

## 2. S-Bahn-Stammstrecke München

### Planfeststellung

### Erläuterungsbericht (nachrichtlich)

### Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft

### Planfeststellungsabschnitt 2

München, den 31.05.2005

Erstellt im Auftrag der  
DB AG

Vorhabenträger:



**Die Bahn** 

DB ProjektBau GmbH  
Niederlassung Süd

## **2. S-Bahn-Stammstrecke München**

Planfeststellungsabschnitt 2

Anlage 18.1 Erläuterungsbericht

---

# **Beteiligte Planer und Gutachter:**

### **Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München**

#### **Gesamtkoordinierung und Generalplanung Los 2 und 4**

OBERMEYER Planen+Beraten GmbH / DE-Consult GmbH/ PSP Beratende Ingenieure München

### **Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München**

#### **Generalplanung Los 1 und 3**

Lahmeyer München Ingenieurgesellschaft mbH / Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft-mbH

### **Fachplaner, Gutachter**

DB Energie GmbH

DB PB TB3

DB Telematik

DB Systemtechnik

DB ProjektBau GmbH, NL Süd TB 82

DB AG Sanierungsmanagement

Balfour Beatty Rail GmbH, Power Systems

BPI Consult GmbH

ARGE RA

Meidert und Kollegen, Rechtsanwälte

RA Hartmut Heinrich

m-Plan eG

STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.

Zentrum Geotechnik, TU München

## Inhaltsverzeichnis

## Seite

<b>1</b>	<b>Allgemeines.....</b>	<b>3</b>
1.1	Allgemeine Projektbeschreibung.....	3
1.2	Aufgabenstellung.....	3
1.3	Verwendete Unterlagen/Literatur.....	3
<b>2</b>	<b>Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Geologischer / Hydrogeologischer Überblick.....</b>	<b>6</b>
3.1	Allgemeine geologische Verhältnisse .....	6
3.2	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse.....	7
3.3	Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten .....	8
3.4	Lagerstätten .....	8
3.5	Erdbebenzonen .....	8
<b>4</b>	<b>Untersuchungsumfang oberirdische Strecke .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Untersuchungsumfang Tunnelstrecken.....</b>	<b>10</b>
5.1	Verwendete Untersuchungen aus Fremdprojekten .....	10
5.2	Projektspezifische Untersuchungen.....	10
5.2.1	Bohrungen nach DIN 4021 .....	10
5.2.2	Bohrlochversuche .....	11
5.2.2.1	BDP nach DIN 4094-2 .....	11
5.2.2.2	Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5.....	12
5.2.2.3	Durchlässigkeitsversuche in Anlehnung an DIN E 18130-2 .....	12
5.2.3	Rammsondierungen nach DIN 4094-3 .....	13
5.2.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen .....	13
5.2.5	Chemische Laboruntersuchungen Boden .....	13
5.2.6	Chemische Laboruntersuchungen Grundwasser .....	14
5.2.6.1	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030.....	14
5.2.6.2	Grundwasseruntersuchungen auf umweltrelevante Parameter .....	14
5.2.7	Bodenluftuntersuchungen .....	14
<b>6</b>	<b>Beurteilung der Baugrundverhältnisse .....</b>	<b>15</b>
6.1	Eigenschaften der anstehenden Böden / Bodenschichten .....	15
6.1.1	Oberboden und Auffüllungen / Schicht I .....	15
6.1.2	Quartäre bindige Deckschichten / Schicht II.....	16
6.1.3	Quartäre Kiese / Schicht III .....	16
6.1.4	Tertiäre Schluffe und Tone / Schicht IV .....	18

6.1.5	Tertiäre Sande / Schicht V .....	20
<b>6.2</b>	<b>Geotechnische Streckenabschnitte / Bodenschichtung .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Hydrologie und Hydrogeologie .....</b>	<b>23</b>
<b>7.1</b>	<b>Oberflächengewässer .....</b>	<b>23</b>
<b>7.2</b>	<b>Niederschlagsituation .....</b>	<b>23</b>
<b>7.3</b>	<b>Grundwasserverhältnisse .....</b>	<b>23</b>
7.3.1	Verteilung der Grundwasseraquifere und Grundwasserhemmer .....	23
7.3.2	Grundwasserstände .....	25
7.3.3	Grundwasserströmung .....	26
7.3.4	Durchlässigkeitsverhältnisse .....	26
<b>7.4</b>	<b>Bemessungswasserstände .....</b>	<b>27</b>
7.4.1.1	Allgemeines .....	27
7.4.2	Bauzustand .....	27
7.4.3	Endzustand .....	27
<b>8</b>	<b>Folgerungen für die Baumaßnahmen oberirdische Strecke .....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Folgerungen für die Baumaßnahmen Tunnelstrecken .....</b>	<b>30</b>
<b>9.1</b>	<b>Haltepunkte in offener Bauweise .....</b>	<b>30</b>
9.1.1	Gründungen .....	30
9.1.2	Baugruben und Grundwasserhaltung .....	31
9.1.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke .....	33
<b>9.2</b>	<b>Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen .....</b>	<b>34</b>
9.2.1	Maschinellem Vortrieb .....	34
9.2.2	Spritzbetonvortrieb .....	37
9.2.3	Grundwasserhaltung .....	40
9.2.4	Beeinflussung bestehender Bauwerke .....	41
<b>9.3</b>	<b>Schächte und Stollen .....</b>	<b>42</b>
9.3.1	Herstellung .....	43
9.3.2	Grundwasserhaltung .....	45
9.3.3	Beeinflussung bestehender Bauwerke .....	46
<b>9.4</b>	<b>Sonderbauwerke .....</b>	<b>46</b>
<b>9.5</b>	<b>Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>Grundwasserinanspruchnahme .....</b>	<b>48</b>
<b>10.1</b>	<b>Grundsätzliches - Grundwassernutzungen .....</b>	<b>48</b>
<b>10.2</b>	<b>Berechnungsmethoden .....</b>	<b>48</b>
<b>10.3</b>	<b>Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens .....</b>	<b>48</b>
<b>10.4</b>	<b>Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse .....</b>	<b>49</b>

10.4.1	Beeinflussung von Grundwassernutzern .....	49
10.4.1.1	Beeinflussung durch Injektionen .....	49
10.4.1.2	Beeinflussung durch Bauwasserhaltungen.....	49
<b>10.5</b>	<b>Auswirkungen auf das Grundwasser in den einzelnen Streckenabschnitten</b> .....	<b>52</b>
10.5.1	Maschinellem Tunnelvortrieb (Bau-km 105,9+96 bis 106,7+17 und 106,9+27 bis ca. 107,8+53 ) .....	52
10.5.1.1	Wasserhaltung zur Bauzeit .....	52
10.5.1.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung .....	52
10.5.1.3	Injektionen und Suspensionen.....	52
10.5.1.4	Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerks im Grundwasser .....	53
10.5.1.5	Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand .....	53
10.5.1.6	Kontrollen und Grundwassermessstellen .....	53
10.5.2	Haltepunkt Marienhof (Bau-km 106,7+17 bis Bau-km 106,9+27) .....	53
10.5.2.1	Wasserhaltung zur Bauzeit .....	53
10.5.2.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung .....	54
10.5.2.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit .....	55
10.5.2.4	Injektionen.....	55
10.5.2.5	Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerkes im Grundwasser .....	56
10.5.2.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes .....	56
10.5.2.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen .....	57
10.5.3	Rettungsschächte: (RS 5 Bau-km 106,2+18 und RS 6 Bau-km 107,5+27) .....	57
10.5.3.1	Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit .....	57
10.5.3.2	Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung .....	57
10.5.3.3	Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit .....	58
10.5.3.4	Baugrubenumschließungen und Injektionen .....	59
10.5.3.5	Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser .....	59
10.5.3.6	Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes .....	59
10.5.3.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen .....	59
<b>10.6</b>	<b>Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen .....</b>	<b>60</b>

## **Tabellenverzeichnis**

## **Seite**

Tab. 5.1: Durchgeführte bodenmechanische Laboruntersuchungen.....	13
Tab. 6.1: Tabellarische Beurteilung der quartären Kiese.....	18
Tab. 6.2: Tabellarische Beurteilung der tertiären Schluffe und Tone.....	20
Tab. 6.3: Tabellarische Beurteilung der tertiären Sande .....	22
Tab. 7.1: Grundwasserstände der Messung vom 31.08.2004 .....	25
Tab. 7.2: Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und –versickerung.....	26
Tab. 9.1: Maßgebliche Knoten für den Haltepunkt Marienhof (offene Bauweise) .....	31
Tab. 9.2: Angaben zu vorgesehenen Umschließungsvarianten, Ausbildung Baugrubensohlen, Grundwasserhaltung .....	33
Tab. 9.3: Maßgebliche Knoten für die maschinellen Tunnelvortriebe .....	34
Tab. 9.4: Tabellarische Darstellung der Streckenabschnitte .....	35
Tab. 9.5: Maßgebliche Knoten für den Bereich Haltepunkt Marienhof .....	38
Tab. 9.6: Maßgebliche Knoten für die Rettungsschächte .....	43
Tab. 10.1: Rechnerisch geförderte Wassermengen mit ungefährender Dauer der Maßnahmen.....	60

## **Verzeichnis der Anhänge**

- Anhang 1: Hydraulische Berechnungen ; Haltepunkt Marienhof: Bau-km 106,7+17 bis Bau-km 106,9+27); 2 Blätter.
- Anhang 2: Hydraulische Berechnungen; Rettungsschächte: (RS 5 Bau-km 106,2+18 und RS 6 Bau-km 107,5+27); 7 Blätter.

## Abkürzungsverzeichnis

### A

A<sub>Re</sub> Ersatzradius

### B

Bbf Betriebsbahnhof

BDP Bohrlochrammsondierung

BE Baustelleneinrichtung

Bf Bahnhof

Bft Bahnhofsteil

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.

### E

EN Euro-Norm

### F

FRS Deutsche Bahn AG Sanierungsmanagement (FRS-S)

### G

GOK Geländeoberkante

GW Grundwasser

GWM Grundwassermessstelle

### H

Hbf Hauptbahnhof

Hp Haltepunkt

HW<sub>10</sub> 10-jährlichen Grundwasserstände

HW<sub>200</sub> 200-jährlichen Grundwasserstände

HW<sub>1940</sub> rekonstruierter Hochwasserstand aus dem Jahre 1940

---

HW <sub>Bau</sub>	Höchster angenommener Grundwasserstand zur Bauzeit
HW <sub>End</sub>	Höchster angenommener Grundwasserstand im Endzustand
<b>I</b>	
i	hydraulischer Gradient
<b>K</b>	
k	Durchlässigkeitsbeiwert
k <sub>h</sub>	Wasserdurchlässigkeit in horizontaler Richtung
k <sub>mittel</sub>	mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert bei Grundwasserförderung
k <sub>sick</sub>	Durchlässigkeitsbeiwert für die Versickerung von Wasser
k <sub>v</sub>	Wasserdurchlässigkeit in vertikaler Richtung
<b>L</b>	
L	Längsneigung
l	Liter
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LHKW	Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe
<b>M</b>	
M	Maßstab
MAMP	München Abzw. Max-Weber-Platz
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
<b>N</b>	
NN	Normal Null
NNO	Himmelsrichtung Nord-Nord-Ost
NO	Himmelsrichtung Nord-Ost
<b>O</b>	
OK	Oberkante
<b>P</b>	
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
RGU	Referat für Gesundheit und Umwelt
Ril	Richtlinie
RS	Rettungsschacht

**S**

SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
SO	Schienenoberkante
SpB	Spritzbeton
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**

### **2. S-Bahn-Stammstrecke**

Bezeichnet wird hiermit die neu zu errichtende zweigleisige S-Bahn-Stammstrecke, beginnend im Bf Laim und endend im Bf Ostbahnhof bzw. Bf Leuchtenbergring mit den dazwischen liegenden Stationen Hauptbahnhof und Marienhof.

### **Hauptast / Nebenast**

Beide Äste sind Bestandteil 2. S-Bahn-Stammstrecke München. Als Hauptast werden die durchgehenden Gleise vom Bf Laim bis Bf Ostbahnhof bezeichnet. Als Nebenast werden die Gleise vom Abzweig Max-Weber-Platz bis zum Bf Leuchtenbergring bezeichnet.

### **Bf Hauptbahnhof**

S-Bahnhof Hauptbahnhof (Tiefelage) 2. S-Bahn-Stammstrecke

---

**PLANFESTSTELLUNGSABSCHNITT 2,  
BAU-KM 105,9+96 - 107,8+53**

# **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. (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) bezieht sich auf den Planfeststellungsabschnitt 2 von Bau-km 105,9+96 bis 107,8+53. Mit dem Erläuterungsbericht werden die Ergebnisse der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Untersuchungen im Hinblick auf die Planfeststellung für den Planfeststellungsabschnitt 2 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**

- U 1: EDR (2003): Geotechnische Bestandsaufnahme 2. S-Bahn-Stammstrecke, Erläuterungsbericht
- U 2: DIN 4021 (1990/10): Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Deutsches Institut für Normung

- U 3: DIN 4094-2 (2003/05): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 2: Bohrlochrammsondierung; Deutsches Institut für Normung
- U 4: DIN 4094-3 (2002/01): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 3: Rammsondierungen; Deutsches Institut für Normung
- U 5: DIN 4094-5 (2001/06): Baugrund – Felduntersuchungen, Teil 5: Bohrloch-aufweitungsversuche; Deutsches Institut für Normung
- U 6: DIN 18130-2 Entwurf (2003/10): Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 2: Feldversuche; Deutsches Institut für Normung
- U 7: DIN 4149-1 (1981-04): Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Deutsches Institut für Normung
- U 8: DIN 4149 Entwurf (2002-10): Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Deutsches Institut für Normung
- U 9: Stadtkarten der Landeshauptstadt München, Baureferat, U-Bahn-Bau:  
Grundwasserisohypsen, Rekonstruktion des Hochwassers Sommer 1940 (HW 1940), M 1:10000  
Grundwasserisohypsen vom August 1984, M 1:5000  
Grundwasserisohypsen vom Juli 1988, M 1:5000  
Grundwasserisohypsen vom Juli 1990, M 1:5000  
Grundwasserisohypsen vom Juli 1992, M 1:5000
- U 10: Lageplan 1:5000, Stadtbäche links der Isar, Zeichen 10-1A, Baureferat Tiefbau, Abt. Wasser- und Brückenbau, 12.08.1968.
- U 11: Stellungnahme zur Festlegung von Bemessungswasserständen auf der Grundlage statistischer Analysen langjähriger Grundwasserbeobachtungen (TU München, Zentrum Geotechnik vom 17.5.2004)

## **2 Lage und Beschreibung der begutachteten Maßnahme**

Die Trasse des PFA 2 schließt im Westen an den PFA 1 bei Bau-km 105,9+96 in Tunnellage an und unterquert den U-Bahnhof U4 / U5 Karlsplatz (Stachus) im Bereich Lenbachplatz. Anschließend verläuft die Trasse in östlicher Richtung unterhalb der Maxburgstraße und Löwengrube, passiert nördlich die Frauenkirche und erreicht den Haltepunkt Marienhof nördlich des Rathauses. Im Bereich des Haltepunktes werden die beiden Röhren der U-Bahnlinie U3 / U6 unter der Weinstraße und Dienerstraße unterquert. Nach der Ausfahrt aus dem Haltepunkt schwenkt die Trasse Richtung Norden, unterquert weitere Gebäude um anschließend unterhalb der Maximilianstraße zu verlaufen. Anschließend schwenkt die Trasse leicht in südöstliche Richtung und erreicht westlich des Praterwehrs die Planfeststellungsgrenze zum PFA 3.

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 2 stehen ab der Geländeoberfläche in der Regel zunächst geringmächtige Decklagen, überwiegend aus Humus und Verwitterungsschichten oder teils mehrere Meter dicke künstliche Auffüllungen an. Der PFA 2 befindet sich vollständig im Bereich einer etwa zwischen Hauptbahnhof und Isar liegenden Flussterrasse auf der nacheiszeitlicher Kies teilweise über fluvioglaziale eiszeitlichem (Hochterrasse und Niederterrasse) Quartärschotter der Münchner Schotterebene anstehen, wobei die Kiese bis in Tiefen zwischen ca. 3 m und 8 m reichen. 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. 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 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 schar-

fen 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 grundsätzlich eine Trennung zwischen einem oberem 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 den quartären Grundwasserspiegel insbesondere um den Marienplatz häufig schon bei mittleren Grundwasserständen überragen und dann im Quartäraquifer umströmt werden. Die Grundwasserfließrichtung folgt dem großräumigen Gefälle der Geländeoberfläche nach N bis NO, wobei in Isarnähe eine Beeinflussung durch den jeweiligen Flusswasserstand vorliegt. Die Grundwasserfließrichtung weist bei Isarhochwasser nach NW von der Isar weg, ansonsten nach NO auf die Isar zu.

Auch die tertiären Schichten sind grundwasserführend. In von feinkörnigen Schichten überdeckten Sanden wird gespanntes Grundwasser angetroffen, dessen Druckwasserspiegel großräumig etwa bis zur Höhe des Quartärwasserstands zu erwarten ist. Durch die Wechsellagerung von durchlässigen Sand-schichten mit schwach bis sehr schwach durchlässigen Ton-/Schluffschichten kann im Tertiär auch eine Gliederung in mehrere Grundwasserstockwerke gegeben sein, wobei die tieferliegenden Aquifere teils geringere Potentiale aufweisen als die Höheren.



### **3.3 Altlastenverdachtsflächen, weitergehende chemische Gutachten**

Im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Sanierungsmanagement (F.FRS-S) wurden im Rahmen eines 4-Stufen-Programms sämtliche Bahnliegenschaften hinsichtlich vorhandener ökologischer Altlasten untersucht.

Da sich in diesem Planfeststellungsabschnitt keine Bahnliegenschaften befinden wurde in diesem Bereich noch keine Untersuchungen durchgeführt. Weitergehende chemische Gutachten liegen seitens der DB AG nicht vor.

### **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 im Bereich der 2. SBSS im PFA 2 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**

entfällt



Aus den Lageplänen der Anlagen 18.3 ist die Lage der Bohrungen zur geplanten 2. SBSS ersichtlich.

Die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen sind - schematisiert vereinfacht dargestellt - in den Schnitten der Anlagen 18.4 höhenbezogen eingezeichnet.

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 der Rettungsschächte wurden je 3 bis 5 Bohrlochrammsondierungen BDP pro Bohrung (ehem. Standard-Penetration-Test SPT) nach DIN 4094-2 (insgesamt 27 Stück im PFA 2) 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. 22 m bis 45 m unter GOK insgesamt 16 Bohrlochaufweitungsversuche nach DIN 4094-5 durchgeführt. 13 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 der Schächte 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 14 Durchlässigkeitsversuche (9 Auffüllversuche im Bohrloch und 5 Auffüllversuche in GWM) durchgeführt.

In quartären Bodenschichten wurden aufgrund der bekanntermaßen überwiegend hohen Durchlässigkeiten und der damit verbundenen Erfordernis der Abdichtung der Baugrubenumschließungen im PFA 2 gegen quartäres Grundwasser 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

Im PFA 2 wurden keine Rammsondierungen durchgeführt.

### 5.2.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

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

Anzahl	Versuch	DIN
200	Visuelle Beurteilung	4022
170	Visuelle und manuelle Beurteilung	
95	Wassergehalt (Ofentrocknung)	18121-1
245	Gesamtprobe Gesamtprobe 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
62	Einaxiale Druckfestigkeit mit Verformungsmessung	in Anlehnung an 18136 und Empfehlung 1 des Arbeits- kreises 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

Bei Bohrungen, die im Bereich einer geplanten offenen Bauweise liegen, wurden Proben aus der anthropogenen Auffüllung auf die Parameter nach LAGA im Original und im Eluat untersucht. Zusätzlich wurden 4 von TUM-ZG ausgewählte Proben aus dem Tertiär auf geogene Schwermetallgehalte analysiert. Beide Untersuchungen fanden im Hinblick auf die Materialverwertung /-entsorgung statt.

Im Bereich von Rettungsschacht 5 wurde keine anthropogene Auffüllung erbohrt. Im Bereich Hp Marienhof wird die Auffüllung auf Grund eines erhöhten Zinkgehalts in LAGA Z 1.1 eingestuft. Beim geplanten Rettungsschacht 6 wurden keine

erhöhten Schadstoffgehalte festgestellt. Hier kann die Auffüllung als Z 0 -Material verwertet werden.

Bei den Tertiärproben wurde einmal im Eluat ein Arsengehalt gemessen, der eine Einstufung nach Z 1.2 notwendig macht. Die übrigen 3 Proben lagen unter Z 0.

## **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 Wässer, Böden und Gase) entnommen und nach dem Referenzverfahren untersucht. Hierzu liegen vier Proben im PFA 2 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

Schwach humose bis humose Oberböden wurden nur lokal und in sehr geringer Mächtigkeit angetroffen.

Die Auffüllungen sind über die gesamte Strecke bis in Tiefen zwischen ca. 2,0 m bis 6,8 m unter GOK erkundet worden. Sie weisen eine unterschiedliche Zusammensetzung aus sandigen, teilweise auch schluffigen Kiesen auf und enthalten z.T. Steine, Beton-, Ziegel-, Holz-, Metall- und Asphaltreste. Teilweise wurden



auch Bauwerksreste (Ziegelmauerwerk bzw. Betonfundamente) erkundet. Feinkörnige Auffüllungen waren nur bei Bohrung 2 S-7/S01 enthalten.

Die Auffüllungen sind aufgrund ihrer meist lockeren Lagerung bzw. ihrer geringen Konsistenz nur wenig tragfähig. Sie eignen sich nicht zur verformungsarmen Abtragung von konzentrierten Fundamentlasten. Bei Abgrabungen ist eine kurzzeitige Standfestigkeit nur bedingt gegeben. Alte Bauwerksreste können beim Aushub bzw. bei der Herstellung der Baugrube zu Erschwernissen führen.

### **6.1.2 Quartäre bindige Deckschichten / Schicht II**

Im PFA 2 wurden keine quartären bindigen Deckschichten erkundet.

### **6.1.3 Quartäre Kiese / Schicht III**

Die quartären Kiese sind über die gesamte Strecke bis in Tiefen zwischen ca. 6,5 m unter GOK im Westen, ca. 3,0 m im Mittelteil (Bereich Marienhof) und ca. 7,5 m unter GOK im Osten des PFA 2 erkundet worden. Bei den quartären Kiesen wechseln sich unterschiedlich stark sandige, unterschiedlich stark schluffige Lagen mit fast sand- und schlufffreien Lagen ab. Überwiegend handelt es sich um schwach schluffige, 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 bedeutsam, jedoch in den Bohrproben infolge der mechanischen Beanspruchung beim Bohrvorgang teilweise nicht erkennbar sind angewitterte und verwitterte Schotter, die mitunter in den älteren Schottern der Hochterrasse in Mächtigkeiten von Zentimetern bis Dezimetern auftreten können. Diese bestehen überwiegend aus stark verwitterten Kalk- und Dolomitsteingeröllen, die bei Beanspruchung zu Feinsand und Schluff zerfallen.

Steine größer 63 mm Korndurchmesser sind in den untersuchten Kiesen bereichsweise enthalten. Blöcke mit mehr als 200 mm Korndurchmesser sind erfahrungsgemäß nur sehr vereinzelt anzutreffen. Eine Verfestigung der Quartärkiese zu Konglomerat (Nagelfluh) ist in München häufiger anzutreffen, 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. Da solche Schichten im PFA 2 nicht erkundet wurden, wird ihnen insgesamt eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Weiterhin treten im Übergangsbereich zum Tertiär häufiger in der Quartärzeit umgelagerte tertiäre Sande, Schluffe oder Tone auf, die dann mit den quartären Kiesen vermischt sind. Diese Schichten können Wasser aufstauen und weisen in der Regel eine nur mittlere Lagerungsdichte bzw. eine steife, teils auch weiche Konsistenz auf. Sie sind im Vergleich mit den quartären Kiesen stärker zusammendrückbar und geringer scherfest.

Aufgrund örtlicher Erfahrungen und der Ergebnisse der Rammsondierungen BDP (Abschnitt 5.2), die bis in Tiefen von 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. 3,0 bis 7,5 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 mög-

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

Tab. 6.1: Tabellarische Beurteilung der quartären Kiese

#### 6.1.4 Tertiäre Schluffe und Tone / Schicht IV

Bei den im gesamten Untersuchungsgebiet ab ca. 3,0 m bis 7,0 m unter GOK bis in große Tiefen in Wechselfolge mit tertiären Sanden anstehenden feinkörnigen tertiären Böden handelt es sich überwiegend um mittelplastische bis ausgeprägt plastische, seltener leicht plastische Tone oder schluffige Tone. Seltener treten tonige Schluffe oder Schluffe mit wechselndem Sandanteil (meist Fein- bis Mittelsand) auf. Die feinkörnigen Tertiärschichten besitzen überwiegend eine halbfeste 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 Tonen mit hohem Kalkanteil bzw. Kalkausfällungen (Konkretionen) treten insbesondere im Bereich des ersten und letzten Drittels des PFA 2 in den Bohrungen teilweise auch karbonatisch verfestigte Tone und Schluffe auf, die in den Bohrungen als „Tonsteine“, „Schluffsteine“ und „Mergelsteine“ angesprochen wurden. Sie wurden im unmittelbaren Vortriebsbereich der Tunnelröhren mit Dicken bis zu ca. 0,6 m erkundet (z.B. Bohrungen 2S-6/S02, 2S-6/03 und 2S-7/S03 bis 2S-7/S05). Diese Festgesteine weisen erfahrungsgemäß einaxiale Druckfestigkeiten von über 5 MN/m<sup>2</sup> 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 unterschieden 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 2 wurden zwischen den Bohrungen 2S-6/01 und 2S-6/S03 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 bis ca. den 100-fachen Wert erreichen.
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (DIN 18196)	groß bis mittel
Frostempfindlichkeit (DIN 18196) / Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB 94/97)	UL, UM, TL, TM Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich) TA Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich)
Baugrund für Gründungen (DIN 18196)	geeignet bis sehr gut geeignet

Tab. 6.2: Tabellarische Beurteilung der tertiären Schluffe und Tone

### 6.1.5 Tertiäre Sande / Schicht V

Die tertiären Sande wurden unterhalb ca. 6 m bis 11 m unter GOK im PFA 2 erkundet und können als eigenständige wasserführende Schichten oder innerhalb

der tertiären Tone als geschlossene Linsen 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 Nebengemengteile (z.B. 2S-6/01) 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 2 wurden im Vortriebsbereich keine Sandsteine erkundet. Weiterhin treten in den tertiären Sanden häufiger Feinkornlagen auf. Seltener treten auch reine Fein- bis Mittelkieslagen auf (im PFA 2 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 ("Fließeisande"). Sie sind stark erosionsempfindlich und verhalten sich bei höheren Feinkornanteilen auch stark wasserempfindlich. Sie können an der Oberfläche bei dynamischer Beanspruchung und Wasserzutritt durch Anstieg des Porenwasserdrucks von einem dichten Zustand in einen fließenden Zustand übergehen und sind dann als Erdbaustoff oder für eine Lastabtragung ungeeignet.

Weitere Eigenschaften der tertiären Sande sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Schicht / tertiäre Sande	Bezeichnung
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

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

Tab. 6.3: Tabellarische Beurteilung der tertiären Sande

## 6.2 Geotechnische Streckenabschnitte / Bodenschichtung

Der PFA 2 wurde nach geotechnischen und bautechnischen Kriterien in drei Abschnitte unterteilt:

- Bau-km 105,9+96 – 106,4+00
- Bau-km 106,4+00 – 107,0+00
- Bau-km 107,0+00 – 107,8+53

In Anlage 18.3 sind die Streckenabschnitte dargestellt und im geotechnischen Bewertungsband (Anlage 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. Bei ca. Bau-km 106,0+40 wird der unterirdisch verlaufenden Westliche Stadtgrabenbach und bei ca. Bau-km 107,7+60 der unterirdische Fabrikbach/Eisbach unterfahren. Außer diesen zwei in Betrieb befindlichen Bächen quert die Trasse zwischen Westlichem Stadtgrabenbach und Isar noch zehn weitere, aufgelassene und verfüllte ehemalige Stadtbäche [U10].

### 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 Abschnitt 6.1.3) besitzt in der Regel eine geschlossene Grundwasseroberfläche. Lediglich im Bereich des Marienhofs überragt die Tertiäroberfläche den Grundwasserspiegel.



Der Quartäraquifer ist vom ersten Tertiäraquifer lediglich etwa zwischen Bau-km 106,3+50 und Bau-km 107,0+00 durch eine feinkörnige Zwischenschicht hydraulisch getrennt. Sonst befindet sich unter dem Quartärkies ein etwa 2 m bis 10 m mächtiger Tertiärsand (Tertiäre Sande, Schicht V gemäß Abschnitt 6.1), womit dort ein gemeinsamer Q/T-Aquifer ohne hydraulisch wirksame Trennung vorliegt. Die oberste Tertiärsandschicht ist nach den Aufschlüssen voraussichtlich bis auf die letzten Meter des PFA 2 durchgehend vorhanden. Zwischen etwa Bau-km 106,2+00 und Bau-km 107,4+00 wurde ein zweiter, voraussichtlich flächig zusammenhängender Tertiäraquifer erkundet, dessen Schichtoberfläche bei einer Mächtigkeit bis 15 m zwischen etwa 500 müNN und 495 müNN liegt. Unterhalb von Koten zwischen etwa 483 müNN und 478 müNN folgt ab ca. Bau-km 107,0+00 zunächst in Einzelschichten aufgelöster und ab ca. Bau-km 107,4+00 voraussichtlich flächig zusammenhängender dritter Tertiäraquifer mit etwa 6 m bis 8 m Mächtigkeit. Nur mit den tieferen Bohrungen des PFA 2 wurde ein vierter Tertiäraquifer unterhalb 472 müNN bis 467 müNN 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.

Die Tunnelsohle verläuft überwiegend zwischen dem zweiten und dritten Tertiäraquifer im Grundwasserhemmer und schneidet zwischen etwa Bau-km 107,0+80 und 107,3+00 sowie von etwa Bau-km 107,3+20 bis zum Ende des PFA 2 den dritten Tertiäraquifer an. Etwa zwischen Bau-km 107,5+00 und Bau-km 107,6+00 verläuft die Firste an der Grenze zum zweiten Tertiäraquifer. Es wird davon ausgegangen, dass alle nicht durch Grundwasserentnahmen unmittelbar beeinflussten Tertiäraquifere im Tiefenbereich des Tunnels grundwassergesättigt und gespannt sind. Der Quartäraquifer ist von den tertiären Sanden, die vom Tunnel angeschnitten werden nach den Aufschlüssen durch eine feinkörnige Zwischenschicht hydraulisch getrennt. Die hydraulische Wirkung der Trennschicht kann durch tiefreichende Bauwerke oder im Boden verbliebene, nicht ausreichend abgedichtete tiefe Brunnen geschwächt oder örtlich aufgehoben sein.

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. Für den der Isar angrenzenden Bereich wird von Grundwasserständen in Höhe der jeweiligen Isarstände ausgegangen. In den gespannten, mächtigen Tertiäraquiferen wurden bis ca. Bau-km 107,2+00 gegenüber dem Quartäraquifer niedrigere Potentiale bestimmt, was wahrscheinlich mit Grundwasserentnahmen aus tiefliegenden Tertiäraquiferen zusammenhängt. Für die Stichtagsmessung in der 36. KW 2004 stellt sich die Situation folgendermaßen dar:

Messstelle		GOK	OK	Aquifer	G / u. O		
		[mm]	[müNN]	Messstelle	[m u. GOK]	[m]	[müNN]
2 S-6/01	Q/T	50	518,99	518,94	bis 14,2	6,49	512,45
	T2	125		518,84	33,7 bis 36,4	18,07	500,77
	T3	50		518,80	54,3 bis > 54,0	18,15	500,65
2 S- 6/03	T1	50	516,30	516,22	6,0 bis 15,5	5,74	510,48
	T2	50		516,16	26,8 bis 35,0	18,83	497,33
	T3	125		516,10	53,5 bis >58,0	14,58	501,52
2 S-6/04	T1	50	517,15	517,07	21,3 bis 30,1	21,79	495,28
	T2	125		517,02	32,5 bis 37,2	21,39	495,63
	T3	50		516,96	50,9 bis 58,0	16,47	500,49
2 S-6/06	T1	50	515,39	515,31	6,3 bis 12,8	10,43	504,88
	T2	50		515,26	26,0 bis 31,1	18,59	496,67
	T3	125		515,17	49,2 bis 54,6	14,55	500,62
2 S-7/02	Q/T	50	512,94	512,85	bis 11,3	5,46	507,39
	T2	50		512,81	19,0 bis 26,1	5,44	507,37
	T3	125		512,80	33,5 bis 39,7	11,99	500,81
	T4	50		512,84	45,5 bis >47,0	12,79	500,05
2 S-7/04	Q/T	50	512,61	512,53	bis 14,4	5,95	506,58
	T2	125		512,46	31,5 bis 36,3	4,70	507,76

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 ist vom jeweiligen Grundwasserstand abhängig und verläuft im PFA 2 nach Norden bis Nordosten wobei die Fließrichtung im Quartäraquifer, besonders bei niedrigen Ständen, stark vom Verlauf der Tertiäroberfläche und der Umströmung von in das Grundwasser reichenden Bauwerken beeinflusst ist. Die Fließrichtung wird durch Grundwasserentnahmen und Wiedereinspeisungen örtlich zusätzlich verändert. Bei sehr hohem Grundwasserstand liegt nach Ostnordosten strömendes Grundwasser mit einer bis auf den Bereich des Marienhofes geschlossenen Oberfläche vor. Aus den Isohypsenplänen ([U9] und Anlage 18.3) ergeben sich Anströmwinkel zwischen Tunnellängsachse und Grundwasserströmung zwischen etwa 15° und 60°. Das natürliche Grundwassergefälle des Quartäraquifers im PFA 2 geht aus Unterlage [U9] mit  $i = 0,003$  bis  $0,005$  hervor. Die Messung vom 31.08.2004 ergab unter Annahme einer nach Nordosten gerichteten Strömung ein Gefälle von  $i = 0,005$ .

### 7.3.4 Durchlässigkeitsverhältnisse

Die nachstehend aufgeführte Bandbreite für die Wasserdurchlässigkeit ist unter Berücksichtigung der durchgeführten Versuche und anhand von Erfahrungswerten angegeben (vgl. auch Angaben im Längsschnitt Anlage 18.4). Die Werte  $k_{\text{mittel}}$  werden für die überschlägige Berechnung von Grundwasserfördermengen sowie zur Ermittlung der im Aquifer strömenden Wassermenge empfohlen. Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_{\text{sick}}$  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.

	Quartärs Kies	Tertiärsand	Wasserverfugung 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 $k_{\text{mittel}}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	$\leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s
Grundwasserversickerung $k_{\text{sick}}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s	$2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	nicht möglich

Tab. 7.2: Durchlässigkeitsbeiwerte für Grundwasserförderung und -versickerung

## 7.4 Bemessungswasserstände

### 7.4.1.1 Allgemeines

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

Zur statistischen Absicherung der für die geplante 2. S-Bahn Stammstrecke festzulegenden Bemessungswasserstände und im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bemessung der Bauwerke, wurden von TUM-ZG zusätzlich die Daten aus langjährigen Grundwasserbeobachtungen von 17 Grundwassermessstellen längs der Trasse (PFA 1 bis PFA 3) statistisch analysiert [U11].

### 7.4.2 Bauzustand

Als Bemessungswasserstände für den Bauzustand  $HW_{\text{Bau}}$  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  $HW_{\text{Bau}}$  längs der Strecke ist im Längsschnitt der Anlage 18.4 dargestellt.

### 7.4.3 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  $HW_{\text{End}}$  der höhere dieser beiden Werte - statistisch ermitteltes  $HW_{200}$  oder rekonstruierter Hochwasserstand  $HW_{1940} + 0,3 \text{ m}$  - empfohlen. Die Höhenlage des  $HW_{\text{End}}$  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**

entfällt

## 9 Folgerungen für die Baumaßnahmen Tunnelstrecken

### 9.1 Haltepunkte in offener Bauweise

#### 9.1.1 Gründungen

Der Bereich **Haltepunkt Marienhof** von Bau-km 106,7+17 bis Bau-km 106,9+27 liegt nördlich des Rathauses. Der in offener Bauweise zu erstellende zentrale Bereich wird durch die Weinstraße im Westen, die Dienerstraße im Osten und die Schrammerstraße im Norden begrenzt.

Auf einer Gesamtfläche von ca. 100 m x 70 m ist zunächst eine ca. 6 m tiefe Baugrube als Voraushubebene geplant, die nachfolgend als "hoch liegende Baugrube Marienhof" bezeichnet wird. Anschließend wird im westlichen Bereich der hoch liegenden Baugrube eine ca. 50 m x 60 m große und 36,5 m (bzw. 42,5 m ab GOK) tiefe Baugrube hergestellt, die nachfolgend als "tief liegende Baugrube Marienhof" bezeichnet wird. Sie wird in Deckelbauweise erstellt.

Im östlichen Bereich der hoch liegenden Baugrube sind drei Treppenhäuser als Schachtbauwerke mit Abmessungen von ca. 20 m x 12 m (nördlich der Trasse), 12 m x 12 m (Bahnsteigmitte) und 18 m x 14 m (südlich der Trasse) geplant. Sie reichen bis in eine Tiefe von ca. 42,5 m unter GOK .

Abschließend wird der noch nicht bebaute Bereich der hoch liegenden Baugrube tiefer geführt, um das Sperrengeschoss auf der Gesamtfläche herstellen zu können.

An den in offener Bauweise zu erstellenden Bereich schließen westlich und östlich die Bahnsteigbereiche, östlich drei Schrägschächte und südlich ein Verbindungsstollen zu der U-Bahn-Station U3/U6 an, die bergmännisch aufgefahren werden (siehe Abschnitt: 9.3).

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

	Maßgebliche Koten (in müNN)		
	hoch liegende Baugrube (Vor- / Einbaushub)	tief liegende Baugrube	Schachtbauwerke
Kilometrierung	ca. 106,7+70 bis 106,8+75	ca. 106,7+74 bis 106,8+34	ca. 106,8+55 bis 106,8+75
Abschnittslänge	ca. 100 m	ca. 60 m	ca. 12 m bis 20 m
Bauwerksbreite	ca. 70 m	ca. 50 m	ca. 12 m bis 18 m
Baugrubensohle unter GOK	ca. 6,0 m / 9,0 m	42,5 m bis 43,0 m	42,5 m bis 43,0 m
Eintauchtiefe in HW <sub>Bau</sub>	0,0 m / 2,0 m bis 3,0 m	37,0 m (Sohle) bzw. ca. 43,0 m (inkl. Verbauwand)	37,0 m (Sohle) bzw. ca. 43,0 m (inkl. Verbauwand)
Gradientenhöhe ca.	-	477,0	477,0
Geländehöhe ca.	515,5 bis 516,5	515,5 bis 516,0	516,0
OK Bauwerk ca.	515,0	515,0	516,0
Baugrubensohle ca.	510,0 / 507,0	472,5	472,5
HW <sub>Bau</sub>	509,0 bis 510,0	509,0 bis 510,0	509,0 bis 509,3
HW <sub>End</sub>	510,5 bis 511,50	510,5 bis 511,50	510,5 bis 510,8
OK Tertiär	ca. 512,5	ca. 512,5	ca. 512,5
OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 512,5	ca. 512,5	ca. 512,5

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

Die planmäßige Voraushubsohle der hoch liegenden Baugrube liegt bei einer geplanten Aushubtiefe von ca. 6 m unter GOK im Übergangsbereich zwischen den tertiären Tonen und Schluffen und den tiefer liegenden tertiären Sanden.

Bei der tief liegenden Baugrube (Herstellung in Deckelbauweise) liegt die Gründungssohle jeweils 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.

Hinsichtlich der Herstellung der Schachtbauwerke siehe Abschnitt 9.3.1.

### 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 (z.B. 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 hoch liegenden Baugrube die Horizontalkraftabtragung über Verpressanker und bei der tief liegenden Baugrube über die aussteifenden Decken und Wände erfolgt.

Die Herstellung des Bauwerks bzw. der Baugrube "tief liegende Baugrube Marienhof" 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
hoch liegende Baugrube (Voraushubniveau)	Variante 1, 2 und 3	keine
hoch liegende Baugrube (Sperrgeschoss)	Variante 2	keine (Tiefenbereich muss durch die Wasserhaltung für die tiefliegende Baugrube bereits entwässert sein – sonst Variante 3)
tief liegende Baugrube	Variante 4 in Deckelbauweise	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 tief liegenden Baugrube Marienhof 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.

**Haltepunkt Marienhof:**

Anschließende Nachbarbauwerke sind in erster Linie die beiden U-Bahnrohren und der U-Bahnhof Marienplatz, Verkehrsflächen sowie die Gebäude an allen angrenzenden Straßen. Die Abstände zwischen dem erforderlichen Baugrubenverbau und den Nachbaranlagen variieren voraussichtlich zwischen ca. 4 m und 5 m bei den U-Bahnrohren und von ca. 10 m bis 15 m zu den angrenzenden Gebäuden.

**9.2 Tunnel und Haltepunkte in geschlossenen Bauweisen**

**9.2.1 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)	
	Maschinelle Tunnelvortriebe im Tertiär	
	westlich Hp Marienhof	östlich Hp Marienhof
Kilometrierung (Bau-km)	105,9+96 bis 106,7+17	106,9+27 bis ca. 107,8+53
Abschnittslänge	je Röhre ca. 721 m	je Röhre ca. 926 m
Bauwerksbreite ca.	je Röhre ca. 9,2 m	je Röhre ca. 9,2 m
UK Bauwerk unter GOK	42,5 bis 45,0	33,0 m bis 42,5 m
Eintauchtiefe in HW <sub>Bau</sub> (Tunnelsohle)	35,5 m bis 40,0 m	34,5 m bis 26,7 m
Gradientenhöhe ca.	475,1 bis 477,0	477,0 bis 482,7
Geländehöhe ca.	516,0 bis 520,2	512,5 bis 516,0
OK Bauwerk ca.	482,1 bis 484,0	484,0 bis 489,7
Gründungssohle ca.	472,6 bis 474,5	474,5 bis 480,2
HW <sub>Bau</sub>	513,8 bis 509,8	508,8 bis 506,9
HW <sub>End</sub>	514,4 bis 511,3	510,4 bis 507,7
OK Tertiär	510,1 bis 512,4	512,4 bis 504,5
OK 1. GW-Stauer (feinkörniges Tertiär)	504,8 bis 512,4	512,4 bis 498,2

Tab. 9.3: Maßgebliche Koten für die maschinellen Tunnelvortriebe

Aufgrund der großen Länge der Tunnelvortriebe im innerstädtischen Bereich ist ein Schildmaschinenvortrieb vorgesehen. Bei der endgültigen Wahl des Vor-

triebskonzepts spielen neben rein bodenmechanischen und geotechnischen Fragestellungen auch weitere Aspekte wie beispielsweise zur Bauleistungs-, Wirtschaftlichkeit, Maschinentechnik oder die Beeinflussung Dritter eine maßgebliche Rolle.

Hinsichtlich der Vortriebskonzeption ist die generell 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 Vortriebsabschnitte im gegenständlichen Planfeststellungsabschnitt 2 liegen vollständig im Tertiär. Die Vortriebsstrecke wird hinsichtlich der erwarteten Bodenschichtung an der Ortsbrust in nachfolgende Bereiche untergliedert:

Tunnelbereich von Bau-km bis Bau-km	Bodenschichtung
105,9+96 bis 106,4+00	überwiegend tertiäre Tone und Schluffe mit tertiären Sandlinsen; verbreitet Festgesteinslagen geringer Mächtigkeit, am Abschnittsanfang tertiäre Sande über der Firse
106,4+00 bis 107,0+00	tertiäre Tone und Schluffe überwiegen, tertiäre Sande vorwiegend im Firstbereich, Festgesteinslagen geringer Mächtigkeit möglich
107,0+00 bis 107,8+53	tertiäre Tone / Schluffe sowie tertiäre Sande, die vorwiegend im Sohlbereich auftreten, verbreitet Festgesteinslagen geringer Mächtigkeit

Tab. 9.4: 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 Vortriebsmaschine) über eine unter Druck stehende Stützflüssigkeit. Als Stützflüssigkeit wird in der Regel eine Wasser – Bentonit-Suspension verwendet.

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

Bei der Druckluftstützung wird durch Beaufschlagung des Abbaubereichs der Schildmaschine mit Druckluft bei einer entsprechenden auf den Wasserdruck abgestimmten Druckhöhe das Wasser von der Ortsbrust aus den Poren des anstehenden Bodens weggedrückt. Die Strömung von der Ortsbrust weg erzeugt eine gewisse Strömungskraft im Boden, die zusätzlich die Ortsbrust stützen kann. Bei Vorliegen geschlossener Sandlinsen in Tonschichten ist jedoch ein Abströmen von Luft nicht möglich. Daher sind für diesen Fall Brunnen im Bereich der geschlossenen Sandlinsen erforderlich, mit Hilfe derer die Druckluft planmäßig abfließen kann.

### **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 För-

derbändern 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 Boden eingesetzt. Zum Einsatz kommen dabei Grobrechen, Siebe, Zykclone und Zentrifugen und / oder - Filterpressen. Die Stützflüssigkeit ist ggf. nach Aufbereitung wieder verwendbar.

Zur Entwässerung können Flockungsmittel zum Einsatz kommen, deren Umweltverträglichkeit nachgewiesen werden muss. Die Entsorgung des Restwassers kann nach ausreichender Klärung und gegebenenfalls nach Vorschalten einer Neutralisationsanlage in den quartären Kiesen wieder versickert werden.

Bei der Trockenförderung wird sich hingegen der geförderte Boden überwiegend im erdfeuchten Zustand befinden, so dass hier keine gesonderte Separierung erforderlich ist. Allenfalls wird entsprechend des Wassergehalts des geförderten Bodens eine Nachbehandlung des Bodenmaterials für die endgültige Ablagerung unter Zusatz von Bindemitteln wie Kalk erforderlich werden.

### **9.2.2 Spritzbetonvortrieb**

In folgenden Bereichen ist ein Spritzbetonvortrieb vorgesehen:

- Im Bereich des Haltepunktes Marienhof:  
östlicher und westlicher Teil der Bahnsteigtunnel, Verbindungsstollen von der Verteilerebene zu der U-Bahn-Station U3/U6, 3 Schrägschächte von der Verteilerebene in der tief liegenden Baugrube des Haltepunktes zu den östlich gelegenen Vertikalschächten, sowie Rettungsstollen zur Entfluchtung der Bahnsteigenden
- Verbindungsstollen zu den Rettungsschächten (s. Abschnitt 9.3.1)

Für die vorgenannten Streckenabschnitte sind die maßgeblichen Koten im Höhensystem müNN (gerundete Werte) zusammengefasst.

	Maßgebliche Knoten (in m <sub>NN</sub> )	
	Haltepunkt Marienhof	
	westl. Bereich	östl. Bereich
Kilometrierung (Bau-km)	106,7+17 bis 106,7+73	106,8+34 bis 106,9+27
Abschnittslänge	ca. 56 m	ca. 93 m
Bauwerksbreite ca.	32,0	32,0
UK Bauwerk unter GOK	ca. 42,5 m	ca. 42,5 m
Eintauchtiefe HW <sub>Bau</sub>	ca. 36,5 m	ca. 35,8 m
Gradientenhöhe	477,0	477,0
Geländehöhe	516,0	516,0
OK Bauwerk	486,0	486,0
UK Bauwerk	473,5	473,5
HW <sub>Bau</sub>	509,5 bis 510,0	509,0 bis 509,3
HW <sub>End</sub>	511,0 bis 511,5	510,5 bis 510,8
OK Tertiär	ca. 512,5	ca. 512,5
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	ca. 512,5	ca. 512,5
Vorherrschende Bodenarten	tertiäre Tone und Schluffe überwiegen, tertäre Sande vorwiegend im Firstbereich, Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich	tertiäre Tone und Schluffe überwiegen, tertäre Sande vorwiegend im Firstbereich, Festgesteinslagen in geringer Mächtigkeit möglich

Tab. 9.5: Maßgebliche Knoten für den Bereich Haltepunkt Marienhof

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

- 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 Schicht vorhanden ist, kann in nicht setzungemp-

findlichen 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 eine Entspannungswasserhaltung in den tertiären Sanden erforderlich werden. Sie muss dabei so tief reichen, dass durch den Wasserdruck in den tertiären Sanden unterhalb der Vortriebe kein Sohlaufbruch bzw. hydraulischer Grundbruch entstehen kann. Durch die Entspannungswasserhaltung müssen weiterhin geschlossene Sandlinsen im Ton 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 erfolgen 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

### **Haltepunkt Marienhof**

Ausgehend von den Umschließungswänden der tief liegenden Baugrube soll der Haltepunkt Marienhof über eine Länge von ca. 56 m bzw. 93 m in bergmännischer Spritzbetonbauweise mit Druckluftstützung und vorauseilender Tertiärwasserentspannung aufgefahren werden. Es sind zwei parallel angeordnete Tunnelröhren für die Gleise und Bahnsteige mit einem Querschnitt von jeweils ca. 140 m<sup>2</sup> (Bahnsteigröhren) geplant.

In unmittelbarer Nähe zum bergmännisch vorgetriebenen Haltepunkt Marienhof sind diverse Rettungsstollen mit Ausbruchdurchmesser ca. 5 m vorgesehen. Von der tief liegenden Baugrube Marienhof wird nach Süden ein insgesamt ca. 90 m langer Verbindungsstollen zu den U-Bahnlinien U3/U6 hergestellt .

Zudem werden von der Verteilerebene des Haltepunktes Marienhof drei ca. 30 m lange und ca. 6 m breite Schrägschächte für Rolltreppen zwischen der Verteilerebene und den östlich gelegenen Vertikalschächten vorgetrieben.

Alle diese Vortriebe sollen in Spritzbetonbauweise mit Druckluftstützung aufgefahren werden. Zur Reduzierung des erforderlichen Luftdruckes auf ein bauverträgliches Maß ist jeweils eine Entspannungswasserhaltung im Tertiär zur Verminderung des Wasserdruckes erforderlich.

Zur jeweiligen Anbindung an den Bestand sind ggf. zusätzliche abdichtende Maßnahmen (Vereisung) bzw. zusätzliche Wasserhaltungsmaßnahmen (Drän-elemente, Vakuumlanzen) vorgesehen.

### **9.2.3 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 entscheidend von deren Durchlässigkeit sowie vom Schichtaufbau im Tertiär (Schichtdicke und -häufigkeit der tertiären Sande) abhängig und ist fallweise zu betrachten. Je nach Schichtung und Durchlässigkeit der tertiären Sande werden zusätzlich Brunnen mit Vakuumunterstützung bzw. Vakuumlanzen erforderlich.

#### **9.2.4 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:

- Reduzierung von 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. Bohrungen für die Hebungsinjektionen werden von Vertikalschächten oder von in Spritzbetonbauweise oder als Rohrpressungen hergestellten Horizontalstollen aus durchgeführt. Durch ein umfangreiches Mess-

programm können die im Zuge des Vortriebs entstehenden Setzungen festgestellt und durch weitere Injektionen ausgeglichen werden.

Hebungsinjektionen und Schirmgewölbesicherungen sind oberhalb der in bergmännischer Bauweise geplanten Abschnitte des Haltepunktes Marienhof vorgesehen.

### 9.3 Schächte und Stollen

Im PFA 2 sind 2 Rettungsschächte angeordnet. Sie bestehen aus vertikalen Schächten, die mit den Tunneln durch Stollen verbunden sind.

	Maßgeblich: Koten (in m ü NN)	
	RS 5	
Kilometrierung (Bau-km)	106,2+18	107,5+27
Geländehöhe	518,8	512,7
HW <sub>Bau</sub>	513,0	507,1
HW <sub>End</sub>	513,9	508,4
OK Tertiär	511	505,0
OK 1.GW-Hemmer (feinkörniges Tertiär)	509	498,2 bis 503,6
Tertiäraquifere gemäß nächsten Aufschlüssen unter GOK] ca.	6,8 – 9,0 16,8 – 18,8 19,9 – 22,0 36,7 – 36,9 47,7 – 54,0	7,6 – 14,4 18,7 – 19,1 25,6 – 26,3 31,5 – 36,3
Summe Aquifere/ Endtiefe	13 54	13 43
<b>Rettungsschacht</b>		
Außendurchmesser	ca. 10 m	ca. 10 m
Tiefe BGS ca.	44 m	23 m
Tiefe mit Verbau ca.	44 m	24 m
UK-Bauwerk ca.	474,8	488,7
Eintauchtiefe HW <sub>Bau</sub>	ca. 38,2 m	ca.18,4
<b>Stollen ab Schacht</b>		
Außenabmessungen		4,5 m x 4 m
Länge		ca. 25 m
Oberkante		ca. 494
Unterkante		489,5
<b>Stollen</b>		
Außenabmessungen	4,5 m x 4 m	4,5 m x 4 m
Länge	ca. 15 m	ca. 21 m mit Gefälle < 30°, ca. 28 m mit Längsneigung < 10 %
Oberkante	ca. 479	ca. 494
Unterkante	ca. 475	ca. 478
<b>Anbindung Stollen/Tunnel</b>		
Außenabmessungen	4,5 m x 4,0 m	4,5 m x 4 m
Länge	ca. 2 x 5 m	je ca. 4 m

	Maßgebliche Höhen (in m <sub>üNN</sub> )	
	RS 5	RS 6
Oberkante	ca. 479	ca. 483
Unterkante	ca. 475	ca. 478

Tab. 9.6: Maßgebliche Koten für die Rettungsschächte

Weiterhin werden drei Vertikalschächte vom östlichen Bereich der hoch liegenden Baugrube Marienhof hergestellt. Die maßgeblichen Koten sind in Tab. 9.1 im Abschnitt 9.1.1 wiedergegeben.

### 9.3.1 Herstellung

#### **Schächte oberhalb der ersten feinkörnigen Tertiärschicht:**

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

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

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

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

#### **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.

### **9.3.2 Grundwasserhaltung**

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

- Bei allen Varianten ist zur Sicherheit gegen Sohlaufbruch bzw. hydraulischen Grundbruch eine Entspannung der Sande unterhalb der Schachtsohle vorgesehen.
- Bei dichten Baugrubenumschließungen mit großen Tiefen sind für die Reduzierung der horizontalen Kräfte auf die Verbauwand außerhalb der Baugrubenumschließung Brunnen zur Entspannung (Entspannungsziel entsprechend dem zulässigen Restwasserdruck) der tertiären Sande vorgesehen.
- Bei Schächten mit Spritzbetonauskleidung bzw. aufgelösten Bohrpfehlwänden sind Brunnen zur Entwässerung (Absenkziel unter jeweiligem Aushubzustand) der tertiären Sande außerhalb der Verbauwand vorgesehen, damit beim Anschneiden der tertiären Sande diese nicht mit dem Grundwasser in die Baugrube hineinfließen.

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

### **9.3.3 Beeinflussung bestehender Bauwerke**

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

### **9.4 Sonderbauwerke**

entfällt

### **9.5 Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial / Einbauklassen**

Im Planfeststellungsabschnitt 2 fallen insgesamt rund 497.200 m<sup>3</sup> Aushubmaterial (Festvolumen) an. Davon entfallen ca. 263.700 m<sup>3</sup> Festvolumen auf die Herstellung der S-Bahn-Station Haltepunkt Marienhof und ca. 4.800 m<sup>3</sup> Festvolumen auf den Neubau der beiden Rettungsschächte 5 und 6. Etwa 228.700 m<sup>3</sup> Festvolumen fallen durch die Herstellung der Fahrtunnel in bergmännischer Bauweise an. Dieses Ausbruchmaterial wird durch den bis dahin bereits aufgefahrenen Tunnelabschnitt im PFA 1 zur Angriffsbaugrube West transportiert.

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. 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.



## 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 zu Ableitungen von Sickerwasser der Tunnelstrecken im Endzustand sind in Anlage 12.1 enthalten.

### 10.2 Berechnungsmethoden

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

Zur Abschätzung der voraussichtlich zu fördernden Wassermengen wurden die in Abschnitt 7.3 angegebenen mittleren Durchlässigkeitsbeiwerte von  $k_{mittel}(q) = 5,0 \times 10^{-3}$  m/s im Quartärkies und von  $k_{mittel}(ts) = 5,0 \times 10^{-5}$  m/s im Tertiärsand angesetzt. Die durchgeführte Abschätzung von Wassermengen einer Tertiärentspannung liefert erfahrungsgemäß für den Anfang des Wasserhaltungsbetriebes realistische Größen. Bei lang andauernder 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 Wassermengen.

### 10.3 Schutzzonen im Einwirkungsbereich des Vorhabens

Im PFA 2 sind keine Schutzzonen von Trinkwassergewinnungsanlagen ausgewiesen.

## 10.4 Beeinträchtigungen durch Änderung der Grundwasserverhältnisse

### 10.4.1 Beeinflussung von Grundwassernutzern

#### 10.4.1.1 Beeinflussung durch Injektionen

Durch frischen Zement von Verpressungen tritt eine örtlich und zeitlich begrenzte pH-Wert - Erhöhung auf, die bei bepumpte 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 den Unterlagen (U 1 und U 11) zu Grundwassernutzungen sind Brauchwasserbrunnen in der Münzstr. 9 (Nr. 698), der Maximilianstr. 17 (Nr. 79 und am Marstallplatz (Nr. 774) genannt. Nähere Angaben zu diesen Flachbrunnen liegen nicht vor. Zudem liegt der Brauchwasserbrunnen (Nr. 91) im Residenztheater (siehe Ziffer 10.2.1.2) im näheren Umfeld der Baumaßnahmen.

#### 10.4.1.2 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 tieferreichenden Baumaßnahmen sind an verschiedenen Stellen tertiäre Grundwasserabsenkungen und Grundwasserentspannungen erforderlich. Die quartären Grundwasserverhältnisse werden hiervon aufgrund der vergleichsweise geringen Durchlässigkeit der tertiären Grundwasserleiter und der absperrenden Wirkung feinkörniger tertiärer Zwischenschichten 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 Haltepunktes Marienhof voraussichtlich bis in maximalen Tiefen von ca. 80 m unter GOK reichen.
- Tertiärwasserhaltungen mit Brunnen im Bereich der Rettungsschächte, die voraussichtlich bis in maximale Tiefen zwischen etwa 40 m und 60 m unter GOK reichen.

Aus vom Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München (RGU) zur Verfügung gestellten Daten wurden Grundwassernutzungen herausgesucht, die einen Abstand von weniger als 1 km zur geplanten S-Bahn-Trasse haben und damit im weiträumigen Einflussbereich der Baumaßnahme liegen. Demnach liegen 3 Grundwassernutzungen im Tertiär in einem relevanten Umkreis der Baumaßnahmen. Nachfolgend ist die Art der Nutzung und der Beeinflussung durch die Baumaßnahmen angegeben.

#### **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 Nutzer Nr. 724 wird durch die Baumaßnahmen am Bf Hauptbahnhof des PFA 1 unmittelbar beeinflusst. Durch Baumaßnahmen des PFA 2 wird Aufgrund der großen Tiefenlage der vom Nutzer Nr. 724 bepumpte Aquifere und des Ab-

standes von etwa 600 m zu den max. ca. 60 m tief reichenden Tertiärwasserhaltungsbrunnen für den Rettungsschacht RS 5 keine signifikante Beeinflussung der maximal förderbaren Wassermenge erwartet.

#### **Nutzer Nr. 91 (Marstallplatz 1)**

- **Brunnen und Nutzung:**

Im Bereich Marstallplatz 1 wird ein ca. 17 m tiefer Brunnen betrieben, der im Quartär und Tertiär verfiltert ist (Q/T-Aquifer). Ein geologisches Profil liegt nicht vor. Der Brunnen wird zur Gewinnung von Kühlwasser betrieben. Angaben zu genehmigten Wassermengen oder zu langjährigen mittleren Förderraten liegen nicht vor. Vom Nutzer wurde der Verbrauch für den Zeitraum 14.05.04 bis 14.06.04 über Wasseruhr-Ablesungen mit insgesamt 310 m<sup>3</sup> bestimmt, was einer durchschnittlichen Förderung von 0,43 m<sup>3</sup>/h bzw. 0,12 l/s entspricht. Die Anlage läuft über einen Vorratsbehälter, der auch aus dem städtischen Leitungsnetz beschickt werden kann.

- **Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:**

Aufgrund der geringen Tiefenlage des Kühlwasserbrunnens und des Abstandes von nur etwa 250 m zu den südwestlich im Zustrom liegenden, bis voraussichtlich in etwa 80 m Tiefe reichenden Tertiärwasserhaltungen für den Haltepunkt Marienhof ist eine Einschränkung des Nutzers Nr. 91 zu erwarten. Ein völliges Trockenfallen des Brunnens wird allerdings nicht erwartet, da ein uneingeschränkter Betrieb während der etwa 300 m entfernten Baumaßnahmen für Bahnsteigerweiterung Marienplatz mit Wasserhaltungen bis in etwa 35 m Tiefe weiterhin möglich war. Erforderlichenfalls kann eine Zuspeisung aus dem städtischen Leitungsnetz erfolgen.

#### **Nutzer Nr. 245, (Prinzregentenstr. 14)**

- **Brunnen und Nutzung:**

Bei dem Brunnen handelt sich um einen Tertiärbrunnen mit Filterstrecken im Tiefenbereich 36,6 m bis 116,0 m, wobei nach den vorliegenden Ausbauplänen nur der Abschnitt unterhalb 63,8 m in unmittelbarem Kontakt zu tertiären Aquiferen liegt. Es handelt sich um einen Brunnen zur Trinkwasserversorgung im Katastrophenfall. Seine Förderleistung ist nicht bekannt.

- Voraussichtliche Beeinflussung durch die Baumaßnahme:

Aufgrund der großen Tiefenlage der bepumpten Aquifere und des Abstands von etwa 500 m zu den etwa 42 m tief reichenden Tertiärwasserbrunnen der südlich im Zustrom liegenden Rettungsschachtes 6, 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. 245 so gering sein, dass eine Grundwasserförderung in unverändertem Umfang auch während des Baubetriebes technisch möglich sein wird.

## **10.5 Auswirkungen auf das Grundwasser in den einzelnen Streckenabschnitten**

### **10.5.1 Maschinelles Tunnelvortrieb (Bau-km 105,9+96 bis 106,7+17 und 106,9+27 bis ca. 107,8+53 )**

#### **10.5.1.1 Wasserhaltung zur Bauzeit**

Für den von Westen nach Osten geplanten maschinellen Tunnelvortrieb zwischen dem Anfang des PFA 2 und dem Haltepunkt Marienhof und von dort bis zum Ende des PFA 2 ist ein Schildvortrieb mit aktiver Ortsbruststützung vorgesehen (siehe Abs. 9.2.1), wofür keine Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich sind.

#### **10.5.1.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung**

Die zusammen insgesamt 1350 m je Röhre langen Abschnitte mit Maschinenvortrieb erfordern außer im Bereich der Rettungsschächte (Abschnitt 10.5.5) in der Regel keine Wasserhaltung.

#### **10.5.1.3 Injektionen und Suspensionen**

Für den Ein- und Ausfahrvorgang der TVM am Haltepunkt Marienhof wird in den ersten 10-20 m im Bereich der zu erstellenden Tübbingröhre die Herstellung von Dichtblöcken mittels Hochdruckinjektion oder Schlitzwandkörpern erforderlich.

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.

#### **10.5.1.4 Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerks im Grundwasser**

Das gesamte Tunnelbauwerk liegt vollständig im Tertiär unter dem Grundwasser.

#### **10.5.1.5 Grundwasseraufstau des Bauwerks im Bau- und Endzustand**

Der vollständig im Tertiär verlaufende Tunnel bewirkt keinen Grundwasseraufstau im Quartäraquifer.

#### **10.5.1.6 Kontrollen und Grundwassermessstellen**

Im Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs liegen bereits die Grundwassermessstellen 2S-06/01, 2S-06/03, 2S-06/04, 2S-06/06, 2S-07/02 und 2S-7/04 vor, die erhalten bleiben.

#### **10.5.2 Haltepunkt Marienhof (Bau-km 106,7+17 bis Bau-km 106,9+27)**

##### **10.5.2.1 Wasserhaltung zur Bauzeit**

Die Tertiäroberfläche liegt im Baubereich über  $HW_{\text{Bau}}$ , womit nur Wasserhaltungsmaßnahmen im Tertiär anfallen. Die Tiefbaumaßnahmen des Haltpunkts Marienhof sind in den Abschnitten 9.1.1 und 9.1.2 genauer beschrieben. Es wird zwischen der nicht in das Grundwasser reichenden hoch liegenden Baugrube Marienhof, der in Deckelbauweise mit permanentem Baugrubenverbau erstellten tiefliegenden Baugrube Marienhof sowie drei tiefen rechteckigen Schachtbauwerken unterschieden.

Die hochliegende Baugrube wird bis zum großflächigen Voraushubniveau im Schutz eines rückverankerten, wiedergewonnenen Verbaus errichtet. Die Hauptabmessungen dieser Baugruben sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.1 des Abschnitts 9.1.1 zusammengestellt. Westlich und östlich der tiefliegenden Schlitzwandbaugrube werden zweigleisige Bahnstrecken in Spritzbetonbauweise mit Druckluftunterstützung erstellt. Die Haupt-

abmessungen der Spritzbetonvortriebe sowie die Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.5 des Abschnitts 9.2.2 zusammengestellt. Die außerhalb der dichten Umschließung liegenden und bis zu ca. 3 m in das  $HW_{\text{Bau}}$  reichenden Bauteile des Sperrenstockwerks werden während des Betriebs der flächigen Grundwasserabsenkung der Tertiärwasserhaltung errichtet. Außerdem werden - überwiegend nördlich und südlich sowie teils auch in östlicher und westlicher Verlängerung der Spritzbetonvortriebe des Bahnhofs - Rettungsstollen, ein Verbindungsstollen zur U3/U6 sowie Schrägstollen für Fahrtreppen in Spritzbetonbauweise erstellt.

Die Umschließungen der tiefliegenden Baugrube Marienplatz und der drei Schachtbauwerke binden in feinkörnige Tertiärschichten ein und bilden einen so genannte "dichten Trog". Zusätzlich zu einer Restwasserhaltung innerhalb der Baugrubentröge sind hier außerhalb der Umschließung Tertiärwasserhaltungen zur Begrenzung des Wasserdrucks auf die Verbauwände vorgesehen.

Zur Sicherung gegen Sohlaufbruch müssen Brunnen zur Entspannung wasser-durchlässiger und druckwasserführender Schichten unter den Gründungssohlen der Baugruben, Tunnel und Stollen hergestellt werden, die im Bereich der tiefen Baugrube bis 83 m ab GOK reichen. Im Bereich der Spritzbetonvortriebe mit Druckluftstützung wird eine Entspannungstiefe von überschlägig 20 m unter Tunnelsohle entsprechend Brunnentiefen von etwa 62 m ab GOK erforderlich. 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, Vakuumpflanzen und Pumpensämpfen erforderlich werden.

#### **10.5.2.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung**

Für die überschlägige Berechnung der zur Bauzeit anfallenden Wassermengen wird davon ausgegangen, dass das Grundwasser auf der gesamten Baufläche von etwa 280 m · 60 m auf eine Tiefe von durchschnittlich ca. 42 m unter GOK entwässert werden muss. Unter Berücksichtigung des Baubereiches mit Druckluftunterstützung, der etwa  $\frac{3}{4}$  der Grundfläche ausmacht, wurde als mittlere Entspannungstiefe 67 m unter GOK angesetzt. Die in Beilage 1 zusammengestellt-

ten Berechnungen liefern bei 48 Monaten Betrieb der Bauwasserhaltung folgende rechnerischen Wassermengen:

**Wassermengen für die Wasserhaltungsdauer:**

**Haltepunkt Marienhof**

Wasserhaltungsdauer 48 Mon

Wasseranfall:

Gesamtwassermenge ca. 14.000.000 m<sup>3</sup>

Fördermengen:

Wasserhaltungsbetrieb 109,8 l/s

Hierbei wurde für die Entwässerung und Entspannung davon ausgegangen, dass insgesamt 20 m Tertiärsandprofil im Vertikalprofil anstehen. Die oberste, etwa 7 m mächtige Tertiärsandschicht muss im Bereich der Spritzbetonvortriebe nicht entwässert werden. Es ist zu erwarten dass die aus statischen Gründen für die tiefe Baugrube erforderliche Teilabsenkung in der oberen Tertiärsandschicht bereits nach vergleichsweise kurzer Absenkdauer mit geringen Förderraten erreicht wird. Aus diesen Gründen wurde die oberste Tertiärsandschicht zur Berechnung der Wassermengen nicht angesetzt.

#### 10.5.2.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

Eine Versickerung der aus der Bauwasserhaltung anfallenden hohen Wassermengen ist im näheren und weiteren Umfeld der Baumaßnahme aufgrund der geringen Mächtigkeit des Quartäraquifers und der nahezu geschlossen bis in das Tertiär reichenden, dichten Nachbarbebauung nicht möglich. Nach entsprechenden Vorabstimmungen mit dem Wasserwirtschaftsamt München und SWM Stadtentwässerung wird geplant, einen Teil des Grundwassers über den nächstgelegenen unterirdischen Stadtbach abzuleiten und zeitweise, nach Erfordernis der Kanalisation zuzuführen.

#### 10.5.2.4 Injektionen

Die Verbauwand der hoch liegenden Baugrube Marienhof soll rückverankert werden, wobei die Verpressstrecken der Anker in den Tertiärschichten liegen werden. Gegebenenfalls werden im Bereich der tiefen Baugrube und der Schachtbauwerke im Endzustand Sohlverankerungen zur Auftriebssicherung, z.B. durch Verpresspfähle erforderlich.



Im Zuge des Spritzbetonvortriebes können örtliche Sicherungsmaßnahmen mit Ankern und Nägeln erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen.

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

Zum Schutz der Bestandsbebauung sind im Bereich der Spritzbetonvortriebe baubegleitende Hebungsinjektionen zum Setzungsausgleich vorgesehen. Die Injektionen sind flächig etwa horizontal angeordnet mit einer N-S-Ausdehnung von ca. 50 m im Bereich der Bebauung vorgesehen. Hierzu soll etwa mittig über dem westlichen Spritzbetonvortrieb in einer Tiefenlage über der bestehenden U-Bahn-Trasse U3/U6 vorab ein Injektionsstollen erstellt. Zur Unterquerung dieses Bestandstunnels und beim östlichen Spritzbetonvortrieb werden die Hebungsinjektionen von der tiefen Baugrube oder den Schächten aus erfolgen.

Die Injektionen erfolgen im Tertiär. Das hierbei je Verpressanker, Nagel, Zugpfahl oder Injektionskörper mit Zementmörtel verfüllte Bodenvolumen ist gering. Es werden keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet.

#### **10.5.2.5 Bauwerksteile des fertiggestellten Bauwerkes im Grundwasser**

Die Spritzbetonvortriebe reichen bis etwa 36 m in das  $HW_{\text{Bau}}$  bzw. bis zu etwa 37 m in das  $HW_{\text{End}}$ . Die Sohlen des zentralen Bahnhofbauwerkes und der Schächte liegen etwa 37 m im  $HW_{\text{Bau}}$  bzw. 38 m im  $HW_{\text{End}}$ . Die im Boden verbleibende Baugrubenumschließung der tiefen Baugrube und der Schächte wird bis zu ca. 43 m in das  $HW_{\text{Bau}}$  bzw. bis zu etwa 44 m in das  $HW_{\text{End}}$  reichen.

#### **10.5.2.6 Grundwasseraufstau des fertigen Bauwerkes**

Die Tertiäroberfläche liegt nach den Aufschlüssen im Baubereich über  $HW_{\text{End}}$  womit kein Grundwasseraufstau im Quartäraquifer anfällt.

### 10.5.2.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Im unmittelbaren Bereich des Haltepunktes Marienhof liegen die Grundwassermessstellen 2S-6/04 und 2S-6/06 vor, die erhalten werden.

### 10.5.3 Rettungsschächte: (RS 5 Bau-km 106,2+18 und RS 6 Bau-km 107,5+27)

#### 10.5.3.1 Baugrube und Wasserhaltung zur Bauzeit

Im PFA 2 sind die Rettungsschächte RS 5 und RS 6 angeordnet. Die Rettungsschächte bestehen aus Vertikalschächten, die über etwa horizontal verlaufende Stollensysteme mit den Tunnelröhren verbunden sind.

Die wesentlichen Abmessungen der Bauwerke und die jeweilige Lage zum Grundwasser und zur Tertiäroberfläche sind in Tab. 9.6 in Abschnitt 9.3 enthalten.

#### 10.5.3.2 Grundwasserfördermengen der Bauwasserhaltung

Die in Beilage 2 zusammengestellten Berechnungen liefern je Notausstieg nachfolgende rechnerischen Wassermengen, wobei für die Stollen jeweils 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 weiterbetrieben wird:

**Wassermengen während der Bauzeit:**

**Rettungsschächte (Vertikalschächte)**

Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	RS 5	RS 6	
	6	6	Mon

Wasseranfall:

Wasserhaltungsbetrieb	25,8	14,8	l/s
-----------------------	------	------	-----

<u>Wassermenge:</u>	407217	234084	m <sup>3</sup>
---------------------	--------	--------	----------------

**Rettungsschächte (Stollenbauwerke):**

Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	RS 5	RS 6	
	5	6	Mon

Wasseranfall:

Tertiärentspannung / Tertiärwasserhaltung	16,7	10,5	l/s
---	------	------	-----

<u>Wassermenge:</u>	219601	165085	m <sup>3</sup>
---------------------	--------	--------	----------------

<u>Gesamtwassermenge (Schacht + Stollen) ca. :</u>	630.000	400.000	m <sup>3</sup>
--	---------	---------	----------------

### 10.5.3.3 Ableitung des zu Tage geförderten Grundwassers zur Bauzeit

Die Versickerung des im Zuge der Wasserhaltung für die Rettungsschächte zu Tage geförderten Grundwassers und des aus den Schächten abgepumpten Niederschlagwassers ist über Brunnen oder Rigolen im Quartärkies möglich. Je Vertikalschacht sind rechnerisch 3 bis 8 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  $HW_{\text{End}}$  begrenzt wird. Sofern der Einstau von Versickerungsbrunnen

<b>Rettungsschächte (Vertikalschächte)</b>	RS 5	RS 6	
Anzahl Versickerungsbrunnen	8	3	Stk
Länge Rigolen	20	12	m
<b>Rettungsschächte (Stollenbauwerke):</b>			
Anzahl Versickerungsbrunnen	5	2	Stk
Länge Rigolen	13	8	m

ohne Gefährdung von Nachbarn bis 1 m unter GOK möglich ist, reduziert sich die rechnerische Brunnenanzahl auf je 1 Stück. Auch eine Versickerung mit 0,5 m breiten und 12 m bzw. 20 m langen Rigolen, die 1 m hoch eingestaut werden, ist rechnerisch möglich. Alternativ kann die Ableitung auch über Kanalisation erfolgen.

Die im Zuge der Herstellung der Stollen zu versickernde Wassermenge erfordern rechnerisch 5 bzw. 2 vollkommene Sickerbrunnen im Quartär bei Einstau bis  $HW_{\text{End}}$  bzw. je einen Brunnen bei Einstau bis 1 m unter GOK. Alternativ ist die Versickerung mit bis zu 13 m langen Rigolen möglich.

Die Wasserhaltung der Vertikalschächte wird bei Herstellung der Stollen mit Ausnahme der weiter nutzbaren Entwässerungs- und Entspannungseinrichtungen im Bereich der Stollenanschlüsse des Schachts 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 in den BE-Flächen der Rettungsschächte jeweils zur Verfügung.

#### 10.5.3.4 Baugrubenumschließungen und Injektionen

Die Schachtbauwerke werden zusammen mit ihren Baugrubenumschließungen zwischen etwa 18,5 m und 38,0 m unter das  $HW_{\text{Bau}}$  reichen. Die in Spritzbetonbauweise erstellten Stollen liegen vollständig im tertiären Grundwasser.

Im Zuge des Spritzbetonvortriebes können örtliche Sicherungsmaßnahmen (wie z.B. Anker, Nägel oder Spieße) erforderlich werden, deren Verpressstrecken unter dem Grundwasser im Tertiär liegen. Weitere Injektionen im Düsenstrahlverfahren oder Vereisungsmaßnahmen sind im Bereich von Bauwerksanschlüssen erforderlich.

Das hierbei mit Zementmörtel verfüllte Bodenvolumen ist gering. Es werden keine schädlichen Veränderungen des Bodens und der Grundwasserströmung erwartet.

#### 10.5.3.5 Bauwerksteile des fertig gestellten Bauwerks im Grundwasser

Wie auch aus Tab. 9.6 in Abs. 9.3 ersichtlich ist, reichen die vertikalen Rettungsschächte von der Geländeoberfläche bis in Tiefen zwischen etwa 18,5 m und 38,0 m unter das  $HW_{\text{Bau}}$  bzw. zwischen 19,5 m und 39,0 m unter das  $HW_{\text{End}}$ . Die insgesamt etwa 82 m Stollenbauwerke, die im Zusammenhang mit den Rettungsschächten errichtet werden müssen, liegen vollständig im Tertiär und damit unter dem Grundwasser.

#### 10.5.3.6 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.

#### 10.5.3.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Die den Rettungsschächten nächstgelegenen Grundwassermessstellen 2S-6/02 (RS 5) und 2S-7/04 (RS 6) werden erhalten.

## 10.6 Zusammenfassung der geförderten rechnerischen Wassermengen

Bau- maßnahme	Wasser- dauer [Monate]	Wasseranfall [m <sup>3</sup> ]	Förder- menge [l/s]
Haltepunkt Marienhof (Bau-km 106,7+17 bis Bau-km 106,9+27)	48 Monate	14.000.000	110
Rettungsschacht RS5 Bau-km 106,2+18	11 Monate	630.000	bis 26
Rettungsschacht RS6 Bau-km 107,5+27	12 Monate	400.000	bis 15

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