geotechnik vom 17.5.2004)
- [U35] Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH: Auswertungsprotokoll, Beweissicherung durch kombinierte Luftbild- und Aktenauswertung, Stufe 1: Kampfmittelvorerkundung & Stufe 2: Qualifizierte Verdachtsdokumentation, 29.05.2018

2 Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahmen

Die Linienführung im Bereich des Planfeststellungsabschnitts 3 Ost folgt zunächst dem durch den Planfeststellungsabschnitt 2 vorgegebenen Trassenverlauf aus der Maximilianstraße von Westen kommend und schwenkt vor dem Maxmonument nach Süden. Nach der Unterquerung der Großen Isar (etwa parallel zum Praterwehr), der Praterinsel, der Kleinen Isar und des Auer Mühlbachs werden die Maximiliansanlagen südlich des Maximilianeums passiert.

Die untertägig verlaufende Trasse unterquert dann in Richtung Südosten den Stadtteil Haidhausen, die bestehende 1. S-Bahn-Stammstrecke im Bereich der Rosenheimer Straße, überfährt die U-Bahnlinie U5 und unterfährt die Gleisanlagen der DB im Bereich Ostbahnhof und schwenkt dann, südlich der Gleisanlagen, nach Nordwesten parallel verlaufend zur Friedenstraße. Ab dem nordwestlichen Stationsende des neuen Hp Ostbahnhof (tief) unterquert die Trasse erneut das Gleisfeld des Ostbahnhofs in Tunnellage und verläuft weiter unterirdisch unter der Berg-am-Laim-Straße bis zu den Tunnelportalen im Bereich des Hp Leuchtenbergring. Daran anschließend wird die Trasse über Rampenbauwerke an die Oberfläche geführt und schließt im Hp Leuchtenbergring geländegleich an den Bestand an.

Im Bereich der Maximiliansanlagen sind Vorsorgemaßnahmen geplant, die die spätere Realisierung einer Anbindung des Südasts bautechnisch ermöglichen.

Hierdurch wird eine Auftrennung der Neubaustrecke in den hier planfestzustellenden Ostast in Richtung Leuchtenbergring (MLEU) und einen künftig realisierbaren Südast in Richtung Giesing (MGI) bzw. Deisenhofen (MDS) ermöglicht.

Im östlich der Tunnelportale folgenden, oberirdischen Abschnitt des PFA 3 Ost erfolgt eine Teilung der Gleise in die Strecken 5554 GG, 5553 GG, 5603 GG, 5603 RiG, 5554 RiG und 5553 RiG. Anschließend verlaufen die Gleise in einer Rechtskurve und dann von West nach Ost weiter in Richtung Bahnhof Berg-am-Laim.

Im oberirdischen Abschnitt des PFA 3 Ost werden zudem eine Reihe von Verkehrs- und Ingenieurbauwerken hergestellt.

Im gesamten oberirdischen Bereich werden für die Gleisanlagen neue Oberleitungsmasten erstellt.

Im Norden des Planfeststellungsabschnitts von der Berg-am-Laim Straße bis zum neuen Fußgängersteg am Leuchtenbergring wird eine Feuerwehrezufahrt hergestellt.

Im oberirdischen Abschnitt PFA 3 Ost werden für die Verkehrs- und Ingenieurbauwerke neue Entwässerungseinrichtungen erstellt.

Bei ca. km 1,1 (5554 GG, 5553 GG, 5603 GG, 5603 RiG, 5554 RiG, 5553 RiG) entsteht der BFT Leuchtenbergring. Bahnsteig 0 im Norden wird neu hergestellt. Bahnsteig A bleibt unverändert bestehen. Bahnsteig B wird im Westen um ca. 150 m verkürzt und im Osten um ca. 120 m verlängert. Die Bahnsteige 0, A und B erhalten einen Zugang zum neuen Fußgängersteg auf der Westseite. Bahnsteig 0 wird über ein Zugangsbauwerk an die EÜ Leuchtenbergring angebunden.

Bei km ca. 1,030 (5554 GG, 5553 GG, 5603 GG, 5603 RiG, 5554 RiG, 5553 RiG) entsteht als Zugang zu den Bahnsteigen 0, A und B ein Fußgängersteg.

Bei km 1,871 (5554 GG) wird das vorhandene Kreuzungsbauwerk rückgebaut und anschließend durch einen knapp 2 m tiefer liegenden Neubau ersetzt. Bei diesem Kreuzungsbauwerk verläuft das Gleis 5554 GG unter den Gleisen 5603 RiG und 5603 GG.

Des Weiteren werden im oberirdischen Abschnitt PFA 3 Ost 13 Stützwände hergestellt. Die Lage und konstruktive Ausführung der Stützwände sind in Kap. 8.2.2 beschrieben.

Bei km 1,722 (5553 GG) wird das bestehende Kreuzungsbauwerk um jeweils einen Anprallschutz an den Pfeilern erweitert. Bei diesem Kreuzungsbauwerk überfährt die Strecke 5553 RiG die Strecken 5603 GG, 5603 RiG und 5554 RiG.

3 Geologischer/Hydrogeologischer Überblick

3.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Im Bereich der 2. S-Bahn-Stammstrecke München, PFA 3 Ost stehen ab der Geländeoberfläche in der Regel zunächst geringmächtige Decklagen, überwiegend aus Humus und Verwitterungsschichten oder teils mehrere Meter mächtige künstliche Auffüllungen an. Nur im Bereich der EÜ Leuchtenbergring / Kreuzung Bergam-Laim Straße sowie im Bereich des Ostbahnhofes sind zusätzlich eine bis zu ca. 4,5 m mächtige quartäre Tonüberdeckung (Lösslehm) bekannt (GK L7934, [U31]). In der nahen Umgebung der Isar ist oberflächennah zudem mit Auenablagerungen zu rechnen. Darunter folgen, als Teil der Münchner Schotterebene, bis in Tiefen zwischen ca. 5 m und 14 m riß- und würmeiszeitliche und im Bereich der Isar auf einer tiefer liegenden Terrasse auch nacheiszeitliche Quartärschotter. Als geologisch junges Abtragungsprodukt der nördlichen Kalkalpen wird der Geröllbestand des Quartärkieses von Kalksteinen und Dolomitsteinen geprägt, neben denen auch Sandsteine sowie Kristallingerölle vorkommen. Aufgrund ihrer Ablagerung im fließenden Wasser sind die Kiese erfahrungsgemäß annähernd horizontal und teilweise auch kreuzgeschichtet, wobei Sand-, Feinkorn- oder Rollkieslagen bzw. Linsen zwischengeschaltet sein können. Die Anteile der genannten Kornfraktionen sind bildungsbedingt innerhalb eines betrachteten Baugrundabschnittes Schwankungen unterzogen und es treten neben überwiegend scharfen in etwa horizontal verlaufenden Schichtgrenzen untergeordnet auch vertikale Schichtübergänge in Form von Verzahnungen und seitlichem Auskeilen von Bodenschichten auf. Teilweise lässt sich der eiszeitliche Schotterkörper in einen älteren (vorwürmeiszeitlichen) und einen darüber abgelagerten jüngeren (würmeiszeitlichen) Abschnitt unterteilen, wobei als Trennschicht örtlich Überreste einer zwischeneiszeitlichen Bodenbildung (Paläoboden) in Form von Humus, humosem Kies, verwittertem Kies oder Torfeinlagerungen bekannt sind. Die Quartärschotter sind unterschiedlich stark verwittert, wobei der Anteil entfestigter, zu Feinkorn zerfallender Gerölle mit steigendem Grad der Verwitterung zunimmt. In den quartären Schottern sind Verfestigungen zu Konglomerat (Nagelfluh) mit unregelmäßiger Verteilung, Häufigkeit und Ausdehnung bekannt.

Im Liegenden folgen unter dem Quartär bis in sehr große Tiefe die zeitlich früher abgelagerten Bodenschichten des Tertiärs, die tektonisch zur ungefalteten Oberen Süßwassermolasse gehören. Die Tertiärablagerungen sind durch überwiegend horizontal verlaufende Wechsellagerungen von Sand-, Ton-, Schluff- und in geringerem Umfang auch Lagen mit Kiesanteil gekennzeichnet. Charakteristisch für das Münchner Tertiär sind der hohe Quarzanteil der Sande und Kiese sowie die häufig ausgeprägte Glimmerführung (Flinzsand). Stärker als im Quartärschotter sind die

Anteile der genannten Kornfraktionen bildungsbedingt innerhalb eines betrachteten Baugrundabschnittes starken Schwankungen unterzogen und es treten neben scharfen Schichtgrenzen sowohl horizontale als auch vertikale Schichtübergänge in Form von Verzahnungen sowie seitlichem Auskeilen von Bodenschichten auf. Die tertiären Sedimente sind aufgrund der ehemaligen Überlagerung (ca. 100 – 200 m), welche bis in das Pleistozän erodiert wurde, vorbelastet und überkonsolidiert. Die Tone, Schluffe und Mergel können bereichsweise zu Ton-/Schluff- und Mergelstein mit Kalkkonkretionen verfestigt auftreten. Bröckeltone (Ton-Schluff-Gemische mit halbfester bis fester Konsistenz) konnten in einigen Bohrungen der 2. S-Bahn-Stammstrecke angetroffen werden und sind durch regellos vorkommende Harnischflächen gekennzeichnet. Quartäre Schmelzwässer im Gletschervorland und die Erosion der Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in der ausgehenden Tertiärzeit haben zu einer stark reliefierten Grenzfläche (Erosionsdiskordanz) zwischen quartären Schottern und tertiärer Molasse geführt. Dieses inhomogene Relief ist nicht nur flachwellig ausgebildet, sondern kann in Form von Rinnen und Mulden mehrere Meter tief in die tertiären Sedimente einschneiden. Die Rinnen sind demnach mit grobkörnigem Material des Quartärs verfüllt. Neben den Rinnen wurden im Quartär auch tiefe Spalten gebildet, die zum Beispiel durch Eiskeilbildung entstanden sind. Auch diese Spalten können mit grobkörnigerem Material gefüllt sein und weisen häufig Tiefen im Meterbereich auf.

3.2 Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse

Aufgrund der gegenüber dem Tertiär vielfach höheren Wasserdurchlässigkeit der Quartärschotter liegt in der Regel eine Trennung zwischen einem oberen quartären Aquifer (Grundwasserleiter) und darunter folgenden tertiären Aquiferen vor. Sofern durch Sande in den oberen Partien ab der Tertiäroberfläche keine wirkungsvolle hydraulische Trennung zum Quartär vorliegt, entsteht ein gemeinsamer Quartär/Tertiär - Aquifer, in dem sich die Druckpotentiale des Quartäraquifers einstellen. Die quartären Schotter sind grundwasserführend und besitzen überwiegend einen ganzjährig geschlossenen und freien Grundwasserspiegel. Die Grundwasserfließrichtung folgt dem großräumigen Gefälle der Geländeoberfläche nach NNO, wobei in Isarnähe auf der Ostseite ein Umschwenken nach WNW bis NW zur Isar hin vorliegt. Lokal tritt in Isarnähe das Quartärgrundwasser an der Grenze zum unterlagernden Tertiär als Hangquelle aus. Die Grundwasserfließrichtungen unmittelbar westlich der Isar werden durch den jeweiligen Flusswasserstand beeinflusst und weisen bei Isarhochwasser nach NW von der Isar weg, ansonsten nach NO auf die Isar zu.

Auch die tertiären Schichten sind grundwasserführend. In von feinkörnigen Schichten überdeckten Sanden wird gespanntes Grundwasser angetroffen, dessen Druckwasserspiegel großräumig etwa bis zur Höhe des Quartärwasserstands zu

erwarten ist. Durch die Wechsellagerung von durchlässigen Sandschichten mit schwach bis sehr schwach durchlässigen Ton-/Schluffschichten ist im Tertiär auch eine Gliederung in mehrere Grundwasserstockwerke vorhanden, wobei die tieferliegenden Aquifere überwiegend etwas geringere Druckpotentiale aufweisen als die höheren.

3.3 Altlastenverdachtsflächen

Nachfolgende Altlastenverdachtsflächen wurden im Planfeststellungsabschnitt festgestellt. Eine räumliche Darstellung befindet sich in Anlage 17.3.3.

Tabelle 1: Tabellarische Zusammenstellung der Altlastenverdachtsflächen

Teilfläche (Nr./Bezeichnung)	Lage (km)	Beweisniveau OU*	Bohrungen	Untersuchungsergebnisse/Beschreibung
6164-013 Lokabstellgeländer und Bombenrichter	2,1-2,2	HK 1.2	10 RKB bis max. 4 m u GOK	Stufe-2-Wert Überschreitung durch MKW und PAK. Stufe-1-Wert Überschreitung durch Kupfer
6164-015 Ehemalige Bekohlungsanlage	2,0-2,1	HK 1.1	7 RKB bis 2 m u GOK	Stufe-2-Wert Überschreitung durch Schwermetalle
6164-017 Wagenuntersuchungsstände	2,1-2,2	HK 2	6 RKB bis 4 m u GOK	Stufe-2-Wert Überschreitung durch MKW, PAK.
6164-020 ehemaliger Lokschuppen	9,36-9,5	HK 1.2	15 RKB bis max. 5 m u GOK mit Boden- und Bodenluftproben	Stufe-1-Wert Überschreitung durch BTX. Stufe-2-Wert Überschreitung durch PAK und MKW
6164-021 Lokabstellplatz	9,45-9,49	HK 1.2	3 RKB bis max. 1 m u GOK mit Bodenproben	Stufe-2-Wert Überschreitung durch MKW

6164-022	Lokabstellplatz	9,637-9,68	HK 0	3 RKB bis max. 1 m u. GOK mit Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-023	Auffüllung und Bombentrichter	9,64-9,96	HK 1.1	5 RKB bis max. 4 m u. GOK mit Bodenproben	Stufe-1-Wert Überschreitung durch MKW und PAK. Stufe-1-Wert Überschreitung durch BTX in Grundwassermessstelle im Anstrom (evtl. durch Verunreinigung des Probenahmegeräts).
6164-024	Lokabstellgleis	9,79-9,85	HK 1.1	3 RKB bis max. 1 m u. GOK mit Bodenproben	Stufe-1-Wert Überschreitung durch Schwermetalle / Arsen
6164-025	Lokabstellgleis	9,97-10,01	HK 1.1	2 RKB bis max. 1 m u. GOK mit Bodenproben	Stufe-1-Wert Überschreitung durch PAK
6164-026	Auffüllungen und Bombentrichter	10,51-10,52	HK 0	1 RKB bis max. 4 m u. GOK mit Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-027	Ehem. Firma Straub und Flach	10,48-10,53	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-2-Wert Überschreitung durch PAK und MKW
6164-028	Ladestraße	10,69-10,83	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-2-Wert Überschreitung durch PAK, MKW und BTX

6164-029	Rampe am ehemaligen Containerladehof	10,71-10,83	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-2-Wert Überschreitung durch PAK
6164-030	ehemalige Drehscheibe	10,84-10,86	HK 1.1	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-2-Wert Überschreitung durch MKW
6164-031	Ladestraße	10,82-10,89	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-2-Wert Überschreitung durch BTX und MKW
6164-032	Auffüllung mit Bombentrichter	10,93-11,46	HK 1.1	5 RKB bis max. 4 m u GOK mit Bodenproben	Stufe-1-Wert Überschreitung durch PAK und BTX (letzteres im Grundwasseran- und -abstrom gemessen)
6164-033	Drehscheibe	11,46-11,480	HK 0	2 RKB bis max. 3 m u GOK mit Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-034	Betankungsanlage	11,51-11,55	HK 1.1	aus Voruntersuchungen übernommen	Stufe-1-Wert Überschreitung durch BTX
6164-035	Lagerplatz für Trafos	11,58-11,61	HK 0	2 RKB bis max. 2 m u GOK und Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-037	Lokabstellgleise und Bombentrichter	11,97-12,13	HK 1.1	8 RKB bis max. 2 m u GOK	Stufe-1-Wert Überschreitung durch PAK

6164-038	Auffüllungen mit Bomben-trichter	11,50-12,12	HK 1.1	6 RKB bis max. 4 m u GOK	Stufe-1-Wert Überschreitung durch PAK
6164-039	Schrottplatz Fa. Aquila	11,60-11,68	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	
6164-048	Bahnmeisterei München-Ost 2	11,60-11,61	HK 0	1 RKB bis 2,5 m u GOK und Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-049	Gleis (Bomben-trichter)	11,79-11,81	HK 0	1 RKB bis 4 m u GOK und Bodenproben	Keine Auffälligkeiten
6164-050	Kleingärten (Bomben-trichter)	11,91-11,92	HK 1.1	6 RKB bis max. 4 m u GOK	Stufe-1-Wert Überschreitung durch PAK
6164-099	Rangiergleis	9,95-10,00	HK 1.2	aus Voruntersuchungen übernommen	oberflächennah MKW Verunreinigungen
6164-100	Auffüllungen an der Güterhalle	9,95-10,30	HK 1.1	aus Voruntersuchungen übernommen	Im Umfeld der Güterhalle wurden z.T. mit PAK oder Schwermetallen beaufschlagte Auffüllungen angetroffen

* HK (Handlungskategorie): Beweinsniveau OU

HK 0 = Altlastverdacht nicht bestätigt, kein weiterer Handlungsbedarf

HK 1.1 = latente Gefährdung, keine Gefahrenabwehr, evtl. erhöhte Entsorgungskosten, Aushub ist beschränkt wiedereinbaufähig, Belastung \leq LAGA Z2

HK 1.2 = latente Gefahr, keine Gefahrenabwehr, Anfall erhöhter Entsorgungskosten, Aushub ist nicht wiedereinbaufähig, Belastungen \geq LAGA Z2

Die im Rahmen der Historischen Altlastenerkundung von der TU München - Zentrum Geotechnik durchgeführte Luftbildauswertung zur Feststellung der Kriegseinwirkungen auf den Flächen der OB AG zeigte, dass im Bereich der vorhandenen Gleisanlagen des Planfeststellungsabschnitts 3 Ost etliche verfüllte Bombentrichter vorhanden sind. Hierzu liegt ein Gutachten vor [U35]. Demnach ist im gesamten Bereich des PFA3 Ost, mit Ausnahme einzelner kleiner Bereiche, mit Bombenblindgängern zu rechnen. Im Bereich von ehemaligen Stellungen, Gräben und Bombentrichtern besteht die Möglichkeit des Antreffens entsorgter Kampfmittel. In der Umgebung des explodierten Munitionszugs im Bereich des Rangierbahnhofs Berg-am-Laim sowie im Bereich der gesprengten Bahnüberführung (km 2,400, Strecke 5553) besteht die Gefahr des Antreffens von versprengten bzw. nicht detonierten Explosivstoffen und Munitionsresten. Gemäß [U35] werden weitere Erkundungsmaßnahmen hierzu empfohlen.

3.4 Lagerstätten

Grundsätzlich sind die Kiese der Münchner Schotterebene als Rohstoff für die Bauindustrie (Schüttmaterial für den Erd- und Straßenbau, Herstellung von Betonzuschlag) geeignet und werden bzw. wurden lokal ausgebeutet. Ebenso sind die lokal auf den Quartärkiesen auflagernden Lößlehme als Rohmaterial für die Ziegelindustrie von Bedeutung. Lößlehme wurden im Bereich des EÜ Leuchtenberg-ring / Kreuzung Berg-am-Laim-Straße und im Bereich des Ostbahnhofes erkundet.

Aufgrund der dichten Bebauung und intensiven Flächennutzung (z.B. Gleisanlagen) im Bereich der 2. SBSS im PFA 3 Ost stellen die genannten Quartärkiese und Lößlehme keine wirtschaftlich relevanten Vorkommen zur Ausbeute dar. Sie haben lediglich bei der Verwertung von Baugrubenaushub Bedeutung.

3.5 Erdbebenzonen

Nach DIN 4149-1, Ausgabe: 2005-04 Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten [U9] liegt das ganze Projektgebiet in der Erdbebenzone 0.

Die "Seismic Hazard Map of the D - A - CH Countries", wurde 1998 von Grünthai, Mayer-Rosa & Lenhardt veröffentlicht und im Norm-Entwurf DIN 4149, Ausgabe: 2002-10 berücksichtigt. Diese zeigt, welche makroseismischen Intensitäten (in Halbgradabstufungen) mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren auftreten. Dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit von 90 %, dass der betrachtete Maximalwert in 50 Jahren nicht überschritten wird.

Für das Projektgebiet werden dort Zonen der makroseismischen Intensität von V angegeben.

3.6 Kampfmittel

Im Zuge der Planung des Projekts 2. S-Bahn Stammstrecke München wurde im Rahmen von historischen Kampfmittelvorkundungen ein Gutachten zur kombinierten Luftbild- und Aktenauswertung erstellt [U35]. Für das Projektgebiet wurde nach Auswertung der vorliegenden Luftbildserien und Unterlagen eine potentielle Kampfmittelbelastung ermittelt.

Innerhalb der ausgewiesenen Sicherheitszone ist mit Bombenblindgängern zu rechnen (Verursachungsszenario „Luftangriffe“). Diese umfasst ca. 97 % des Projektgebietes. In den Bereichen der Stellungen, Gräben und Bombentrichter besteht eine potentielle Belastung durch zurückgelassene oder entsorgte Kampfmittel (Verursachungsszenario „Munitionsvernichtung“).

Im Umkreis des explodierten Munitionszugs im Bereich des Rangierbahnhofs von ca. 1 km ist mit versprengter Munition und Munitionsresten zu rechnen. Mit zunehmender Entfernung zum zerstörten Zug nimmt das Gefährdungspotential ab.

Im Bereich einer gesprengten Bahnüberführung bei Kilometer 2,4 der Strecke 5553 ist mit versprengten bzw. nicht detonierten Explosivstoffen zu rechnen.

Eine genaue Verortung bzw. die zugehörige Koordinatenliste der ermittelten Befunde erfolgte mit den dem Gutachten [U35] beiliegenden Anlagen.

Gemäß Arbeitshilfen Kampfmittelräumung besteht weiterer Erkundungsbedarf (Kategorie 2; BMUB & BMVG 2014, AH KMR). Zur Klärung der weiteren Vorgehensweise wird die Konsultation eines Fachplaners für Kampfmittelräummaßnahmen initiiert.

4 Untersuchungsumfang oberirdische Strecke

4.1 Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten

4.2 Projektspezifische Untersuchungen im Planungsfeststellungsabschnitt

Im Zuge früherer Erkundungen durch die TU München, Zentrum Geotechnik wurden Ergebnisse zu Grundwasserbeobachtungen im Gutachten der mplan eG [U32] mit aufgenommen.

4.2.1 Bohrungen nach DIN 4021

4.2.1.1 Rammkernbohrungen

Es wurden insgesamt 19 Bohrungen mit Bohrdurchmesser > DN 100 abgeteuft. Die Bohrtiefen betragen bis 27,0 m.

4.2.1.2 Kleinrammbohrungen

Insgesamt wurden 75 Sondierungsbohrungen bis 7,0 m unter GOK abgeteuft. Die Bohrdurchmesser betragen 50 mm bis 100 mm.

4.2.2 Baggerschürfe/Handschürfe

Zur Absicherung von Sparten wurden bei Bohrungen und Rammsondierungen Handschürfe bis zu 1,0 m Tiefe bei Bohrungen und 2,0 m Tiefe bei Rammsondierungen ausgeführt.

4.2.3 Bohrlochversuche

4.2.3.1 BDP nach DIN EN ISO 22476-3

Insgesamt wurden in den Rammkernbohrungen > DN 100 12 Bohrlochrammsondierungen durchgeführt.

4.2.3.2 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN EN ISO 22476-7

Bohrlochaufweitungsversuche wurden nicht ausgeführt.

4.2.3.3 Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN 18130-2

Durchlässigkeitsversuche wurden nicht ausgeführt.

4.2.4 Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Es wurden 76 Stück Schwere Rammsondierungen (DPH) bis in Tiefen von maximal 8,8 m abgeteuft. Bei 70 DPHs wurde im Vorfeld ein Handschurf bis maximal 2,0 m erstellt.

4.2.5 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Aus den Schürfen und Bohrungen wurden insgesamt 277 Proben im bodenmechanischen Labor untersucht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die durchgeführten bodenmechanischen Laborversuche dargestellt.

Tabelle 2 Bodenmechanische Laborversuche oberirdischer Bereich

Anzahl Versuche	Versuch	Norm
121	Nasssiebung	DIN 18123
1	Sieb-/Schlamm-analyse	DIN 18123
84	Konsistenz, Fließ und Ausrollgrenzen	DIN 18122
71	Wassergehaltsbestimmung	DIN 18121
77	Bodenansprache der Laborproben	DIN 4022

An 119 Bodenproben wurde rechnerisch der k_f -Wert bestimmt.

4.2.6 Chemische Laboruntersuchungen Boden

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchung des Bodens sind in Anlage 19, Kap. 2.2 dargestellt.

4.2.7 Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser

4.2.7.1 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

2 Wasserproben wurden im Labor auf Betonaggressivität untersucht.

4.2.7.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Grundwasseruntersuchungen wurden nicht durchgeführt.

4.2.8 Bodenluftuntersuchungen

Bodenluftuntersuchungen wurden nicht durchgeführt.

5 Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen

5.1 Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten und bisherigen Erkundungsprogrammen für die 2. S-Bahn-Stammstrecke München

Im Zuge bisheriger Erkundungen für die 2. S-Bahn-Stammstrecke wurden bereits zahlreiche Untersuchungen durchgeführt die in [U1] und [U5] zusammengefasst sind. Darüber hinaus liegen für das Projektgebiet Erkundungsergebnisse aus anderen Projekten vor [U5].

5.2 Projektspezifische Untersuchungen im Planfeststellungsabschnitt 3 Ost

5.2.1 Bohrungen nach DIN 4021

Im Bereich PFA 3 Ost wurden in der letzten Bohrkampagne 2018 insgesamt 19 Bohrungen mit Bohrtiefen bis 62 m abgeteuft. Die Bohrdurchmesser betragen bis 420 mm. Die Bohrungen wurden rammend und drehend abgeteuft.

5.2.2 Feldversuche

5.2.2.1 BDP nach DIN EN ISO 22476-3

Insgesamt wurden in den quartären Kiesen sowie in den tertiären Tonen, Schluffen und Sanden 75 Bohrlochrammsondierungen durchgeführt.

5.2.2.2 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN EN ISO 22476-7

Im Zuge von Rammkernbohrungen wurden insgesamt 30 Bohrlochaufweitungsversuche (Seitendruckversuche) ausgeführt. Diese wurden in den für die späteren Baumaßnahmen relevanten Tiefen zur Ermittlung der Steifemodule der jeweiligen Böden durchgeführt.

5.2.2.3 Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN 18130-2

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit wurden insgesamt 4 Auffüllversuche und 4 Pumpversuche durchgeführt.

Die Auffüllversuche wurden in den für die Baumaßnahme relevanten Aquiferen durchgeführt. Die Versuchsausführung erfolgte in ausgebauten Grundwassermessstellen.

5.2.3 Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Zur Bestimmung der Lagerungsdichte der oberflächennahen Schichten (Quartäre Kiese) wurden 17 schwere Rammsondierungen (DPH) abgeteuft.

Überwiegend wurden die DPHs bis maximal 8 m abgeteuft. Eine DPH konnte bis ca. 13 m eingebracht werden.

5.2.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Aus den Aufschlüssen im Bereich PFA 3 Ost (Erkundungen im Jahr 2018) wurden insgesamt 74 gestörte und ungestörte Proben entnommen und labortechnisch untersucht. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Anzahl und Art der durchgeführten Versuche.

Tabelle 3: Durchgeführte bodenmechanische Laborversuche

Anzahl Versuche	Versuch	Norm
59	Sieb-Schlämmanalyse	DIN EN ISO 17892-4
25	Bestimmung Fließ- und Ausrollgrenze	DIN 18122
8	Wassergehaltsbestimmung	DIN EN ISO 17892-1
5	Bestimmung Korndichte	DIN 18124
15	Bestimmung Einaxiale Druckfestigkeit	DIN EN ISO 17892-7
10	Direkter Scherversuch	DIN 18137-3
5	Triaxialversuch	DIN 18137-2
8	Ödometerversuch	DIN EN ISO 17892-5
1	Quellversuch nach Huder & Amberg	
5	Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts	DIN 18130-1
3	Bestimmung der Abrasivität	NF P18-579
3	Proctordichte	DIN 18127
2	Röntgendiffraktometrie	DIN EN 13925

5.2.5 Chemische Laboruntersuchungen Boden

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchung des Bodens sind in Anlage 19, Kap. 2.2 dargestellt.

5.2.6 Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser

5.2.6.1 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

Zur Bestimmung der Betonaggressivität wurden im Bereich PFA3 Ost insgesamt 12 Wasserproben aus den verschiedenen Aquifereen entnommen und im Labor untersucht.

Bei einer Probe, die nach dem Ausbau zur Grundwassermessstelle entnommen wurde, wurde das Grundwasser des Aquifers TI als schwach betonangreifend eingestuft. Im Gegensatz dazu wurde eine Probe aus dieser Bohrung, die vor dem Ausbau entnommen wurde, als nicht betonangreifend eingestuft. Es ist davon auszugehen, dass die Probenqualität der erstgenannten Probe im Zuge des Ausbaus beeinflusst wurde.

Alle weiteren chemischen Analysen ergaben, dass das Grundwasser als nicht betonangreifend eingestuft werden kann.

5.2.6.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Hinsichtlich der Grundwasserchemie wird auf [U6] verwiesen.

5.2.7 Bodenluftuntersuchungen

Bodenluftuntersuchungen waren nicht Bestandteil des Erkundungsprogramms von 2018.

6 Beurteilung der Baugrundverhältnisse

6.1 Unterirdische Streckenabschnitte

6.1.1 Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten

Auf Basis der Altaufschlüsse und der aktuellen Erkundungsergebnisse [U1] und [U5] kann folgende Abfolge der Schichten im Bereich des Untersuchungsgebietes festgehalten werden:

- Schicht I: Oberboden und Auffüllungen
- Schicht II: Quartäre bindige Deckschichten / Decklehme
- Schicht III: Quartäre Kiese
- Schicht IV: Tertiäre Tone und Schluffe
- Schicht V: Tertiäre Fein- bis Mittelsande

Die genaue Schichtung im Bereich PFA 3 Ost ist im Längsschnitt durch die unterirdische Trasse der 2-S-Bahn-Stammstrecke in Anlage 17.4.1 dargestellt. Die gemäß den Aufschlussbohrungen zu erwartenden Bodenschichten werden hinsichtlich ihrer Eigenschaften nachfolgend näher beschrieben.

6.1.2 Oberboden und Auffüllungen (Schicht I)

Bezogen auf den Streckenverlauf der 2. SBSS wurden die Auffüllungen in einer Mächtigkeit von bis zu 7 m westlich und bis zu 4,5 m östlich des Hp Ostbahnhof (tief) angetroffen. Im Bereich des Hp Ostbahnhof (tief) liegt die Mächtigkeit bei ca. 2 m. Die Auffüllungen werden nachfolgend unterteilt in:

- Schicht Ia Oberboden: Oberboden befindet sich bereichsweise im Bereich der Isar-Böschungen und der Gleisanlagen.
- Schicht Ib Gleisschotter: Gleisschotter befindet sich im Bereich der Bestandsgleise.
- Schicht Ic kiesige Auffüllungen: Bei den kiesigen Auffüllungen handelt es sich um umgelagerte sandige, schwach schluffige bis teils schluffige Quartärkiese, die z.T. mit Steinkomponenten und Bauresten (z.B. Ziegel- und Betonreste, Baustahl) versetzt sind. Häufig weisen die Auffüllungen organische Beimengungen auf. Die kiesigen Auffüllungen weisen oberflächennah eine mitteldichte bis dichte Lagerung auf.
- Schicht Id bindige Auffüllungen: Bei den bindigen Auffüllungen handelt es sich um umgelagerte Decklehme. Die Konsistenz ist meist weich und untergeordnet auch steif.

6.1.3 Quartäre bindige Deckschichten / Decklehme (Schicht II)

Quartäre bindige Deckschichten wurden im Bereich südwestlich der Unterfahrung Berg-am-Laim-Straße bis zur EÜ Leuchtenbergring sowie im Bereich des Ostbahnhofes erkundet und reichen dort mit Schichtdicken zwischen i.d.R. ca. 1,5 m und 4 m, maximal bis 4,5 m unter GOK. Die quartären bindigen Deckschichten bestehen aus einem Gemisch aus Tonen und Schluffen mit überwiegend hohem Nebengemengeanteil an Feinsand. Aufgrund ihrer Zusammensetzung und Entstehung (siehe Kapitel 3.1) sind sie als Lößlehm zu bezeichnen. Organische Bestandteile wie Pflanzenreste sind verbreitet anzutreffen.

Im Liegenden der quartären bindigen Deckschichten wurden stets quartäre Kiese (Schicht III) angetroffen, wobei die Lößlehme im Bereich der Schichtgrenze zusätzlich Gerölle aus den quartären Kiesen enthalten.

Aufgrund der bindigen Eigenschaften mit weichen bis steifen, bereichsweise halbfesten Konsistenzen und dem damit verbundenen Potential zu langanhaltenden und ungleichmäßigen Setzungen bei Belastung sind die quartären bindigen Deckschichten zum Abtrag von Bauwerkslasten nur mäßig geeignet.

6.1.4 Quartäre Kiese (Schicht III)

Das Quartär besteht aus sandigen bis stark sandigen, schwach schluffigen bis schluffigen, schwach steinigen Kiesen in hellgrauer und brauner Farbe. Vereinzelt sind Steine mit Korndurchmessern größer 63 mm in den untersuchten Kiesen enthalten. Innerhalb des Quartärs wurden im Untersuchungsgebiet vereinzelt (z.B. bei Bohrung 2S-O9/62) verkittete Lagen (Nagelfluh) angetroffen. Die Mächtigkeit dieser Lagen beträgt meist wenige Dezimeter. Obwohl keine Rollkieslagen in den Bohrungen im gegenständlichen Bereich PFA3 Ost angetroffen wurden, ist entlang der gesamten Trasse der 2. S-Bahn-Stammstrecke aufgrund der vorliegenden Erkundungsergebnisse mit Rollkieslagen zu rechnen. Bautechnisch können verkittete Lagen sowie Rollkieslagen einen maßgebenden Einfluss haben und werden bei der Planung entsprechend berücksichtigt. In Rollkieslagen ist mit einer erhöhten Wasserdurchlässigkeit ($k_f = \text{ca. } 5 \cdot 10^{-2} \text{ bis } 10^{-3} \text{ m/s}$) zu rechnen.

Die quartären Kiese weisen meist eine mitteldichte bis dichte Lagerung auf. Östlich der Isar wurden Schichtmächtigkeiten bis zu 8,0 m erkundet. Die Schichtmächtigkeit variiert im Verlauf bis zum Hp Ostbahnhof (tief) und nimmt westlich des Hp Ostbahnhof (tief) auf bis zu 11,0 m zu. Am Hp Ostbahnhof (tief) wurde die Mächtigkeit mit ca. 11,0 m erkundet. Weiter östlich verlaufen die quartären Kiese bis zum Trogende mit einer Mächtigkeit von ca. 9,0 m. Die Schichtgrenze zwischen Quartär und Tertiär variiert vor allem in den Bereichen westlich und östlich der Isar, im Übrigen variiert die Schichtgrenze nur in sehr geringem Maß.

Zwischen westlichem Isarufer und Hp Ostbahnhof (tief) wurde die Schichtgrenze bei ca. 9 – 14 m unter GOK erkundet. Für den Bereich zwischen Hp Ostbahnhof (tief) und dem Trogende ist der Übergang bei ca. 12 bis 13 m unter GOK zu erwarten.

6.1.5 Tertiäre Schluffe und Tone (Schicht IV)

Unterhalb des Quartärs stehen in großer Mächtigkeit die tertiären Schichten der oberen Süßwassermolasse an. Die tertiären Sande bzw. tertiären Schluffe und Tone werden in Wechsellagerung angetroffen. Die Wechsellagerung wird charakterisiert durch kleinräumig stark variierende Schichtmächtigkeiten.

Die bindigen Schichten liegen meist als schluffige Tone bzw. tonige Schluffe (teils sandig) in halbfester bis fester Konsistenz vor. Untergeordnet wurden stark feinsandige, tonige Schluffe erkundet, die ebenfalls eine halbfeste bis feste Konsistenz aufweisen. Im unmittelbaren Übergang zu quartären Bodenschichten und zu tertiären Sanden treten in dünnen Lagen auch weiche und steife Konsistenzen auf. Die Gesteine zeigen eine dunkelgraue, blaugraue und z.T. auch beige und olive Farbgebung. Die Harnischflächen sind oft auberginefarben belegt. Die Wasserdurchlässigkeit kann als schwach bis sehr schwach durchlässig beschrieben werden.

Durch eine frühere Auflast seit dem Tertiär (Erosion einer ca. 100 m bis 200 m mächtigen Schicht) liegen die Tone in überkonsolidierter Form vor. Eingelagert in den tertiären Tonen wurden häufig Kalkkonkretionen in Kieskorngöße angetroffen. Die Tone/Schluffe können teilweise karbonatisch verfestigt sein und somit als Ton-/Schluffstein angesprochen werden. Bei Kontakt mit Wasser verhalten sich diese als veränderlich festes Gestein und verlieren ihre Festigkeit sowie Steifigkeit.

In vielen Bereichen wurden die Tone als Bröckeltone angesprochen, die richtungslose, teilweise spiegelnde Harnischflächen aufweisen und beim Anschneiden ein bröckeliges Gefüge aufzeigen. Zudem wurden die Bröckeltone ebenfalls mit Kalkkonkretionen durchzogen angetroffen. Harnischflächen wurden sowohl auf Tunnelniveau als auch in den darüber und darunter liegenden Tonschichten erkundet.

Zudem sind geringmächtige Mergelsteinlagen, die unregelmäßig verteilt in den Bohrungen aufgeschlossen wurden, möglich. Die Mächtigkeit beträgt meist deutlich unter 1 m und die Festgesteinslagen wurden in Tiefen von 12 m bis 45 m unter GOK angetroffen.

6.1.6 Tertiäre Sande (Schicht V)

Die dunkel- und blaugrauen Fein- bis Mittelsande sind schwach bis stark schluffig ausgebildet. Vereinzelt konnte auch ein geringer Tongehalt festgestellt werden. Fein- bis Mittelkieskorngößen treten nur untergeordnet auf und werden vor allem

durch verklumpte Kalkkonkretionen oder Tonlinsen hervorgerufen, die bei der Siebanalyse zusammenkleben und eine größere Korngröße vortäuschen. Meist zeigen die Kornsummenkurven eine enge Abstufung und eine hohe Gleichkörnigkeit. Die Kornform ist häufig scharfkantig bis kantengerundet. Die Wasserdurchlässigkeit ist als durchlässig bis schwach durchlässig einzustufen und vom Feinkornanteil abhängig.

Bereichsweise können die Sande calcitisch verkittet sein und als mürber Kalksandstein angesprochen werden, der bei Beanspruchung schnell zerfällt. Die Mächtigkeit der verkitteten Lagen ist meist mit einigen Zentimetern zu beschreiben. Neben karbonatischem Bindemittel treten auch Fe-Mn-Verbindungen auf, die zu einer lokalen Verfestigung innerhalb des Gesteins führen. Die Sande sind glimmerhaltig (Muskovit) und werden im Zuge der durchgeführten Baugrunduntersuchungen als dicht bis sehr dicht gelagert charakterisiert.

Die Sande treten in einer Mächtigkeit von wenigen Dezimetern bis hin zu mehreren Metern auf. Sie kommen entweder als geschlossene Linsen innerhalb des feinkörnigen Tertiärs oder als durchgängige Sandlagen vor. Die Sande sind meist wassergesättigt. Bei geringem Feinkornanteil können die Sande zum Ausfließen (Fließsande) neigen. Falls einzelne Sandlinsen nur teilgesättigt sind, besitzen die Böden eine scheinbare Kohäsion, die bei Wassergehaltsänderungen verloren gehen kann. Hydraulische Fenster können durch Einbauten im Boden sowie Erosion oder mechanische Beanspruchung vorhanden sein, so dass wirksame hydraulische Verbindungen zwischen den einzelnen Aquiferen nicht ausgeschlossen werden können.

6.2 Oberirdische Streckenabschnitte

Der Bodenaufbau im gegenständlichen Planfeststellungsabschnitt ist weitestgehend homogen. Auf die kiesigen Auffüllungen folgen meist die bindigen Auffüllungen. Unter den bindigen Auffüllungen stehen die Decklehme an. Unter diesen folgen die natürlich anstehenden Terrassenkiese.

Von der Wendeanlage, über die Bahnsteige bis ca. km 1,450 sind im Bereich der Strecke 5554 RiG, 5553 RiG und 5603 RiG die Decklehme anzutreffen. Weiter nach Osten befinden sich direkt unter den Auffüllungen die natürlich anstehenden Kiese.

Im Bereich der Strecke 5603 GG, 5554 GG und 5553 GG verlaufen die Decklehme in Mächtigkeiten von 1 m bis 2,5 m bis km 2,000 weiter nach Osten. Ab km 2,000 stehen unter den Auffüllungen die quartären Kiese an.

7 Hydrologie und Hydrogeologie

7.1 Oberflächengewässer

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Die Kleine Isar wird zwischen etwa Bau-km 107,853 und Bau-km 107,890 im Bereich des Praterwehres unterfahren. Die Tunnelfirste von Gleis 100 verläuft etwa 19,0 m unter der Sohle des Unterwassers und etwa 23,0 m unter dem Hochwasserstand des Oberwassers am Praterwehr. Die 2. SBSS quert die Große Isar zwischen etwa Bau-km 107,975 und Bau-km 108,040 und den unmittelbar östlich daran anschließenden Auermühlbach bis ca. 108,055 etwa 15,0 m unter der Isarsohlkote und etwa 18,5 m unter dem Isarhochwasserstand. Der Abfluss der Isar ist seit Inbetriebnahme des Sylvensteinspeichers im Jahr 1959 reguliert, so dass ein Hochwasserabfluss von 1400 m³/s, wie er für das Jahr 1940 rekonstruiert wurde, nicht mehr relevant ist. Beim derzeit gültigen Bemessungsabfluss (Stand 2012) HQ 100 von 1100 m³/s mit einer 100-jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit wurde vom Wasserwirtschaftsamt München für die Kleine Isar eine Kote 510,95 mNN im Oberstrom des Praterwehrs und für die Große Isar eine Kote von 508,91 mNN angegeben. Wasserstände bei einem Abfluss mit geringerer Jährlichkeit liegen beim Wasserwirtschaftsamt für den Flussquerschnitt im Bereich der S-Bahn-Querung derzeit nicht vor. Beim höchsten Abfluss (870 m³/s) seit Betrieb des Sylvensteinspeichers stieg die Isar im Jahr 1999 innerhalb von 36 Stunden um mehr als 3 m an. Über den Tunnelstrecken östlich des Auermühlbaches und im Bereich der oberirdischen Strecke befinden sich keine Oberflächengewässer.

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 2,000

Im Planfeststellungsabschnitt befinden sich keine Oberflächengewässer.

7.2 Niederschlagssituation

Die mittlere Jahressumme des Niederschlags beträgt gemäß Auskunft des Wasserwirtschaftsamts (Stand 2012) in München etwa 930 mm/Jahr, wobei etwa zwei Drittel der Niederschlagsmenge in der Vegetationsperiode von Mai bis Oktober fallen. Betrachtet man die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen, so lässt sich ein N-S-Gradient mit ca. 850 mm/Jahr im Norden und ca. 1050 mm/Jahr im Süden von München feststellen. Der Jahresniederschlag der langjährigen Messstelle München Riem schwankte im Zeitraum 1848 bis 1992 zwischen 680 mm und 1240 mm.

Angaben zur Regenspende, den Abflussbeiwerten und dem maximalen Abfluss finden sich in Anlage 16.1, Kap. 1.2.

7.3 Grundwasserverhältnisse

7.3.1 Verteilung der Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Der Untergrund Münchens weist mehrere Großgrundwasserstockwerke (Quartär und Tertiär) auf. Ein oberes, freies Stockwerk liegt in quartären Fein- bis Grobkieslagen. Weitere gespannte Grundwasserhorizonte werden in den Sanden des Tertiärs angetroffen. Das quartäre und die tertiären Grundwasserstockwerke sind durch grundwasserstauende Schichten der tertiären Tone und Schluffe (Flinz) zu meist voneinander getrennt. Westlich des Hp Ostbahnhof (tief) wurde bereichsweise ein zusammenhängendes quartäres und tertiäres Grundwasserstockwerk angetroffen, welches einen freien Grundwasserspiegel besitzt. In den tiefer liegenden tertiären Sandlinsen /-lagen steht zwischen den stauenden Tonen / Schluffen gespanntes Grundwasser an.

Das obere Grundwasserstockwerk zeigt eine variierende Mächtigkeit. Ein generell unruhiges Relief der Tertiäroberfläche führt zu kleinräumig variierenden Fließrichtungen. Natürlicher Vorfluter des quartären Grundwasserstockwerks ist die Isar, so dass die Hauptfließrichtung westlich der Isar im Quartär nach Nordnordost weist. Auf der Ostseite der Isar tritt lokal quartäres Grundwasser an der Grenze zum unterlagernden Aquitard (Grundwasserhemmer) als Hangquelle aus. Die Fließrichtung verläuft hier nach Nordwest zur Isar hin.

Die tertiären Grundwasserstockwerke können als abgeschlossene Systeme (Sandlinsen) oder auch als durchgängige Sandlagen mit gespanntem Wasser vorliegen. Die Druckspiegel liegen in etwa auf Höhe des freien, quartären Grundwasserspiegels bzw. bei den tiefer liegenden Aquiferen leicht darunter. Hier ist die Strömungsrichtung von Südwest nach Nordost gerichtet.

Es ist grundsätzlich möglich, dass vereinzelt zwischen den Grundwasserleitern Verbindungen bestehen. Dadurch ist die Möglichkeit von hydraulischen Kurzschlüssen gegeben.

Für die Baumaßnahmen im Bereich PFA 3 Ost werden vier durchgängige Aquifere des Tertiärs maßgebend. Diese liegen zwischen ca. 518 mNN und 498 mNN (Aquifer TI), zwischen 494 mNN und 490 mNN (Aquifer TII), zwischen 485 mNN und 473 mNN (Aquifer TIII) sowie unterhalb von 470 mNN (Aquifer TIV). Der Aquifer TIII wird im westlichen Teil des Projektabschnitts im Bereich des Tunnels sowie im Bereich des Rettungsschachts 7, der Aquifer TIV nur im Bereich des Rettungsschachts 7 maßgebend. Der Aquifer TII wird für den Rettungsschacht 8 maßgebend. Der Aquifer TI wird im Bereich des geplanten Hp Ostbahnhof (tief), im Bereich des Rettungsschachts 8 und der Baugrube für den Rettungsschacht 9 sowie

für den Tunnel im Bereich des Trogs nordöstlich des Ostbahnhofs maßgebend. Dazwischen treten unregelmäßig verteilte Sandlinsen auf, die den Aquiferen TI und TII zuzuordnen sind.

Für den Bereich der Isarquerung wird von Grundwasserständen in Höhe der jeweiligen Isarstände ausgegangen. In diesem Bereich wurden für die zwei mächtigen Tertiäraquifere gegenüber dem Quartäraquifer erheblich niedrigere Potentiale und im Ost-West-Schnitt ein Grundwassergefälle nach Westen bestimmt. Dies hängt damit zusammen, dass die Isar dem oberen mächtigen Tertiäraquifer unmittelbar als Vorfluter dient. Auch Grundwasserentnahmen aus tiefliegenden Tertiäraquiferen können die Potentialdifferenz zum Quartäraquifer bewirken.

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 2,000

Der Grundwasserleiter befindet sich in den quartären Kiesen. Darunter liegen die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse. Die Tertiärschichten fungieren je nach Ausbildung als Grundwasserleiter oder Grundwasserstauer.

7.3.2 Grundwasserströmung

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Natürlicher Vorfluter des quartären Grundwasserstockwerks ist die Isar, so dass die Hauptfließrichtung westlich der Isar im Quartär nach Nordnordost weist. Auf der Ostseite der Isar tritt lokal quartäres Grundwasser an der Grenze zum unterlagernden Aquitard als Hangquelle aus. Die Fließrichtung verläuft hier nach Nordwesten zur Isar hin.

Die Fließgeschwindigkeiten im Münchner Quartär können in Einzelfällen bis zu 20 m pro Tag erreichen, liegen aber grundsätzlich eher im Bereich von wenigen Metern pro Tag (2 - 3 m/d). Das durchschnittliche Grundwassergefälle im quartären Grundwasserleiter beträgt in etwa 2 – 3 ‰. Zu den tertiären Grundwässern liegen keine Angaben über Fließgeschwindigkeiten vor. Diese dürften aufgrund der geringeren Durchlässigkeit der Sande, den gespannten Grundwasserverhältnissen und einer geringeren Beeinflussung von Obertage im Gegensatz zu den quartären Kiesen jedoch deutlich reduziert sein.

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 2,000

Das Grundwasser fließt im Westen in NNW' Richtung und östlich der EÜ Leuchtenbergring in NNO' Richtung.

7.3.3 Durchlässigkeitsverhältnisse

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Die nachfolgend angegebenen Bandbreiten für die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte wurden auf Grundlage der Versuchsergebnisse aus den aktuellen Erkundungsbohrungen sowie aus Altaufschlüssen ermittelt.

Tabelle 4: Bandbreiten der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte für die jeweiligen Bodenschichten

Schicht	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]
Auffüllungen	$5 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-6}$
Quartäre Kiese	$5 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-6}$ (***)
Tertiäre Tone/Schluffe < 25 m	$< 1 \cdot 10^{-8}$
Tertiäre Tone/Schluffe > 25 m	$< 1 \cdot 10^{-8}$
Tertiäre Sande	$5 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-7}$

***) bei Rollkieslagen stark erhöht, $k_f = 5 \cdot 10^{-2}$ m/s

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 2,000

Die im Labor ermittelten Durchlässigkeiten in den kiesigen Auffüllungen liegen zwischen $1 \cdot 10^{-1}$ m/s und $8,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Bei gemischtkörnigen Böden mit einem höheren Feinkorngehalt wurden k_f -Werte zwischen $3,8 \cdot 10^{-6}$ m/s und $2,9 \cdot 10^{-8}$ m/s ermittelt. Die bindigen Auffüllungen und natürlich anstehenden Decklehme sind schwach durchlässig. Die k_f -Werte liegen bei $< 10^{-7}$ m/s.

In den natürlich anstehenden Quartärkiesen liegen die ermittelten Durchlässigkeiten zwischen $1,0 \cdot 10^{-2}$ m/s und $2,8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Bei örtlichen Rollkieslagen kann die Durchlässigkeit bis auf $1 \cdot 10^{-1}$ m/s ansteigen.

7.4 Bemessungswasserstände

7.4.1 Allgemeines

Im Stadtgebiet der Landeshauptstadt München werden Bemessungswasserstände üblicherweise auf der Grundlage von Grundwasserisohypsenkarten [U23], die für einzelne Hochwasserereignisse zur Verfügung stehen und unter Berücksichtigung von jeweils projektspezifischen Zuschlagswerten zur Berücksichtigung eines ggf. vorhandenen langjährigen Grundwasseranstiegs angegeben. Zusätzlich

liegen von Seiten der TU München statistische Analysen zu den Bemessungswasserständen vor [U34]. Die Bemessungswasserstände für den PFA 3 Ost wurden auf Grundlage der Grundwasserisohypsenkarten [U23] unter zusätzlicher Berücksichtigung der statistischen Analysen der TU München festgelegt.

7.4.2 Bauzustand

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Die Höhenlage des HW_{Bau} entlang der unterirdischen Strecke wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 festgelegt und ist im Längsschnitt der Anlage 17.4.1 dargestellt.

Vortriebsabschnitt Ost (Hp Ostbahnhof (tief) (West) bis Baugrube RS 9 (Ost) bis):

$$HW_{\text{Bau}} = 522,3 \text{ mNN (West) bis } 522,4 \text{ mNN (Ost)}$$

Vortriebsabschnitt West (Hp Ostbahnhof (tief) (Ost) bis Hp Marienhof (West)):

$$HW_{\text{Bau}} = 508,6 \text{ mNN (West) bis } 522,5 \text{ mNN (Ost)}$$

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 1,000

Der Bauwasserstand HW_{Bau} wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 zu 522,40 mNN ermittelt.

Oberirdischer Abschnitt von km 1,000 bis 2,100

Der Bauwasserstand HW_{Bau} wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 zu 522,70 mNN ermittelt.

7.4.3 Endzustand

Unterirdischer Abschnitt von Bau-km 107,853 bis ~110,960

Die Höhenlage des HW_{End} entlang der unterirdischen Strecke wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 ermittelt und ist im Längsschnitt der Anlage 17.4.1 dargestellt.

Vortriebsabschnitt Ost (Hp Ostbahnhof (tief) (West) bis Baugrube RS 9 (Ost)):

$$HW_{\text{End}} = 523,5 \text{ mNN (West) bis } 523,7 \text{ mNN (inkl. } 0,3 \text{ m zul. Aufstau) (Ost)}$$

Vortriebsabschnitt West (Hp Ostbahnhof (tief) (Ost) bis Hp Marienhof (West)):

$$HW_{\text{End}} = 510,4 \text{ mNN (West) bis } 523,8 \text{ mNN (Ost)}$$

Oberirdischer Abschnitt von km 0,140 bis 1,000

Der Grundwasserstand für den Endzustand HW_{End} wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 zu 523,70 mNN ermittelt.

Oberirdischer Abschnitt von km 1,000 bis 1,400

Der Grundwasserstand für den Endzustand HW_{End} wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 zu 524,00 mNN ermittelt.

Oberirdischer Abschnitt von km 1,400 bis 2,100

Der Grundwasserstand für den Endzustand HW_{End} wurde auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 7.4.1 zu 523,50 mNN ermittelt.

7.4.4 Tabellarische Übersicht der BemessungswasserständeUnterirdischer Abschnitt

Tabelle 5: Bemessungswasserstände für die einzelnen Bauwerke

	HW Bauzustand*	HW Endzustand
RS 7	517,0 mNN	517,8 mNN
RS 8	522,6 mNN	523,5 mNN
Hp Ostbahnhof (tief)	522,5 mNN (westlich) bis 522,3 mNN (östlich)	523,8 mNN (westlich) bis 523,5 mNN (östlich)
Baugrube RS 9	522,4 mNN	523,7 mNN**
Deckelbauweise bis Trogbauwerke	522,4 mNN	523,7 mNN

*zzgl. dem zu erwartenden Aufstau während der Bauphase

** inkl. 0,3 m zulässigem Aufstau

Oberirdischer Abschnitt

Tabelle 6: Bemessungswasserstände oberirdischer Abschnitt

	HW Bauzustand*	HW Endzustand
km 0,140 bis 1,000	522,40 mNN	523,70 mNN
km 1,000 bis 1,400	522,70 mNN	524,00 mNN
km 1,400 bis 2,100	522,70 mNN	523,50 mNN

*zzgl. dem zu erwartenden Aufstau während der Bauphase

8 Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdischer Streckenabschnitt

8.1 Strecke

8.1.1 Gleisbau

8.1.1.1 Gründung

Die geplanten Gleise werden überwiegend höhengleich auf bestehendem Gelände und im Bereich vorhandener Gleisanlagen hergestellt. Die Gründungsbereiche der Gleiskörper sind in nachfolgender Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 Gründungsbereich der Gleiskörper

Hbf Richtung ->	Strecke-Nr.	Abschnitt km bzw. Bau-km	Gründungsbereich
Steinhausen	5603 RiG, Gleis 4/5	0,680 - 0,880	Bau auf (Damm-) Schüttung
Steinhausen	5603 RiG, Gleis 4/5	0,880 - 1,080	Abgrabung, Gleisabsenkung
Steinhausen	5603 RiG, Gleis 4	1,080 - 1,320	Bau auf Bestandshöhe
Steinhausen	5603 RiG	1,320 - 1,830	Bau auf (Damm-) Schüttung
Steinhausen	5603 RiG	1,830 - 2,100	Bau auf Bestandshöhe
Steinhausen	5603 GG, Gleis 2/3	0,700 - 0,960	Bau auf (Damm-) Schüttung
Steinhausen	5603 GG, Gleis 2/3	0,960 - 1,360	Bau auf Bestandshöhe
Steinhausen	5603 GG, Gleis 3	1,360 - 1,725	Bau auf (Damm-) Schüttung
Steinhausen	5603 GG	1,725 - 1,940	Abgrabung, Gleisabsenkung
Steinhausen	5603 GG	1,940 - 2,090	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	0,780 - 0,820	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	0,820 - 1,120	Abgrabung, Gleisabsenkung
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	1,120 - 1,380	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	1,380 - 1,500	Abgrabung, Gleisabsenkung
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	1,500 - 1,680	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	1,680 - 1,780	Bau auf (Damm-) Schüttung
Berg am Laim	5553 RiG, Gleis 6	1,780 - 1,930	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 GG, Gleis 2/3	0,700 - 0,960	Bau auf (Damm-) Schüttung
Berg am Laim	5553 GG, Gleis 2/3	0,960 - 1,420	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 GG, Gleis 2	1,300 - 1,420	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 GG	1,420 - 1,560	Abgrabung, Gleisabsenkung
Berg am Laim	5553 GG	1,560 - 1,585	Bau auf Bestandshöhe
Berg am Laim	5553 GG	1,585 - 1,785	Bau auf (Damm-) Schüttung
Daglfing	5554 RiG, Gleis 5	0,700 - 0,740	Bau auf Bestandshöhe
Daglfing	5554 RiG, Gleis 5	0,740 - 0,880	Bau auf (Damm-) Schüttung

Hbf Richtung ->	Strecke-Nr.	Abschnitt km bzw. Bau-km	Gründungsbereich
Daglfing	5554 RiG, Gleis 5	0,880 - 1,060	Abgrabung, Gleisabsenkung
Daglfing	5554 RiG, Gleis 5	1,060 - 1,370	Bau auf Bestandshöhe
Daglfing	5554 RiG	1,370 - 1,900	Bau auf (Damm-) Schüttung
Daglfing	5554 RiG	1,900 - 2,080	Bau auf Bestandshöhe
Daglfing	5554 GG, Gleis 1	0,700 - 0,980	Bau auf (Damm-) Schüttung
Daglfing	5554 GG, Gleis 1	0,980 - 1,000	Bau auf Bestandshöhe
Daglfing	5554 GG, Gleis 1	1,000 - 1,320	Bau auf (Damm-) Schüttung
Daglfing	5554 GG, Gleis 1	1,320 - 1,360	Bau auf Bestandshöhe
Daglfing	5554 GG	1,360 - 1,660	Bau auf (Damm-) Schüttung
Daglfing	5554 GG	1,660 - 2,080	Abgrabung, Gleisabsenkung
Daglfing	5554 GG	2,080 - 2,120	Bau auf Bestandshöhe
Wendegleis	Gleis 14	1,400 - 1,450	Bau auf Bestandshöhe
Wendegleis	Gleis 14	1,450 - 1,580	Bau auf (Damm-) Schüttung
Wendegleis	Gleis 14	1,580 - 1,710	Bau auf Bestandshöhe
Wendegleis	Gleis 14	1,710 - 1,780	Abgrabung, Gleisabsenkung
nördliches, bahnlinkes Tunnelgleis		Portal bis 210,880	Quartärschotter
nördliches, bahnlinkes Tunnelgleis		210,880 - 210,950	Decklehme/bindige Auffüllung
nördliches, bahnlinkes Tunnelgleis		210,950 - 211,000	kiesige Auffüllung
südliches, bahnrechtes Tunnelgleis		Portal bis 110,920	Quartärschotter
südliches, bahnrechtes Tunnelgleis		110,920 - 111,000	Decklehme/bindige Auffüllung

8.1.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Maßnahmen zur Grundwasserhaltung sind beim Gleisbau nicht erforderlich.

8.1.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Eine Beeinflussung bestehender Bauwerke ist nicht gegeben.

8.1.1.4 Entwässerung

Im Falle eines ausreichend mächtigen Erdplanums auf kiesigen Auffüllungen oder natürlich anstehenden Quartärkiesen erfolgt die Herstellung der Schutzschichten aus KG2 Material nach Ril 836. Hier ergibt sich eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser in den Untergrund.

Im Falle eines schwach durchlässigen Erdplanums (bindige Auffüllungen, natürlich anstehende Decklehme) erfolgt die Herstellung der Schutzschicht aus KG1 Material nach Ril 836. Hier ergibt sich eine Drainierung des Sickerwassers entspre-

chend der Neigung des Erdplanums zu seitlich gelegenen Sickermulden oder Sickergräben (ggf. ausgebildet als Tiefenentwässerung mit Anschluss an die natürlich anstehenden Quartärkiese).

Negative Auswirkungen der Versickerung und der Versickerungseinrichtungen auf den Grundwasserleiter und das Grundwasser sind nicht zu erwarten.

8.1.2 Oberleitungsmasten

8.1.2.1 Gründung

Die Gründung der Oberleitungsmasten erfolgt auf Rammrohrpfählen, Bohrpfählen oder Fundamenten.

8.1.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Eine Grundwasserhaltung und eine Baugrubensicherung sind im Bereich der Oberleitungsmasten nicht erforderlich.

8.1.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Im Bereich der Oberleitungsmasten kann sich eine Beeinflussung benachbarter Bahnsteige, Gleisanlagen, Sparten und des Bahnbetriebes ergeben und wird entsprechend beachtet.

8.1.2.4 Entwässerung

Es sind keine Entwässerungsmaßnahmen erforderlich.

8.1.3 Feuerwehrezufahrt

8.1.3.1 Erdplanum

Das geplante Erdplanum liegt ca. 6 m oberhalb des Grundwasserspiegels. Es befindet sich bei ca. 530 mNN. Das Erdplanum liegt im Bereich der kiesigen und bindigen Auffüllungen sowie der natürlich anstehenden Decklehme.

8.1.3.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Für die Erstellung der Feuerwehrezufahrt sind keine Maßnahmen zur Grundwasserhaltung oder zur Baugrubensicherung erforderlich.

8.1.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden von der Baumaßnahme nicht beeinflusst.

8.1.3.4 Entwässerung

Die Entwässerung der versiegelten Fahrbahn erfolgt in einer nördlich der Feuerwehrezufahrt verlaufenden Mulde über Sickerleitungen in Rohr-Rigolen. Die Entwässerung erfolgt in die quartären Kiese.

8.2 Ingenieurbauwerke

8.2.1 Fußgängersteg Leuchtenbergring

Der Zugang zu den Bahnsteigen 0, A und B erfolgt über den geplanten Fußgängersteg bei ca. km 1,030 (5554 GG, 5553 GG, 5603GG, 5603 RiG, 5554 RiG, 5553 RiG). Der geplante Fußgängersteg ist ein Projekt der LHM und wird in dieser Planfeststellung berücksichtigt.

8.2.1.1 Gründung

Die Gründung des Fußgängersteges erfolgt auf Großbohrpfählen, die der Zugangsbauwerke und Treppen/Rampen/Bahnsteige auf Wurzelpfählen.

Die Unterkanten der Pfahlroste liegen zwischen 527,95 mNN (Stütze Steg bei Bahnsteig B) und 529,55 mNN (Bahnsteig A, Treppe). Die natürlich anstehenden Kiese stehen ab 525,3 mNN an. Die Pfähle liegen bis 520 mNN in den Terrassenschottern.

8.2.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die am tiefsten liegende Gründungsebene des Pfahlrostes liegt etwa 6 m oberhalb des HW_{Bau} . Lediglich die Pfähle reichen in das Grundwasser. Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

8.2.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Eine Beeinflussung bestehender Bauwerke außer den Bahngleisen besteht nicht. Ein signifikanter Aufstau des Grundwassers durch die Einzelpfähle ergibt sich nicht.

8.2.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt über Sickerschächte in die quartären Kiese.

8.2.2 Stützwände

Die im gesamten oberirdischen Bereich geplanten Stützwände werden als Bohrpfahlwände, Winkelstützwände oder als Spundwand ausgeführt. Zur Baugrubensicherung werden temporäre Spundwände erstellt.

Im Westen befindet sich, an der südlichen Grundstücksgrenze, beim Tunnelgleis Süd die Stützwand 1 (ab ca. km 0,835), welche als Bohrpfahlwand ausgeführt wird. Sie stützt das GG 5510 gegenüber dem tieferliegenden RiG 5553 ab.

Stützwand 2 (ab ca. km 0,935, hier: RiG 5553) ist eine Winkelstützwand und befindet sich südlich des bahnrechten Tunnelgleises direkt angrenzend an das Tunnelportal.

Nördlich des bahnrechten Tunnelgleises direkt angrenzend an das Tunnelportal liegt die als Winkelstützwand ausgeführte Stützwand 3 (ab ca. km 0,935, hier: RiG 5554).

Stützwand 4 (ab ca. km 0,960, Winkelstützwand) befindet sich südlich des mittleren Tunnelgleises und nördlich des RiG 5603.

Auf der nördlichen Seite des mittleren Tunnelgleises und südlich des GG 5603 befindet sich Stützwand 5 (ab ca. km 0,968, Winkelstützwand).

Stützwand 6 (ab ca. km 0,965) wird als Winkelstützwand ausgeführt und liegt südlich des bahnlinken Tunnelgleises. Südlich davon befindet sich GG 5553.

Auf der nördlichen Seite des bahnlinken Tunnelgleises befindet sich Stützwand 7 (ab ca. km 0,965, Winkelstützwand). Nördlich der Stützwand verläuft GG 5554.

Stützwand 8 (ab ca. km 1,430) stützt als Winkelstützwand das GG 5553 von dem tieferliegenden GG 5603 ab.

Die Stützwand 9 (ab ca. km 1,755, Bohrpfahlwand) befindet sich nördlich des RiG 5554 und südlich des RiG 5603.

Stützwand 10 (ab ca. km 1,710, hier: GG 5603, Winkelstützwand) liegt im Bereich zum tieferliegenden Wendegleis / Gleis 14.

Nördlich des GG 5554 verläuft Stützwand 11 (ab ca. km 1,785, Spundwand). Sie stützt die Tramlinie 19 gegenüber dem tiefergelegenen GG 5554 ab.

Die Stützwand KrBw StW West (ab ca. km 1,813) befindet sich südlich des GG 5554. Die Stützwand KrBw StW Ost (ab ca. km 1,922) befindet sich nördlich des GG 5554. Sie schließen jeweils westlich und östlich an das Kreuzungsbauwerk km 1,871 (5554 GG) an. Beide Stützwände werden als Winkelstützwände ausgeführt.

8.2.2.1 Gründung

Die Gründungsebenen der Flachgründungen im Falle von Winkelstützmauern befinden sich oberhalb des Grundwasserspiegels in den natürlich anstehenden Decklehmen oder Kiesen.

Die Unterkante von Pfählen der Stützwand Nr. 1 liegt bei ca. 522,50 mNN und reicht in den Tiefenbereich zwischen HW_{Bau} und HW_{End} .

Die Unterkante von Pfählen der Stützwand Nr. 9 liegt zwischen ca. 518,00 mNN im Block 4 und 519,50 mNN im Block 9. Somit reichen die Pfähle maximal bis zu 4,70 m unter den HW_{Bau} .

Die Unterkante der geplanten Spundwand (Stützwand Nr. 11) liegt bei ca. 518 mNN. Die Unterkante der Spundwand liegt somit ca. 4,7 m unter den HW_{Bau} .

8.2.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Gründungsebenen der Winkelstützwände liegen oberhalb des HW_{Bau} . Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich. Für Bohrpfähle und die Spundwand, die in das Grundwasser reichen, ist keine Bauwasserhaltung erforderlich.

8.2.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei der Erstellung der Stützwände stehen direkt angrenzende Gleisanlagen und die Überführung bei Strecke 5553 GG bei km 1,700 unter Beeinflussung der Aus- und Rammarbeiten.

Bei den auf Bohrpfählen gegründeten Stützwänden Nr. 1 und Nr. 9 kommt es zu keinem signifikanten Grundwasseraufstau. Eine Um- und Unterströmung der einzelnen Bohrpfähle ist gegeben.

Bei der als Spundwand ausgebildeten Stützwand 11 kommt es zu einem Grundwasseraufstau, jedoch deutlich < 10 cm. Es sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Eine Umströmung der Spundwand ist gegeben.

8.2.2.4 Entwässerung

Die Entwässerung der Stützwände erfolgt über Drainageleitungen, welche am Ende der Stützwände in Rohr-Rigolen oder Rigolen geleitet werden. Die Versickerung erfolgt in den quartären Kiesen. Bei Stützwand 5 wird eine flächige Versickerung vorgenommen.

8.2.3 Kreuzungsbauwerk km 1,871

Das Kreuzungsbauwerk befindet sich im Osten von PFA 3 Ost bei km 1,871 (5554 GG). Die Strecke 5603 GG und 5603 RiG verlaufen WSW-ONO oberhalb der im Tunnel von WNW nach OSO verlaufenden Strecke 5554 GG.

Die neuen Strecken 5603 GG und RiG werden rund zehn Meter weiter nach Süden verlegt. Der Bau des Kreuzungsbauwerkes erfolgt in fünf Blöcken.

8.2.3.1 Gründung

Die Gründung des Bauwerks erfolgt als Flachgründung mittels Bodenplatte. Die Gründungsebene liegt bei etwa 523,50 mNN in den natürlich anstehenden Terrassenkiesen.

8.2.3.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Gründungssohle des Kreuzungsbauwerks liegt etwa 0,80 m über dem HW_{Bau} von 522,70 mNN. Wasserhaltungsmaßnahmen sind demnach nicht erforderlich.

8.2.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Es besteht eine Beeinflussung benachbarter Gleisanlagen und wird entsprechend berücksichtigt.

8.2.3.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt über eine Sammelleitung, welche im NW und SO des Bauwerks an die bestehende Streckenentwässerung angeschlossen wird.

8.2.4 Trangleichrichterwerk (TGW)

Es ist geplant, ein neues Gleichrichterwerk nördlich der Berg-am-Laim-Straße im Bereich der Kreuzung Berg-am-Laim-Straße - Grillparzerstraße zu errichten. Das Gleichrichterwerk ist als eingeschossiges, 3,30 m hohes Gebäude mit einer Grundfläche von 15 m * 5 m geplant. Das Gleichrichterwerk soll flach gegründet werden.

8.2.4.1 Gründung

Das gesamte Bauwerk ist als Flachgründung mit Bodenplatten geplant. Die Bodenplatte im Bereich der Kabeleinführungen ist überwiegend ca. 1,1 m unter GOK und im Bereich des Trafos ca. 0,4 m unter GOK geplant. Um auch im Bereich des Trafos (Einbindetiefe < 0,8 m) eine frostsichere Gründung herzustellen ist die Anordnung einer Frostschräge, die mindestens 0,8 m unter GOK einbindet, erforderlich.

Gemäß Bohrung 2S-O10/66 (s. Anlage 1) bindet die Bodenplatten in beiden Bereichen in die kiesigen Auffüllungen ein. Diese sind als Gründungsebene nicht geeignet und durch gut verdichtbare, sandige Kiese auszutauschen, welche lagenweise einzubauen (Schüttlagendicken: 0,3 m bis 0,4 m) und zu verdichten (DPR = 98 %) sind. Alternativ besteht die Möglichkeit der Gründung mittels steifer Bodenplatte.

8.2.4.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Grundsätzlich können die Kiese mit 45° geböscht ausgehoben werden. Allerdings sind in Abhängigkeit vom Abstand zu benachbarten Bauwerken und der tatsächlichen Gründungstiefe ggf. Sicherungsmaßnahmen zur Reduzierung möglicher Verformungen und Setzungen vorzusehen.

Die Baugrubensohle liegt oberhalb HW_{Bau} . Folglich ist keine Grundwasserhaltung erforderlich.

8.2.4.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die benachbarten Gebäude liegen in ausreichendem Abstand zum Gleichrichterwerk. Gegebenenfalls kann eine Beeinflussung benachbarter Geh- und Radwege

stattfinden. Nach Festlegung der genauen Lage ist zu prüfen, ob der Abstand zu benachbarten Gebäuden, Gleisanlagen und sonstigen Verkehrsflächen ausreicht, um eine Beeinflussung zu vermeiden. Ansonsten sind entsprechende Gegenmaßnahmen vorzusehen.

8.2.5 Anprallschutz Kreuzungsbauwerk km 1,722

Das bestehende Kreuzungsbauwerk befindet sich im Osten von PFA 3 Ost bei km 1,722 (5553 GG). Die Strecke 5553 RiG überfährt die Strecken 5603 GG, 5603 RiG und 5554 RiG.

Zum Schutz des Bauwerks sind die Pfeiler Nr. 1501, 1502, 1503, 1504 und 1505 als Anprallschutz (Berührungsschutz) vorgesehen.

8.2.5.1 Gründung

Die Pfeiler zum Anprallschutz werden auf Bohrpfählen gegründet. Die UK der Pfähle liegt zwischen 512,90 mNN (bei Pfeiler Nr. 1505) und 515,40 mNN (bei Pfeiler Nr. 1501).

8.2.5.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

8.2.5.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die Gründungspfähle des Anprallschutzes reichen bis max. 9,8 m unter den HW_{Bau} bei Pfeiler Nr. 1505. Ein signifikanter Aufstau des Grundwassers durch die Einzelpfähle ist nicht zu erwarten.

8.2.5.4 Entwässerung

Für den Anprallschutz sind keine Entwässerungsmaßnahmen erforderlich.

8.3 Hp Leuchtenbergring

8.3.1 Zugänge zum Bft Leuchtenbergring

Bahnsteig 0 wird über jeweils zwei neue Treppen durch einen neuen Durchbruch an jedem der beiden seitlichen Gehwegtunnel in der EÜ Leuchtenbergring zu erreichen sein. Die lichte Höhe im Bereich der Wanddurchbrüche beträgt ca. 2,40 m.

Bahnsteig 0 wird analog der Bahnsteige A und B über eine Treppe und zusätzlich einem Aufzug barrierefrei über den westlich der Bahnsteige geplanten Fußgängersteg erschlossen.

Die Zugänge zum Bahnsteig A und B über die beiden Treppenaufgänge von den Gehwegtunneln der EÜ Leuchtenbergring werden nicht geändert.

8.3.1.1 GründungZugangsbauwerke vom Fußgängersteg

Die Planung sieht eine Gründung der Zugänge vom Fußgängersteg auf Bodenplatten mit einer Einbindetiefe von ca. 0,75 m, aufgelagert auf Mikropfählen vor. Die Mikropfähle werden ca. 8 m lang sein, somit liegt deren Unterkante bei ca. 522,8 mNN im Grundwasser.

Zugangsbauwerk zur EÜ Leuchtenbergring

Die Wände des Zugangsbauwerkes werden aus Bohrpfählen erstellt.

Die Gründungsebenen einzelner Elemente des Zugangsbauwerkes zur EÜ Leuchtenbergring liegen je nach Höhenlage von oben nach unten in den kiesigen Auffüllböden, in den natürlich anstehende Deck- und Lößlehmen sowie in den natürlich anstehenden Terrassenkiesen. Bindige Auffüllböden wurden hier nicht erkundet.

Die tiefste Gründungssohle der Bohrpfähle liegt bei etwa 522,8 mNN und somit oberhalb des HW_{Bau} .

8.3.1.2 Baugruben und GrundwasserhaltungZugangsbauwerke vom Fußgängersteg

Die Fundamente des Zugangsbauwerkes liegen oberhalb des Grundwassers. Die tiefste Gründungsebene der Mikropfähle liegt bei etwa 522,8 mNN und bindet somit nicht in das Grundwasser ein. Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

Zugangsbauwerk zur EÜ Leuchtenbergring

Die Baugrubensicherung erfolgt mittels Bohrpfahlwänden. Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

8.3.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei den Baumaßnahmen der Zugangsbauwerke sind Einflüsse auf benachbarte Gleise und die EÜ Leuchtenbergring zu beachten. Zur Sicherung des im Bereich der EÜ Leuchtenbergring befindlichen Geländes wird ein Verbau mittels Bohrpfählen erstellt. Es ergibt sich kein signifikanter Aufstau, da die Bohrpfahlwand von Nord nach Süd nahezu in Grundwasserfließrichtung ausgerichtet ist.

8.3.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung der Zugangsbauwerke erfolgt über Sickerschächte in die natürlich anstehenden Kiese.

8.3.2 Bahnsteig 0

Bahnsteig 0 wird komplett neu gebaut.

8.3.2.1 Gründung

Die Gründungssohle des neuen Bahnsteiges 0 liegt bei ca. 530,0 mNN im Bereich der kiesigen Auffüllungen. Die Gründung erfolgt auf einer Bodenplatte oder Streifenfundamenten.

8.3.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben können aufgrund der geringen Aushubtiefen prinzipiell frei geböscht werden, sofern keine Nachbargleise betroffen sind. Die Gründungssohle des geplanten Bauwerks liegt oberhalb des HW_{Bau} . Wasserhaltungsmaßnahmen sind demnach nicht erforderlich.

8.3.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei den Baumaßnahmen am Bahnsteig werden Einflüsse auf die EÜ Leuchtenberg und die benachbarten Gleise beachtet.

8.3.2.4 Entwässerung

Die Entwässerung des Bahnsteigs inkl. Dachentwässerung erfolgt über Sammelleitungen, die Versickerung über Rohr-Rigolen in natürlich anstehende quartäre Kiesböden.

8.3.3 Bahnsteig A

Der vorhandene Bahnsteig A bleibt unverändert. Es erfolgt lediglich im Westen die Anbindung an den Fußgängersteg (vgl. Pkt. 8.3.1).

8.3.4 Bahnsteig B

Der vorhandene Bahnsteig B wird im Westen um ca. 150 m verkürzt. Richtung Osten wird der Bahnsteig um ca. 120 m verlängert.

8.3.4.1 Gründung

Die Gründungssohle des Bahnsteigs liegt bei ca. 530,0 mNN im Bereich der kiesigen und bindigen Auffüllungen. Wegen bereichsweise vorliegender bindiger Auffüllungen mit weicher Konsistenz werden örtlich Maßnahmen zur Bodenverbesserung (Bodenaustausch, Geogitter, Kalkzugabe etc.) ausgeführt.

8.3.4.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben können aufgrund der geringen Aushubtiefen frei geböscht werden. Die Gründungssohle des geplanten Bauwerks liegt oberhalb des HW_{Bau} . Wasserhaltungsmaßnahmen sind demnach nicht erforderlich.

8.3.4.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei den Baumaßnahmen am Bahnsteig werden Einflüsse auf die benachbarten Gleise und die EÜ Leuchtenbergring beachtet.

8.3.4.4 Entwässerung

Die Entwässerung des Bahnsteiges inklusive der Dachentwässerung erfolgt über Sammelleitungen in Sickerschächte, welche an die natürlich anstehenden Kiese angebunden sind.

8.4 Baustraßen

Baustraßen an bestehender GOK:

Grundsätzlich ist das vorhandene Gelände aufgrund der oberflächennah verdichteten Kiesauffüllung für Baustellenfahrzeuge problemlos befahrbar. Im Einzelfall werden geringmächtige Kiesschüttungen oder Nachverdichtungen vorgenommen.

Baustraßen im Bereich der natürlich anstehenden und aufgefüllten Decklehme:

Tieferliegende Baustraßen, die sich im Bereich der natürlich anstehenden oder aufgefüllten Decklehme befinden, werden mittels einer ausreichenden Kiesschüttung (i.d.R. 50 cm) ertüchtigt.

Im Bereich von bindigen Böden mit weicher Konsistenz werden ggf. ergänzend hierzu statisch wirksame Geotextilien zum Einsatz kommen.

8.5 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen

Oberboden:

Der Oberboden kann zur Böschungsandeckung und zum Andecken von Zwischenflächen verwendet werden. Bei Nichtverwendung wird der Oberboden nach einer abfallrechtlichen Deklaration abgefahren.

Zwischengelagertes Material wird zum Schutz vor Vernässung abgedeckt.

Gleisschotter:

Gleisschotter sind für die Wiederverwertung nicht geeignet und werden nach einer abfallrechtlichen Deklaration abgefahren.

Bindige Auffüllungen:

Die bindigen Auffüllböden mit weicher Konsistenz sind für die Verwertung im Zuge des Erdbaus nicht geeignet und werden nach einer abfallrechtlichen Deklaration abgefahren.

Natürlich anstehender Decklehm:

Der natürlich anstehende Decklehm ist für die qualifizierte Verwertung im Zuge des Erdbaus nicht geeignet. Es ist allenfalls eine Verwendung als Profilierungsmaterial im Bereich von Freiflächen denkbar.

Zwischengelagertes Material wird zum Schutz vor Vernässung abgedeckt.

Kiesige Auffüllung:

Die kiesigen Auffüllböden sind aus bodenmechanischer Sicht für eine Verwertung im Zuge des Erdbaus gut geeignet. Im Hinblick auf die schwankenden Feinkorngehalte (Bodengruppen GW, GI, GU und selten GU* nach DIN 18196) empfehlen wir die Verwendung des Materials bei einem Bodenaustausch z.B. im Bereich Erdplanum (jeweils die Bodengruppen GW, GI und GU) und zur Geländeprofilierung (alle vorgenannten Bodengruppen). Von einer Verwendung im Bereich herzustellender Schutzschichten oder zur Gebäudehinterfüllung wird aufgrund der Inhomogenität des Materials abgeraten.

Zwischengelagertes Material wird zum Schutz vor Vernässung abgedeckt.

Quartäre Kiese:

Die Kiese sind gut verdichtbar und entsprechen an den Untersuchungspunkten den Bodengruppe GW, GI, GU und GU* nach DIN 18196, Frostempfindlichkeitsklasse F 1 bis F 3. F 1 Kiese können bei der Herstellung des Erdplanums unterhalb der Schutzschichten (SS) verwendet werden. Kiese der Bodengruppe GW und GI können auch als Schutzschicht eingebaut werden. Hierfür wird eine Qualitätssicherung vorgenommen.

Zwischengelagertes Material wird zum Schutz vor Vernässung abgedeckt.

Beim Aushub schadstoffhaltiger Böden (Oberboden, Gleisschotter, kiesige Auffüllungen, bindige Auffüllungen) wird eine abfallrechtliche Deklaration vorgenommen.

9 Folgerungen für die Tunnelstrecken mit Trögen

9.1 Haltepunkt Ostbahnhof (tief) und PU-West, PU Friedenstraße, PU Ost sowie temporäre PÜ

9.1.1 Baugrundverhältnisse und Gründung

Gemäß den Ergebnissen der Baugrunderkundung liegt der Hp Ostbahnhof (tief) bei einer geplanten Aushubtiefe von ca. 18 m unter GOK (ca. 513,3 mNN) bis ca. 13 m unter GOK (ca. 518,3 mNN) vorwiegend in den quartären Kiesen. Die Baugrubensohle kommt überwiegend in den tertiären Tonen und Schluffen zu liegen. Bei einer statisch erforderlichen Einbindetiefe der Schlitzwände bis auf ca. 505 mNN kommt die Aufstandsfläche der Schlitzwände unterhalb der Baugrubensohle, in einer engräumigen Wechsellagerung von tertiären Sanden und Tonen/Schluffen zu liegen. Gegebenenfalls sind bei dieser Einbindetiefe zusätzliche Bauwasserhaltungsmaßnahmen erforderlich. Alternativ kann auch eine tiefere Einbindung der Schlitzwände bis in den Stauer zwischen den Aquiferen TI und TII erfolgen, um bis auf Wasserhaltungsmaßnahmen innerhalb der Baugrube (Überlaufbrunnen) auf weitere Bauwasserhaltungsmaßnahmen verzichten zu können.

Zur Abtragung der vertikalen Lasten des „Hp Ostbahnhof (tief)“ im Bauzustand sind neben den Schlitzwänden der Baugrubenumschließung pfahlartige Gründungselemente (Primärpfähle) bestehend aus Bohrpfählen mit eingestellten Stahlstützen vorgesehen.

Unterhalb der Baugrubensohle (ca. 513,3 mNN) setzen sich Wechsellagerungen der Tertiärschichten in unterschiedlicher Mächtigkeit von ca. 1 bis 9 m fort. Bereichsweise können die tertiären Sande in Form von Sandlinsen vorliegen. Tertiäre Aquifere wurden in einer Tiefe von ca. 14 bis 37 m unter GOK (Aquifer TI), ca. 42 bis 46 m unter GOK (Aquifer TII) und ca. 50 bis 62 m unter GOK (Aquifer TIII) erkundet.

Zur Herstellung der Verbindungswege zwischen dem geplanten Hp Ostbahnhof (tief) und den einzelnen Bahnsteigen sind außerdem die Neuerrichtung der Personenunterführungen PU Friedenstraße und PU West bzw. die Anpassung der PU Ost geplant. Im Bereich der Personenunterführungen stehen unterhalb von bis zu 6 m mächtigen Auffüllungen überwiegend quartäre Kiese bis in eine Tiefe von ca. 13 m u. GOK (ca. 519 mNN) an. Die geplanten Baugrubensohlen der Personenunterführungen Friedenstraße und West liegen bei ca. 522 bis 524 mNN. Zur Sicherung der Baugrube für die Herstellung des Stahlbeton-Rahmentragwerks ist die Ausführung von temporären Stahlspundwänden und Hilfsbrücken aus Stahl vorgesehen. Die Spundwände sollen plangemäß unterschiedlich tief, zwischen ca. 517 mNN und 520 mNN, hergestellt werden und in den tertiären Stauer unterhalb

des Quartärs einbinden. Die Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten temporären Personenüberführung (PÜ) bestehen unterhalb der bis zu 2 m mächtigen, bereichsweise bindigen Auffüllungen überwiegend aus quartären Kiesen bis in eine Tiefe von ca. 13 m u. GOK an. Die Gründungssohlen der Einzelfundamente für die temporäre Stahlskelettkonstruktion und die Aufzüge kommen im Bereich der Auffüllungen oder der quartären Kiese zu liegen.

Da durch das Haltstellenbauwerks Hp Ostbahnhof (tief) der quartäre Aquifer weitestgehend abgesperrt wird, ist die Errichtung einer Dükeranlage mit 4 Dükern im Bereich der Station Hp Ostbahnhof (tief) zur Grundwasserüberleitung geplant (s. Kapitel 9.1.5).

Die geplante Lage des Hp Ostbahnhof (tief) mit den geplanten Personenunterführungen ist im Längsschnitt in Anlage 17.4.1 sowie im Lageplan in Anlage 17.3.1 dargestellt. Die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen sind im Querschnitt in der Anlage 17.4.5 dargestellt.

9.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Für den Hp Ostbahnhof (tief) ist eine Baugrubenumschließung in Schlitzwand-Deckelbauweise geplant. Die Abmessungen des Stationsbauwerks im Grundriss sollen ca. 33 x 268 m betragen. Die Dicke der Schlitzwände beträgt plangemäß mindestens 1,0 m.

Nach der Herstellung der Schlitzwände werden von der Voraushubebene aus, beginnend mit der obersten Decke des Stationsbauwerks, die einzelnen Geschosse fortlaufend von oben nach unten ausgehoben und die Decken- und Aussteifungsebenen hergestellt. Die Unterkante des wasserdichten Schlitzwandkastens ist bis in eine Tiefe von ca. 26 m unter GOK (ca. 505 mNN) vorgesehen. Die Baugrube des Hp Ostbahnhof (tief) reicht bis in eine Tiefe von ca. 18 m unter GOK (513,3 mNN). Zur Ver- und Entsorgung der unterirdischen Baustelle verbleiben Öffnungen in den Aussteifungsebenen. Für die Herstellung der Baugrube werden entsprechende Wasserhaltungsmaßnahmen geplant (s. Anlage 16, Kap. 1.4.5).

Die horizontalen Lasten auf die Baugrubenumschließung werden durch die Aussteifungsebenen aufgenommen. Die Aussteifungsebenen sind als Stahlbetonplatten mit permanenten und temporären Öffnungen sowie temporären Hilfskonstruktionen aus Stahlstiften geplant. Die Aussteifungsebenen werden in vertikaler Richtung durch Primärstützen abgestützt und die Lasten über pfahlartige Gründungselemente (Ortbetonpfähle oder Schlitzwandelemente) in den Untergrund abgetragen.

Der Aushub der Baugrube erfolgt mittels Baggern mit Löselöffel, Reißlöffel und Meißeleinheit.

9.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die zu erwartenden Gesamtverformungen am Hp Ostbahnhof (tief) setzen sich im Wesentlichen zusammen aus den Verformungen im Zuge Herstellung der Baugrube in Deckelbauweise, aus den an das Stationsbauwerk anschließenden TVM-Vortrieben resultierenden Verformungen und aus den Verformungen infolge der bauzeitlichen Grundwasserhaltung.

Die Abschätzung der Verformungen erfolgt durch Berechnungen auf Grundlage der endgültigen Planung unter Berücksichtigung der komplexen Bauabläufe wie Grundwasserhaltungsmaßnahmen, Aushubentlastungen, Interaktionen infolge des Lastabtrags der Baugrubenverbauten (Schlitzwände) und Gründungen (Primärstützen) etc.. Hinsichtlich der zulässigen Tangentenneigungen und Setzungen für benachbarte Bebauungen und die Gleisanlagen der DB am Ostbahnhof werden die Vorgaben für die einzelnen Bereiche im Zuge der Beweissicherung erarbeitet.

Aufgrund der Erkenntnisse aus früheren Baumaßnahmen und der Ergebnisse bislang durchgeführter Pumpversuche kann ein flacher, gleichmäßiger und weiträumig ausgebildeter Grundwasserabsenktrichter erwartet werden.

Die Setzungen sind erfahrungsgemäß bei einem Wiederanstieg des Grundwassers zu einem großen Teil reversibel. Die Setzungen infolge bauzeitlicher Grundwasserhaltung werden planerisch berücksichtigt und im Zuge der Baumaßnahmen sowohl während als auch danach messtechnisch erfasst. Hinsichtlich der für Bauwerke kritischen Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehungen sind aus der bauzeitlichen Grundwasserhaltung infolge deren weit reichenden Ausdehnung nur geringe und keine maßgebenden Anteile zu erwarten. Dies wird im Zuge der Ausführungsplanung eingehend untersucht.

9.1.4 Entwässerung

Bezüglich der Entwässerung und Versickerung wird auf Anlage 16.1, Kapitel 1.4.5, 1.4.11 und 1.4.12 verwiesen.

9.1.5 Grundwasserüberleitungen

Die Baugrubenumschließung des Hp Ostbahnhof (tief) sperrt die grundwasserführenden quartären Bodenschichten bereichsweise ab und würden auch im Endzustand die natürliche Grundwasserströmung beeinflussen. Dabei kann auf der Anstromseite (Süd-Ost) ein Grundwasseraufstau und auf der Abstromseite (Nord-West) ein Grundwassersunk entstehen, was in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt ist. Zur Vermeidung eines schädlichen Grundwasseraufstaus (> 0,30 m) sowie dessen Folgen werden nach [U30] Grundwasserkommunikationsanlagen (Dücker) geplant, mit denen die Grundwasserströmung um das im Grundwasser befindliche Bauwerk abgeleitet wird.

Die geplante Deckelbauweise der Querung Berg-am-Laim-Straße sowie der Tunnel in offener Bauweise und die Trogbauwerke kommen hauptsächlich in den quartären Kiesen sowie in den für diesen Bereich typischen quartären Deckschichten (Lößlehmen) zu liegen. Lediglich im Bereich der Deckelbauweise der Querung Berg-am-Laim-Straße kommt die Sohle des Tunnelbauwerks gemäß den Erkundungsergebnissen in den tertiären Tonen/Schluffen zu liegen.

9.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Zur Sicherung der Baugruben für die offenen Bauweisen der ein- und mehrzelligen Querschnitte sind rückverankerte Stützbauwerke mit Bohrpfählen und Spundwänden geplant. Die Lage der Baugrubensohle variiert entsprechend der Tiefenlage der Trasse zwischen ca. 14 m unter GOK im Westen bis ca. 5 m unter GOK im Osten.

Die Wahl des Baugrubenverbaus hängt maßgeblich von dem Platzangebot, den zulässigen Verformungen und damit der Steifigkeit der Umschließung sowie der Lage des Grundwasserspiegels bzw. der Wasserdurchlässigkeit des Verbaus ab.

Die Baugrubenabschnitte in den nicht grundwasserführenden Schichten im westlichen Teil der Tunnel können mit einem wasserdurchlässigen Verbau ausgeführt werden. Für die Deckelbauweise sind überschnittene Bohrpfahlwände, welche durch einen Deckel ausgesteift sind sowie für die Tunnel in offener Bauweise und die Trogbauwerke abschnittsweise rückverankerte Spundwände (temporär) und überschnittene Bohrpfahlwände als Baugrubenverbauten geplant.

Die unter den quartären Kiesen anstehenden tertiären Schluffe und Tone sind bei Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch bzw. gegen Aufschwimmen der Baugrubensohle als natürliche Dichtsohle geeignet. In den Baugrubengebieten die unterhalb des Grundwassers liegen, kann eine wasserundurchlässige Baugrubenumschließung bis in die tertiären Tone und Schluffe eingebunden werden. Dementsprechend können die Bauwerke im Schutz einer dichten Baugrubenumschließung errichtet werden.

Die Baugrubenverbauten werden entsprechend der Nachweise der Sicherheiten gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch und unter Berücksichtigung des Bemessungswasserstandes für den Bauzustand, in die erste tertiäre Schluff- und Tonschicht eingebunden. Die Einbindung der Baugrubenverbauten in die tertiären Schluff- und Tonschichten beträgt mindestens 1 m.

Die tertiären Sande des Aquifers TI unterhalb der Baugrubensohle sind mit etwa der gleichen Druckhöhe wie die quartären Kiese wasserführend. Es herrschen deshalb gespannte Grundwasserverhältnisse vor. Zur Gewährleistung der Sicher-

heit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch kann daher eine Grundwasserentspannung in den tertiären Sanden des Aquifers TI innerhalb der Baugrube erforderlich werden. Die geplante Bauwasserhaltung mittels Innen- und Außenbrunnen ist der Anlage 16.1, Kap. 1.4.5 zu entnehmen.

Im Bereich des Tunnels in offener Bauweise ist davon auszugehen, dass in den tertiären Sanden des Aquifers TI unterhalb der Baugrubensohle gespannte Grundwasserverhältnisse vorherrschen und das Grundwasser entspannt werden muss. Zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch ist daher mit in Richtung Osten zunehmend geringer werdender Überdeckung zwischen Baugrubensohle und Aquifer TI gegebenenfalls eine Entspannung der Sande innerhalb der Baugrube unterhalb der Baugrubensohle erforderlich. Hierzu werden bei Erfordernis Pumpbrunnen bis in die erforderliche Tiefe geführt. Da im östlichen Bereich der Baugrube geplant ist die Bohrpfahlwände bis in den Stauer unterhalb des Aquifers TI zu führen und östlich und westlich mittels Querschotts aus Bohrpfählen, die ebenfalls bis in den Stauer einbinden, abzutrennen, ist nur eine kurzzeitige Wasserhaltung erforderlich, da nach dem Entspannen des Aquifers TI keine nennenswerten Wassermengen mehr unterhalb der Baugrubensohle zu erwarten sind. Eine offene Wasserhaltung zur Fassung von Restwässern innerhalb der Baugrube kann dennoch erforderlich werden.

9.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die Streckenabschnitte des Trogbauwerks und des Tunnels in offener Bauweise liegen im Bereich der Gleisanlagen der DB und öffentlichen Straßen. Folglich werden von dieser Maßnahme die Gleisanlagen der DB und der SWM (Tram) beeinflusst. Das neue Tram-Gleichrichterwerk wird nicht beeinflusst. Bei Arbeiten im Bereich von Gleisen werden die Vorgaben der DB (RIL) berücksichtigt

Insbesondere werden bei Abgrabungen und der Herstellung von Stützbauwerken neben Bestandsgleisen verformungsarme Bauverfahren sowie in Abhängigkeit der Lage der Abgrabungen wenig nachgiebig bis annähernd unnachgiebig gestützte Baugrubenwände verwendet. Zu verformungsarmen Baugrubenverbauten zählen gemäß EAB [U24], EB 67, jene Stützkonstruktionen, die durch vorgespannte Verankerungen gestützt werden und/oder der Ansatz eines erhöhten aktiven Erddrucks bei der Bemessung verwendet wird.

Als Grenzwerte für die zu erwartenden bleibenden Verformungen und Verformungsunterschiede während und nach der Herstellung des Stützbauwerks gelten die zulässigen Werte der Gleisverformungen gemäß den Grenzwerten nach Ril 836.3001 in Verbindung mit Ril 821.2001.

Bei der Herstellung von Verpressankern im Gleisbereich wird in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse ein verformungsarmes Bohrverfahren (z.B. verrohrte Bohrungen, Rammbohrungen, Überlagerungsbohrungen) zur Anwendung kommen. Der Abstand der Verpresskörper von der Schwellenoberkante muss gemäß Ril 836.4302 innerhalb des Druckbereiches unterhalb von Gleisen mindestens 4,0 m betragen. Zusätzlich werden bei dauerhaften Anker Korrosionsschutzmaßnahmen berücksichtigt. Zur Ermittlung des Herausziehwiderstandes der Anker werden Prüfungen nach DIN SPEC 18537 [U21] in Form von Zugversuchen ausgeführt. Für dauernde Zwecke dürfen Injektionsanker nur mit Zustimmung der anlagenverantwortlichen Stelle der DB Netz AG in Hinblick auf spätere Instandhaltungsaufwendungen eingesetzt werden. Die Herstellung der Anker wird durch eine geotechnische Bauüberwachung begleitet.

Die Verformungen der Bestandsgleise werden arbeitsbegleitend (im Zuge des Baugrubenaushubs und der Durchführung der Ankerarbeiten) messtechnisch überwacht. Bei Überschreitung der Grenzwerte nach Ril 836.3001 [U26] in Verbindung mit Ril 821.2001, Tabelle 2, werden die Arbeiten eingestellt und Gegenmaßnahmen eingeleitet. Falls erforderlich, werden für Messarbeiten im Gleisbereich z.B. Sicherungsposten oder Gleissperren vorgesehen.

Weitere zu beachtende Sicherheitshinweise finden sich z.B. in den Regelungen des DB Moduls 132.0118 „Arbeiten im Gleisbereich“ [U28] oder der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) BGI/GUV-I 781 „Sicherheitshinweise für Arbeiten im Bereich von Gleisen“ [U29].

9.2.4 Entwässerung

Bezüglich der Entwässerung und Versickerung wird auf Anlage 16.1, Kap. 1.4.8 und 1.4.11 verwiesen.

9.2.5 Grundwasserüberleitungen

Die Baugrubenumschließung der Tunnel in offener Bauweise sowie der Unterquerung der Berg-am-Laim-Straße und des Rettungsschachtes RS9 sperren die grundwasserführenden quartären Bodenschichten bereichsweise ab und würden auch im Endzustand die natürliche Grundwasserströmung beeinflussen (s. auch Kapitel 9.1.5).

Westlich und östlich des Rampenbauwerks ist außer den Gleisanlagen der DB derzeit keine unmittelbar angrenzende Bebauung vorhanden. Unter der Annahme eines unschädlichen Grundwasseraufstaus von 0,30 m ist für den Endzustand des gesamten Rampenbauwerks eine Dükeranlage mit 2 Dükern im Bereich der EÜ Berg-am-Laim-Straße ausreichend.

9.3 Verkehrstunnel und Erkundungs- und Rettungsstollen in geschlossener Bauweise

9.3.1 Maschinelle Vortriebe

Aufgrund der Länge der Verkehrstunnelröhren im innerstädtischen Bereich ist zwischen dem Übergang PFA 2 / PFA 3 Ost, dem Hp Ostbahnhof (tief) und bis zur Baugrube RS9 westlich der Berg-am-Laim-Straße ein Schildmaschinenvortrieb für die beiden Streckenröhren vorgesehen. Zudem ist ein Schildmaschinenvortrieb für den Erkundungs- und Rettungsstollen zwischen dem Übergang PFA 2 / PFA 3 Ost und dem Hp Ostbahnhof (tief) geplant.

Bei der endgültigen Wahl des Vortriebskonzepts spielen neben rein bodenmechanischen und geotechnischen Fragestellungen auch weitere Aspekte wie beispielsweise Aspekte der Baulogistik, Wirtschaftlichkeit, Maschinentchnik oder Beeinflussung Dritter eine maßgebliche Rolle. Hinsichtlich der Vortriebskonzeption ist die Schichtgrenze zwischen den quartären und den tertiären Schichten wesentlich, da sich die Bodenzusammensetzungen im Tertiär und Quartär deutlich unterscheiden. Weiterhin ist wesentlich, ob im Tertiär überwiegend tertiäre Tone und Schluffe oder überwiegend Sande anstehen.

Die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen entlang der TVM-Streckenvortriebe sind in Anlage 17.4.1 dargestellt.

Es stehen grundsätzlich folgende Vortriebsvarianten zur Verfügung:

- Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust,
- Schildvortrieb mit Erddruckstützung oder
- Schildvortrieb mit Druckluftstützung,

wobei auch Kombinationen bzw. Wechsel der genannten Vortriebsvarianten bei modernen Maschinenkonzepten möglich sind.

Allen Schildvortriebsvarianten gemeinsam ist die beim Vortrieb erforderliche Ringspaltverpressung, durch die der unvermeidliche Spalt zwischen Ausbruchdurchmesser und Außenlaibung der Tunnelauskleidung (Tübbingschale) unverzüglich während des Tunnelvortriebs geschlossen wird. Dadurch wird sofort ein Kontakt zwischen umgebendem Gebirge und Tübbing hergestellt und es wird der Ringspalt kraftschlüssig verfüllt. Hierdurch bleibt die hydraulisch trennende Wirkung der gering durchlässigen Bodenschichten zu den Aquiferen jeder Zeit erhalten. Trotz der Ringspaltverpressung sind Spannungsumlagerungen im Gebirge unvermeidbar, so dass in Abhängigkeit von der Tiefenlage des Tunnels gewisse Verformungen über den Tunnelbauwerken nicht vollkommen ausgeschlossen werden

können. Diese Setzungen werden durch technische Maßnahmen mit entsprechendem Monitoring auf ein unschädliches Maß begrenzt.

Stützung der Ortsbrust während der Schildfahrt

Beim Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust erfolgt die Stützung der Ortsbrust (Stirnfläche des Ausbruchbereichs unmittelbar vor dem Schneidrad) über eine unter Druck stehende Stützflüssigkeit. Als Stützflüssigkeit wird in der Regel eine Wasser - Bentonit - Suspension verwendet.

Beim Erddruckschild wird durch die mechanische Beanspruchung mit dem Schneidrad in Zusammenarbeit mit in der Regel eingesetzten Konditionierungsmitteln an der Ortsbrust ein möglichst homogener Erdbrei mit weicher bis steifer Konsistenz erzeugt, der unter Druck gehalten wird und so die Ortsbrust stützt. Als Konditionierungsmittel eignen sich in den Tonen und Schluffen Wasser sowie in den tertiären Sanden und eventuell auch noch in den quartären Kiesen grundwasserträchtige Schäume (abbaubare Tenside und ggf. Polymere).

Bei der Druckluftstützung wird durch Beaufschlagung des Abbaubereichs der Schildmaschine mit Druckluft bei einer entsprechenden auf den Wasserdruck abgestimmten Druckhöhe das Wasser von der Ortsbrust aus den Poren des anstehenden Bodens verdrängt. Die Strömung von der Ortsbrust weg erzeugt außerdem eine gewisse Strömungskraft im Boden, die die Ortsbrust zusätzlich stützen kann. Beim Antreffen geschlossener Sandlinsen in Tonschichten z. B. ist jedoch ein Abströmen von Luft nicht möglich. Als Zusatzmaßnahme ist eine systematische Vor-entspannung der Linsen mittels Brunnen von der Geländeoberfläche oder mittels Lanzen vom Tunnel aus vorgesehen. In den quartären Kiesen ist aufgrund der hohen Durchlässigkeit eine Druckluftstützung nur möglich, wenn durch Zusatzmaßnahmen (z.B. Injektionen) deren Durchlässigkeit reduziert wird.

Maschinenvortrieb im Quartär

Im Bereich des Hp Ostbahnhof (tief) bzw. im Anschlussbereich an die Baugrube RS9 befinden sich die TVM-Vortriebe nach vorliegender Planung mit der Firste noch in den quartären Kiesen.

In den Kiesen sind erfahrungsgemäß feinkorn- und sandarme Rollkieslagen nicht auszuschließen, die in der Regel einen Korndurchmesser d_{10} von etwa 2 mm aufweisen. Es sind aber auch Schichten mit $d_{10} = 5$ bis 20 mm nicht auszuschließen. Da die Porenweiten derartiger Rollkiese schwer abzugrenzen sind und die Scherfestigkeit der Suspension, die auch für die Förderung des Bodens von Bedeutung ist, nicht beliebig erhöht werden kann, muss im Zuge des Vortriebs beim Anfahren größerer Rollkiesschichten mit unplanmäßig hohem Suspensionsverbrauch gerechnet werden. Materialentzug über den planmäßigen Querschnitt hinaus wird mit geeigneten Vorsorgemaßnahmen und Eingreifmöglichkeiten begegnet. In den

Bohrprofilen der Streckenabschnitte wurden keine expliziten Schichten mit Rollkieslagen vermerkt. Ihr Vorkommen ist jedoch nicht auszuschließen.

Es wird ein ausreichend großer Suspensionsvorrat vorgehalten. Bei Erfordernis können die quartären Kiese durch Verkittungsinjektionen vergütet werden, wobei die Injektionen vorauseilend zum Tunnelvortrieb vorgenommen werden.

In den quartären Kiesen sind Blöcke mit mehr als 200 mm Korndurchmesser erfahrungsgemäß nur vereinzelt zu erwarten. Auch carbonatisch verfestigte Konglomeratschichten, die je nach Schichtdicke und Verfestigungsgrad den Felsklassen 6 bzw. 7 zuzuordnen sind (sog. Nagelfluh), können in den quartären Kiesen bereichsweise auftreten.

Für den Fall, dass anstehende Hindernisse nicht beseitigt werden können oder ein Werkzeugwechsel erforderlich ist, besteht die Möglichkeit, dass die Abbaukammer durch Sättigungstaucher begangen wird.

Maschinenvortrieb im Tertiär

Entsprechend der geplanten Streckenführung werden die TVM-Vortriebe überwiegend in den tertiären Schichten zu liegen kommen. Hier kann die Stützflüssigkeit auf die vorliegenden geringeren Porengrößen der tertiären Böden abgestimmt werden.

Die Schichtgrenze Quartär / Tertiär kann aufgrund von Tertiärrinnen, die durch Fließvorgänge der quartären Schmelzwässer bzw. aufgrund von Erosionsprozessen in den tertiären Sedimenten entstanden sind, engräumlich stark schwanken. Daher ist bis zu einer erkundeten Tertiärüberdeckung von mindestens 2,5 m damit zu rechnen, dass an der Ortsbrust quartäre Kiese bzw. Gemische aus quartären und tertiären Böden auftreten können.

Die hinsichtlich der Ortsbruststützung im Tertiär zu erwartenden tertiären Sande wurden auf Grundlage der vorliegenden Erkundungsergebnisse überwiegend als Feinsande oder Fein- bis Mittelsande mit unterschiedlichem Feinkornanteil angesprochen. In diesen Sanden sind überwiegend Korndurchmesser $d_{10} < 0,2$ mm zu erwarten.

Auch im Falle des Auftretens geschlossener tertiärer Sandlinsen innerhalb tertiärer Tone und Schluffe wird durch einen Filterkuchen gewährleistet, dass die Sande nicht ausfließen, weshalb in diesen Böden eine geeignete Suspension als Stützmittel zum Einsatz kommt.

Neben den Sanden bzw. den feinkörnigen Böden können immer wieder auch geringmächtige verfestigte Schichten aus Mergelstein (Ton-/Schluffstein) bzw. Sandstein auftreten. Die überwiegend karbonatisch, selten auch silikatisch zu Sandstein verfestigten Schichten wurden bis zu einer Mächtigkeit von ca. 0,7 m erkundet.

Des Weiteren wurden in den Erkundungsbohrungen auch teilweise karbonatisch verfestigte Tone und Schluffe angetroffen, die Mächtigkeiten bis zu ca. 4,0 m aufwiesen. Daneben können die tertiären Tone und Schluffe sowie die tertiären Sande auch Konkretionen enthalten, die zu zerkleinern sind. Die Maschine wird entsprechend ausgelegt.

Lösen und Transport des abgebauten Bodenmaterials im Tunnel

Das durch die Abbauwerkzeuge der Vortriebsmaschine gelöste und abgebaute Bodenmaterial wird von der Maschine durch den Tunnel je nach Betriebsmodus entweder in Rohrleitungen (bei flüssigkeitsgestützter Ortsbrust) oder mittels Förderbändern oder Transportfahrzeugen/ Loren (Erdruck- und Druckluftmodus) zur zentralen Baustelleneinrichtungsfläche der Tunnelvortriebe gefördert.

Behandlung des gelösten Bodenmaterials

Bei einer Nassförderung (Flüssigkeitsstützung) wird die Stützflüssigkeit in mehreren Behandlungsstufen in so genannten Separieranlagen vom geförderten Boden getrennt. Die Separierungsstufen werden in Abhängigkeit vom geförderten Boden eingesetzt. Zum Einsatz kommen dabei Siebe, Zykclone und Zentrifugen und/oder - Filterpressen. Die Stützflüssigkeit ist ggf. nach der Aufbereitung wieder verwendbar. Zur weiteren Entwässerung können Flockungsmittel zum Einsatz kommen, deren Umweltverträglichkeit nachgewiesen ist. Die Entsorgung des Restwassers kann nach ausreichender Klärung und gegebenenfalls nach Vorschalten einer Neutralisationsanlage in den quartären Kiesen wieder versickert werden. Bei der Trockenförderung wird sich hingegen der geförderte Boden überwiegend im erdfeuchten Zustand befinden, so dass hier keine gesonderte Separierung erforderlich ist. Allenfalls wird entsprechend dem Wassergehalt des geförderten Bodens eine Nachbehandlung des Bodenmaterials für die endgültige Ablagerung unter Zusatz von Bindemitteln wie Kalk erforderlich.

9.3.2 Spritzbetonvortriebe

9.3.2.1 Querschläge

Die Herstellung der Querschläge zwischen den Haupttunnelröhren und den Erkundungs- und Rettungsstollen erfolgt in Spritzbetonbauweise. Im gegenständlichen Planfeststellungsabschnitt sind insgesamt 6 Querschläge (QS 11 bis QS 16, s. Pläne 17.3.1 und 17.4.1) geplant. Zur Herstellung der Querschläge unterhalb des Grundwasserspiegels (mit einer Druckhöhe von bis zu ca. 4,0 bar) sind in Abhängigkeit der Baugrundverhältnisse gegebenenfalls Abdichtungsmaßnahmen erforderlich. Hierfür können prinzipiell Vereisungs- oder Injektionsmaßnahmen in Verbindung mit Druckluftvortrieben und Wasserhaltung zur Anwendung kommen.

Aufgrund des Wasserdruckes im Endzustand von mehr als 4 bar (40 m Wassersäule) wird gemäß Ril 853 [U27] zwischen Spritzbetonaußenschale und Ortbetoninnenschale eine Abdichtung (Abdichtfolie) eingebaut.

Der Ausbruch der Querschläge erfolgt mittels Bagger, wobei das Lösen des Bodens an der Ortsbrust entsprechend den vorliegenden Baugrundverhältnissen unter anderem mit Löselöffel, Reißlöffel und Meißeleinheit erfolgen kann.

9.3.2.2 Abzweigestelle Maximiliansanlagen (MPRA)

Zwischen ca. Bau-km 108,0 und ca. Bau-km 108,2 im Bereich des Rettungsschachtes RS 7 ist planerisch der Abzweig eines Südastes in Richtung Giesing (MGI) bzw. Deisenhofen (MDS) berücksichtigt. Für einen späteren Anschluss des Südastes ohne signifikante Betriebsunterbrechungen, werden die Abzweighbereiche in beiden hergestellten und mit Tübbing gesicherten Verkehrstunnelröhren (Gleis 100 und Gleis 200) bergmännisch in Spritzbetonbauweise aufgeweitet und mit einer Stahlbetoninnenschale in wasserundurchlässiger Betonkonstruktion ausgekleidet. An die beiden ca. 140 m langen Abzweigbauwerke schließen noch auf der Trasse der Südast-Gleise 2 ebenfalls bergmännisch in Spritzbetonbauweise errichtete, ca. 17 m lange, mit (Mager-)Beton verfüllte sogenannte Einfahrkavernen an, in die später die Tunnelvortriebsmaschinen des Südastes sicher einfahren und geborgen werden können.

Zur Herstellung der Abzweigbauwerke unterhalb des Grundwasserspiegels (Druckhöhe von bis zu ca. 3,5 bar) sind umfangreiche Bauwasserhaltungsmaßnahmen erforderlich.

Aufgrund des Wasserdruckes im Endzustand von ca. 35 m Wassersäule wird gemäß Ril 853 [U27] zwischen Spritzbetonaußenschale und Ortbetoninnenschale eine Abdichtung (Abdichtfolie) eingebaut.

Der Ausbruch der Abzweigbauwerke erfolgt mittels Bagger, wobei das Lösen des Bodens an der Ortsbrust entsprechend den vorliegenden Baugrundverhältnissen unter anderem mit Löselöffel, Reißlöffel und Meißeleinheit erfolgen kann.

9.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Setzungen und Winkelverdrehungen infolge der TVM-Vortriebe

Aus den Schildfahrten der Streckenvortriebe für die Verkehrstunnel können Setzungen resultieren. Hinsichtlich der Setzungen aus der bauzeitlichen Grundwasserhaltung im Bereich der Rettungsschächte wird auf Kapitel 9.4.3 verwiesen. In den übrigen Bereichen der Streckenvortriebe sind keine Grundwasserhaltungsmaßnahmen im Zuge der TVM-Vortriebe geplant.

Zur Ermittlung der durch die TVM-Vortriebe hervorgerufenen Baugrundverformungen werden im Zuge der Planung Setzungsberechnungen (empirisch bzw. numerisch [U7]) durchgeführt.

Vorab und während der Baumaßnahme ist eine Beweissicherung vorgesehen. Für die im Einflussbereich der Baumaßnahme liegenden Gebäude und Bauwerke werden im Zuge der Beweissicherung die zulässigen Winkelverdrehungen und Setzungen sowie bestehende Schäden dokumentiert. Dabei werden die im Rahmen der Bestandsaufnahmen und Standsicherheitsuntersuchungen festgelegten Kriterien auf die Einhaltung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der jeweiligen Gebäude und Bauwerke überprüft.

In Bezug auf Setzungen und Tangentenneigungen sind neben Bestandsgebäuden die folgenden Bauwerke und Gleisanlagen technisch besonders zu betrachten:

- Praterwehr im Bereich der Unterfahung der Isar
- Tunnelröhren der U-Bahnlinie U5
- Tunnelröhren der 1. S-Bahn-Stammstrecke
- Evangelisch lutherische Johanneskirche am Preysingplatz
- Gleisanlagen im Bereich des bestehenden Bahnhofs München-Ost

Gemäß Planung sind im Bereich der Unter- bzw. Überfahung der zuvor genannten setzungsempfindlichen Bauwerke und Gleisanlagen zunächst keine, den Verformungen aus den TVM-Vortrieben entgegenwirkenden Maßnahmen erforderlich und somit geplant. Die von den Tunnelröhren zu unterfahenden Gebäude und Bauwerke werden im Zuge der Beweissicherung durch ein entsprechendes Monitoring-Programm überwacht. Bei Annäherung an die festgelegten Warn- bzw. Alarmwerte werden bei Erfordernis frühzeitig zusätzliche Maßnahmen gesetzt.

9.4 Rettungsschächte und Stollen

Im Bereich der PFA 3 Ost ist im Zuge des Rettungskonzepts die Erstellung von drei Rettungsschächten, Rettungsschacht 7, 8 und 9, geplant.

Rettungsschacht 7

Der Rettungsschacht 7 (RS 7) ist in den Maximiliansanlagen, zwischen ca. Bau-km 108,155 und ca. Bau-km 108,190 im Bereich des späteren Abzweigs der Südanbindung positioniert. Der Erkundungs- und Rettungsstollen der 2. S-Bahn-Stammstrecke schließt in der Geschosebene –5 über einen nördlich des Rettungsschachtes gelegenen Querschlag (QS 11) an den Rettungsschacht an. Der

Querschlag wird aus dem Rettungsschacht heraus in bergmännischer Spritzbetonbauweise hergestellt. Er ist mit einer Stahlbeton-Innenschale in wasserundurchlässiger Bauweise ausgekleidet.

Für den Rettungsstollen des späteren Südastes wird an der südlichen Schachtseite ebenfalls in Höhe der Geschossebene –5 ein kurzes ca. 30 m langes Stollenstück in bergmännischer Spritzbetonbauweise aus dem Rettungsschacht heraus aufgeföhren und teilweise mit einer Stahlbeton-Innenschale in wasserundurchlässiger Bauweise ausgekleidet. Am Ende des Stollens wird auf ca. 17 m Länge der Stollen nicht endgültig ausgekleidet sondern mit Magerbeton verfüllt. Dies dient zu einer sicheren Einföhrt und Demontage der TVM des Rettungsstollens des Südastes.

Der Schacht hat eine Gesamthöhe von ca. 39,0 m. Die Bauwerkslänge beträgt ca. 35,0 m, die Bauwerksbreite ca. 16,0 m. Im Rettungsschachtbereich ist zusätzlich ein Verbindungsbauwerk (QS 11) zu den beiden Fahrtunnelröhren positioniert. Das Schachtbauwerk (9 Stiegen-Podest-Ebenen) wird in zweischaliger Bauweise mit Schlitzwänden und einer Stahlbeton-Innenschale errichtet. Nach den bisherigen Erkundungsergebnissen stehen unterhalb der bis zu 2 m mächtigen Auffüllungen, quartäre Kiese bis zu einer Tiefe von ca. 10 m unter GOK an. Darunter folgen Wechsellagerungen aus dicht bis sehr dicht gelagerten tertiären Sanden und halb-festen bis festen tertiären Tonen und Schluffen. Die Sohle des Schachts liegt in den tertiären Tonen/Schluffen oberhalb des Aquifers TIII, wobei die Überdeckung zum Aquifer TIII ca. 1,5 bis 2,0 m beträgt. In Tiefen von ca. 15 und 25 m unter GOK wurden zwei Sandlinsen mit einer Mächtigkeit von ca. 3 bis 5 m angetroffen, welche dem Aquifer TI zugeordnet werden können. Zudem ist ca. 35 m unter GOK mit dem Antreffen einer weiteren Sandlinse des Aquifers TII mit einer Mächtigkeit von ca. 3 m zu rechnen. Unterhalb des Aquifers TIII, ca. 52,5 m unterhalb der Geländeoberfläche, steht ein ca. 4 m mächtiger Stauer (tertiäre Tone/Schluffe) an. Die Sicherung der Baugrubensohle erfolgt bei nachgewiesener Auftriebssicherheit des Stauers zwischen TIII und TIV über die Einbindung der Baugrubensicherung in diese tiefliegenden bindigen Schichten (natürliche Dichtsohle) und über die statisch erforderliche Absenkung des Aquifers TIII, wobei dieser nur innerhalb der Baugrube entspannt wird.

Für die Herstellung des Abzweigebauwerks im Spritzbetonvortrieb sind umfangreiche Bauwasserhaltungsmaßnahmen im Aquifer TIII erforderlich, wofür ein nordwestlich dem RS7 vorgelagerter Schacht mittels Schlitzwandkasten geplant ist. Die Sicherung der Baugrubensohle des Schachts für die Bauwasserhaltung erfolgt über die Einbindung der Baugrubensicherung in die tiefliegenden bindigen Schichten (natürliche Dichtsohle) und über die statisch erforderliche Absenkung der Aquifer-

fere TIII und TIV, wobei die Aquifere nur innerhalb der Baugrube entspannt werden. Aus dem Schacht sollen zur Bauwasserhaltung für die Spritzbetonvortriebe Horizontalfilterbrunnen hergestellt werden. Die aus den Horizontalfilterbrunnen geförderten Wassermengen werden im Schacht gesammelt und von dort abgepumpt und abgeleitet.

Rettungsschacht 8

Der Rettungsschacht 8 ist nordöstlich der Eisenbahnüberführungen der Rosenheimer Straße zwischen Gleisanlagen auf einer bestehenden Parkplatzfläche geplant. Das Schachtbauwerk (5 Stiegen-Podest-Ebenen) wird innerhalb einer Baugrube, welche mit überschnittenen Bohrpfahlwänden gesichert ist, errichtet. Die Abmessungen des Schachtes betragen ca. 22 m x 14 m. Der Notausstieg soll ausgehend vom Rettungsschacht 8 plangemäß in Richtung Nordosten zur derzeitigen Parkplatzfläche hergestellt werden. Die Fundamentunterkante des Schachtbauwerks ist ca. 23 m unter GOK geplant.

Nach den vorliegenden Erkundungsergebnissen können die Auffüllungen bis zu maximal 6,5 m unter GOK anstehen. Die unterlagernden quartären Kiese wurden bis ca. 13 m unter GOK erkundet. Die erste tertiäre bindige Schicht, welche bis ca. 19 m unter GOK ansteht, besitzt eine Mächtigkeit von ca. 6,0 m. Die Sohle des Bauwerks bindet in den unterhalb der ersten tertiären Ton-/ Schluffschicht erkundeten Aquifer TI ein, welcher mit einer Mächtigkeit von ca. 8 bis 9 m erkundet wurde. Ab einer Tiefe von ca. 28 m unter GOK steht eine Wechsellagerung aus tertiären Sanden und Tonen/Schluffen mit geringer Mächtigkeit an bis in einer Tiefe von ca. 35 m eine durchgängige tertiäre Ton-/Schluffschicht angetroffen wird.

Die Sicherung der Baugrubensohle erfolgt über die Einbindung der Baugrubensicherung in die tiefliegenden bindigen Schichten (natürliche Dichtsohle) und die statisch erforderliche Absenkung der Aquifere TI, wobei der Aquifer TI nur innerhalb der Baugrube entspannt wird.

Rettungsschacht 9

Die Baugrube für den Rettungsschacht 9 ist in Stahlbeton-Schlitzwandbauweise mit Rückerverankerungen mit einer Tiefe von ca. 20 m unter GOK geplant. Der Fluchtweg des Rettungsschachtes 9 ist in die Baugrube integriert und verläuft mittig zwischen den beiden Tunneln, die innerhalb der Baugrube in offener Bauweise vorgesehen sind, in Richtung der Deckelbauweise der Querung Berg-am-Laim-Straße in welcher über eine Treppe der oberirdische Ausgang erreicht werden kann. Neben dem direkten Zugang über den Erkundungs- und Rettungsstollen (ERS), soll der Rettungsschacht 9 jeweils von den beiden seitlichen Tunneln aus zugänglich sein.

Im Bereich der Baugrube RS 9 stehen Auffüllungen bis ca. 1,0 m unter GOK an. Darunter wurden die für diesen Bereich typischen Lößlehme mit einer Mächtigkeit von ca. 1,5 m erkundet. Die unterlagernden quartären Kiese stehen bis in eine Tiefe von ca. 13,0 m bis 14,0 m unter GOK an. Darunter wurden die tertiären Tone und Schluffe mit einer Mächtigkeit von ca. 3,0 m erkundet. Unterhalb steht eine ca. 14,0 m mächtige Schicht tertiärer Sande an, die dem Aquifer T1 zugeordnet werden kann. In dieser Sandschicht sind Ton-/Schlufflinsen oder –schichten eingebunden. Die Sohle der geplanten Baugrube bindet in die tertiären Sande des Aquifers T1 ein. Die Schichtgrenze zu den unterhalb der Sande anstehenden tertiären Tonen und Schluffen, die bei Einbindung der Baugrubenumschließung als natürlicher Stauer zur Verfügung stehen kann (ca. 30 m unter GOK), wurde im Bereich des RS 9 bislang nicht ausreichend erkundet. Aufgrund der Prognoseungenauigkeit der lokalen Baugrundverhältnisse ist für den Erfordernisfall zusätzlich eine tiefliegende Dichtsohle mit mineralbasierten Injektionen vorgesehen.

Die geplante Lage der Rettungsschächte ist im Längsschnitt in Anlage 17.4.1 sowie im Lageplan in Anlage 17.3.1 dargestellt. Die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen zu den Rettungsschächten sind in den jeweiligen Querschnitten in den Anlagen 17.4.2 bis 17.4.4 dargestellt.

9.4.1 Herstellung

Schächte oberhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht

Im Bereich der herzustellenden Rettungsschächte stehen ab GOK unter geringmächtigen Auffüllungen die grundwasserführenden quartären Kiese an. Das Grundwasser in den Kiesen kann aufgrund der großen Durchlässigkeiten und großer zu pumpender Wassermengen sowie negativer Auswirkungen auf die Umgebung nicht oder nicht nennenswert abgesenkt werden, so dass in diesem Tiefenbereich eine dichte Baugrubenumschließung erforderlich ist.

Unter den quartären Kiesen folgen im Wechsel tertiäre Sande sowie feinkörnige tertiäre Tone und Schluffe. Die tertiären Sande sind wasserführend, während die feinkörnigen tertiären Tone und Schluffe im baupraktischen Sinne als wasserundurchlässig anzusehen sind.

Der Baugrubenabschnitt oberhalb des Grundwassers kann in Abhängigkeit von Platzangebot und der Entfernung von Nachbarbebauungen eventuell mit geringer Vorböschung geböscht oder im Schutz eines Verbaus erstellt werden.

Im Tiefenbereich unter dem Grundwasser (Quartär) sind dichte Baugrubenumschließungen erforderlich, die zur Abschottung des Grundwassers bis in eine ausreichend mächtige feinkörnige bindige Tertiärschicht reichen müssen. Im Einzelnen kommen hierfür folgende Verbauarten in Frage:

- Bohrfahlwände
- Schlitzwände

Die Wahl der Baugrubenumschließungen ergibt sich aus den jeweiligen örtlichen und geologischen Gegebenheiten und wird darauf angepasst geplant.

Schächte bis unterhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht

Die tertiären Sande unterhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht sind wasserführend und können entspannt bzw. abgesenkt werden. Die Herstellung/Tieferführung der Baugrubenverbauten für die Rettungsschächte ist folgendermaßen geplant:

- Vollflächige Weiterführung der Umschließungswände (Bohrpfahlwände bzw. Schlitzwände) bis unter die Schachtsohle (Entspannung der Sande unter der Schachtsohle erforderlich)

Wahl der Baugrubenumschließung der Schachtbauwerke

Bei der Wahl der Herstellungsverfahren für die Baugrubenumschließungen der Rettungsschächte werden neben bautechnischen Fragestellungen auch wirtschaftliche und zeitliche Aspekte sowie die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt.

Insbesondere bei höherem Wasserdruck können die tertiären Sande nur mit hohem Aufwand entspannt werden. Hierzu ist ein ausreichender zeitlicher Vorlauf erforderlich.

Im Zuge der Entwurfsplanung ist nach Abwägung der Vor- und Nachteile der Bauweisen vorgesehen, den Rettungsschächte RS 7 und RS 9 im Quartär und Tertiär in Schlitzwandbauweise zu erstellen. Der Herstellung des Rettungsschachts RS 8 ist mit einer Baugrubenumschließung aus Bohrfahlwänden vorgesehen. Aufgrund der gewählten Verbauarten sind nur geringe Verformungen im Umfeld der Schachtbauwerke zu erwarten.

9.4.2 Grundwasserhaltung

Damit beim Abteufen der Schächte kein hydraulischer Grundbruch erzeugt wird oder ein Aufschwimmen von tertiären Bodenschichten in der Baugrubensohle verhindert wird, ist je nach den örtlichen Gegebenheiten und der gewählten Ausführungsvariante der Schächte (z.B. Bohrfahlwände, Schlitzwände) geplant, die maßgebenden Sandschichten unterhalb der Baugrubensohle durch eine Bauwasserhaltung zu entspannen. Zur Absenkung der druckwasserführenden Schichten zwischen Baugrubensohle und natürlicher Dichtsohle werden innenliegende (Überlauf-)Brunnen sowie eine offene Wasserhaltung vorgesehen.

Die Anzahl der Brunnen, die zu fördernden Wassermengen sowie die Vorlaufzeit zum Erreichen der erforderlichen Absenkung bzw. Entspannung der tertiären Sande werden jeweils fallweise betrachtet.

Die im Zuge der erforderlichen Bauwasserhaltungsmaßnahmen geförderten Grundwässer sollen plangemäß in neu angelegten Versickerungsanlagen mittels Schluckbrunnen am Rettungsschacht 8 sowie in einer geplanten bauzeitlichen Rigolenanlage im Bereich der Orleansstraße geleitet und dort in den quartären Grundwasserleiter versickert werden. Am Rettungsschacht 7 wird aufgrund der kritischen Lage am Isarhochufer von einer Versickerung der geförderten Grundwässer abgesehen, um Böschungsinstabilitäten zu vermeiden. Die geförderten Wässer werden plangemäß vollständig über Rohrleitungen in die Isar eingeleitet (s. Anlage 16.1, Kap. 1.4.2 und 1.4.9).

9.4.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Hinsichtlich der Setzungen aus der bauzeitlichen Grundwasserhaltung im Bereich der Rettungsschächte ist aufgrund der Erkenntnisse aus früheren Baumaßnahmen und der Ergebnisse bislang durchgeführter Pumpversuche ein flacher und weiträumig ausgebildeter Grundwasserabsenktrichter zu erwarten. Hinsichtlich der für Bauwerke kritischen Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehungen sind demnach aus der bauzeitlichen Grundwasserhaltung nur geringe Anteile zu erwarten (s. auch Kapitel 9.2.4).

9.5 Ertüchtigungsmaßnahmen Eisenbahnüberführung Berg-am-Laim

9.5.1 Baugrundverhältnisse und Gründung

Im Zuge der Realisierung der neuen Trassierung erfolgt eine Ertüchtigungsmaßnahme der EÜ km 10,469.

Bestandteil dieser Maßnahme sind die Erneuerung der nördlichen Kappe, Erneuerung von Abdichtung und Schutzbeton sowie ein Tausch der Übergangskonstruktionen an den Überbaulängsfugen und den Übergängen zwischen Bauwerk und Hinterfüllung.

Die Baugrundverhältnisse im Bereich der EÜ Berg-am-Laim bestehen aus geringmächtigen, zum Teil bindigen Auffüllungshorizonten. Darunter stehen 2 bis 3 m mächtige sandige Tone und Schluffe an, die als quartäre Löß- bzw. Decklehme bezeichnet werden. Die quartären sandigen Kiese folgen mit einer Mächtigkeit von ca. 10 bis 12 m bis zur Schichtgrenze Quartär/Tertiär. Die Mächtigkeit der ersten tertiären Schluff- und Tonschicht wurde mit ca. 1,5 m bis 3,7 m erkundet. Unterhalb dieser stehen die tertiären Sande des Aquifers T1 mit einer Mächtigkeit von ca. 5 m

bis 15 m an. Innerhalb des Aquifers T1 wurde im Bereich der Berg-am-Laim-Straße eine größere bindige Zwischenschicht bzw. Linse erkundet.

Die überschnittenen Bohrfahlwand, die als Mittelpfeiler der bestehende EÜ Berg-am-Laim fungiert, kommt vollständig in den quartären Kiesen zu liegen.

9.6 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen

Im Planfeststellungsabschnitt 3 Ost fällt Bodenaushub- und Tunnelausbruchmaterial an. Die wesentlichen aushubrelevanten Baumaßnahmen sind:

- Abzweigebauwerk Maximiliansanlagen und Rettungsschacht 7
- Rettungsschacht 8
- Offene Bauweise für den Neubau der S-Bahn Station Ostbahnhof tief
- Baugrube RS 9
- Offene Bauweise für Tunnel, Querung Berg-am-Laim-Straße, Zulauf Leuchtenberggring

Für genauere Hinweise wird auf Anlage 19, Kap. 2.2 verwiesen. Hinsichtlich einer Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials und des Gleisschotters sind zwei Kriterien zu beachten:

- Für eine Wiederverwertung innerhalb dieser oder in anderen Baumaßnahmen muss das Aushubmaterial die notwendigen Bodeneigenschaften für z. B. die Gründung von Ingenieurbauwerken und Gleiskörpern aufweisen. Dies ist bei kiesigen Auffüllungen, Schicht III (Quartäre Kiese) sowie teilweise bei Schicht V (Tertiäre Sande) der Fall. Die bindige Auffüllung, Schicht II (quartäre bindige Deckschichten) und IV (tertiäre Schluffe und Tone) sind für einen qualifizierten Wiedereinbau ohne Zusatzmaßnahmen nicht geeignet. Sollte dieses Bodenmaterial erdbautechnisch weiter verwendet werden, wird in der Regel eine zusätzliche Aufbereitung mit hydraulischen Bindemitteln erforderlich. Hierzu kommen Kalk- und / oder Zementzugabe in Betracht. Abweichend hiervon kann evtl. eine Wiederverwendung der tertiären Tone aufgrund der sehr schwachen Durchlässigkeit des Materials zum Beispiel als Deckschicht von Deponiekörpern im Zuge von Deponieschließungsprogrammen ohne Zusatzmaßnahmen möglich sein, wenn sie einen geeigneten Wassergehalt aufweisen.
- Es wird nur Material mit einer Schadstoffbelastung bis zur Einbauklasse Z 1.2 gemäß LAGA Mitteilung 20 wiedereingebaut. Dieses Kriterium ist in den geogenen Bodenschichten erfüllt. Die geogenen Hintergrundbelastungen

des Tertiärs mit Schwermetallen übersteigen den Z 1.2 Wert nicht. Anfallendes Aushubmaterial aus Bereichen mit vorhandener künstlicher Auffüllung wird beim Aushub separiert, auf Bereitstellungsflächen in Haufwerken zwischengelagert und einer Deklarationsanalyse unterzogen. Material der Einbauklassen Z 2 und > Z2 wird im Anschluss daran in geeigneten Depo-nien oder Bodenbehandlungsanlagen fachgerecht entsorgt.

Der anfallende Gleisschotter wird direkt an die OB Netz AG – Materialentsorgung (I.NPP) übergeben, welche die Oberbaustoffe wieder dem Materialkreislauf der OB AG zuführen oder, falls nicht möglich, fachgerecht entsorgt wird.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Conrad Boley

Boley Geotechnik GmbH

ppa. Dr.-Ing. Thomas Hochgürtel

Boley Geotechnik GmbH

Dipl.-Geol. Thomas Brunner

mplan eG

Dr. nat. techn. Jeannine Eisenmann

mplan eG