

2. S-Bahn Stammstrecke München

Unterlage zur 3. Planänderung

3. Planänderung

zum Planfeststellungsbeschluss

(Bauwasserablaufplan)
Richtlinien

Erläuterung

Ingenieur

**NACHRICHTLICH -
UNTERLAGE AUS DER NOCH NICHT
PLANFESTGESTELLTEN 3. PÄ
ZUR INHALTLICHEN EINORDNUNG DER
ANLAGE 18.1C DER IGL**

Geologie und Wasserwirtschaft

Vorhabenträger

DB NETZE

DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Richelstraße 1, 80634 München

DB NETZE

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

DB NETZE

DB Energie GmbH
Energieversorgung Süd
Richelstraße 3, 80634 München

Die Vorhabenträger vertreten durch

DB NETZE

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

Landeshauptstadt München

2. S-Bahn-Stammstrecke München

Unterlage zur 3. Planänderung

3. Planänderung

zum Planfeststellungsbeschluss PFA 1

(Bauwasserableitung Hauptbahnhof bis zur Grünanlage
Richelstraße einschließlich Versickerungsanlage Bauwasser)

Erläuterungsbericht (nachrichtlich) Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft

Vorhabenträger:

DB NETZE
DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Richelstraße 1, 80634 München

Digital unterschrieben
von Kai Kruschinski
Datum: 2020.10.12
10:35:32 +02'00'

München, den 08.10.2020
Erstellt im Auftrag der Vorhabenträger

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

Die Vorhabenträger vertreten durch:

DB NETZE
DB Energie GmbH
Energieversorgung Süd
München Richelstraße 3, 80634 München

DB NETZE
DB Netz AG
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 / DE-Consult GmbH DB International GmbH / PSP Beratende Ingenieure München Consulting Engineers GmbH

Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Generalplanung Los 1 und 3
Lahmeyer München Ingenieurgesellschaft mbH / Dersch-Consult Ingenieurgesellschaft mbH Gruppe
DC Verkehr und Infrastruktur GmbH

3. Planänderung:
INGE 2. S-Bahn Stammstrecke München
atelier 4d / BPR / ILF / Vössing Ingenieure / sweco / SSF Ingenieure

Fachplaner, Gutachter
DB Energie GmbH
DB PB TB3
DB Telematik Kommunikationstechnik GmbH
DB Systemtechnik
DB ProjektBau GmbH, NL Süd TB-82 Regionalbereich Süd
DB AG Sanierungsmanagement
Balfour Beatty Rail GmbH, Power Systems
BPI-Consult GmbH PÖYRY Infra GmbH
3. Planänderung:
VTG GmbH

ARGE-RA
Meidert und Kollegen, Rechtsanwälte
RA Hartmut Heinrich
HD Rechtsanwälte
RAe Heinrich und Dörner
3. Planänderung:
RAe GSK Stockmann

m-Plan eG
STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.
Zentrum Geotechnik, TU München

Änderungen der 3. Planänderung im Vergleich zur planfestgestellten Fassung auf folgenden Seiten:

VII, 117, 118, Anhang 3.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Allgemeines	8
1.1	Allgemeine Projektbeschreibung.....	8
1.2	Aufgabenstellung.....	8
1.3	Verwendete Unterlagen/Literatur	9
2	Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme	11
3	Geologischer / Hydrogeologischer Überblick.....	12
3.1	Allgemeine geologische Verhältnisse	12
3.2	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse.....	13
3.3	Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten	14
3.4	Lagerstätten	15
3.5	Erdbebenzonen	15
4	Untersuchungsumfang oberirdische Strecke	16
4.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten	16
4.2	Projektspezifische Untersuchungen.....	16
4.2.1	Bohrungen nach DIN 4021	16
4.2.1.1	Rammkernbohrungen	16
4.2.1.2	Kleinrammbohrungen.....	16
4.2.2	Schürfe.....	16
4.2.3	Bohrlochversuche	17
4.2.3.1	Bohrlochrammsondierungen (BDP) nach DIN 4094-2.....	17
4.2.3.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5.....	17
4.2.3.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2	17
4.2.4	Rammsondierungen nach DIN 4094-3	17
4.2.5	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	17
4.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Boden	18
4.2.7	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser	20
4.2.7.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030.....	20
4.2.7.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter	20
4.2.7.3	Bodenluftuntersuchungen	21
5	Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen.....	22
5.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten	22
5.2	Projektspezifische Untersuchungen.....	22
5.2.1	Bohrungen nach DIN 4021	22
5.2.2	Bohrlochversuche	23

5.2.2.1	BDP nach DIN 4094-2	24
5.2.2.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5	24
5.2.2.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2	24
5.2.3	Rammsondierungen nach DIN 4094-3	25
5.2.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	25
5.2.5	Chemische Laboruntersuchungen Boden	26
5.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser	27
5.2.6.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030	27
5.2.6.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter	27
5.2.7	Bodenluftuntersuchungen	27
6	Beurteilung der Baugrundverhältnisse	28
6.1	Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten	28
6.1.1	Oberboden und Auffüllungen / Schicht I	28
6.1.2	Quartäre bindige Deckschichten / Schicht II	31
6.1.3	Quartäre Kiese / Schicht III	32
6.1.4	Tertiäre Schluffe und Tone / Schicht IV	34
6.1.5	Tertiäre Sande / Schicht V	37
6.2	Geotechnische Streckenabschnitte / Bodenschichtung	39
7	Hydrologie und Hydrogeologie	40
7.1	Oberflächengewässer	40
7.2	Niederschlagssituation	40
7.3	Grundwasserverhältnisse	40
7.3.1	Verteilung der Grundwasseraquifere und Grundwasserhemmer	40
7.3.2	Grundwasserstände	41
7.3.3	Grundwasserströmung	42
7.3.4	Durchlässigkeitsverhältnisse	43
7.4	Bemessungswasserstände	43
7.4.1	Bereich oberirdische Strecke	43
7.4.2	Bereich Tunnelstrecken mit Trögen	44
7.4.2.1	Allgemeines	44
7.4.2.2	Bauzustand	44
7.4.2.3	Endzustand	45
8	Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdische Strecke	46
8.1	Strecke Bau-km 100,6+00 bis Bau-km 103,0+30	46
8.1.1	Gründung	46
8.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	46
8.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	47
8.1.4	Entwässerung	47
8.2	Ingenieurbauwerke	47
8.2.1	Eisenbahnüberführung Wotanstraße, Bau-km 101,3	47
8.2.1.1	Gründung	47

8.2.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	48
8.2.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	48
8.2.1.4	Entwässerung	48
8.2.2	Erweiterung EÜ Wotanstraße – Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3	48
8.2.2.1	Gründung	49
8.2.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	49
8.2.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	49
8.2.2.4	Entwässerung	50
8.2.3	Überwerfungsbauwerk Laim Nord, Bau-km 101,8+58.8	50
8.2.3.1	Gründung	50
8.2.3.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	50
8.2.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	50
8.2.3.4	Entwässerung	51
8.2.4	Überwerfungsbauwerk Laim Süd, Bau-km 101,9+03.6	51
8.2.4.1	Gründung	51
8.2.4.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	51
8.2.4.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	52
8.2.4.4	Entwässerung	52
8.2.5	Objekt V – 2. S-Bahn-Stammstrecke, Bau-km 102,1+87	52
8.2.5.1	Gründung	52
8.2.5.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	52
8.2.5.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	53
8.2.5.4	Entwässerung	53
8.2.6	Stützwände (Winkelstützmauern)	53
8.2.6.1	Gründung	53
8.2.6.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	54
8.2.6.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	54
8.2.6.4	Entwässerung	54
8.2.7	Stützwände (Stahlspundwände)	54
8.2.7.1	Baugruben und Grundwasserhaltung	55
8.2.7.2	Beeinflussung bestehender Bauwerke	55
8.2.7.3	Entwässerung	55
8.3	Stationen.....	55
8.3.1	Bahnsteige A und B am Bf Laim	55
8.3.1.1	Gründung	56
8.3.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	56
8.3.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	56
8.3.1.4	Entwässerung	56
8.3.2	Zugangsbauwerk West von dem Fuß- und Radweg Wotanstraße	57
8.3.2.1	Gründung	57
8.3.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	57
8.3.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	57
8.3.2.4	Entwässerung	57
8.3.3	Zugangsbauwerk Ost von der Umweltverbundröhre	58
8.3.3.1	Gründung	58
8.3.3.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	58
8.3.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	58
8.3.3.4	Entwässerung	58
8.4	Hochbauten	59
8.4.1	ESTW-A Laim Pbf, Bau-km 101,4+50	59
8.4.2	Weichenheizanlage (Westkopf), Bau-km 100,9+18	59
8.4.3	Weichenheizanlage (Ostkopf), Bau km 101,7+00	59
8.4.4	Trafostation, Bau-km 103,0+00	59
8.4.5	Schaltheis für Telekommunikation, Bau-km 103,0+00	60

8.4.6	Schallschutzwände	60
8.4.6.1	Gründung	60
8.4.6.2	Beeinflussung bestehender Bauwerke	60
8.4.6.3	Entwässerung	60
8.5	Baustraßen, Baustellenzufahrten.....	61
8.6	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen	61
9	Folgerungen für die Baumaßnahmen Tunnelstrecken mit Trögen	63
9.1	Haltepunkt in offener Bauweise	63
9.1.1	Gründungen	63
9.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	65
9.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	67
9.2	Tröge und Tunnel in offener Bauweise.....	68
9.2.1	Gründungen	68
9.2.2	Baugruben und Grundwasserhaltung	70
9.2.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke	71
9.3	Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen	72
9.3.1	Maschinelles Vortrieb	72
9.3.2	Spritzbetonvortrieb	75
9.3.3	Grundwasserhaltung	79
9.3.4	Beeinflussung bestehender Bauwerke	80
9.4	Schächte und Stollen.....	81
9.4.1	Rettungsschächte	81
9.4.2	Schächte für Hebungsinjektionen	82
9.4.3	Temporäre Baugrube für Abdeckinjektionen bei RS 2	83
9.4.4	Horizontalstollen für Hebungsinjektionen (Schützenstraße).....	83
9.4.5	Herstellung	84
9.4.6	Grundwasserhaltung	86
9.4.7	Beeinflussung bestehender Bauwerke	87
9.5	Sonderbauwerke	87
9.6	Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen	87
10	Grundwasserinanspruchnahme	89
10.1	Grundsätzliches - Grundwassernutzungen.....	89
10.2	Oberirdische Strecke	89
10.2.1	Erweiterung EÜ Wotanstraße – Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3	89
10.2.1.1	Koten Gelände, Baugrube, Grundwasserstände	90
10.2.1.2	Grundwasserfließrichtung	91
10.2.1.3	Baugrund, Durchlässigkeit	92
10.2.1.4	Vorgesehene Bauwasserhaltung	92
10.2.1.5	Hydrotechnischen Berechnungen.....	93
10.2.1.6	Ergebnisse Bauzustand	94
10.2.1.7	Ergebnisse Endzustand	98
10.2.1.8	Grundwasserbeobachtungspegel	99

10.3	Unterirdische Strecke	99
10.3.1	Berechnungsmethoden	99
10.3.2	Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens	100
10.3.3	Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse	100
10.3.3.1	Grundwasseraufstau	100
10.3.3.2	Beeinflussung von Grundwassernutzern	102
10.3.4	Trog und Tunnel in offener Bauweise (Bau-km 103,0+30 bis Bau-km 103,4+75)	109
10.3.4.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	109
10.3.4.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	110
10.3.4.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers und des Niederschlagswassers zur Bauzeit	110
10.3.4.4	Baugrubenumschließung und Injektionen	111
10.3.4.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	111
10.3.4.6	Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand	111
10.3.4.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	113
10.3.5	Maschineller Tunnelvortrieb (Bau-km 103,4+75 bis 105,5+04 und Bau-km 105,7+14 bis Bau-km 105,9+96)	113
10.3.5.1	Wasserhaltung zur Bauzeit	113
10.3.5.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	113
10.3.5.3	Injektionen und Suspensionen	114
10.3.5.4	Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerkes im Grundwasser	114
10.3.5.5	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	114
10.3.5.6	Kontrollen und Grundwassermessstellen	115
10.3.6	Hp Hauptbahnhof (Bau-km 105,5+04 bis 105,7+14)	115
10.3.6.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	115
10.3.6.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	116
10.3.6.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit	117
10.3.6.4	Baugrubenumschließungen und Injektionen	118
10.3.6.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	120
10.3.6.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	120
10.3.6.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	121
10.3.7	Rettungsschächte: (RS2 Bau-km 103,8+72, RS3 Bau-km 104,4+45, RS4 Bau-km 105,0+40)	121
10.3.7.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	121
10.3.7.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	122
10.3.7.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit	123
10.3.7.4	Baugrubenumschließungen und Injektionen	124
10.3.7.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	124
10.3.7.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	124
10.3.7.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	125
10.3.8	Injektionsschächte und Hebungsinjektionen für die Posttunnelquerung (Bau-km 103,7+00 und Bau-km 103,7+45)	125
10.3.8.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	125
10.3.8.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung	125
10.3.8.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit	125
10.3.8.4	Baugrubenumschließungen und Injektionen	126
10.3.8.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser	126
10.3.8.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes	126
10.3.8.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	127
10.3.9	Temporäre Baugrube für Abdeckinjektionen bei Rettungsschacht 2 (ca. Bau-km 103,8+80)	128
10.3.9.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit	128
10.3.9.2	Injektionen	128
10.3.9.3	Injektionskörper im Grundwasser	128
10.3.9.4	Grundwasseraufstau durch den Injektionskörper	128
10.3.9.5	Kontrollen und Grundwassermessstellen	128

10.4 Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen129

Abbildungsverzeichnis **Seite**

Abb. 10.1: Schemadarstellung Tunnelbauwerk im quartären Grundwasser bei HW_{End} 101
Abb. 10.2: Schemadarstellung: Zur Berechnung angesetzt Baukörper im Grundwasser bei HW_{End}
.....102

Tabellenverzeichnis **Seite**

Tab. 3.1: Tabellarische Zusammenstellung der Altlastenverdachtsflächen 15
Tab. 4.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen 17
Tab. 4.2: Tabellarische Zusammenstellung der Chemischen Laboruntersuchungen 20
Tab. 5.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen 26
Tab. 6.1: Tabellarische Beurteilung der rolligen Auffüllungen 30
Tab. 6.2: Tabellarische Beurteilung der bindigen Auffüllungen 31
Tab. 6.3: Tabellarische Beurteilung der quartären bindigen Deckschichten 32
Tab. 6.4: Tabellarische Beurteilung der quartären Kiese 34
Tab. 6.5: Tabellarische Beurteilung der tertiären Schluffe und Tone 37
Tab. 6.6: Tabellarische Beurteilung der tertiären Sande 38
Tab. 7.1: Grundwasserstände der Messung vom 31.08.2004 42
Tab. 7.2: Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und –versickerung 43
Tab. 7.3: Tabellarische Darstellung der Bemessungswasserstände im Bereich der oberirdischen
Strecke 44
Tab. 8.1: Maßgebliche Koten und Gründung Eisenbahnüberführung Wotanstraße 47
Tab. 8.2: Maßgebliche Koten und Gründung der Umweltverbundröhre 49
Tab. 8.3: Maßgebliche Koten und Gründung Überwerfungsbauwerk Laim Nord 50
Tab. 8.4: Maßgebliche Koten und Gründung Überwerfungsbauwerk Laim Süd 51
Tab. 8.5: Maßgebliche Koten und Gründung Objekt V Bau-km 102,1+87 52
Tab. 8.6: Stützwände, Gründung und Untergrundverhältnisse 53
Tab. 8.7: Maßgebliche Koten und Gründung Bahnsteige A und B Bf Laim 56
Tab. 8.8: Maßgebliche Koten und Gründung Zugangsbauwerk West Wotanstraße 57
Tab. 8.9: Maßgebliche Koten und Gründung Zugangsbauwerk Ost Umweltverbundröhre 58
Tab. 8.10: Schallschutzwände 60
Tab. 9.1: Maßgebliche Koten für den Haltepunkt Hauptbahnhof (offene Bauweise) 65
Tab. 9.2: Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen,
Grundwasserhaltung 67
Tab. 9.3: Maßgebliche Koten für Trog und Tunnel in offener Bauweise 69
Tab. 9.4: Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen,
Grundwasserhaltung 71
Tab. 9.5: Maßgebliche Koten für die maschinellen Tunnelvortriebe 72
Tab. 9.6: Tabellarische Darstellung der Streckenabschnitte 73
Tab. 9.7: Maßgebliche Koten für den Bereich Hp Hbf 76
Tab. 9.8: Maßgebliche Koten für die Rettungsschächte 82
Tab. 9.9: Maßgebliche Koten für die Injektionsschächte der Posttunnelunterfahrung 83
Tab. 9.10: Maßgebliche Koten für die temporäre Baugrube bei RS 2 83
Tab. 10.1: Koten Gesamtmaßnahme (GW-Absenkung) 91
Tab. 10.2: UVB Laim Bauabschnitt 1, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand 94
Tab. 10.3: UVB Laim Bauabschnitt 2, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand 95
Tab. 10.4: UVB Laim Bauabschnitt 3, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand 96
Tab. 10.5: UVB Laim Gesamtentnahme Grundwasser, alle Bauabschnitte (18,5 Monate) 97
Tab. 10.6: UVB Laim Reichweiten der Absenkung 97

Tab. 10.7: Maßgebliche Koten für Grundwasseraufstau durch den Injektionskörper im Bereich des Posttunnels	126
Tab. 10.8: Rechnerisch geförderte Wassermengen mit ungefährender Dauer der Maßnahmen	128

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Hydraulische Berechnungen; Erweiterung EÜ Wotanstraße – Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3, 26 Blätter.
- Anhang 1-1: Untersuchungen von Flächen im Hinblick auf die Versickerung von Bauwasser beim Bau der Umweltverbundröhre, München – Laim, Flurstück 284/141, 44 Blätter.
- Anhang 2: Hydraulische Berechnungen; Tröge unter GW und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,2+45 bis Bau-km 103,4+75, 5 Blätter.
- Anhang 3:** Hydraulische Berechnungen; Haltepunkt Hbf (Spritzbetonbauweise): Bau-km 105,5+04 bis Bau-km 105,7+14, 3 5 Blätter.
- Anhang 4: Hydraulische Berechnungen; Rettungsschächte: (RS2 Bau-km 103,8+72, RS3 Bau-km 104,4+45, RS4 Bau-km 105,0+40/104,9+47), 7 Blätter.
- Anhang 5: Hydraulische Berechnungen; Injektionsschächte Bau-km 103,7+00 und Bau-km 103,7+45, 4 Blätter

Abkürzungsverzeichnis

A

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
BGS	Baugrubensohle
BK	Bohrung mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden nach DIN 4022

C

D

D	Durchmesser
DB AG	Deutsche Bahn AG
DIN	Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.
DN	Nenndurchmesser

E

EN	Euro-Norm
EPA	US-Umweltbehörde: Environmental Protection Agency
ESTW	Elektronisches Stellwerk
EÜ	Eisenbahnüberführung

F

FRS	Deutsche Bahn AG Sanierungsmanagement (FRS-S)
-----	---

G

GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle

H	
h	Höhe
Hbf	Hauptbahnhof
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
LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan
LfW	Landesamt für Wasserwirtschaft
LHKW	Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe
LHM	Landeshauptstadt München

M	
m	Meter
M	Maßstab
MAMP	München Abzw. Max-Weber-Platz
MPRA	München Abzweigstelle Praterinsel
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MLEU	Bf München Ostbahnhof - Bft München Leuchtenbergring
ML	Bf München Laim
MOPS	Bf München Ostbahnhof Pbf - Bft München Ost (S-Bahn)
MSB	Magnetschnellbahn
müNN	Meter über Normal Null

N	
NN	Normal Null

NWFreiV	Niederschlagswasserfreistellungsverordnung
O	
OK	Oberkante
P	
PAK	Kohlenwasserstoffe
Pbf	Personenbahnhof
PBSM	Pflanzenbehandlungs- und -schutzmittel
PDH	Plesiochrone Digitale Hierarchie (Übertragungssystem)
PE	Polyäthylen
PFA	Planfeststellungsabschnitt
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
Rbf	Rangierbahnhof
RGU	Referat für Gesundheit und Umwelt
Ril	Richtlinie
RIS	Reisendeninformationssystem
RS	Rettungsschacht
S	
SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
SM	Schwermetalle
SO	Schienenoberkante
SWM	Stadtwerke München
T	
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 Ostbahnhof bzw. am Leuchtenbergring mit den dazwischen liegenden Stationen Hauptbahnhof und Marienhof.~~

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

Spanische Lösung

Anordnung von Bahnsteigkanten beidseitig des S-Bahnzuges, wodurch die Ein- und Ausstiegsvorgänge getrennt werden und damit der Fahrgastwechsel beschleunigt wird (z. B. 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 42 m unter GOK reicht.

(Projekt) München 21 / M 21

Das Projekt München 21 sieht einen unterirdischen Durchgangsbahnhof mit 6 Bahnsteiggleisen unterhalb des heutigen Hauptbahnhofes vor. An den Durchgangsbahnhof schließt der zweigleisige City-Tunnel an, der über Sendlinger Tor (geplanter Regionalbahnhalt) in Richtung Ostfriedhof führt, wo er in den Bf München Ost von Westen her, parallel zum bestehenden Südring einbindet. ~~Der für dieses Projekt betrachtete Korridor wurde im Rahmen der vorangegangenen Planungsphasen der 2. S-Bahn-Stammstrecke freigehalten, ist jedoch im Rahmen der aktuellen Planung zur 2. S-Bahn-Stammstrecke auf Grundlage eines gemeinsamen Beschlusses der Planungsträger für München 21 baulich~~

~~nicht mehr zu berücksichtigen. Eine künftige Realisierung von München 21 in einem modifizierten Korridor ist hierdurch jedoch nicht ausgeschlossen.~~

Der für dieses Projekt betrachtete Korridor ist grundsätzlich bei allen Planungen freizuhalten. Die 2. S-Bahn-Stammstrecke tangiert den Korridor München 21 im Bereich des Hauptbahnhofs. Von den Planungsträgern für München 21 wurde gemeinsam bestätigt, dass in diesem Bereich eine künftige Realisierung von München 21 in modifizierter Form auch weiterhin möglich ist.

Hauptast / Nebenast

~~Beide Äste sind Bestandteil der 2. S-Bahn-Stammstrecke München. Als Hauptast wird die Anlage vom Bf. Laim bis Bf. Ostbahnhof, als Nebenast die Anlage vom Abzweig Max-Weber-Platz bis zum Bf. Leuchtenbergring bezeichnet.~~

Ostast / Südast

Als Ostast wird die Anlage von der Abzw Praterinsel bis Bf Leuchtenbergring bezeichnet. Der Ostast als Teilstrecke der 1. Ausbaustufe der 2. S-Bahn-Stammstrecke München ist Gegenstand der vorliegenden Planfeststellungsunterlagen.

Der Südast ist Bestandteil einer späteren Ausbaustufe der 2. S-Bahn-Stammstrecke. Der Südast soll die Anbindung der südlichen Streckenäste des Münchener S-Bahnnetzes aus Richtung Giesing an die 2. S-Bahn-Stammstrecke ermöglichen.

Bf München Hauptbahnhof / Hauptbahnhof

Der Bf München Hauptbahnhof umfasst alle Bahnanlagen des Fern- und Regionalverkehrs zwischen dem Bahnhofsvorplatz 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 „Bf München Hauptbahnhof Bahnhofsvorplatz tief“. Im vorliegenden Bericht wird der „Bf München Hauptbahnhof Bahnhofsvorplatz tief“ an der 2. S-Bahn-Stammstrecke vereinfachend als „Hauptbahnhof“ bezeichnet.~~

Die Stationsanlage Hauptbahnhof an der 2. S-Bahn-Stammstrecke trägt bahnintern die Bezeichnung „Hp München Hauptbahnhof Bahnhofplatz“. Im vorliegenden Bericht wird der „Hp München Hauptbahnhof Bahnhofplatz“ an der 2. S-Bahn-Stammstrecke vereinfachend als „Hp Hauptbahnhof“ bezeichnet.

Bf München Ost / Ostbahnhof / Bft Leuchtenbergring

~~Der Bf München Ost 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.~~

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 Pbf (Gleise 1 – 5), Bft Leuchtenbergring und Bft München Giesing.

Im vorliegenden Bericht wird der „Bft München Ost Pbf (Gleise 1 – 5)“ 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“.

Gleis 100 / Gleis 200

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

Bereitstellungsfläche

Bereitstellungsflächen sind die Flächen, auf welchen das Aushub- bzw. Ausbruchmaterial der Baumaßnahme 2. S-Bahn-Stammstrecke München zunächst zwischengelagert, beprobt und bei Eignung anschließend für andere Baumaßnahmen weiterverwendet bzw. entsorgt wird.

Bereitstellungsflächen am Hüllgraben

Die Bereitstellungsfläche ist eine Fläche südwestlich des Hüllgrabens in München Berg am Laim/Daglfing, unmittelbar nördlich der Gleise der S-Bahnlinie S2.

Bereitstellungsflächen Rbf München Nord

Die Bereitstellungsfläche ist eine ca. 50.000-m²-große Teilfläche des Rangierbahnhofs nördlich der Max-Born-Straße in der Gemarkung München-Moosach

Bereitstellungsflächen ehem. Strasser Gelände

Die Bereitstellungsfläche ist eine Fläche an der Bergsonstraße in der Gemarkung München-Aubing.

Baufeld und Baustelleneinrichtungsflächen

Mit dem Begriff Baufeld werden die Flächen beschrieben, die den bautechnischen Umgriff der Baustelle wie auch des künftigen Bauwerks im Lageplan umfassen. Die Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) kann, muss aber nicht Teil des Baufeldes sein. BE-Flächen können fallweise auch abseits des eigentlichen Baufeldes liegen.

Umweltverbundröhre

Seitens der LH München ist die Erweiterung der bestehenden Eisenbahnüberführung über die Wotanstraße („Laimer Röhre“) mittels einer zusätzlichen Querung der Bahnanlage östlich der Wotanstraße geplant. Diese Querung ist in Form einer dritten Unterführung parallel zu der bestehenden Fuß- und Radwegunterführung sowie zur bestehenden Straßenunterführung als sogenannte Umweltverbundröhre (UVR)-geplant.

Die UVR Umweltverbundröhre dient der Abwicklung des Busverkehrs, welcher aus der bestehenden Straßenunterführung ausgelagert wird. Zusätzlich ist eine Fuß- und Radwegverbindung vorgesehen. Die verkehrliche Anbindung der UVR Umweltverbundröhre erfolgt im Norden an den Knoten Wotan-/Winfriedstraße und im Süden an den Laimer Kreisel.

Innerhalb der ~~UVR~~ Umweltverbundröhre ist eine Haltestelle mit in Längsrichtung versetzten Bahnsteigen geplant, die wesentlich kürzere Wegebeziehungen zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln des ÖPNV am Bf Laim ermöglicht.

EBA-Richtlinie und Leitfaden

Verwaltungsvorschriften des Eisenbahn-Bundesamtes, die zur Orientierung des Vorhabenträgers dienen:

- Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes: „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“.
- Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes: „Planfeststellungsrichtlinien für den Erlass planungsrechtlicher Zulassungsentscheidungen für Betriebsanlagen der Eisenbahnen des Bundes sowie Betriebsanlagen von Magnetschwebbahnen“.
- Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes: „Leitfaden für den Brandschutz in Personenverkehrsanlagen des Eisenbahnen des Bundes und der Magnetschnellbahn“.
- Leitfaden des Eisenbahn-Bundesamtes: „Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen“.

ESTW – Elektronisches Stellwerk

In den seit den achtziger Jahren in Deutschland eingeführten Elektronischen Stellwerken erfolgt die Steuerung von Weichen und Signalen nicht, wie bis dahin üblich, entweder über mechanisch bzw. elektrisch betriebene Hebelwerke oder über Relais, die mittels Tasten an einem Stelltisch bedient werden müssen, sondern über elektronische Rechner und Monitore. Dadurch ist es möglich, Stellwerke von einer Betriebszentrale aus fernzusteuern. Vor Ort sind lediglich unbesetzte Unterzentralen (ESTW-UZ) und Außenstationen (ESTW-A) erforderlich.

EÜ Wotanstraße

Die Eisenbahnüberführung Wotanstraße besteht aus einem Straßentunnel und zwei Fuß- und Radwegtunneln, die hintereinander westlich des Straßentunnels angeordnet sind. Die Wotanstraße kreuzt die Bahn in Nord-Süd-Richtung. Die EÜ Wotanstraße wird auch als Laimer Röhre oder Laimer Unterführung bezeichnet.

Östlich der bestehenden Unterführung plant die Landeshauptstadt München einen zusätzlichen Tunnel, die sogenannte Umweltverbundröhre (UVR). Die UVR dient als Zugang zur S-Bahn-Station Laim, als Fuß- und Radweg und als Quermöglichkeit für Busse.

Gleisanschluss Deutschmann

Gleisanschluss zum Lager- und Speditionsbetrieb der Fa. Deutschmann im Bereich östlich der Friedenheimer Brücke, nördlich der Gleisanlagen der Vorstellgruppe Nord.

„Laim tief“

„Laim tief“ bezeichnet einen temporären Bahnsteig am Gleis 1 in Bf Laim Rbf, der im Rahmen der Ausbaumaßnahme Ingolstadt – München errichtet wurde.

Objekt V

Auf Höhe km 3,169 der Strecke Str. 5503 München – Augsburg werden die Gleise der bestehenden S-Bahn-Stammstrecke und der Fernbahngleise zum Hauptbahnhof über die Verbindungsgleise vom Bf Laim Rbf bzw. von der ICE Wende- und Abstellanlage zum Südring bzw. zum ICE-BW überführt. Das vorhandene Kreuzungsbauwerk trägt die Bezeichnung Objekt V.

Ordnungsharfe 5

Zugbildungsanlage westlich der Donnersbergerbrücke.

Vorstellgruppe Nord

Zugbildungsanlage östlich der Friedenheimer Brücke. In der Vorstellgruppe Nord erfolgt die Innenreinigung der Personenzüge.

**PLANFESTSTELLUNGSABSCHNITT 1,
BAU-KM 100,6+00 - 105,9+96**

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 Ostbahnhof sowie eine zweigleisige elektrifizierte S-Bahn-Strecke zwischen der Abzweigstelle Max-Weber-Platz und dem S-Bahnhof Leuchtenbergring. Des Weiteren beinhaltet das Bauvorhaben zwei neue Stationen am Hauptbahnhof und am Marienhof, sowie den Umbau der bestehenden S-Bahnanlagen im Bahnhof Laim und im Ostbahnhof zwischen dem Bahnhofsteil Ostbahnhof (östliche Bahnsteigenden) und dem Bahnhofsteil Leuchtenbergring.~~

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, 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“ 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), m-plan und DB PB TB13, bezieht sich auf den Planfeststellungsabschnitt 1 von Bau-km 100,6+00 bis 105,9+96. Es wurde der Streckenabschnitt Bau-km 100,6+00 bis 103,0+30 von m-plan und DB PB TB 13 sowie der Abschnitt Bau-km 103,0+30 bis 105,9+96 durch TUM-ZG bearbeitet. Mit dem Erläuterungsbericht werden die Ergebnisse der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen im Hinblick auf die Planfeststellung für den Planfeststellungsabschnitt 1 dargestellt und beurteilt.

Die Bearbeitungsschwerpunkte im Erläuterungsbericht "Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft" ergeben sich aus den Erfordernissen der Planfeststellung. Neben der Erfassung des Untergrundaufbaus, der Grundwasserverhältnisse sowie der Gewässer werden die sich hierdurch ergebenden bautechnischen Konsequenzen aufgezeigt und beurteilt. Zur Beschreibung der möglichen Auswirkungen der Baumaßnahmen auf das Schutzgut Boden und Wasser werden hier die geotechnischen Maßnahmen beschrieben. Die Bewertung erfolgt in Anlage 21.1.3.

1.3 Verwendete Unterlagen/Literatur

- U1 EDR (2003): Geotechnische Bestandsaufnahme 2. S-Bahn-Stammstrecke, Erläuterungsbericht
- U2 DIN 4021 (1990/10): Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Deutsches Institut für Normung
- U3 DIN 4094-2 (2003/05): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 2: Bohrlochrammsondierung; Deutsches Institut für Normung
- U4 DIN 4094-3 (2002/01): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 3: Rammsondierungen; Deutsches Institut für Normung
- U5 DIN 4094-5 (2001/06): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 5: Bohrlochaufweitungsversuche; Deutsches Institut für Normung
- U6 DIN 18130-2 Entwurf (2003/10): Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 2: Feldversuche; Deutsches Institut für Normung
- U7 DIN 4149-1 (1981-04): Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Deutsches Institut für Normung
- U8 DIN 4149 Entwurf (2002-10): Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Deutsches Institut für Normung
- U9 Stadtkarten der Landeshauptstadt München, Baureferat, U-Bahn-Bau, Grundwasserisohypsen,
Rekonstruktion des Hochwassers Sommer 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
- U10 Stellungnahme zur Festlegung von Bemessungswasserständen auf der Grundlage statistischer Analysen langjähriger Grundwasserbeobachtungen (TU München, Zentrum Geotechnik vom 17.5.2004)
- U11 Einschlägige DIN Normen in der jeweils gültigen Fassung
- U12 Ril 836 der DB Netz AG (20.12.1999)
- U13 Angaben zum HW (1940) im Bereich Donnersberger Brücke-Bhf Laim, Vermessungsamt der LH München
- U14 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau der Umweltverbundröhre Laim (mplan eG für die Stadtwerke München, 5.10.2004).
- U15 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau des Hp Friedenheimer Brücke (mplan eG für Aurelis Real Estate, 15.10.2004).

- U16 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau von Stützwänden im Bereich des Bahnhofs Laim; (8.4.2005)
- U17 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau Neubau Eisenbahnüberführung Wotanstraße, Lichthof, Bf Laim; (8.4.2005)
- U18 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau Bf Laim, Bahnsteige A und B sowie Zugangsbauwerke; (8.4.2005)
- U19 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau Überwerfungsbauwerk Laim-Süd; (8.4.2005)
- U20 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau Überwerfungsbauwerk Laim-Süd; (8.4.2005)
- U21 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau einer Stützwand im Bereich zwischen Objekt V und Friedenheimer Brücke; (8.4.2005)
- U22 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau 2 Eisenbahnkreuzungsbauwerke Objekt V; (8.4.2005)
- U23 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau von Stützwänden im Bereich der Überwerfungsbauwerke Nord und Süd; (18.01.2005)
- U24 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Neubau von 2 Stützwänden im Bereich von Objekt V; (8.4.2005)
- U25 Baugrunduntersuchung und Baugrundgutachten Oberirdische Verkehrsanlagen Planungsabschnitt 1, München Laim bis Donnersberger Brücke (Tunnelportal); (8.4.2005)
- U26 Ril 800.2001 der DB Netz AG (01.01.2000)
- U27 Angaben zum HW (1940) im Bereich Donnersberger Brücke-Bhf Laim, Vermessungsamt der LH München

2 Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme

Die Trasse des PFA 1 beginnt im Westen beim Haltepunkt Laim und umfasst den vollständigen Umbau des Bf München Laim mit zwei Inselbahnsteigen, den Neubau einer dritten Unterführung (Umweltverbundröhre) östlich der bestehenden Laimer Unterführung. Anschließend verläuft die Trasse in östlicher Richtung. Im Bereich der oberirdischen Strecke liegt der Neubau von zwei Überwerfungsbauwerken und der Neubau von zwei Eisenbahnkreuzungsbauwerk im Bereich Objekt V. Anschließend unterquert die Trasse die Friedenheimer Brücke und fällt vor der Donnersberger Brücke ab und unterquert diese sowie den Posttunnel bereits in Tunnellage und gewinnt in östlicher Richtung folgend weiter an Tiefe. Nach der Unterquerung der Hackerbrücke erreicht die Trasse den Bf Hauptbahnhof zentral unterhalb des Hauptbahnhofes. Nach der Unterquerung des bestehenden U-Bahnhofs U1 / U2 schwenkt die Trasse leicht nach Norden, unterquert weitere Gebäude und erreicht anschließend die Planfeststellungsgrenze zum PFA 2.

Die Trassenlage und Gradienten sind in den Anlagen 18.3 und 18.4 der Planfeststellungsunterlagen dargestellt.

3 Geologischer / Hydrogeologischer Überblick

3.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Im Bereich der 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Planfeststellungsabschnitt, PFA 1 stehen ab der Geländeoberfläche in der Regel zunächst geringmächtige Decklagen, überwiegend aus Humus und Verwitterungsschichten oder künstliche Auffüllungen mit Dicken von wenigen Dezimetern bis teils mehreren Metern an. Darunter folgen, als Teil der Münchner Schotterebene, jeweils bis in Tiefen zwischen ca. 6 m und 17 m eiszeitliche (Hochterrasse und Niederterrasse) und östlich des Hauptbahnhofs auf einer tieferliegenden Terrasse auch nacheiszeitliche, fluvioglaziale 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. 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 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 wirkungsvolle 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, wobei lokale Tertiärauftragungen in der Regel nur bei ausgesprochenen Niedrigwasserständen die quartäre Grundwasseroberfläche durchstoßen und dann im Quartäraquifer umströmt werden. Im Bereich der nacheiszeitlichen Terrasse sind die Schottermächtigkeiten insgesamt geringer und das Tertiär überragt den quartären Grundwasserspiegel häufig schon bei niedrigen Grundwasserständen. Die Grundwasserfließrichtung folgt dem großräumigen Gefälle der Geländeoberfläche nach N bis NO.

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 Sand-schichten mit schwach bis sehr schwach durchlässigen Ton-/Schluffschichten kann im Tertiär auch eine Gliederung in mehrere Grundwasserstockwerke gege-

ben sein, wobei die tieferliegenden Aquifere teils geringere Potentiale aufweisen als die Höheren.

3.3 Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten

Im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Sanierungsmanagement (F.FRS-S) wurden im Rahmen des 4-Stufen-Programms ökologische Altlasten auf Bahnliegenschaften im Bereich der Baumaßnahme im Planfeststellungsabschnitt 1 folgende Gutachten in Auftrag gegeben:

- Altlastenuntersuchungen im Bereich der Gleisachse München Hbf – Laim – Pasing – Historische Erkundung; Nickol & Partner GmbH im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Gröbenzell 1995
- Altlastenuntersuchungen auf dem Gelände der Gleisachse München Hbf – Laim – Pasing – Technische Erkundung (Orientierende Untersuchung); Nickol & Partner GmbH im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Gröbenzell 1997

Folgende Altlastenverdachtsflächen befinden sich im Umgriff der Baumaßnahme:

Teilfläche (Nr./Bezeichnung)	Lage	ALVF im relevanten Bereich	Anzahl Bohrungen	davon Boden	davon Bodenluft	davon Wasser
08 Gelände nördlich der Gleisanlagen zwischen dem Abzweig nach Regensburg (westlich über die Planfeststellungsgrenze hinausreichend) bis zur Friedenheimer Brücke	westlich Bau-km 100,6+00 bis Bau-km 102,5+00	Keine				
19 Gelände von der Friedenheimer Brücke bis zur Donnersbergerbrücke im Gleisbereich	Bau-km 102,5+75 bis Bau-km 103,6+25	B-006158-135 (V19/01) (Randbereich) HK 1.1	4 RKS	3 Proben MKW, PAK, SM, Cyanide und PCB	4 Messungen BTEX, LHKW	
21 Gelände vom S-Bahnhof Laim bis zur Friedenheimer Brücke im Gleisbereich	Bau-km 101,3+25 bis Bau-km 102,5+75	B-006158-039 (V 21/03) HK 1.1	10 RKS	30 Proben MKW, PAK, SM, Cyanide und PCB	10 Messungen BTEX, LHKW	0

Teilfläche (Nr./Bezeichnung)	Lage	ALVF im relevanten Bereich	Anzahl Bohrungen	davon Boden	davon Bodenluft	davon Wasser
22 Gelände zwischen dem Abzweig nach Regensburg (westlich über die Planfeststellungsgrenze hinausreichend) bis zum S-Bahnhof Laim im Gleisbereich	westlich Bau-km 100,6+00 bis Bau-km 101,3+25	VE Rbf Laim HK 1.1	7 RKS 1 GWMS	3 Proben MKW, PAK, SM, Cyanide PCB	7 Messungen BTX, LHKW	MKW, PAK, SM

Tab. 3.1: Tabellarische Zusammenstellung der Altlastenverdachtsflächen

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 lokal ausgebeutet.

Aufgrund der dichten Bebauung und intensiven Flächennutzung (z.B. Gleisanlagen) im Bereich der 2. SBSS im PFA 1, stellen die genannten Quartärkiese 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

Die Ergebnisse aus dem Baugrundgutachten ‚Neubau des Hp Friedenheimer Brücke‘ [U15] wurden bei der Festlegung des Untersuchungsprogramms berücksichtigt und bei der Baugrundbegutachtung verwendet. Die übernommenen Bohrungen (bzw. Bohransatzpunkte) sind in Anlage 18.3 dargestellt.

4.2 Projektspezifische Untersuchungen

4.2.1 Bohrungen nach DIN 4021

4.2.1.1 Rammkernbohrungen

Rammkernbohrungen mit Kerngewinnung DN > 100, Bohrtiefen 7 bis 15 m unter GOK: 32 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an jedem Ansatzpunkt ein Vorschacht d = 500 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: 80 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an 36 Ansatzpunkten 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 Schürfe

Baggerschürfen wurden bei der Baugrunderkundung nicht ausgeführt.

4.2.3 Bohrlochversuche

4.2.3.1 Bohrlochrammsondierungen (BDP) nach DIN 4094-2

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

4.2.3.2 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5

Bohrlochaufweitungsversuche wurden bei der Baugrunderkundung nicht ausgeführt.

4.2.3.3 Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2

Durchlässigkeitsversuche wurden bei der Baugrunderkundung nicht ausgeführt.

4.2.4 Rammsondierungen nach DIN 4094-3

Rammsondierungen DIN 4094-DPH, Sondiertiefen 2 bis 10 m: 107 Stück.

Zur Spartensicherung wurde an 65 Ansatzpunkten 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

Es wurden insgesamt 930 Bohrproben und 8 Grundwasserproben für bodenmechanische und umweltanalytische Untersuchungen entnommen. An ausgewählten Proben wurden folgende bodenmechanischen Untersuchungen durchgeführt:

Anzahl Versuche	Versuch	DIN
144	Visuelle und manuelle Beurteilung	4022
42	Wassergehalt (Ofentrocknung) Gesamtprobe	18121-1
17	Fließ- und Ausrollgrenze	18122-1
105	Siebung, nass	18123
11	Siebung / Sedimentation	
144	Visuelle und manuelle Beurteilung	4022

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 11 Felder gebildet, deren Einzelproben zu horizontalen Mischproben zusammengefasst wurden. Der Horizont 0 – 0,5 m 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. Beim Horizont 0,5 – 2,0 m war 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. Zusätzlich wurden einzelne Felder stichprobenartig auf Pflanzenschutzmittel (PBSM) ersprechend der DB-Anforderung untersucht. Beim Horizont > 2 m wurde davon ausgegangen, dass er sicher verbleibt. Er wurde zur Prüfung der Versickermöglichkeit von gesammelten Niederschlagswässern im Original auf die Parameter PAK und MKW untersucht. Auf Schwermetalluntersuchungen wurde in Rücksprache mit dem WWA München auf Grund der pH-Wert abhängigen geringen Mobilität vorerst verzichtet. Dieser Horizont wurde ebenfalls stichprobenartig auf Rückstände von PBSM geprüft.

Für die Bodenproben sind bei Ausbau und Verwertung/Entsorgung die Technischen Regeln Nr. 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Bewertungsgrundlagen. Es werden Einbauklassen definiert, für deren Obergrenze die Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 Vorgabe sind.

Auffüllböden bis Z 1.1, bei günstigen hydrogeologischen Bedingungen bis Z 1.2 können nach LAGA-Merkblatt vor Ort wieder verfüllt werden.

Feld	Horizont m u. GOK	Einstufung				LFW-Hilfswerte	
		LAGA-Klassen				Hw 1	Hw 2
		Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2		
1. Freie Strecke Bau-km 100,65 – 100,90	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0			Cu			
	> 2,0		AMPA				
2. Freie Strecke Bau-km 100,90 – 101,20	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0				AMPA		
	> 2,0	X					
3. Bahn- steig Hp Laim Bau-km 101,20 – 101,40	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0				AMPA		
	> 2,0	X					
4. Freie Strecke Bau-km 101,40- 101,60	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0		PAK				
	> 2,0		PAK, Benzo(a)- pyren				
5. Freie Strecke Bau-km 101,60- 101,80	0-0,5				Benzo(a) - pyren		
	0,5-2,0				AMPA		
	> 2,0	X					
6. Über- werfungs- bauwerk Bau-km 101,80- 102,00	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0	X					
	> 2,0				AMPA		
7. Freie Strecke Bau-km 102,00- 102,14	0-0,5		PAK, Benzo(a)- pyren				
	0,5-2,0		PAK, Benzo(a)- pyren				
	> 2,0				AMPA		
8. Objekt 5 Südring- querung Bau-km 102,14 – 102,25	0-0,5			PAK, Benzo(a)- pyren			
	0,5-2,0	X					
	> 2,0				AMPA		
9. Freie Strecke Bau-km 102,25- 102,65	0-0,5		PAK Cyanide				
	0,5-2,0		PAK				
	> 2,0		AMPA				

Feld	Horizont m u. GOK	Einstufung				LfW-Hilfswerte	
		LAGA-Klassen				Hw 1	Hw 2
		Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2		
10. Freie Strecke Bau-km 102,65- 102,90	0-0,5			Hg			
	0,5-2,0				AMPA		
11. Freie Strecke Bau-km 102,90- 103,15	0-0,5		PAK, Benzo(a)- pyren				
	0,5-2,0		PAK, Benzo(a)- pyren				
12. Be- reich Tunnelpor- tal West Bau-km 103,05- 103,30	0-1,0		PAK, Benzo(a)- pyren				
	1,0-2,0	X					
	2,0-3,0	X					

Tab. 4.2: Tabellarische Zusammenstellung der Chemischen Laboruntersuchungen

Die Laboranalysen ergaben für die Horizonte der einzelnen Felder Einstufungen zwischen Z 0 und Z 2.

Häufig erfolgte eine Einstufung in Z 2 auf Grund erhöhter Gehalte an AMPA, dem Hauptmetaboliten des Herbizides Glyphosat. Weitere erhöhte und für die Bewertung relevante Parameter waren im Feststoff PAK (Summe nach EPA) und der Einzelstoff Benzo(a)pyren; vereinzelt Mineralölkohlenwasserstoff und die Schwermetalle Kupfer, Quecksilber und Zink. Im Eluat war nur AMPA auffällig.

4.2.7 Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser

4.2.7.1 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

7 Wasserproben aus Bohrungen im Umgriff des Bahnhofs Laim, der Überwerfungsbauwerke, der Eisenbahnkreuzungsbauwerke bei Objekt V und der Friedenheimer Brücke wurden nach DIN 4030 auf Betonaggressivität untersucht.

4.2.7.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Im Rahmen der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen wurden keine Analysen von Grundwasser auf umweltrelevante Parameter durchgeführt.

4.2.7.3 Bodenluftuntersuchungen

Bodenluftuntersuchungen waren nicht Gegenstand des Untersuchungsprogramms.

5 Untersuchungsumfang Tunnelstrecken mit Trögen

5.1 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 (GWM) sowie hydrologische Beobachtungen.

Zusätzlich findet eine GWM aus der Bohrkampagne zur Planfeststellung der Magnetschnellbahn (MSB) München (GWM 01-03, Bau-km 104,1+47) Verwendung. Diese Bohrung kann aufgrund der Trassennähe zur 2. SBSS unmittelbar einbezogen werden und ist deshalb in Lageplan (Anlage 18.3) und in den Schnitten (Anlage 18.4) dargestellt.

5.2 Projektspezifische Untersuchungen

Die im Rahmen der aktuellen Baugrunduntersuchungen gewählten Untersuchungsabstände wurden auf die gestellte Planungsaufgabe (Planfeststellung) und den hierzu notwendigen Aussagetiefgang ausgerichtet. Im Zuge der weitergehenden Planungen werden als Grundlage für vertiefende Beurteilungen, insbesondere im Hinblick auf eine Ausführungsplanung bzw. Ausschreibung, zusätzliche Baugrundaufschlüsse durchgeführt werden.

5.2.1 Bohrungen nach DIN 4021

Im Zeitraum März bis Juli 2004 wurden im PFA 1 19 Aufschlussbohrungen nach DIN 4021 (Bezeichnung: 2S-3/S02 bis 2S-5/S07 für Bohrungen und 2S-3/01 bis 2S-5/05 für Grundwassermessstellen) im Rammkern- bzw. Rotationskernbohrverfahren mit Bohrdurchmessern zwischen 146 mm und 320 mm und Tiefen von 20 m bis 70 m unter Ansatzpunkt abgeteuft. 8 Bohrungen wurden als Ein- bis Dreifachgrundwassermessstellen (GWM) ausgebaut.

Die Bezeichnung der Bohrungen 2S-X/..YY setzt sich folgendermaßen zusammen:

- 2S 2. S-Bahn-Stammstrecke
- X Bau-km
- .. S für Aufschlussbohrung / ohne S für GWM
- YY fortlaufende Nummerierung im Kilometer X

Aus der Anlage 18.3 ist die Lage der Bohrungen zur geplanten 2. SBSS ersichtlich.

Die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen sind - schematisiert und vereinfacht - in den Schnitten der Anlage 18.4 höhenbezogen dargestellt.

Die in den Grundwassermessstellen am 31.08.04 gemessenen Grundwasserstände sind in den Schnitten der Anlagen 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 sowie zur Oberflächenabdichtung mit Quellton 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 festgelegt und von der Firma Ivers Brunnenbau GmbH durchgeführt.

Folgende Versuchsarten wurden in situ durchgeführt:

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

5.2.2.1 BDP nach DIN 4094-2

In den Bohrlöchern im Bereich des Trogs West und dem sich nach Osten hin anschließenden Tunnel in offener Bauweise sowie im Bereich der Rettungsschächte wurden je 1 bis 5 Bohrlochrammsondierungen BDP pro Bohrung (ehem. Standard-Penetration-Test SPT) nach DIN 4094-2 (insgesamt 40 Stück im PFA 1) in Tiefen zwischen ca. 3 m und ca. 15 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 in Tiefen von ca. 15 m bis 45 m unter GOK insgesamt 19 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5 durchgeführt. 16 Versuchsstrecken lagen in tertiären Tonen / Schluffen von überwiegend halbfester bis fester Konsistenz und 3 Versuchsstrecken lagen in tertiären Sanden mit unterschiedlichen Anteilen an Feinkorn. Zum Einsatz kamen Seitendrucksonden (Durchmesser 101 mm und 146 mm) sowie Dilatometer (Durchmesser 101 mm), wobei Sondentyp und Durchmesser in Abhängigkeit von Bohrverfahren, Bohrdurchmesser und den geologischen Verhältnissen im Bereich der Versuchsstrecke gewählt wurden.

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 des Trogs West und der offenen Tunnelbauweise wurden in grundwasserführenden Schichten Durchlässigkeitsversuche zur Ermittlung der k-Werte in den Bohrlöchern und in fertig ausgebauten Grundwassermessstellen durchgeführt. Dabei wurden ausschließlich in tertiären Sanden im Regelfall sowohl stationäre Auffüllversuche mit konstanter Wassermenge und Druckhöhe als auch instationäre Auffüllversuche mit variabler Druckhöhe in Anlehnung an Entwurf DIN 18130-2, Okt. 2003 durchgeführt. In den Grundwassermessstellen erfolgten sowohl Auffüllversuche als auch

Pumpversuche. Insgesamt wurden 17 (13 Auffüllversuche im Bohrloch, 3 Auffüllversuche in GWM und 1 Pumpversuch) Durchlässigkeitsversuche durchgeführt.

In quartären Bodenschichten wurden aufgrund der im Mittel sehr starken Durchlässigkeit und der damit verbundenen Erfordernis der Abdichtung der Baugrubenumschließungen gegen quartäres Grundwasser im PFA 1 keine Durchlässigkeitsversuche durchgeführt.

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

5.2.3 Rammsondierungen nach DIN 4094-3

Zur ergänzenden Erkundung der Lagerungsdichten der anstehenden Kiese wurden an vier Versuchspunkten schwere Rammsondierungen nach DIN 4094-3 (Bezeichnung: DPH 3/01a bis DPH 03/04b) im Bereich des geplanten Trogs West der 2. SBSS durchgeführt (Anlage 18.3). Aufgrund der hohen Lagerungsdichten der Auffüllungen und quartären Kiese im Gleisbereich der DB AG wurden die Rammsondierungen mehrfach umgesetzt und mussten alle in max. 2,5 m unter GOK abgebrochen werden.

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

5.2.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Es wurden in allen drei Planfeststellungsabschnitten insgesamt 367 Bohrproben für bodenmechanische Untersuchungen ausgewählt und folgende bodenmechanische Untersuchungen durchgeführt:

Anzahl Versuche	Versuch	DIN
200	Visuelle Beurteilung	4022
170	Visuelle und manuelle Beurteilung	
95	Wassergehalt (Ofentrocknung) Gesamprobe	18121-1
245	Gesamprobe und $\varnothing < 0,4$ mm	
169	Fließ- und Ausrollgrenze	18122-1
85	Siebung, nass	18123
81	Siebung / Sedimentation	
10	Sedimentation	
131	Trockendichte und Wassergehalt	18125-1

Anzahl Versuche	Versuch	DIN
62	Einaxiale Druckfestigkeit mit Verformungsmessung	in Anlehnung an 18136 und Empfehlung 1 des Arbeitskreises 3.3 DGGT
30	Korndichte	18124
18	Dreiaxialer Druckversuch CU-Versuch	18137-2
15	Wasserdurchlässigkeit	18130-1
8	Wasseraufnahmevermögen	18132
8	Quelldruck	-

Tab. 5.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen

5.2.5 Chemische Laboruntersuchungen Boden

Am westlichen Tunneltrug wurden die Auffüllungen aus zwei Bohrungen und zwei Schürfgruben untersucht. Analog zu den Untersuchungen an der „Oberirdischen Strecke“ (Ziffer 4.2.6) wurden aus den Bodenhorizonten 0 – 1,0 und 1,0 – 2,0 m Mischproben auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat analysiert. Der Horizont von 2,0 – 3,0 m Tiefe wurde im Original auf PAK (EPA), MKW und Schwermetalle untersucht. Die Analysen ergaben für den obersten Horizont 0 – 1,0 m eine Einstufung nach LAGA Z 1.1 (PAK) und für die Horizonte 1,0 – 2,0 und 2,0 – 3,0 m eine Einstufung gemäß LAGA Z 0.

Vom Tunnelportal bis zur östlichen Abschnittsgrenze wurden Proben anthropogener Auffüllungen aus Bohrungen, die im Bereich einer geplanten offenen Bauweise liegen, auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat untersucht. Bereiche mit Bahnbetrieb wurden ergänzend auf Herbizide geprüft. Zusätzlich wurden von TUM-ZG ausgewählte Proben aus dem Tertiär auf geogene Schwermetallgehalte analysiert. Beide Untersuchungen fanden im Hinblick auf die Materialverwertung /-entsorgung statt.

Es wurden LAGA-Werte zwischen Z 0 und Z 1.2 ermittelt. Für die Einstufung verantwortliche Parameter waren PAK (EPA) und in einem Fall das Schwermetall Blei. Die Herbizidanalysen blieben ohne Befund.

Bei den Tertiärproben wurden zweimal im Feststoff Schwermetallgehalte gemessen, die eine Einstufung nach Z 1.1 notwendig machen. In einer Probe war es Arsen, in der zweiten Arsen, Nickel, Kupfer und Chrom. Die übrigen Proben lagen unter Z 0.

Am westlichen Tunneltrög wurden die Auffüllungen aus zwei Bohrungen und zwei Schürffgruben untersucht. Analog zu den Untersuchungen an der „Oberirdischen Strecke“ (Pos. 4.2.6) wurden horizontierte Mischproben auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat analysiert. Der Horizont ab 2 m Tiefe wurde im Original auf PAK (EPA), MKW und Schwermetalle untersucht. Die Analysen ergaben für den obersten Horizont 0 – 1,0 m eine Einstufung nach LAGA Z 1.1 (PAK) und für die Horizonte 1,0 – 2,0 und 2,0 – 3,0 m eine Einstufung gemäß LAGA Z0.

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 (PFA 1 bis 3) verteilt, insgesamt 13 Grundwasserproben zur Untersuchung hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030 (Beurteilung betonangreifender Wasser, Böden und Gase) entnommen und nach dem Referenzverfahren untersucht. Hiervon liegen 3 Proben im PFA 1 vor.

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

5.2.6.2 Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter

Im Rahmen der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen wurden keine Analysen von Grundwasser auf umweltrelevante Parameter durchgeführt.

5.2.7 Bodenluftuntersuchungen

Bodenluftuntersuchungen waren nicht Gegenstand des Untersuchungsprogramms.

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 : Oberboden / Auffüllungen
- 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.

Eine exakte massenmäßige Quantifizierung der einzelnen Bodenschichten und -klassen ist wegen der nur punktuellen Aufschlüsse, der Heterogenität quartärer und insbesondere tertiärer Bodenschichten und des wellenförmigen Reliefs der Tertiäroberfläche vorab nicht möglich.

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)

Weite Bereiche des Untersuchungsumgriffes sind mit Gleisschottern bedeckt. Eine weitere bodenmechanische Beurteilung dieser Schicht erfolgt nicht, da das Material im Zuge der Baumaßnahmen ausgehoben und verwertet wird.

Auffüllungen / Schicht Ic (kiesige Auffüllungen)

Unter den Gleisschottern oder dem Oberboden folgt eine im gesamten Untersuchungsumgriff vorhandene 0,8 bis 5 m starke, kiesige Auffüllung, die z.T. aus Profilierungsarbeiten (Aufhöhungen, Grubenverfüllungen usw.) stammt oder Dammschüttungen zuzurechnen ist.

Für die Kiese ist oberflächennah eine mittlere bis hohe Lagerungsdichte zu erwarten. Mit der Tiefe (ab 0,5 bis 1,0 m u. GOK) nimmt die Lagerungsdichte i.d.R. deutlich ab (lockere Lagerung).

Der Feinkorngehalt ist nahezu durchgängig gering (Frostempfindlichkeitsklassen 1 und 2), die Wasserdurchlässigkeit hoch.

Bei Baumaßnahmen, die auf dieser Einheit gegründet werden sollen (z.B. Gleisbau, Hochbau, Ingenieurbauwerke), ist in der Regel eine Nachverdichtung des Materials erforderlich.

Schicht Ic / rollige Auffüllungen	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	ca. 0,8 m bis 5,0 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 3 und Klasse 4
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	LN, untergeordnet LB
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

Schicht Ic / rollige Auffüllungen	Beurteilung
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	GW, GI, GU, GT, GU*, GT* $k_h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s bis } 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ [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 rolligen Auffüllungen

Auffüllungen / Schicht Id (bindige Auffüllungen)

In den Auffüllungen Schicht Id sind bereichsweise lehmige (feinsandig – schluffig - tonigen) Auffüllungen mit weicher bis steifer Konsistenz eingeschaltet. Im Bereich von Staunässen können die obersten cm der Schicht auch aufgeweicht sein und eine breiige Konsistenz aufweisen. Der Feinkorngehalt ist hoch (Frostempfindlichkeitsklasse 3).

Das Material ist für die Gründung von Ingenieurbauwerken insbesondere bei weicher Konsistenz i.d.R. nur mäßig brauchbar. Bei Gleisbaumaßnahmen wird bei Bedarf ein Bodenaustausch oder der Einsatz alternativer Verfahren wie Bodenverbesserung oder Einsatz von Geotextilien in entsprechendem Umfang vorgenommen.

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)	LB
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend TL, TM, UL, UM, untergeordnet TA
Lagerungsdichte / Konsistenz	weich bis steif
Scherfestigkeit (DIN 18196)	gering
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	schlecht verdichtbar

Schicht Id / bindige Auffüllungen	Beurteilung
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 lediglich im Bereich RKB 26 (Bau-km 102,520) angetroffen. Das Material reicht mit einer Schichtdicke von ca. 2,0 m bis 2,6 m unter GOK.

Bei diesen Böden handelt es sich um abgeschwemmtes Material mit hohem organischen Anteil (auch Holz- und Pflanzenreste), hohem Feinkornanteil und eingesprengten, gerundeten Ziegelresten. Die Bildung dieser Schicht erfolgte in historischer Zeit.

Aufgrund der bindigen Eigenschaften mit weicher Konsistenz und dem damit verbundenen Potential zu langanhaltenden und ungleichmäßigen Setzungen bei Belastung sind die quartären bindigen Deckschichten zum Abtrag von Bauwerkslasten unbrauchbar.

Die Merkmale der quartären bindigen Deckschichten sind nachfolgend zusammengefasst:

Schicht II / quartäre bindige Deckschichten	Beurteilung
Schichtmächtigkeiten	bis ca. 2 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 4, lokal bei ausgeprägt plastischem Verhalten Klasse 5 möglich, bei starker Aufweichung auch Klasse 2
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	LB

Schicht II / quartäre bindige Deckschichten	Beurteilung
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend OU, UL
Lagerungsdichte / Konsistenz	weich
Scherfestigkeit (DIN 18196)	gering
Verdichtungsfähigkeit (DIN 18196)	schlecht verdichtbar
Zusammendrückbarkeit (DIN 18196)	groß
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)	schlecht
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	F3 (sehr frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	unbrauchbar

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. 17 m unter GOK im Westen und 6,5 m unter GOK im Osten des PFA 1 angetroffen 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, 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, ev. schwach schluffige Kiese“ anzeigen, doch ist ihr Auftreten an keiner Stelle der Trasse auszuschließen.

Gleichsam bautechnisch von Bedeutung, 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 Dolomitsteingeröllern, 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, wurde bei den Bohrungen im Planfeststellungsabschnitt allerdings nicht festgestellt. Mit lokalem Auftreten von verfestigtem Kies muss jedoch gerechnet werden.

Entsprechend diesen unterschiedlichen Zusammensetzungen weisen die einzelnen Kiesschichten auch kleinräumig unterschiedliche Eigenschaften auf.

Vereinzelt können in den quartären Kiesen auch Sand- oder Schlufflinsen in unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert sein. Sie wurden im PFA 1 in drei Bohrungen mit Dicken bis 0,6 m erkundet. 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 DPH und BDP (Abschnitt 5.2), die bis in Tiefen von 15 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. 6,5 m bis 17 m
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Klasse 3 und Klasse 4; lokal bei Steinanteilen über 30 % auch Klasse 5; Nagelfluh Klassen 6 und 7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	LN, untergeordnet LB; Zusatzklasse S1 und lokal S2 möglich; Nagelfluh : FD1 bis FD3
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 sehr 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
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	GW und 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: $k_h = 5 \cdot 10^{-2}$ m/s 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)	geeignet bis sehr 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. 6,5 m bis 17 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. Untergeordnet

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 flächenhaft vorliegende Konkretionsschichten in schwammartiger Ausprägung mit Dicken von bis zu 60 cm festgestellt. Neben festen Tönen mit hohem Kalkanteil bzw. Kalkausfällungen (Konkretionen) treten insbesondere im östlichen geotechnischen Streckenabschnitt ab etwa Bau-km 104,6+00 in den Bohrungen teilweise auch karbonatisch verfestigte Tone und Schluffe sowie Sandsteine auf, die in den Bohrungen als „Tonsteine“, „Schluffsteine“ und „Mergelsteine“ angesprochen wurden. Sie wurden im unmittelbaren Vortriebsbereich der Tunnelröhren mit Dicken bis zu ca. 0,6 m erkundet (z.B. Bohrungen 2S-4/S03 Bau-km 104,6+65 bis 2S-5/S07 Bau-km 105,8+60). Diese Festgesteine weisen erfahrungsgemäß einaxiale Druckfestigkeiten von über 5 MN/m² auf.

Sowohl die festen Tone als auch die Schluff-, Ton- und Mergelsteine 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 3 Scharen von Harnischflächen unter-

schieden werden: Am häufigsten treten steilstehende Harnischflächen mit Fallwinkeln zwischen 80° 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. Im PFA 1 wurden zwischen den Bohrungen 2S-4/S03 (Bau-km 104,6+65) und 2S-5/S06 (Bau-km 105,5+77) im Tunnelquerschnitt Harnischflächen mit oben beschriebenen Orientierungen angetroffen.

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 0,6 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)	LB, FD1 und FZ1, selten FD2 und FZ2
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 wesentlich höhere Werte erreichen.
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB)	UL, UM, TL, TM Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich)

Schicht IV / tertiäre Schluffe und Tone	Beurteilung
94/97)	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 unterhalb ca. 6,5 m bis 17 m unter GOK im PFA 1 erkundet und können mit Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis mehrere Meter als eigenständige wasserführende Schichten oder innerhalb der tertiären Tone als geschlossene Linsen auftreten.

Die tertiären Sande stehen überwiegend als schwach bis stark schluffige seltener auch tonige Fein- oder Fein- bis Mittelsande an. Untergeordnet wurden in den Sanden auch Fein- bis Mittelkiese in Form gut gerundeter Quarzkiese als Nebengemengeteile (z.B. 2S-4/S04 Bau-km 104,7+90, 2S-5/S04 Bau-km105,3+65 und 2S-5/S07 Bau-km 105,8+60) angetroffen. 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. Im PFA 1 wurde lediglich bei der Bohrung 2S-4/S03 (Bau-km 104,6+65) eine 60 cm mächtige Sandsteinbank erkundet. Die in Bohrung 2S-4/S03 (Bau-km104,6+65) zwischen 17,30 m und 19,0 m angetroffenen mürben Sandsteine besitzen nur eine schwache Kornbindung und lassen sich bereits mit der Hand zerdrücken. Weiterhin treten in den tertiären Sanden häufiger Feinkornlagen auf. Seltener treten auch reine Fein- bis Mittelkieslagen auf (im PFA 1 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 Wasserzu-

tritt 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
Boden- und Felsklassen (DIN 18300)	Bodenklasse 3 und 4, bei Wassersättigung Übergang zu Bodenklasse 2 möglich
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	LN und LB
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
Durchlässigkeitsbeiwert k (DIN 18130)	zwischen $k_h = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_h = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s (stark durchlässig bis schwach) k_h kann aufgrund der Feinschichtung mit eingeregeltten Glimmerblättchen und dünnen Feinkornlagen den 10-fachen Wert von k_v erreichen. vgl. hierzu streckenabschnittsbezogen die Abschnitte 7.3 ff
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 PFA 1 wurde nach geotechnischen und bautechnischen Kriterien in vier Abschnitte unterteilt:

- Bau-km 100,6+00 – 103,0+35
- Bau-km 103,0+35 – 103,6+70
- Bau-km 103,6+70 – 104,6+00
- Bau-km 104,6+00 – 105,9+96

In der Anlage 18.3 sind die Streckenabschnitte dargestellt und in den geotechnischen Bewertungsbändern (Anlagen 18.4) sind zusätzliche Angaben zu den einzelnen Abschnitten enthalten.

7 Hydrologie und Hydrogeologie

7.1 Oberflächengewässer

Im Bereich der geplanten Trasse befinden sich keine natürlichen Oberflächengewässer.

7.2 Niederschlagssituation

Die mittlere Jahressumme des Niederschlags beträgt gemäß Auskunft des Wasserwirtschaftsamts in München etwa 950 mm, 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 im Norden und ca. 1 050 mm 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 in Abschnitt 6.1) besitzt in der Regel eine geschlossene Grundwasseroberfläche, die voraussichtlich nur im Bereich des Hauptbahnhofes bei ausgesprochenen Niedrigwasserständen von einzelnen Hochpunkten der Tertiäroberfläche überragt wird. Es wird davon ausgegangen, dass alle nicht durch Grundwasserentnahmen unmittelbar beeinflussten Tertiäraquifere (Tertiäre Sande, Schicht V gemäß Abschnitt 6.1) grundwassergesättigt sind. Der Quartäraquifer ist vom ersten Tertiäraquifer bis etwa Bau-km 104,7+50 überwiegend durch eine feinkörnige Zwischenschicht hydraulisch ge-

trennt. Weiter östlich befindet sich unter dem Quartärkies ein bis zu etwa 12 m mächtiger Tertiärsand, womit dort ein gemeinsamer Q/T-Aquifer ohne hydraulisch wirksame Trennung vorliegt. Die oberste Tertiärsandschicht ist nach den Aufschlüssen im PFA 1 ab etwa Bau-km 103,7+00 durchgehend vorhanden. Ein zweiter, im Ost-West-Schnitt nicht durchgehend sondern mit Unterbrechungen vorhandener Tertiäraquifer wurde mit einer Schichtoberfläche zwischen etwa 505 müNN und 495 müNN in der Westhälfte des PFA 1 mit bis zu 17 m Mächtigkeit und in der Osthälfte mit bis zu 6 m Mächtigkeit erkundet. Unterhalb von Koten zwischen 480 müNN und 473 müNN wurde ab etwa Bau-km 104,6+00 ein dritter Tertiäraquifer mit Mindestmächtigkeiten zwischen 5 m und 10 m erkundet. Außerdem liegen über die gesamte Erkundungstiefe verteilt zahlreiche weitere geringmächtige tertiäre Sandschichten vor, deren hydraulischer Kontakt zum Quartäraquifer oder zu den mächtigen Tertiäraquiferen nicht im Detail bekannt ist.

Nach dem Durchfahren des Quartäraquifers verläuft die Tunnelsohle bis etwa Bau-km 104,4+00 im ersten und zweiten Tertiäraquifer und von dort bis zum Ende des PFA 1 überwiegend in feinkörnigem Tertiär. Zwischen etwa Bau-km 103,9+50 und 104,4+00 verläuft die Strosse und teilweise der gesamte Tunnelquerschnitt im Tertiäraquifer. Zum Abschnittsende hin wurde eine Tertiäraquifer im Kalottenbereich erkundet. Ab ca. Bau-km 103,6+50 sind die Tunnelstrecken im Tertiär jeweils durch mindestens einen mehrere Meter mächtigen Tertiärhemmer vom Quartäraquifer hydraulisch getrennt, womit alle Tertiäraquifere im Bereich des Tunnelquerschnittes gespannt sind.

Die Mächtigkeits- 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. In den tiefer liegenden Tertiärsanden, die im östlichen Teil des PFA 1 erkundet sind, wurden gegenüber dem Quartäraquifer teilweise erheblich niedrigere Potentiale gemess-

sen, was wahrscheinlich mit Grundwasserentnahmen aus tiefliegenden Tertiäraquiferen zusammenhängt. Für die Stichtagsmessung am 31.08.2004 stellt sich die Situation folgendermaßen dar.

Messstelle	Ø	GOK		OK	Ausbau im Aquifer	GW u. OK	
		[mm]	[müNN]	Messstelle		[m u. GOK]	[m]
2 S-3/01	Q	125	523,84	523,74	bis 17,3	8,00	515,74
2 S-3/02	Q	125	523,27	523,13	bis 15,6	7,48	515,65
2 S-3/06	T1	125	521,88	521,72	22,2 bis 36,5	6,48	515,24
2 S-4/02	T1	50	521,08	521,01	18,1 bis 19,1	7,11	513,90
	T2	125		520,92	23,3 bis 29,5	7,17	513,75
2 S-5/02	Q/T	50	520,53	520,44	9,6 bis 13,2	11,83	514,24
	T2	50		520,40	25,8 bis 26,7	13,74	511,27
	T3	125		520,36	46,5 bis 48,7 50,4 bis > 53,0	19,90	501,96
2 S-5/03b	Q/T	50	521,49	521,40	8,4 bis 14,0	keine Messung	
	T2	50		521,35	17,8 bis 18,5	keine Messung	
2 S-5/03	T1	50	521,50	521,43	24,4 bis 25,7	11,83	509,60
	T2	125		521,35	39,7 bis 40,6	13,74	507,61
	T3	50		521,31	49,3 bis 53,3	19,90	501,41
2 S-5/05	Q/T	50	519,64	519,56	6,3 bis 17,5	5,55	514,01
	T2	125		519,43	48,4 bis > 54,0	19,57	499,86

Tab. 7.1: Grundwasserstände der Messung vom 31.08.2004

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

7.3.3 Grundwasserströmung

Die natürliche Grundwasserfließrichtung im Quartäraquifer ist vom jeweiligen Grundwasserstand abhängig und verläuft im PFA 1 nach Norden bis Nordosten. Für den Bereich des Westportals wurde aus den Isohypsenplänen ([U9] und Anlage 18.3) Anströmwinkel zwischen Tunnellängsachse und Grundwasserströmung zwischen etwa 78° und 85° ermittelt. Das natürliche Grundwassergefälle des Quartäraquifers ist vom Grundwasserstand sowie dem Verlauf der Tertiäroberfläche abhängig und geht aus Unterlage [U9] für das Westportal mit $i = 0,0029$ bis $0,0034$ hervor. Die Messung vom 31.08.2004 ergab unter Annahme einer nach Nordosten gerichteten Strömung ein Gefälle von etwa $i = 0,0025$. In Folge der Umströmung von Bauwerken und einer Tertiärhochlage ergeben sich aus Unterlage [U9] um den Hauptbahnhof und im Ostteil des PFA 1 bei Grund-

wassergefällen zwischen etwa $i = 0,003$ und $0,007$ Winkel zwischen Tunnel-
 längsachse und Grundwasserströmung von etwa 45° bis 70° .

7.3.4 Durchlässigkeitsverhältnisse

Die nachstehend aufgeführte Bandbreite für die Wasserdurchlässigkeit ist unter Berücksichtigung der durchgeführten Versuche und 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 vierfache 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 Versickerung 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	$2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	nicht möglich

Tab. 7.2: Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und -versickerung

7.4 Bemessungswasserstände

7.4.1 Bereich oberirdische Strecke

Auf der Grundlage der Angaben der TUM-ZG für den Abschnitt westliche Tunnelrampe bis Hauptbahnhof sowie die Angaben der LH München, städt. Vermessungsamt ergeben sich für den Bereich der oberirdischen Strecke (Bau-km 100,6+00 bis Bau-km 103,0+21 die nachfolgend dargestellten Bemessungswasserstände.

Bauwerk/Bauabschnitt	HW-Bau	HW-End
Westlicher Abschluss (Westkopf)	518,55 müNN	519,80 müNN
Bahnhof Laim	518,25 müNN	519,50 müNN
Umweltverbundröhre Südportal	518,35 müNN	519,60 müNN
Umweltverbundröhre Nordportal	517,85 müNN	519,10 müNN
Überwerfungsbauwerke	518,05 müNN	519,30 müNN
Objekt V	517,90 müNN	519,15 müNN
Östlicher Abschluss (Westrand Tunnelrampe)	517,10 müNN	518,35 müNN

Tab. 7.3: Tabellarische Darstellung der Bemessungswasserstände im Bereich der oberirdischen Strecke

7.4.2 Bereich Tunnelstrecken mit Trögen

7.4.2.1 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 am Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München zusätzlich die Daten aus langjährigen Grundwasserbeobachtungen von 17 Grundwassermessstellen längs der Trasse (PFA 1 bis PFA 3) statistisch analysiert [U10].

7.4.2.2 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.

7.4.2.3 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 $HW_{1940} + 0,3$ 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.

8 Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdische Strecke

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

8.1 Strecke Bau-km 100,6+00 bis Bau-km 103,0+30

8.1.1 Gründung

Die Gründung der Strecke erfolgt entsprechend der Streckenkategorie und der Einordnung der Baumaßnahmen (Ertüchtigung/Neubau) in der Regel auf den oberflächennahen, aufgefüllten Kiesen (Schicht Ic) oder den natürlich anstehenden, quartären Kiesen (Schicht III). Als Planumsschutzschicht (PSS) kommt aufgrund der stark durchlässigen Böden das Korngemisch KG 2 zum Einsatz.

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

Dammschüttungen können grundsätzlich auf dem vorhandenen Untergrund vorgenommen werden. Die auftretenden Konsolidierungssetzungen im Bereich der Kiesauffüllungen klingen bereits in der Bauphase ab und sind für den Endzustand nicht von Bedeutung.

8.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben beim Bau der Gleiskörper ergeben sich insbesondere in den Bereichen, wo das Erdplanum ausgetauscht werden muss. In den Bereichen, wo 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 deutliche 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.

8.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden durch den Streckenbau nicht beeinflusst. Die Wechselwirkung zwischen vorhandenen Dämmen und daran angesetzten Schüttungen wird beachtet.

8.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2 Ingenieurbauwerke

8.2.1 Eisenbahnüberführung Wotanstraße, Bau-km 101,3

Im Bereich des Bahnsteigs A ist eine einfeldrige Eisenbahn- und Bahnsteigüberführung über den derzeitigen Lichtraum des bestehenden Fußgängertunnels geplant (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.2.1.1 Gründung

Bauteil	Kote
Geplante tiefste Gründungssohle	ca. 518,8 müNN
Aushubtiefe	ca. 518,7 müNN
HW-End	519,50 müNN
HW-Bau	518,25 müNN
Erkundungswasserstand	517,02 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Quartärer Kies, dicht gelagert GI/GW/GU n. DIN 18196

Tab. 8.1: Maßgebliche Koten und Gründung Eisenbahnüberführung Wotanstraße

Die quartären Kiese sind für Gründungen gut geeignet.

8.2.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Teile der Baugrube werden mit rückverankerten Stahlspundwänden gesichert. Die genaue Anordnung des Verbaus hängt vom zeitlichen Ablauf der Baumaßnahme im Hinblick auf den Bau der Umweltverbundröhre ab (vgl. Abschnitt 8.2.2).

Die tiefste, geplante Baugrubensohle liegt oberhalb des HW-Bau. Wasserhaltungsmaßnahmen sind deshalb nicht erforderlich.

Evtl. erforderliche, verlorene Stahlspundwände liegen in Nord-Süd-Ausrichtung und sind für den ungehinderten Grundwasserabfluss ohne Bedeutung.

8.2.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Eine Beeinflussung durch Lastüberschneidungen ergibt sich hier für die Laimer Unterführung (Fußgänger- und Straßentunnel Wotanstraße).

Es werden (geringfügige) Mitnahmesetzungen der nördlich und südlich der neuen Brücke gelegenen Tunnelportale erwartet. Die Bemessung der Gründung des Brückenneubaus wird deshalb so ausgelegt, dass die absoluten Setzungen max. 1,0 cm betragen und die Mitnahmesetzungen vernachlässigbar bleiben. Die Gründungssohle darf höchstens auf dem Niveau der Gründung von Fußgänger- und Straßentunnel liegen.

8.2.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2.2 Erweiterung EÜ Wotanstraße – Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3

Östlich der Laimer Unterführung (Straßentunnel Wotanstraße) ist der Bau eines dritten Tunnels, der sogenannten Umweltverbundröhre geplant. Die an das nördliche Tunnelportal anschließende, östliche Böschung wird dauerhaft gesichert (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.2.2.1 Gründung

Bauteil	Kote
Gründungssohle Tiefpunkt Tunnel	ca. 516,7 müNN
Gründungssohle Südportal	ca. 518,9 müNN
Gründungssohle Nordportal	ca. 517,1 müNN
Gründungssohle Pumpstation	ca. 514,5 müNN
Aushubtiefe	ca. 20 cm unter den o.g. Gründungskoten
HW-End (Südportal)	519,60 müNN
HW-Bau (Südportal)	518,35 müNN
HW-End (Nordportal)	519,10 müNN
HW-Bau (Nordportal):	517,85 müNN
Erkundungswasserstand	517,00 bis 517,15 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Quartärer Kies, dicht gelagert GI/GW/GU n. DIN 18196

Tab. 8.2: Maßgebliche Koten und Gründung der Umweltverbundröhre

Die quartären Kiese sind für Gründungen gut geeignet. Das Bauwerk wird bis zum Bemessungswasserstand (HW_{End}) in druckwasserdichter Bauweise hergestellt.

Die Betonarbeiten für die Pumpstation werden in einem eigenen Spundwandkasten unter Wasser durchgeführt.

8.2.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Herstellung der Baugruben erfolgt abschnittsweise in offener Bauweise. Im Bereich der Bahngleise werden z.T. Hilfsbrücken eingebaut. In Nord-Süd-Richtung erfolgt die Baugrubensicherung mittels Stahlspundwänden, die bis ca. 2 m unter Baugrubensohle einbinden.

Die Stahlspundwände verbleiben im Untergrund. Aufgrund der Nord-Süd-Ausrichtung sind sie für den ungehinderten Grundwasserabfluss ohne Bedeutung.

Die Bauwasserhaltung erfolgt über Absenkbrunnen. Nähere Angaben zur Bauwasserhaltung, Ableitung und Versickerung sind den hydrotechnischen Nachweisen, Abschnitt 10 zu entnehmen.

8.2.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Eine Beeinflussung der westlich gelegenen EÜ Wotanstraße (Laimer Unterführung, Straßentunnel) ist nicht zu erwarten.

8.2.2.4 Entwässerung

Oberflächenwasser wird in der Pumpstation gesammelt und abgeleitet (vgl. Anlage 1 Baubeschreibung).

8.2.3 Überwerfungsbauwerk Laim Nord, Bau-km 101,8+58.8

Eine detaillierte Beschreibung des Überwerfungsbauwerkes ist Anlage 1 zu entnehmen.

8.2.3.1 Gründung

Bauteil	Kote
Gründungssohle	ca. 522,3 müNN
HW-End	519,30 müNN
HW-Bau	518,05 müNN
Erkundungswasserstand	517,13 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Aufgefüllter Kies, Bodengruppe GW n. DIN 18196, d = 1,10 m bis 3,05 m, locker gelagert; darunter folgt quartärer Kies, mitteldicht bis dicht gelagert.

Tab. 8.3: Maßgebliche Koten und Gründung Überwerfungsbauwerk Laim Nord

Die aufgefüllten Kiesböden eignen sich grundsätzlich als Gründungsplanum. Aufgrund der lockeren Lagerung werden sie jedoch im Bereich der Fundamente bis zur Oberkante der quartären Kiese schichtweise nachverdichtet oder durch andere Verfahren verbessert.

8.2.3.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben ergeben sich im Bereich der Fundamente, wo zur Nachverdichtung des tieferliegenden Materials zunächst die darüberliegenden Böden ausgebaut werden. Die Sohle der Baugruben liegt jeweils mindestens 1 m über dem HW-Bau, so dass keine Bauwasserhaltung erforderlich wird. Die Baugruben werden frei geböscht.

8.2.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Lastüberschneidungen zum geplanten, südlich gelegenen Überwerfungsbauwerk werden bei der Gründung berücksichtigt.

8.2.3.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2.4 Überwerfungsbauwerk Laim Süd, Bau-km 101,9+03.6

Eine detaillierte Beschreibung des Überwerfungsbauwerkes ist Anlage 1 zu entnehmen.

8.2.4.1 Gründung

Bauteil	Kote
Gründungssohle	ca. 522,3 müNN
HW-End	519,50 müNN
HW-Bau	518,25 müNN
Erkundungswasserstand	517,13 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle für Gründungselemente Bau-km 101,8+00 bis km 101,9+20	Quartärer Kies, Bodengruppen GI/GW/GU n. DIN 18196 mitteldicht bis dicht gelagert
Boden im Bereich der Gründungssohle für Gründungselemente Bau-km 101,9+30 bis km 102,0+00	Aufgefüllter Kies, Bodengruppen SW/GI/GW n. DIN 18196, d = 0,10 m bis 1,50 m, locker gelagert; darunter folgt quartärer Kies, mitteldicht bis dicht gelagert

Tab. 8.4: Maßgebliche Koten und Gründung Überwerfungsbauwerk Laim Süd

Die aufgefüllten Kiesböden eignen sich grundsätzlich als Gründungsplanum. Aufgrund der lockeren Lagerung werden sie jedoch im Bereich der Fundamente bis zur Oberkante der quartären Kiese schichtweise nachverdichtet oder durch andere Verfahren verbessert.

Die quartären Kiese sind für Gründungen gut geeignet.

8.2.4.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben ergeben sich im Bereich der Fundamente, wo zur Nachverdichtung des tieferliegenden Materials zunächst die darüberliegenden Böden ausgebaut werden. Die Sohle der Baugruben liegt jeweils mindestens 1 m über dem HW-Bau, so dass nicht mit Wasserzutritt zu rechnen ist. Die Baugruben werden frei geböscht.

8.2.4.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Lastüberschneidungen zum dann bereits bestehenden, nördlich gelegenen Überwerfungsbauwerk werden bei der Gründung berücksichtigt.

8.2.4.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2.5 Objekt V – 2. S-Bahn-Stammstrecke, Bau-km 102,1+87

Bei dem geplanten Kreuzungsbauwerk handelt es sich um eine einfeldrige Stabbogenbrücke (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.2.5.1 Gründung

Bauteil	Kote
Gründungssohle Widerlager	ca. 519,3 müNN
HW-End	519,15 müNN
HW-Bau	517,90 müNN
Erkundungswasserstand	516,50 bis 517,20 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Quartärer Kies, Bodengruppen GI/GW/GU n. DIN 18196 mitteldicht bis dicht gelagert

Tab. 8.5: Maßgebliche Koten und Gründung Objekt V Bau-km 102,1+87

Die quartären Kiese sind für Gründungen gut geeignet. Lastüberschneidungen zu Objekt V (Süd, Verbindungsgleis) und zum Bestand sind vernachlässigbar.

8.2.5.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Baugruben ergeben sich im Bereich der Widerlager. Die Sicherung der Baugruben zu den benachbarten Gleisen unter der Brücke erfolgt mittels verlorener Stahlspundwände.

Die Sohle der Baugruben liegt jeweils mindestens 0,15 m über dem HW-End, so dass keine Wasserhaltung erforderlich ist. Die Stahlspundwände reichen bis ca. 2 m unter Baugrubensohle. Aufgrund der nahezu Nord-Süd ausgerichteten An-

ordnung der Stahlspundwände ergibt sich auch beim Verbleib im Untergrund keine negative Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse (z.B. Aufstau).

8.2.5.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende (Ingenieur-)Bauwerke werden nicht signifikant beeinflusst.

8.2.5.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2.6 Stützwände (Winkelstützmauern)

Eine detaillierte Beschreibung der Winkelstützmauern ist Anlage 1 zu entnehmen.

8.2.6.1 Gründung

Winkelstützwände	
Bauteil	Lage
a) nördl. Gleis 1, 2. SBSS, Bf Laim	Bau-km 101,0+50 bis 101,5+50
b) Stützwände der Rampe West zum Überwerfungsbauwerk Laim Nord	Bau-km 101,6+37 bis 101,8+00
c) Stützwand an der Rampe Ost zum Überwerfungsbauwerk Laim Nord	Bau-km 101,9+08 bis 101,9+62
d) Stützwände der Rampe West zum Überwerfungsbauwerk Laim Süd	Bau-km 101,6+58 bis 101,8+05
e) Stützwände der Rampe West zum Überwerfungsbauwerk Laim Süd	Bau-km 101,9+66 bis 102,0+75
f) Stützwände zwischen Gleis 3 und 4 Bf Laim	Bau-km 101,8+75 bis 101,9+15
g) Stützwand nördlich der 2. S-Bahn-Stammstrecke	Bau-km 102,3 bis 102,6+20
Art der Gründung (alle Wände)	Flächengründung
Böden im Bereich der Gründungssohle bei den Stützwänden	Auffüllung Kies, locker gelagert GI/GW/GU n. DIN 18196
	Quartärer Kies, dicht gelagert GI/GW/GU n. DIN 18196

Tab. 8.6: Stützwände, Gründung und Untergrundverhältnisse

Wenn sich im Bereich der Gründungssohlen Auffüllböden befinden, sind grundsätzlich bodenverbessernde Maßnahmen erforderlich. I.d.R. erfolgt dies mittels Nachverdichtung der rolligen Auffüllböden.

Sollte bindiges, weiches Auffüllmaterial angetroffen werden, so wird dies in einem dem Einzelfall angemessenen Umfang gegen gut verdichtbare, rollige Bodenarten ausgetauscht.

8.2.6.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Für die Gründung der Winkelstützmauern sind Baugruben bis in frostsichere Tiefe auszuheben. Die Sicherung der Baugruben zu den benachbarten Gleisen erfolgt mittels Stahlspundwänden, die max. bis zu 2 m unter Baugrubensohle reichen.

Die Sohle der Baugruben und die Unterkante der Baugrubensicherung mittels Stahlspundwänden liegen stets deutlich über dem HW-End, so dass keine Wasserhaltung erforderlich ist und keine Beeinflussung des Grundwassers gegeben ist.

8.2.6.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden durch die Herstellung der Winkelstützmauern nicht beeinflusst.

8.2.6.4 Entwässerung

Die Entwässerung (falls erforderlich) erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.2.7 Stützwände (Stahlspundwände)

Als Stützwände der Rampe West zum Überwerfungsbauwerk Laim Süd (südliche Wand) sind Stahlspundwanddielen mit Vorsatzschale geplant. Die Stahlspundwand reicht gem. Vorbemessung bis ca. 523,5 müNN. Somit ist bei einem Abstand zum HW_{End} von > 4 m keine Beeinflussung des Grundwassers gegeben.

Aufgrund der meist dichten Lagerung der natürlichen Kiese ist davon auszugehen, dass beim Rammen von Stahlspundwänden große Schwierigkeiten auftreten. Insofern werden für das Rammen grundsätzlich unterstützende Maßnahmen vorgesehen (Rütteln, Spülen, Vorbohren etc.). Die detaillierte Baubeschreibung ist als Anlage 1 beigefügt.

8.2.7.1 Baugruben und Grundwasserhaltung

Zur Herstellung der Stützwand aus Stahlspundwanddielen sind keine wesentlichen Aushubarbeiten erforderlich.

8.2.7.2 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden durch die Herstellung der Stahlspundwände nicht beeinflusst.

8.2.7.3 Entwässerung

Die Entwässerung (falls erforderlich) erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.3 Stationen

8.3.1 Bahnsteige A und B am Bf Laim

Für Bahnsteig A wird zur Höhenanpassung an Bahnsteig B eine Verbreiterung des bestehenden Bahndammes vorgenommen. Bahnsteig B wird auf bestehendem Gelände angelegt.

Die Bahnsteige werden mit einer Länge von 210 m und einer Höhe von 96 cm über SO erstellt. Die Bahnsteigdächer werden gesondert gegründet (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.3.1.1 Gründung

Bauteil	Kote
OK Bahnsteig	ca. 528,5 müNN
Gründungssohle	ca. 526,7 müNN
HW-End	519,50 müNN
HW-Bau	518,25 müNN
Erkundungswasserstand	517,02 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle Bahnsteig A	Auffüllung Kies, dicht gelagert entsprechend der Verdichtung des zu schüttenden Materials Bodengruppen GW nach DIN 18196
Boden im Bereich der Gründungssohle Bahnsteig B	Auffüllung Kies, locker bis mitteldicht gelagert, Bodengruppen GW, GI, GU nach DIN 18196

Tab. 8.7: Maßgebliche Koten und Gründung Bahnsteige A und B Bf Laim

Die kiesige Auffüllung im Bereich Bahnsteig B ist nach einer entsprechenden Verdichtung bis 1,0 m unter Gründungssohle für die Gründung des Bahnsteiges geeignet.

8.3.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Der nördliche Bahnsteig A wird auf dem neuen Bahndamm gegründet. Der bestehende und noch in Betrieb befindliche, südlich anschließende Bahnsteig A wird mit einem Verbau (Stahlspundwand) gesichert.

Für den südlichen Bahnsteig B sind am Nord- und Südrand die Fundamentgräben in frostsicherer Tiefe herzustellen (bei ca. 1,8 m unter OK Bahnsteig). Gegenüber den in Betrieb befindlichen, südlich anschließenden Gleisen wird die Baugrube mit einem Verbau (Stahlspundwand) gesichert.

Die Einbindung der Spundwanddielen ist jeweils gering. Ein Kontakt zum Grundwasser ist nicht gegeben.

8.3.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Die Bahnsteige A und B überspannen die beiden bestehenden Röhren der Wotanstraße (Laimer Unterführung) gebaut. Der Einfluss wird statisch und konstruktiv berücksichtigt.

8.3.1.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese

(vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll vom 13.07.2004) mit dem WWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.3.2 Zugangsbauwerk West von dem Fuß- und Radweg Wotanstraße

Das Zugangsbauwerk umfasst eine Zugangsrampe kommend vom Fuß- und Radweg Wotanstraße, eine Bahnsteigunterführung zur Verteilung der Verkehrsströme und 2 Treppenaufgänge in westliche Richtung (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.3.2.1 Gründung

Bauteil	Kote
Tiefpunkt Zugangsbauwerk	ca. 519,6 müNN
HW-End	519,50 müNN
HW-Bau	518,25 müNN
Erkundungswasserstand	517,02 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Quartärer Kies, dicht gelagert Bodengruppen nach DIN 18196 GW, GI oder GU

Tab. 8.8: Maßgebliche Koten und Gründung Zugangsbauwerk West Wotanstraße

Die Gründungssohle höher liegender Bauelemente (oberhalb ca. 523 müNN) wie z.B. Treppenaufgänge liegt im oberflächennahen Bereich in aufgefüllten Kiesen mit zumeist lockerer Lagerung (Bodengruppen GI, GW, GU nach DIN 18196). Hier wird eine Nachverdichtung des Gründungsplanums je nach statischem Erfordernis, aber mindestens bis 1,0 m unter Gründungssohle vorgenommen.

8.3.2.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Baugruben werden vollständig mit Stahlspundwänden verbaut. Je nach statischem Erfordernis erfolgt eine Rückverankerung des Verbaus.

8.3.2.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden nicht beeinflusst.

8.3.2.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll

vom 13.07,2004) mit dem VWA München bzgl. Versickerung in Auffüllböden wird dabei beachtet.

8.3.3 Zugangsbauwerk Ost von der Umweltverbundröhre

Das Zugangsbauwerk umfasst eine Zugangsrampe von der Umweltverbundröhre, ein Verteilerbauwerk, Treppenaufgänge in westliche Richtung und 2 Aufzugsanlagen (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1).

8.3.3.1 Gründung

Bauteil	Köte
Tiefpunkt Zugangsbauwerk (Aufzugsschächte)	ca. 518,25 müNN
HW-End	519,45 müNN
HW-Bau	518,20 müNN
Erkundungswasserstand	517,13 müNN
Art der Gründung	Flächengründung
Boden im Bereich der Gründungssohle	Quartärer Kies, dicht gelagert Bodengruppen nach DIN 18196 GW, GI oder GU

Tab. 8.9: Maßgebliche Köten und Gründung Zugangsbauwerk Ost Umweltverbundröhre

Die Gründungssohle höher liegender Bauelemente (oberhalb ca. 523 müNN) wie z.B. Treppenaufgänge liegt im oberflächennahen Bereich in aufgefüllten Kiesen mit zumeist lockerer Lagerung (Bodengruppen GI, GW, GU nach DIN 18196). Hier wird eine Nachverdichtung des Gründungsplanums je nach statischem Erfordernis, aber mindestens bis 1,0 m unter Gründungssohle vorgenommen.

8.3.3.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Die Baugruben werden vollständig mit Stahlspundwänden verbaut. Je nach statischem Erfordernis, erfolgt eine Rückverankerung.

8.3.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden nicht beeinflusst.

8.3.3.4 Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt in die jeweils stark durchlässigen, oberflächennahen, kiesigen Auffüllungen und die unter den Auffüllungen folgenden quartären Kiese (vgl. Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 6.1.3). Das Abstimmungsergebnis (Protokoll

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

8.4 Hochbauten

8.4.1 ESTW-A Laim Pbf, Bau-km 101,4+50

Für das Modulgebäude ESTW-A Laim Pbf wird eine frostfreie Flächengründung vorgesehen. Es erhält eine Dachflächenentwässerung mit ortsnaher Versickerung der Wässer. Die Gründung wird über eine Betonplatte, die auf einem gemäß den statischen Erfordernissen ausgebildeten Kiesbett angeordnet wird, realisiert. (vgl. Anlage 1)

8.4.2 Weichenheizanlage (Westkopf), Bau-km 100,9+18

Das Schalthaus für die Elektrische Weichenheizungsanlage wird in Modulbauweise errichtet. Es erhält eine Dachflächenentwässerung mit ortsnaher Versickerung der Wässer. Die Gründung wird über eine Betonplatte, die auf einem gemäß den statischen Erfordernissen ausgebildeten Kiesbett angeordnet wird, realisiert. (vgl. Anlage 1)

8.4.3 Weichenheizanlage (Ostkopf), Bau km 101,7+00

Das Schalthaus für die Elektrische Weichenheizungsanlage wird in Modulbauweise errichtet. Es erhält eine Dachflächenentwässerung mit ortsnaher Versickerung der Wässer. Die Gründung wird über eine Betonplatte, die auf einem gemäß den statischen Erfordernissen ausgebildeten Kiesbett angeordnet wird, realisiert. (vgl. Anlage 1)

8.4.4 Trafostation, Bau-km 103,0+00

Die Trafostation für die Tunnelversorgung wird in Modulbauweise errichtet. Sie erhält eine Dachflächenentwässerung mit ortsnaher Versickerung der Wässer. Die Gründung wird über eine Betonplatte, die auf einem gemäß den statischen Erfordernissen ausgebildeten Kiesbett angeordnet wird, realisiert. (vgl. Anlage 1)

8.4.5 Schaltheus für Telekommunikation, Bau-km 103,0+00

Das Schaltheus für die Telekommunikation (Tunnelfunk) wird in Modulbauweise errichtet. Es erhält eine Dachflächenentwässerung mit ortsnahe Versickerung der Wässer. Die Gründung wird über eine Betonplatte, die auf einem gemäß den statischen Erfordernissen ausgebildeten Kiesbett angeordnet wird, realisiert. (vgl. Anlage 1)

8.4.6 Schallschutzwände

Eine detaillierte Beschreibung der Schallschutzwände ist Anlage 1 zu entnehmen

Lage der Schallschutzwände – südlich der Ferngleise	
Bauteil	Lage
1.	Bau-km 4,6+35 – 4,7+35
2.	Bau-km 4,3+20 – 4,1+00
3.	Bau-km 3,8+50 – 3,7+90
4.	Bau-km 3,6+80 – 2,9+15

Tab. 8.10: Schallschutzwände

8.4.6.1 Gründung

Die konstruktive Ausbildung erfolgt gem. [U26]. Demnach werden als Gründungskörper Pfähle (Bohr- und Ramppfähle) vorgesehen. Aufgrund der meist dichten Lagerung der natürlichen Kiese sind Einbringhilfen als rambbegleitende Maßnahmen erforderlich (Rütteln, Spülen, Vorbohren etc.). Die detaillierte Baubeschreibung ist als Anlage 1 beigefügt.

8.4.6.2 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bestehende Bauwerke werden durch die Herstellung der Schallschutzwände 1, 2 und 3 gem. Tab. 8.10 nicht beeinflusst.

Im Bereich der Schallschutzwand 4 (Tab. 8.10), östlich der Friedenheimer Brücke (Tab. 8.10) wird die Gründung mittels Verankerung auf bestehender Stützkonstruktion erfolgen.

8.4.6.3 Entwässerung

Die Entwässerung ist nicht erforderlich.

8.5 Baustraßen, Baustellenzufahrten

Im Allgemeinen ist die vorhandene Geländeoberkante aufgrund der oberflächennah verdichteten Kiesauffüllung für Baustellenfahrzeuge problemlos befahrbar. Gleisschotter werden beseitigt. Im Einzelfall werden geringmächtige Kiesschüttungen oder bei Einschnitten > 0,5 m Nachverdichtungen vorgenommen.

Die tiefer führenden 2 Baustellenzufahrten inkl. Zufahrtsrampen nördlich des HP Laim bei ca. km 100,875 (mit einer Länge von ca. 40m) und bei ca. km 101,880 (mit einer Länge von ca. 70m) liegen in den quartären Kiesen, die aufgrund ihrer dichten Lagerung und der hohen Durchlässigkeit auch bei schlechter Witterung ohne besondere Maßnahmen gut befahrbar sind.

Die Baustellenzufahrten sind mit einer Breite von ca. 6m mit jeweils 1 m Bankett vorgesehen. Die Sicherung der Baugrube erfolgt mittels rückverankerten Spundwände, die gleichzeitig als Auflager für die Hilfsbrücken zur Aufrechterhaltung des Eisenbahnverkehrs geplant sind.

Die planmäßige Sohle der beiden Baustellenzufahrten liegt etwa 5m unter GOK, auf ca. 521,3 müNN, d.h. jeweils mindestens ca. 1,3 m über dem HW_{end} so, dass keine Wasserhaltung erforderlich ist.

Aufgrund der zu erwartenden Einbindetiefe der rückverankerten Spundwände von ca. 2 m unter Baugrubensohle (ca. 519,3 müNN) reichen diese geringfügig in das Grundwasser hinein (0,7m unter HW_{end}). Wegen der nahezu Nord-Süd ausgerichteten Anordnung der Stahlspundwände ergibt sich auch beim Verbleib im Untergrund keine negative Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse (z.B. Aufstau).

8.6 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial, Einbauklassen

Im Bereich der oberirdischen Strecke fallen insgesamt 146.200 m³ Bodenaushub (Festvolumen) und 43.450 m³ Gleisschotter (aufgelockertes Volumen) an.

Hinsichtlich einer Wiederverwertbarkeit 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. Bei dem Bodenaushub handelt es sich überwiegend um Material aus Schicht I (kiesige Auffüllung) und Schicht III (Quartäre Kiese), welches in bodenmechanischer Hinsicht für die Wiederverwertung gut geeignet ist (Bodengruppen GW, GI und GU nach DIN 18196). Für eine Wiederverwertung nicht geeignetes Material (Schicht II: Quartäre bindige Deckschichten) wird auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nur in geringen Mengen anfallen.

- Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nur Material mit einer Schadstoffbelastung bis zur Einbauklasse Z 1.2 gemäß LAGA Mitteilung 20 wiedereingebaut werden kann. Das Aushubmaterial aus der Auffüllung im Bereich von vorhandenen Gleisanlagen erfüllt diese Anforderungen mit Ausnahme der Analysenwerte bezüglich des Pflanzenschutzparameters AMPA. Dieser Parameter wurde jedoch bis in Tiefenbereiche von über 2 Metern u. GOK ohne Ausnahme in einer Konzentration entsprechend der Einbauklasse Z 2 gemäß LAGA analysiert, so dass ein Wiedereinbau von ca. 51.000 m³ Bodenaushub (Festvolumen) nur unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen möglich sein wird, bzw. das Material einer Entsorgung zugeführt werden muss.

Der ausgebaute Gleisschotter wird, zusammen mit den anderen anfallenden Oberbaumaterialien, wieder dem Materialkreislauf der Deutschen Bahn AG zugeführt.

9 Folgerungen für die Baumaßnahmen Tunnelstrecken mit Trögen

9.1 Haltepunkt in offener Bauweise

9.1.1 Gründungen

Der insgesamt etwa 90 m lange und bis zu etwa 85 m breite überwiegend in offener Bauweise erstellte zentrale Bereich Haltepunkt Hauptbahnhof der 2. SBSS beginnt unter der Schalterhalle des heutigen Bahnhofgebäudes und reicht unter dem Bahnhofsvorplatz bis zum U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof. Die in Spritzbetonbauweise geplanten Tunnelröhren für die Bahnsteige sowie Zugangs- und Verbindungsstollen in geschlossener Bauweise werden in Abschnitt 9.3.2 behandelt.

Der zentrale Ausgang ist auf einer Fläche von ca. 40 m x 60 m geplant und wird in einer ab GOK etwa 43 m tiefen Baugrube in Deckelbauweise erstellt. Diese nachfolgend als "Zentraler Ausgang" bezeichnete Baugrube wird die Fahrtreppen und Aufzüge zur Ebene -7 m (Sperrengeschoss), die Ebene Zugang U1 / U2 in ca. 18 m Tiefe, die Ebene Zugang U4 / U5 in ca. 26 m Tiefe, zur Sammelebene in etwa 34 m Tiefe und zum Bahnsteig in etwa 41 m Tiefe aufnehmen. Auf der Gesamtfläche wird eine Baugrube für das Sperrengeschoss (Ebene -7 m) voraussichtlich in mehreren Teilabschnitten erstellt. Diese nachfolgend als "Baugrube Sperrengeschoss" bezeichnete Baugrube grenzt an der Nord-, West- und Südseite unmittelbar an die verbleibenden Bestandsbauten des Hauptbahnhofes und im Osten an den U1/U2-Bahnhof.

Zwischen dem Empfangsgebäude des Hauptbahnhofes und dem U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof wird auf dem Bahnhofplatz ein weiteres, als Startschacht S1 bezeichnetes Schachtbauwerk erstellt (Baugrube „Startschacht S1“), welches bis zur Bahnsteigebene hinabreicht. Es dient vorwiegend der Erstellung der Abfangmaßnahmen für das Bauwerk der U1/U2 und wird im Endzustand mit Ausnahme der hindurchführenden Stationsröhren und des Schachtes für den Feuerwehraufzug und das dazugehörige Treppenhaus wieder verfüllt.

~~Das im Osten an den Bahnhofsvorplatz angrenzende Schachtbauwerk für den Feuerwehraufzug und das zugehörige Treppenhaus wird bis zur Bahnsteigebene niedergebracht.~~

~~Nördlich der für die 7 m Ebenen herzustellende Baugrube und westlich des U1/U2-Bahnhofes ist im Bereich des Bahnhofsvorplatzes der Startschacht 1 für die Tunnelvortriebe mit etwa 18 m Durchmesser und einer Schachttiefe von ca. 38 m geplant.~~

Der Startschacht S2, mit einem Durchmesser von ca. 21 m und einer Schachttiefe von ca. 38,0 m, ist im südlichen Bereich an der Bayerstraße geplant. Er dient als Angriffsschacht zur Herstellung der Bahnsteigröhren, die vor dem Eintreffen der Vortriebsmaschinen ausgebrochen und mit Spritzbeton gesichert sein müssen.

Die Schachtbaugruben werden mit Bohrpfahl- oder Schlitzwänden gesichert.

An die in offener Bauweise zu erstellende Baugrube "Zentraler Aufgang" Hauptbahnhof schließt östlich der horizontale Verbindungsstollen zur U-Bahn-Station U1/U2 und südlich der horizontale Zugang U4/U5 an, die bergmännisch aufgeföhren werden (siehe Abschnitt: 9.4).

Gerundete Werte für weitere maßgebliche Koten für Beginn und Ende der Baumaßnahme im System müNN sind in der folgenden Tabelle 9.1 zusammengestellt.

Die planmäßige Voraushubssohle der Baugrube "Zentraler Aufgang" liegt bei einer Aushubtiefe von ca. 4 m unter GOK in Auffüllungen und quartären Kiesen. Die Gründungssohle in ca. 43 m Tiefe liegt 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.

Die Sohle der für die -7 m Ebene herzustellenden Baugrube liegt in quartären Kiesen oder im Übergangsbereich zu tertiären Sanden.

Auf der Westseite des Bauwerks der U1/U2 verläuft eine geschlitzte Dränleitung DN 200. Diese fördert das quartäre Grundwasser aus den Dränbohrungen südlich der U4/U5 zu einem Schacht im Bereich des Hauptbahnhofs. Sie kann durch ihre geschlitzte Ausbildung zusätzlich Quartärwasser im Bereich zwischen der U4/U5 und dem Hauptbahnhof aufnehmen bzw. abgeben. Der Startschacht S1 kreuzt diese Dränleitung. Im Bau- und Endzustand wird die bestehende Dränleitung im Bereich des Startschachtes S1 ersetzt.

	Maßgebliche Koten (in müNN)		
	Bahnhof Hbf (offene Bauweise)		
	Sperrengeschoss	Zentraler Aufgang	Startschacht S1
Kilometrierung	ca. 105,5+50 bis 105,6+40	ca. 105,5+60 bis 105,6+00	ca. 105,6+19 bis 105,6+36
Abschnittslänge	ca. 90 m	ca. 40 m	ca. 17 m
Bauwerksbreite	ca. 26 m bis 85 m	bis ca. 60 m	ca. 44 m
Baugrubensohle unter GOK	ca. 7,5 m	ca. 45,0/46,5 m	ca. 46,5 m
Eintauchtiefe in HW _{Bau}	1,4 m	38,9 ca. 40 m (Sohle) bzw. ca. 55,0 m (inkl. Verbauwand)	ca. 40 m (Sohle) bzw. ca. 55,0 m (inkl. Verbauwand)
Gradientenhöhe ca.	-	479,0	479,0
Geländehöhe ca.	521,0	521,0	521,0
OK Bauwerk ca.	520,5	520,5	520,5
Baugrubensohle ca.	513,5	476,0	476,0
HW _{Bau} (BW-Längsachse)	514,9	514,9	514,8
HW _{End} (BW-Längsachse)	515,8	515,8	515,7
OK Tertiär	ca. 513,2 bis 511,0	ca. 513,2 bis 511,0	ca. 513,2 bis 511,0
OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 506,5 bis 505,0	ca. 506,5 bis 505,0	ca. 506,5 bis 505,0

Tab. 9.1: Maßgebliche Koten für den Haltepunkt Hauptbahnhof (offene Bauweise)

9.1.2 Baugruben und Grundwasserhaltung

Je nach Baugrubentiefe, Lage der Baugrubensohle über bzw. unter dem Grundwasserspiegel und angrenzenden Bauwerken sind folgende Baugrubenausbildungen (Umschließungsvarianten) einzeln oder in Kombination 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 Verbauwand (Bohlträgerverbau), Baugrubensohle mind. 0,5 m über dem Grundwasser, unmittelbar benachbarte Bauwerke nicht vorhanden.
- Variante 3: Baugrube mit nachgiebiger undurchlässiger Verbauwand (Spundwand), Lage der Baugrubensohle weniger als 0,5 m über oder unter dem Grundwasser, dichte Sohle und/oder Grundwasserentspannung im Tertiär. Unmittelbar benachbarte Bauwerke nicht vorhanden.
- 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.

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. Es ist vorgesehen, dass bei der Baugrube "Zentraler Aufgang" die Horizontalkraftabtragung über die aussteifenden Decken und Wände erfolgt.

Die Herstellung des Bauwerks bzw. der Baugrube "Zentraler Aufgang" Hauptbahnhof ist in Deckelbauweise vorgesehen. Hierbei werden zunächst die Baugrubenwände sowie die jeweilige Geschossdecke hergestellt und anschließend unter der Decke bis UK der nächst tiefer liegenden Geschossdecke ausgehoben. Danach wird diese betoniert und anschließend 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.

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

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

Bauwerksbezeichnung	Vorgesehene Umschließungsvarianten	Grundwasserhaltung
Sperrgeschoss (-7 m Ebene)	Variante 4	Restwasserhaltung
Zentraler Aufgang	Variante 4	Tertiärentspannung mit Brunnen und Restwasserhaltung
Startschacht S1	Variante 4	Tertiärentspannung mit Brunnen und Restwasserhaltung

Tab. 9.2: Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen, Grundwasserhaltung

9.1.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Durch die Herstellung der Baugruben können Setzungen an benachbarten baulichen Anlagen auftreten. Diese werden bei entsprechend steifer Ausbildung der Baugrubenumschließung (u.a. Deckelbauweise) mit zugehörigen Erddruckansätzen in einem Maße begrenzt werden können, 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 freien Wandhöhe zu erwarten sind, unmittelbar hinter der Wand Setzungen von ca. 0,2 % der freien Wandhöhe auslösen. Diese Setzungen klingen bei Wanddrehung um den Wandkopf erfahrungsgemäß etwa in einer Entfernung vom 1-fachen der freien Wandhöhe auf Null ab. Mit auf erhöhten aktiven Erddruck bemessenen verformungsarmen Verbauwänden können diese Verformungen an unmittelbar benachbarten Bauwerken geringer gehalten werden.

Für die Herstellung der Baugrube "Zentraler Aufgang" wurde 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 Bereich von Bau-km 103,0+30 bis Bau-km 103,4+75 liegt zwischen dem oberirdischen Bauabschnitt im Westen und dem Tunnel in geschlossener Bauweise im Osten. Er umfasst Stützwände als Spundwandkonstruktion am Rampenwestende, ein offenes Trogbauwerk und daran östlich anschließend einen Tunnelabschnitt, der in offener Bauweise ausgeführt werden soll.

Die Stützwand der Nordseite (ab Bau-km 103,0+30) hat eine Länge von 160 m, während die der Südseite erst bei Bau-km 103,0+60 beginnt und 130 m lang ist. Die Trasse hat im Bereich der Stützwand eine Breite von 12 m bis 13 m.

Die Baugrube für den zweigleisigen offenen Trog weist eine Länge von ca. 90 m auf. Die Breite beträgt ca. 13 m am Anschluss im Westen und ca. 15 m am Tunnelportal im Osten. Die Gradienten der S-Bahn fällt hier mit ca. 40 ‰ nach Osten.

Im Anschluss nach Osten folgen zwei in einer gemeinsamen Baugrube erstellte Tunnelbauwerke in offener Bauweise, die bei einer Länge von ca. 195 m eine Anfangsbreite von je ca. 7 m und eine Höhe von ca. 7,75 m haben. Die Gesamtbreite der Baugrube nimmt von 15 m auf 28 m an der Anschlagwand zu. Die Gradienten der S-Bahn fällt weiterhin mit ca. 40 ‰ nach Osten.

Vor der Anschlagwand ist ~~der Rettungsschacht~~ ein Pumpen- und Einspeiseschacht zwischen beiden Tunnelbauwerken angeordnet. Im weiteren Verlauf nach Osten werden die Tunnel bergmännisch aufgeföhren.

Gerundete Werte für weitere maßgebliche Kotten für Beginn und Ende der Baumaßnahme im Höhensystem müNN sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die angegebenen Grundwasserkotten gemäß dem Abschnitt 7.4 enthalten einen möglichen Aufstau durch die Baugrubenumschließung nicht.

	Maßgebliche Koten Westportal Trog und Tunnel in offener Bauweise		
	103,0+30 bis 103,1+90	103,1+90 bis 103,2+80	103,2+80 bis 103,4+75
Kilometrierung (Bau- km)			
Bauwerk / Bauweise	Stützwände als Spundwandkonstruk- tion	Trog	Tunnel offene Bauweise
Lage der Sohle zum Grundwasser	über Grundwasser HW _{Bau}	ab ca. Bau-km 103,2+15 unter Grundwasser HW _{Bau}	unter Grundwasser HW _{Bau}
Abschnittslänge	160 m	90 m	195 m
Baugrubenbreite ca.	15 m	15 m	15 m bis 28 m
Geländehöhe ca. (müNN)	523,5 bis 524,0	524,0 bis 523,5	523,5 bis 523,0
OK Bauwerk ca. (müNN)	524,0 bis 525,0	525,0 bis 523,0	524,0 bis 515,0
Gradientenhöhe ca. (müNN)	524,5 bis 520,4	520,4 bis 517,0	517,0 bis 509,0
Gründungssohle ca. (müNN)	523,5 bis 519,5	517,9 bis 514,5	514,5 bis 506,0
Baugrubensohle unter GOK	0,0 m bis 3,5 m	3,5 m bis 9,0 m	9,0 m bis 17,0 m
HW _{Bau} (müNN)	517,20 bis 517,10	517,10 bis 516,90	516,90 bis 516,75
HW _{End} (müNN)	518,50 bis 518,35	518,35 bis 518,10	518,10 bis 517,95
Eintauchtiefe in HW _{Bau}	0,0 m	0,0 m bis 2,4 m	2,4 m bis 10,8 m
OK Tertiär (müNN) = OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	506,5	506,5 bis 507,3	507,3 bis 507,7

Tab. 9.3: Maßgebliche Koten für Trog und Tunnel in offener Bauweise

Die Spundwandkonstruktion der Stützwände reicht planmäßig zwischen etwa 3 m im Westen und etwa 9 m im Osten unter GOK und reicht damit bis zu ca. 2,4 m in den Bemessungsgrundwasserstand zur Bauzeit. Die Gründungsebene liegt vollständig über dem Grundwasser.

Die planmäßige Gründungssohle des Trogbauwerks liegt zwischen ca. 3,5 m im Westen und ca. 9,0 m im Osten unter GOK. Sie bindet in Auffüllbereiche im Westen und sonst weitgehend in quartäre Kiese ein. Sie liegt außerdem am östlichen Ende auf einer Strecke von ca. 65 m bis zu 2,4 m unterhalb des Bemessungswasserstands für den Bauzustand.

Die Gründungssohle der Tunnelbauwerke in offener Bauweise liegt zwischen ca. 9,0 m im Westen und ca. 17,0 m im Osten unter GOK. Sie bindet weitgehend in quartäre Kiese ein, erst auf den letzten ca. 25 m wird im Osten noch das Tertiär berührt. Sie liegt außerdem vollständig im Grundwasser.

Die Gründungen erfolgen in ungestörten quartären Kiesen, ungestörten tertiären Bodenschichten oder nach Bodenaustausch auf Bodenplatten.

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

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 Lage der Baugrubensohle unter dem Grundwasser eine Entspannung des Tertiärs erforderlich werden.

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

Bauwerksbezeichnung	Vorgesehene Umschließungsvarianten	Grundwasserhaltung
Stützwände	Variante 1 und 2	keine
zweigleisiger Trog unter GW	Variante 3 und 4	Tertiärentspannung mit Brunnen, Restwasserhaltung
2 eingleisige Tunnel in offener Bauweise unter GW	Variante 3 und 4	Tertiärentspannung mit Brunnen, Restwasserhaltung

Tab. 9.4: 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 angesehen.

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 freien Wandhöhe zu erwarten sind, unmittelbar hinter der Wand Setzungen von ca. 0,2 % der freien Wandhöhe auslösen. Diese Setzungen klingen bei Wanddrehung um den Wandkopf erfahrungsgemäß etwa in einer Entfernung vom 1-fachen der freien Wandhöhe auf Null ab. Mit auf erhöhten aktiven Erddruck bemessenen verformungsarmen Verbauwänden können diese Verformungen an unmittelbar benachbarten Bauwerken geringer gehalten werden. In Sonderfällen können besondere Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. Unterfangungen oder Injektionen zur Baugrundverfestigung, Verformungen weiter reduzieren.

Bestehende Nachbarbauwerke im Bereich Westportal sind in erster Linie Bahnanlagen, Gleise und kleine Stützmauern. Die Abstände zwischen dem erforderlichen Baugrubenverbau und den anschließend bestehenden Nachbarbauwerken variieren zwischen ca. 1 m und mehr als 5 m.

9.3 Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen

9.3.1 Maschineller Vortrieb

Für die Baumaßnahme sind gerundete Werte der maßgeblichen Hauptabmessungen und Koten im System müNN in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	Maßgebliche Koten (in müNN)		
	Maschineller Tunnelvortrieb z.T. im Quartär	Maschinelle Tunnelvortriebe im Tertiär	
Kilometrierung (Bau-km)	103,4+75 bis ca. 103,6+40	103,6+40 bis 105,5+04	105,7+14 bis 105,9+96
Abschnittslänge	ca. 165 m	1864 m	282 m
Bauwerksbreite ca.	je Röhre ca. 9,2 8,8 m	je Röhre ca. 9,2 8,8 m	je Röhre ca. 9,2 8,8 m
UK Bauwerk unter GOK	15,5 m bis 23,0 m	23,0 m bis 43,5 m	43,2 m bis 45,5 m
Eintauchtiefe in HW _{Bau} (Tunnelsohle)	9,3 m bis 16,5 m	16,5 m bis 38,5 m	38,2 m bis 39,4 m
Gradientenhöhe ca.	509,0 bis 502,5	502,5 bis 479,0	479,0 bis 476,8
Geländehöhe ca.	523,0 bis 523,5	523,5 bis 520,1	520,2 bis 519,7
OK Bauwerk ca.	516,1 bis 509,8	509,8 bis 485,8	485,8 bis 483,8
Gründungssohle ca.	506,3 bis 500,0	500,0 bis 476,5	476,5 bis 474,5
HW _{Bau}	516,8 bis 516,5	516,5 bis 515,2	515,3 bis 513,8
HW _{End}	518,0 bis 517,7	517,7 bis 515,9	514,7 bis 514,3
OK Tertiär	507,7 bis 510,5	510,5 bis 513,7	512,5 bis 512,0
OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	507,7 bis 510,5	510,5 bis 502,0	506,2 bis 503,5

Tab. 9.5: Maßgebliche Koten für die maschinellen Tunnelvortriebe

Aufgrund der großen Länge der Tunnelvortriebe im innerstädtischen Bereich ist ein Schildmaschinenvortrieb vorgesehen. Bei der endgültigen Wahl des Vortriebskonzepts spielen neben rein bodenmechanischen und geotechnischen Fragestellungen auch weitere Aspekte wie beispielsweise zur Baulogistik, Wirtschaftlichkeit, Maschinentchnik oder die 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 Vortriebsstrecke wird hinsichtlich der erwarteten Bodenschichtung an der Ortsbrust in nachfolgende Bereiche untergliedert:

Tunnelbereich von Bau-km bis Bau- km	Bodenschichtung
103,0+90 bis 103,6+70	Auffüllungen + quartäre Kiese, nach Osten hin zunehmend auch tertiäre Tone / Schluffe; Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich
103,6+70 bis 104,6+00	überwiegend tertiäre Sande; tertiäre Tone und Schluffe im Westen vorwiegend im Kalottenbereich, im Osten vorwiegend im Strossenbereich Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich
104,6+00 bis 105,9+96	überwiegend tertiäre Tone und Schluffe mit einzelnen tertiären Sandschichten und Sandlinsen; verbreitet Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit

Tab. 9.6: Tabellarische Darstellung der Streckenabschnitte

Es sind dabei grundsätzlich folgende Vortriebsvarianten denkbar:

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

wobei auch Kombinationen der genannten Betriebsarten 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 werden.

Stützung der Ortsbrust während der Schildfahrt:

Beim Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust erfolgt die Stützung der Ortsbrust (Stirnfläche des Ausbruchbereichs unmittelbar vor der Vortriebsma-

schine) 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 eignen sich Wasser in den Tonen und Schluffen sowie grundwasserverträgliche Schäume (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 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 sogenannten Separieranlagen vom geförderten Boden getrennt. Die Separierungsstufen werden in Abhängigkeit vom geförderten Bo-

den eingesetzt. Zum Einsatz kommen dabei Grobrechen, Siebe, Zyklone und Zentrifugen und / oder –Filterpressen. Die Stützflüssigkeit ist ggf. nach Aufbereitung wieder verwendbar.

Zur weiteren Entwässerung des Bodens 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 werden.

9.3.2 Spritzbetonvortrieb

In folgenden Bereichen ist ein Spritzbetonvortrieb vorgesehen:

- Bf Hp Hauptbahnhof mit Zugangs- und Verbindungsstollen
- Verbindungsstollen zu den Rettungsschächten (s. Abschnitt 9.4.3)

Die nachfolgenden Angaben sind für den vorgenannten Streckenabschnitt gerundete Werte für maßgebliche Koten im Höhensystem müNN zusammengefasst.

	Maßgebliche Koten (in müNN)	
	Bahnhof-Hp Hbf (bergmannische Bauweise)	
	Beginn	Ende
Kilometrierung (Bau-km)	105,5+04	105,7+14
Abschnittslänge	210 m	
Bauwerksbreite ca.	50 m	
UK Bauwerk unter GOK	44 m	44 m
Eintauchtiefe HW _{Bau}	39 m	40 m
Gradientenhöhe	479	479
Geländehöhe	520,1	519,1
OK Bauwerk	ca. 488	ca. 488
UK Bauwerk	ca. 476	ca. 476
HW _{Bau}	515,0	514,8
HW _{End}	515,9	515,6
OK Tertiär	ca. 513,4	ca. 513,4
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	ca. 505,0	ca. 506,5
Vorherrschende Bodenarten	Überwiegend tertiäre Tone und Schluffe mit einzelnen tertiären Sandschichten und Sandlinsen, verbreitet Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit	

Tab. 9.7: Maßgebliche Koten für den Bereich Bf-Hp Hbf

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

- Vortrieb mit Druckluftstützung nahe 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 damit die Druckluftverluste; sie erhöhen die Sicherheit gegenüber Ausbläsern bei geringer Überdeckung und erhöhen die Tragfähigkeit (Gewölbebildung) der überlagernden quartären Kiese. Alternativ kann der Vortrieb innerhalb einer dichten, bis in die feinkörnigen Schichten reichenden Baugrubenumschließung bei abgesenktem Grundwasserspiegel ausgeführt werden.
- 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 aufgebrachte 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 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. Es ist zu berücksichtigen, dass durch die Druckluftstützung erfahrungsgemäß die Setzungen an der Geländeoberfläche reduziert werden und somit in setzungsempfindlichen Bereichen auf eine Druckluftstützung ohne genauere rechnerische Überprüfung nicht verzichtet werden sollte.

Im gegenständlichen Planfeststellungsabschnitt wird aufgrund der vorhandenen Tiefen auch beim Spritzbetonvortrieb unter Druckluft überwiegend 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 Sandlinien im Ton aufgeschlossen 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 Herstellung der Tunnelabschnitte in Spritzbetonbauweise erfolgt in sich zyklisch wiederholenden Arbeitsgängen:

- Ausbruch mit Abschlaglängen von in der Regel 0,5 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, Ortbrustanker, 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 Drainagebohrungen von der Ortsbrust aus gefasst, abgeschlaucht und nach außen geführt werden.

Bahnhof-Haltepunkt Hauptbahnhof

Unterhalb des Hauptbahnhofs ist der Bf-Hp Hauptbahnhof für die 2. SBSS als eine dreischiffige Röhrenkonstruktion vorgesehen. Der Ausbruch für den Bahnhof Haltepunkt bis in ca. 41 m Tiefe unter GOK setzt sich westlich und östlich der Unterquerung der Station der U-Bahnlagen U1 / U2 aus den zwei großen Tunnelquerschnitten mit einer Höhe von 12,5 m und einem kleineren Querschnitt (max. Höhe 9 m), der die Verbindung zu den großen Querschnitten schafft, zusammen. Zunächst sollen die zwei großen Tunnel für die Gleise und Seitenbahnsteige in Teilausbrüchen hergestellt werden. Nach dem Einbau der Innenschalen mit einer seitlich zur Nachbarröhre hin angeordneten Stützenreihe ist dann der Ausbruch im Bereich des Mittelbahnsteigs zwischen den Röhren vorgesehen. Im Bereich der Unterquerung der Station der U-Bahnlagen U1 / U2 sind zwei Einzelröhren vorgesehen.

Zudem sind diverse horizontal und schräg verlaufende Stollen zur Anbindung vorhandener Anlagen sowie der Oberfläche geplant. Der Vortrieb erfolgt jeweils in Spritzbetonbauweise. Mit Ausnahme der Unterfahrung der U-Bahnlagen U1 / U2 - hier würde Druckluft, die über die Permanentwasserhaltung in die Bahn-

steigebene der U1 / U2 entweicht, zu Beanstandungen während des U-Bahn-Betriebs führen - ist eine Druckluftstützung vorgesehen.

Im Bereich der Unterquerung der U-Bahnlinien U1 / U2 mit geringem lichten Abstand sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Es ist vorgesehen:

- ~~Die einzelnen Schlitzwandlamellen der bestehenden U-Bahnstation U1 / U2 werden im Unterfahrbereich der geplanten Trasse durch eine Vorsatzwand in der Ebene Verteilergeschoß zusammengespannt, um relative Setzungen einzelner Lamellen zu vermeiden.~~
- Die Mittelstützenreihe der bestehenden U-Bahnstation U1 / U2 wird im Unterfahrbereich von der Bahnsteigebene aus durch ~~Stahlelemente~~ den Einbau von zwischen den Stützen angeordneten Wandelementen sowie je eines Unter- und Überzuges zu einer Wandscheibe umgebaut und mittels Vorspannung ausgesteift, um die ankommenden Lasten in Bereiche außerhalb des Unterfahrbereiches führen zu können.
- Parallel zu den Tunnelquerschnitten werden vorab unterhalb der Schlitzwände drei Pilotstollen hergestellt, die lokal an die Schlitzwandlamellen und an das Streifenfundament der Mittelstützenreihe anschließen.
- Von den Pilotstollen werden ~~Pfähle~~ Injektionskörper bis in ausreichende Tiefen hergestellt, die über Pressen an die bestehenden Fundamente bzw. Schlitzwandelemente kraftschlüssig anschließen. Die vorhandenen Bauwerkslasten der U-Bahnstation in dem Bereich der Unterfahmung werden erst unterhalb der S-Bahntunnel abgetragen.
- Über Pressen in den Pilotstollen werden die Lasten der Fundamente der Mittelstützenreihe setzungsarm in die Pfähle eingeleitet.
- Als zusätzliche Sicherung wird für die Herstellung der Tunnel ein Rohrschirm vorgesehen, der ggf. in Teilbereichen durch eine Vereisung ersetzt werden kann.

9.3.3 Grundwasserhaltung

Im Bereich der Spritzbetonvortriebe ist auf Grund der Tieflage der Tunnel neben der Druckluftstützung zusätzlich eine Tertiärwasserentspannung vorgesehen.

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

9.3.4 Beeinflussung bestehender Bauwerke

Bei Schildvortrieben in großer Tiefe sind im Münchner Tertiär bei planmäßigem Vortrieb mit zuverlässiger Ortsbruststützung in der Regel nur geringe Setzungen und Setzungsdifferenzen oberhalb der Vortriebsstrecke zu erwarten. Mit zunehmender seitlicher Entfernung von der Vortriebsstrecke ist mit abnehmenden 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 sind insbesondere bei großen Querschnitten im Vergleich zum maschinellen Schildvortrieb größere Setzungen und Setzungsdifferenzen zu erwarten. Zur Reduzierung von Setzungen und Setzungsdifferenzen können Zusatzmaßnahmen vorgesehen werden. Diese sind:

- Anpassung der Abschlagslängen und Teilausbruchquerschnitte
- Einbau zusätzlicher Sicherungsmittel im Vortrieb wie zuvor beschrieben
- Herstellung von Hebungsinjektionen zum Ausgleich von Setzungen
- Schirmgewölbesicherungen (Vereisungs-, Injektions-, Düsenstrahl- oder Rohrschirm) zur Reduzierung der entstehenden Setzungen

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. Hebungsinjektionen sind bei der Unterfahrung

des Posttunnels von Vertikalschächten aus und für die Bebauung östlich der U-Bahnstation U1/U2 von einem Horizontalstollen aus vorgesehen.

9.4 Schächte und Stollen

9.4.1 Rettungsschächte

Im PFA 1 sind 4-3 Rettungsschächte angeordnet. wobei RS 1 (Bau-km 103,4+51 bis Bau-km 103,4+75) zusammen mit dem Tunnel in offener Bauweise (Abschnitt 9.1.) in einer gemeinsamen Baugrube errichtet wird. Die Notausstiege bestehen aus vertikalen Schächten, die über Stollensysteme an die Tunnelröhren angebunden werden.

	Maßgebliche Koten (in müNN)				
	RS 2		RS 3		RS 4
Kilometrierung (Bau-km)	103,8+72		104,4+45		105,0+40 104,9+47
Geländehöhe	522,9 521,9 – 522,2		521,4 522,9		520,0 – 520,6
HW _{Bau}	516,4		515,8		515,4 (RS) 515,5 (Anbindung TR/Stollen)
HW _{End}	517,5		517,0		516,7 (RS) 516,8 (Anbindung TR/Stollen)
OK Tertiär	ca. 512		ca. 511,5		511,0510,0 – 512,5
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	ca. 510,0 – 511,79		ca. 511,5		ca. 507,5 504,8 – 510,05
Tertiäraquifere gemäß nächsten Aufschlüssen unter GOK ca.	West (9,8-12,1 Q/T- Aquifer 19,3-20,5	Ost 22,2- 36,5	BK West 13,0-14,0 16,0-32,0 35,8-38,0	BK Ost 12,2-14,0 18,1-19,1 23,3-29,5 36,0-38,0	(7,5-13,0 Q/T-Aquifer) 14,5-14,7 15,7-17,7 22,0-24,5 45,0-51,0
Summe Aquifere/ Endtiefe	1 m- 38 m	14 m 38 m	19 m 38 m	12 m 42 m	16 m 51 m
Rettungsschacht					
Außendurchmesser	ca. 10 m		ca. 10 m		ca. 10 m
Tiefe BGS ca.	37 14 m		20 21,5 m		23 21 m
Tiefe mit Verbau ca.	37 m 16 m		24 m 23 m		24 m 23 m
UK-Bauwerk ca.	485,9 508,0		501,40		496,0 499,3

	Maßgebliche Koten (in müNN)		
	RS 2	RS 3	RS 4
Eintauchtiefe HW _{Bau}	ca. 30,5 8,5 m	ca. 10,1 14,5 m	ca. 19,4 16,0 m
Stollen ab Schacht			
Außenabmessungen	5,04,5 m x 4,0 m	4,5 m x 4,0 m	4,5 m x 4 m
Länge	ca. 23-65 m	ca. 54-90 m	ca. 126 m mit Neigung 10 %, ca. 10 m Stei- gung < 30°, ca. 24 m mit Nei- gung 10 % 120
Oberkante	ca. 490,5512,5	ca. 507	ca. 502503,5
Unterkante	ca. 485,5508,0	ca. 501502	ca. 489,5499,0
Stollen			
-Außenabmessungen	4,5 m x 4 m	4,5 m x 4 m	4,5 m x 4 m
-Länge	ea. 42 m (10 m horizontal, 12 m Längsneigung < 10°, 20 m < 30°)	Ca. 43 m (10 m horizontal, 12 m Längsneigung < 10°, 21 m < 30°)	ea. 42 m
-Oberkante	ea. 500,5	ca. 506	ea. 499
-Unterkante	ea. 485,5	ca. 489	ea. 482 ca.
Anbindung Stollen/Tunnel			
Außenabmessungen	4,5 m x 4 m	4,5 m x 4 m	4,5 m x 4 m
Länge	ca. 2 x 5 m	ca. 2 x 5 m	ca. 2 x 5 m
Oberkante	ca. 500,50	ca. 493,5494,0	ca. 487488,0
Unterkante	ca. 496	ca. 489	ca. 482483

Tab. 9.8: Maßgebliche Koten für die Rettungsschächte

Weiterhin werden zwei Startschächte und ein Schacht für einen Feuerwehraufzug im Bereich des Haltepunktes hergestellt. Zur Beschreibung der beiden Startschächte S1 und S2 beim Hp Hauptbahnhof (siehe Abschnitt 9.1).

9.4.2 Schächte für Hebungsinjektionen

Die Tunnelröhren unterqueren zwischen etwa Bau-km 103,6+40 und Bau-km 103,7+20 in spitzem Winkel einen den sog. Posttunnel, wobei der lichte Abstand zwischen Vortriebsfirse und Sohle des Posttunnels nur etwa 7 m beträgt. Es sind etwa im Streckenabschnitt Bau-km 103,6+30 bis Bau-km 103,8+00 Hebungsinjektionen vorgesehen, die aus hierfür erstellten Injektionsschächten (ca. Bau-km 103,7+00 und ca. Bau-km 103,7+45) sowie eventuell vom Vertikalschacht (Bau-km 103,8+30) des Rettungsschachts RS 2 aus hergestellt werden sollen. Die Baugrubenumschließungen der Injektionsschächte reichen zur Herstellung eines „dichten Troges“ bis in die erste feinkörnige Tertiärschicht.

	Maßgebliche Koten (in müNN)	
	Schacht West	Schacht Ost
Kilometrierung (Bau-km)	ca. 103,7+00	ca. 103,7+45
Geländehöhe	523,1	523,2
HW Bauzustand	516,5	516,5
HW Endzustand	517,7	517,6
OK Tertiär	ca. 510	ca. 511
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	ca. 510 (kein unmittelbarer Aufschluss)	ca. 510 (kein unmittelbarer Aufschluss)
Injektionsschächte		
Außendurchmesser ca.	6,5 m	6,5 m
Tiefe BGS ca.	13,5 m	14,5 m
Tiefe Verbau ca.	16,0 m	17,5 m
UK-Bauwerk ca.	507,0	505,7
Eintauchtiefe HW _{Bau}	9,5 m	11,0 m

Tab. 9.9: Maßgebliche Koten für die Injektionsschächte der Posttunnelunterführung

9.4.3 Temporäre Baugrube für Abdeckinjektionen bei RS 2

Die Firste des Stollens von den Tunnelröhren zum Rettungsschacht 2 liegt vom RS 2 ausgehend zunächst in den quartären Kiesen. In diesem Bereich sind Abdeckinjektionen geplant, die teilweise von GOK aus und teilweise aus einer temporären Baugrube heraus hergestellt werden. Die Baugrubenumschließung ist als ausgesteifter Bohlträgerverbau in den quartären Kiesen geplant und liegt oberhalb des Grundwassers.

	Maßgebliche Koten
	Baugrube für Abdeckinjektionen bei RS 2
Kilometrierung (Bau-km)	ca. 103,8+80
Geländehöhe	ca. 522 müNN
HW Bauzustand	516,4 müNN
HW Endzustand	517,5 müNN
OK Tertiär	ca. 512 müNN
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	ca. 510,0 – 511,9 müNN
Injektionsbaugrube	
Außenabmessungen	ca. 5,0 m x 24,0 m
Tiefe BGS	ca. 4,5 m
Tiefe Verbau	ca. 5,5 m
UK-Bauwerk	ca. 516,5 müNN
Eintauchtiefe HW _{Bau}	-

Tab. 9.10: Maßgebliche Koten für die temporäre Baugrube bei RS 2

9.4.4 Horizontalstollen für Hebungsinjektionen (Schützenstraße)

Zur Ausführung von Hebungsinjektionen für die anstehende Bebauung östlich der U-Bahnstation U1/U2 wird vom Sammelstollen des Aufgangs Schützenstraße aus ein zusätzlicher Horizontalstollen aufgeföhren. Aus diesem Stollen heraus

werden vor Beginn der bergmännischen Vortriebe der Bahnsteigtunnel die Bohrungen für die Hebungsinjektionen ausgeführt. Vortriebsbegleitend, in Abhängigkeit von den Messergebnissen, erfolgen hierüber die Hebungsinjektionen unterhalb der Bebauung. Der Stollen verläuft im Tertiär und wird im Endzustand wieder verfüllt.

9.4.39.4.5 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.

Rettungsschächte unterhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht:

Es ist davon auszugehen, dass die tertiären Sande wasserführend sind und - wenn auch teils mit vergleichsweise hohem Aufwand - entspannt und entwässert werden können.

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

- Vollflächige Weiterführung 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 Weiterführung 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) 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 9.2.2. 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 entwäs-

sert 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.

9.4.49.4.6 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 Baugrubenumschließung Brunnen zur Entspannung (Entspannungsziel entsprechend dem zulässigen Restwasserdruck) der tertiären Sande vorgesehen.
- Bei Schächten mit Spritzbetonauskleidung bzw. aufgelösten Bohrpfahlwänden sind Brunnen zur Entwässerung (Absenksziel 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~~ sind entscheidend von deren Durchlässigkeit sowie vom Schichtaufbau im Tertiär (Schichtdicke und -häufigkeit der tertiären Sande) abhängig und ~~ist~~ sind fallweise zu betrachten. Je nach Schichtung und Durchlässigkeit der tertiären Sande werden zusätzlich Brunnen mit Vakuumenterstützung bzw. Vakuumpflanzen erforderlich.

9.4.59.4.7 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 Sonderbauwerke

entfällt

9.6 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen

Im Bereich der Tunnelstrecken mit Trögen fallen im Planfeststellungsabschnitt 1 insgesamt rund 619.487 m³ Bodenaushub und Tunnelausbruch (Festvolumen) und etwa 15.400 m³ Gleisschotter (aufgelockertes Volumen) an. Mit ca. 321.000 m³ Festvolumen wird ein großer Teil der Aushubmengen durch die Tunnelvortriebe zur Herstellung der unterirdischen Fahröhre anfallen. Auf die Herstellung der S-Bahn-Station Haltepunkt Hauptbahnhof entfällt mit ca. 242.800 m³ Festvolumen ein weiterer wesentlicher Teil der Aushubmassen. Die restlichen Massen verteilen sich auf die Hebungsinjektionen und Rettungsschächte.

Zusätzlich wird auch das Ausbruchmaterial aus den Tunnelvortrieben in den Planfeststellungsabschnitten 2 (ca. 228.700 m³ Festvolumen) und 3 (ca. 62.000 m³ Festvolumen) durch den bis dahin bereits aufgefahrenen Tunnelabschnitt im PFA 1 zur Angriffsbaugrube West transportiert.

Hinsichtlich einer Wiederverwertbarkeit des Materials 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 I (Auffüllung), Schicht III (Quartäre Kiese) sowie teilweise bei Schicht V (tertiäre Sande) der Fall. Die tertiären Schluffe und Tone (Schicht IV) sind für einen qualifizierten Wiedereinbau ohne Zusatzmaßnahmen nicht geeignet. Es ist zu berücksichtigen, dass das tertiäre Material aus den maschinellen

Vortrieben konditioniert wurde und dadurch nicht mehr im natürlichen Zustand vorliegt. Die mechanischen Eigenschaften des Bodens werden stark verändert. Wenn es erdbautechnisch weiter verwendet werden soll, 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. Die geogenen Hintergrundbelastungen mit Schwermetallen übersteigen den Z 1.2 Wert nicht. In Abhängigkeit von dem zum Einsatz kommenden Vortriebsverfahren kann das Tunnelausbruchmaterial jedoch teilweise mit Sekundärverunreinigungen, wie Polymeren und Tensiden (Schäume) oder Flockungsmittel behaftet sein, was die Einstufung in eine höhere Einbauklasse gemäß LAGA notwendig macht. Das Aushubmaterial aus der Auffüllung im Bereich von vorhandenen Gleisanlagen liegt mit Ausnahme der Analysenwerte bezüglich des Pflanzenschutzparameters AMPA ebenfalls unterhalb der Zuordnungswerte Z 1.2 nach LAGA. AMPA wurde jedoch bis in Tiefenbereiche von über 2 Metern u. GOK ohne Ausnahme in einer Konzentration entsprechend der Einbauklasse Z 2 analysiert, so dass ein Wiedereinbau von ca. 4.500 m³ (Festvolumen) an Aushubmaterial aus dem Trogbereich und der offenen Bauweise West nur unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen möglich sein wird, bzw. das Material einer Entsorgung zugeführt werden muss.

Der ausgebaute Gleisschotter wird, zusammen mit den anderen anfallenden Oberbaumaterialien, wieder dem Materialkreislauf der Deutschen Bahn AG zugeführt.

10 Grundwasserinanspruchnahme

10.1 Grundsätzliches - Grundwassernutzungen

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

Angaben zur Ableitung von Niederschlagswasser in den Trogabschnitten und von Sickerwasser der Tunnelstrecken im Endzustand sind in Anlage 12.1 enthalten.

10.2 Oberirdische Strecke

10.2.1 Erweiterung EÜ Wotanstraße – Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3

Östlich der Laimer Unterführung (Straßentunnel Wotanstraße) ist der Bau eines dritten Tunnels, der sogenannten Umweltverbundröhre geplant (detaillierte Baubeschreibung vgl. Anlage 1). Der Bauablauf ist wie folgt vorgesehen:

1. Bauabschnitt Süd (Südportal bis Bf Laim):

Nach Einschlagen der Spundwände und Bau der Hilfsbrücken für die Fernbahn werden (jeweils getrennt im Osten und Westen) die Widerlager für das Tunnelbauwerk erstellt. ~~Im Anschluss werden in 10-m-Abschnitten die Bodenplatte bzw. die Grundwasserwanne zwischen den Widerlagern betoniert.~~ Im Anschluss wird der Deckel hergestellt. Nach Herstellung des Deckels werden in 3 bis 4 Abschnitten die Bodenplatte bzw. die Grundwasserwanne zwischen den Widerlagern betoniert.

~~Bauzeit: ca. 6 Monate~~

~~Wasserhaltung: 6 Monate, davon 3 Monate parallel zu Bauabschnitt 3.~~

Wasserhaltung: 6 Wochen

2. Bauabschnitt Nord (Bf Laim bis Nordportal einschließlich Betriebsgebäude):

Der Abschnitt wird in offener Bauweise von Norden nach Süden fortschreitend in acht Abschnitten bzw. 11 Blöcken à ca. 3-4 Wochen Bauzeit hergestellt.

Wasserhaltung: 10 Monate

~~in 20 – 25 m Abschnitten hergestellt.~~

~~Bauzeit: ca. 7 Monate~~

~~Wasserhaltung: 7,5 Monate, davon 5,5 Monate parallel zu Bauabschnitt 3.~~

3. Bauabschnitt Mitte (Bf Laim):

~~Dieser Bauabschnitt, der parallel mit den Bauabschnitten 1 und 2 erstellt wird, umfasst neben der Tunnelröhre u. a. auch Zuwegungen zu den Bahnsteigen, eine Pumpstation und ein Auffangbeckeneinen Fluchtweg zur Wotanstraße und eine Pumpstation. Die Herstellung erfolgt in einer offenen Baugrube. Die Zugangsbauwerke sind eine eigene Maßnahme, die zeitlich getrennt von der UVR erfolgt.~~

~~Bauzeit: ca. 10 Monate~~

~~Wasserhaltung: 10 Monate, parallel laufen die Wasserhaltungsmaßnahmen zu den Bauabschnitten 1 und 2. Wasserhaltung: 6 Monate~~

Die Baugrubensicherung (Stahlspundwand) taucht zeitweise (bzw. bei verlorener Spundwand ständig – vgl. Abschnitt 10.2.1.7) in das Grundwasser ein. Der Baukörper selbst bindet nur bei höheren Grundwasserständen ständig in das Grundwasser ein. Während der Baumaßnahme ist eine Grundwasserabsenkung erforderlich.

10.2.1.1 Koten Gelände, Baugrube, Grundwasserstände

Die wesentlichen Höhenkoten des für die Grundwasserabsenkung relevanten Bereichs des Bauvorhabens (ca. 0 + 350 – 0 + 550) sind in der folgenden Tabelle 10.1 dargestellt.

	Südseite 0 + 360	Mitte 0 + 450 (± Tiefpunkt)	Nordseite 0 + 550
GOK	ca. 527,35	ca. 526,00	ca. 525,00
Gradiente Straße	520,40	418,25	419,80
UK Baugrube	ca. 518,40	ca. 516,30 (514,90 514,30 *)	ca. 518,60
Absenkziel (0,5 m unter UK Baugrube)	ca. 517,90	ca. 515,80 516,00	ca. 518,10 516,55
HW Endzustand	519,65	519,30	519,05
HW Bauzustand	518,35	518,05	517,80
GW 24.08.2004**	ca. 517,00		ca. 516,50
Grundwassersohle (UK Quartär)***	ca. 509,70		ca. 509,80
* Pumpstation bei 0 + 422			
** Stichtagsmessung an GW-Messstellen KP 1110, KP 1106 und KP 1111			
*** gem. Erkundungsbohrungen			

Tab. 10.1: Koten Gesamtmaßnahme (GW-Absenkung)

Die im Bereich Bahnhof Laim geplante Pumpstation und das Auffangbecken (ca. km 0+414 bis 0+428) (~~km 0 + 422~~) greifen tiefer in den Untergrund ein (UK bei ~~515,00~~ 514,42 müNN). Dieses Bauteile sollen in einem Spundwandkasten mit dichter Sohle (Injektionen mit Weichgel oder Zement) (~~Unterwasserbeton~~) ausgeführt werden. Insofern ist hier nur eine Restwasserhaltung erforderlich.

Bemessungswasserstand und Bauwasserstand sind für die Maßnahme wie folgt definiert:

$$\text{Bemessungswasserstand: } HW_{\text{End}} = HW_{1940} + 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Bauwasserstand: } HW_{\text{Bau}} = HW_{\text{End}} - 1,25 \text{ m}$$

Für die hydrotechnischen Berechnungen und die Ermittlung der geförderten Wassermengen wird der HW_{Bau} zugrundegelegt, der ca. 1,2 bis 1,4 m über dem aktuellen Grundwasserstand liegt (gem. Stichtagsmessung an Pegeln südlich und nördlich des BV im August 2004).

10.2.1.2 Grundwasserfließrichtung

Gem. Geol.-Hydrol. Kt. 1 : 50.000 (1953) ist die Grundwasserströmung ca. 20° nach Nordost gerichtet.

10.2.1.3 Baugrund, Durchlässigkeit

Die Baumaßnahme erfolgt durchweg in mitteldicht bis dicht gelagerten, sandigen Kiesen des Quartärs der Münchner Schotterebene. Gem. DIN 18196 sind die Quartärschotter überwiegend den Bodengruppen GW und GI zuzuordnen. Untergeordnet treten Kiese der Bodengruppen GU und GE auf. Die Quartärschotter bilden den obersten Grundwasserleiter. Grundwasserhemmer im Liegenden der Quartärschotter sind tertiäre Feinsedimente der Oberen Süßwassermolasse. Den durchgeführten Aufschlussbohrungen zufolge sind die Tertiärsedimente im Bau-feld tonig ausgebildet. Auf der Grundlage von Laborversuchen (Durchlässigkeitsbestimmung nach DIN 18130, berechnete Durchlässigkeiten auf der Grundlage von Siebanalysen nach DIN 18123) beläuft sich die Durchlässigkeit der Quartär-schotter auf $k_f = 10^{-3} - 10^{-4}$ m/s.

Für die hydrotechnischen Berechnungen (GW-Förderung) wird eine Durchlässig-keit $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s zugrundegelegt (gem. Baugrundgutachten).

Für die tertiären Tone kann eine Durchlässigkeit $< 10^{-8}$ m/s angenommen wer-den.

10.2.1.4 Vorgesehene Bauwasserhaltung

Die Baugruben für die Umweltverbundröhre werden durch rückverankerte Spundwände an der Ost und an der Westseite gesichert, wobei die Einbindetiefe nach statischen Erfordernissen erfolgt (voraussichtlich 2 m).

Zur Grundwasserabsenkung sind aufgrund der starken Durchlässigkeit und der entsprechend hohen Förderung Filterbrunnen (DN 600) vorgesehen. Die Filter-brunnen, deren Anzahl im einzelnen im Zuge der Planung der Wasserhaltung festgelegt wird, werden als vollkommene Brunnen erstellt (UK Brunnen bei OK Tertiär, d.h. ca. 6,5 – 9,0 m unter UK Baugrube).

In der Praxis wird der Bau (je Bauabschnitt) wie folgt ablaufen:

Einrammen Spundwände (ggf. Bau von Hilfsbrücken etc.)

Aushub Baugrube in den vorgesehenen Schritten bis OK Grundwasser

Bau der Filterbrunnen

Absenken des GW-Spiegels bis zur erforderlichen Höhe

Fertigstellen der Baugrube und Betonarbeiten

10.2.1.5 Hydrotechnischen Berechnungen

Die Berechnungen im Einzelnen sind im Anhang 1 zur Anlage 18.1 A beigelegt. Eine Präzisierung der Fördermengen aufgrund von Planungsänderungen und einer Anpassung der Bauzeiten für die einzelnen Bauabschnitte ist als Anhang 1-1 beigelegt (Untersuchung 25. Juli 2007).

~~Die Berechnungen erfolgten gem. der Methodik nach Herdt und Arndts (1994) in folgenden Schritten:~~

a) Berechnung Wasserandrang

~~Die Berechnungen des Wasserandranges erfolgten Erste Ermittlung der Entnahme nach Dupuis-Thiem unter Zugrundelegen eines Ersatzradius für die Baugrube~~

~~Abschätzung der erforderlichen Anzahl Einzelbrunnen (vollkommene Brunnen, DN 600)~~

~~Überschlägige Berechnung für die Absenkung am „ungünstigsten“ Punkt, Korrektur der unter Punkt 1 ermittelten Förderung~~

~~10 % Abschlag für Einfluss der Spundwände (Berechnung nach Davidenkoff und Franke)~~

b) Reichweite der Absenkung

~~Die Reichweite der Absenkung wurde nach Sichardt berechnet. Darüber hinaus wurde im Hinblick auf die Reichweiten der Absenkung und des Aufstaus in den Schluckbrunnen eine Grundwassermodellierung vorgenommen (vgl. Anhang 1-1). mittels einer raumzeitlichen Untersuchung der Einflussbereich der Absenkung berechnet.~~

c) Berechnung Aufstau (Endzustand)

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Brandl (1979). In die Berechnung gehen der hydraulische Gradient, die Durchlässigkeit, die Einbindetiefe des Bauwerks, der Anströmwinkel und die Grundwassermächtigkeit ein.

10.2.1.6 Ergebnisse Bauzustand

10.2.1.6.1 Grundwasserförderung

Abschnitt 1 Süd (ca. 0 + 345 – 0 + 387, Fernbahngleise)

Die Baugrubensohle taucht etwa ab km 0 + 362-365 in den HW_{Bau} ein. Am nördlichen Ende des Bauabschnitts ist eine maximale Grundwasserabsenkung $s = 1,30-1,10$ m erforderlich.

Spezifische Entnahmemenge

Gem. Anhang 1-1 zu Anlage 18.1 A ergibt sich bei Zugrundelegen einer durchschnittlichen Durchlässigkeit von $k = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s sowie vollkommener Brunnen die in der folgenden Tabelle dargestellten Fördermengen:

	Ø Absenkung (m)	Förderung (l/s)	Förderung m³/Tag	Förderung m³/40-42 Tage
0 + 345 bis 0 + 357	Keine Wasserhaltung erforderlich			
0 + 357 bis 0 + 367	0,275	35	3024	120060
0 + 367 bis 0 + 377	0,725	60	5184	207360
0 + 377 bis 0 + 387	1,1	77	6653	266112
Summe Förderung				486432
0 + 345 bis 0 + 387	0,55	50	4320	181440

Tab. 10.2: UVB Laim Bauabschnitt 1, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand

Die gem. Tab 10.2 errechnete Gesamtförderung entspricht einer Bauzeit von 6 Monaten/Weeken, wobei nur in den Abschnitten 0 + 357-365 – 0 + 387 eine Wasserhaltung erforderlich ist (Laufzeit: ca. 40-42 Tage). Die Berechnung zu Abschnitt 1 Süd ist im Anhang 1-1 zu Anlage 18.1 A als Anlage 4 beigefügt.

~~Parallel werden die Abschnitte 2 und 3 hergestellt, bei denen ebenfalls Grundwasserabsenkungen erforderlich sind. Für den unmittelbar nördlich gelegenen Bauabschnitt 3 ist eine Bauzeit von 10 Monaten vorgesehen. Nachdem die gesamte Bauzeit 12 Monate beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass die oben berechnete Förderung maximal ca. 2 Monate (60 Tage) in Anspruch genommen wird. Für die restliche Bauzeit ist die erforderliche Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltungsmaßnahmen in Bauabschnitt 3 gewährleistet. Für~~

Bauabschnitt 1 kann somit eine Grundwasser-Gesamtförderung von 243.216 m³ (= 486.432 m³:120*60 Tage) angesetzt werden.

Die Berechnungen zu Abschnitt 1 sind im Anhang zu Anlage 18.1 als Blatt 1.1 bis Blatt 1.3 beigefügt.

Abschnitt 2 Nord (ca. 0 + 427-428 – 0 + 545, Trassengleise, ICE-Wendeanlage)

Die Baugrubensohle liegt fast im gesamten Bauabschnitt innerhalb des HW_{Bau}. Es ist eine maximale Grundwasserabsenkung s = 2,10 m erforderlich.

Gem. Anhang 1-1 zu Anlage 18.1 A ergeben sich bei Zugrundelegen einer durchschnittlichen Durchlässigkeit von $k = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s sowie vollkommener Brunnen die in der folgenden Tabelle dargestellten Fördermengen:

	∅ Absenkung (m)	Förderung (l/s)	Förderung m ³ /Tag	Förderung m ³ /42 Tage
0 + 545 bis 0 + 520	1,65	99	8554	359251
0 + 520 bis 0 + 495	1,9	108	9331	391902
0 + 495 bis 0 + 470	1,95	111	9590	402780
0 + 470 bis 0 + 445	2,05	117	10109	424578
0 + 470 bis 0 + 427	2,1	117	10109	424578
Summe Förderung				2003089

	∅ Absenkung (m)	Förderung (l/s)	Förderung m ³ /Tag	Tage	Förderung m ³
0 + 539 bis 0 + 560	0,625	71	6134	42	257645
0 + 498 bis 0 + 539	1,5	114	9850	56	551578
0 + 475 bis 0 + 498	1,85	119	10282	42	431827
0 + 428 bis 0 + 475-1	1,95	108	9331	28	261274
0 + 428 bis 0 + 475-2	2,00	109	9418	28	263693
0 + 428 bis 0 + 475-3	2,05	112	9677	28	270950
0 + 428 bis 0 + 475-4	2,05	112	9677	28	270950
0 + 428 bis 0 + 475-5	2,1	114	9850	28	275789
Summe Förderung					2583706

Tab. 10.3: UVB Laim Bauabschnitt 2, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand

Die Berechnungen zu Abschnitt 2 Nord sind im Anhang 1-1 zu Anlage 18.1 A als Anlage 4 beigefügt.

Die gem. Tab 10.3 errechnete Gesamtförderung würde einer Bauzeit von 7,5 Monaten (6 Wochen bzw. 42 Tage Bauzeit je Abschnitt) entsprechen. Parallel werden die Abschnitte 1 und 3 hergestellt, bei denen ebenfalls Grundwasserabsenkungen erforderlich sind. Für den unmittelbar südlich gelegenen Bauabschnitt

ist eine Bauzeit von 10 Monaten vorgesehen. Nachdem die gesamte Bauzeit 12 Monate beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass die oben berechnete Förderung maximal ca. 5 Monate in Anspruch genommen wird. Für die restliche Bauzeit ist die erforderliche Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltungsmaßnahmen in Bauabschnitt 3 gewährleistet. Für Bauabschnitt 2 kann somit einer Gesamt Förderung von (gerundet) $1.335.393 \text{ m}^3$ ($= 2.003.089 : 7,5 \cdot 5$ Monate) angesetzt werden.

Die Berechnungen zu Abschnitt 2 sind im Anhang zu Anlage 18.1 als Blatt 2.1 bis Blatt 2.5 beigefügt.

Abschnitt 3 Mitte (ca. 0 + 387 – 0 + 427, S-Bahnhof Laim)

Der Bauabschnitt umfasst auch den Anteil der Baugrube mit Bauwasserhaltung bei dem Zugangsbauwerk Ost. Die Baugrubensohle liegt im gesamten Bauabschnitt innerhalb des HW_{Bau} . Es ist eine maximale Grundwasserabsenkung $s = 2,1$ m erforderlich.

Spezifische Entnahmemenge:

Gem. Anlage 4.3 Anhang 1-1 lassen sich bei Zugrundelegen einer durchschnittlichen Durchlässigkeit von $k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ sowie vollkommener Brunnen die in der folgenden Tabelle dargestellten Fördermengen berechnen:

	Ø Absenkung (m)	Förderung (l/s)	Förderung m^3/Tag	Förderung $\text{m}^3/75$ Tage
0 + 387 bis 0 + 397	1,1	111	9590	719250
0 + 397 bis 0 + 407	1,7	139	12009	900675
0 + 407 bis 0 + 417	1,95	148	12787	959025
0 + 417 bis 0 + 427	2,1	153	13219	991425
Summe Förderung				3570375

	Ø Absenkung (m)	Förderung (l/s)	Förderung m^3/Tag	Tage	Förderung $\text{m}^3/75$ Tage
Pumpstation, Auffangbecken 0 + 415 bis 0 + 428	Restwasserhaltung	2,15	186	42	7802
0 + 387 bis 0 + 415-1	1,4	95	8208	42	344736
0 + 387 bis 0 + 415-2	1,0	87	7517	42	315706
0 + 387 bis 0 + 415-3	1,0	78	6739	42	283046
Entwässerung Fahr- treppen	2,4	92	7949	28	222566
Summe Förderung					1173856

Tab. 10.4: UVB Laim Bauabschnitt 3, Entnahme Grundwasser bei Bauwasserstand

Die Gesamtentnahme von Grundwasser im vorgesehenen Bauzeitraum von 40-6 Monaten beläuft sich gem. Tab. 10.4 auf 1.173.856 ~~m³~~ 3.570.375 m³.

Die Berechnungen zu Abschnitt 3 sind im Anhang 1-1 zu Anlage 18.1 A als Blatt 3.1 bis Blatt 3.4 Anlage 4 beigefügt.

Grundwasserförderung Gesamtmaßnahme:

In der folgenden Tabelle sind die geförderten Grundwassermengen der Gesamtmaßnahme zusammengestellt (Bauzeit 42-18,5 Monate).

Bauabschnitt	Grundwasserförderung
	alle Bauabschnitte, 42-18,5 Monate Bauzeit (m³)
Bauabschnitt 1	181.440 243.216
Bauabschnitt 2	2.583.706 1.335.393
Bauabschnitt 3	1.173.856 3.570.375
Gesamtentnahme (m³)	3.939.002 5.148.984

Tab. 10.5: UVB Laim Gesamtentnahme Grundwasser, alle Bauabschnitte (42-18,5 Monate)

10.2.1.6.2 Auswirkung auf die Nachbarbebauung

Die Reichweiten der Absenkung sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Bauabschnitt	Reichweite der Absenkung	
	max. Reichweite R nach Sichardt (m)	Einflussbereich der Absenkung (m) über die gesamte Laufzeit mit voller Pumpleistung ¹⁾
Bauabschnitt 1	212	160
Bauabschnitt 2	435	400
Bauabschnitt 3	445	575

¹⁾ max. noch 1 m Absenkung am Rand des Absenktrichters

Tab. 10.6: UVB Laim Reichweiten der Absenkung

Aufgrund des Untergrundaufbaus (mitteldicht bis dicht gelagerte Quartärschotter, nicht setzungsempfindlich) und der Tiefenlage des Grundwassers im Einflussbereich der Wasserhaltung (> 3 m unter GOK) sind durch die Grundwasserhaltung keine schädlichen Auswirkungen auf die Nachbarbebauung zu erwarten. Gem. Auskunft des WWA München existieren im Einflussbereich der Absenkung (ca. 500 m Radius um das Bauvorhaben) keine Brunnen, die in ihrer Leistung durch die GW-Absenkung beeinträchtigt werden könnten (Stand: Herbst 2004).

10.2.1.6.3 Ableitung und Versickerung des geförderten Grundwassers

Die Versickerung des Bauwassers ist auf Flur-Nr. 284/141 etwa 500 m westlich der Umweltverbundröhre vorgesehen (vgl. Anhang 1-1). Mit den vorgesehenen

Schluckbrunnen DN 600 können ca. 125 l/s versickert werden. Auf der Basis einer durchgeführten Grundwassermodellierung ergibt sich im Bereich der Brunnen eine maximale Grundwasseraufhöhung auf ca. 520 mNN. Im Bereich der Brunnen vorhandene schadstoffbelastete Auffüllungen werden durch die Grundwasseraufhöhung nicht tangiert, d.h. es sind keine Beeinträchtigungen der Grundwasserbeschaffenheit durch die Versickerung zu erwarten. Für die nördlich der Versickerungsfläche auf dem ESV-Gelände gelegene Bebauung ergeben sich durch die Grundwasseraufhöhung der Modellierung zufolge keine schädlichen Auswirkungen.

~~Im Umgriff der Baumaßnahme existieren keine für eine Versickerung des geförderten Grundwassers geeigneten Flächen. Insofern ist es erforderlich, das geförderte Grundwasser (vgl. Tabelle 10.5) in den öffentlichen Kanal in der Wotanstraße einzuleiten.~~

10.2.1.7 Ergebnisse Endzustand

Im Endzustand sind Grundwasserbeeinflussungen durch die verlorenen Spundwände sowie den Grundwasseraufstau an den Spundwänden bzw. dem Bauwerk zu erwarten.

Verlorene Spundwände

Aus bautechnischen Gründen (Auflockerungen im Untergrund durch Ziehen der Spundwände, laufender Bahnbetrieb) können die Spundwände nach Fertigstellung der Umweltverbundröhre nicht mehr gezogen werden und verbleiben im Untergrund. Aufgrund der zu erwartenden Einbindetiefe der Spundwände von ca. 2 m unter Baugrubensohle (ca. 514,50 müNN – 516,50 müNN) reichen diese in das Grundwasser hinein. Außer einer geringfügigen Verockerung des Grundwassers durch Korrosion der Stahlspundwände sind dadurch keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten.

Aufstau

Bei mittlerem GW-Stand taucht das Bauwerk nur im zentralen Teil (ca. 0 + 420 bis 0 + 490), bei einem HW_{End} nahezu über die gesamte Länge des Bauwerks in das Grundwasser ein. Die verlorenen Spundwände binden ständig in das Grundwasser ein (vgl. oben).

Die Grundwasserströmung verläuft nahezu parallel zu dem Bauwerk (Anström-
winkel 15 - 20°).

Bei einem hydraulischen Gefälle $I = 0,003$ (Geol.-Hydrol. Kt. 1 : 50000) lässt sich
rechnerisch ein Aufstau von 0,7 cm ermitteln (vgl. Anhang 1 zu Anlage 18.1a).

Die Unterströmung und die Umströmung des Bauwerks sind gewährleistet.

10.2.1.8 Grundwasserbeobachtungspegel

Zur Beobachtung des Grundwasserstandes liegen in der Umgebung des BV fol-
gende GW-Messstellen vor:

KP 1111: Landsberger Straße, östlich Südportal

KP 1106: S-Bahnhof Laim, unmittelbar östlich der Umweltverbundröhre

KP 1110: Winfriedstraße, östlich Einfädelung der UVR in die Wotanstraße

10.3 Unterirdische Strecke

10.3.1 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 $k_{mittel}(q) = 5,0$
 $\times 10^{-3}$ m/s im Quartärkies und von $k_{mittel}(ts) = 5,0 \times 10^{-5}$ m/s im Tertiärsand ange-
setzt. Die durchgeführte Abschätzung von Wassermengen einer Tertiärentspan-
nung liefert erfahrungsgemäß für den Anfang des Wasserhaltungsbetriebes rea-
listische Größen. Bei lang andauernden Entspannungswasserhaltungen geht die
Wassermenge 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 Wasser-
mengen.

10.3.2 Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens

Im PFA 1 sind keine Schutzzonen von Trinkwassergewinnungsanlagen ausgewiesen.

10.3.3 Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse

10.3.3.1 Grundwasseraufstau

Sowohl die tertiären Wechsellagerungen aus feinkörnigen Böden und Sand als auch die quartären Kiese sind grundwasserführend, wobei sich großräumig im Quartär und Tertiär etwa gleiche Grundwasserdruckhöhen einstellen. Die überwiegend im Tertiär verlaufenden Tunnelstrecken, das vom Quartär bis in das Tertiär reichende zentrale Bauwerk am Hauptbahnhof und der Startschacht S1 sowie der im Quartär liegende Trog im Bereich des Westportals, 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 hat. Aus diesem Grund wird im Zuge der wasserrechtlichen Genehmigung von Baumaßnahmen in München nach dem bisherigen Vorgehen 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 beschränkt.

In den Abschnitten 10.3.4 und 10.3.6.6 wird der Grundwasseraufstau durch die Bauwerke im Bereich des Westportals und am Haltepunkt Hauptbahnhof für den Bau- und Endzustand abgeschätzt und eine Bewertung bezüglich der voraussichtlichen Erfordernis von Grundwasserüberleitungsanlagen angegeben. Ein vom quartären Grundwasser über- und unterströmtes Rampenbauwerk, mit ei-

nem im Boden verbliebenen Teil der Baugrubenumschließung ist in Abb. 10.1 schematisch dargestellt.

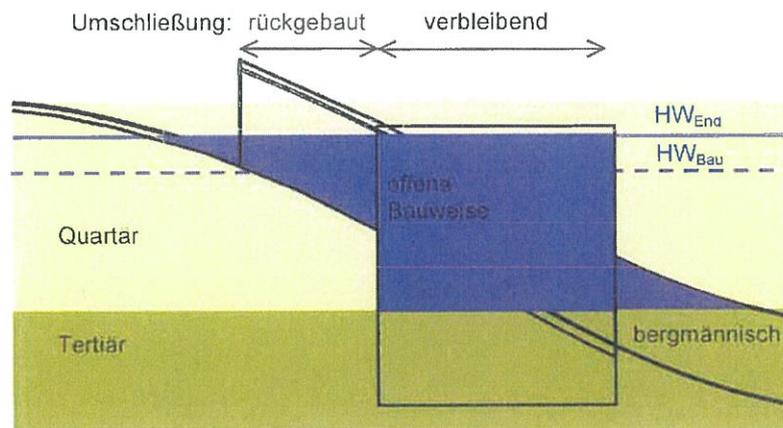


Abb. 10.1: Schemadarstellung: Tunnelbauwerk im quartären Grundwasser bei HW_{End}

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 Vollabsperzung des quartären Grundwasserstroms angesetzt (Abb. 10.2).

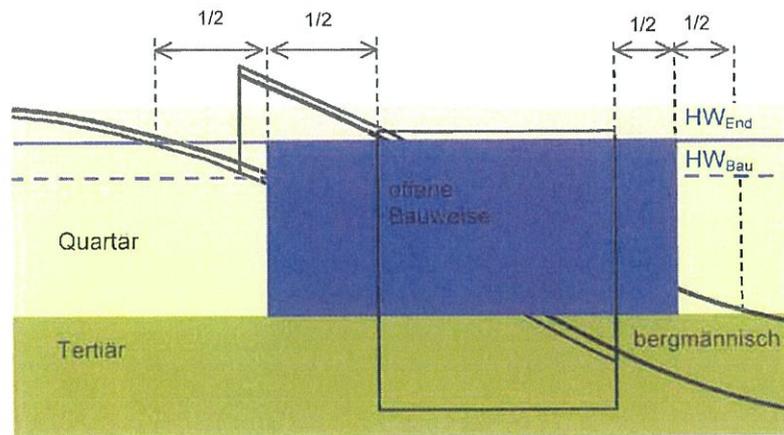


Abb. 10.2: Schemadarstellung: Zur Berechnung angesetzter Baukörper im Grundwasser bei HW_{End}

Der maximale Grundwasseraufstau $\otimes h$ aus Umströmung eines Rampenbauwerkes mit seiner im Boden verbliebenen Baugrubenumschließung berechnet sich dann zu $\otimes h = i \times L/2$. 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.

10.3.3.2 Beeinflussung von Grundwassernutzern

10.3.3.2.1 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 sind prinzipiell genehmigungsfähig und im Zuge des Wasserrechtsverfahrens zu beantragen. In der geotechnischen Bestandsaufnahme 2. S-Bahn-Stammstrecke [U1] sind die Brauchwasserentnahmen mit der Bezeichnung BE 120-1 (ca. Bau-km 4,2+87, 50 m nördlich) im Abstrom und BE 120-2 (ca. Bau-km 4,3+30, 53 m südlich) im südlich im Zustrom der Trasse enthalten. Nähere Angaben zur Art der Nutzung und der Entnahmetiefe liegen nicht vor. Alle übrigen be-

kannten Brunnenanlagen sind mehr als ca. 100 m von Baumaßnahmen entfernt, bei denen Injektionen vorgesehen sind.

10.3.3.2.2 Beeinflussung durch Bauwasserhaltungen

Grundwasserförderungen aus dem quartären Aquifer beschränken sich auf das durch Baugrubenumschließungen dringende (Schloss-) Wasser und das temporär 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 Baumaßnahmen sind insbesondere im Bereich des Bfs-Hp Hauptbahnhof, bei Rettungsschächten und teilweise im Bereich der Tunnelstrecken in offener Bauweise sowie mit Spritzbetonbauweise 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 erwartungsgemäß nicht entscheidend 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.

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

- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen, die im Bereich des Westportals für den Trog und den Tunnel in offener Bauweise voraussichtlich bis in maximalen Tiefen von ca. 30 m unter GOK reichen.
- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen im Bereich des Bfs Hp Hauptbahnhof mit den dazugehörigen, bergmännisch erstellten Stollen. Die Brunnen erreichen voraussichtlich maximale Tiefen von ca. 85 m unter GOK.

- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen im Bereich der Rettungs- oder Injektionsschächte, die voraussichtlich bis in maximalen Tiefen zwischen etwa 21 m und ca. 52 m unter GOK reichen.

Aus vom Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München (RGU) zur Verfügung gestellten Daten wurden Grundwassernutzungen eruiert, die einen Abstand von weniger als 1 km zur geplanten 2. S-Bahn-Stammstrecke haben und damit im weiträumigen Einflussbereich der Baumaßnahme liegen. Demnach liegen 5 Grundwassernutzungen im Tertiär in einem relevanten Umkreis der Baumaßnahmen. Nachfolgend ist die Art der Nutzung und der Beeinflussung durch die Baumaßnahmen angegeben.

Nutzer Nr. 99 (Landsberger Str.)

- Brunnen und Nutzung:

Auf dem Gelände an der Landsberger Straße werden zwei Tiefbrunnen im Tertiär betrieben. Brunnen Nr. 5 fördert im Tiefenbereich 191 m bis 229 m, wobei die Wassermenge aufgrund des dort überwiegend feinkörnig ausgebildeten Tertiärs geringer ist als bei Brunnen Nr. 6, der im Tiefenbereich 114 m bis 187 m aus Sand sowie Sand-Kies-Gemischen fördert.

Die Brunnen werden zur Gewinnung von Brauwasser betrieben, wobei die genehmigten Wassermengen nach Auskunft des Betreibers zurzeit nicht voll ausgeschöpft werden.

- Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Aufgrund der großen Tiefenlage der bepumpten Aquifere und des Abstands von etwa 300 m von der 2. SBSS bzw. über 1100 m vom Bf Hauptbahnhof, wird eine signifikante Beeinflussung der maximal förderbaren Wassermengen nicht erwartet.

Die Beeinflussung durch die Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektive Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) wird im Bereich des Nutzers Nr. 99 so gering sein, dass eine Grundwasserförderung in unverändertem Umfang auch während des Baubetriebes technisch möglich sein wird.

Nutzer DB (Richelstr.)

- Brunnen und Nutzung:

Nach den uns vorliegenden Unterlagen besteht die Brunnenanlage aus zwei Förderbrunnen und zwei Schluckbrunnen zur Versickerung des für Kühlzwecke zutage geförderten Grundwassers. Die beiden in etwa 90 m Abstand angeordneten Förderbrunnen befinden sich in der Grünanlage südlich des DB-Gebäudes und etwa 100 m bis 120 m nördlich der geplanten Baumaßnahmen für den Tunnel in offener Bauweise am Westportal der 2. SBSS. Die beiden Förderbrunnen haben eine Pumpleistung von ca. 36 l/s. Alle Brunnen sind im Quartär ausgebaut.

- Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Der Tunnel in offener Bauweise wird im Bauzustand zu einem Grundwasserstau im Quartäraquifer von rechnerisch bis zu ca. 0,55 m im Süden und einem entsprechenden Sunk auf der Nordseite führen. Im Endzustand wird die Beeinflussung des Grundwasserstandes durch eine Grundwasserüberleitungsanlage auf weniger als 0,30 m begrenzt. Beim vorliegenden natürlichen Grundwassergefälle von ca. 0,34 % nach Nordnordosten wird sich die Beeinflussung in den etwa 100 m Entfernung im Abstrom der Baumaßnahme liegenden Brunnen höchstens mit wenigen Zentimetern Grundwasserspiegelabsenkung des bei HW_{Bau} mindestens 8 m mächtigen Quartäraquifers auswirken. Die erwartete Grundwasserbeeinflussung führt zu keiner signifikanten Leistungsreduzierung der im Quartär ausgebauten Brunnen.

Der südwestlichere der beiden Brunnen besitzt einen Abstand von minimal ca. 100 m vom Westportal der 2. S-Bahn-Stammstrecke sowie einen minimalen Abstand von ca. 65 m von der Quartärinjektionsstrecke der 2. S-Bahn-Stammstrecke (Niederdruckinjektion im Bereich des Quartärvortriebs). Die Baugrube des Westportals ist durch Ankerlagen gesichert.

Im Bauzustand erscheint es aufgrund des räumlichen Abstands zu den Baumaßnahmen als nahezu ausgeschlossen, dass es aufgrund der Ankerverpressung bzw. der Injektionsmaßnahmen im Quartär zu einem direkten Einfließen von Injektionsgut in die Brunnen kommt.

Allerdings erhöht sich bis zum Erhärten des Injektionsguts zeitlich begrenzt der pH-Wert des Grundwassers, wodurch eine beschleunigte Verockerung / Versinterung der Brunnen nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Beeinträchtigung kann durch eine Beweissicherung festgestellt werden. Beweissicherungsmaßnahmen sind hier die regelmäßige Ermittlung der Entnahmemengen mit zugehöriger Brunnenabsenkung, pH-Wert-Messungen im Brunnen und Wasserstandsmessungen in benachbarten Grundwassermessstellen jeweils vor und während der Baumaßnahme.

Sollte sich eine entsprechende Beeinträchtigung zeigen, kann, sofern keine besonderen Anforderungen an das Kühlwasser gestellt werden, für den Bauzustand das Wasser aus der Bauwasserhaltung zur Kühlung (überwiegend Tertiärwasser aus der Entspannungswasserhaltung) verwendet werden. Abhängig von einer Beeinträchtigung der Brunnen kann es langfristig in diesem Fall erforderlich sein, die vorhandenen Brunnen durch neue, nördlich gelegene Brunnen zu ergänzen bzw. zu ersetzen.

Nutzer Nr. 243 (Marsplatz 2)

- Brunnen und Nutzung:

Der Tiefbrunnen 2, der im Bereich der Marsstraße angeordnet ist, fördert im Tiefenbereich 47 m bis 260 m, wobei der überwiegende Wasserzustrom aus Kies-schichten im Tiefenbereich 49,5 m bis 56,9 m und 208,9 m bis 217,0 m zu erwarten ist.

Für den Tiefbrunnen ist nach Auskunft des Betreibers eine Nutzungsänderung vorgesehen – die bisherige Nutzung für Kühlzwecke entfällt. Je nach den Ergebnissen einer im Sommer 2004 durchgeführten Brunnenrevision wird der Brunnen rückgebaut (unwahrscheinlich) oder zur Eigenwasserversorgung (Trinkwasser) weiterverwendet. Der Betreiber geht davon aus, dass der Brunnen für die Eigenwasserversorgung nur in Teillast betrieben werden muss. Zudem wird jederzeit eine Umschaltung der Eigenwasserversorgung auf das Stadtwassernetz möglich sein.

- Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Aufgrund der großen Tiefenlage der bepumpten Aquifere und des Abstandes von ca. 500 m zur Trasse bzw. über 1000 m zum Bf Hauptbahnhof wird eine signifikante Einschränkung der maximal förderbaren Wassermenge nicht erwartet.

Die Beeinflussung durch die Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektiver Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) wird im Bereich des Nutzers Nr. 243 so gering sein, dass eine Grundwasserförderung in unverändertem Umfang auch während des Baubetriebes technisch möglich sein wird.

Nutzer Nr. 34 (Marsstraße)

- **Brunnen und Nutzung:**

Auf dem Gelände an der Marsstraße werden drei Tiefbrunnen im Tertiär betrieben. Brunnen Nr. 11 fördert im Tiefenbereich 167 m bis 220 m und Nr. 12 im Tiefenbereich 185 m bis 226 m jeweils aus einem tertiären Sand-Kies-Aquifer. Brunnen Nr. 13 erschließt im Tiefenbereich 101 m bis 171 m einen Tertiärsand.

Die Brunnen werden zur Gewinnung von Brauwasser betrieben, wobei die genehmigten Wassermengen nach Auskunft des Betreibers in Spitzenzeiten (Sommer) nahezu voll ausgeschöpft werden. Die Wassermenge wird allein über die Betriebszeit der Brunnenanlage und nicht über die Absenktiefe geregelt. Die maximale Absenkung im Brunnen ist durch eine wasserwirtschaftliche Auflage beschränkt.

- **Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:**

Aufgrund der großen Tiefenlage der bepumpten Aquifere und eines Abstandes von mindestens 500 m zur Trasse bzw. 700 m zum Haltpunkt Hauptbahnhof wird eine signifikante Einschränkung der maximal förderbaren Wassermenge nicht erwartet.

Die Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektiver Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) wird im Bereich des Nutzers Nr. 34 so gering sein, dass eine Grundwasserförderung in unverändertem Umfang auch während des Baubetriebes technisch möglich sein wird.

Nutzer Nr. 34 (Nymphenburger Straße)

- **Brunnen und Nutzung:**

Auf dem Gelände werden drei Tiefbrunnen im Tertiär betrieben. Die Brunnen 13, 15 und 16 erschließen einen Kies- und Sandaquifer unterhalb etwa 190 m Tiefe.

Die Brunnen werden zur Gewinnung von Brauwasser betrieben, wobei die genehmigten Wassermengen nach Auskunft des Betreibers in Spitzenzeiten (Sommer) nahezu voll ausgeschöpft werden. Die Wassermenge wird allein über die Betriebszeit der Brunnenanlage und nicht über die Absenktiefe geregelt. Die maximale Absenkung im Brunnen ist durch eine wasserwirtschaftliche Auflage beschränkt.

- **Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:**

Aufgrund der sehr großen Tiefenlage der bepumpten Aquifere und Abstandes von mindestens 600 m zur Trasse bzw. ca. 700 m zum Bf Hauptbahnhof, wird eine signifikante Beeinflussung der maximal förderbaren Wassermenge nicht erwartet.

Die Beeinflussung durch Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektiver Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) wird im Bereich des Nutzers so gering sein, dass eine Grundwasserförderung in unverändertem Umfang auch während des Baubetriebes technisch möglich sein wird.

Nutzer Nr. 724 (Hauptbahnhof)

- **Brunnen und Nutzung:**

Die Filterstrecke des Brunnens reicht von 47 m bis 186 m und erschließt im Wesentlichen zwei Tertiärsandschichten (47 m – 55 m und 61 m - 79 m) sowie Sand- und Kiesschichten unterhalb 99 m. Nach dem geologischen Profil ist der überwiegende Grundwasserzustrom aus den tieferen Sand- und Kiesschichten zu erwarten.

Der Grundwasserbrunnen wird zur Kühl- und Trinkwassergewinnung (Versorgung im Katastrophenfall) genutzt, wobei die durchschnittlich genehmigte Fördermenge von 12 l/s nach Auskunft des Betreibers derzeit mit etwa 2,7 l/s tatsächlich geförderter Menge nur zum Teil ausgenutzt wird.

- Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Der Brunnen liegt im unmittelbaren Baubereich der Haltestelle Hauptbahnhof womit eine Einschränkung der Grundwasserentnahme des Nutzers Nr. 724 zu erwarten ist.

Eine direkte Einschränkung des Grundwasserzustromes in den oberen zwei Tertiärsandschichten und damit eine Reduzierung der förderbaren Wassermenge ist sind gegeben. Zusätzlich wird die Fördermenge aus den tieferen Tertiärschichten durch Reduktion des hydraulischen Gradienten (effektiver Absenkung im Brunnen bei Betrieb der Bauwasserhaltungen) zurückgehen.

Der Grad der Einschränkung des Nutzers Nr. 724 wird aufgrund der großen Brunnentiefe jedoch so gering sein, dass die derzeitige Wassermenge von etwa 2,7 l/s auch während des Baubetriebes sichergestellt ist.

10.3.4 Trog und Tunnel in offener Bauweise (Bau-km 103,0+30 bis Bau-km 103,4+75)

10.3.4.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Die wesentlichen Abmessungen des aus einem Abschnitt mit Stützwänden, einem Trog und einem Tunnel in offener Bauweise bestehenden Westportals sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.3 des Abschnitts 9.2 zusammengestellt. Beim Übergang vom oberirdischen Verlauf zum Tunnel durchfährt die Trasse den Quartäraquifer und taucht in das Tertiär ein. Der über dem HW_{Bau} liegende Trogabschnitt erfordert keine Wasserhaltung. Der in das HW_{Bau} eintauchende Trogabschnitt und Tunnel in offener Bauweise (ca. Bau-km 103,2+15 bis 103,4+75) werden voraussichtlich in einer gemeinsamen Baugrube erstellt. Der Aushub erfolgt im Schutz eines rückverankerten Baugrubenverbau, der bis in feinkörnige Tertiärschichten reicht und einen so genannten "dichten Baugrubentrog" mit etwa 260 m Länge und 15 m bis 28 m Breite bildet. Der Verbau im Bereich des Troges soll nach Erstellung des Bauwerkes rückgebaut werden, während die Spundwandkonstruktion der Stützwand und der Verbau des Tunnels in offener Bauweise im Boden verbleiben sollen.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen ab ca. Bau-km 103,3+50 Brunnen zur Entspannung wasserdurchlässiger und druckwasserführender Schichten un-

ter 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.

10.3.4.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die Betriebsdauer der Wasserhaltung wird von der Dauer des bergmännischen Tunnelvortriebs mitbestimmt. Die in Anhang 2 zusammengestellten Berechnungen liefern bei 44 Monaten Betrieb der Wasserhaltung folgende rechnerischen Wassermengen:

Gesamtwassermengen während der Bauzeit:	
Tröge unter GW und Tunnel in offener Bauweise	
Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	44 Mon
<u>Wasseranfall:</u>	
Gesamtwassermenge:	2.700.000 m ³
<u>Fördermengen:</u>	
Wasserhaltungsbetrieb	23,2 l/s

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

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung zu Tage geförderten Grundwassers und des aus der Baugrube abgepumpten Niederschlagwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Für die Dimensionierung einer Versickerungsanlage sind rechnerisch 2 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 der Einstau von Versickerungsbrunnen ohne Gefährdung von Nachbarn bis GOK möglich ist, reduziert sich die rechnerische Brunnenanzahl auf 1 Stück. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und mindestens ca. 25 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

Geeignete Standorte für die Versickerung stehen im Baufeld oder zwischen benachbarten Gleisen zur Verfügung.

10.3.4.4 Baugrubenumschließung und Injektionen

Die Baugrubenumschließungen des Troges und des Tunnels in offener Bauweise werden bis etwa 19 m unter das HW_{Bau} reichen. Die bereichsweise Rückverankerung erfolgt durch Anker, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser voraussichtlich überwiegend in den Quartärkiesen und bei der untersten Lage auch in den Tertiärschichten liegen.

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

10.3.4.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tabelle Tab. 9.3 und Abschnitt 9.2.1 ersichtlich ist, reicht die Spundwandkonstruktion der Stützwände bis zu ca. 2,4 m in das HW_{Bau} bzw. bis zu ca. 3,6 m in das HW_{End} . Der liegt Trog zunächst über dem Grundwasser und taucht beim Übergang zum Tunnel in offener Bauweise etwa 1,9 m in das HW_{Bau} bzw. bis zu etwa 3,2 m in das HW_{End} ein. Die Baugrubensohle des Tunnels in offener Bauweise liegt bis ca. 10,8 m unter dem HW_{Bau} bzw. bis zu ca. 12,0 m im HW_{End} und erreicht voraussichtlich im Bereich der Eintiefung für die Tunnelbohrmaschine am östlichen Baugrubenende die Tertiäroberfläche.

10.3.4.6 Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand

Die Spundwandkonstruktion der Stützwände engt den bei HW_{Bau} etwa 12 m mächtigen Quartäraquifer im ungünstigsten Schnitt um etwa 30 % ein, wodurch kein schädlicher Grundwasseraufstau eintritt und keine Maßnahmen zur Reduzierung des Aufstaus erforderlich sind.

Trog und Tunnel in offener Bauweise müssen bezüglich des Grundwasseraufstaus zusammen mit dem östlich anschließenden maschinellen Tunnelvortrieb behandelt werden, weil das erste Stück des bergmännischen Tunnels bis ca. 103,6+40 zumindest mit der Firste im Quartäraquifer liegt und dort vom Grundwasser überströmt wird. Unter Berücksichtigung der Angaben in Abschnitt 10.3.3.1 ergeben sich folgende Verhältnisse:

Schnitt der Sohle mit HW_{End}	103,1+90 Bau-km	518,35
Schnitt der Sohle mit der Tertiäroberfläche	103,4+50 Bau-km	ca. 507,7
Schnitt der Firste mit HW_{End}	103,4+25 Bau-km	518,0
Schnitt der Firste mit der Tertiäroberfläche	ca. 103,6+50 Bau-km	ca. 510,0
Grundwassergefälle	$i = 0,0034$	
Winkel zwischen Längsrichtung und GW-Strömung	$\alpha = 85^\circ$	
<u>Bauzustand:</u>		
Größte Rampenbreite ca.	28 m	
Vollabspernung quartäres GW	103,1+90 bis 103,4+75 Bau-km	285 m
Überströmung bergmännischer Tunnel (HW_{Bau})	103,4+75 bis 103,6+40 Bau-km	165 m
Baukörper im Grundwasserstrom ca.	$a = 285 + 165/2 = 368$ m	ca. Ost-West
	$b = 28$ m	ca. Nord-Süd
Rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge	$L = 369$ m	$= a \cdot \sin(\alpha) + b \cdot \cos(\alpha)$
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\otimes h = 0,63$ m	$= i \cdot L/2$
<u>Endzustand:</u>		
Größte Rampenbreite ca.	28 m	
Unterströmung Rampe (HW_{End})	103,1+90 bis 103,2+80 Bau-km	90 m
Vollabspernung quartäres GW durch Tunnel und bleibende Verbauwand	103,2+80 bis 103,4+75 Bau-km	195 m
Überströmung bergmännischer Tunnel (HW_{End})	103,4+75 bis 103,6+40 Bau-km	165 m
Baukörper im Grundwasserstrom ca.	$a = 90/2 + 195 + 165/2 = 323$ m	ca. Ost-West
	$b = 28$ m	ca. Nord-Süd
Rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge	$L = 324$ m	$= a \cdot \sin(\alpha) + b \cdot \cos(\alpha)$
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\otimes h = 0,55$ m	$= i \cdot L/2$

Der Anströmungswinkel α wurde aus den Unterlagen [2] mit 78° bis 85° ermittelt, wobei für die Berechnung der für den Aufstau ungünstigste Wert von 85° gewählt wurde. Das Grundwassergefälle "i" wurde aus den Unterlagen [2] zwischen 0,0029 und 0,0034 ermittelt. Die Werte sind für Münchner Grundwasserverhältnisse vergleichsweise niedrig, weshalb zur Berechnung der ungünstigste Wert angesetzt wird. Rechnerisch ergab sich unter den vorgenannten Annahmen, wie oben angegeben, ein rechnerischer Aufstau von $\otimes h = 55$ cm für den Endzustand.

Nördlich und südlich des Rampenbauwerkes ist außer den Gleisanlagen der DB zur Zeit keine unmittelbar angrenzende Bebauung vorhanden. Unter der Annahme eines tolerierbaren Grundwasseraufstaus von 0,30 m ist eine Dükeranlage etwa bei Bau-km 103,4+50 erforderlich.

Für Bauverfahren mit wiedergewonnenem Verbau und Unter- bzw. Überströmung des Bauwerkes im Endzustand kann die rechnerische Länge ("a" in Ost-West-Richtung) des Baukörpers im Grundwasser mit etwa 200 m angenommen werden, womit noch ein Grundwasseraufstau in Höhe von ca. 0,35 m zu erwarten ist. Auch für diesen Fall wird die vorgenannte Grundwasserüberleitungsanlage erforderlich.

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.

10.3.4.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich des Rampenbauwerkes liegen die Grundwassermessstellen 2S-3/01 (Bau-km 103,0+76) und 2S-3/02 (Bau-km 103,3+08) vor, die erhalten werden.

10.3.5 Maschinelles Tunnelvortrieb (Bau-km 103,4+75 bis 105,5+04 und Bau-km 105,7+14 bis Bau-km 105,9+96)

10.3.5.1 Wasserhaltung zur Bauzeit

Für den von Westen nach Osten geplanten maschinellen Tunnelvortrieb zwischen dem Westportal und Bf-Hp Hauptbahnhof und von dort bis zum Ende des PFA 1 ist ein Schildvortrieb mit aktiver Ortsbruststützung vorgesehen (siehe Abschnitt 9.2.1), wofür keine Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich sind. Die Hauptabmessungen des Tunnelbauwerkes sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.5 Abschnitt 9.3.1 zusammengestellt.

10.3.5.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die zusammen jeweils ca. 2300 m langen Abschnitte mit Maschinenvortrieb erfordern außer im Bereich der Rettungsschächte (Abschnitt 10.3.7) keine Wasserhaltung.

10.3.5.3 Injektionen und Suspensionen

Der maschinelle Tunnelvortrieb im östlichen Anschluss an den Tunnel in offener Bauweise verläuft mit der Firste zunächst im Quartär und nur mit der Sohle im Tertiär. Im Anfahrtsbereich ist auf den ersten 10-20 m im Bereich der zu erstellenden Tübbingröhre die Herstellung eines Dichtblockes (Hochdruckinjektion, Schlitzwandkörper oder dergleichen) erforderlich. Für den Ein – und Ausfahrvorgang der TVM am BF-Hp Hauptbahnhof werden Dichtkörper erforderlichenfalls vorgesehen. Im Bereich des Gleises 100 sind im Osten an die offene Bauweise anschließend Abdeckinjektionen im Quartär vorgesehen.

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.

Die Hebungsinjektionen im Bereich des unterfahrenen Posttunnels werden in Abschnitt 10.3.8 behandelt.

10.3.5.4 Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerkes im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.5 in Abschnitt 9.2.1 ersichtlich ist, liegt das gesamte Tunnelbauwerk vollständig unter dem Grundwasser. Der an das Westportal östlich anschließende maschinelle Tunnelvortrieb liegt am Anfang mit etwa 8 m seines Querschnitts im Quartäraquifer und taucht voraussichtlich nach etwa 155 m Vortriebslänge mit der Firste vollständig in das Tertiär ein.

10.3.5.5 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Der Grundwasseraufstau durch Überströmung des im Quartäraquifer verlaufenden Tunnelanfangs wird zusammen mit dem Aufstau durch das Westportal in Abschnitt 10.3.4.6 behandelt. Der vollständig im Tertiär verlaufende Teil des Tunnels bewirkt keinen Grundwasseraufstau im Quartäraquifer.

10.3.5.6 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs liegen bereits die Grundwassermessstellen 2S-03/06 (Bau-km 103,9+42), GWM01-03 (Bau-km 104,1+47), 2S-04/02 (Bau-km 104,5+02), 2S-05/02 (Bau-km 105,0+59), 2S-05/03 (Bau-km 105,2+11) und 2S-05/03b (Bau-km 105,2+05) vor, die erhalten bleiben.

10.3.6 Bf Hp Hauptbahnhof (Bau-km 105,5+04 bis 105,7+14)

10.3.6.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Die Hauptabmessungen des in Spritzbetonbauweise mit Druckluftunterstützung geplanten bergmännischen Teils des Bf-Hp Hauptbahnhof 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 das in offener Bauweise geplante zentrale Zugangsbauwerk und den Startschacht S1 zusammengestellt.

Für die Baugrube "Zentraler Aufgang" wird ab einem ca. 4 m unter GOK und damit noch über dem HW_{Bau} liegendem Voraushubniveau aus zunächst eine Schlitzwandumschließung hergestellt. Die Baugrubenumschließungswände für die für die -7 m Ebene herzustellende Baugrube werden aufgrund der teils unmittelbar anschließenden Nachbarbebauung als im Boden verbleibender steifer Verbau geplant, der von Niveaus über dem Grundwasser zwischen GOK und ca. 4 m Tiefe aus erstellt wird.

Die Umschließungen der Baugruben binden jeweils in feinkörnige Tertiärschichten ein und bilden einen so genannte "dichten Trog". Zusätzlich zu einer Restwasserhaltung innerhalb der Baugrubentröge sind bei der tiefen Baugrube des zentralen Zugangsbauwerks und des Startschachtes S1 außerhalb der Umschließung Tertiärwasserhaltungen zur Begrenzung des Wasserdrucks auf die Verbauwände vorgesehen.

Im bergmännischen Vortrieb ist beabsichtigt, zunächst zwei Bahnsteigröhren aufzufahren und den verbleibenden Erdstock dazwischen im erforderlichen Umfang in einem weiteren Arbeitsschritt zu entfernen. Des weiteren sind mehrere Stollen, Schrägschächte und Verbindungsstollen für Ausgänge an den Bahnsteigenden und zur Anbindung an den Bestand erforderlich, die ebenfalls in Spritzbetonbau-

weise, teils mit Druckluftunterstützung, teils mit Vereisung erstellt werden sollen. Für Schacht- und Stollenbauwerke, die bis in den Quartäraquifer reichen, sind im Tiefenbereich des Q/T – Aquifers ergänzende Abdichtungsmaßnahmen durch Baugrubenumschließungen und Injektionen geplant

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen Brunnen zur Entspannung wasser-durchlässiger und druckwasserführender Schichten unter den Gründungssohlen der tiefen Baugruben des zentralen Zugangsbauwerks und des Startschachtes S1 sowie der Tunnel und Stollen hergestellt werden, die im Bereich der tiefen Baugrube bis ca. 85 m ab GOK reichen. Im Bereich der Spritzbetonvortriebe mit Druckluftstützung reduziert sie sich die erforderliche Entspannungstiefe auf überschlägig 20 m unter Tunnelsohle entsprechend Brunnentiefen von bis zu etwa 63 m ab GOK. Grundwasser bis zu dieser Tiefe muss soweit entspannt werden, dass sein Druckspiegel maximal bis zur Bauwerksohle steigt. 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, Vakuumlampen und Pumpensämpfen erforderlich werden. Die Druckluftunterstützung reduziert die Wassermengen für eine Tertiärgrundwasserabsenkung.

10.3.6.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die Baumaßnahmen für die bergmännischen Vortriebe und die offenen Bauweisen beginnen zeitgleich, womit für einen Zeitraum von 48 Monaten etwa im Bereich von Bau-km 105,4+30 bis Bau-km 105,7+60 auf einer Länge von ca. 330 m und Breiten zwischen etwa 15 m und 90 m eine Entwässerung oder Entspannung des tertiären Grundwassers bis in unterschiedliche Tiefen erforderlich wird. Die bergmännischen erstellten Tunnelröhren für die Bahnsteige erfordern hierbei zusammen mit den seitlich einmündenden Zugangs- und Rettungsstollen auf einer Fläche von ca. 210 m x 50 m eine Entwässerung bis ca. 43 m unter GOK und eine Entspannung bis ca. 63 m Tiefe. Der etwa 100 m lange Verbindungsstollen vom Startschacht S2 im Südwesten zum bergmännischen Tunnelvortrieb erfordert auf etwa 15 m Breite vergleichbare Entwässerungs- bzw. Entspannungstiefen. Die erforderliche Reduzierung des Wasserdrucks auf die Verbauwände der tiefen Baugrube (40 m x 60 m) wird durch die Entwässerung für den bergmännischen Vortrieb erreicht. In diesem Bereich ist für die Dauer von voraussichtlich 30 Monaten eine bis ca. 85 m Tiefe reichende Grundwasserentspannung erforder-

lich. Die Schrägschächte für die Fahrtreppen am West- und Ostende des Bahnhofs erfordern je nach Tiefenlage und Abmessung Entwässerungstiefen bis zu etwa 40 m und Entspannungstiefen bis etwa 55 m.

Für die überschlägige Berechnung der zur Bauzeit anfallenden Wassermengen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass Grundwasser auf einer Baufläche von etwa 270 m x 50 m auf eine Tiefe von durchschnittlich ca. 40 m unter GOK entwässert werden muss. Unter Berücksichtigung des Baubereiches mit Druckluftunterstützung (ca. 63 m Entspannungstiefe), der etwa $\frac{3}{4}$ der Grundfläche ausmacht, und der kürzer betriebenen Entspannungswasserhaltung für die tiefe Baugrube (85 m Entspannungstiefe) wurde als mittlere Entspannungstiefe 67 m unter GOK angesetzt. Die in Anhang 3 zusammengestellten Berechnungen liefern bei 48 Monaten Betrieb der Bauwasserhaltung folgende rechnerischen Wassermengen:

Gesamtwassermenge während der Bauzeit	
Haltepunkt Hauptbahnhof	
Gesamtdauer der Wasserhaltung	48 Mon
<u>Wasseranfall:</u>	
Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung	10.600.000 m ³
<u>Fördermengen:</u>	
Wasserhaltungsbetrieb	83 l/s
<u>Maximalabfluss:</u>	
Tertiärentspannung und Starkregen	bis 120 l/s

Hierbei wurde die Entwässerung und Entspannung im Tiefenbereich des bergmännischen Tunnels und ca. 20 m darunter angesetzt, wobei von durchschnittlich 15 m Tertiärsandprofil ausgegangen wurde. Zusätzliche Wasserhaltungsmaßnahmen für Schrägschächte und Stollen über dem Tunnelquerschnitt, die bis in den Q/T-Aquifer reichen wurden nicht berücksichtigt. Diese Bauteile werden jeweils in dicht umschlossenen Baugruben mit Restwasserhaltung errichtet, die vergleichsweise geringe Restwassermengen liefern.

10.3.6.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

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

Soweit es die örtlichen und baubetrieblichen Verhältnisse zulassen kann zumindest ein Teil des aus dem Tertiär zutage geförderten Grundwassers mit kombi-

nierten Brunnen, die zusätzlich zur Förderung im Tertiär eine Versickerung im Quartäraquifer ermöglichen, abgeleitet werden.

Zur Einrichtung einer separaten Versickerungsfläche ist der Südrand der Bahnanlagen im westlichen Anschluss an die Bahnhofshalle vorgesehen. Unter Zugrundelegung des Bodenprofils von 2S-5/S01 sind zur Ableitung von 83 l/s rechnerisch mindestens 16 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 der Einstau von Versickerungsbrunnen ohne Gefährdung von Nachbarn bis nahe GOK möglich ist, reduziert sich die rechnerische Brunnenanzahl auf etwa die Hälfte. Zur Minimierung der gegenseitigen Beeinflussung werden die Sickerbrunnen in einem Abstand von mindestens ca. 10 m angeordnet. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und mindestens ca. 65 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

Versickerung Richelpark

Zusätzlich ist auf der BE-Fläche im Richelpark neben der Donnersberger Brücke eine weitere Versickerungsfläche für Schluckbrunnen vorgesehen.

Unter Zugrundelegung des Bodenprofils von 2S-3/04 und der Berechnung des K-Werts der Bestandsbrunnen im Richelpark sind zur Ableitung von 120 l/s rechnerisch 7 vollkommene, bis zum Tertiär reichende Schluckbrunnen mit je einem Ausbaudurchmesser von DN 400 erforderlich, wenn der Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt wird. Zur Minimierung der gegenseitigen Beeinflussung werden die Schluckbrunnen in einem Abstand von ca. 20 m angeordnet.

10.3.6.4 Baugrubenumschließungen und Injektionen

Die Baugrubenwände der hoch- und tiefliegenden Baugrube des zentralen Zugangsbauwerks werden rückverankert, wobei die Verpressstrecken überwiegend im Tertiär zu liegen kommen. Im Zuge des Spritzbetonvortriebs können örtliche Sicherungsmaßnahmen mit Ankern, Nägeln usw. erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen. Für die Stützkonstruktion im Bereich der Querung U1/U2 werden zum Lastabtrag ~~Wurzelfähle erforderlich~~. Zur Abfangung der Schlitzwände und des Fundamentstollens im Bereich der Querung U1/U2 sind Düsenstrahlkörper vorgesehen.

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

Zur Anbindung von Stollen und Schächten an bestehende oder fertiggestellte Bauteile werden im Tiefenbereich des Tertiärs Bodenvermörtelungen im Düsenstrahl – Verfahren, allgemein Zementinjektionen oder auch Bodenvereisungsmaßnahmen erforderlich werden.

10.3.6.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.7 in Abschnitt 9.3.2 ersichtlich ist, liegt der Bf-Hp Hauptbahnhof vollständig im tertiären Grundwasser, wobei die Bauwerke bis zu etwa 45 m in das HW_{Bau} bzw. bis zu etwa 46 m in das HW_{End} eintauchen. Die in offener Bauweise errichteten Bauteile und die Zugangsbauwerke liegen teilweise auch im Quartäraquifer.

10.3.6.6 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Die bis zur Geländeoberfläche reichenden Bauteile der Ebene -7 m behindern zusammen mit ihren Baugrubenumschließungen das im Quartärkies und den darunter folgenden tertiären Sanden (Q/T-Aquifer) fließende Grundwasser. Das Bauwerk kann im Westen unbehindert umströmt werden. Diese Umströmungsmöglichkeit bleibt auch nach Errichtung des im unmittelbaren nördlichen Anschluss projektierte Haltepunkt Hauptbahnhof der MSB durch die dort geplanten Grundwasserüberleitungsanlagen erhalten. Die Ebene -7 m schließt im Osten unmittelbar an den U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof an und kann dort nicht umströmt werden. Hinsichtlich der Beeinflussung der Grundwasserströmung müssen diese Bauwerke gemeinsam betrachtet werden.

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

Grundwassergefälle	$i = 0,004$	
Winkel zwischen Längsrichtung (Tunnelachse) und GW Strömung	$\alpha = 60^\circ$	
<u>Bauzustand = Endzustand:</u>		
größte Breite mit Umschließung ca. Vollabspernung quartäres GW durch das Bauteil Ebene -7 m ca.	$b = 85 \text{ m}$ Bau-km 105,5+42 bis 105,6+40	$a = 90 \text{ m}$
Größte rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge des etwa kreuzförmigen Bauwerksgrundrisses Ebene -7 m	$L_1 = 105 \text{ m}$	(Aus Plan grafisch ermittelt)
Größte rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof	$L_2 = 110 \text{ m}$	(Aus Plan grafisch ermittelt)
Größte rechtwinklig angeströmte Bauwerkslänge Bauwerk Ebene -7 m gemeinsam mit U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof	$L = 170 \text{ m}$	(Aus Plan grafisch ermittelt)
größter rechnerischer Grundwasseraufstau	$\otimes h = 0,34 \text{ m}$	$= i \cdot L/2$

Die Grundwasserfließverhältnisse sind im Bereich des Hauptbahnhofs durch bestehende Bauwerke im Grundwasser verändert. Der Anströmungswinkel α wurde aus den Grundwasserisohypsenkarten der LH München kleinräumig uneinheitlich zwischen etwa 30° und 60° ermittelt, wobei für hohe Wasserstände, für den Aufstau ungünstige, große Winkel auftreten. Das Grundwassergefälle "i" wurde aus den Unterlagen [2] abhängig vom Wasserstand und von der betrachteten Bereichsgröße zwischen 0,0013 und 0,0064 ermittelt. Zur Berechnung wurden zur Sicherheit Werte gewählt, die vergleichsweise große Aufstauhöhen liefern.

Rechnerisch ergibt sich unter den vorgenannten Annahmen, wie oben angegeben, ein Aufstau von $\otimes h = 34$ cm für den Bau- und Endzustand. Dieser Grundwasseraufstau kann durch eine etwa bei Bau-km 105,6+20 angeordnete Dükeranlage auf etwa die Hälfte reduziert werden. Diese Dükeranlage stellt für den U1/U2-Bahnhof Hauptbahnhof wieder den Ausgangszustand einer beidseitigen Umströmung und etwa unveränderten Grundwasserständen her. Der im Zustrom des Bauteils Ebene -7 m verbleibende Grundwasseraufstau von überschlägig bis zu $\otimes h = 20$ cm betrifft ausschließlich Bauwerke der DB.

Die durch den Bau des Startschachtes S1 reduzierte Länge der geschlitzten Dränleitung DN 200, die auf der Westseite des Bauwerks der U1/U2 verläuft, wird durch das Dükerbauwerk kompensiert.

10.3.6.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im unmittelbaren Bereich des Bf-Hp Hauptbahnhof liegt die Grundwassermessstelle 2S-5/05 (Bau-km 105,4+50) vor.

10.3.7 Rettungsschächte: (RS2 Bau-km 103,8+72, RS3 Bau-km 104,4+45, RS4 Bau-km 105,0+40)

10.3.7.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Im PFA 1 sind 4-3 Rettungsschächte angeordnet, wobei RS 1 (Bau-km 103,4+51 bis Bau-km 103,4+75) zusammen mit dem Tunnel in offener Bauweise (Abschnitt 10.3.4) in einer gemeinsamen Baugrube errichtet wird und keine zusätzliche Inanspruchnahme des Grundwassers bewirkt. Die Rettungsschächte bestehen aus Vertikalschächten, die über Stollensysteme mit den Tunnelröhren verbunden sind.

Die voraussichtlichen Hauptabmessungen der Bauwerke und die jeweilige Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tabelle 9.6-8 in Abschnitt 9.3.4 enthalten.

10.3.7.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die in Anhang 4 zusammengestellten Berechnungen liefern je Notausstieg nachfolgende rechnerische Wassermengen, wobei für die Stollen jeweils zur Ermittlung der Wassermengen auf der sicheren Seite liegend eine Druckluftunterstützung von 1,0 bar angesetzt wurde. Es wird davon ausgegangen, dass zunächst die Vertikalschächte hergestellt werden und dass während des unmittelbar anschließenden Stollenvortriebs die Wasserhaltung für den Vertikalschacht jeweils aufrecht erhalten werden muss:-

Wassermengen während der Bauzeit:				
Rettungsschächte (Vertikalschächte)	RS 2	RS 3	RS 4	
Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	6	6	6	Mon
<u>Wasseranfall:</u>				
Wasserhaltungsbetrieb	21,7	14,3	15,7	l/s
<u>Wassermenge:</u>	342831	225124	247332	m ³
Rettungsschächte (Stollenbauwerke):				
Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	6	8	10	Mon
<u>Wasseranfall:</u>				
Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung	20,1	19,0	33,6	l/s
<u>Wassermenge:</u>	317120	400185	883634	m ³
<u>Gesamtwassermenge (Schacht + Stollen) ca:</u>	660.000	625.000	1.130.000	m ³
Wassermengen während der Bauzeit:				
Rettungsschächte (Vertikalschächte)	RS 2	RS 3	RS 4	
Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	7	7	7	Mon
<u>Wasseranfall:</u>				
Wasserhaltungsbetrieb	3,0	21,4	7,9	l/s
<u>Wassermenge:</u>	56148	393576	144857	m ³
Rettungsschächte (Stollenbauwerke):				
Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	15	15	15	Mon
<u>Wasseranfall:</u>				
Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung	11,9	32,4	27,2	l/s
<u>Wassermenge:</u>	469426	1275704	1071427	m ³
<u>Gesamtwassermenge (Schacht + Stollen) ca:</u>	525.000	1.670.000	1.216.000	m ³

Der bei RS 4 bei HW_{Bau} etwa 0,7 m in das quartäre Grundwasser reichende Treppenaufgang erfordert zusätzlich eine temporäre, offene Wasserhaltung, die je nach tatsächlichem Wasserstand zur Bauzeit bis zu ca. 25 l/s fördern wird.

10.3.7.3 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 Quartär kies möglich. Je Vertikalschacht sind 2 bis 3 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 der Einstau von Versickerungsbrunnen ohne Gefährdung von Nachbarn bis GOK möglich ist, reduziert sich die rechnerische Brunnenanzahl auf weniger als die Hälfte. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und mindestens ca. 11 m bis 17 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

Rettungsschächte (Vertikalschächte)	RS 2	RS 3	RS 4	
Anzahl Versickerungsbrunnen	3	2	2	Stk
Länge Rigolen	17	11	12	m
Rettungsschächte (Stollenbauwerke):				
Anzahl Versickerungsbrunnen	3	2	4	Stk
Länge Rigolen	15	15	26	m
Rettungsschächte (Vertikalschächte)	RS 2	RS 3	RS 4	
Anzahl Versickerungsbrunnen	1	3	1	Stk
Länge Rigolen	3	17	6	m
Rettungsschächte (Stollenbauwerke):				
Anzahl Versickerungsbrunnen	2	4	3	Stk
Länge Rigolen	9	25	21	m

Die im Zuge der Herstellung der Stollen zur versickernden Wassermenge erfordern rechnerisch zwischen 2–1 bis 4 vollkommene Sickerbrunnen im Quartär bzw. Rigolen der vorgenannten Art mit 15–9 m bis 26 m Länge.

Die Wasserhaltung der Vertikalschächte wird bei Herstellung der Stollen mit Ausnahme der weiter nutzbaren Entwässerungs- und Entspannungseinrichtungen im

Bereich der Stollenanschlüsse des Schachtes nicht mehr in Betrieb sein, womit die zur Schachtherstellung installierte Versickerungsanlage entweder ausreichend ist oder nur entsprechend erweitert werden muss.

Geeignete Standorte für die Versickerung stehen im Bereich der Baustelleneinrichtungsfläche der Rettungsschächte jeweils zur Verfügung.

10.3.7.4 Baugrubenumschließungen und Injektionen

Die Schachtbauwerke werden zusammen mit ihren Baugrubenumschließungen voraussichtlich zwischen etwa 10 m und 31-23 m unter das HW_{Bau} reichen. Die in Spritzbetonbauweise erstellten Stollen liegen vollständig im tertiären Grundwasser und bis zu etwa 34 m unter HW_{Bau} .

Bei einem Teil der Stollenvortriebe können Zementinjektionen zur Verkittung und Abdichtung im Firstbereich der Stollen erforderlich werden. Bei RS 2 sind derzeit Abdeckinjektionen geplant. Weitere Zementinjektionen, Injektionen im Düsenstrahl-Verfahren oder Vereisungsmaßnahmen sind im Bereich von Bauwerksanschlüssen erforderlich.

10.3.7.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.8 in Abschnitt 9.4 ersichtlich ist, reichen die vertikalen Rettungsschächte von der Geländeoberfläche bis in Tiefen zwischen 40-8 m und 31-16 m unter das HW_{Bau} bzw. zwischen 44-9 m und 32-17,5 m unter das HW_{End} . ~~Die insgesamt etwa 330 m Stollenbauwerke, die im Zusammenhang mit den Rettungsschächten errichtet werden müssen, liegen vollständig im Tertiär und damit unter dem Grundwasser.~~

10.3.7.6 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Die Bauwerksabmessungen sind mit Außendurchmessern der Schachtbauwerke 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.

10.3.7.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Die den Rettungsschächte nächstgelegenen Grundwassermessstellen 2S-3/06 2S-3/14 (Bau-km 103,9+428+32) (RS 2), 2S-4/02-12 (Bau-km 104,5+024+20) (RS 3) und 2S-5/02-12 (Bau-km 105,0+5985-)(RS 4) werden erhalten.

10.3.8 Injektionsschächte und Hebungsinjektionen für die Posttunnelquerung (Bau-km 103,7+00 und Bau-km 103,7+45)

10.3.8.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Bei Bau-km 103,7+00 und 103,7+45 sind Injektionsschächte zur Durchführung von Hebungsinjektionen im Bereich des Posttunnels vorgesehen. Die voraussichtlichen Hauptabmessungen der Schächte und die jeweilige Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.9 in Abschnitt 9.4 enthalten. Die Schächte werden mit dichten Verbau hergestellt, die in feinkörnige Tertiärschichten einbinden und so einen "dichten Trog" bilden, für den nach dem Lenzen lediglich eine Restwasserhaltung erforderlich ist.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen Brunnen zur Entspannung wasser-durchlässiger und druckwasserführender Schichten unter der Sohle bis in Tiefen von überschlägig ca. 20 m bis 23 m ab GOK hergestellt werden. Grundwasser bis zu dieser Tiefe muss soweit entspannt werden, dass sein Druckspiegel maximal bis zur Baugrubensohle steigt.

10.3.8.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die in Anhang 6 zusammengestellten Berechnungen liefern je Injektionsschacht nachfolgende rechnerischen Wassermengen:

Gesamtwassermengen während der Bauzeit:

Injektionsschächte Posttunnelquerung

Gesamtdauer der Wasserhaltung ca. 7 7 Mon

Wasseranfall:

Wasserhaltungsbetrieb 2,4 3,2 l/s

Wassermenge: 45.000 60.000 m³

10.3.8.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung für die Injektionsschächte zu Tage geförderten Grundwassers und des aus den Schächten abgepumpten Nie-

derschlagwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Rechnerisch ist je Injektionsschacht 1 bis zum Grundwasser reichende Sickerbrunnen mit je 0,60 m Durchmesser erforderlich, dessen Aufstau im Brunnen zur Verhinderung des Einstaus von Nachbarbauwerken auf eine Höhe entsprechend HW_{End} begrenzt wird. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und mindestens ca. 2 m bis 3 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich.

Geeignete Standorte für die Versickerung stehen im in den Baustelleneinrichtungsf lächen der Rettungsschächte jeweils zur Verfügung.

10.3.8.4 Baugrubenumschließungen und Injektionen

Die Baugrubenumschließungen der Schächte werden mit Bohrpfählen oder Spundwänden hergestellt und reichen voraussichtlich zwischen etwa 10 m und 11 m unter das HW_{Bau} .

Zum Ausgleich von Setzungen beim Unterfahren des Posttunnels sind von den Injektionsschächten aus Hebungsinjektionen mit Zementsuspension vorgesehen, deren Verpressstrecken am Abschnittsanfang dicht über der Tertiäroberfläche im Quartär und am Abschnittsende im Tertiär liegen.

10.3.8.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.9 in Abschnitt 9.4 ersichtlich ist, reichen die vertikalen Injektionsschächte von der Geländeoberfläche bis in Tiefen zwischen 10 m und 11 m unter das HW_{Bau} bzw. zwischen 11 m und 12 m unter das HW_{End} . Die Schächte reichen bis zu ca. 6 m in das Tertiäre Grundwasser.

Durch die Hebungsinjektionen entsteht ein etwa horizontal liegender, bis zu etwa 2 m dicker, flächenhafter Injektionskörper von etwa 160 m · 20 m Größe.

10.3.8.6 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes

Die Bauwerksabmessungen sind mit Außendurchmessern der Schachtbauwerke von ca. 6,5 m gering, womit durch die Schächte im Bau- und Endzustand kein schädlicher Grundwasseraufstau im Quartär verursacht wird. Der flächigen Injektionskörper der Hebungsinjektion verkleinern den Strömungsquerschnitt zwischen UK Posttunnel und OK-Tertiär im Westteil, wodurch eine zusätzlicher

Grundwasseraufstau entsteht. Die geometrischen Verhältnisse stellen sich folgendermaßen dar:

	Maßgebliche Koten (in müNN)		
	Bau-km 103,6+47	Bau-km 103,6+91	Bau-km 103,7+41
HW _{Bau}	516,6	516,5	516,5
HW _{End}	517,7	517,7	517,6
OK Tertiär	ca. 510	ca. 510	ca. 511
Mächtigkeit Quartäraquifer bei HW _{End}	7,7 m	7,7 m	6,7 m
UK Posttunnel ca.	515,4	514,0	513,4
Unterströmungshöhe ca.	5,4 m	4,0 m	2,4 m
Dicke Injektionskörper im Quartär ca.	2,0 m	1,0 m	0,0 m
Verbleibende Unterströmungshöhe	3,4 m	3,0 m	2,4 m
Verbleibender Aquifer in Folge Posttunnel	70 %	52 %	36 %
Verbleibender Aquifer in Folge Posttunnel + Injektion	44 %	39 %	36 %

Tab. 10.7: Maßgebliche Koten für Grundwasseraufstau durch den Injektionskörper im Bereich des Posttunnels

Bei rechwinkliger Anströmung würde eine vollständige Absperrung des quartären Aquifers auf einer Länge von $L = 160$ m bei einem Grundwassergefälle von $i = 0,0035$ einen rechnerischen Aufstau von $\otimes h = 0,5 \times 0,0035 \times 160$ m = 0,28 m erzeugen. Angesichts des im Mittel bei HW_{End} verbleibenden Strömungsquerschnitts von ca. 40 % wird sich ein Aufstau von deutlich unter 0,3 m einstellen. Nördlich und südlich des Injektionsbereiches ist außer den Gleisanlagen der DB und dem Posttunnel zur Zeit keine unmittelbar angrenzende Bebauung vorhanden. Unter der Annahme eines tolerierbaren Grundwasseraufstaus von 0,30 m sind keine Grundwasserüberleitungsanlagen erforderlich. Der Grundwasseraufstau ist bei der Planung von Bauvorhaben im Aufstaubereich zu berücksichtigen.

10.3.8.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im unmittelbaren Bereich der Injektionsschächte liegen keine Grundwassermessstellen vor.

10.3.9 Temporäre Baugrube für Abdeckinjektionen bei Rettungsschacht 2 (ca. Bau-km 103,8+80)

10.3.9.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Bei ca. Bau-km 103,8+80 ist eine temporäre Baugrube zur Durchführung von Abdeckinjektionen im Bereich des Stollens des Rettungsschachtes 2 vorgesehen. Die voraussichtlichen Hauptabmessungen des Schachtes und die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.10 in Abschnitt 9.4.3 enthalten. Die temporäre Baugrube wird als ausgesteifter Bohlträgerverbau in den quartären Kiesen oberhalb des Grundwassers hergestellt. Zur Bauzeit ist daher keine Wasserhaltung erforderlich.

10.3.9.2 Injektionen

In dem Bereich, in dem die Firste des Stollens in den quartären Kiesen verläuft, sind Abdeckinjektionen mit Zementsuspension im Quartär vorgesehen.

10.3.9.3 Injektionskörper im Grundwasser

Durch die Abdeckinjektionen entsteht ein räumlich begrenzter Injektionskörper mit Abmessungen von ca. 20 m · 10 m · 4 m.

10.3.9.4 Grundwasseraufstau durch den Injektionskörper

Die Abmessungen des Injektionskörpers sind gering und der Injektionskörper kann überströmt werden. Dadurch wird durch den Injektionskörper im Bau- und Endzustand kein schädlicher Grundwasseraufstau im Quartär verursacht.

10.3.9.5 Kontrollen und Grundwassermessstellen

In unmittelbarer Nähe zum Bereich der Abdeckinjektionen liegt die quartäre Grundwassermessstelle 2S-3/14.

10.4 Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen

Bauwerk	Wasserhaltungsdauer	Wasseranfall [m³]	Fördermenge [l/s]
Erweiterung EÜ Wotanstraße Umweltverbundröhre (UVR), Bau-km 101,3	12 Monate	5.150.000	bis 400
Tröge und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,0+35 bis Bau-km 103,4+75	44 Monate	2.700.000	23
Bf Hp Hauptbahnhof Bau-km 105,5+04 bis 105,7+14	48 Monate	10.600.000	83
Rettungsschacht RS2 Bau-km 103,8+72	42 22 Monate	660.000 525.000	bis 22
Rettungsschacht RS3 Bau-km 104,4+45	42 22 Monate	625.000 1.670.000	bis 19
Rettungsschach RS4 Bau-km 105,0+40/104,9+47	46 22 Monate	1.130.000 1.216.000	bis 33
Injektionsschacht Posttunnelquerung Bau-km 103,7+00	7 Monate	45.000	2
Injektionsschacht Posttunnelquerung Bau-km 103,7+45	7 Monate	60.000	3

Tab. 10.8: Rechnerisch geförderte Wassermengen mit ungefährender Dauer der Maßnahmen