

2. S-Bahn-Stammstrecke München

geändert
DB ProjektBau GmbH, 31.05.2012 gez.: f.ppa. Scheller :/

Planfeststellung

Erläuterungsbericht

Planfeststellungsabschnitt 3neu

Vorhabenträger:



DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Richelstraße 3, 80634 München



DB Station & Service AG
Bahnhofsmanagement München
Bayerstraße 10a, 80335 München



DB Energie GmbH
Energieversorgung Süd
Richelstraße 3, 80634 München

München, den 18.02.2010
Erstellt im Auftrag der DB AG

Projektgesellschaft:



DB ProjektBau GmbH
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Arnulfstr. 27, 80335 München, Tel 089/1308-0

Beteiligte Planer und Gutachter:

Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München Gesamtkoordinierung und Generalplanung Los 2 und 4

OBERMEYER Planen+Beraten GmbH / DB-International / PSP Consulting Engineers GmbH
Beratende Ingenieure München

Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München Generalplanung Los 1 und 3

Lahmeyer München Ingenieurgesellschaft mbH / Dörsch Gruppe DC Verkehr und Infrastruktur GmbH

Fachplaner, Gutachter

DB Energie GmbH

DB Kommunikationstechnik GmbH System

DB Systemtechnik

DB ProjektBau GmbH, Regionalbereich RB-Süd

DB AG Sanierungsmanagement

Balfour Beatty Rail GmbH, Power Systems

Pöyry Infra GmbH

HD Rechtsanwälte

RAe Heinrich und Doerner

m-Plan eG

STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.

TU München, Zentrum Geotechnik

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Allgemeines	17
1.1	Allgemeine Projektbeschreibung	17
1.2	Aufgabenstellung	17
1.3	Verwendete Unterlagen/Literatur	18
2	Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme	20
3	Geologischer / Hydrogeologischer Überblick	21
3.1	Allgemeine geologische Verhältnisse	21
3.2	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse	22
3.3	Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten.....	23
3.4	Lagerstätten	24
3.5	Erdbebenzonen	24
4	Untersuchungsumfang oberirdische Strecke	26
4.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten.....	26
4.2	Projektspezifische Untersuchungen.....	26
4.2.1	Bohrungen nach DIN 4021	26
4.2.1.1	Rammkernbohrungen	26
4.2.1.2	Kleinrammbohrungen.....	26
4.2.2	Baggerschürfen.....	27
4.2.3	Bohrlochversuche	27
4.2.3.1	BDP nach DIN 4094-2	27
4.2.3.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5.....	27
4.2.3.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2	27
4.2.4	Rammsondierungen nach DIN 4094-3	27
4.2.5	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	27
4.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Boden	28
4.2.7	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser	29
4.2.7.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030.....	29
4.2.7.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter	29
4.2.8	Bodenluftuntersuchungen	30
5	Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen.....	31

5.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten und früheren Erkundungsprogrammen für die 2. S-Bahn-Stammstrecke München.....	31
5.2	Projektspezifische Untersuchungen.....	31
5.2.1	Bohrungen nach DIN 4021	32
5.2.2	Bohrlochversuche	33
5.2.2.1	BDP nach DIN 4094-2	33
5.2.2.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5.....	34
5.2.2.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2.....	34
5.2.3	Rammsondierungen nach DIN 4094-3	34
5.2.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	34
5.2.5	Chemische Laboruntersuchungen Boden	35
5.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser	37
5.2.6.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030.....	37
5.2.6.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter	37
5.2.7	Bodenluftuntersuchungen	39
6	Beurteilung der Baugrundverhältnisse	40
6.1	Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten	40
6.1.1	Oberboden und Auffüllungen / Schicht I.....	40
6.1.2	Quartäre bindige Deckschichten / Schicht II.....	42
6.1.3	Quartäre Kiese / Schicht III.....	44
6.1.4	Tertiäre Schluffe und Tone / Schicht IV.....	46
6.1.5	Tertiäre Sande / Schicht V.....	48
6.2	Geotechnische Streckenabschnitte / Bodenschichtung.....	50
7	Hydrologie und Hydrogeologie	51
7.1	Oberflächengewässer	51
7.2	Niederschlagssituation	51
7.3	Grundwasserverhältnisse.....	52
7.3.1	Verteilung der Grundwasseraquifere und Grundwasserhemmer	52
7.3.2	Grundwasserstände.....	53
7.3.3	Grundwasserströmung.....	54
7.3.4	Durchlässigkeitsverhältnisse.....	54
7.4	Bemessungswasserstände.....	55
7.4.1	Allgemeines.....	55
7.4.2	Bauzustand	55
7.4.2.1	Endzustand	56
8	Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdische Strecke.....	57
8.1	Strecke.....	57
8.1.1	Ostast, Strecke Bau-km 0,5+56 bis km 3,4+15	57
8.1.1.1	Gründung	57

8.1.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	57
8.1.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	58
8.1.1.4	Entwässerung	58
8.2	Ingenieurbauwerke	58
8.2.1	Fußgängersteg Leuchtenbergring	58
8.2.1.1	Gründung	58
8.2.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	59
8.2.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	59
8.2.1.4	Entwässerung	59
8.3	Stationen	60
8.3.1	Zugänge zum Bft Leuchtenbergring	60
8.3.1.1	Gründung	60
8.3.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	60
8.3.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	61
8.3.1.4	Entwässerung	61
8.3.1.5	Bahnsteig A.....	61
8.3.1.6	Gründung	61
8.3.1.7	Baugruben und Grundwasserhaltung	62
8.3.1.8	Beeinflussung bestehender Bauwerke	62
8.3.1.9	Entwässerung	62
8.4	Baustraßen	62
8.5	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen.....	63
9	Folgerungen für die Baumaßnahmen / Tunnelstrecken mit Trögen ..	64
9.1	Haltepunkt Ostbahnhof tief in offener Bauweise.....	64
9.1.1	Gründungen	64
9.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	65
9.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	66
9.2	Tröge und Tunnel in offener Bauweise	67
9.2.1	Gründungen	67
9.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	69
9.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	70
9.3	Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen	70
9.3.1	Maschineller Vortrieb	70
9.3.2	Spritzbetonvortrieb	73
9.3.3	Grundwasserhaltung	78
9.3.4	Beeinflussung bestehender Bauwerke	78
9.4	Schächte und Stollen	79
9.4.1	Herstellung	80
9.4.2	Grundwasserhaltung	82
9.4.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	83
9.5	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen.....	83
10	Grundwasserinanspruchnahme	86

10.1	Grundsätzliches - Grundwassernutzungen	86
10.2	Berechnungsmethoden.....	86
10.3	Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens.....	87
10.4	Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse.....	87
10.4.1	Grundwasseraufstau	87
10.4.2	Beeinflussung von Grundwassernutzern	89
10.4.2.1	Beeinflussung durch Injektionen	89
10.4.2.2	Beeinflussung durch Bauwasserhaltungen.....	89
10.5	Auswirkungen auf das Grundwasser in den einzelnen Streckenabschnitten	92
10.5.1	Maschineller Tunnelvortrieb	92
10.5.1.1	Wasserhaltung zur Bauzeit	92
10.5.1.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	92
10.5.1.3	Injektionen und Suspensionen.....	92
10.5.1.4	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerkes im Grundwasser	93
10.5.1.5	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	93
10.5.1.6	Kontrollen und Grundwassermessstellen	93
10.5.2	Abzweigstelle Praterinsel (Bau-km 108,0+76 – Bau-km 108,2+11).....	94
10.5.2.1	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	94
10.5.2.2	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit	95
10.5.2.3	Injektionen / Düsenstrahlkörper	95
10.5.2.4	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	95
10.5.2.5	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	96
10.5.2.6	Kontrollen und Grundwassermessstellen	96
10.5.3	Tunnel in offener Bauweise und Trog Ostast (Bau-km 110,0+44 bis Bau-km 110,3+23)	96
10.5.3.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	96
10.5.3.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	97
10.5.3.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers und des Niederschlagwassers zur Bauzeit	97
10.5.3.4	Baugrubenumschließung und Injektionen	97
10.5.3.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	98
10.5.3.6	Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand	98
10.5.3.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	100
10.5.4	Haltepunkt Ostbahnhof tief (Bau-km 109,3+25 bis Bau-km 109,3+71).....	100
10.5.4.1	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	101
10.5.4.2	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers und des Niederschlagwassers zur Bauzeit	102
10.5.4.3	Baugrubenumschließung und Injektionen / Düsenstrahlkörper.....	102
10.5.4.4	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	102
10.5.4.5	Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand	103
10.5.4.6	Kontrollen und Grundwassermessstellen	104
10.5.5	Rettungsschacht (RS 8 Bau-km 108,6+08)	104
10.5.5.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	104
10.5.5.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	104
10.5.5.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit	105
10.5.5.4	Baugrubenumschließungen und Injektionen / Düsenstrahlkörper.....	105
10.5.5.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	106
10.5.5.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	106
10.5.5.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	106
10.6	Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen	106

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 10.1:	Schemadarstellung Tunnelbauwerk im quartären Grundwasser bei HW_{End}	88
Abb. 10.2:	Berechnung angesetzter Baukörper im Grundwasser bei HW_{End}	89

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 3.1:	Tabellarische Zusammenstellung der Altlastenverdachtsflächen	23
Tab. 4.1:	Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen	28
Tab. 4.2:	Tabellarische Zusammenstellung der Chemischen Laboruntersuchungen	29
Tab. 5.1:	Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen	35
Tab. 5.2:	Tabellarische Zusammenstellung der Schadstoffuntersuchungen oberflächennaher Auffüllungen	36
Tab. 5.3:	Tabellarische Zusammenstellung der Grundwasseruntersuchungen auf LHKW im 200 Meter-Umgriff zur geplanten Trasse	38
Tab. 6.1:	Tabellarische Beurteilung der kiesigen Auffüllungen	41
Tab. 6.2:	Tabellarische Beurteilung der bindigen Auffüllungen	42
Tab. 6.3:	Tabellarische Beurteilung der quartären bindigen Deckschichten	44
Tab. 6.4:	Tabellarische Beurteilung der quartären Kiese	46
Tab. 6.5:	Tabellarische Beurteilung der tertiären Schluffe und Tone	48
Tab. 6.6:	Tabellarische Beurteilung der tertiären Sande	50
Tab. 7.1:	Grundwasserstände der Stichtagsmessung 46. KW 2009	54
Tab. 7.2:	Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und -versickerung	55
Tab. 9.1:	Maßgebliche Koten für den Aufgang Mitte des Haltepunkts Ostbahnhof tief und die Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof (offene Bauweise)	65
Tab. 9.2:	Maßgebliche Koten für den Tunnel in offener Bauweise und Trog im Ostast zum S-Bahnhof Leuchtenbergring	68
Tab. 9.3:	Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen, Grundwasserhaltung	70
Tab. 9.4:	Maßgebliche Koten für die maschinellen Tunnelvortriebe	70
Tab. 9.5:	Tabellarische Darstellung des Streckenabschnitts	71
Tab. 9.6:	Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb	74
Tab. 9.7:	Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb, Haltepunkt Ostbahnhof	74
Tab. 9.8:	Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb, Quergang West	75
Tab. 9.9:	Maßgebliche Koten für die Rettungsschächte und Stollen	80
Tab. 10.1:	Rechnerisch geförderte Wassermengen mit ungefährender Dauer der Maßnahmen	106

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Hydraulische Berechnungen; Abzweigstelle Praterinsel (Bau-km 108,0+76 bis Bau-km 108,2+11).
- Anhang 2: Hydraulische Berechnungen; Tunnel in offener Bauweise Ostast: Bau-km 110,0+44 bis Bau-km 110,3+23.
- Anhang 3: Hydraulische Berechnungen; Haltepunkt Ostbahnhof tief: gesamter Baubereich von Bau-km 109,2+30 bis Bau-km 109,5+04.
- Anhang 4: Hydraulische Berechnungen; Rettungsschacht: RS 8.

Abkürzungsverzeichnis

A

Abb.	Abbildung
ABS	Ausbaustrecke
Abzw	Abzweigstelle
AMPA	Hauptmetabolith des Herbizides Glyphosat
A _{Re}	Ersatzradius

B

b	Breite
BDP	Bohrlochrammsondierung
BE	Baustelleneinrichtung
Bf München Ost	Bahnhof München Ostbahnhof Personenbahnhof
Bf	Bahnhof
Bft	Bahnhofsteil
BK	Bohrung mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden nach DIN 4022
BoVeK	Bodenverwertungskonzept
BSRK	Brand- und Rettungsschutz Konzept
BW	Betriebswerk

C

CO	Kohlendioxid
Cu	Kupfer

D

D	Durchmesser
DB	(bei Grunderwerb) Dienstbarkeit für Landschaftspflegerische Maßnahmen
DB AG	Deutsche Bahn AG
DB PB	Deutsche Bahn ProjektBau GmbH
DIN®	Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.
DN	Nenndurchmesser

E

EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EG	Erdgeschoss
EN	Euro-Norm
ESTW	Elektronisches Stellwerk
EÜ	Eisenbahnüberführung

EPA	US-Umweltbehörde: Environmental Protection Agency
F	
FRS	Deutsche Bahn AG Sanierungsmanagement (FRS-S)
G	
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle
H	
h	Höhe
HA	Hauptast
HA-U-Bahn	Hauptabteilung U-Bahn
Hbf	Hauptbahnhof
HLP	Hauptbahnhof – Laim - Pasing
Hp	Haltepunkt
HW ₁₀	10-jährlichen Grundwasserstände
HW ₂₀₀	200-jährlichen Grundwasserstände
HW ₁₉₄₀	rekonstruierter Hochwasserstand aus dem Jahre 1940
HW _{Bau}	Höchster angenommener Grundwasserstand zur Bauzeit
HW _{End}	Höchster angenommener Grundwasserstand im Endzustand
I	
i	hydraulischer Gradient
K	
k	Durchlässigkeitsbeiwert
k _h	Wasserdurchlässigkeit in horizontaler Richtung
k _{mittel}	mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert bei Grundwasserförderung
k _{sick}	Durchlässigkeitsbeiwert für die Versickerung von Wasser
k _v	Wasserdurchlässigkeit in vertikaler Richtung
L	
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LfW	Landesamt für Wasserwirtschaft
LHKW	Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe
LHM	Landeshauptstadt München
M	
m	Meter
M	Maßstab

MPRA	München Abzweigstelle Praterinsel
max I	maximale Längsneigung
MDFG	München-Daglfing
MGI	Bf München Ost Pbf - Bft München-Giesing
MHBT	Hp München Hbf Bahnhofplatz tief
MHT	Hp München Hbf tief
min	minimal
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
ML	Bf München-Laim Pbf
MLEU	Bf München Ost Pbf - Bft München-Leuchtenbergring
MOP S	Bf München Ost Pbf - Bft München Ost (Gleise 1 - 5)
MOP T	Hp München Ostbahnhof tief
MRO	Mittlerer Ring Ost
MRI W	München-Riem West
MSE	Münchener Stadtentwässerung
MSTH	München-Steinhausen Bbf
Mü	München
müNN	m über Normal Null (Höhenangabe)
MVG	Münchner Verkehrsgesellschaft
MVV	Münchner Verkehrs- und Tarifverbund
N	
NA	Nebenast
NKU	Nutzen-Kosten-Untersuchung
NN	Normal Null
NNW	Nordnordwest
NO	Nordost
No _x	Stickoxid
NW	Nordwest
NWFreiV	Niederschlagswasserfreistellungsverordnung
O	
OK	Oberkante
P	
PAK	Kohlenwasserstoffe
Pbf	Personenbahnhof
PBSM	Pflanzenbehandlungs- und -schutzmittel
PE	Polyäthylen
PFA	Planfeststellungsabschnitt

PKW	Personenkraftwagen
PSS	Planumsschutzschicht
POK	Oberkante von Grundwasserpegeln
PVC	Poly-Vinyl-Chlorid

Q

Q/T-Aquifer	Aquifer in dem Quartär und Tertiär nicht hydraulisch getrennt sind
-------------	--

R

R	Radius
r_a	Radiusausrundung
Rbf	Rangierbahnhof
RGU	Referat für Gesundheit und Umwelt
Ril	Richtlinie
RS	Rettungsschacht

S

SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
SEW	Stadtentwässerungswerke
SG	Sperrgeschoss
SM	Schwermetalle
SO	Schienenoberkante
SpB	Spritzbeton
Stw	Stellwerk
SÜ	Straßenüberführung
SVZ	Spätverkehrszeit
SWM	Stadtwerke München

T

t	Gründungstiefe
temp.	temporär
TUM-ZG	Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München
TVM	Tunnelvortriebsmaschine

U

UG	Untergeschoss
UK	Unterkante

V

W

WWA Wasserwirtschaftsamt München

Z

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 geplante zweigleisige S-Bahn-Stammstrecke, beginnend in Laim und endend im Bf München Ost im Bft Leuchtenbergring mit den dazwischen liegenden Haltepunkten Hauptbahnhof Bahnhofplatz tief, 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. am bestehenden Hp Marienplatz).

Hochlage / Tieflage

Mit „Hochlage“ wird eine oberflächennahe Trasse des 2. S-Bahntunnels bezeichnet (rd. 16 m unter GOK), während die „Tieflage“ bis zu 41 m unter GOK reicht.

Ostast

Als Ostast wird die Anlage von der Abzw Praterinsel bis Bft Leuchtenbergring bezeichnet.

Bf München Hauptbahnhof / Hauptbahnhof

Der Bf München Hauptbahnhof umfasst alle Bahnanlagen des Fern- und Regionalverkehrs zwischen dem Bahnhofplatz und der Donnersbergerbrücke. Im nachfolgenden Bericht ist mit dieser Bezeichnung in der Regel der Bereich der oberirdischen Bahnsteiganlagen zwischen Arnulf- und Bayerstraße gemeint.

Die Stationsanlage Hauptbahnhof an der 2. S-Bahn-Stammstrecke trägt bahnintern die Bezeichnung „Hp München Hauptbahnhof Bahnhofplatz tief“. Im vorlie-

genden Bericht wird der „Hp München Hauptbahnhof Bahnhofplatz tief“ an der 2. S-Bahn-Stammstrecke vereinfachend als „Hp Hauptbahnhof“ bezeichnet.

Bf München Ost Pbf / Ostbahnhof / Bft Leuchtenbergring

Der Bf München Ost Pbf umfasst neben den Bahnanlagen für den Fern-, Regional- und Güterverkehr auch die Anlagen des S-Bahn-Verkehrs. Diese sind unterteilt in die Bahnhofsteile Bft München Ost (S-Bahn) und Bft Leuchtenbergring.

Im vorliegenden Bericht wird der „Bft München Ost (S-Bahn)“ vereinfachend als „Ostbahnhof“ bezeichnet. Die Bezeichnung „Bf München Ost“ wird verwendet, wenn die Gesamtanlage des Bahnhofes gemeint ist.

Die neue unterirdische Stationsanlage Ostbahnhof an der 2. S-Bahn-Stammstrecke trägt bahnintern die Bezeichnung „Hp München Ostbahnhof tief“.

Planfeststellungsabschnitt 3Neu

Strecke 5547: Bau-km 107,8+53 – 110,7+11 (Bereich westliches Isarufer bis Leuchtenbergring (Ostast))

Strecke 5553: km 0,5+97 – 1,6+00 (Bereich Ostbahnhof bis östlich Bft Leuchtenbergring)

Strecke 5554: km 0,5+97 – 1,6+13 (Mü Ost bis Mü Daglfing)

Strecke 5603: km 0,5+97 – 1,4+56 (Mü Ost bis Abstellanlage Steinhausen)

1 Allgemeines

1.1 Allgemeine Projektbeschreibung

Das Projekt 2. S-Bahn-Stammstrecke (Laim – Ostbahnhof / Leuchtenbergring) umfasst den Neubau einer zweigleisigen elektrifizierten S-Bahn-Strecke 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 zwischen dem Bahnhofsteil Ostbahnhof (östlich der Wendeanlage) und dem Bahnhofsteil Leuchtenbergring. Das Bauvorhaben beinhaltet drei neue Stationen am Hauptbahnhof, am Marienhof und am Ostbahnhof tief, sowie den Umbau bzw. die Erweiterung der Stationen in Laim und am Leuchtenbergring. Im Zusammenhang mit der Erweiterung im Bf Laim wird auch die so genannte „Umweltverbundröhre“ (UVR) mit errichtet (vgl. auch Erläuterungsbericht Anlage 1).

1.2 Aufgabenstellung

Der vorliegende Erläuterungsbericht "Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft", erstellt durch das Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München (TUM-ZG) und mplan eG, bezieht sich auf den Planfeststellungsabschnitt 3neu.

Folgende Streckenabschnitte wurden von TUM-ZG bearbeitet:

- Strecke 5547: Bau-km 107,8+53 bis 110,3+23-38

Folgender Streckenabschnitt wurde von mplan eG bearbeitet:

- Strecke 5553: km 0,6+20 bis 1,6+00

Mit dem Erläuterungsbericht werden die Ergebnisse der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen im Hinblick auf die Planfeststellung für den Planfeststellungsabschnitt 3neu 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 bautechni-

schen Konsequenzen aufgezeigt und beurteilt. Zur Beschreibung der möglichen Auswirkungen der Baumaßnahmen auf das Schutzgut Boden und Wasser werden hier die geotechnischen Maßnahmen beschrieben. Die Bewertung erfolgt in Anlage 21.1.4.

1.3 Verwendete Unterlagen/Literatur

- U 1: EDR (2003): Geotechnische Bestandsaufnahme 2. S-Bahn-Stammstrecke, Erläuterungsbericht
- U 2: DIN 4021 (1990/10): Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Deutsches Institut für Normung
- U 3: DIN 4094-2 (2003/05): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 2: Bohrlochrammsondierung; Deutsches Institut für Normung
- U 4: DIN 4094-3 (2002/01): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 3: Rammsondierungen; Deutsches Institut für Normung
- U 5: DIN 4094-5 (2001/06): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 5: Bohrlochaufweitungsversuche; Deutsches Institut für Normung
- U 6: DIN 18130-2 Entwurf (2003/10): Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 2: Feldversuche; Deutsches Institut für Normung
- U 7: DIN 4149-1 (1981-04): Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Deutsches Institut für Normung
- U 8: DIN 4149 Entwurf (2002-10): Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Deutsches Institut für Normung
- U 9: Stadtkarten der Landeshauptstadt München, Baureferat, U-Bahn-Bau:
Grundwasserisohypsen, Rekonstruktion des Hochwassers Sommer 1940 (HW 1940), M 1:10000
Grundwasserisohypsen vom August 1984, M 1:5000
Grundwasserisohypsen vom Juli 1988, M 1:5000
Grundwasserisohypsen vom Juli 1990, M 1:5000
Grundwasserisohypsen vom Juli 1992, M 1:5000
- U 10: Einschlägige DIN Normen in der jeweils gültigen Fassung
- U 11: Ril 836 der DB Netz AG (20.12.1999)
- U 12: Stellungnahme zur Festlegung von Bemessungswasserständen auf der Grundlage statistischer Analysen langjähriger Grundwasserbeobachtungen (TU München, Zentrum Geotechnik vom 17.5.2004)
- U 13: DE-Consult, Baugrundgutachten Umfahrung Berg am Laim (Auszüge)
- U 14: mplan (2004), Baugrundgutachten Fußgängersteg Leuchtenbergring für LH München
- U 15: VOGT, N.: Geotechnisches Gutachten – 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Los 2, München
- U 16: DE-Consult, Baugrundgutachten Umfahrung Berg am Laim (Auszüge)
- U 17: mplan eG (2004), Baugrundgutachten Neubau elektrisches Stellwerk
- U 18: mplan eG (2005), Baugrundgutachten Verkehrsanlagen PA 3

- U 19: mplan eG (2005), Baugrundgutachten Bft Leuchtenbergring, Bahnsteige A und B sowie Zugangsbauwerke Fußgängersteg
- U 20: mplan eG (2005), Baugrundgutachten Bft Leuchtenbergring, Bahnsteig C und Zugangsbauwerke
- U 21: mplan eG (2005), Baugrundgutachten Neubau der südlichen Stützwand, Gleis 6n

2 Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme

Die Linienführung im Bereich des Planfeststellungsabschnitts 3neu folgt zunächst dem durch den Planfeststellungsabschnitt 2 vorgegebenen Trassenverlauf aus der Maximilianstraße von Westen kommend und schwenkt vor dem Max II-Denkmal nach Süden. Nach der Unterquerung der Großen Isar (etwa parallel zum Praterwehr), der Praterinsel und der Kleinen Isar werden die Maximiliansanlagen südlich des Maximilianeums passiert. Im Bereich der Maximiliansanlagen ist die Abzweigstelle Praterinsel (MPRA) angeordnet. Ab hier erstreckt sich der Ostast in Richtung Leuchtenbergring (MLEU) mit einem unter dem Orleansplatz neu herzustellenden Haltepunkt München Ostbahnhof tief (MOP T). Der Südast ist Bestandteil einer späteren Ausbaustufe der SBSS.

Ostast

Der Ostast unterquert die Innere Wiener Straße, den Preysingplatz, die Preysing-, Pütrich-, Milch-, Keller-, Stein- und Metzstraße, die Weißenburgerstraße und die Orleansstraße in einer lang gezogenen Linkskurve und verläuft anschließend näherungsweise parallel zur Orleansstraße und unterquert schließlich die Berg am Laim Straße bevor er kurz vor dem Bft Leuchtenbergring an die Oberfläche auftaucht.

3 Geologischer / Hydrogeologischer Überblick

3.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Im Bereich der 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Planfeststellungsabschnitt, PFA 3neu stehen ab der Geländeoberfläche in der Regel zunächst geringmächtige Decklagen, überwiegend aus Humus und Verwitterungsschichten oder teils mehrere Meter dicke künstliche Auffüllungen an. Nur im Bereich des Leuchtenbergrings ist zusätzlich eine bis zu ca. 4,5 m mächtige quartäre Tonüberdeckung (Lößlehm) bekannt. Darunter folgen, als Teil der Münchner Schotterebene, bis in Tiefen zwischen ca. 5 m und 14 m eiszeitliche (Hochterrasse und Niederterrasse) 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 Schluff- und Sandsteine sowie Kristallingerölle vorkommen. Aufgrund ihrer Ablagerung im fließenden Wasser sind die Kiese erfahrungsgemäß etwa 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 etwa horizontalen Schichtgrenzen sowohl horizontale als auch vertikale Schichtübergänge und seitliches 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 ist sind. Die Quartärschotter sind unterschiedlich stark verwittert, wobei der Anteil entfestigter, zu Feinkorn zerfallender Gerölle mit steigendem Grad der Verwitterung zunimmt. Aus den quartären Schottern sind Verfestigungen zu Konglomerat (Nagelfluh) mit unregelmäßiger Verteilung, Häufigkeit und Ausdehnung bekannt.

Unter dem Quartär folgen bis in sehr große Tiefe die früher abgelagerten Bodenschichten des Tertiärs, die tektonisch zur ungefalteten Oberen Süßwassermolasse gehören. Die Tertiärablagerungen sind durch etwa horizontal verlaufende lebhaft Wechsellagerung von Sand-, Ton-, Schluff- und in geringerem Umfang

auch Kiesschichten gekennzeichnet. Charakteristisch für das Münchner Tertiär ist ~~ist~~ 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 sowie seitliches Auskeilen von Bodenschichten auf. Aus dem Münchner Stadtgebiet sind Reliefunterschiede der Tertiäroberfläche von mehreren Metern innerhalb weniger Meter Horizontaldistanz bekannt, die eine Form von Rinnen, Mulden, Erhebungen oder vom Quartärschotter überdeckten alten Terrassenstufen aufweisen. Die tertiären Böden sind bereichsweise durch Kalk zu Festgestein verfestigt.

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 wirksame hydraulische Trennung zum Quartär vorliegt, entsteht ein gemeinsamer Quartär/Tertiär - Aquifer, in dem sich die Potentiale des Quartäraquifers einstellen.

Die quartären Schotter sind grundwasserführend und besitzen überwiegend einen ganzjährig geschlossenen Grundwasserspiegel. Die Grundwasserfließrichtung folgt dem großräumigen Gefälle der Geländeoberfläche nach NNO, wobei in Isarnähe auf der Ostseite immer ein Umschwenken nach WNW bis NW zur Isar hin vorliegt. Lokal tritt 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

kann im Tertiär auch eine Gliederung in mehrere Grundwasserstockwerke gegeben sein, wobei die tieferliegenden Aquifere teils geringere Potentiale aufweisen als die Höherenhöheren.

3.3 Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten

Im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Sanierungsmanagement (FRS-S) wurden im Rahmen des 4-Stufen-Programms ökologische Altlasten auf Bahnliegenschaften im Bereich der Baumaßnahme im Planfeststellungsabschnitt 3neu folgende Gutachten in Auftrag gegeben:

- Historische Erkundung des Standortes München-Ost- Bahnhof München-Ost, Güterbahnhof, Betriebswerk Bw 4 am Rangierbahnhof sowie die Außenstrecken im Stadtgebiet München nach Johanneskirchen, nach Riem und nach Trudering; Fa. BfU GmbH, von 1998
- Orientierende Untersuchung des Standortes 6164 München-Ost auf Liegenschaften der Deutschen Bahn AG. Fa. BfU GmbH vom 25.02.2000

Weiterhin liegt folgendes Gutachten vor:

- Beweissicherung auf dem Areal des Orleansparks, München-Ost. Fa. BfU GmbH vom 16.12.1997

Folgende Altlastenverdachtsflächen befinden sich im Umgriff der Baumaßnahme:

Teilfläche (Nr./ Bezeichnung)		Lage	ALVF im relevanten Bereich	Borungen	davon Boden	davon Wasser
6164-027	Ehem. Firma Straub und Flach	Bau-km 110,15	B-006164-027 HK 1.2	8 RKS	15 Proben MKW 16 Proben PAK	-
6164-031	Ladestraße	Bau-km 110,25 bis 110,55	B-006164-031 HK	-	erhöhte BTX-, MKW- und PAK-Gehalte	-
6164-032	Kriegseinwirkungen (Bombenrichter)	Bau-km 110,6 bis 111,2	B-006164-032 HK 1.1	5 RKS 2 GWMS	10 PAK, 3 Cyanide, Phenole	4 Proben BTX, 2 Proben PAK, LHKW, SM

Tab. 3.1: Tabellarische Zusammenstellung der Altlastenverdachtsflächen

Die im Rahmen der Historischen Altlastenerkundung durchgeführte Luftbilddauswertung zur Feststellung der Kriegseinwirkungen auf den Flächen der DB AG zeigte, dass im Bereich der vorhandenen Gleisanlagen des Planfeststellungsabschnittes 3neu etliche verfüllte Bombenrichter vorhanden sind. Eine Gefährdung für das Schutzgut Mensch oder Grundwasser wurde bei derzeitiger Nutzung seitens des Gutachters nicht festgestellt. Im Rahmen der Orientierenden Untersuchungen wurden demzufolge keine weiteren Untersuchungsschritte veranlasst.

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 Bft Leuchtenbergring erkundet.

Aufgrund der dichten Bebauung und intensiven Flächennutzung (z.B. Gleisanlagen) im Bereich der 2. SBSS im PFA 3neu 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:1981-04 Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten liegt das ganze Projektgebiet in der Erdbebenzone 0.

Die „Seismic Hazard Map of the D – A – CH Countries“, wurde 1998 von Grünthal, 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.

4 Untersuchungsumfang oberirdische Strecke

4.1 Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten

Unterlagen aus Fremdprojekten wurden im Rahmen einer geotechnischen Bestandsaufnahme für die 2. SBSS [U1], die auf einer Datenrecherche bei Vertretern öffentlicher Belange basiert, in einem Erläuterungsbericht zusammengefasst. Darin enthalten und beurteilt sind in einem Korridor 500 m links und rechts der geplanten Trasse Unterlagen zu Bohrungen, Grundwassermessstellen, Tiefbrunnen sowie hydrologische Beobachtungen.

4.2 Projektspezifische Untersuchungen

Die nachfolgend genannten Untersuchungen sind z.T. gleichzeitig Bestandteil der Baugrunduntersuchungen für die vorbereitenden Maßnahmen im Umgriff des Bft Leuchtenbergring (Vorwegmaßnahme) zur 2. S-Bahn-Stammstrecke München, PFA 3A. Die Untersuchungen sind in der nachfolgenden Aufstellung Abschnitt 4.2.1 ff enthalten. Die Bohr- und Untersuchungspunkte im Trassenverlauf sind in den Lageplänen Anlage 18.3 und in den geologischen Schnitten, Anlage 18.4 dargestellt. Die Untersuchungen wurden im Zeitraum März 2004 bis Juni 2005 durchgeführt.

4.2.1 Bohrungen nach DIN 4021

4.2.1.1 Rammkernbohrungen

Rammkernbohrungen mit Kerngewinnung $d > 100$ mm, Bohrtiefen 10 bis 15 m unter GOK: 9 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an jedem Ansatzpunkt ein Vorschacht $d = 300$ mm mit Tiefen von 1,5 bis 2,0 m ausgeführt. Im Zuge dessen wurde auch das geologische Profil aufgenommen und eine Beprobung des Materials durchgeführt.

4.2.1.2 Kleinrammbohrungen

Kleinrammbohrungen DN 50 bis 100 mm, Bohrtiefen 1 bis 6 m: 25 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an jedem Ansatzpunkt ein Vorschacht $d = 300$ mm mit Tiefen von 1,5 bis 2,0 m ausgeführt. Im Zuge dessen wurde auch das geologische Profil aufgenommen und eine Beprobung des Materials durchgeführt.

4.2.2 Baggerschürfen

Baggerschürfen wurden nicht durchgeführt.

4.2.3 Bohrlochversuche

4.2.3.1 BDP nach DIN 4094-2

BDP-Tests wurden in den Rammkernbohrungen gem. Abschnitt 4.2.1.1 durchgeführt. Anzahl der Bohrlochrammsondierungen (BDP): 12 Stück

4.2.3.2 Bohrlöchaufweitungsversuche nach DIN 4094-5

Bohrlöchaufweitungsversuche wurden nicht durchgeführt.

4.2.3.3 Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2

Durchlässigkeitsversuche wurden nicht durchgeführt.

4.2.4 Rammsondierungen nach DIN 4094-3

Rammsondierungen DIN 4094-DPH, Sondiertiefen 2 bis 8 m: 23 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an jedem Ansatzpunkt ein Vorschacht $d = 300$ mm mit Tiefen von 1,5 bis 2,0 m ausgeführt. Im Zuge dessen wurde auch das geologische Profil aufgenommen und eine Beprobung des Materials durchgeführt.

4.2.5 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Aus den Bodenaufschlüssen wurden insgesamt 364 Bodenproben und 2 Grundwasserproben für bodenmechanische und umweltanalytische Untersuchungen entnommen. An ausgewählten Proben wurden folgende bodenmechanischen Untersuchungen durchgeführt:

Anzahl Versuche	Versuch	DIN
364	Visuelle und manuelle Beurteilung	4022
32	Wassergehalt (Ofentrocknung) Gesamtprobe Gesamtprobe und $\varnothing < 0,4$ mm	18121-1
32	Fließ- und Ausrollgrenze	18122-1
44	Siebung, nass	18123
10	Siebung / Sedimentation	

Tab. 4.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen

4.2.6 Chemische Laboruntersuchungen Boden

Entsprechend der Probenahmeanweisung Altlastenuntersuchung wurden aus Suchschlitzen und Bohrkernen von Bohrungen und Rammsondierungen bei anthropogenen Auffüllungen und dem liegenden gewachsenen Boden Altlastenproben entnommen. Für die Entnahme, Lagerung und Benennung der Bodenproben waren die Normen DIN 18196, 4021 und 4022 Grundlage.

Unter Berücksichtigung der geplanten Bebauung wurden 4 Felder -von der Startbaugrube südlich des Haidenauplatzes bis zum Leuchtenbergring gebildet, deren Einzelproben zu horizontalen Mischproben zusammengefasst wurden. Der Horizont 0 m – 0,5 m (0,7; 0,8) wurde unter der Annahme, dass er im Zuge der Baumaßnahme ausgebaut und verwertet / entsorgt wird, feldweise auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat analysiert. Zusätzlich wurde dieser Horizont der Felder 3 und 4 auf Pflanzenschutzmittel (PBSM) nach DB-Anforderung geprüft. Beim Tunnelportal Leuchtenbergring (Feld 1) wurde der liegende Horizont bis 3,0 m auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat analysiert. Bei den Feldern 2 – 4 der freien Strecke war für den liegenden Horizont bis 2,0 m noch nicht geklärt, ob er ausgebaut und verwertet / entsorgt werden oder verbleiben, bzw. bis in welche Tiefenlage er ausgebaut werden wird. Er wurde feldweise auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat analysiert. Bei den Feldern 3 und 4 wurde auch der Horizont 2,0 m – 4,5 m bzw. 5,0 m beprobt und untersucht. Unter der Annahme, dass er sicher verbleibt, wurde er im Original gemäß dem LfW-Merkblatt 3.8/1 auf die Parameter PAK (EPA), MKW und Schwermetalle (SM) untersucht.

Für die Bodenproben sind bei Ausbau und Verwertung/Entsorgung die Technischen Regeln Nr. 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Bewertungsgrundlagen. Zur Einstufung der Herbizidgehalte fand das LfU-Merkblatt Nr. 3.4/2

(1. Juli 2007) Anwendung. Es werden Einbauklassen definiert, für deren Obergrenze die Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 Vorgaben sind.

Auffüllböden bis Z 1.1 und bei günstigen hydrogeologischen Bedingungen bis Z 1.2 können gemäß den Technischen Regeln vor Ort wieder eingebaut werden.

Feld	Horizont m u. GOK	Einstufung					
		LAGA-Klassen				LfW-Hilfswerte	
		Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	Hw 1	Hw 2
1. Tunnelportal Leuchten- bergring	0-0,5			Zn			
	0,5-3,0	X					
2. Freie Strecke Bau-km 110,05 – 110,33	0-0,7		AMPA				
	0,7-2,0			Hg			
	2,0-3,7					As	
3. Freie Strecke Bau-km 110,5 – 110,84	0-0,8				AMPA		
	0,6-2,0	X*					
	2,0-5,0	X*					
4. Freie Strecke Bau-km 110,84 – 111,13	0-0,7		PAK				
	0,7-2,0		PAK, Hg				
	2,0-4,5	X					

Tab. 4.2: Tabellarische Zusammenstellung der Chemischen Laboruntersuchungen

*) Einstufung Z 0 ohne PBSM-Analyse

Die Auffüllungen beinhalten lokal begrenzte schädliche Verunreinigungen, die eine Einstufung in LAGA Z 1.1 bis Z 1.2 erfordern. AMPA, der Hauptmetabolit des Pflanzenschutzmittels Glyphosat, wurde im obersten Horizont von Feld 3 in einer Konzentration festgestellt, die eine Einstufung in LAGA Z 2 erfordert. Da die Untersuchungsergebnisse bereits von 2004 stammen, ist von einem zwischenzeitlich erfolgtem natürlichen Abbau organischer Parameter (AMPA) und somit einer günstigeren Einstufung auszugehen.

4.2.7 Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser

4.2.7.1 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

Zwei Wasserproben aus Bohrungen im Umgriff der EÜ Leuchtenbergring wurden nach DIN 4030 auf Betonaggressivität untersucht.

4.2.7.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Im Bereich der oberirdischen Strecke wurden keine Grundwasseranalysen auf umweltrelevante Parameter durchgeführt.

4.2.8 Bodenluftuntersuchungen

Bodenluftuntersuchungen waren nicht Gegenstand des Untersuchungsprogramms.

5 Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen

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

Unterlagen aus Fremdprojekten wurden im Rahmen einer Geotechnischen Bestandsaufnahme für die 2. SBSS [U 1], die auf einer Datenrecherche bei Vertretern öffentlicher Belange basiert, in einem Erläuterungsbericht zusammengefasst. Darin enthalten und beurteilt sind in einem Korridor 500 m links und rechts der ursprünglich geplanten Trasse des PFA 3 Unterlagen zu Bohrungen, Grundwassermessstellen (GWM), Tiefbrunnen sowie hydrologische Beobachtungen.

Zusätzlich können für die Bereiche des Praterwehrs, des Ostbahnhofs und des Leuchtenbergrings folgende 25 Bohrungen aus der Bohrkampagne Baugrunderkundung der 2. S-Bahn-Stammstrecke München PFA 3 sowie PFA 3neu (Jahr 2008) verwendet werden: (2 S-7/06, 2S-O7/31, 2S-O8/31, 2S-O8/32, 2S-O8/33, 2S-O8/S34, 2S-O9/32, 2S-O9/33, 2S-O9/34, 2S-O9/S35, 2S-S1/31, 2S-S1/S32, 2S-S1/33, 2S-S1/S34, 2S-S1/S35, 2S-S1/36, 2 S-9/06, 2 S-9/12, 2 S-9/S05, 2 S-9/24, 2 S-9/04, 2 S-10/01, 2 S-L1/S02, 2 S-L1/03, 2 S-L1/04). Diese Bohrungen können aufgrund der Trassennähe sowie der ausreichenden Bohrtiefe unmittelbar einbezogen werden und sind deshalb im Lageplan (Anlage 18.3) und im Schnitt (Anlage 18.4) dargestellt.

Die Ergebnisse aus früheren Erkundungsprogrammen des Planfeststellungsabschnitts 3 sind in die Beurteilungen der Abschnitte 6.1 ff eingeflossen.

5.2 Projektspezifische Untersuchungen

Im Rahmen der aktuellen Baugrunduntersuchungen für den PFA 3neu wurde das Untersuchungsprogramm in 2 Phasen unterteilt. Die Phase 1 (Ausführungszeitraum: Juni 2009 bis August 2009) wurde auf die gestellte Planungsaufgabe (Planfeststellung) und den hierzu notwendigen Aussagetiefgang ausgerichtet. Die Phase 2 (Ausführungszeitraum: August 2009 und September 2009) wurde im Zuge der weitergehenden Planungen als Grundlage für vertiefende Beurteilungen, insbesondere im Hinblick auf eine Entwurfsplanung durchgeführt. In dem vorliegenden Erläuterungsbereich der Anlage 18.1 sowie den Planunterlagen

Anlage 18.4 eingetragen. Die Messstellen werden weiterhin regelmäßig gemessen.

Während der Bohrarbeiten und der nachfolgenden Bodenansprache (Bohrkernaufnahme) durch Mitarbeiter von TUM-ZG wurden Bodenproben der jeweils erforderlichen Güteklasse nach DIN 4021 zur Untersuchung im bodenmechanischen Labor entnommen.

Die Bohrlöcher wurden im Bereich tertiärer Bodenschichten mit Dämmersuspension und im Bereich der quartären Kiese mit dem erbohrten Bodenmaterial oder Filterkies sowie zur Oberflächenabdichtung mit Quellton bzw. Beton verfüllt.

5.2.2 Bohrlochversuche

Im Rahmen der Bohrarbeiten wurden in Bohrteufen, die durch Mitarbeiter von TUM-ZG festgelegt wurden, Bohrlochversuche zur Bestimmung von Bodenkennwerten geplant und von den Firmen der Arge (Terrasond / Abt), Geotechnisches Ingenieurbüro Prof. Fecker & Partner GmbH (GIF) sowie der Harres Pickel Consult GmbH (HPC) durchgeführt. Folgende Versuchsarten wurden in situ durchgeführt:

- Bohrlochrammsondierungen (BDP) zur Ermittlung von Lagerungsdichten
- Bohrlöchaufweitungsversuche zur Abschätzung der Baugrundsteifigkeit
- Durchlässigkeitsversuche zur Abschätzung der Baugrunddurchlässigkeit

5.2.2.1 BDP nach DIN 4094-2

In den Bohrlöchern im Bereich der Tröge zum Bft Leuchtenbergring, den sich anschließenden Tunnelbauwerken in offener Bauweise, dem Haltepunkt Ostbahnhof tief, des Rettungsschachts RS 8 sowie beim ursprünglich geplanten Aufgang zum Pariser Platz wurden je 2 bis 4 Bohrlochrammsondierungen BDP pro Bohrung (ehem. Standard-Penetration-Test SPT) nach DIN 4094-2 (insgesamt 16 Stück im PFA 3neu) in Tiefen zwischen ca. 3 m und ca. 12 m unter Ansatzpunkt durchgeführt.

Die Ergebnisse aus den Bohrlochrammsondierungen BDP sind in die Beurteilungen der Abschnitte 6.1 ff eingeflossen.

5.2.2.2 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5

Zur Abschätzung von Verformungskennwerten für das anstehende Gebirge wurden bevorzugt im Bereich der Firste und der Sohle der geplanten Tunnelbauwerke sowie im Sohlbereich des Haltepunkts Ostbahnhof tief in Tiefen von ca. 23 m bis 49 m unter GOK insgesamt 10 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5 durchgeführt. 9 Versuchsstrecken lagen in tertiären Tonen / Schluffen, 8 davon mit überwiegend halbfester bis fester Konsistenz, 1 in einer Schicht steifer bis halbfester Konsistenz. 1 weitere Versuchsstrecke lag in tertiären Sanden mit einem mittleren Anteil an Feinkorn. Zum Einsatz kamen aufgrund der geologischen Verhältnisse ausschließlich Seitendrucksonden (Durchmesser 101 mm).

Die Ergebnisse aus den Bohrlochaufweitungsversuchen sind in die Beurteilungen der Abschnitte 6.1 ff eingeflossen.

5.2.2.3 Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2

Im Einflussbereich der Tunnelbauwerke und Schächte sowie der offenen Tunnelbauweise am Hp Ostbahnhof tief wurden in grundwasserführenden Schichten Durchlässigkeitsversuche zur Ermittlung der k-Werte in fertig ausgebauten Grundwassermessstellen durchgeführt. Dabei wurden in tertiären Sanden sowohl Kurzpumpversuche als auch Einschwingversuche durchgeführt. Insgesamt wurden 15 Durchlässigkeitsversuche (7 Einschwingversuche und 8 Kurzpumpversuche) durchgeführt.

Die Ergebnisse aus den Durchlässigkeitsuntersuchungen sind in die Beurteilungen der Abschnitte 6.1 ff eingeflossen.

5.2.3 Rammsondierungen nach DIN 4094-3

Es wurden keine Rammsondierungen durchgeführt.

5.2.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Es wurden in allen drei Planfeststellungsabschnitten Bohrproben für bodenmechanische Untersuchungen ausgewählt und folgende bodenmechanische Untersuchungen durchgeführt:

Versuch	DIN
Visuelle Beurteilung Visuelle und manuelle Beurteilung	4022
Wassergehalt (Ofentrocknung) Gesamtprobe Gesamtprobe und $\varnothing < 0,4$ mm	18121-1
Fließ- und Ausrollgrenze	18122-1
Siebung, nass Siebung / Sedimentation Sedimentation	18123
Trockendichte und Wassergehalt	18125-1
Einaxiale Druckfestigkeit mit Verformungsmessung	in Anlehnung an 18136 und Empfehlung 1 des Arbeits- kreises 3.3 DGGT
Korndichte	18124
Oedometerversuche	18135
Dreiaxialer Druckversuch CU-Versuch CD-Versuch	18137-2
Wasserdurchlässigkeit	18130-1
Wasseraufnahmevermögen	18132
Quelldruck	-

Tab. 5.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen

5.2.5 Chemische Laboruntersuchungen Boden

Bei Erkundungsbohrungen, die im Bereich geplanter Rettungsschächte und des Haltepunkts Ostbahnhof tief liegen, wurden Proben aus der anthropogenen Auffüllung genommen, vertikal zu Mischproben vereint und auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat untersucht. Es wurden insgesamt 4 Bohrungen an geplanten Rettungsschächten und Bohrungen am geplanten Haltepunkt Ostbahnhof tief und 7 Bohrungen untersucht.

Folgende Tabelle stellt die Einstufung der einzelnen Bereiche in die LAGA-Klassen dar:

Schadstoffuntersuchungen an oberflächennahen Auffüllungen im Tunnelbereich an Rettungsschächten (RS) und dem Haltepunkt (Hp) Ostbahnhof tief						
Bezeichnung	Bohrpunkt	Mächtigkeit der Auffüllung [m]	Untersucher Horizont m u.GOK	Mischprobe	Einstufung nach LAGA	Maßgebender Parameter
RS7 Maximiliananlagen	2S-O8/32	1,40	0,0 – 2,0	MP04	Z 1.1	PAK = 1,39 mg/kg
RS8 Milchstraße 1	2S-O8/54	1,40	0,1 – 1,4	MP01/2009	Z 0	
RS8 Milchstraße 7	2S-O8/55	2,00	0,0 – 2,0	MP02/2009	Z 0	
Pariser Platz	2S-O9/52	6,00	0,0 – 2,0	MP07/2009	> Z 2	PAK = 26,72 mg/kg
			2,0 – 3,0	MP08/2009	Z 0	
			3,0 – 6,0	MP09/2009	Z 0	
Hp Ostbahnhof tief	2S-O9/55	4,00	0,2 – 1,5	MP03/2009	Z 1.1	PAK = 1,417 mg/kg
			1,5 – 4,0	MP04/2009	Z 0	
Hp Ostbahnhof tief	2S-O9/S56	1,00	0,1 – 1,0	MP05/2009	Z 1.2	PAK = 5,487 mg/kg
Hp Ostbahnhof tief	2S-O9/57	2,50	0,25 – 2,5	MP06/2009	Z 1.1	PAK = 1,055 mg/kg Chlorid = 11 mg/l
Hp Ostbahnhof tief	2S-S1/31	1,60	0,0 – 2,0	MP18	Z 1.1	PAK = 3,016 mg/kg
Hp Ostbahnhof tief	2S-S1/S32	1,50	0,0 – 1,5	MP11	> Z 2	PAK = 20,09 mg/kg
Hp Ostbahnhof tief	2S-S1/33	3,00	0,0 – 2,0	MP07	Z 1.1	PAK = 1,054 mg/kg
Hp Ostbahnhof tief	2S-S1/S34	2,50	0,0 – 2,0	MP02	Z 0	

Tab. 5.2: Tabellarische Zusammenstellung der Schadstoffuntersuchungen oberflächennaher Auffüllungen

Aus den Auffüllungshorizonten der insgesamt 11 Bohrungen wurden 14 vertikale Mischproben erstellt und auf die Parameter nach LAGA untersucht. 11 Analysen

liegen im Bereich bis Z 1.1, eine im Bereich bis Z 1.2 und zwei über Z2. Die Proben mit Schadstoffgehalten größer Z2 wurden einmal bei der Bohrung 2S-S1/S32, Hp Ostbahnhof tief aus der oberflächennahen Auffüllung bis 1,5 Meter entnommen. Hier geht die Einstufung auf einen mit 20,09 mg/kg nur sehr geringfügig über Z2 (20 mg/kg) liegenden PAK-Gehalt zurück. Die andere Probe größer Z2 stammt aus der Bohrung 2S-O9/52 am Pariser Platz 5. Hier wurde in der Auffüllung von Null bis 2,0 Meter ein PAK-Gehalt von 26,72 mg/kg gemessen. Die Auffüllung tiefer 2,0 Meter wurde mit Z0 als unbedenklich eingestuft.

5.2.6 Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser

5.2.6.1 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

Aus fertig gestellten Grundwassermessstellen wurden im Bereich grundwasserführender Schichten, die im Einflussbereich der Tunnelbauwerke liegen (Entnahmetiefen ca. 8 m bis 53 m unter GOK), gleichmäßig über die Gesamtstrecke (alle PFAs) verteilt, insgesamt 13 Grundwasserproben zur Untersuchung hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030 (Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase) entnommen und nach dem Referenzverfahren untersucht. Hierzu liegen fünf Proben im Umfeld des PFA 3neu vor.

Alle 13 untersuchten Grundwasserproben sind gemäß DIN 4030 als nicht betonangreifend einzustufen.

5.2.6.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Es ist bekannt, dass sich nordöstlich des Ostbahnhofs im oberen tertiären Grundwasserstockwerk eine mit Leichtflüchtigen Halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) verunreinigte Fahne befindet. Zum Ausschluss einer diffusen lateralen Streuung dieser Fahne wurden 15 neu errichtete T1-Grundwassermessstellen auf LHKW untersucht.

Waren an Messstellen mit unplausiblen Ergebnissen Pumpversuche geplant, so wurden diese Messstellen am Ende der dreistündigen Pumpversuche noch mal beprobt.

Hier werden die Messstellen dargestellt, die nicht weiter als 200 Meter von der geplanten Trasse entfernt liegen.

Analysenergebnisse:

Messstelle	Probenahme	Pumpdauer [min]	LHKW [$\mu\text{g/l}$]	Einstufung LfW 3.8/1	Einleitung** LfW 4.5/15
2S-O8/35	19.05.08	30	0,8	Stufe 1	Versickerung
2S-O9/31	09.07.08	30	46	> Stufe 2	Vorflut
2S-O9/32	17.07.08	180	9,2	Stufe 1	Versickerung
2S-O9/33	19.05.08	30	29,56	Stufe 2	Vorflut
2S-O9/34	05.06.08	180	70,59	> Stufe 2	Filter / Kanal
2S-O9/53	22.10.09	ca. 30	12,5	Stufe 2	Versickerung
2S-S1/31	17.07.08	180	81	> Stufe 2	Filter /Kanal
2S-S1/36	09.07.08	30	3,94	Stufe 1	Versickerung

Tab. 5.3: Tabellarische Zusammenstellung der Grundwasseruntersuchungen auf LHKW im 200 Meter-Umgriff zur geplanten Trasse

*) Stufenwerte für Leitparameter im Grundwasser aus dem LfW-Merkblatt Nr.3.8/1 vom 31.10.2001: Stufe 1 = 10 $\mu\text{g/l}$, Stufe 2 = 40 $\mu\text{g/l}$

***) Der Orientierungswert für die Einleitung von kontaminiertem Wasser in oberirdische Gewässer und öffentliche Abwasseranlagen ist für LHKW 50 $\mu\text{g/l}$. (Aus LfW-Merkblatt Nr. 4.5/15 vom 08.10.2003)

An zwei Messstellen wurden LHKW-Gehalte gemessen, die über dem Orientierungswert für die Einleitung in oberirdische Gewässer liegen. Sinken die Werte bis zu Beginn der Baumaßnahme nicht unter den Orientierungswert für die Einleitung von kontaminiertem Wasser in oberirdische Gewässer und öffentliche Abwasseranlagen, wird am Hp Ostbahnhof tief bei einer Bauwasserhaltung für die Einleitung in die Vorflut die Vorschaltung einer Filteranlage notwendig oder es ist eine Einleitmöglichkeit in den städtischen Schmutzwasserkanal zu prüfen. Unter Umständen erfordert die schichtgebundene Kontamination die Erstellung getrennter Entnahmebrunnen.

Für die Wiederversickerung von kontaminiertem Bauwasser wird durch die zuständige Behörde i.d.R. ein Grenzwert vorgegeben, der unter dem Stufe-1-Werte (10 $\mu\text{g/l}$) liegt.

Der an 2S-O9/34 gegenüber Orleansstraße 69 gemessene LHKW-Gehalt von ca. 70 $\mu\text{g/l}$ sowie der am Orleansplatz an 2S-S1/31 gemessene Wert von 81 $\mu\text{g/l}$ wird auf eine diffuse Streuung der bekannten LHKW-Fahne zurückgeführt.

5.2.7 Bodenluftuntersuchungen

wurden nicht durchgeführt.

6 Beurteilung der Baugrundverhältnisse

6.1 Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten

Gemäß den in Abschnitt 5.2 genannten Untersuchungen und den gewonnenen Untersuchungsergebnissen lässt sich der Baugrund in die folgenden 5 Schicht-einheiten untergliedern:

- Schicht I : Auffüllungen / Oberboden
- Schicht II quartäre bindige Deckschichten
- Schicht III : quartäre Kiese
- Schicht IV : tertiäre Schluffe und Tone
- Schicht V: tertiäre Sande

Entsprechend den mit den Baugrundaufschlüssen angetroffenen Bodenschichtungen werden auf Grundlage aller vorliegenden Untersuchungen und der örtlichen Erfahrungen die einzelnen zu erwartenden Bodenarten und ihre Eigenschaften in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben und in tabellarischer Form beurteilt.

6.1.1 Oberboden und Auffüllungen / Schicht I

Oberboden / Schicht Ia

Humose, i.d.R. sehr schwach humose Oberböden werden nur lokal und in sehr geringer Mächtigkeit (cm-Bereich) angetroffen.

Auffüllungen / Schicht Ib (Gleisschotter)

Die Bereiche der offenen Bauweise auf DB Gelände sind meist mit Gleisschottern bedeckt. Eine weitere Beurteilung dieser Schicht erfolgt nicht, da das Material im Zuge der Baumaßnahmen ausgehoben und verwertet wird.

Auffüllungen / Schicht Ic (kiesige Auffüllungen)

Kiesige Auffüllungen werden direkt unter GOK oder unterhalb Schicht Ia bzw. Ib fast im gesamten Untersuchungsgebiet angetroffen. Sie werden wie folgt beurteilt:

Schicht Ic / kiesige Auffüllungen	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	ca. 0,4 m bis 8,0 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 3 und Klasse 4,
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LN, untergeordnet LB
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BN1, untergeordnet BN2
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend [GW], [GI], [GU], [GT], untergeordnet [GU*], [GT*]
Lagerungsdichte / Konsistenz	meist locker bis mitteldicht (mitteldicht insbesondere oberflächennah)
Scherfestigkeit (DIN 18196)	groß
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	[GW], [GI], [GU], [GT]: gut bis sehr gut [GU*], [GT*]: mittel bis gut
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	sehr gering bis gering
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	[GW], [GI], [GU], [GT], [GU*], [GT*] $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s [durchlässig bis stark durchlässig]
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	gering bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	überwiegend F2 (gering bis mittel frostempfindlich), untergeordnet F3 (sehr frostempfindlich) und F1 (nicht frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	mäßig bis gut geeignet

Tab. 6.1: Tabellarische Beurteilung der kiesigen Auffüllungen

Auffüllungen / Schicht Id (bindige Auffüllungen)

In den Auffüllungen sind bereichsweise lehmige (feinsandige – schluffige – tonige) Auffüllungen mit weicher bis steifer Konsistenz eingeschaltet (Schicht Id). Im Bereich von Staunässen können die obersten cm der Schicht auch aufgeweicht sein und eine breiige Konsistenz aufweisen.

Das Material ist für die Gründung von Ingenieurbauwerken insbesondere bei weicher Konsistenz i.d.R. nur sehr eingeschränkt geeignet. Bei Gleisbaumaßnahmen wird bei Bedarf ein Bodenaustausch oder der Einsatz alternativer Verfahren wie Bodenverbesserung oder Einsatz von Geotextilien in entsprechendem Umfang vorgenommen. Die bindigen Auffüllungen werden wie folgt beurteilt:

Schicht Id / bindige Auffüllungen	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	bis ca. 2 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 4, lokal bei ausgeprägt plastischem Verhalten Klasse 5 möglich
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LB
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BB2, im Bereich von Staunässe BB1
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend TL, TM, UL, UM, untergeordnet TA
Lagerungsdichte / Konsistenz	weich bis steif
Scherfestigkeit (DIN 18196)	gering
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	schlecht verdichtbar
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	$k_v \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s (schwach durchlässig) d. h. die Durchlässigkeit der quartären bindigen Deckschichten ist in vertikaler Richtung im baupraktischen Sinn vernachlässigbar klein
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	mäßig bis schlecht
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	überwiegend F3 (sehr frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	mäßig brauchbar

Tab. 6.2: Tabellarische Beurteilung der bindigen Auffüllungen

6.1.2 Quartäre bindige Deckschichten / Schicht II

Quartäre bindige Deckschichten wurden im gesamten Umgriff zwischen (nördlich vom) Ostbahnhof und (östlich vom) Bft Leuchtenbergring erkundet und reichen dort mit Schichtdicken zwischen i.d.R. ca. 1 m und 4 m, maximal bis 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. 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 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.

Die Merkmale der quartären bindigen Deckschichten sind nachfolgend zusammengefasst:

Schicht II / quartäre bindige Deckschichten	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	bis ca. 4 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 4, lokal bei ausgeprägt plastischem Verhalten Klasse 5 möglich
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LB
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BB2
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend TL, TM, UL, UM, untergeordnet TA
Lagerungsdichte / Konsistenz	weich bis halbfest
Scherfestigkeit (DIN 18196)	gering
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	schlecht verdichtbar
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	$k_f \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s (schwach durchlässig) d. h. die Durchlässigkeit der quartären bindigen Deckschichten ist in vertikaler Richtung im baupraktischen Sinn vernachlässigbar klein
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	mäßig bis schlecht
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	überwiegend F3 (sehr frostempfindlich)

Schicht II / quartäre bindige Deckschichten	Beurteilung
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	mäßig brauchbar

Tab. 6.3: Tabellarische Beurteilung der quartären bindigen Deckschichten

6.1.3 Quartäre Kiese / Schicht III

Die quartären Kiese sind über die gesamte Strecke bis in Tiefen zwischen ca. 5,0 m bis 14,0 m unter GOK im PFA 3neu erkundet worden. Bei den quartären Kiesen wechseln sich unterschiedlich stark sandige, unterschiedlich stark schluffige Lagen mit fast sand- und schlufffreien Lagen ab. Überwiegend handelt es sich um schwach schluffige bis schluffige, sandige Kiese. Die Feinschichtung kommt in den Bohrprofilen nicht deutlich zum Ausdruck, da technisch bedingt beim Bohrvorgang eine Vermischung der Bodenschichten stattfindet.

Bautechnisch von Bedeutung sind sand- und feinkornarme Kieslagen (Rollkiese), die in der Regel Schichtdicken von ca. 15 cm bis 50 cm aufweisen, jedoch auch schon mit bis zu 1,5 m erkundet wurden. Sie sind anhand der Bohrprofile weder genau quantifizierbar noch genau lokalisierbar. Sie können dort gehäuft vermutet werden, wo die Bohrprofile „schwach sandige, evtl. schwach schluffige Kiese“ anzeigen, doch ist ihr Auftreten an keiner Stelle der Trasse auszuschließen.

Gleichsam bedeutsam, jedoch in den Bohrproben infolge der mechanischen Beanspruchung beim Bohrvorgang teilweise nicht erkennbar sind angewitterte und verwitterte Schotter, die mitunter in den älteren Schottern der Hochterrasse in Mächtigkeiten von Zentimetern bis Dezimetern auftreten können. Diese bestehen überwiegend aus stark verwitterten Kalk- und Dolomitsteingeröllen, die bei Beanspruchung zu Feinsand und Schluff zerfallen.

Steine größer 63 mm Korndurchmesser sind in den untersuchten Kiesen bereichsweise enthalten. Blöcke mit mehr als 200 mm Korndurchmesser sind erfahrungsgemäß nur sehr vereinzelt anzutreffen. Eine Verfestigung der Quartärkiese zu Konglomerat (Nagelfluh) ist in München häufiger anzutreffen.

Je nach Zusammensetzung weisen die einzelnen Kiesschichten auch kleinräumig unterschiedliche Eigenschaften auf.

Vereinzelt können in den quartären Kiesen auch Sand-, Schluff- oder Tonlinsen in unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert sein. Da solche Schichten im PFA

3neu lediglich in vereinzelt Bohrungen mit Schichtdicken bis maximal 2,5 m erkundet wurden, wird ihnen insgesamt eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Weiterhin treten im Übergangsbereich zum Tertiär häufiger in der Quartärzeit umgelagerte tertiäre Sande, Schluffe oder Tone auf, die dann mit den quartären Kiesen vermischt sind. Diese Schichten können Wasser aufstauen und weisen in der Regel eine nur mittlere Lagerungsdichte bzw. eine steife, teils auch weiche Konsistenz auf. Sie sind im Vergleich mit den quartären Kiesen stärker zusammendrückbar und geringer scherfest.

Aufgrund örtlicher Erfahrungen und der Ergebnisse der Rammsondierungen BDP (Abschnitt 5.2), die bis in Tiefen von 12 m vorliegen, stehen die quartären Kiese in wechselnder, überwiegend mitteldichter bis sehr dichter Lagerung an.

Weitere Eigenschaften der quartären Kiese sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Schicht III / quartäre Kiese	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	ca. 5 m bis 14 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 3 und Klasse 4; lokal bei Steinanteilen über 30 % auch Klasse 5; Nagelfluh Klasse 6 und 7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LN, untergeordnet LB; Zusatzklasse S1 und lokal S2 möglich; Nagelfluh: FD1 bis FD3
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BN1 und BN2, untergeordnet LB; Zusatzklasse BS1 und lokal BS2 und BS3 möglich; Nagelfluh: FV2 bzw. FD2
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend GW, GI, GU, GT, untergeordnet GU*, GT* (lokal schichtweise große Steinanteile sowie ausgeprägte Steinlagen mit Blöcken $D \geq 200$ mm, Nagelfluhschichten, Rollkieslagen GE sowie eingelagerte Sandschichten SW, SI, SU, ST und Schluffschichten UL, UM möglich)
Lagerungsdichte / Konsistenz	meist mitteldicht bis dicht, Lockerzonen möglich
Scherfestigkeit (DIN 18196)	groß
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	GW, GI, GU, GT: gut bis sehr gut GU*, GT*: mittel bis gut
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	sehr gering bis gering

Schicht III / quartäre Kiese	Beurteilung
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	GW, GI, GU, GT, GU*, GT* $k_h = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s [durchlässig bis stark durchlässig] In Rollkies- und Steinlagen: $k_h = 5 \cdot 10^{-2}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ m/s [stark- bis sehr stark durchlässig] k_h kann infolge Anisotropie etwa den 10-fachen Wert von k_v erreichen
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	gering bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	überwiegend F2 (gering bis mittel frostempfindlich), untergeordnet F3 (sehr frostempfindlich) und F1 (nicht frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	gut geeignet

Tab. 6.4: Tabellarische Beurteilung der quartären Kiese

6.1.4 Tertiäre Schluffe und Tone / Schicht IV

Bei den im gesamten Untersuchungsgebiet ab ca. 5,0 m bis 14,0 m unter GOK bis in große Tiefen in Wechselfolge mit tertiären Sanden anstehenden feinkörnigen tertiären Böden handelt es sich überwiegend um mittelplastische bis ausgeprägt plastische, seltener leicht plastische Tone oder schluffige Tone. Seltener treten tonige Schluffe oder Schluffe mit wechselndem Sandanteil (meist Fein- bis Mittelsand) auf. Die feinkörnigen Tertiärschichten besitzen überwiegend eine halb feste bis feste Konsistenz. Im unmittelbaren Übergang zu quartären Bodenschichten und zu tertiären Sanden treten in dünnen Lagen auch weiche und steife Konsistenzen auf.

Die Schichten sind teilweise verfestigt und können einen hohen Anteil an Konkretionen aufweisen. Diese Kalkausfällungen innerhalb der Tone und Schluffe liegen im Bohrgut meist in Kies Korngröße vor und beeinflussen somit die Festigkeit nicht wesentlich, es wurden im Raum München jedoch auch bereits flächenhaft vorliegende Konkretionsschichten in schwammartiger Ausprägung mit Dicken von bis zu 60 cm festgestellt. Neben festen Tönen mit hohem Kalkanteil bzw. Kalkausfällungen (Konkretionen) treten im PFA 3neu in den Bohrungen teilweise auch karbonatisch verfestigte Tone und Schluffe auf, die in den Bohrungen als „Tonsteine“, „Schluffsteine“, und „Mergelsteine“ angesprochen wurden. Sie wurden im unmittelbaren Vortriebsbereich der Tunnelröhren mit Dicken bis zu ca. 1,5 m erkundet (z.B. Bohrungen 2S-7/06, 2S-O8/52, 2S-O8/57, 2S-O9/S51 und 2S-

S1/33). Diese Festgesteine weisen erfahrungsgemäß einaxiale Druckfestigkeiten von über 5 MN/m² auf.

Die festen Tone verhalten sich im Allgemeinen veränderlich fest, d.h. sie verlieren bei Entspannung und Wasserzutritt, insbesondere bei Trocknung und Wiederbefeuchtung sowie mechanischer Beanspruchung und Frosteinwirkung an Festigkeit und Steifigkeit. Ausgehend vom bergfeuchten Zustand führt kurzfristige Wassereinwirkung jedoch nur zu einer vergleichsweise geringen bis mäßigen Entfestigung des Materials.

Die mittel- bis ausgeprägt plastischen Tone weisen erfahrungsgemäß, wie auch entsprechend den hohen Fließgrenzen zu erwarten, einen deutlichen Anteil an aktiven Tonmineralien (Illit, Montmorillonit) auf.

Insbesondere die ausgeprägt plastischen Tone und teils auch die mittelplastischen Tone sind, sofern sie keine Konkretionen aufweisen, teilweise bröckelig und von Press-, Gleit- und Harnischflächen durchzogen. Örtlich treten auch hochdurchtrennende, durch den ganzen Bohrkern verlaufende Harnischflächen auf. Gemäß des Einfallswinkels können nach den Erfahrungen aus früheren Untersuchungen für die 2. SBSS 3 Scharen von Harnischflächen unterschieden werden: Am häufigsten treten steilstehende Harnischflächen mit Fallwinkeln zwischen 60° und 90° auf. In etwas vermindertem Ausmaß ist eine mit etwa 45° einfallende Schar anzutreffen. Flach einfallende Harnischflächen bis 15° treten hingegen selten auf. Der größere Anteil der Tone ist jedoch frei von Harnischflächen und Klüften.

In den feinkörnigen Tertiärschichten sind Einlagerungen weitgehend horizontal verlaufender, wasserdurchlässiger und druckwasserführender Sandschichten und -linsen vorhanden und können dort erfahrungsgemäß kleinräumig wechselnd an beliebiger Stelle auftreten.

Weitere Eigenschaften der tertiären Tone und Schluffe sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Schicht IV / tertiäre Schluffe und Tone	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	Dezimeter bis mehrere Meter, Festgesteinslagen bis 1,5 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klassen 4 und 5 feste feinkörnige Schichten gehören zur

	Bodenklasse 6, selten auch zur Klasse 7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LB, FD1 und FZ1, selten FD2 und FZ2
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BB3, FD1 / FV4 – FV5, selten FD2
Bodengruppen (DIN 18196)	UL, UM, TL, TM, TA
Lagerungsdichte / Konsistenz	halbfest bis fest
Scherfestigkeit (DIN 18196)	groß (große Kohäsion) bis sehr groß (Festgesteinslagen)
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	sehr schlecht bis schlecht verdichtbar
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	sehr gering
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	$k_v \leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s (sehr schwach durchlässig) d. h. die Durchlässigkeit der Schluffe und Tone ist in vertikaler Richtung im baupraktischen Sinn vernachlässigbar klein. Bei Wechsellagerung mit Sandschichten kann die horizontale Durchlässigkeit bis ca. den 100-fachen Wert erreichen.
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	UL, UM, TL, TM Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich) TA Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	geeignet bis sehr gut geeignet

Tab. 6.5: Tabellarische Beurteilung der tertiären Schluffe und Tone

6.1.5 Tertiäre Sande / Schicht V

Die tertiären Sande wurden ab Tiefen von ca. 10 m unter GOK im PFA 3neu erkundet und können als eigenständige wasserführende Schichten oder innerhalb der tertiären Tone als geschlossene Linsen mit Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis mehreren Metern auftreten.

Die tertiären Sande stehen überwiegend als schwach bis stark schluffige, seltener auch tonige Fein- oder Fein- bis Mittelsande an. Als weitere Bestandteile sind untergeordnet gut gerundete Quarzkiese bekannt, die im PFA 3neu nur in einzelnen Fällen (z.B. 2S-O8/52, 2S-O8/55) und mit geringer Mächtigkeit erkundet wurden. Die Sande können bereichsweise Verfestigungen oder Konkretionen

enthalten, die in der Korngrößenverteilung der Sande dem Kieskornanteil entsprechen können. Aus dem Münchner Raum sind auch zu Sandstein verfestigte Lagen mit überwiegend karbonatischer, seltener auch silikatischer Kornbindung und Mächtigkeiten im Zentimeter- bis Dezimeterbereich bekannt. Weiterhin treten in den tertiären Sanden häufiger Feinkornlagen und seltener auch reine Fein- bis Mittelkieslagen auf (im PFA 3neu nicht erkundet).

Im ungestörten Zustand weisen die tertiären Sande eine dichte bis sehr dichte Lagerung auf. Infolge ihrer Gleichkörnigkeit neigen sie bereits bei geringem Wasserzutritt bzw. hydraulischem Gefälle, z.B. in der Nähe von Brunnen, Bohrungen unter dem Grundwasserspiegel, vertikalem Anschnitt bei nicht vollständiger Entwässerung etc. zum Fließen ("Fließsande"). Sie sind stark erosionsempfindlich und verhalten sich bei höheren Feinkornanteilen auch stark wasserempfindlich. Sie können an der Oberfläche bei dynamischer Beanspruchung und Wasserzutritt durch Anstieg des Porenwasserdrucks von einem dichten Zustand in einen fließenden Zustand übergehen und sind dann als Erdbaustoff oder für eine Lastabtragung ungeeignet.

Weitere Eigenschaften der tertiären Sande sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Schicht V / tertiäre Sande	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	Dezimeter bis mehrere Meter, Sandsteinlagen bis 0,9 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Bodenklasse 3 und 4, bei Wassersättigung Übergang zu Bodenklasse 2 möglich Sandstein Klasse 6, selten Klasse 7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2002)	LN und LB
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301-2006)	BN1 bis BN2
Bodengruppen (DIN 18196)	SU, SU*, ST; ST*, SE seltener SW, SI
Lagerungsdichte / Konsistenz	dichte bis sehr dichte Lagerung
Scherfestigkeit (DIN 18196)	groß
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	mäßig bis gut
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	gering bis sehr gering

Schicht V / tertiäre Sande	Beurteilung
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	zwischen $k_h = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_h = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s (stark bis schwach durchlässig) k_h kann aufgrund der Feinschichtung mit eingeregeltten Glimmerblättchen und dünnen Feinkornlagen den 10-fachen Wert von k_v erreichen.
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	abhängig vom jeweiligen Feinkornanteil: in der Regel Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich), SU*, ST* Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich), SE, SI Frostempfindlichkeitsklasse F1 (nicht frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	im natürlichen Lagerungszustand geeignet bis gut geeignet

Tab. 6.6: Tabellarische Beurteilung der tertiären Sande

6.2 Geotechnische Streckenabschnitte / Bodenschichtung

Der Ostast im PFA 3neu und der Tunnelabschnitt zwischen der Grenze zum PFA 2 und der Abzweigstelle Praterinsel wurde nach geotechnischen und bautechnischen Kriterien in vier Abschnitte unterteilt:

- Bau-km 107,8+53 – 108,4+95
- Bau-km 108,4+95 – 109,0+83
- Bau-km 109,0+83 – 109,5+55
- Bau-km 109,5+55 – 110,3+2338

In Anlage 18.4 sind im geotechnischen Bewertungsband zusätzliche Angaben zu den einzelnen Abschnitten enthalten.

7 Hydrologie und Hydrogeologie

7.1 Oberflächengewässer

Die Kleine Isar wird zwischen etwa Bau-km 107,8+53 und Bau-km 107,8+90 im Bereich des Praterwehres unterfahren. Die Tunnelfirste von Gleis 100 verläuft etwa 19,0 m unter der Sohlkote 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 107,9+75 und Bau-km 108,0+40 und den unmittelbar östlich daran anschließenden Auermühlbach bis ca. 108,0+55 etwa 18,0 m unter der Isarsohlkote und etwa 21,5 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 HQ 100 von 1100 m³/s mit einer 100-jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit wurde vom Wasserwirtschaftsamt München für die Kleine Isar eine Kote 510,95 müNN im Oberstrom des Praterwehres und für die Große Isar eine Kote von 508,91 müNN 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.

7.2 Niederschlagssituation

Die mittlere Jahressumme des Niederschlags beträgt gemäß Auskunft des Wasserwirtschaftsamts in München etwa 950 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. 1 050 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.

Die Regenspende für den 15-minütigen Starkregen mit einjähriger Wiederkehrwahrscheinlichkeit kann mit $r_{15(1)} = 131 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ angegeben werden. Zusammen mit dem Zeitbeiwert $\varphi = 2,3$ für den Starkregen mit zehnjähriger Häufigkeit und dem für die Bemessung von gering geneigten, befestigten Dach- und Freiflächen üblicherweise herangezogenen Abflussbeiwert $\psi = 0,9$ ergibt sich der zur Regenspende $r_{15(0,1)}$ gehörende maximale Abfluss $Q_{r15(0,1)} = 271 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$.

7.3 Grundwasserverhältnisse

7.3.1 Verteilung der Grundwasseraquifere und Grundwasserhemmer

Der Quartäraquifer (Quartärkies, Schicht III gemäß Abschnitt 6.1) besitzt in der Regel eine freie zusammenhängende Grundwasseroberfläche. Darunter folgen in den tertiären Sanden die überwiegend gespannten Tertiäraquifere.

Es wurden zwei voraussichtlich flächig im Untersuchungsgebiet des PFA 3neu vorhandene, jeweils mehrere Meter mächtige Tertiäraquifere im Tiefenbereich zwischen ca. 518 müNN und 494 müNN sowie unterhalb ca. 485 müNN erkundet (Tertiäre Sande, Schicht V gemäß Abschnitt 6.1). Der tiefere mächtige Aquifer T3 liegt im westlichen Teil des PFA 3neu im Bereich des Tunnelquerschnitts bzw. knapp unterhalb des Sohlbereichs. Der obere mächtige Tertiäraquifer T1 wird von der Tunneltrasse ca. ab dem mittleren Teil des PFA 3neu durchfahren. Außerdem liegen über die gesamte Erkundungstiefe verteilt zahlreiche weitere tertiäre Sandschichten vor, deren hydraulischer Kontakt zum Quartäraquifer oder zu den mächtigen Tertiäraquiferen nicht im Detail bekannt ist. Es wird davon ausgegangen, dass alle nicht durch Grundwasserentnahmen unmittelbar beeinflussten Tertiäraquifere im Tiefenbereich des Tunnels grundwassergesättigt und gespannt sind. Der Quartäraquifer ist von den tertiären Sanden nach den Aufschlüssen überwiegend durch eine feinkörnige Zwischenschicht hydraulisch getrennt. Die hydraulische Wirkung der Trennschicht kann durch tiefreichende Bauwerke oder im Boden verbliebene, nicht ausreichend abgedichtete Brunnen geschwächt oder örtlich aufgehoben sein. Zwischen Bau-km 108,7+40 – 109,2+50 befindet sich unter dem Quartärkies ein bis zu mehrere Meter mächtiger Tertiärsand, der bereichsweise nur durch eine wenige Dezimeter mächtige feinkörnige Tertiärschicht vom Quartär getrennt ist. In diesem Bereich ist ein gemeinsamer Q/T-Aquifer ohne hydraulisch wirksame Trennung wahrscheinlich.

Die Mächtigkeiten- und Tiefenangaben für die Berechnung von Grundwasserfördermengen wurden direkt den Bohraufschlüssen entnommen oder aus den vereinfacht interpretierten Schichtgrenzenverläufen, wie sie im Längsschnitt (Anlage 18.4) enthalten sind, abgeleitet. Zwischen den Aufschlusspunkten können von den Angaben abweichende Verhältnisse vorliegen.

7.3.2 Grundwasserstände

Das in der Regel gespannte Grundwasser in den tertiären Sanden besitzt bei unbeeinflussten Grundwasserverhältnissen großräumig etwa identische Grundwasserpotentiale wie der freie Grundwasserspiegel des Quartäraquifers. 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 Vorflut dient. Auch Grundwasserentnahmen aus tiefliegenden Tertiäraquifere können die Potentialdifferenz zum Quartäraquifer bewirken. Für die Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen des 5. Bohrprogramms in der 46. KW 2009 stellt sich die Situation folgendermaßen dar.

Messstelle		mm	GOK	Messpunkt	Ausbau im Aquifer		Stichtagsmessung 11.11.09	
			müNN	müNN	von	bis	m	müNN
2S-O8/51	T2	65	526,70	526,63	33,1	36,3	17,34	509,29
	T3	125	526,70	526,54	41,2	46,0	15,71	510,83
2S-O8/52	Q	65	526,24	526,14	3,0	10,3	7,83	518,31
	T1	125	526,24	526,11	20,5	23,9	14,75	511,36
2S-O8/54	Q	65	526,63	526,45	4,5	9,4	7,56	518,89
	T3	125	526,63	526,45	46,1	54,8	15,56	510,89
2S-O8/55	T1	65	526,50	526,43	26,4	30,4	12,58	513,85
	T3	125	526,50	526,40	44,6	55,5	15,55	510,85
2S-O8/57	Q	125	528,22	528,13	5,5	10,8	8,14	519,99
	T2	65	528,22	528,06	37,7	42,1	17,39	510,67
	T3	65	528,22	528,01	45,8	55,0	17,27	510,74
2S-O9/52	Q	65	529,79	529,66	6,5	11,4	8,93	520,73
	T1	125	529,79	529,65	30,9	35,0	11,23	518,42
2S-O9/53	T1	65	529,31	529,24	13,0	26,0	8,48	520,76 (23.10.09)
	T3	125	529,31	529,22	46,6	56,6	18,78	510,44 (23.10.09)
2S-O9/55	T3	65	530,13	530,04	53,3	59,0	19,48	510,56

Messstelle		GOK		Messpunkt	Ausbau im Aquifer von bis		Stichtagsmessung 11.11.09	
		mm	müNN		m u. GOK	m u. GOK	m	müNN
	T4	125	530,13	529,97	63,5	70,9	20,80	509,17
2S-O9/57	T4	65	530,49	530,40	63,1	71,6	20,61	509,79 (09.12.09)
2S-O9/58	T1	125	531,36	531,18	27,3	29,9	10,85	520,33
	T1	65	531,36	531,15	33,4	36,6	11,94	519,21

Tab. 7.1: Grundwasserstände der Stichtagsmessung 46. KW 2009

Da bisher keine weiteren Informationen und Messungen vorliegen, wird für den jetzigen Planungsstand zunächst von der hinsichtlich der Pumpwassermenge sehr ungünstigen Annahme ausgegangen, dass der tertiäre Wasserdruck im Bau- und Endzustand dem quartären Wasserspiegel entspricht.

7.3.3 Grundwasserströmung

Das natürliche Grundwassergefälle des Quartäraquifers ist vom Grundwasserstand sowie dem Verlauf der Tertiäroberfläche abhängig und geht aus den Messung vom 11.11.2009 (5. Bohrprogramm) und den Messungen zwischen dem 07.10.2009 und 09.10.2009 (1. bis 4. Bohrprogramm) für den Bereich des PFA 3neu von $i = 0,0026$ bis $0,0091$ hervor. Die natürliche Grundwasserfließrichtung ist vom jeweiligen Grundwasserstand abhängig und verläuft östlich der Isar im PFA 3neu nach Nordnordwesten und in Isarnähe nach Westnordwesten bis Nordwesten.

7.3.4 Durchlässigkeitsverhältnisse

Die nachstehend aufgeführte Bandbreite für die Wasserdurchlässigkeit ist unter Berücksichtigung der durchgeführten Versuche und anhand von Erfahrungswerten angegeben (vgl. auch Angaben im Längsschnitt Anlage 18.4). Die Werte k_{mittel} werden für die überschlägige Berechnung von Grundwasserfördermengen sowie zur Ermittlung der im Aquifer strömenden Wassermenge empfohlen. Der Durchlässigkeitsbeiwert k_{sick} für die Versickerung von Wasser ist erfahrungsgemäß um etwa das zwei- bis fünffache niedriger als der Durchlässigkeitsbeiwert k für die Förderung von Grundwasser. Dieser Unterschied ist durch das gelöste Gas (Luft) im zu versickernden Wasser sowie den Umstand begründet, dass bei der Versi-

ckerung von Wasser im Boden oberhalb des Grundwassers Luft aus dem Porenraum verdrängt werden muss.

	Quartärkies	Tertiärsand	tertiäre Tone und Schluffe
Bandbreite für k (horizontal)	$3,0 \cdot 10^{-2}$ m/s bis $5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $5,0 \cdot 10^{-8}$ m/s	$\leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s
Grundwasserförderung k_{mittel}	$5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	$\leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s
Grundwasserversickerung k_{sick}	$1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s	$1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	nicht möglich

Tab. 7.2: Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und -versickerung

7.4 Bemessungswasserstände

7.4.1 Allgemeines

Im Stadtgebiet der Landeshauptstadt München werden Bemessungswasserstände üblicherweise auf der Grundlage von Grundwasserisohypsenkarten [U9], die für einzelne Hochwasserereignisse zur Verfügung stehen und unter Berücksichtigung von jeweils projektspezifischen Zuschlägen angegeben.

Zur statistischen Absicherung der für die geplante 2. S-Bahn Stammstrecke festzulegenden Bemessungswasserstände und im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bemessung der Bauwerke, wurden von TUM-ZG zusätzlich die Daten aus langjährigen Grundwasserbeobachtungen von 17 Grundwassermessstellen längs der Trasse (PFA 1 bis PFA 3) statistisch analysiert [U12]. Auf Basis dieser statistischen Analyse und in Verbindung mit den Grundwasserisohypsenkarten [U9] wurden die Bemessungswasserstände für den PFA 3neu festgelegt.

7.4.2 Bauzustand

Als Bemessungswasserstände für den Bauzustand HW_{Bau} werden die ermittelten 10-jährlichen Grundwasserstände HW_{10} herangezogen. Für die Übertragung der Grundwasserstände von der jeweils statistisch ausgewerteten Grundwassermessstelle in die Trassenlage wurde der Verlauf der Grundwasserisohypsen gemäß der Grundwasserkarte aus dem Jahr 1988 [U9] zugrunde gelegt. Die Höhenlage des HW_{Bau} längs der Strecke ist im Längsschnitt der Anlage 18.4 dargestellt.

7.4.2.1 Endzustand

Als Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserstände für den Endzustand werden die ermittelten 200-jährlichen Grundwasserstände HW_{200} vorgeschlagen. Im Raum München wird als Bemessungswasserstand häufig der Hochwasserstand aus dem Jahr 1940 zuzüglich eines statistischen Sicherheitszuschlags von mind. 0,3 m verwendet. Aus diesem Grund werden für die Wahl des Bemessungswasserstandes im Endzustand HW_{End} der höhere dieser beiden Werte - statistisch ermitteltes HW_{200} oder rekonstruierter Hochwasserstand $HW_{1940} + 0,3 \text{ m}$ - empfohlen. Die Höhenlage des HW_{End} längs der Strecke ist im Längsschnitt der Anlage 18.4 dargestellt.

Bei den genannten Grundwasserständen handelt es sich um Grundwasserstände im Quartäraquifer. In erster Näherung kann auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen werden, dass die entsprechenden Druckhöhen im Trassenbereich auch auf tertiäre Grundwasserleiter übertragbar sind (vgl. Abschnitt 7.3.2).

8 Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdische Strecke

Zur Lage der jeweiligen Maßnahmen vgl. auch Anlage 18.3 der Planfeststellungsunterlagen, Lagepläne.

8.1 Strecke

8.1.1 Ostast, Strecke Bau-km 0,5+56 bis km 3,4+15

Für eine detaillierte Baubeschreibung der geplanten Maßnahmen vgl. Anlage 1.

8.1.1.1 Gründung

Die Gründung der Strecke erfolgt entsprechend der Streckenkategorie und der Einordnung der Baumaßnahmen (Ertüchtigung/Neubau) in der Regel auf den oberflächennahen, aufgefüllten Kiesen oder den natürlich anstehenden Decklehmen mit steifer bis halbfester Konsistenz.

Die Verbesserung ungeeigneten, bestehenden Untergrundes (Nachverdichtung, in einigen Bereichen geringmächtiger Bodenaustausch unter der Planumsschutzschicht (PSS) bis zu 0,9 m Stärke, Geotextilien o.ä.) erfolgt entsprechend der Kriterien der DB Netz AG. Die damit verbundenen Anforderungen an die Böden und den Verdichtungsgrad werden berücksichtigt.

Die bereichsweise erforderlichen Dammschüttungen erfolgen mit gut verdichtbaren, kiesigen Materialien, die lagenweise eingebaut und verdichtet werden.

8.1.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben beim Bau der Gleiskörper ergeben sich insbesondere in den Bereichen, wo das Erdplanum ausgetauscht werden muss. In den Bereichen, in denen seitlich für Böschungen nicht genügend Platz zur Verfügung steht, erfolgt die Sicherung der Baugruben durch einen einfachen Verbau (Trägerbohlwand, Stahlspundwand).

In den Bereichen, in denen lediglich die PSS herzustellen bzw. zu erneuern ist, ergeben sich deutlich geringere Aushubtiefen, so dass hier die Baugruben i.d.R. frei geböscht werden.

Wasserhaltungsmaßnahmen im Zuge der Streckenbauarbeiten sind aufgrund der geringen Aushubtiefen und des tief liegenden Grundwasserspiegels im gesamten Umgriff nicht erforderlich.

8.1.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden durch den Streckenbau nicht beeinflusst.

8.1.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung kann dezentral in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen (Schicht Ic, Kap. 6.1.1) bzw. die unter den quartären bindigen Deckschichten (Schicht II gem. Kap. 6.1.2) folgenden quartären Kiese (Schicht III, Kap. 6.1.3) erfolgen. Das Abstimmungsergebnis (Protokolle vom 13.07.2004 und 6.4.2005) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2 Ingenieurbauwerke

8.2.1 Fußgängersteg Leuchtenbergring

Fußgängersteg zur Anbindung an den S-Bahnhof Leuchtenbergring mittels Treppen und Aufzügen am westlichen Ende der Bahnsteige A und C. Am Nordwest- und Südostende des Stegs sind jeweils ein Treppenabgang sowie – als barrierefreier Zugang zu dem Steg – eine Rampe vorgesehen. Für eine detaillierte Baubeschreibung der geplanten Maßnahmen vgl. Anlage 1.

8.2.1.1 Gründung

Die Gründung der beiden Widerlager bzw. der 2 Stützen bei den Bahnsteigen erfolgt auf Reckteckfundamenten, die auf den unter den Lößlehmen anstehenden, dicht gelagerten, natürlichen Kiesen aufsitzen. Im Einzelnen ergeben sich folgende Gründungstiefen:

- südöstliches Widerlager: ca. 2 m unter GOK, entspricht ca. 527,90 müNN
- Stütze bei Bahnsteig C: ca. 3 m unter GOK, entspricht ca. 527,90 müNN
- Stütze bei Bahnsteig A: ca. 5,5 m unter GOK, entspricht ca. 525,30 müNN

- nordwestliches Widerlager: ca. 3 m unter GOK, entspricht ca. 527,50 müNN

Für die im Süden und Norden des Stegs für die Rampe und Treppenzugänge vorgesehenen Wandscheiben ist eine Gründung auf Streifenfundamenten in den Quartärschottern vorgesehen. Die Gründungssohle liegt bei ca. 2 m unter GOK im Südosten und bei ca. 3 m unter GOK im Nordwesten.

Die Treppenzugänge werden auf den mindestens steifen Decklehmen mit Bodenplatten gegründet.

8.2.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Baugruben für die Widerlager, die Stützenfundamente und die Streifenfundamente der Wandscheiben können unter Beachtung der DIN 4124 frei geböscht werden.

Die Wahl einer ggf. erforderlichen Baugrubensicherung (frei geböscht bzw. verbaut) erfolgt in Abhängigkeit der während der Bauarbeiten gegebenen Nutzung der jeweils benachbarten Gleise. Bei Platzmangel (z.B. Baugruben für Stützen im Gleisbereich) wird ein Verbau (Trägerbohlwand, Stahlspundwand) vorgenommen.

Die Baugrubensohlen liegen oberhalb HW_{Bau} , so dass keine Grundwasserhaltung erforderlich ist.

8.2.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die Gründung des Stegs und der Maßnahmen am Bahnsteig A sowie der Treppenabgänge und Aufzüge ~~wird~~ **werden** aufeinander abgestimmt, um unerwünschte Lastüberschneidungen, Baubehinderungen und Mehrarbeiten zu vermeiden.

8.2.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung kann in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen (Schicht Ic, Kap. 6.1.1) bzw. die unter den quartären bindigen Deckschichten (Schicht II gem. Kap. 6.1.2) folgenden quartären Kiese (Schicht III, Kap. 6.1.3) erfolgen. Das Abstimmungsergebnis (Protokolle vom

13.07.2004 und 6.4.2005) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.3 Stationen

8.3.1 Zugänge zum Bft Leuchtenbergring

Der Zugang zu Bahnsteig A (und C bei PFA 3A) erfolgt (außer vom Fußgängersteg, vgl. Kap. 8.2.1) vom Fuß- und Radwegtunnel aus jeweils mit einer Treppe von der Ostseite und der Westseite der EÜ Leuchtenbergring. Für eine detaillierte Baubeschreibung der geplanten Maßnahmen vgl. Anlage 1.

8.3.1.1 Gründung

Die tiefstgelegene Gründungssohle liegt bei ca. 524,00 müNN.

Die Gründung erfolgt unterhalb einer Höhe von ca. 526,65 müNN auf den gut tragfähigen natürlichen Quartärkiesen. Oberhalb dieser Kote liegen natürliche und aufgefüllte Decklehme, welche insbesondere aus Gründen der Frostsicherheit unter den Treppenaufgängen in einer Stärke von $\geq 0,5$ m gegen frostsicheres Material ausgetauscht werden. Spätestens oberhalb 529,70 müNN stehen bis zur bestehenden GOK Kiesauffüllungen an. Diese können nach entsprechender Nachverdichtung und dem Nachweis der Frostsicherheit als Gründungsplanum für die geplanten Verkehrsflächen verwendet werden. Die aus Frostsicherheitsgründen erforderliche Mindeststärke der aufgefüllten Kiese von 0,50 m ist bzw. wird gewährleistet.

8.3.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Baugrubensicherung erfolgt gleisparallel mittels Bohrpfahlwänden und temporären Spundwänden.

Die am tiefsten liegenden Baugrubensohlen (im Bereich der Zugänge zu den Fuß- und Radwegtunneln) liegen $\geq 0,5$ m oberhalb des HW-Bau. Wasserhaltungsmaßnahmen sind deshalb nicht erforderlich.

8.3.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Durch die geplanten Maßnahmen ergibt sich auf beiden Seiten der Leuchtenbergunterführung ein Eingriff in die Seitentunnel (Geh- und Radweg). Ein zusätzlicher Lasteintrag bzw. eine Beeinflussung der Standsicherheit der Bestandsbauwerke ist jedoch nicht gegeben.

8.3.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung der Treppenabgänge erfolgt über Einlässe, die an die bestehende Tunnelentwässerung EÜ Leuchtenbergring angebunden werden.

8.3.1.5 Bahnsteig A

Der Bft Leuchtenbergring besteht im Endzustand aus den zwei Inselbahnsteigen A (und C bei PFA 3A). Etwa in Bahnsteigmitte befindet sich die EÜ km 10,904 (Strecke 5510), Leuchtenbergring. Der bestehende Bahnsteig A wird größtenteils unverändert beibehalten und weiter genutzt. Für eine detaillierte Baubeschreibung der geplanten Maßnahmen vgl. Anlage 1.

8.3.1.6 Gründung

Die Gründung der Bahnsteigerweiterung erfolgt auf einem Niveau von ca. 530 müNN und befindet sich damit im Übergangsbereich zwischen den aufgefüllten Kiesen und den natürlichen und aufgefüllten Decklehmen. Da diese Schichtgrenze im Baufeld stark schwankt (0,7 bis 2,2 m unter GOK), sind in den Bereichen, wo auf dem Niveau der Gründungssohle die Decklehme aufgedeckt werden, je nach Konsistenz der Lehme und der abzutragenden Lasten ein ausreichender Bodenaustausch bzw. Maßnahmen zur Bodenverbesserung vorgesehen.

Die Gründung des Aufzugs (Aufzugsunterfahrt) erfolgt an dem Bahnsteig in einem Niveau von ca. 529,00 müNN mittels einer Bodenplatte und Bohrpfählen. Die dort anstehenden aufgefüllten Lehmböden werden bis 1,0 m unter Gründungssohle gegen tragfähigen Kies ausgetauscht.

8.3.1.7 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben können aufgrund der geringen Aushubtiefen frei geböscht werden. Falls bereichsweise Gleisanlagen zu sichern sind, so kann dies mit einer Stahlspundwand erfolgen.

Die Gründungssohle des geplanten Bauwerks liegt weit oberhalb des HW-Bau. Wasserhaltungsmaßnahmen sind demnach nicht erforderlich.

8.3.1.8 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Eine Beeinflussung bestehender Bauwerke ist nicht gegeben.

8.3.1.9 Entwässerung

Die Entwässerung kann in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen (Schicht Ic, Kap. 6.1.1) bzw. die unter den quartären bindigen Deckschichten (Schicht II gem. Kap. 6.1.2) folgenden quartären Kiese (Schicht III, Kap. 6.1.3) erfolgen. Das Abstimmungsergebnis (Protokolle vom 13.07.2004 und 6.4.2005) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.4 Baustraßen

Für eine detaillierte Baubeschreibung der geplanten Maßnahmen vgl. Anlage 1.

Baustraßen an bestehender GOK:

Im Allgemeinen ist das vorhandene Gelände aufgrund der oberflächennah verdichteten Kiesauffüllung für Baustellenfahrzeuge problemlos befahrbar. Gleis-
schotter werden beseitigt. Im Einzelfall werden geringmächtige Kiesschüttungen oder Nachverdichtungen vorgenommen.

Baustraßen im Bereich der natürlichen und aufgefüllten Decklehme:

Tieferliegende Baustraßen im Bereich des Ostastes, die sich im Bereich der natürlichen oder aufgefüllten Decklehme befinden, werden mittels einer ausreichenden Kiesschüttung (i.d.R. 30 cm) ertüchtigt.

Im Bereich besonders weicher Partien der Lehme kann die Schüttung bis zu 0,5 m betragen. Alternativ bzw. ergänzend hierzu können Geotextilien zum Einsatz kommen.

8.5 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen

Für eine Wiederverwertung innerhalb dieser oder in anderen Baumaßnahmen muss das Aushubmaterial die notwendigen Bodeneigenschaften für die Gründung von Ingenieurbauwerken und Gleiskörpern aufweisen. Dies ist bei Schicht Ic (kiesige Auffüllung) sowie Schicht III (Quartäre Kiese) der Fall. Die Schichten Id (bindige Auffüllung) und II (quartäre bindige Deckschichten) sind für einen qualifizierten Wiedereinbau nicht geeignet. Soll dieses Bodenmaterial erdbautechnisch weiter verwendet werden, ist eine zusätzliche Aufbereitung z.B. mit hydraulischen Bindemitteln erforderlich. Hierzu kommen Kalk- und / oder Zementzugabe in Betracht.

Weitere Ausführungen hierzu vgl. Abschnitt 9.5.

9 Folgerungen für die Baumaßnahmen / Tunnelstrecken mit Trögen

9.1 Haltepunkt Ostbahnhof tief in offener Bauweise

9.1.1 Gründungen

Der etwa 47 m lange und maximal bis zu etwa 54 m breite in offener Bauweise zu erstellende Aufgang Mitte mit dem dazugehörigen Startschacht des Haltepunkts Ostbahnhof tief der 2. SBSS liegt im Bereich des Orleansplatzes. Die in Spritzbetonbauweise geplanten Tunnelröhren für die Bahnsteige in geschlossener Bauweise werden in Abschnitt 9.3.2 behandelt. Am östlichen Ende des neu zu errichtenden Haltepunkts erfolgt die Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof. Die Baugrube für den Hauptaufgang Ost wird in Deckelbauweise, der daran anschließende Aufgang zum bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof der S-Bahn in offener Bauweise erstellt.

Die ca. 40 m tiefen Baugruben für den Aufgang Mitte sowie den Hauptaufgang Ost werden in offener bzw. in Deckelbauweise mit ~~Bohrpfahl- oder Schlitzwänden~~ wasserdichten Verbauwänden erstellt. Der Aufgang von der Baugrube Hauptaufgang Ost zum bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof der S-Bahn – die sogenannte Bestandsanbindung – wird im tiefen Abschnitt ebenfalls im Schutze von ~~Bohrpfahl- oder Schlitzwänden~~ wasserdichten Verbauwänden bzw. im Bereich des bestehenden Postgebäudes von DSV-Körpern erstellt, der höher liegende Abschnitt wird im Schutze eines temporären Verbaus erstellt.

Für den Aufgang Mitte in offener Bauweise sowie die ebenfalls in offener Bauweise zu erstellende Anbindung an den bestehenden Ostbahnhof sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	Haltepunkt Ostbahnhof tief – Aufgang Mitte (offene Bauweise)	Hauptaufgang Ost zum Haltepunkt Ostbahnhof (offene Bauweise)
Kilometrierung [Bau-km]	ca. 109,3+25 bis 109,3+71	ca. 109,4+14 bis 109,5+04
Abschnittslänge [m]	ca. 47	ca. 90
Bauwerksbreite [m]	max. ca. 54	max. ca. 21
Baugrubensohle unter GOK [m]	ca. 40	ca. 40 bis 5,5
Eintauchtiefe in HW_{Bau} [m]	ca. 32,6	ca. 32,6 bis 0,0

	Haltepunkt Ostbahnhof tief – Ausgang Mitte (offene Bauweise)	Hauptaufgang Ost zum Haltepunkt Ostbahnhof (offene Bauweise)
Gradientenhöhe ca. [müNN]	494,0	494,0
Geländehöhe ca. [müNN]	530,1 bis 530,3	ca. 530,5
OK Bauwerk ca. [müNN]	529,0	
Baugrubensohle ca. [müNN]	490,0	490,0 bis 525,0
HW _{Bau} (BW-Längsachse) [müNN]	522,6	522,6
HW _{End} (BW-Längsachse) [müNN]	523,5	523,6
OK Tertiär [müNN]	ca. 518,1	ca. 518,1
OK 1. GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	ca. 518,1	ca. 518,1

Tab. 9.1: Maßgebliche Koten für den Ausgang Mitte des Haltepunkts Ostbahnhof tief und die Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof (offene Bauweise)

Die Gründungssohlen in ca. 40 m Tiefe liegen überwiegend in tertiären Tonen und Schluffen. Die vertikale Lastabtragung erfolgt punktuell über Bohrpfähle bzw. Schlitzwandelemente, über die Verbauwand und über die Bodenplatte.

In Abhängigkeit von dem Eigengewicht des Bauwerks wird für das Erreichen der Auftriebssicherheit des Bauwerks im Endzustand das Bauwerk ballastiert und bei Bedarf zusätzlich die Bodenplatte rückverankert.

9.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Für den Ausgang Mitte des Haltepunkts Ostbahnhof tief der 2. SBSS, die Baugrube für die Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof der S-Bahn sowie für den tiefen Teil des daran anschließenden Aufgangs ist folgende Umschließungsvariante (siehe Abschnitt 9.2.2) und Wasserhaltungsmaßnahmen (Grundwasserabsenkung und Wiederversickerung des geförderten Grundwassers) vorgesehen:

- Variante 4: Baugrube mit verformungsarmer undurchlässiger Verbauwand (Bohrpfahlwand, Schlitzwand, schwere Spundwand), Lage der Baugrubensohle weniger als 0,5 m über oder unter dem Grundwasser, dichte Sohle und/oder Grundwasserentspannung im Tertiär. Unmittelbar benachbarte Bauwerke vorhanden.

Die Varianten 1 bis 3 (siehe Abschnitt 9.2.2) sind hier nicht relevant.

Die Herstellung des Bauwerks bzw. der Baugrube Ausgang Mitte des Haltepunkts Ostbahnhof tief ist in offener Bauweise vorgesehen.

Die Baugrube für den Hauptaufgang Ost soll in Deckelbauweise hergestellt werden. Hierbei werden zunächst die Baugrubenwände sowie die oberste Geschossdecke hergestellt und anschließend unter der Decke bis UK der nächst tiefer liegenden Geschossdecke ausgehoben. Danach wird diese betoniert und anschließend darunter weiter ausgehoben. Die Decken sowie weitere provisorische Aussteifungsebenen werden auf den Baugrubenwänden bzw. auf vorab hergestellten Primärstützen aufgelagert. Bei dieser Bauweise werden die Decken und Aussteifungsebenen zur Abtragung der Horizontallasten herangezogen. Somit kann eine Verankerung der Baugrube entfallen, die wesentlich stärkere Auswirkungen auf die Nachbarschaft zur Folge hätte.

Für den hohen Teil der Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Ostbahnhof ist ein temporärer Verbau vorgesehen. Der Bereich bindet z.T. in den Bemessungswasserstand für den Bauzustand ein, so dass eine undurchlässige Verbauwand (Variante 3, s. Abschnitt 9.2.2) vorgesehen wird:

- Variante 3: Baugrube mit nachgiebiger undurchlässiger temporärer Verbauwand (Spundwand), Lage der Baugrubensohle weniger als 0,5 m über oder unter dem Grundwasser, dichte Sohle und/oder Grundwasserentspannung im Tertiär. Unmittelbar benachbarte fremde Bauwerke nicht vorhanden.

Zur Aufnahme der horizontalen Erd- und Wasserdruckkräfte müssen Umschließungswände erfahrungsgemäß ab ca. 3 m Tiefe gestützt, d.h. ausgesteift oder mit Verpressankern nach DIN 4125 rückverankert werden.

Zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch wird bei entsprechender Einbindung in das Grundwasser eine Entspannung des Tertiärs unterhalb der Baugrubensohle sowie eine Restwasserhaltung vorgesehen.

9.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Durch die Herstellung der Baugruben können Setzungen an benachbarten baulichen Anlagen auftreten. Diese können bei entsprechend steifer Ausbildung der Baugrubenumschließung (Aussteifungsebenen, ggf. Deckelbauweise) mit zugehörigen Erddruckansätzen in einem Maße begrenzt werden, dass sie unterhalb einer Größenordnung verbleiben, bei welcher nach üblichen Kriterien Schäden zu erwarten wären.

Bei im Boden eingespannten, frei auskragenden Baugrubenwänden muss in den quartären Kiesen und tertiären Böden erfahrungsgemäß mit einer Wandkopfbewegung in einer Größenordnung von ca. 1 % der freien Wandhöhe gerechnet werden. Bei auf aktiven Erddruck bemessenen rückverankerten oder ausgesteiften Baugrubenwänden können horizontale Wandkopfverformungen, die üblicherweise in einer Größenordnung von ca. 0,1 % der Baugrubentiefe zu erwarten sind, unmittelbar hinter der Wand Setzungen von ca. 0,2 % der Baugrubentiefe auslösen. Diese Setzungen klingen bei Wanddrehung um den Wandkopf erfahrungsgemäß etwa in einer Entfernung vom 1-fachen der Baugrubentiefe auf Null ab. Mit auf erhöhten aktiven Erddruck bemessenen verformungsarmen Verbauwänden können diese Verformungen an unmittelbar benachbarten Bauwerken geringer gehalten werden. Dies ist bei Bedarf vorgesehen.

Für die Herstellung der Baugrube Aufgang Mitte des Haltepunkts Ostbahnhof tief wurde die offene Bauweise, für die Herstellung der Baugrube für den Hauptaufgang Ost die Deckelbauweise gewählt. Dabei wird durch Aussteifung der Decken und Wände ein sehr steifer Baukörper im Baugrund erzeugt, der hohe Erddruckkräfte aufnehmen kann und somit deutlich geringere Verformungen und Setzungen erwarten lässt als nach den o.g. Erfahrungswerten.

9.2 Tröge und Tunnel in offener Bauweise

9.2.1 Gründungen

Der Tunnelabschnitt in offener Bauweise und die Tröge im Ostast zum Leuchtenbergring beginnen südlich der Querung der Berg-am-Laim-Straße und werden zusammen mit der Startbaugrube westlich der Berg-am-Laim-Straße und dem integrierten Rettungsschacht 9 betrachtet.

Der Tunnel besteht aus zwei getrennten eingleisigen Tunnelbauwerken in offener Bauweise.

Für den Tunnel Ostast in offener Bauweise sowie den daran anschließenden Trog sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die angegebenen Grundwasserkoten enthalten nicht einen möglichen Aufstau durch die Baugrubenumschließung.

	Tunnel in offener Bauweise und Trog - Ostast	
Kilometrierung [Bau-km]	110,0+44-38 bis 110,2+88	110,2+88 bis 110,3+23
Bauwerk / Bauweise	Anfahrbaugrube mit RS9 und Tunnel eingleisig in offener Bauweise	Trog eingleisig
Lage der Sohle zum Grundwasser	unter und über Grundwasser HW _{Bau}	unter und über Grundwasser HW _{Bau}
Abschnittslänge [m]	244 250	35
Bauwerksbreite [m]	jeweils ca. 10	jeweils ca. 10
Geländehöhe ca. [müNN]	526,1 bis 531,7	531,3 bis 531,4
OK Bauwerk ca. [müNN]	521,1 bis 530,9	-
Gradientenhöhe ca. [müNN]	514,9 bis 524,7	524,7 bis 526,1
Gründungssohle ca. [müNN]	513,4 bis 523,2 (Tunnel) 510,8 (Anfahrbaugrube)	522,0 bis 523,4
UK Bauwerk unter GOK [m]	17,9 bis 8,2	9,4 bis 7,4
HW _{Bau} [müNN]	522,4	522,4
HW _{End} [müNN]	523,4	523,4
Eintauchtiefe in HW _{Bau} [m]	9,0 bis 0,0	0,4 bis 0,0
OK Tertiär [müNN] =OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	518,9 bis 518,4	518,4

Tab. 9.2: Maßgebliche Koten für den Tunnel in offener Bauweise und Trog im Ostast zum S-Bahnhof Leuchtenbergring

Die planmäßige Gründungssohle der eingleisigen Tunnelbauwerke liegt zwischen ca. 17,9 m im Südwesten und 8,2 m im Nordosten unter GOK und bindet damit sowohl in die tertiären Schichten als auch in die quartären Kiesen ein.

Die planmäßige Gründungssohle des Trogbauwerks bindet in quartäre Kiese ein und liegt im Endzustand auf der halben Länge im Grundwasser. Direkt oberhalb der Gründungssohle stehen am Trogende Lößlehmschichten und Auffüllungen an.

Die Gründung erfolgt auf Bodenplatten in ungestörten tertiären Schichten oder quartären Kiesen sowie bei Vorliegen von Auffüllungen bzw. bindiger quartärer Schicht im ausgetauschten Boden.

Anschließende Nachbarbauwerke sind in erster Linie Bahnanlagen mit Gleisen und kleinen Stützmauern sowie das Unterführungsbauwerk der Berg-am-Laim-Straße.

9.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Je nach Baugrubentiefe, Lage der Baugrubensohle über bzw. unter dem Grundwasserspiegel und angrenzenden Bauwerken sind folgende Baugrubenausbildungen (Umschließungsvarianten) vorgesehen:

- Variante 1: geböschte Baugrube (auch in Kombination mit Variante 2 und 3), Baugrubensohle mind. 0,5 m über dem Grundwasser, bei ausreichenden Platzverhältnissen und ohne unmittelbar benachbarte Bauwerke.
- Variante 2: Baugrube mit nachgiebiger durchlässiger temporärer Verbauwand (Bohlträgerverbau), Baugrubensohle mind. 0,5 m über dem Grundwasser, unmittelbar benachbarte fremde Bauwerke nicht vorhanden.
- Variante 3: Baugrube mit nachgiebiger undurchlässiger temporärer Verbauwand (Spundwand), Lage der Baugrubensohle weniger als 0,5 m über oder unter dem Grundwasser, dichte Sohle und/oder Grundwasserentspannung im Tertiär. Unmittelbar benachbarte fremde Bauwerke nicht vorhanden.
- Variante 4: Baugrube mit verformungsarmer undurchlässiger bleibender Verbauwand (Bohrpfahlwand, Schlitzwand), Lage der Baugrubensohle weniger als 0,5 m über oder unter dem Grundwasser, dichte Sohle und/oder Grundwasserentspannung im Tertiär. Unmittelbar benachbarte Bauwerke vorhanden.

Zur Aufnahme der horizontalen Erd- und Wasserdruckkräfte müssen Umschließungswände erfahrungsgemäß ab ca. 3 m Tiefe gestützt, d.h. ausgesteift oder mit Verpressankern nach DIN 4125 rückverankert werden.

Zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch kann bei entsprechender Einbindung unter das Grundwasser eine Entspannung des Tertiärs unterhalb der Baugrubensohle erforderlich werden.

Im Einzelnen sind für die genannten Bauwerke folgende Umschließungsvarianten und Wasserhaltungsmaßnahmen (Grundwasserabsenkung und Wiederversickerung des geförderten Grundwassers) vorgesehen:

Bauwerksbezeichnung	Vorgesehene Umschließungsvarianten	Grundwasserhaltung
Tunnel offene Bauweise	Variante 4	Tertiärentspannung mit Brunnen, Restwasserhaltung
Trog	Variante 3	auf ca. 1/3 der Troglänge

Tab. 9.3: Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen, Grundwasserhaltung

9.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Durch die Herstellung der Baugruben können grundsätzlich Setzungen an benachbarten baulichen Anlagen auftreten. Diese werden bei entsprechender Wahl des Erddruckansatzes bzw. der Steifigkeit der Baugrubenumschließung als beherrschbar und nicht zu Schäden führend angesehen (s. Abschnitt 9.1.3).

9.3 Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen

9.3.1 Maschineller Vortrieb

Aufgrund der großen Länge der Tunnelröhren im innerstädtischen Bereich ist zwischen Übergang PFA 2 / PFA 3neu, dem Haltepunkt Ostbahnhof tief und der Startbaugrube westlich der Berg-am-Laim-Straße ein Schildmaschinenvortrieb vorgesehen. Für die maschinellen Tunnelvortriebe sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	Maschinelle Tunnelvortriebe im Tertiär (Ostast)
Kilometrierung [Bau-km]	ca. 107,8+53 bis 110,0+38
Vortriebslänge [m]	ca. 1840
Bauwerksbreite ca. [m]	je Röhre ca. 8,4
UK Bauwerk unter GOK [m]	18,3 bis 49,3
Eintauchtiefe in HW_{Bau} (Tunnelsohle) [m]	9,2 bis 40,5
Gradientenhöhe ca. [müNN]	479,1 bis 514,9
Geländehöhe ca. [müNN]	506,5 bis 532,2
Gründungsohle ca. [müNN]	477,3 bis 513,1
HW_{Bau} [müNN]	508,8 bis 522,4
HW_{End} [müNN]	508,9 bis 523,4
OK Tertiär [müNN]	505,9 bis 519,3
OK 1. GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	505,9 bis 519,3

Tab. 9.4: Maßgebliche Koten für die maschinellen Tunnelvortriebe

Bei der endgültigen Wahl des Vortriebskonzepts spielen neben rein bodenmechanischen und geotechnischen Fragestellungen auch weitere Aspekte wie beispielsweise zur Baugestaltung, Wirtschaftlichkeit, Maschinenteknik 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 zu erwartende Bodenschichtung in der Vortriebsstrecke ist in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Tunnelbereich von Bau-km bis Bau-km	Bodenschichtung
107,8+53 – 108,4+95	Tertiäre Tone und Schluffe überwiegend im Kalottenbereich; tertiäre Sande überwiegend im Strossenbereich; Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich.
108,4+95 – 109,0+83	Überwiegend tertiäre Tone und Schluffe; z.Teil tertiäre Sande im Sohlbereich (westlicher Abschnitt) sowie im Kalottenbereich (mittlerer u. östlicher Abschnitt); Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich.
109,0+83 – 109,5+55	Im Aushubbereich (Baugrube Ostbahnhof) Auffüllungen sowie quartäre Kiese und Sande, gering mächtige quartäre Schluffeintragerungen möglich, darunter Wechselfolge aus tertiären Tonen und Schluffen mit tertiären Sanden; im Ausbruchquerschnitt überwiegend tertiäre Tone und Schluffe mit schwankendem Anteil an tertiären Sanden über die Querschnittshöhe verteilt; jeweils Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich.
109,5+55 – 110,3+2338	Mit steigender Gradienten zunehmend tertiäre Sande; im Übergang zu quartären Kiesen tertiäre Tone und Schluffe; im östlichen Teil des Abschnittes quartäre Kiese mit quartären Tonen und Schluffen; Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich.

Tab. 9.5: Tabellarische Darstellung des Streckenabschnitts

Es stehen dabei grundsätzlich folgende Vortriebsvarianten zur Diskussion:

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

wobei auch Kombinationen bzw. Wechsel der genannten Vortriebsarten 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 (Tübbing) unverzüglich während des Tunnelvortriebs geschlossen wird. Dadurch wird sofort ein Kontakt zwischen umgebendem Boden und Tunnelausbau hergestellt und es wird der Ringspalt bleibend verfüllt. Dadurch bleibt die hydraulisch trennende Wirkung von gering durchlässigen Bodenschichten zu 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 ganz ausgeschlossen werden können. Diese Setzungen werden durch entsprechende technische Maßnahmen 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 der Vortriebsmaschine) 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 im Zusammenwirkung mit in der Regel einzusetzenden 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 eignet sich Wasser in den Tonen und Schluffen sowie grundwasserverträgliche Schäume (abbaubare Tenside und ggf. Polymere) in den tertiären Sanden und eventuell auch noch in den quartären Kiesen.

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 weggedrückt. Die Strömung von der Ortsbrust weg erzeugt eine gewisse Strömungskraft im Boden, die zusätzlich die Ortsbrust stützen kann. Bei Vorliegen geschlossener Sandlinsen in Tonschichten ist jedoch ein Abströmen von Luft nicht möglich. Daher sind für diesen Fall Brunnen im Bereich der geschlossenen Sandlinsen erforderlich, mit Hilfe derer die Druckluft planmäßig abfließen kann.

In den quartären Kiesen ist aufgrund der hohen Durchlässigkeit eine Druckluftstützung nur möglich, wenn durch Zusatzmaßnahmen (z.B. Injektionen) deren Durchlässigkeit reduziert wird.

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 Transportwägen/ Loren (Erdruck- oder Druckluftmodus) zur zentralen Baustelleneinrichtungsfläche der Tunnelvortriebe gefördert.

Behandlung des gelösten Gebirges:

Nach der 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, Zyklone 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 werden muss. 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 des Wassergehalts des geförderten Bodens eine Nachbehandlung des Bodenmaterials für die endgültige Ablagerung unter Zusatz von Bindemitteln wie Kalk erforderlich.

9.3.2 Spritzbetonvortrieb

In folgenden Bereichen ist ein Spritzbetonvortrieb vorgesehen:

- Abzweigstelle Praterinsel
- Haltepunkt Ostbahnhof tief, beidseitig Startschacht Aufgang Mitte

- Verbindungsstollen zu den Rettungsschächten (s. Abschnitt 9.4.1)
- Haltepunkt Ostbahnhof tief, Quergang West
- Haltepunkt Ostbahnhof tief, Aufgang zur U-Bahnlinie U5

Für die vorgenannten Streckenabschnitte sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

	Tunnel in Spritzbetonvortrieb (Abzweigstelle Praterinsel)
Kilometrierung [Bau-km]	108,0+76 bis 108,2+11
Abschnittslänge [m]	135
Bauwerksbreite ca. [m]	35 bis 45
UK Bauwerk unter GOK [m]	39,0 bis 49,0
Gradientenhöhe ca. [müNN]	480,3 bis 479,5
Geländehöhe ca. [müNN]	517,6 bis 526,3
OK Bauwerk ca. [müNN]	524,0
Gründungssohle ca. [müNN]	476,5
HW _{Bau} [müNN]	516,3 bis 517,2
HW _{End} [müNN]	516,6 bis 518,0
OK Tertiär [müNN]	514,7 bis 516,3
OK 1. GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	514,7 bis 516,3

Tab. 9.6: Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb

	Tunnel in Spritzbetonvortrieb (Hp Ostbahnhof tief)	Tunnel in Spritzbetonvortrieb (Aufgang zu U5)
Kilometrierung [Bau-km]	109,2+30-37 bis 109,4+4947	109,3+71 bis 109,4+00
Vortriebslänge [m]	496-190 (402-96,5 + 9493,5)	29
Bauwerksbreite ca. [m]	bis zu 48,0	7
UK Bauwerk unter GOK [m]	ca. 39,6 bis 40,6	27,0
Eintauchtiefe in HW _{Bau} [m]	ca. 32,4	ca. 19,1
Gradientenhöhe ca. [müNN]	494,0	-
Geländehöhe ca. [müNN]	529,6 bis 530,6	530,3
OK Bauwerk ca. [müNN]	503,7	510,3
Gründungssohle ca. [müNN]	490,0	503,3
HW _{Bau} [müNN]	522,3 bis 522,5	522,4
HW _{End} [müNN]	523,2 bis 523,4	523,3
OK Tertiär [müNN]	518,1 bis 518,9	518,5
OK 1. GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	518,1 bis 518,9	518,5

Tab. 9.7: Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb, Haltepunkt Ostbahnhof

	Tunnel in Spritzbetonvortrieb (Quergang West)
Kilometrierung [Bau-km]	109,2+46
Abschnittslänge [m]	21
Bauwerksbreite ca. [m]	12
UK Bauwerk unter GOK [m]	38,6
Gradientenhöhe ca. [müNN]	494,0
Geländehöhe ca. [müNN]	529,6
OK Bauwerk ca. [müNN]	501,0
Gründungssohle ca. [müNN]	491,0
HW _{Bau} [müNN]	522,3
HW _{End} [müNN]	523,2
OK Tertiär [müNN]	518,9
OK 1. GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	518,9

Tab. 9.8: Maßgebliche Koten für die Tunnelbereiche mit Spritzbetonvortrieb, Quergang West

Hinsichtlich der erwarteten Bodenschichtung siehe Abschnitt 9.3.1.

Die geplanten Spritzbetonvortriebe liegen überwiegend in den tertiären Schichten unterhalb des Grundwassers. Je nach Tiefenlage und den geologischen Verhältnissen ergeben sich folgende Vortriebsvarianten:

- Vortrieb mit Druckluftstützung nahe bzw. oberhalb der Schichtgrenze Quartär / Tertiär: Wenn nicht sichergestellt ist, dass über der Firste eine ausreichende (vgl. nächster Pkt.) feinkörnige, wenig durchlässige Überdeckung (Tertiärüberdeckung) vorhanden ist, ist das darüber liegende Quartär z.B. mittels Abdeckinjektionen zu verbessern, die von GOK oder aus dem Vortrieb heraus hergestellt werden. Die Abdeckinjektionen reduzieren die Durchlässigkeit der quartären Kiese über der Firste, verlängern den Strömungsweg der Druckluft und vermindern damit die Druckluftverluste; sie erhöhen die Sicherheit gegenüber Ausbläsern bei geringer Überdeckung und erhöhen die Tragfähigkeit (Gewölbebildung) der überlagernden quartären Kiese.
- Ist eine ausreichende feinkörnige Überdeckung über der Firste sichergestellt, kann auf eine Verbesserung der quartären Kiese verzichtet werden. In erster Näherung sollte von einer erforderlichen Mindestüberdeckung aus feinkörnigem, wenig durchlässigem Material von ca. 2,5 m ausgegangen werden.
- Solange die aufgebrauchte Druckhöhe der Druckluft größer ist als der Wasserdruck an der Sohle des Vortriebs, kann auf eine Entspannung des anstehenden Tertiärwasserdrucks verzichtet werden. Dabei ist zu berücksichtigen,

dass ab einem Überdruck von 1,2 bar (12 m Wassersäule) bis 1,4 bar die Schleusungszeiten für das Personal gemäß der Druckluftverordnung stark ansteigen, so dass in der Regel Druckluftvortriebe mit größerem Überdruck unwirtschaftlich werden.

- Wenn gesichert eine mehrere Meter mächtige feinkörnige, wenig durchlässige Überdeckung der Firste Schicht vorhanden ist, kann in nicht setzungsempfindlichen Bereichen auch auf eine Druckluftstützung verzichtet werden. In erster Näherung sollte hierfür von einer erforderlichen Mindestüberdeckung aus feinkörnigem, wenig durchlässigem Material von 5 m ausgegangen werden. Dabei ist sicher zu stellen, dass durch die feinkörnige Schicht der Grundwasserdruck über der Firste aufgenommen werden kann. Die tertiären Sande sind für diesen Fall im Vortriebsbereich zu entwässern und die Schichten darüber und darunter sind zu entspannen.

Im gegenständlichen Planfeststellungsabschnitt wird aufgrund der vorhandenen Tiefen auch beim Spritzbetonvortrieb unter Druckluft eine Entspannungswasserhaltung in den tertiären Sanden erforderlich werden. Sie muss dabei so tief reichen, dass durch den Wasserdruck in den tertiären Sanden unterhalb der Vortriebe kein Sohlaufbruch bzw. hydraulischer Grundbruch entstehen kann. Durch die Entspannungswasserhaltung müssen weiterhin geschlossene Sandlinsen im Ton geöffnet werden, damit die Druckluft planmäßig abströmen kann.

Bei großen Querschnitten erfolgt der Spritzbetonvortrieb in Teilausbrüchen. Der zeitliche Verlauf, die Größe der jeweiligen Einzelabschnitte und die jeweiligen Abschnittslängen richten sich dabei u.a. nach der Standfestigkeit des Bodens und den sich daraus ergebenden statischen Erfordernissen zur Erzielung einer ausreichenden Standsicherheit zu jedem Zeitpunkt.

Die Tunnelabschnitte in Spritzbetonbauweise werden in sich zyklisch wiederholenden Arbeitsgängen hergestellt:

- Ausbruch mit Abschlaglängen von in der Regel 0,5 m bis 2 m je nach Größe des Ausbruchquerschnittes (erforderlichenfalls unter Beibehaltung eines Stützkerns an der Ortsbrust)

- Sofortige Sicherung (Ausbaubögen, Betonstahlmatten, Spritzbeton und ggf. zusätzlich erforderliche Sicherungsmittel wie Spieße, Pfändbleche, Ortsbrustanker, Rohrschirme, Injektionen oder dgl.)
- Schüttern

Trotz der Druckluftstützung können im Schichtwechselbereich zwischen Sanden und Tonen oder aber beim Anfahren geschlossener Sandlinsen im Ton Wasserzutritte auftreten. Zur Verhinderung von Erosionen können diese Wasserzutritte durch horizontale Dränbohrungen von der Ortsbrust aus gefasst, abgeschlaucht und nach außen geführt werden.

Abzweigstelle Praterinsel

Die Abzweigstelle Praterinsel südlich des Maximilianeums wird für die Weichenverbindungen der sich in Richtung Osten aufspaltenden Tunnel in den Ost- und möglichen Südast benötigt, wobei der Südast nicht Gegenstand der Planfeststellung für PFA3neu ist. Zunächst wird ein Zwischenangriffsschacht mit einem geplanten Durchmesser von ca. 17 m erstellt und ein Querschlag in Spritzbetonbauweise mit Druckluftunterstützung zwischen den beiden Gleisen aufgefahren. Von dort aus werden die jeweils ca. 135 m langen, getrennt für jede Fahrtrichtung aufzufahrenden Bereiche der Abzweigstelle in Spritzbetonweise mit Druckluftstützung hergestellt. Von je einer eingleisigen Tunnelröhre wird der Querschnitt Richtung Osten zu einer zweigleisigen Tunnelröhre aufgeweitet.

Die vorherrschenden Bodenarten im Tunnelbereich sind im Kalottenbereich überwiegend tertiäre Tone und Schluffe und im Strossenbereich tertiäre Sande. Da der maximale Wasserdruck in diesen Sandschichten weit über 1,5 bar liegt, ist eine Entspannungswasserhaltung zur Reduzierung des Wasserdrucks erforderlich.

Haltepunkt Ostbahnhof tief

Ausgehend von den Umschließungswänden der Baugrube für den in offener Bauweise zu erstellenden Bereich des Haltepunkts Ostbahnhof tief sollen die beiden anschließenden bergmännischen Bereiche über eine Länge von ca. ~~402~~ **96,5** m in westlicher Richtung bzw. ca. ~~94~~ **93,5** m in östlicher Richtung in Spritzbetonbauweise mit Druckluftstützung und vorausseilender Tertiärwasserent-

spannung aufgefahren werden. Im Zuge der Unterfahrung der bestehenden U-Bahnlinie U5 ist ein Vortrieb im Schutze eines Rohrschirms vorgesehen.

Aufgang zur U-Bahnlinie U5

Ausgehend von den Umschließungswänden der Baugrube für den in offener Bauweise zu erstellenden Bereich des Haltepunkts Ostbahnhof tief soll der anschließende bergmännische Vortrieb über eine Länge von ca. 29 m in Richtung der U-Bahnlinie U5 in Spritzbetonbauweise mit Druckluftstützung und vorauseilender Tertiärwasserentspannung aufgefahren werden.

Quergang West

Zwischen den beiden in bergmännischer Bauweise erstellten Bahnsteigröhren des Haltepunkts Ostbahnhof tief soll im westlichen Abschnitt der Bahnsteigröhren ein Quergang über eine Länge von ca. 21 m in Spritzbetonbauweise und im Schutze eines Vereisungskörpers aufgefahren werden.

9.3.3 Grundwasserhaltung

Die Anzahl der Brunnen, die zu fördernde Wassermenge sowie die Vorlaufzeit zum Erreichen der erforderlichen Entwässerung bzw. Entspannung der tertiären Sande ist entscheidend von deren Durchlässigkeit sowie vom Schichtaufbau im Tertiär (Schichtdicke und -häufigkeit der tertiären Sande) abhängig und ist fallweise zu betrachten. Je nach Schichtung und Durchlässigkeit der tertiären Sande werden zusätzlich Brunnen mit Vakuumunterstützung bzw. Vakuumlanzen vom Vortrieb aus erforderlich.

9.3.4 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei Schildvortrieben in großer Tiefe im Münchner Tertiär sind bei planmäßigem Vortrieb mit Ortsbruststützung, insbesondere bei einem Vortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, in der Regel nur geringe Setzungen und Setzungsdifferenzen oberhalb der Vortriebsstrecke zu erwarten. Mit zunehmender seitlicher Entfernung von der Vortriebsstrecke ist mit noch kleineren Setzungen zu rechnen. Mit geringerem Abstand des Tunnels zur Oberfläche bzw. zur Unterkante von Bauwerken nehmen die zu erwartenden Verformungen an der Oberfläche bzw. an den Bauwerken zu.

Bei Spritzbetonvortrieben, insbesondere bei den großen Querschnitten sind im Vergleich zum Schildvortrieb größere Setzungen und Setzungsdifferenzen zu erwarten.

Zur Reduzierung von Setzungen und Setzungsdifferenzen können ggf. folgende Zusatzmaßnahmen vorgesehen werden:

- Anpassung der Abschlagslängen und / oder Teilausbrüche
- Einbau zusätzlicher Sicherungsmittel im Vortrieb wie zuvor beschrieben
- Hebungsinjektionen zum Ausgleich von Setzungen
- Seitliche Abschirmwände zur Begrenzung der Setzungsmulde

Bei Hebungsinjektionen werden unterhalb der setzungsrelevanten Gebäude Manschettenrohre in den Boden eingebracht. Um den Boden "vorzuspannen" werden bereits vor Beginn des bergmännischen Vortriebs die Manschetten über Doppelpacker mit Zementsuspension beaufschlagt, bis an den Bauwerken erste kleine Hebungen auftreten. Durch ein umfangreiches Messprogramm können die im Zuge des Vortriebs entstehenden Setzungen festgestellt und durch weitere Injektionen ausgeglichen werden.

Im PFA 3neu sind bisher keine Zusatzmaßnahmen vorgesehen.

9.4 Schächte und Stollen

Im PFA 3neu sind 3 Rettungsschächte angeordnet, wobei RS 9 zusammen mit dem Tunnel in offener Bauweise (Abschnitt 9.2.) in einer gemeinsamen Baugrube errichtet wird. Die Notausstiege bestehen aus vertikalen Schächten, die mit den Tunneln durch Stollen verbunden sind. Der Schacht für den Rettungsschacht 7 wird innerhalb des Zwischenangriffsschachts Maximilianeum (Abzweigstelle Praterinsel) erstellt. Für die Rettungsschächte und Stollen sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	RS 7	RS 8
Kilometrierung [Bau-km]	108,1+42	108,6+08
<u>Schachtbauwerk</u>		
Geländehöhe [müNN]	ca. 524,9	ca. 526,8
HW _{Bau} [müNN]	517,0	519,6

	RS 7	RS 8
HW _{End} [müNN]	517,5	520,4
OK Tertiär [müNN]	516,0	517,2
OK 1.GW-Stauer [müNN] (feinkörniges Tertiär)	516,0	517,2
Tertiäraquifere gemäß nächstem Aufschluss [m unter GOK]	15,6 – 16,7 25,6 – 27,5 29,3 – 31,1 (dünne Zwischenlagen) 42,7 – 51,4 55,6 – > 57,6	19,1 – 19,7 22,7 – 23,8 28,0 – 28,5 29,8 – 31,2 46,8 – 47,2 48,0 – 55,1
Summe der Schichtdicken der Aquifere/ Endtiefe des Aufschlusses	(14,6) → ange- setzt: 20,0 57,6	11 60,2
Rettungsschacht		
Außendurchmesser [m]	ca. 8 bzw. 17	ca. 10
Tiefe mit Verbau ca. [m]	ca. 30,6 bzw. ca. 49,5	34,4
UK-Bauwerk ca. [müNN]	494,3 bzw. 475,4	492,4 497
Eintauchtiefe HW Bau [m]	ca. 41,6	ca. 27,2 22,6
Längsstollen		
Außenabmessungen [m]	4 x 4,5	4 x 4,5
Länge [m]	ca. 73 87	ca. 58 49
Oberkante [müNN]	484,5 / 499,0	487,5 / 498,0
Unterkante [müNN}	480,0 / 494,5	483,0 / 493,5
Anbindung Stollen/Tunnel		
Außenabmessungen [m]	4 x 5	4 x 4,5
Länge [m]		
Gleis 100 / Gleis 200	5,5 bzw. 4,4	ca. 10 / 10
Oberkante [müNN] Gleis 100 / Gleis 200	484,5 / 499,0	487,5 488,3 / 498,0
Unterkante [müNN] Gleis 100 / Gleis 200	480,0 / 494,5	483,0 / 493,5
Anbindung Stollen/Schacht		
Außenabmessungen [m]	4 x 4,5	4 x 4,5
Länge [m]	6,8	ca. 48
Oberkante [müNN]	499,0	498,0 501,5
Unterkante [müNN]	494,5	493,5 496,3

Tab. 9.9: Maßgebliche Koten für die Rettungsschächte und Stollen

9.4.1 Herstellung

Schächte oberhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht:

Der Baugrubenabschnitt über dem Grundwasser kann in Abhängigkeit von der Entfernung und Setzungsempfindlichkeit der Nachbarbebauung geböscht oder im Schutz eines Verbaus erstellt werden.

Im Tiefenbereich unter dem Grundwasser eignen sich dichte Baugrubenumschließungen, die zur Abschottung des Grundwassers bis in eine ausreichend mächtige feinkörnige Tertiärschicht reichen müssen:

- Bohrpfahlwände
- Schlitzwände
- Spundwände (Grenztiefe im Münchner Untergrund erfahrungsgemäß etwa 20 m bis 25 m)

Je nach der Tiefe des Schachtes und der Mächtigkeit feinkörniger Tertiärschichten im Bereich des Umschließungsfußes ist eine Entspannung von Sandschichten unter der Sohle erforderlich.

Schächte unterhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht:

Unterhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht ergeben sich grundsätzlich folgende Möglichkeiten zur Herstellung/Tieferführung der Rettungsschächte:

- Vollflächige Tieferführung der Umschließungswände (in größeren Tiefen: Bohrpfahlwände bzw. Schlitzwände) bis unter die Schachtsohle (Entspannung der Sande unter der Schachtsohle erforderlich)
- Aufgelöste Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung (Vollständige Entwässerung der Sande bis zur Schachtsohle und Entspannung der Sande unter der Schachtsohle erforderlich)
- Spritzbetonbauweise (Vollständige Entwässerung der Sande bis zur Schachtsohle und Entspannung der Sande unter der Schachtsohle erforderlich)
- Bohrpfahlwand bis in die erste feinkörnige Tertiärschicht. Darunter Spritzbetonbauweise (Entspannung und vollständige Entwässerung der Sande oder Baugrundvereisung erforderlich) oder aufgelöste Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung (Entspannung und vollständige Entwässerung der Sande erforderlich)
- Auffahren in Spritzbetonbauweise unter Druckluft durch Einbau einer drucklufthaltenden Zwischendecke im Schacht (Luftdruck muss größer sein als der Restwasserdruck in den tertiären Sanden).

Die vollflächige, dichte Tieferführung der Baugrubenumschließung ist technisch aufwändig, führt aber dazu, dass die tertiären Sande nicht vollständig entwässert werden müssen. Dies kann im Hinblick auf Beeinträchtigungen möglicher Grundwassernutzer vorteilhaft sein. Gemäß Abschnitt 10 sind jedoch Entspannungsmaßnahmen unterhalb der jeweiligen Baugrubensohle im Bauzustand zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch (hydraulischer Grundbruch) stets erforderlich. Gegebenenfalls kann eine Tertiärsandentspannung zur bauzeitlichen Reduzierung der Wasserdrücke auf die Umschließungswand vorteilhaft sein.

Herstellung Verbindungsstollen von Untertage aus:

Hinsichtlich der Herstellung der Verbindungsstollen von Untertage aus siehe Abschnitt 9.3.2. Im Anfahrbereich ausgehend von Vertikalschächten ist beim Druckluftvortrieb in den tertiären Sanden im Allgemeinen ein Dichtblock vorzusehen (Vereisung bzw. Düsenstrahlverfahren mit vertikalen oder max. 45° geneigten Düsbohrungen vom Schacht aus). Auf einen Dichtblock kann verzichtet werden, wenn keine tertiären Sande anstehen, die anstehenden tertiären Sande entwässert sind oder bereits vom Schacht aus (z.B. druckdichte Zwischendecke oder Anordnung der Schleuse beim Anfahren im Schacht) Druckluft aufgebracht werden kann.

Die Anbindung der Stollen an die Tunnelröhre erfolgt je nach Vortrieb atmosphärisch oder unter Druckluft, wobei ggf. für den Anschluss an den Tunnel zusätzliche Wasserhaltungsmaßnahmen (Vakuumpflanzen, Dränelemente) erforderlich sind. Bei Antreffen von Sandschichten ist ggf. eine Vereisung erforderlich.

9.4.2 Grundwasserhaltung

Je nach Herstellungsvariante der Schächte und Stollen sind nachfolgend unterschiedliche Grundwasserhaltungen dargestellt:

- Bei allen Varianten ist zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch eine Entspannung der Sande unterhalb der Schachtsohle vorgesehen.
- Bei dichten Baugrubenumschließungen mit großen Tiefen sind für die Reduzierung der horizontalen Kräfte auf die Verbauwand außerhalb der Baugru-

benumschließung Brunnen zur Entspannung (Entspannungsziel entsprechend dem zulässigen Restwasserdruck) der tertiären Sande vorgesehen.

- Bei Schächten mit Spritzbetonauskleidung bzw. aufgelösten Bohrpfahlwänden sind Brunnen zur Entwässerung (Absenkziel unter jeweiligem Aushubzustand) der tertiären Sande außerhalb der Verbauwand vorgesehen, damit beim Anschneiden der tertiären Sande diese nicht mit dem Grundwasser in die Baugrube hineinfließen.

Die Anzahl der Brunnen, die zu fördernde Wassermenge sowie die Vorlaufzeit zum Erreichen der erforderlichen Entwässerung bzw. Entspannung der tertiären Sande ist entscheidend von deren Durchlässigkeit sowie vom Schichtaufbau im Tertiär (Schichtdicke und -häufigkeit der tertiären Sande) abhängig und ist fallweise zu betrachten. Je nach Schichtung und Durchlässigkeit der tertiären Sande werden zusätzlich Brunnen mit Vakuumunterstützung bzw. Vakuumpflanzen erforderlich.

9.4.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Im Einflussbereich von Grundwasserentspannungs- und Grundwasserabsenkungsmaßnahmen sind in der Regel großräumige Setzungen mit ausgedehnten Setzungsmulden zu erwarten. Diese Setzungen liegen je nach Absenktiefen in einer Größenordnung, die erfahrungsgemäß aufgrund der großen Ausrundungsradien der Setzungsmulden nicht zu Schäden an umliegenden Bauwerken führen.

9.5 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen

Im Planfeststellungsabschnitt 3neu fällt Bodenaushub- und Tunnelausbruchmaterial in einem Umfang von insgesamt ca. 592.000 m³ Festvolumen an. Die wesentlichen aushubrelevanten Baumaßnahmen sind:

- Zwischenangriff Maxanlagen und Rettungsschacht 7: ca. 28.000 m³ Festvolumen
- Rettungsschacht 8: ca. 4.000 m³ Festvolumen
- Offene Bauweise für den Neubau der S-Bahn Station Ostbahnhof tief: ca. 230.000 m³ Festvolumen

- Angriffsbaugrube Orleanspark: ca. 33.000 m³ Festvolumen
- Ausbruchmaterial aus den bergmännischen Tunnelvortrieben: ca. 216.000 m³ Festvolumen
- Offene Bauweise für Tunnel, Zulauf Leuchtenbergring: ca. 81.000 m³ Festvolumen

Zusätzlich ist mit einem Anfall von ca. 14.000 m³ an Gleisschotter zu rechnen.

Hinsichtlich einer Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials sind zwei Kriterien zu beachten:

- Für eine Wiederverwertung innerhalb dieser oder in anderen Baumaßnahmen muss das Aushubmaterial die notwendigen Bodeneigenschaften für die Gründung von Ingenieurbauwerken und Gleiskörpern aufweisen. Dies ist bei Schicht Ic (Auffüllung), Schicht III (Quartäre Kiese) sowie teilweise bei Schicht V (Tertiäre Sande) der Fall. Die Schichten Id (Auffüllung), II (quartäre bindige Deckschichten) und IV (Tertiäre Schluffe und Tone) sind für einen qualifizierten Wiedereinbau ohne Zusatzmaßnahmen nicht geeignet. Soll dieses Bodenmaterial erdbautechnisch weiter verwendet werden, ist 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.
- Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nur Material mit einer Schadstoffbelastung bis zur Einbauklasse Z 1.2 gemäß LAGA Mitteilung 20 wiedereingebaut werden kann. Dieses Kriterium ist in den geogenen Bodenschichten ohne Ausnahme 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 > Z

2 wird im Anschluss daran in geeigneten Deponien oder Bodenbehandlungsanlagen fachgerecht entsorgt.

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

10 Grundwasserinanspruchnahme

10.1 Grundsätzliches - Grundwassernutzungen

Nachfolgend wird für einzelne Streckenabschnitte bzw. Bauwerke entsprechend den vorgesehenen Bauverfahren die Beeinflussung des Grundwassers im Bau- und Endzustand betrachtet. Hierzu werden die in das Grundwasser reichenden Bauteile behandelt. Es werden nachfolgend Wassermengen von Bauwasserhaltungen und Aufstauhöhen in Folge Behinderung der Grundwasserströmung berechnet.

Für die Wiederversickerung bzw. Einleitung in eine Vorflut von Bauwasserhaltungen ist in Bereichen von verunreinigtem Grundwasser (vgl. Kapitel 5.2.6.2) die Vorschaltung einer Filteranlage notwendig. Der dafür erforderliche, vorübergehende Flächenbedarf ist in den allgemeinen Flächen für eine Bauwasserhaltung berücksichtigt.

Angaben zu Ableitungen von Niederschlagswasser in den Trogabschnitten und von Sickerwasser in den Tunnelstrecken im Endzustand sind in Anlage 12.1 enthalten.

10.2 Berechnungsmethoden

Die Wassermengenabschätzung bei Baugruben wurde über die Zuströmung zum Brunnen mit Ersatzradius A_{RE} abgeschätzt. Hierbei wurde im Tertiär jeweils die Dicke der maßgeblichen, wasserführenden und wassergesättigten Bodenschicht (gespannt) angesetzt.

Zur Abschätzung der voraussichtlich zu fördernden Wassermengen wurden die in Abschnitt 7.3 angegebenen mittleren Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_{\text{mittel}}(q) = 5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s im Quartärkies und von $k_{\text{mittel}}(ts) = 5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s im Tertiärsand angesetzt. Die durchgeführte Abschätzung von Wassermengen einer Tertiärentension liefert erfahrungsgemäß für den Anfang des Wasserhaltungsbetriebes realistische Größen. Bei lang andauernder Entspannungswasserhaltung geht die Wassermenge meist deutlich zurück, womit die Berechnung auf der sicheren Seite liegt. Bei Spritzbetonvortrieben mit Druckluftstützung wurde zur Berechnung

einheitlich 1,0 bar Überdruck angesetzt. Die Druckluftbeaufschlagung reduziert die Wassermengen.

10.3 **Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens**

Im PFA 3neu sind keine Schutzzonen von Trinkwassergewinnungsanlagen ausgewiesen.

10.4 **Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse**

10.4.1 **Grundwasseraufstau**

Sowohl die tertiären Wechsellagerungen aus feinkörnigen Böden und Sand als auch die quartären Kiese sind grundwasserführend, wobei davon ausgegangen wird, dass sich großräumig im Quartär und Tertiär etwa gleiche Grundwasserdruckhöhen einstellen. Die überwiegend im Tertiär verlaufenden Tunnelstrecken sowie die im Quartär liegenden Bauwerke Haltepunkt Ostbahnhof tief, Trog im Bereich Leuchtenbergring und die Schächte und Stollen bewirken eine Grundwasserbeeinflussung (Aufstau / Absenkung / Umströmung / Unterströmung / Überströmung). Ein Grundwasseraufstau im Tertiär führt allerdings aufgrund der im Vergleich zum Quartärkies niedrigen Wasserdurchlässigkeit und der damit einhergehenden vergleichsweise geringen beeinflussten Wassermenge zu keiner erheblichen Veränderung des Grundwasserstandes im Quartär. Die Behinderung des quartären Grundwasserstromes durch Bauwerke kann allerdings zu hohen Aufstauhöhen mit Reichweiten führen, die eine Beeinträchtigung von Nachbarbebauungen zur Folge haben. Aus diesem Grund wird im Zuge der wasserrechtlichen Genehmigung von Baumaßnahmen in München nur die Beeinflussung der quartären Grundwasserströmung berücksichtigt. Sofern durch Grundwasseraufstau /-absenkung keine Beeinträchtigung der bestehenden Nachbarbebauung (Einstau von Kellern, Funktion von Wärmepumpen, Klimaanlage, etc.) zu befürchten ist, wird üblicherweise von der Genehmigungsbehörde von einem größten Aufstau / einer größten Absenkung von höchstens 0,30 m unmittelbar am neu herzustellenden Bauwerk zugestimmt. Sind Keller bei dicht angrenzender Nachbarbebauung durch hohe Grundwasserstände gefährdet, wird der höchste zulässige Aufstau / Sunk auf 0,10 m bis 0,20 m beschränkt.

In den Kapiteln 10.5.3 und 10.5.4 wird der Grundwasseraufstau durch den im Tiefenbereich des Quartärs liegenden Tunnel im Ostast und die daran anschlie-

ßenden Tröge in Richtung Leuchtenbergring sowie den Haltepunkt Ostbahnhof tief für den Bau- und Endzustand abgeschätzt und eine Bewertung hinsichtlich der voraussichtlichen Erfordernis von Grundwasserüberleitungsanlagen angegeben. Ein vom quartären Grundwasser über- und unterströmtes Rampenbauwerk, mit einem im Boden verbliebenen Teil der Baugrubenumschließung ist in Abb. 10.1 schematisch dargestellt.

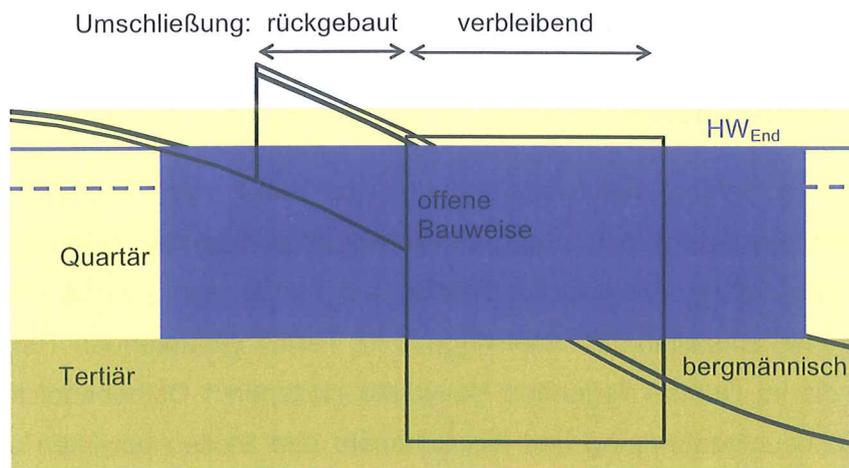


Abb. 10.1: Schemadarstellung Tunnelbauwerk im quartären Grundwasser bei HW_{End}

Der im Boden verbleibende Abschnitt der Baugrubenumschließung sperrt den quartären Grundwasserstrom vollständig ab und muss umströmt werden, während die angrenzenden Trogbereiche mit einer Bauwerkssohle im Tiefenbereich zwischen Tertiäroberfläche und HW_{End} im Endzustand unterschiedlich stark behindert unterströmt werden. Im Bauzustand oder bei im Boden verbleibender Umschließung ist der umströmte Abschnitt entsprechend länger. Bergmännisch im Tiefenbereich des quartären Aquifers vorgetriebene Tunnelabschnitte sperren den quartären Grundwasserstrom im Endzustand teilweise ab und werden unterschiedlich stark behindert überströmt. Auf der sicheren Seite liegend wird zur Abschätzung des Aufstaus aus kombinierter Umströmung, Unterströmung und Überströmung jeweils etwa die halbe bei HW_{End} unterströmte Rampenstrecke und die halbe bergmännische Vortriebslänge mit Überströmung im Quartär als Vollabspernung des quartären Grundwasserstroms angesetzt (Abb. 10.2).

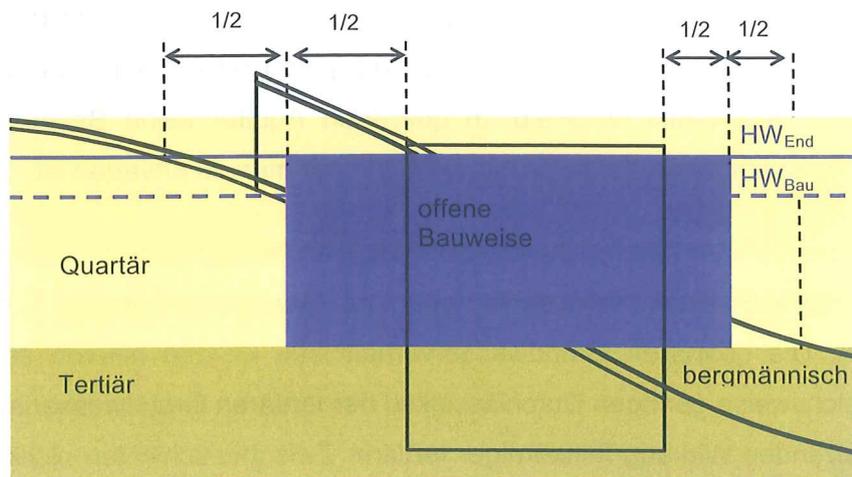


Abb. 10.2: Berechnung angesetzter Baukörper im Grundwasser bei HW_{End}

Der maximale Grundwasseraufstau Δh aus Umströmung eines Rampenbauwerkes mit seiner im Boden verbliebenen Baugrubenumschließung berechnet sich dann zu $\Delta h = i \cdot L/2$. Der Grundwasseraufstau ist demnach nur vom Grundwassergefälle "i", dem Anströmwinkel und der daraus resultierenden senkrecht angeströmten Bauwerkslänge "L" abhängig. Der Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens beeinflusst den Aufstau nicht, wenn die Strömungslinien beim Umströmen und Unterströmen des Bauwerkes jeweils in Bodenschichten gleicher Durchlässigkeit liegen, wovon für die hier vorgenommene Abschätzung des Grundwasseraufstaus ausgegangen wurde.

10.4.2 Beeinflussung von Grundwassernutzern

10.4.2.1 Beeinflussung durch Injektionen

Durch frischen Zement von Verpressungen tritt eine örtlich und zeitlich begrenzte pH-Wert-Erhöhung auf, die bei bepumpten Brunnenanlagen in nächster Nähe zu beschleunigtem Versintern und damit zur Leistungsminderung führen kann, was durch Sanierungsmaßnahmen oder Ersatz behoben werden kann. Injektionen im Grundwasser sind prinzipiell genehmigungspflichtig und im Zuge des Wasserrechtsverfahrens zu beantragen. Alle bekannten Brunnenanlagen sind mehr als ca. 100 m von Baumaßnahmen entfernt, bei denen Injektionen vorgesehen sind.

10.4.2.2 Beeinflussung durch Bauwasserhaltungen

Grundwasserförderungen aus dem quartären Aquifer beschränken sich auf das durch Baugrubenumschließungen dringende (Schloss-) Wasser und das tempo-

rär bei Ankerbohrarbeiten bis zur Abdichtung der Ankerköpfe in Baugruben anfallende Wasser. Die Entnahmemengen sind gering oder jeweils auf einen kurzen Zeitraum beschränkt, weshalb im quartären Aquifer keine Beeinflussung von Grundwassernutzern durch Grundwasserentnahmen zu erwarten ist.

Für die geplanten tieferreichenden Baumaßnahmen sind an verschiedenen Stellen tertiäre Grundwasserabsenkungen und Grundwasserentspannungen erforderlich. Die quartären Grundwasserverhältnisse werden hiervon aufgrund der vergleichsweise geringen Durchlässigkeit der tertiären Grundwasserleiter und der absperrenden Wirkung feinkörniger tertiärer Zwischenschichten nicht in relevanter Größe beeinflusst. Deshalb wurden für die vorliegende Fragestellung nur die Grundwassernutzungen im Tertiär berücksichtigt.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Grundwasserabsenkungen in den gespannten Grundwasserstockwerken des Tertiärs sehr große Reichweiten (bis ca. 1 km) ausbilden können.

Es sind in folgenden Bereichen im Tertiär Absenkungs- und Entwässerungsmaßnahmen in Folge der Baumaßnahme zu erwarten:

- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen, die im Bereich der Abzweigstelle Praterinsel voraussichtlich bis in maximale Tiefen von ca. 75 m unter GOK reichen.
- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen im Bereich des Rettungsschachts RS 8, die voraussichtlich bis in maximale Tiefen von ca. 55 m unter GOK reichen.
- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen, die im Bereich des Haltepunktes Ostbahnhof tief voraussichtlich bis in maximale Tiefen von ca. 65 m unter GOK reichen.
- Tertiärwasserhaltungen im Bereich des Tunnels in offener Bauweise und den daran anschließenden Trogbauwerken mit maximalen Tiefen bis ca. 30 m unter GOK.

Aus vom Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München (RGU) zur Verfügung gestellten Daten (Stand 2004) wurden Grundwassernutzungen eruiert, die einen Abstand von weniger als 1 km zur geplanten S-Bahn-Trasse haben und damit im weiträumigen Einflussbereich der Baumaßnahme lie-

gen. Demnach liegen im PFA 3neu 2 Grundwassernutzungen im Tertiär in einem relevanten Umkreis der Baumaßnahmen. Nachfolgend ist die Art der Nutzung und der Beeinflussung durch die Baumaßnahmen angegeben:

Nutzer Nr. 285 (Ismaninger/Troger-Str.)

Brunnen und Nutzung:

Der Brunnen befindet sich im Bereich des Klinikums Rechts der Isar. Es handelt sich um einen Tertiärbrunnen mit einer Filterstrecke zwischen 60,5 m und 153 m. Eine früher zusätzlich vorhandene Filterstrecke zwischen 38,0 m und 40,5 m ist nach Angabe des RGU wahrscheinlich außer Betrieb genommen worden. Ein geologisches Profil mit Ausbauplan liegt nicht vor.

Der Brunnen dient zur Trinkwasserversorgung im Katastrophenfall, seine Förderleistung ist nicht bekannt. Nach aktuellem Kenntnisstand erfolgt derzeit keine Grundwasserentnahme

Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Aufgrund des Abstandes von etwa 550 m nördlich im Abstrom von bis zu ca. 75 m tief reichenden Tertiärwasserhaltungen zur Herstellung von Rettungsschächten und der Abzweigstelle Praterinsel, ist die Einschränkung der maximal förderbaren Wassermenge durch Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektive Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) wahrscheinlich.

Der Umfang der Beeinflussung kann vorab quantitativ nicht abgeschätzt werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Beeinflussung gering und eine Grundwasserförderung aus den tieferen Tertiärschichten auch während des Baubetriebes mit nur geringen Einschränkungen möglich sein wird.

Nutzer Nr. 725 (Innsbrucker Ring)

Brunnen und Nutzung:

Für den Brunnen liegt kein geologisches Profil mit Brunnenausbauplan vor. Nach den Unterlagen einer Brunnenbefahrung bestehen folgende Filterstrecken: 26,4 m bis 29,4 m / 41,4 m bis 47,4 m / 53,4 m bis 71,5 m / 89,4 m bis 101,4 m /

107,4 m bis 110,4 m / 116,5 m bis > 129,7 m (Sedimentfüllung). Inwieweit die obere oder die oberen beiden Filterstrecken unmittelbaren Kontakt zu Tertiär-aquiferen haben, oder ob es sich um Filterstrecken innerhalb eines mit Filterkies gefüllten Sperrrohres handelt, ist nicht bekannt.

Der Grundwasserbrunnen wird zur Kühl-, Brauch- und Eigenwassergewinnung (Trinkwasser u. Notbrunnen) genutzt, wobei die durchschnittlich genehmigte Fördermenge von 13 l/s nach Auskunft des Betreibers derzeit mit etwa 7 l/s nur zum Teil ausgeschöpft wird.

Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Eine signifikante Reduzierung der förderbaren Wassermenge wird schon aufgrund des großen Abstandes von etwa 1000 m südöstlich im Zustrom der bis in etwa 75 m Tiefe reichenden Tertiärwasserhaltungen für den Ostast der 2. SBSS als sehr unwahrscheinlich angesehen.

Es wird davon ausgegangen, dass die derzeit geförderte Wassermenge von etwa 7 l/s auch während des Baubetriebs uneingeschränkt zur Verfügung steht.

10.5 Auswirkungen auf das Grundwasser in den einzelnen Streckenabschnitten

10.5.1 Maschineller Tunnelvortrieb

10.5.1.1 Wasserhaltung zur Bauzeit

Für die maschinellen Tunnelvortriebsbereiche ist ein Schildvortrieb mit aktiver Ortsbruststützung vorgesehen (siehe Abschnitt 9.3.1). Die Hauptabmessungen der Tunnelbauwerke sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.4 Abschnitt 9.3.1 zusammengestellt.

10.5.1.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die Abschnitte mit Maschinenvortrieb erfordern in der Regel keine Wasserhaltung.

10.5.1.3 Injektionen und Suspensionen

Für den Maschinenvortrieb sind Verpressungen des Ringraumes zwischen Gebirge und Ausbau mit Ringspaltmörtel erforderlich. Zur Stützung der Ortsbrust,

zur Steuerung der rheologischen Eigenschaften der Stütz- und Fördersuspension und zur Abdichtung bzw. Schmierung zwischen Tunnelbohrmaschine und Gebirge sind Bentonitsuspensionen oder auch Suspensionen mit Polymer- oder Tensidzusätzen vorgesehen. Sofern Polymere und / oder Tenside eingesetzt werden, wird dies rechtzeitig mit dem WWA abgestimmt.

Des Weiteren können an der Startbaugrube westlich der Berg-am-Laim-Straße und Ostbahnhof tief Bodenvermörtelungen im Düsenstrahl – Verfahren, Zementinjektionen oder Bodenvereisungsmaßnahmen erforderlich werden.

Im Ausfahrbereich der Tunnelvortriebsmaschine aus dem Startschacht werden Düsenstrahlkörper für Dichtzwecke erforderlich. Beim Abtauchen des Vortriebs am Startschacht im Übergangsbereich zwischen Quartär und Tertiär sind im Bereich des südlichen Tunnelgleises Abdeckinjektionen vorgesehen.

10.5.1.4 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerkes im Grundwasser

Das gesamte Tunnelbauwerk liegt bis auf den Anfahrbereich (Startbaugrube) vollständig im Tertiär unter dem Grundwasser.

10.5.1.5 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Der vollständig im Tertiär verlaufende Tunnel bewirkt keinen Grundwasseraufstau im Quartäraquifer. Der im Anfahrbereich im Ostast im Quartär liegende Tunnelbereich wird hinsichtlich eines Grundwasseraufstaus zusammen mit dem anschließenden Tunnel in offener Bauweise (Abschnitt 10.5.3.6) betrachtet.

10.5.1.6 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs liegen bereits die Grundwassermessstellen 2S-7/06 (Bau-km 107,9+31), 2S-O8/31 (Bau-km 108,0+96), 2S-O8/33 (Bau-km 108,2+27); 2S-O8/51 (Bau-km 108,3+17), 2S-O8/52 (Bau-km 108,4+17), 2S-O8/54 (Bau-km 108,5+87), 2S-O8/55 (Bau-km 108,6+24), 2S-O8/57 (Bau-km 108,8+75), 2S-O9/52 (Bau-km 109,1+31), 2S-O9/53 (Bau-km 109,1+88), 2S-O9/32 (Bau-km 109,5+60), 2S-O9/58 (Bau-km 109,6+03), 2S-O9/33 (Bau-km 109,7+06), 2S-O9/34 (Bau-km 109,8+20) vor, die erhalten bleiben sollen.

10.5.2 Abzweigstelle Praterinsel (Bau-km 108,0+76 – Bau-km 108,2+11)

Die Hauptabmessungen der geplanten Abzweigstelle sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.6 des Abschnitts 9.3.2 zusammengestellt. Es ist beabsichtigt, einen Angriffsschacht im südlichen Gleis und einen Querschlag zwischen den beiden Gleisen zu erstellen und von dort aus zunächst zwei Tunnelröhren aufzufahren, die sich jeweils zu zwei Röhren aufweiten. Der Angriffsschacht erhält einen dichten Verbau. Der Querschlag und die Tunnelstrecken sollen in Spritzbetonbauweise mit Druckluftunterstützung aufgeföhren werden. Bis auf die obersten Meter des Angriffsschachtes liegt die Abzweigstelle vollständig im Tertiär.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen Brunnen zur Entspannung wasser-durchlässiger und druckwasserführender Schichten unter der Sohle bis in maximale Tiefen von überschlägig ca. 75 m ab GOK hergestellt werden. Grundwasser bis zu dieser Tiefe muss soweit entspannt werden, dass sein Druckspiegel keinen Aufbruch der Aushubsohle bewirken kann. Zur Entwässerung von Sandlagen, die über die Brunnen nicht ausreichend erfasst wurden, können an der Ortsbrust zusätzliche örtliche Wasserhaltungsmaßnahmen mit Horizontaldränagen und Pumpensümpfen erforderlich werden. Der geplante Einsatz einer Druckluftunterstützung bei Spritzbetonvortrieb reduziert die Wassermengen für eine Tertiärgrundwasserabsenkung.

10.5.2.1 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die in Anhang 1 zusammengestellten Berechnungen liefern bei 10 Monaten Betrieb der Wasserhaltung zur Herstellung und zur Nutzung des Angriffsschachtes und 30 Monaten Betrieb der Bauwasserhaltung zur Herstellung des Querschlages und der Tunnelröhren folgende rechnerischen Wassermengen:

Wassermengen während der Bauzeit: Abzweigstelle Praterinsel	
(Schacht)	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	58,5
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 10 Monaten [m ³]	1.500.000
Tunnelbauwerk	
Wasseranfall während der Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung [l/s]	59,6
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 30 Monaten [m ³]	4.700.000

10.5.2.2 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung geförderten Grundwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Für die Dimensionierung einer Versickerungsanlage ist die ermittelte maximale Wassermenge während der Schachtherstellung maßgeblich.

Es ist geplant, das geförderte Grundwasser, gegebenenfalls nach Durchlaufen einer Neutralisationsanlage, unmittelbar in die Isar einzuleiten. Die Ableitung des geförderten Grundwassers ist rechnerisch auch mit mindestens 4 vollkommenen, bis zum Tertiär reichenden Sickerbrunnen mit je 0,60 m Durchmesser zu bewerkstelligen, wenn der Aufstau im Brunnen ohne Gefährdung von Nachbarbauwerken bis 1 m unter GOK möglich ist. Wenn der Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt werden muss, ergeben sich aufgrund der geringen Differenz zwischen HW_{Bau} und HW_{End} rechnerisch 106 Brunnen. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und mindestens ca. 91 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

10.5.2.3 Injektionen / Düsenstrahlkörper

Im Zuge des Spritzbetonvortriebes können örtliche Sicherungsmaßnahmen z.B. mit Ankern und Nägeln bzw. Schirmgewölbésicherungen erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen. Im Ein- und Ausfahrbereich der Tunnelvortriebsmaschine werden Düsenstrahlkörper für Dichtzwecke erforderlich.

Das hierbei je Verpressanker oder Nagel mit Zementmörtel verfüllte Bodenvolumen ist gering oder die Düsenstrahlkörper sind auf einzelne kurze Vortriebsabschnitte begrenzt. Es werden keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet.

10.5.2.4 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.6 in Abschnitt 9.3.2 ersichtlich, liegt der Angriffsschacht teilweise im Quartäraquifer und die Tunnel der Abzweigstelle liegen vollständig im tertiären Grundwasser, wobei die Bauwerksunterkante etwa maximal 40,3 m in das HW_{Bau} bzw. maximal etwa 40,8 m in das HW_{End} eintaucht.

10.5.2.5 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Die Tunnel der Abzweigstelle bewirken keinen Grundwasseraufstau im Quartär-aquifer. Die Bauwerksabmessungen des Angriffsschachts sind mit einem Außendurchmesser von ca. 17 m gering, womit durch das Bauwerk im Bau- und Endzustand kein schädlicher Grundwasseraufstau im Quartär verursacht wird.

10.5.2.6 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich der Abzweigstelle Praterinsel liegen die Grundwassermessstellen 2S-O8/31 (Bau-km 108,0+96) und 2S-O8/33 (Bau-km 108,2+27), die erhalten bleiben sollen.

10.5.3 Tunnel in offener Bauweise und Trog Ostast (Bau-km 110,0+44-38 bis Bau-km 110,3+2338)

10.5.3.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Die Hauptabmessungen des Tunnels in offener Bauweise Ostast mit der Startbaugrube westlich der Berg-am-Laim-Straße und des Rettungsschachts 9 sowie des daran anschließenden Troges sind zusammen mit der Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche in Tab. 9.2 des Abschnitts 9.2.1 zusammengestellt.

Das nach Norden hin ansteigende Tunnelbauwerk in offener Bauweise liegt am Abschnittanfang mit der Sohle im Übergangsbereich vom Quartär zum Tertiär und zum Abschnittsende hin vollständig im Quartär. Der Aushub erfolgt im Schutz eines im Boden verbleibenden Baugrubenverbaus, der bis in feinkörnige Tertiärschichten reicht und einen so genannten "dichten Baugrubentrog" bildet. Der daran anschließende Trog des Ostastes liegt vollständig im Quartär. Der Aushub erfolgt ebenfalls im Schutz eines dichten Baugrubentrogs, wobei dieser nur zur Bauzeit vorhanden ist.

Nordöstlich der Trogquerschnitte sollen Bohrpfahlwände ausgeführt werden. Die Bohrpfahlwände binden bereichsweise in den Bemessungswasserstand für den Endzustand ein. Weiterhin sind dauerhaft im Untergrund verbleibende Stützwände vorhanden, die ebenfalls teilweise in den Bemessungswasserstand für den Endzustand einbinden und daher berücksichtigt werden müssen.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen im Bereich der offenen Bauweise Brunnen zur Entspannung wasserdurchlässiger und druckwasserführender Schichten unter der Sohle bis in Tiefen von maximal ca. 30 m ab GOK hergestellt werden. Grundwasser bis zu dieser Tiefe muss soweit entspannt werden, dass sein Druckspiegel maximal bis zur Baugrubensohle steigt.

10.5.3.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die in Anhang 2 zusammengestellten Berechnungen liefern bei 18 Monaten Betrieb der Wasserhaltung folgende rechnerischen Wassermengen:

Wassermengen während der Bauzeit: Tunnel und Trog in offener Bauweise Ostast	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	67,1
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 18 Monaten [m ³]	3.200.000

10.5.3.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers und des Niederschlagswassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung geförderten Grundwassers und des aus der Baugrube abgepumpten Niederschlagswassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich, wobei oberflächennah in dem betrachteten Bereich zunächst feinkörnige Deckschichten anstehen. Für die Dimensionierung einer Versickerungsanlage sind rechnerisch 14 vollkommene, bis zum Tertiär reichende Sickerbrunnen mit je 0,60 m Durchmesser erforderlich, wenn der Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt wird. Sofern Versickerungsbrunnen ohne Einstau von Nachbarbauwerken bis etwa 1 m unter GOK aufgestaut werden können, sind rechnerisch nur 2 Brunnen erforderlich. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und insgesamt mindestens ca. 60 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

10.5.3.4 Baugrubenumschließung und Injektionen

Die Baugrubenumschließung bindet ins Tertiär ein. Die Aussteifung der Baugruben ist über Steifen-Verpressanker vorgesehen, so dass keine schädlichen Ver-

~~änderungen des Bodens und der Grundwasserströmung infolge Verankerungen auftreten.~~

Das hierbei je Verpressanker mit Zementmörtel verfüllte Bodenvolumen ist gering, so dass keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet werden.

10.5.3.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.2 in Abschnitt 9.2.1 ersichtlich ist, reicht das Tunnelbauwerk bis zu 9,0 m unter HW_{Bau} bzw. etwa 10,0 m unter HW_{End} .

10.5.3.6 Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand

Der Tunnel in offener Bauweise im Ostast muss bezüglich des Grundwasseraufstaus zusammen mit dem südlich anschließenden, in bergmännischer Bauweise erstellenden Tunnel sowie dem nördlich anschließenden Trogbauwerk betrachtet werden. Der bergmännische Tunnel liegt mit der Firste teilweise im Quartäraquifer und wird dort überströmt. Die Gründungssohle des Trogbauwerks liegt über die gesamte Länge max. ca. 1,4 m unterhalb des Bemessungswasserstands für den Endzustand, kann aber unterströmt werden. Unter Berücksichtigung der Angaben in Kapitel 10.4.1 ergeben sich folgende Verhältnisse. Die in Abschnitt 10.5.3.1 beschriebenen, nordöstlich an die Trogquerschnitte anschließenden Bohrpfahlwände werden dabei zunächst nicht berücksichtigt.

Schnitt der Sohle mit HW_{End}	110,3+232+88 Bau-km	Kote 523,4	523,2
Schnitt der Sohle mit der Tertiäroberfläche	110,1+70 Bau-km	Kote ca. 518,6	518,4
Schnitt der Firste mit HW_{End}	110,0+95-92 Bau-km	Kote 523,4	523,2
Schnitt der Firste / Bereich Abdeckinjektion mit der Tertiäroberfläche	ca. 109,9+40-22 Bau-km	Kote ca. 518,6	518,0

Grundwassergefälle $i = 0,003$ bis $0,0035$
 Winkel zwischen Längsrichtung und GW-Strömung $\alpha = 90^\circ$

Bauzustand:

Mittlere Bauwerksbreite ca.	20 m	
Überströmung bergmännischer Tunnel (HW_{Bau})	109,9+49-22 Bau-km bis 110,0+44-18 Bau-km	425-96 m
Vollabspernung quartäres GW	110,0+44-18 Bau-km bis 110,3+23 Bau-km	279-305 m
Länge des Baukörpers im Grundwasserstrom ca.	$a = 42596/2 + 279-305 = 341,5$	353 m

Rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge	$L = 341,5$ 353 m	$= a \cdot \sin(\alpha) + b \cdot \cos(\alpha)$
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\Delta h = 0,54$ 0,53 m bis $0,60$ 0,62 m	$= i \cdot L/2$
<u>Endzustand:</u>		
Mittlere Bauwerksbreite ca.	20 m	
Überströmung bergmännischer Tunnel (HW _{End})	109,9+19-22 Bau-km bis 110,0+44-26 Bau-km	125-105 m
Vollabsperrung quartäres GW durch Tunnel und bleibende Verbauwand	110,0+44-26 Bau-km bis 110,2+88 Bau-km	244-262 m
Unterströmung Trog	110,2+88 Bau-km bis 110,3+23 Bau-km	35 m
Baukörper im Grundwasserstrom ca.	$a = 125$ 105/2 + 244-262 + $35/2 = 324$ 332 m	
Rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge	$L = 324$ 332 m	$= a \cdot \sin(\alpha) + b \cdot \cos(\alpha)$
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\Delta h = 0,49$ 0,50 m bis $0,57$ 0,58 m	$= i \cdot L/2$

Der Anströmungswinkel α wurde aus den Unterlagen [U9] für den Berechnungsabschnitt mit bis zu 90° ermittelt. Das Grundwassergefälle "i" wurde aus den Unterlagen [U9] mit $i = 0,003$ bis $0,0035$ ermittelt. Rechnerisch ergab sich unter den vorgenannten Annahmen, wie oben angegeben, ein rechnerischer Aufstau von maximal $\Delta h = 60$ ~~62~~ cm im Bauzustand sowie von $\Delta h = 57$ ~~58~~ cm im Endzustand beim Ostast.

Der Grundwasseraufstau zur Bauzeit reicht nicht über HW_{End} hinaus, weshalb zur Bauzeit keine Grundwasserüberleitungsmaßnahmen erforderlich werden. Der Grundwasseraufstau ist bei der Planung von Bauvorhaben im Aufstaubereich zu berücksichtigen.

Im betrachteten Abschnitt des Ostast befindet sich im gesamten Streckenabschnitt Bebauung, die östlich bis etwa 75 m an den Tunnel heranreicht.

Zur Reduzierung des Grundwasseraufstaus im Endzustand ist eine Grundwasserüberleitungsanlage vorgesehen, deren Dükerschacht auf der Anströmseite etwa bei Bau-km 110,1+64 liegen wird. Dadurch wird der rechnerische Grundwasseraufstau selbst bei rechtwinkliger Anströmung auf weniger als 0,3 m begrenzt ($\Delta h = 0,0035 \cdot 462$ ~~159~~ / 2 = 0,28 m).

Zudem wird Wasser durch die in Abschnitt 10.5.3.1 beschriebenen Bohrpfahlwände, welche sich direkt nordöstlich und im Anschluss an die Tröge befinden, sowie durch weitere dauerhaft im Untergrund verbleibenden Stützwände aufgestaut. Die Tröge binden jeweils nur ca. über die halbe Länge in das HW_{End} ein. Wasser, welches durch die offene Bauweise aufgestaut wird, kann das Bauwerk über den oberhalb des HW_{End} befindlichen Teil des Troges umströmen. Für die Bohrpfahlwände und die dauerhaft im Untergrund verbleibenden zusätzlichen Stützwände wurde auf der sicheren Seite liegend angenommen, dass diese nur am nordöstlichen Ende und damit einseitig umströmt werden können. Für die Bohrpfahl- und Stützwände ergibt sich damit ein maximaler Aufstau von weniger als 0,3 m (bei rechtwinkliger Anströmung; $\Delta h = 0,0035 \cdot 145 / 2 = 0,25$ m).

10.5.3.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich des Tunnels in offener Bauweise Ostast liegen die Grundwassermessstellen 2S-9/24 (Bau-km 110,0+73), 2S-L1/03 (Bau-km 110,3+52) und 2S-L1/04 (Bau-km 110,4+83) vor, die erhalten werden.

10.5.4 Haltepunkt Ostbahnhof tief (Bau-km 109,3+25 bis Bau-km 109,3+71)

Die Hauptabmessungen des in Spritzbetonbauweise mit Druckluftunterstützung geplanten bergmännischen Teils des Haltepunkts Ostbahnhof tief sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.7 des Abschnitts 9.3.2 zusammengestellt. In Tab. 9.1 des Abschnitts 9.1.1 sind die Hauptabmessungen und Koten für den in offener Bauweise geplanten Teil des Haltepunkts Ostbahnhof tief und der Anbindung zum bestehenden Ostbahnhof zusammengefasst.

Die Baugrube wird ab GOK im Schutze einer **wasserdichten Verbauwand**~~Schlitzwand oder Bohrpfahlwand~~ hergestellt. Zusätzlich zu einer Sohlentspannung und Restwasserhaltung innerhalb der Baugrube sind außerhalb der Umschließung Tertiärwasserhaltungen zur Begrenzung des Wasserdrucks auf die Verbauwände vorgesehen.

Der bergmännische Vortrieb soll bereichsweise im Schutze eines Rohrschirms (Unterfahrung der U-Bahnlinie U5) erfolgen.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen Brunnen zur Entspannung wasserdurchlässiger und druckwasserführender Schichten unter den Gründungssohlen

der Baugrube sowie der Tunnel hergestellt werden, die in Tiefen bis ca. 65 m ab GOK reichen. Im Bereich der Spritzbetonvortriebe mit Druckluftstützung reduziert sich die erforderliche Entspannungstiefe auf überschlägig 9 m unter Tunnelsohle entsprechend Brunnentiefen von bis zu etwa 49 m ab GOK. Grundwasser bis zu dieser Tiefe muss soweit entspannt werden, dass sein Druckspiegel keinen Aufbruch der Aushubsohle bewirken kann. Zur Entwässerung von Sandlagen, die über die Brunnen nicht ausreichend erfasst wurden, können an der Ortsbrust der Tunnel- und Stollenvortriebe zusätzliche örtliche Wasserhaltungsmaßnahmen mit Horizontaldränagen, Vakuumpflanzen und Pumpensämpfen erforderlich werden. Die Druckluftunterstützung reduziert die Wassermengen für eine Tertiärgrundwasserabsenkung.

10.5.4.1 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die Baumaßnahmen für die bergmännischen Vortriebe beginnen, sobald die Sohlen für die offenen Bauweisen eingebaut sind. Somit können beide Bereiche getrennt betrachtet werden. Die in Anhang 3 zusammengestellten Berechnungen liefern für die erforderliche Bauwasserhaltung folgende rechnerischen Wassermengen:

Wassermengen während der Bauzeit: Haltepunkt Ostbahnhof tief	
Baugrube Aufgang Mitte offene Bauweise	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	77,3
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 34 Monaten [m³]	6.900.000
Baugrube Hauptaufgang Ost offene Bauweise	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	48,0
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 34 Monaten [m³]	4.300.000
Haltepunkt bergmännische Bauweise	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	23,7
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 25 Monaten [m³]	1.600.000
Übergang zur U5	
Wasseranfall während der Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung [l/s]	5,8
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 3 Monaten [m³]	50.000

10.5.4.2 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers und des Niederschlagswassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung geförderten Grundwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Rigolen kommen zumindest im nordöstlichen Bereich des Ostbahnhofes nicht in Betracht, da dort der Quartärkies von feinkörnigen Deckschichten überlagert wird. Für die Dimensionierung einer Versickerungsanlage sind rechnerisch 26 vollkommene, bis zum Tertiär reichende Sickerbrunnen mit je 0,60 m Durchmesser erforderlich, wenn der Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt wird. Sofern Versickerungsbrunnen ohne Einstau von Nachbarbauwerken bis etwa 1 m unter GOK aufgestaut werden können, sind rechnerisch nur 4 Brunnen erforderlich.

10.5.4.3 Baugrubenumschließung und Injektionen / Düsenstrahlkörper

Im Zuge des Spritzbetonvortriebes sind ~~lediglich im Anschluss bis auf den Anschluss~~ an die U-Bahnlinie U5 keine Düsenstrahlkörper vorgesehen. Die bestehende U-Bahnlinie U5 soll im Schutze eines Rohrschirms unterfahren werden.

Während des Vortriebs können Sicherungsmaßnahmen mit Ankern, Nägeln usw. erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen.

Das hierbei je Verpressanker, Nagel oder Pfahl ~~oder im Düsenstrahlverfahren~~ mit Zementmörtel verfüllte Bodenvolumen ist gering, so dass keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet werden.

10.5.4.4 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie aus Tab. 9.1 in Abschnitt 9.1.1 ersichtlich ist, reicht die Bauwerkssohle des Aufgangs Mitte tief bis zu 32,6 m unter HW_{Bau} bzw. etwa 33,5 m unter HW_{End} . Die Bauwerkssohle des Hauptaufgangs Ost reicht bis zu 32,6 m unter HW_{Bau} bzw. etwa 33,6 m unter HW_{End} .

10.5.4.5 Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand

Die bis zur Geländeoberfläche reichenden Baugrubenumschließungen des Haltepunkts Ostbahnhof tief behindern das im Quartärkies und den darunter folgenden tertiären Sanden (Q/T-Aquifer) fließende Grundwasser.

Der etwa 47 m x max. 54 m umfassende, in offener Bauweise geplante Haltepunkt der S-Bahn muss hinsichtlich des Grundwasseraufstaus gemeinsam mit dem von einer Schlitzwand umschlossenen, bestehenden U-Bahnhof der Linie U5 sowie der etwa 37 m x 21 m umfassenden Anbindung und den dazugehörigen, zum größten Teil im Grundwasser liegenden Treppenaufgängen betrachtet werden. Für die Aufstauberechnungen wird ein rechteckförmiger Gebäudekomplex angesetzt, der entsprechend den Grundwasserisohypsenkarten der LH München rechtwinklig angeströmt wird und die oben genannten Bauwerke vollständig umschließt.

Das Grundwassergefälle wurde aus den Unterlagen [U9] mit $i = 0,0035$ ermittelt.

Unter Berücksichtigung der Angaben in Kapitel 7.3 ergeben sich folgende Verhältnisse:

Grundwassergefälle	$i = 0,0035$	
Winkel zwischen Längsrichtung und GW-Strömung	$\alpha = 90^\circ$	
Bauzustand = Endzustand:		
Rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge	$L = 155$	
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\Delta h = 0,27 \text{ m}$	$= i \cdot L/2$

Rechnerisch ergibt sich unter den vorgenannten Annahmen ein Aufstau von $\Delta h = 27 \text{ cm}$ für den Bau- und Endzustand. Der zu erwartende Aufstau aus dem bereits bestehenden U-Bahnhof der Linie U5 beträgt bereits zwischen 15 cm und 19 cm.

Zur Berechnung wurde vereinfachend die Strömungsmöglichkeit zwischen der U-Bahnhaltestelle und der Startbaugrube sowie der Baugrube für die Anbindung nicht angesetzt. Der tatsächliche Aufstau wird daher geringer sein als errechnet.

10.5.4.6 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich des Haltepunkts Ostbahnhof tief liegen die Grundwassermessstellen 2S-O9/55 (Bau-km 109,3+21), 2S-S1/33 (Bau-km 109,3+75) und 2S-O9/57 (Bau-km 109,4+33) vor, die erhalten bleiben sollen.

10.5.5 Rettungsschacht (RS 8 Bau-km 108,6+08)

10.5.5.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Im PFA 3neu sind 3 Rettungsschächte angeordnet, wovon RS 9 zusammen mit dem Tunnel in offener Bauweise (Abschnitt 10.5.3) in einer gemeinsamen Baugrube errichtet wird und der Rettungsschacht RS 7 im Zuge der Herstellung der Abzweigstelle Praterinsel erstellt wird. Diese 2 Rettungsschächte bewirken somit keine zusätzliche Grundwasserinanspruchnahme. Der RS 8 besteht aus einem Vertikalschacht, der über Stollensysteme mit den Tunnelröhren verbunden ist.

Die wesentlichen Abmessungen des Bauwerks und die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.9 in Abschnitt 9.4 enthalten.

10.5.5.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

In den Berechnungen des Anhangs 4 wird davon ausgegangen, dass zunächst der Vertikalschacht hergestellt wird und dass während des unmittelbar anschließenden Stollenvortriebs die Wasserhaltung für den Vertikalschacht aufrecht erhalten werden muss. Es wurde bei der Stollenherstellung eine Druckluftunterstützung von 1,0 bar berücksichtigt:

Wassermengen während der Bauzeit: Rettungsschacht	RS 8
Schacht	
Wasserhaltung während des Aushubs und infolge Niederschlag, allerdings ohne Berücksichtigung von Starkregen [l/s]	20,6 20
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 6 Monaten [m ³]	420110.000
Stollen	
Wasseranfall während der Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung [l/s]	27,6
Gesamtwassermenge für eine Bauzeit von 8 Monaten [m ³]	580.000
Gesamtwassermenge (Schacht + Stollen)	700690.000

10.5.5.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung für die Rettungsschächte zu Tage geförderten Grundwassers und des aus den Schächten abgepumpten Niederschlagwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Für den Vertikalschacht sind rechnerisch 7 vollkommene, bis zum Tertiär reichende Sickerbrunnen mit je 0,60 m Durchmesser erforderlich, wenn der Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt wird. Sofern Versickerungsbrunnen ohne Einstau von Nachbarbauwerken bis etwa 1 m unter GOK aufgestaut werden können, ist rechnerisch nur 1 Brunnen erforderlich. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und 16 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

Die im Zuge der Herstellung der Stollen zu versickernde Wassermenge erfordert rechnerisch 9 vollkommene Sickerbrunnen im Quartär bei Einstau bis HW_{End} bzw. 1 Brunnen bei Einstau bis 1 m unter GOK. Alternativ ist die Versickerung mit insgesamt bis zu ca. 21 m langen Rigolen möglich.

10.5.5.4 Baugrubenumschließungen und Injektionen / Düsenstrahlkörper

Das Schachtbauwerk wird zusammen mit ihren Baugrubenumschließungen voraussichtlich etwa 27 m unter das HW_{Bau} reichen. Die in Spritzbetonbauweise erstellten Stollen liegen vollständig im tertiären Grundwasser.

Im Zuge des Spritzbetonvortriebes können örtliche Sicherungsmaßnahmen mit Ankern und Nägeln erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen. Weitere Zementinjektionen, Dichtkörper im Düsenstrahlverfahren oder Vereisungsmaßnahmen sind im Bereich von Bauwerksanschlüssen erforderlich.

Das hierbei je Verpressanker, Nagel, Injektionsabschnitt mit Zementmörtel oder im Düsenstrahlverfahren verfüllte Bodenvolumen ist gering. Es werden keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet.

10.5.5.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.9 in Abschnitt 9.3 ersichtlich ist, reicht der vertikale Rettungsschacht von der Geländeoberfläche bis in eine Tiefe von 27,2 m unter das HW_{Bau} bzw. 28 m unter das HW_{End} . Die Stollenbauwerke, die im Zusammenhang mit dem Rettungsschacht errichtet werden müssen, liegen vollständig im Tertiär und damit unter dem Grundwasser.

10.5.5.6 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Die Bauwerksabmessungen sind mit einem Außendurchmesser des Schachtbauwerks von ca. 10 m und Durchmessern der Stollenbauwerke unter ca. 5 m gering, womit durch die Bauwerke im Bau- und Endzustand kein schädlicher Grundwasseraufstau im Quartär verursacht wird.

10.5.5.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Die dem Rettungsschacht nächstgelegenen Grundwassermessstellen 2S-O8/54 und 2S-O8/55 werden erhalten.

10.6 Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen

In nachfolgender Tabelle sind die ermittelten zu fördernden Wassermengen zusammenfassend dargestellt.

Bauwerk	Dauer der Wasserhaltung [Mon]	Wassermenge [m ³]	Fördermenge [l/s]
Abzweigstelle Praterinsel (Bau-km 108,0+76 bis Bau-km 108,2 + 11) (Schacht)	10	1.500.000	58,5
Abzweigstelle Praterinsel (Bau-km 108,0+76 bis Bau-km 108,2 + 11) (Tunnel)	30	4.700.000	59,6
Tunnel in offener Bauweise und Trog Ostast: Bau-km 110,0+44-38 bis Bau-km 110,3+23	18	3.200.000	67,1
Haltepunkt Ostbahnhof tief (Bau-km 109,3+25 bis Bau-km 109,3+71) (Baugruben Aufgang Mitte und Hauptaufgang Ost)	34	11.200.000	48,0 - 77,3
Haltepunkt Ostbahnhof tief (Bau-km 109,3+25 bis Bau-km 109,3+71) (bergmännische Bauweise und Übergang zur U5)	25	1.650.000	5,8 - 23,7
Rettungsschacht RS 8	8	700.000	20,6 - 27,6

Tab. 10.1: Rechnerisch geförderte Wassermengen mit ungefährender Dauer der Maßnahmen