

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern Straße / Abschnittsnummer / Station: B 2 / Abschn. 255, Stat. 0,000 – Abschn. 230, Stat. 7,045
B 2 München-Mittenwald Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel Bau-km 0+000 bis Bau-km 4+869
PROJIS-Nr.: 09 890645 00



# FESTSTELLUNGSENTWURF

Geologisch-Hydrogeologischer Bericht km 0+321 – 3+780

aufgestellt: Staatliches Bauamt Weilheim	
Scheckinger, Ltd. Baudirektor Weilheim, den 14.02.2025	

**B2 ORTSUMFAHRUNG ÖSTLICH GARMISCH –  
PARTENKIRCHEN MIT WANKTUNNEL  
GEOLOGISCH – HYDROGEO-  
LOGISCHER BERICHT**

Km 0+321 – 3+780

Staatliches Bauamt  
Weilheim



**Staatliches Bauamt Weilheim**

**28.10.2024**

11184-ILF-AUT-OD-0011 | Revision 03

© 



## REVISIONSVERZEICHNIS

3	28.10.2024	4. Ausgabe, Lph 3+4: Einarbeitung Kommentar StBA	Schwarz	Strauhal	Schwarz
2	23.07.2024	3. Ausgabe, Lph 3+4: Einarbeitung Kommentare StBA	Stackler	Strauhal	Schwarz
1	14.06.2024	2. Ausgabe, Lph 3+4: Einarbeitung Kommentare StBA, Ergänzung 3. EKP	Stackler, Prosser	Schwarz	Schwarz
0	31.05.2023	1. Ausgabe (Lph 3+4: Hydrogeologie gem. Stand 3. EKP)	Schützinger	Eder	Schwarz
<b>REV</b>	<b>DATUM</b>	<b>AUSGABE, ART DER ÄNDERUNG</b>	<b>ERSTELLT</b>	<b>GEPRÜFT</b>	<b>FREIGEgeben</b>

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>10</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	10
1.2	Lage des Projektgebietes .....	10
1.3	Geologischer Rahmen.....	11
1.4	Baukonzept .....	11
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN .....</b>	<b>12</b>
2.1	Literatur .....	12
2.2	Unveröffentlichte Unterlagen .....	13
2.3	Normen und Richtlinien .....	15
2.4	Karten, Luftbilder .....	18
<b>3</b>	<b>ERKUNDUNGSMASSNAHMEN.....</b>	<b>19</b>
3.1	Allgemeines .....	19
3.2	Felderkundung .....	19
3.2.1	Kartierung .....	19
3.2.2	Tiefenaufschlüsse .....	19
3.3	In-situ Versuche .....	22
3.4	Laborversuche .....	24
3.4.1	Bodenmechanische Laborversuche .....	24
3.4.2	Felsmechanische Laborversuche .....	25
3.4.3	Petrographische Untersuchungen .....	26
3.4.4	Umweltchemische Analysen.....	27
3.5	Geoelektrische Erkundungen .....	27
<b>4</b>	<b>GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE .....</b>	<b>28</b>
4.1	Allgemein .....	28
4.1.1	Morphologische Verhältnisse im Trassenbereich .....	28
4.1.2	Geologischer Überblick .....	30
4.2	Stratigraphie.....	30
4.2.1	Partnach-Formation (Ladin).....	30
4.2.2	Raibl-Formation (Karn).....	32
4.2.3	Hauptdolomit-Formation (Nor).....	39
4.2.4	Plattenkalk-Formation (Oberror bis Unterrhät) .....	42
4.2.5	Kössen Formation (Rhät) .....	43
4.2.6	Quartär.....	43
4.3	Strukturgeologische Verhältnisse .....	46



4.3.1	Allgemeines .....	46
4.3.2	Nordabschnitt.....	46
4.3.3	Zentral- und Südabschnitt .....	48
4.3.4	Wamberger Sattelzone.....	52
4.4	Trennflächenauswertung .....	53
4.4.1	Allgemeines .....	53
4.4.2	Schichtung .....	54
4.4.3	Klüftung.....	54
4.4.4	Störungen .....	57
4.5	Karst .....	61
4.5.1	Paläokarst .....	62
4.5.2	Junger Karst.....	63
4.6	Quellendes Gebirge .....	64
4.6.1	Quellfähige Tonminerale .....	64
4.6.2	Quellfähiger Anhydrit.....	67
4.7	Primärspannungsverhältnisse .....	67
4.8	Erdbeben .....	68
4.9	Gasführung .....	68
4.10	Geogene Hintergrundbelastung .....	69
4.11	Naturgefahren .....	70
4.12	Schutzgebiete .....	70
<b>5</b>	<b>INGENIEURGEOLOGISCHE BEURTEILUNG DES GEBIRGES.....</b>	<b>72</b>
5.1	Gebirgsarten gem. Richtlinie Geomechanische Planung.....	72
5.2	Charakteristische Kennwerte.....	87
5.2.1	Charakteristische Gebirgskennwerte Festgesteine.....	87
5.2.2	Bodenkennwerte Lockergesteine .....	87
5.3	Homogenbereiche.....	89
5.4	Gebirgsverhalten.....	90
<b>6</b>	<b>HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE .....</b>	<b>92</b>
6.1	Überblick .....	92
6.2	Trinkwasserschutzgebiete .....	92
6.3	Hydrogeologische Erhebungen und wasserwirtschaftliche Beweissicherung .....	93
6.4	Quellen und Oberflächengewässer mit Beweissicherung .....	97
6.4.1	Schweinbachquellen QS1, QS2 und Wankbahnquellen QL1, QL2 .....	98
6.4.2	Schweinbach Flachmoor .....	99
6.4.3	Quelle Philosophenweg QS3.....	99
6.4.4	Daxkapelle Laufbrunnen .....	100

6.4.5	Panorama Quelle QL3.....	100
6.4.6	WV Brunnhäusl .....	100
6.4.7	Kesselgraben, Birkelsgraben, Schalmeischlucht (Faukenbach): .....	101
6.4.8	Pfeifferalm Möslquelle .....	103
6.4.9	Gschwandtnerbauer .....	103
6.4.10	Kankerbach: QK3.....	103
6.5	Quellen ohne Beweissicherung mit regionaler Bedeutung.....	103
6.5.1	Kuhfluchtquelle.....	103
6.5.2	Esterbergquellen .....	103
6.6	Grundwasserspiegel und Grundwasserströmung .....	104
6.6.1	Allgemeine Annahmen .....	104
6.6.2	Grundwasserspiegel im Bauwerksbereich .....	105
6.7	Hydraulische Durchlässigkeiten .....	111
6.7.1	Erkundung Wanktunnel .....	111
6.7.2	Zusammenführung der Erkundungsergebnisse Wank- und Kramertunnel.....	114
6.8	Einfluss der Baumaßnahmen auf das Grundwasser.....	117
6.8.1	Allgemeines .....	117
6.8.2	Prognose der Grundwasserzuflüsse.....	118
6.8.3	Potentiell möglicher Beeinflussungsbereich .....	127
6.8.4	Beeinflussungswahrscheinlichkeit von Quellen .....	129
6.8.5	Beeinflussung von Gerinnen .....	132
6.8.6	Qualitative Beeinflussung.....	133
6.8.7	Schätzung der quantitative Beeinflussung von Quellen und Oberflächengewässern .....	133
6.8.8	Maßnahmen und Überwachungskonzept .....	136
6.8.9	Zusammenfassung.....	137
6.9	Einfluss des Grundwassers auf die Baumaßnahmen .....	137
6.9.1	Wasserhaltungsmaßnahmen.....	137
6.9.2	Chemismus des Grundwassers – Betonaggressivität.....	137
6.9.3	Versinterungspotential.....	138
6.9.4	Geotechnische Auswirkungen .....	140
<b>7</b>	<b>GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BEREICH DER ANSCHLUSSTELLEN</b> .....	<b>141</b>
7.1	Anschlussstelle Nord.....	141
7.2	Anschlussstelle Süd .....	142
<b>8</b>	<b>EMPFEHLUNG</b> .....	<b>144</b>
8.1	Zusätzliche Erkundungsmaßnahmen .....	144

8.1.1	Vorauserkundung in Bauphase .....	144
<b>9</b>	<b>ANLAGEN .....</b>	<b>145</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 01/10 bis KB 09/10 (EKP 1).	20
Tabelle 2: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 10/11 bis KB 18/11 (EKP 2).	21
Tabelle 3: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 21/22 bis KB 26(s)/23 (EKP3)	21
Tabelle 4: Zusammenstellung der In-situ Versuche .....	23
Tabelle 5: Anzahl der entnommenen Proben aus den Bohrkernen, geotechnische Proben + Umweltproben. ....	24
Tabelle 6: Zusammenstellung der bodenmechanischen Laborversuche.....	25
Tabelle 7: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 01/10 bis KB 09/10). ....	25
Tabelle 8: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 10/11 bis KB 18/11). ....	26
Tabelle 9: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 21/22 bis KB 26(s)/23). ....	26
Tabelle 10: Zusammenstellung der petrographischen Laborversuche. ....	27
Tabelle 11: Trennflächenabstände (Schichtung).....	54
Tabelle 12: Trennflächenabstände (Klüftung, Ausbrüche) .....	55
Tabelle 13: Tonmineralogie der Partnach-Formation aus den Bohrungen KB 01/10(H) und KB 02/10, sowie KB 16/11 (Angabe in Prozent). ....	64
Tabelle 14: Ergebnisse der tonmineralogischen bzw. röntgendiffraktometrischen Untersuchungen an Proben aus der Raibl-Formation (Angabe in (Gew.-) Prozent), EKP2...65	65
Tabelle 15: Tonmineralogie der Paleokarstfüllungen .....	66
Tabelle 16: Ergebnisse der XRD-Analysen der EKP3. ....	67
Tabelle 17: Auszug aus der Intensitäts-Skala, basierend auf der Europäischen Makroseismischen Skala 1998 (EMS-98) nach GRÜNTAL (1998) und der Mercalli-Sieberg-Skala. ....	68
Tabelle 18: Ergebnisse der chemische Analysen von Gesteinsproben.....	69
Tabelle 19: Gebirgsarten Wanktunnel .....	72
Tabelle 20: Gesteinskennwerte Gebirgsart F1.....	73
Tabelle 21: Gesteinskennwerte Gebirgsart F2.....	74
Tabelle 22: Gesteinskennwerte Gebirgsart F3.....	75
Tabelle 23: Gesteinskennwerte Gebirgsart F4.....	76
Tabelle 24: Gesteinskennwerte Gebirgsart F5.....	78

Tabelle 25: Gesteinskennwerte Gebirgsart F6.....	79
Tabelle 26: Gesteinskennwerte Gebirgsart S1 .....	80
Tabelle 27: Gesteinskennwerte Gebirgsart S2 .....	81
Tabelle 28: Gesteinskennwerte Gebirgsart L1 (kiesbetont) .....	83
Tabelle 29: Gesteinskennwerte Gebirgsart L1 (Feinkornlagen) .....	84
Tabelle 30: Gesteinskennwerte Gebirgsart L2.....	85
Tabelle 31: Gesteinskennwerte Gebirgsart L3.....	86
Tabelle 32: Charakteristische Kennwerte Festgesteine .....	87
Tabelle 33: Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, kiesbetont .....	88
Tabelle 34: Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, feinkornbetont .....	88
Tabelle 35: Bodenkennwerte L2 Schmelzwasserschotter der Kanker.....	88
Tabelle 36: Bodenkennwerte L3 Fluviale Sedimente der Loisach .....	89
Tabelle 37: Zuordnung der einzelnen Gebirgsarten zu Homogenbereichen. ....	90
Tabelle 38: Grundwassermessstellen mit wasserwirtschaftlicher Beweissicherung (mit Anschlussstellen). ....	95
Tabelle 39: Quellen und Oberflächengewässer mit wasserwirtschaftlicher Beweissicherung. ....	97
Tabelle 40: Messdaten der Quellen und Oberflächengewässer (Zusammenstellung aus den WWBS-Daten).....	97
Tabelle 41: Hydrologische Datenerhebung Kesselgraben, Birkelsgraben (Niedrigwasserperiode Winter 2022-2023). ....	101
Tabelle 42: Grundwassermessstellen im Trassenbereich.....	106
Tabelle 43: Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche aus den Erkundungsphasen 2010, 2011 und 2022 Wanktunnel.....	112
Tabelle 44: Zusammenfassung der ermittelten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte pro formation für die Erkundungsergebnisse Wanktunnel.....	113
Tabelle 45: Ergebnisse der hydraulischen Durchlässigkeitsversuche aus der Erkundung Wank- und Kramertunnel für Hauptdolomit und Plattenkalk.....	115
Tabelle 46: Hydrogeologische Abschnitte mit für die Berechnung verwendeten Kf-Werten. ....	120
Tabelle 47: Vergleich (prognostizierte) quasistationärer Zuflüsse Wanktunnel. ....	125
Tabelle 48: Prognostizierte Beeinflussungswahrscheinlichkeit der Quellen. ....	130
Tabelle 49: Mögliche quantitative Minderung der Schüttung in Quellen und des Abflusses in Gerinnen bei Eintritt einer Beeinflussung durch die Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1_G093 Alpen - GAP .....	135
Tabelle 50: Sättigungsindex der Probenwässer.....	139



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lage des Projektgebiets (Quelle: Staatliches Bauamt Weilheim) .....	11
Abbildung 2: Übersichtskarte des Projektgebietes.....	28
Abbildung 3: Schrägansicht des Wankmassivs (Blickrichtung Osten) mit Verlauf von Kesselgraben und Schalmeischlucht sowie der Lage der Tunneltrasse auf Geländeoberfläche projiziert (Quelle Luftbild: Google Earth).....	29
Abbildung 4: Bräunlich verwitterte und blättrig zerlegte Schiefertone der Partnach-Formation im Oberflächenaufschluss am Bohransatzpunkt von KB 16(s)/11.....	31
Abbildung 5: Tektonisch beanspruchte Gesteine der Partnach-Formation im Bohrkernaufschluss.....	32
Abbildung 6: Tonsteinen aus der Raibler Schiefertonfazies mit gestörter Bimrock-Struktur (KB 24(s)/22, 112-114 m).....	34
Abbildung 7: Gebankte graue Raibler Kalke (KB 13/11 84-88 m).....	36
Abbildung 8: Raibler Kalke der Karbonatgesteinsserie.....	36
Abbildung 9: Aufgeschlossene Brekzie mit Komponenten der Raibl-Formation, möglicherweise Hohlraumfüllung.....	37
Abbildung 10: Mergellage innerhalb der Karbonatabfolge.....	37
Abbildung 11: Hellbraune Karstfüllungen in Rauwacken der Oberen Serie in der Bohrung KB 03/10 (64-68 m).....	39
Abbildung 12: Massig ausgebildeter Hautdolomit im unteren Bereich des Kesselgrabens....	40
Abbildung 13: Störungszone in der Hauptdolomit-Formation mit Kakirit- und Kataklasitzone (KB 22(s)/22 216-220 m).....	41
Abbildung 14: Plattenkalk mit Mergelzwischenlage.....	42
Abbildung 15: Grundmoräne aus Bohrung KB 03/10.....	44
Abbildung 16: Contour Diagramm (Schichtung Bohrung KB07(h)/10).....	46
Abbildung 17: Contour Diagramme der Schichtung in Bohrung KB 06/10 und KB 10/11.....	47
Abbildung 18: Contour-Diagramm der Schichtung in KB 11/11.....	47
Abbildung 19: Contour-Diagramm der Schichtung in KB 12/11 (links: gesamte Bohrung, rechts: Tiefenbereich Tunnelquerschnitt 240-275m).....	48
Abbildung 20: Contour-Diagramm (Schichtung KB05(s)/10).....	49
Abbildung 21: Störungszone zwischen dunkelbraunen Gesteinen der Raibl-Formation (rechts, Vordergrund) und hellgrauen/beigen Gesteinen der Hauptdolomit-Formation (links, Hintergrund) in der Schalmeischlucht.....	50
Abbildung 22: Contour Diagramm (Schichtung KB04(s)/10).....	50
Abbildung 23: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 13/11 (links) und Bohrung KB 14s/11 (rechts).....	51
Abbildung 24: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 03/10 (links) und Bohrung KB 15s/11 (rechts).....	51
Abbildung 25: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 16s/11 in Bohrtiefe 30-55 m (links) und 56-75 m (rechts).....	52
Abbildung 26: Contour Diagramm (Schichtung KB 02/10).....	52

Abbildung 27: Von zahlreichen Trennflächen durchzogene Raibler Schiefertone aus Bohrung KB 14(s)/11 (35 m Tiefe). .....	56
Abbildung 28: Stark gestörter Gesteinsverband mit Zerrüttungszone auf der rechten Seite und Störungsletten-Bereich auf der linken Seite.....	58
Abbildung 29: Bohrkern aus der Bohrung KB 14(s)/11 (154-156 m) mit kakiritischen Lagen (mittig) in einer kataklastischen Störungszone (randlich). .....	58
Abbildung 30: Störungsbrekzie in Kalkstein (Kataklasit): durch calcitische Ausfällungen wiederverheilte Kalkbruchstücke (KB 14(s)/11, 144-145 m). .....	59
Abbildung 31: Stark gestörte Raibler Mergel mit Scherlinse (Bildmitte) aus dünnbankigen Dolomiten. ....	59
Abbildung 32: Störungsletten in Raibl-Formation mit Bimrock Struktur .....	60
Abbildung 33: Störungszone mit kalkstein- und tonsteinbetonten Abschnitten. Die Tonsteinabschnitte weisen Bimrock-Strukturen auf (KB 14s()/11, 130-135 m). .....	61
Abbildung 34: Bimrock-Struktur in Bohrung KB 14(s)/11 (119/120m und 131/132m). ....	61
Abbildung 35: Erbohrter Paläokarsthohlraum KB 04(s)/10. ....	63
Abbildung 36: 3-4cm mächtige, braune, tonige Paläokarstfüllung mit steifer Konsistenz in einer Kluft in Raibler Kalken (KB 14(s)/11, 140,6 m). .....	63
Abbildung 37: Auszug aus der Biotopkartierung [4]. .....	71
Abbildung 38: Trinkwasserschutzgebiete in der Umgebung des Wank (Umweltatlas Bayern). .....	93
Abbildung 39: Ganglinie der Bohrung GAP 12/06 mit Absinken des Wasserspiegels um ca. 130 m nach Auffahren von wasserführenden Störungszonen im Hauptdolomit. ....	122
Abbildung 40: Rückrechnung der Grundwasserzuflüsse nach Herth & Arndts, basierend auf der geologisch-hydrogeologischen Prognose von 2007 und den Erkenntnissen aus dem der Ausschreibung zugrundeliegenden Daten des EKS-Südvortriebes. Bei Verwendung der Median-Werte der Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Bohrlochversuchen ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der Berechnung und den Angaben zur quasistationären Schüttung von 2013-2017. ....	123

## ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1: Geologischer Lageplan.....	145
Anlage 2: Geologisch-Hydrogeologischer Längenschnitt.....	145
Anlage 3: Geologisch-Hydrogeologische Querprofile .....	145
Anlage 4: Hydrogeologischer Lagerplan.....	145
Anlage 5: Übersichtstabelle Durchlässigkeitsversuche .....	145
Anlage 6:, Zustromberechnungen .....	145



# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Aufgabenstellung

Der Wanktunnel stellt die östliche Ortsumfahrung von Garmisch-Partenkirchen dar und soll durch die Verlegung der Bundesstraße B2 in die Westflanke des Wanks (Wanktunnel) realisiert werden. Durch den Bau der Umfahrung soll der Ortsteil Partenkirchen vom Durchgangsverkehr in Richtung Bundesgrenze zur Republik Österreich und vom Ziel- und Quellverkehr zu den überregional bedeutsamen Sport- und Wandergebieten von Garmisch-Partenkirchen sowie der Region Mittenwald und Seefeld entlastet werden. Die Trasse wird nördlich von Garmisch-Partenkirchen von der derzeitigen Bundesstraße B2 abzweigen und über einen rund 3,5 km langen einröhrigen Gegenverkehrstunnel mit begleitendem Rettungstollen unter dem Wank-Massiv zu einer Einbindestelle südöstlich von Garmisch-Partenkirchen führen.

Das staatliche Bauamt Weilheim hat im Jahr 2020 die Planungen für diese östliche Umfahrung von Garmisch-Partenkirchen wieder aufgenommen. In den Jahren 2010 bis 2011 fanden vor dem Hintergrund einer möglichen Olympia-Bewerbung Garmisch-Partenkirchens bereits umfangreiche Planungen für dieses Bauvorhaben statt. Diese Planungen wurden aber nach dem Bürgerentscheid gegen die Olympischen Spiele in Garmisch-Partenkirchen nicht weiter verfolgt (Planungsstopp 2011). Da der Wanktunnel aber inzwischen in den vordringlichen Bedarf gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 aufgenommen wurde, sind die Planungen wieder aufgenommen worden. Die zwischenzeitlich geänderte Normenlage (Richtlinien für Straßen- und Tunnelbau, Verwertung des Ausbruchsmaterials und Naturschutz betreffend) macht eine umfangreiche Überarbeitung des Gesamtprojektes (u.a. mit Umplanungen im Straßen- und Tunnelbau) notwendig.

ILF Consulting Engineers Austria GmbH wurde vom Staatlichen Bauamt Weilheim mit der geologischen Betreuung des Projektes beauftragt. Der vorliegende Bericht beschreibt für die Projektphase Entwurf die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse entlang der geplanten Tunneltrasse, wie diese aus den bisherigen Erkundungsergebnissen abgeleitet werden können.

## 1.2 Lage des Projektgebietes

Das Projektgebiet befindet sich am Südwesthang des Wank-Massives, östlich der Marktgemeinde Garmisch-Partenkirchen. Es liegt zur Gänze innerhalb der Gemeindegrenzen von Garmisch-Partenkirchen.

Der gegenständliche Planungsabschnitt beginnt im Norden im Bereich des Straßenknotens Farchant (Südportal Tunnel Farchant) und endet im Süden im Bereich der bestehenden B2 bei Anzlesau (vgl. Abbildung 1).







Abbildung 1: Lage des Projektgebiets (Quelle: Staatliches Bauamt Weilheim)

### 1.3 Geologischer Rahmen

Die im Projektgebiet vorkommenden Festgesteine gehören der Lechtaldecke der Nördlichen Kalkalpen an und wurden in der erdgeschichtlichen Periode der Trias abgelagert. Während der Alpenen Orogenese wurden diese Gesteine gefaltet und zu einem Faltengebirge gehoben. Hierbei entstand aufgrund der N-S-gerichteten Einengung ein bereichsweise komplexer Faltenbau mit Überschiebungen und verschiedenen Störungen innerhalb des Gebirges. Bei den Gesteinen im Projektgebiet handelt es sich um Karbonatgesteine, Mergel, Tonsteine und Schiefertone unterschiedlicher Ausbildung und Zusammensetzung.

Den Festgesteinen lagern quartäre Ablagerungen in Form verschiedener Lockergesteine auf. Das Spektrum der angetroffenen Lockergesteine reicht von glazialen über spät- und postglazialen Ablagerungen unterschiedlicher Ablagerungsmilieus bis hin zu den jüngsten Ablagerungen in Form von Hang- und Murschutt.

Nach derzeitigem Kenntnisstand verläuft der geplante Tunnel fast ausschließlich in den verschiedenen Festgesteinen. Lediglich in den Portalbereichen, die in offener Bauweise erstellt werden sollen, ist mit Lockergesteinsablagerungen im Querschnittsbereich zu rechnen.

### 1.4 Baukonzept

Der Wanktunnel ist als einröhriger Gegenverkehrstunnel mit begleitendem Rettungsstollen geplant. Der befahrbare Rettungsstollen verläuft in einem Achsabstand von etwa 40 m nordöstlich (bergseitig) der Haupttunnelröhre und soll voraus-eilend und beidseitig vorgetrieben werden (Nord- und Süd-vortrieb). Im Abstand von max. 255 m sind insgesamt 13 Querschläge angeordnet, wobei bei jedem zweiten Querschlag eine Pannenbucht geplant ist.

Es ist vorgesehen den Tunnel in der Spritzbetonbauweise mit Sprengvortrieb herzustellen. Die Portalbereiche sind in offener Bauweise geplant. Die Tunnelbelüftung wird über ein im Bereich des Südportals situiertes Betriebsgebäude gesteuert.



Der Fahrtunnel wie auch der Rettungsstollen erhalten ein frei drainiertes Entwässerungssystem mit beidseitig an den Ulmen verlaufenden Drainageleitungen und Regenschirmabdichtung.

## 2 GRUNDLAGEN

### 2.1 Literatur

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1:500 000.
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2018): Umweltatlas Bayern. Angewandte Geologie. Kuhfluchtquellen und -wasserfälle bei Farchant. Geotop-Nummer: 180Q002.
- [3] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2022): UmweltAtlas Natur. – abgerufen am 07.04.2022 unter [https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu\\_natur\\_ftz/index.html?lang=de](https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_natur_ftz/index.html?lang=de)
- [4] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2022): UmweltAtlas Naturgefahren. – abgerufen am 07.04.2022 unter [https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu\\_naturgefahren\\_ftz/index.html?lang=de](https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_naturgefahren_ftz/index.html?lang=de)
- [5] Geoconsult ZT GmbH (2018): Umweltverträglichkeitserklärung Innstufe Imst-Haiming. Fachbeitrag Grundwasser.
- [6] Grünthal, G. (ed.) (1998): European macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie 15, Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Luxembourg, 99 S..
- [7] Heidbach, O., Tingay, M., Barth, A., Reinecker, J., Kurfeß, D., and Müller, B., The World Stress Map database release 2008  
doi:10.1594/GFZ.WSM.Rel2008, 2008 online at: [www.world-stress-map.org](http://www.world-stress-map.org).
- [8] Heitzmann, P. (1985): Kakirite, Kataklasite, Mylonite – Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen. – Eclogae geol. Helv., 78, S 273-286
- [9] Hofmann, P. Das Estergebirge – eine Karstlandschaft in den Bayerischen Voralpen.-in Karst und Höhle, Jahresheft 1996/97, Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V. (Hrsg.), 320 Seiten, München.
- [10] Hornung, Th. & Haas, U. (2017): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern GK 25.000 Blatt 8532/8632 Garmisch-Partenkirchen. [Hrsg.] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
- [11] Jerz, H. (1966): Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paleogeographie der Raibler Schichten zwischen Lechung Inn (Nördliche Kalkalpen).- Geologica Bavarica, 56; S. 1-104, München.

- [12] Jerz, H. & Ulrich, R. (1966): Erläuterungen zur Geologischen Karten von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 8533/8633 Mittenwald. [Hrsg.] Bayerisches Geologisches Landesamt: 152 S.; München.
- [13] Kockel, C.W., Richter, M., & Steinmann, H.G. (1931): Geologie der Bayerischen Berge zwischen Lech und Loisach. Innsbruck, Verlag des deutschen und österreichischen Alpenvereins.
- [14] Kuhnert, C. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8432 Oberammergau. [Hrsg.] Bayerisches Geologisches Landesamt: 128 S.; München.
- [15] Medley (1994): The engineering characterization of melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks). Dissertation, Dept. of Civil Engineering, University of California, Berkely.
- [16] Müller, B. et al (1992): Regional Patterns of Tectonic Stress in Europe. Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No. B8, pages 11,783-11,803.
- [17] Prinz, H. (1997): Abriss der Ingenieurgeologie. – 3. neu bearb. Und erw. Auflage, Stuttgart, Enke Verlag.
- [18] Prinz & Strauß (2018): Ingenieurgeologie - 6. Auflage, SpringerSpektrum.
- [19] Schmidt-Thome, P. (1953): Kluftektonische Beobachtungen in den Bayerischen Alpen. - Geologica Bavarica Nr. 17, S. 5-16, München
- [20] Schneider, K-J. (2008): Bautabellen für Ingenieure. – 18. Auflage, Neuwied, Werner Verlag.
- [21] Vidal, H. (1953): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Tektonik des nord-westlichen Wettersteingebirges und seines Vorlandes. - Geologica Bavarica Nr. 17, S. 56-88, München
- [22] Wrobel, J. (1970): Hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Loisach zwischen Garmisch-Partenkirchen und Eschenlohe / Obb.. Unver. Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- [23] Löw, S. (2002): Groundwater hydraulics and environmental impacts of tunnel in crystalline rocks. In Barla, G. & Barla, M. Balagna (eds): Le opera in sotteraneo e il rapporto con l'ambiente. S. 201-218. Patron Editor.

## 2.2 Unveröffentlichte Unterlagen

- [24] Arbeitsgemeinschaft ILF-GTH (2002): Ausbau Eisenbahnachse Brenner. München – Verona. Teilprojekt Zulaufstrecke Nord. Abschnitt Kundl/Radfeld – Baumkirchen. Los H5 Tunnel Stans / Terfens Mitte und West. Ausschreibungsprojekt.
- [25] ILF (2002): Hochwasserentlastungsstollen Kanker: Schlussbericht zu den geologischen Voruntersuchungen.

- [26] ILF (2007): Verlegung B23 westlich Garmisch-Partenkirchen Kramertunnel. Grundlagen der hydrogeologischen Berechnungen (Excelsheets).
- [27] ILF (2007): Verlegung B23 westlich Garmisch-Partenkirchen Kramertunnel. Geologischer Längenschnitt Fahrröhre. M 1:2500
- [28] ILF (2013): B2, Verlegung östlich Garmisch Partenkirchen Wanktunnel. Geologisch – Hydrogeologischer Bericht Wanktunnel Km 0+298 – 3+809. Revision 2, 11.03.2013.
- [29] ILF (2018): Verlegung B23 westlich Garmisch-Partenkirchen Kramertunnel. Geologischer Übersichtsplan. Geologischer Bericht Anlage 1. M 1:5000.
- [30] ILF (2020): Stellungnahme Geologie-Hydrogeologie Kramertunnel (10567-ILF-AUT-MEM-0002-Stellungnahme\_R1 vom 22.09.2020).
- [31] ILF (2022): B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel. Geologisch-hydrogeologischer Bericht.
- [32] ILF (2023): B2 Ortsumfahrung Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel. Wasserwirtschaftliche Beweissicherung Jahresbericht 2022.
- [33] ILF (2023): Verlegung B23 westlich Garmisch-Partenkirchen Kramertunnel. Auszug aus den Daten zur wasserwirtschaftlichen Beweissicherung GAP 12/06 (Stand 20.03.2023).
- [34] ILF (2023): B2, München-Mittenwald, Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel. Hydrogeologische Modellvorstellung. Stellungnahme (Arbeitspapier) (11184-ILF-AUT-MEM-0017\_Bearbeitung-Hydrogeologie\_WWA vom 03.03.2023).
- [35] ILF (2023): B2, München-Mittenwald, Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel. Bergwasserprognose. Stellungnahme (11184-ILF-AUT-MEM-0020\_Bergwasserprognose vom 17.05.2023)
- [36] Staatliches Bauamt Weilheim (2018): Verlegung B23neu westlich Garmisch-Partenkirchen. Hydrogeologischer Bericht. Anlage A4.2 Ausschreibung.
- [37] Staatliches Bauamt Weilheim (2018): Verlegung B23 westlich Garmisch-Partenkirchen Kramertunnel. Geotechnischer Längsschnitt Tunnelröhre. Ausschreibungsplan. M 1:2.500.
- [38] Staatliches Bauamt Weilheim (2023): GSA-Daten Kramertunnel von Februar 2023.
- [39] ILF Consulting Engineers Austria GmbH (2023): Daten Erkundungsprogramm 3, Phase 2022-2023.
- [40] ILF Consulting Engineers Austria GmbH (2023): Jahresberichte der Wasserwirtschaftlichen Beweissicherung.
- [41] GeoLog (2023): Untersuchungsbericht über geophysikalische Erkundungen zum Projekt Portale Wanktunnel Garmisch-Partenkirchen.

- [42] GeoLog (2024): Untersuchungsbericht 2 über geophysikalische Erkundungen zum Projekt Nordportale Wanktunnel Garmisch-Partenkirchen.
- [43] ILF Consulting Engineers Austria GmbH (2024): Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzept Wanktunnel und Ingenieurbauwerke.
- [44] Ingenieurgesellschaft Kobus und Partner (2023): B2 OU GAP mit Wanktunnel, Prinzipmodell, Bericht A866-2.
- [45] Ingenieurgesellschaft Kobus und Partner (2023): B2 OU GAP mit Wanktunnel, Hydrologisches Modell Wanktunnel, Bericht A866-3.
- [46] Ingenieurgesellschaft Kobus und Partner (2023): B2 OU GAP mit Wanktunnel, Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, Bericht A866
- [47] Ingenieurgesellschaft Kobus und Partner (2023): B2 OU GAP mit Wanktunnel, Auswirkung auf den Grundwasserleiter des Loisachtales, Bericht A866-5

## 2.3 Normen und Richtlinien

- [48] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2021): Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen (Verfüll-Leitfaden).
- [49] BUNDESGESETZBLATT (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Artikel 1. Verordnung über die Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr 43.
- [50] DGGT (1995) Empfehlung des Arbeitskreises „Tunnelbau“ (ETB)
- [51] DGEG (1986): Empfehlung Nr. 2: Dreiaxiale Druckversuche an Gesteinsproben
- [52] DGEG (1987): Empfehlung Nr. 12: Mehrstufentechnik bei dreiaxialen Druckversuchen und direkten Scherversuchen
- [53] DGEG (1986): Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises Versuchstechnik Fels: Punktlastversuche an Gesteinsproben.
- [54] DGGT (1985): Empfehlung Nr. 10: Indirekter Zugversuch an Gesteinsproben - Spaltzugversuch
- [55] DGGT (2010): Empfehlung Nr. 11: Quelldruckversuche
- [56] DGGT: Empfehlung Nr. 13: Laborscherversuch an Felstrennflächen
- [57] DGGT (1984): Empfehlung 8-9 des AK 3.3: Dilatometer- und Wasserdruckversuche in Fels. – Bautechnik (4/1984)

- [58] DIN 18121, Teil 1(1998): Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung
- [59] DIN 18122, Teil 1 (1997): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze
- [60] DIN 18123 (1996): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung
- [61] DIN 18124 (1997): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korndichte - Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer
- [62] DIN 18125 (1997): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens. Teil 1: Laborversuche
- [63] DIN 18127 (1997): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch
- [64] DIN 18130-1 (2010): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes.
- [65] DIN 18135 (1999): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – eindimensionaler Kompressionsversuch.
- [66] DIN 18136 (2003): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch
- [67] DIN 18137, Teil 2 (1990): Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Triaxialversuch
- [68] DIN 18137, Teil 3 (2002): Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Direkter Scherversuch
- [69] DIN 18196 (2011): Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- [70] DIN 18300 (2019): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten
- [71] DIN 18312 (2019): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Untertagearbeiten
- [72] DIN 4020 (2003 - 09): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
- [73] DIN 4022 Teil 1 (1987): Baugrund und Grundwasser, Benennen und Beschreiben von Boden und Fels Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und Fels

- [74] DIN 4023 (2006 - 02): Baugrund- und Wasserbohrungen, Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse
- [75] DIN 4030-1 (2008 - 06): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase: Grundlagen und Grenzwerte.
- [76] DIN 4030-2 (2008 - 06): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben.
- [77] DIN 4149, (2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
- [78] DIN EN 1998-1/NA, Teil 1 (2011): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkung und Regeln für Hochbau
- [79] DIN EN ISO 14688-1 (2018): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden, Teil 1: Benennung und Beschreibung
- [80] DIN EN ISO 14688-2 (2018) - Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung, Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
- [81] DIN EN ISO 14689 (2018): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels
- [82] DIN EN ISO 22475-1 (2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenahmeverfahren und Grundwassermessungen, Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung.
- [83] DIN EN ISO 22476 - 3 (2005): Standard Penetration Test
- [84] DIN EN ISO 22476 – 5 (2005): Versuch mit dem flexiblen Dilatometer
- [85] DIN EN ISO 22476 – 2 (2005): Rammsondierungen
- [86] GDA-Empfehlung E1-4 (2004): Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit in schwach durchlässigem Untergrund. – Neufassung 4/04
- [87] ISRM (1978): Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses
- [88] Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32 (2001): LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen
- [89] Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: LAGA M 20 – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralogischen Reststoffen/Abfällen



Anmerkung: einige der angeführten Normen (v.a. bei Laborversuchen) liegen mittlerweile in einer neueren Fassung vor. Hier ist bewusst die zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung gültige Norm angegeben. Für die Durchführung der Untersuchungen wurde auf deutsche Regelwerke zurückgegriffen.

## **2.4 Karten, Luftbilder**

- [90] Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (1998): Karten zur Wasserwirtschaft. – verfügbar online: [http://www.bayern.de/lfw/daten/zahlen/k\\_zahlen.htm](http://www.bayern.de/lfw/daten/zahlen/k_zahlen.htm).
- [91] Bayer. Geologisches Landesamt (Hrsg., 1967): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8432 Oberammergau.
- [92] Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg., 2017): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt 8532/8632 Garmisch-Partenkirchen.
- [93] Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg., 2017): Profiltafel zu den Geologischen Karten von Bayern GK 1:25.000 Blatt 8531/8631 Zugspitze und Blatt 8532/8632 Garmisch-Partenkirchen.
- [94] Bayer. Geologisches Landesamt (Hrsg., 1966): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8533/8633 Mittenwald.
- [95] Geologische Bundesanstalt: Geologische Karte der Republik Österreich: Blatt Nr. 117 Zirl, 1:50.000.
- [96] Bayer. Landesvermessungsamt (1993): Bildflug Nr.93010/2, Bild Nr. 0557 bis 0561.
- [97] Bayerische Vermessungsverwaltung - [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de) (2023): Opendata. Kostenfreie Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung. 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0 für DGM1, DOP40).



## 3 ERKUNDUNGSMASSNAHMEN

### 3.1 Allgemeines

Die ersten Erkundungsmaßnahmen wurden im Projektgebiet für den geplanten Hochwasserentlastungsstollen Kanker im Jahre 2002 (ILF, 2002) durchgeführt und in einem geologischen-hydrogeologischen Bericht zusammenfassend beschrieben (Trasse weicht nur geringfügig von der Trasse des geplanten Wanktunnels ab). Die 2002 durchgeführten Erkundungsmaßnahmen entlang der Trasse beschränken sich auf eine geologische Kartierung des Projektgebietes.

Zur detaillierten Erkundung der Baugrundverhältnisse im Trassenbereich wurden im Rahmen von 3 Erkundungsphasen in den Jahren 2010, 2011 und 2021 bis 2024 Erkundungsmaßnahmen (Bohrungen, Oberflächenkartierung, Geoelektrische Erkundungen) durchgeführt. Ausgewählte Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

### 3.2 Felderkundung

#### 3.2.1 Kartierung

Im Zuge der Untersuchungen für den Hochwasserentlastungsstollen Kanker wurde im Jahre 2002 eine geologisch-geotechnische Kartierung im Maßstab 1:5.000 durchgeführt (ILF, 2002). Im Sommer 2010 wurden ergänzende geologische und hydrogeologische Kartierungsarbeiten durchgeführt. Neben bauwerkspezifische Nachbegehungen erfolgte durch ILF und die Universität Innsbruck eine geologische Neukartierung des Wankmassivs mit strukturgeologischem Schwerpunkt 2021-2022.

Die Benennung und Beschreibung von Boden und Fels erfolgte nach DIN EN ISO 14688-1 bzw. DIN EN ISO 14689-1 sowie nach ISRM.

#### 3.2.2 Tiefenaufschlüsse

Für das Projekt Wanktunnel wurden in den Jahren 2010 (EKP 1) und 2011 (EKP 2) im Zuge von zwei Bohrkampagnen insgesamt 18 Erkundungsbohrungen (KB 01/10 bis KB 18/11) mit abgestimmtem Labor- und In-situ Versuchsprogramm entlang der Trasse abgeteuft. Eine Nacherkundung in den Jahren 2021-2023 (EKP 3) umfasst die sechs Bohrungen KB 21/22 bis KB 26(s)/23.

Vor Beginn der Baugrunderkundung wurden basierend auf den vorhandenen Unterlagen die nachfolgenden, projektrelevanten Fragestellungen formuliert und das Erkundungsprogramm dahingehend geplant:

- Gebirgsbau entlang der gewählten Trasse
- Geologische Verhältnisse im Bereich der Schalmeischlucht
- Geotechnische Eigenschaften der anstehenden Festgesteine
- Hydrogeologische Verhältnisse entlang der gewählten Tunneltrasse
- Mögliche Auswirkungen des Bauwerkes auf den Wasserhaushalt im Bereich Wankmassiv, Loisachtal, Kankertal.
- Verwertbarkeit des Ausbruchsmaterials (Bodenverwertungskonzept, BoVeK)

Im Bereich der Anschlussstellen und Portale wurden im Jahr 2011 12 Erkundungsbohrungen (KB 19/11, KB 20/11, KB 51-56/11 und KB 71-74/11) und 12 Rammsondierungen (DPH 22-25/11, DPH 51-54/11, DPH 71-74/11) erstellt. Eine Nach-



erkundung wurde 2021 durchgeführt (KB 75/21, KB 76/21, KB 57- 63/21). Die Aufbereitung dieser Erkundungsmaßnahmen erfolgte im Detail für die kommende Planungsphase.

Tabelle 1 bis Tabelle 3 fassen die Erkundungsbohrungen entlang der Trasse des Wanktunnels zusammen.

Die Wahl der Bohransatzpunkte erfolgte in Abhängigkeit von den geologisch/geo-technischen und hydrogeologischen Fragestellungen und der bereichsweise aufgrund der morphologischen Verhältnisse stark eingeschränkten Zugänglichkeit. Hierbei ist vor allem auf den Bereich zwischen km 2+200 bis 2+800 hinzuweisen, in dem es aufgrund der topographischen Verhältnisse nicht möglich war, Bohrungen im unmittelbaren Nahbereich der Trasse abzuteufen. In nachfolgender Tabelle sind die Eckdaten der einzelnen Bohrungen zusammengefasst.

**Tabelle 1: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 01/10 bis KB 09/10 (EKP 1).**

	KB 01(S)/10	KB 02/10	KB 03/10	KB 04(S)/10	KB 05(S)/10	KB 06/10	KB 07(H)/10	KB 08/10	KB 09/10
HÖHE GOK [M Ü. NN]	810,29	840,33	893,59	941,41	1012,26	753,48	684,97	682,22	790,21
HÖHE POK [M Ü. NN]	-	841,18		942,30		754,44		683,19	790,21
TIEFE [M]	84,0	55,0	125,0	224,0	380,0	95,0	110,0	20,0	20,0
NEIGUNG AUS DER HORIZON- TALEN [°]	5	90	90	60	45	90	0	90	90
RICHTUNG AB- WEICHEND VON GEOGR. NORD [°]	283			15	166		142		
ABSTAND AN- SATZPUNKT ZUR TUN- NELACHSE [M]*	-	-70	-68	54	-85	-41	-51	-	-
LOCKERMATE- RIAL-STRECKE [M]	53,5	10,5	10,5	0,1	2,0	2,0	0,5	20,0	20,0
FELSSTRECKE [M]	30,5	44,5	114,5	223,9	378,0	93,0	109,5		
PEGELAUSSBAU	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja
BESONDERHEI- TEN			Aufgrund von Bohrlochinstabi- litäten kein Pegelausbau möglich	Schrägpe- gel (60°)	Bohrung wurde nicht verfüllt, steht offen für weitere Versuche		Bohrung mit Beton verfüllt	Pegelaus- bau mittels Nachfallsi- cherung	Unterflur- pegel

\*negatives Vorzeichen – Bohrung rechts der Trasse, positives Vorzeichen – Bohrung links der Trasse jeweils von NW nach SE gesehen

**Tabelle 2: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 10/11 bis KB 18/11 (EKP 2).**

	KB 10/11	KB 11/11	KB 12/11	KB 13/11	KB 14(S)/11	KB 15(S)/11	KB 16(S)/11	KB 17/11	KB 18/11
HÖHE GOK [M Ü. NN]	782,077	990,900	1011,940	954,288	898,667	851,185	811,92 (810,98, Ver- messung 2022)	816,350	813,830
HÖHE POK [M Ü. NN]	783,020	990,590	1012,940	955,295	899,247	851,654			
TIEFE [M]	100	290,7	275,6	220	160	80	88,6	26	20
NEIGUNG AUS DER HO- RIZONTALEN [°]	90	90	90	90	60	60	88	90	90
RICHTUNG ABWEICHEND VON GEOGR. NORD [°]	-	-	-	-	325	325	320	-	-
ABSTAND ZUR TUN- NELACHSE [M]*	-46	-82	-86	-38	-29	-11	-7	-31	-28
LOCKERMA- TERIAL-STRE- CKE [M]	3,6	0,1	0,0	0,1	10,2	2,9	3,8	2,6	1,4
FELSSTRE- CKE [M]	96,4	290,6	275,6	219,9	149,2	77,1	84,8	23,4	18,6
PEGELAUSS- BAU	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
BESONDER- HEITEN		Bis 193,5m Vollbohrung ohne Kernge- winn	Bis 180m Vollbohrung ohne Kernge- winn		Unterflur- pegel	Unterflur- pegel	Bohrung abge- brochen und mit Beton ver- füllt	GW nicht an- getroffen, Bohrung ver- füllt	GW nicht an- getroffen, Boh- rung ver- füllt

\* negatives Vorzeichen – Bohrung rechts der Trasse, positives Vorzeichen – Bohrung links der Trasse jeweils von NW nach SE gesehen

**Tabelle 3: Bohrlochdaten Baugrunderkundung Wanktunnel KB 21/22 bis KB 26(s)/23 (EKP3)**

	KB 21/22	KB 22(S)/22	KB 23(S)/22	KB 24(S)/22	KB 25(S)/23	KB 26(S)/23
HÖHE GOK [M Ü. NN]	1071,981	940,919	953,353	891,610	892,72	892,72
HÖHE POK [M Ü. NN]	1072,440	942,330	954,230	892,560		
TIEFE [M]	365,0	245,0	176,5	139,0	145,0	140,0
NEIGUNG AUS DER HO- RIZONTALEN [°]	90	56	61	59	55	35
RICHTUNG ABWEICHEND VON GEOGR. NORD [°]		293	316	310	290	205
ABSTAND ZUR TUN- NELACHSE [M] *	-44	-151	-18	-13	70	70
LOCKERMA- TERIAL-STRE- CKE [M]	3,0	stark hetero- gen, häufig zerbohrt + bin- diges Locker- material	5,0	stark hetero- gen, häufig bin- diges Locker- material	10,15	8,2
FELSSTRE- CKE [M]	362,0		171,5		134,85	131,8
PEGELAUSS- BAU	Ja	Ja	Zum Teil	Ja	Ja	Ja
BESONDER- HEITEN	Kern bis 250 m verwor- fen	Kern bis 54 m verworfen, Metallpegel	Hohe Kernver- luste, Bau- werksniveau nicht erreicht (Havarie), Ver- füllung bis 100 m	Bohrung abge- brochen		

\* negatives Vorzeichen – Bohrung rechts der Trasse, positives Vorzeichen – Bohrung links der Trasse jeweils von NW nach SE gesehen

Die Bohrungen wurden als Rotationskernbohrungen (Festgestein/Lockergestein) erstellt. Einige Bohrungen wurden im Lockergestein als Rammkernbohrungen ausgeführt. Die Bohrungen KB 11/11 und KB 12/11 wurden in den oberen Bohrlochabschnitten als Vollbohrung ohne Kerngewinn ausgeführt. KB 21/22 und KB 22(s)/22 waren im oberen Bereich ebenfalls als Vollbohrung geplant. Aufgrund der vertraglichen Situation wurden die Bohrungen kurzfristig vollständig als Kernbohrungen ausgeführt, der Bohrkern in den Abschnitten der geplanten Vollbohrstrecke vom Geologen vor Ort dokumentiert und im Anschluss verworfen. Ausgewählte Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut (siehe Tabelle 3, Abschnitt Pegelausbau).

In Summe wurden im Bereich der Tunneltrasse 3584,4 Bohrmeter (Stand 2024) erstellt.

### 3.3 In-situ Versuche

In den Bohrungen wurden die in Tabelle 4 zusammengestellten In-Situ-Versuche durchgeführt. Die Versuchsergebnisse fließen in das Baugrundmodell ein.

- Bohrlochrammsondierungen bzw. Standard Penetration Tests (SPT) zur Bestimmung der Lagerungsdichte / Konsistenz von Lockergesteinen
- Bohrlochaufweitungsversuche (BAV) zur Bestimmung der Gebirgssteifigkeiten der einzelnen lithologischen Einheiten
  - o Dilatometerversuche im Festgestein (Durchmesser 101 mm) nach Empfehlung 8-9 des AK 3.3 der DGGT: Dilatometer- und Wasserdruckversuche in Fels
  - o Seitendruckversuche in Lockergestein (z.B. Karstfüllungen) und stark aufgelockertem Festgestein mit der Ettlinger Seitendrucksonde (Durchmesser 146 mm)
- Bohrlochgeophysikalische Untersuchungen:
  - o Acoustic / Optical Borehole Imaging (ABI, OBI) zur Ermittlung von Orientierung, Art (immer im Zusammenhang mit der geologischen Bohrkernansprache zu sehen), Öffnungsweite und Abstand von Trennflächen und Ableitung des Bohrlochverlaufs und Kalibers
  - o Bohrlochverlaufsmessung (BLV) zur Bestimmung von Bohrneigung und -richtung (Azimuth)
  - o Kaliber-Log zur Bestimmung des Bohrlochdurchmessers (Ausbrüche, Hohlräume)
  - o Gamma-Ray-Log zur Differenzierung von Gesteinsabfolgen hinsichtlich des Tongehalts (z.B. verfüllte Karsthohlräume)
  - o Flowmeter (Flow), Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen (LF-T) zur Beurteilung der Wasserführung des Gebirges (z.B. Lage von Zuflüssen, vertikale Strömungen als Hinweis auf hydraulische Kurzschlüsse)
- Hydraulische Versuche zur Ermittlung der Durchlässigkeit der entlang des geplanten Bauwerks anstehenden Festgesteine gemäß DIN 18130
  - o Wasserabpressversuche
  - o Hydraulische Einfach- und Doppelpackertests
  - o Pegelpumpversuche
  - o Kurzpumpversuche

**Tabelle 4: Zusammenstellung der In-situ Versuche**

	KB01(S)/10	KB02/10	KB03/10	KB04(S)/10	KB05(S)/10	KB06/10	KB07(H)/10	KB08/10	KB09/10
WD VER- SUCH [STK]	-	2	-	2	3	2	2	-	-
PEGEL- PUMP- VERSUCH [STK]	-	1	-	1	-	1	-	1	1
SPT [STK]	-	3	-	-	-	-	-	8	10
CAL [M]	-	24,6 - 54,9	67,4 - 124,6	2,4 - 218,5	3,6 - 340,5 345,6 - 379,7	1,3 - 95,0	3,8 - 108,8	-	-
BAV [STK]	-	2	-	1; 1*	2	2	1	*	-
ABI [M]	-	24,6 - 54,9	96,9 - 124,2	186,0 - 219,6	345,9 - 368,3	-	32,1 - 109,9	-	-
GR [M]	-	24,6 - 54,9	27,594,7 - 122,2	1,0 - 219,6	343,2 - 368,2	-	30,1 - 107,8	-	-
OBI [M]	-	-	67,4 - 99,0	2,4 - 186,5	3,6 - 341,0	0,7 - 95,4	3,8 - 109,2	-	-
FLOWMETER [M]	-	8 - 54,9	-	186,0 - 219,6	194,3 - 341,7	29,0 - 94,6	-	-	-
BLV [M]	-	-	-	2,4 - 186,5	3,6 - 341,0	-	3,8-109,2	-	-

	KB 10/11	KB 11/11	KB 12/11	KB 13/11	KB 14(S)/11	KB 15(S)/11	KB 16(S)/11	KB 17/11	KB 18/11
WD VER- SUCH [STK]	1	-	-	-	-	-	-	-	-
PACKER- TESTS	2	4	4	4	-	-	-	-	-
PEGEL- PUMP- VERSUCH [STK]	1	1	-	1	-	-	-	-	-
SPT [STK]	-	-	-	-	-	-	-	1	4
CAL [M]	6,4-99,6	0,9-286,5	0,3-275,5	1,4-199,2	39,8-154,9	51,0-78,0	43,3-71,5	1,2-21,9	4,2-19,7
BAV [STK]	2	2	2	3	2	2	-	1	1
ABI [M]	59,6-100,1	76,4-287,1	219,6-275,7	26,3-200,2	-	73,0-78,4	-	12,8-22,2	-
OBI [M]	6,4-65,4	0,9-76,8	0,0-238,9	1,4-31,1	39,8-155,3	51,0-73,0	26,4-72,7	1,2-12,8	4,2-20,0
FLOWMETER [M]	20,0-99,7	81,2-284,0	193,3-274,8	27,5-199,5	-	-	-	-	-
BLV [M]	-	0-228,7**	193,3-275,7	-	0,0-155,3	0,8-78,5	0,0-72,7	-	-

\* Versuch erfolglos abgebrochen \*\* Vermessung auf Veranlassung der Bohrfirma

	KB 21/22	KB 22(S)/22	KB 23(S)/22	KB 24(S)/22	KB 25(S)/23	KB 26(S)/23
WD VER- SUCH [STK]					-	-
PACKER- TESTS	6	-*	-	6	3	-
PEGEL- PUMP- VERSUCH [STK]	-	-	-		-	-
SPT [STK]	-	-	-	-	-	-
CAL [M]	9,2-337,9 338,3-359,2	176,8-242,8 aus ABI	8,2-97,4	18,6-27,2 28,0-89,1 90,3-103,9	22,2-108,4	-
BAV [STK]	3	*	-*	3	-	-
ABI [M]	132,7-337,9 338,3-359,2	176,8-242,8	-*	90,5-107,5*	29,7-85,7	-
OBI [M]	9,2-133,4	-	8,2-69,0*	18,6-91,8	-	-
FLOWMETER [M]	129,0-338,0 338,3-359,2	-*	75,2-97,5	121,6-138,7	-	-
LF/T [M]	129,0-337,1 338,3-358,6	150,2-157,4 159,8-244,0	74,4-97,8	120,4-138,6	-	-
BLV [M]	1,7-359,2	0,0-242,8	0,0-98,7	18,6-107,5*	1-143,3	-

\* Versuch erfolglos abgebrochen bzw. nicht durchführbar

### 3.4 Laborversuche

Die Kernproben des EKP 1 (2010) wurden im Labor der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH untersucht. Die Untersuchungen an den Proben des EKP 2 (2011) wurden vom Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München, Prüfamf für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau durchgeführt. Die Versuche an den Proben des EKP 3 (2022 bis 2024) wurden von gbm Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH Baugrundinstitut, FeBo Lab, Technischen Universität München und der FWTH Aachen durchgeführt.

An den Proben in Tabelle 5 wurden boden- und felsmechanische, petrographische und umweltanalytische Versuche durchgeführt.

Die Versuchsergebnisse fließen in die Herleitung der geotechnischen Parameter und Charakterisierung der Gebirgsarten und Homogenbereiche ein (vgl. Kapitel 5.1, 5.3).

**Tabelle 5: Anzahl der entnommenen Proben aus den Bohrkernen, geotechnische Proben + Umweltproben.**

BOHRUNG	PROBEN-ANZAHL	BOHRUNG	PROBEN-ANZAHL	BOHRUNG	PROBEN-ANZAHL
KB 01s/10	13 + 2 (2022)	KB 10/11	11	KB 21/22	78+23
KB 02/10	14	KB 11/11	16	KB 22(s)/22	67+32
KB 03/10	12	KB 12/11	* + 4 (2022)	KB 23(s)/22	2+7
KB 04(s)/10	32	KB 13/11	61	KB 24(s)/22	49+21
KB 05(s)/10	24 + 6 (2022)	KB 14(s)/11	42 + 2 (2022)	KB 25(s)/23	11
KB 06/10	15	KB 15(s)/11	11	KB 26(s)/23	11
KB 07(h)/10	42	KB 16(s)/11	26		
KB 08/10	4	KB 17/11	8		
KB 09/10	4	KB 18/11	8		

\*aus Bohrung KB 12/11 wurden 2011 keine Proben entnommen

#### 3.4.1 Bodenmechanische Laborversuche

Folgende bodenmechanische Laborversuche wurden nach den zum jeweiligen Versuchszeitpunkt geltenden Normen (Kapitel 2.3) durchgeführt (Tabelle 6):

- Bestimmung der Korndichte
- Dichtebestimmung
- Wassergehaltsbestimmung
- Korngrößenverteilung
- Zustandsgrenzen
- Proctorversuch
- Triaxialer Scherversuch
- Rahmenscherversuch
- Ödometerversuch

**Tabelle 6: Zusammenstellung der bodenmechanischen Laborversuche.**

		KB 01 S/10	KB 03 /10	KB 04 S/10	KB 06 /10	KB 08 /10	KB 09 /10	KB 13 /11	KB 14 S/11	KB 15 S/11	KB 16 S/11	KB 17 /11	KB 18 /11	KB 22 S/22	KB 24 /22	KB 25 S/23	KB 26 S/23
<b>BODENMECHANISCHE LABORVERSUCHE</b>	KORNDICHTE [STK]	-	-	-	-	-	-	3	10	-	11	-	-	-	-	-	-
	FEUCHTDICHTE [STK]	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
	TROCKENDICHTE [STK]	2	-	1	-	-	-	3	10	-	11	-	2	-	-	-	-
	WASSERGEHALT [STK]	10	2	2	-	1	4	3	10	-	10	1	2	8	2	7	2
	KORNVERTEILUNG [STK]	12	3	6	-	3	4	-	10	1	7	2	-	9	3	7	11
	ZUSTANDS- GRENZEN [STK]	3	2	1	-	-	4	-	2	-	4	1	1	8	2	7	-
	RAHMEN-SCHER- VERSUCH [STK]	1	-	-	-	1	4	-	-	-	-	-	1	-	-	3	-
	TRIAXIALE SCHER- FESTIGKEIT [STK]	-	-	2	-	-	-	3	10	-	9	-	1	3	1	-	4
	PROCTORVERSUCH [STK]	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ÖDOMETERVER- SUCH [STK]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-

### 3.4.2 Felsmechanische Laborversuche

Folgende felsmechanische Laborversuche wurden nach den zum jeweiligen Versuchszeitpunkt geltenden Normen (vgl. Literaturverweise in Kapitel 2.3) durchgeführt:

- Einaxialer Druckversuch
- Punktlastversuch
- Spaltzugversuch
- Triaxversuch
- Trennflächen-Scherversuch
- Wasserlagerungsversuch
- Pulverquellversuch
- Abrasivitätsversuche (CAI- und LCPC-Versuche)

**Tabelle 7: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 01/10 bis KB 09/10).**

		KB 01S/10	KB 02/10	KB 03/10	KB 04S/10	KB 05/10	KB 06/10	KB 07H/10	KB 08/10	KB 09/10
<b>FELSMECHANISCHE LABORVERSUCHE</b>	EINAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	1	6	7	12	23	8	5	-	-
	PUNKTLAST- VERSUCH [STK]	-	7	-	13	-	-	37	-	-
	SPALTZUG- FESTIGKEIT [STK]	-	4	6	6	-	8	5	-	-
	TRIAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	-	-	-	2	-	-	-	-	-
	TRENNFLÄ- CHEN- SCHERVER- SUCH [STK]	-	1	1	1	7	7	6	-	-

**Tabelle 8: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 10/11 bis KB 18/11).**

		KB 10/11	KB 11/11	KB 12/11	KB 13/11	KB 14S/11	KB 15S/11	KB 16S/11	KB 17/11	KB 18/11
<b>FELSMCHANISCHE LABORVERSUCHE</b>	EINAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	7	11	-	28	11	6	7	2	8
	PUNKTLAST-VERSUCH [STK]*	1	-	-	16	10	2	5	1	3
	SPALTZUG-FESTIGKEIT [STK]	7	8	-	22	7	2	1		1
	TRIAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TRENNFLÄCHEN-SCHERVERSUCH [STK]	3	5	-	4	3	1	2	2	2

\*mehrere Einzelversuche aus der gleichen Entnahmetiefe wurden als 1 Versuch gezählt.

**Tabelle 9: Zusammenstellung der felsmechanischen Laborversuche (Bohrungen KB 21/22 bis KB 26(s)/23).**

		KB 21/22	KB 22S/22	KB 23S/22	KB 24S/22	KB 25S/23	KB 26S/23
<b>FELSMCHANISCHE LABORVERSUCHE</b>	EINAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	3	8	1	6	10	1
	PUNKTLAST-VERSUCH [STK]*	8	6	17	6	3	11
	SPALTZUG-FESTIGKEIT [STK]	5	4	1	5	-	-
	TRIAXIALE DRUCKFESTIGKEIT [STK]	3	3	-	2	-	-
	TRENNFLÄCHEN-SCHERVERSUCH [STK]	3	4	-		1	-
	CERCHAR-ABRASIVITÄTSVERSUCH [STK]	19	16	-	6	5	-
	LCPC-ABRASIVITÄTSVERSUCH [STK]	3	5	2	6	11	5
	WASSERLAGERUNGSVERSUCH [STK]	10	8	-	6	6	-
	PULVERQUELLVERSUCH [STK]	6	8	1	6	6	-
	FEUCHTDICHTE [STK]	-	-	-	-	5	-
	TROCKENDICHTE [STK]	-	-	-	-	5	-
	WASSERGEHALT [STK]	-	-	-	-	5	-

### 3.4.3 Petrographische Untersuchungen

Zur Ermittlung der qualitativen quantitativen mineralogischen Zusammensetzung von Gesteinen und des Tonmineralspektrums in tonig-mergeligen Gesteinen wurden Tonmineralanalysen mittels Röntgendiffraktometrie (XRD) durchgeführt. Durch die Untersuchungen können Rückschlüsse auf das Quellverhalten der Gesteine, deren Verwertbarkeit und das Potential für Betonaggressivität durch Sulfat- (Gips, Anhydrit) und potentiell sulfatbildende Sulfid-Mineralen (Pyrit) getroffen werden.

**Tabelle 10: Zusammenstellung der petrographischen Laborversuche.**

		KB06/ 10	KB 13 /11	KB 14 (S)/11	KB 16 (S)/11	KB 21/22	KB 22(S)/ 22	KB 24(S)/ 22	KB 25(S)/ 23
<b>PETROGRAPHISCHE LABORVERSUCHE</b>	<b>XRD [STK]</b>	3	1	4	4	5	7	5	7

#### 3.4.4 Umweltchemische Analysen

Im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit des Ausbruchmaterials und die Erstellung eines Bodenverwertungskonzeptes (BoVeK) wurden umweltchemische Analysen zur Beurteilung der geogenen Hintergrundbelastung durchgeführt.

In früheren Erkundungsphasen (EKP 2) wurden fünf Proben nach LAGA PN 98 [88] genommen und nach LAGA M20 analysiert [89]. Durch das wirksam werden der Ersatzbaustoffverordnung (EbV) am 01.08.2023 verliert die LAGA M20 ihre Gültigkeit. Die Umweltproben des EKP 3 wurden daher nach der EbV (104 Stück) und nach dem bayerischen Leitfaden für die Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen (LVGBT, ehem. Eckpunktepapier EPP) untersucht (132 Stück). Das BoVeK wird in einem gesonderten Bericht abgehandelt [43].

#### 3.5 Geoelektrische Erkundungen

Im Oktober 2023 und April 2024 wurden auf Veranlassung durch das StBA von der Firma GeoLog geoelektrische Erkundungen in den Protalbereichen durchgeführt. Es wurden in Summe 8 Messprofile erfasst, 7 im Bereich des Nordportals und 1 im Bereich Südportal. Details zur durchgeführten Methodik, zur Lage der Messprofile sowie deren Auswertung sind den Erkundungsberichten von GeoLog [41] und [42] zu entnehmen.

Für das Nordportal erlauben die Ergebnisse der Untersuchungen eine Präzisierung der Lage der Felslinie. Die Ergebnisse wurden im geologischen Modell entsprechend berücksichtigt. Für das Südportal sind die Ergebnisse dieser Erkundungen aufgrund der komplexen Geologie wenig aussagekräftig und wurden im geologischen Modell nicht berücksichtigt.

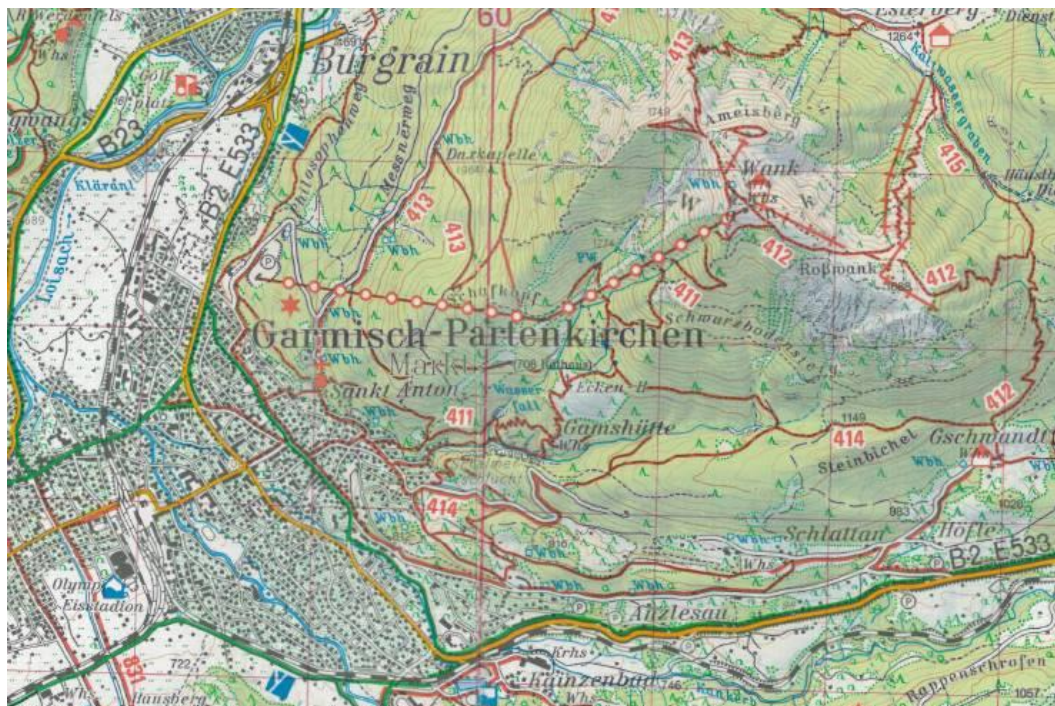


## 4 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

### 4.1 Allgemein

#### 4.1.1 Morphologische Verhältnisse im Trassenbereich

Das Projektgebiet umfasst die West- und Südflanke des Wanks, der als kegelförmiger Berg unmittelbar östlich der Marktgemeinde Garmisch-Partenkirchen liegt. Gegen Westen und Süden wird das Projektgebiet durch die bestehende B2 begrenzt, welche in den markanten Taleinschnitten der Loisach (ca. 700 mü.NN) und der Kanker (ca. 750 mü.NN) verläuft. Die NE-Grenze des Projektgebietes bildet der Gratverlauf zwischen Ameisberg, Wank und Roßwank.



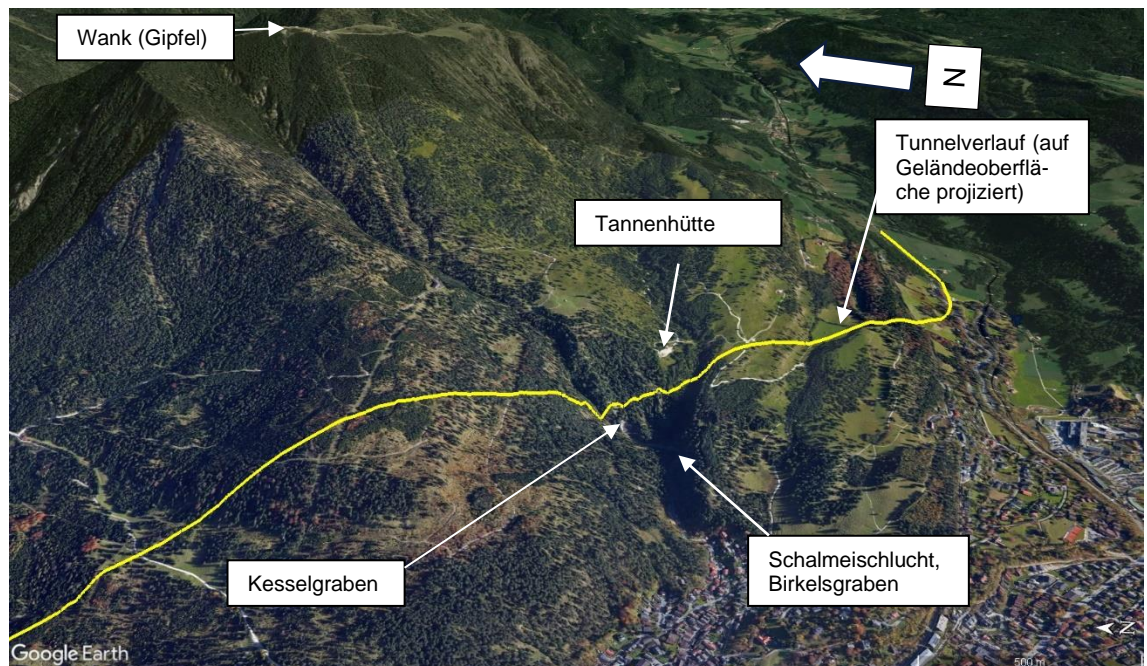
**Abbildung 2: Übersichtskarte des Projektgebietes**

Die Morphologie im Bereich des geplanten Tunnels lässt sich in drei Bereiche gliedern, wobei der Bereich der Schalmeschlucht und des Kesselgrabens den morphologisch markantesten Abschnitt darstellt:

Nordwestflanke des Wanks bis Kesselgraben/Schalmeschlucht: Von dem geplanten Nordportal des Wanktunnels, das noch im Talbereich der Loisach liegt, erhebt sich die Westflanke des Wanks mit mittleren Hangneigungen von 20° bis zu 30°. Der Laserscan (Bayerische Vermessungsverwaltung) zeigt dort im Bereich des in ca. SW-Richtung einfallenden Plattenkalks, dass das Gelände durch ca. normal zur Schichtung verlaufende ca. SSW-NNE-streichende Trennflächensysteme stufig abgesetzt ist. Im Gelände bilden die Stufen z.T. steilere Felswände aus. Kleinere Bacheinschnitte untergliedern das Gelände kleinräumig.

Kesselgraben und Schalmeschlucht: In den Südhang des Wanks sind zwei tiefe Schluchten eingeschnitten, die die markantesten Geländeformen im Projektgebiet darstellen und dem Verlauf von tektonischen Störungen folgen. Es handelt sich um die Schalmeschlucht (im Bereich südlich der Tannenhütte auch Birkelsgraben genannt), die das Projektgebiet in ca. E-W Richtung durchzieht und den Kesselgraben, welcher in NE-SW-Richtung verläuft. Die markanten Einschnitte, die sich etwa

auf 790 mü.NN Höhe zu einem Grabeneinschnitt vereinen, können auf dem Orthofoto über mehrere Kilometer verfolgt werden (vgl. Abbildung 3 sowie Anlage 1 und 2).



**Abbildung 3: Schrägansicht des Wankmassivs (Blickrichtung Osten) mit Verlauf von Kesselgraben und Schalmeschlucht sowie der Lage der Tunneltrasse auf Geländeoberfläche projiziert (Quelle Luftbild: Google Earth).**

Die Schalmeschlucht ist in Gesteine der Raibl-Formation eingeschnitten, wobei die steile Südflanke von Raibler Kalken aufgebaut wird. Der untere Bereich des Wandfußes und die gegenüberliegende Nordflanke sind in verschiedene Gesteine der sog. Oberen Raibler Serie (Rauwacken, Mergel, Dolomit) eingeschnitten. Der Kesselgraben verläuft in einer tief eingeschnittenen Schlucht, die von steilen Felsflanken aus massigen bis undeutlich gebankten Gesteinen des Hauptdolomits begrenzt ist.

Die Schalmeschlucht wird über den Birkelsgraben entwässert. Nach der Einmündung des Kesselgrabens in den Birkelsgraben auf ca. 780 mü.NN Höhe wird der Bachlauf als Faukenbach bezeichnet. Am unteren Ende der Schalmeschlucht im Bereich der Einmündung in die Talflur hat sich ein Schwemmfächer ausgebildet, auf dem Teile der Ortschaft Partenkirchen liegen.

Südflanke des Wanks südlich der Schalmeschlucht: Die Südflanke des Wanks jenseits der Schalmeschlucht bis in das Kankertal weist überwiegend flache, bereichsweise mittelsteile Hangneigungen auf und ist durch mehrere WNW-ESE-streichende Rücken- und Muldenstrukturen untergliedert. Beim nördlichsten Rücken handelt es sich um das sog. Hasenböderl-Plateau. Diese Geländeformen sind durch die unterschiedliche Verwitterungsbeständigkeit der in gleicher Richtung streichenden Gesteinsschichten im Untergrund begründet. Zudem ist das Gelände glazial überprägt und teils mit Moränenablagerungen bedeckt. Außer kleineren Bacheinschnitten, die episodisch nach Süden Richtung Kankertal entwässern, gibt es keine größeren Fließgewässer an der Südflanke des Wanks.



#### 4.1.2 Geologischer Überblick

Der Wank mit 1774 mü.NN liegt am Nordrand der Nördlichen Kalkalpen und bildet die südwestlichste Erhebung des Estergebirges, welches sich als NE-SW-streichender Gebirgszug zwischen Eschenlohe und Garmisch-Partenkirchen erstreckt. Die großtektonische Situation im Projektgebiet und dem südlich gelegenen Wetterstein-Massiv wird aktuell kontrovers diskutiert. Der vorliegende Bericht orientiert sich an der klassischen Deckengliederung nach Tollmann (1976b), Eisbacher & Brandner (1996) sowie den Erläuterungen zu den amtlichen geologischen Karten (vgl. Quellen).

Im großtektonischen Sinn wird das Estergebirge der oberostalpinen Lechtaldecke zugerechnet und ist eines der größten zusammenhängenden Karstgebiete der Bayrischen Alpen.

Im Bereich der Tunneltrasse wird das Gebirge aus triassischen Karbonatabfolgen der Hauptdolomit- und Plattenkalk-Formation sowie der Raibl-Formation und aus tonig-mergeligen Gesteinen der Schiefertonserie der Raibl-Formation und der Partnach-Formation aufgebaut. Im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung und der damit einhergehenden S-N gerichteten Einengung wurden diese Gesteinsformationen intensiv verfault und zerschert.

Geologisch gesehen kann das Projektgebiet in drei Abschnitte gegliedert werden:

- Nordabschnitt: Plattenkalk- und Hauptdolomit
- Zentralabschnitt: Überschiebungszone zwischen Hauptdolomit und Raibl-Formation
- Südabschnitt: verfaulte Schichten der Raibl- und Partnach-Formation

## 4.2 Stratigraphie

Die nachfolgende Beschreibung der geologischen Formationen dient dem allgemeinen geologisch-tektonischen Überblick und ist in Ergänzung zur graphischen Darstellung im Längenschnitt zu sehen (Anlage 2). Die Charakterisierung der geotechnischen Eigenschaften und Zuweisung der Homogenbereiche basiert auf einer lithologischen Gruppierung der Gesteinsarten und Zuordnung zu Gebirgsarten (vgl. Kapitel 5.1) und ist somit von der stratigraphischen Einteilung entkoppelt.

### 4.2.1 Partnach-Formation (Ladin)

Beschreibung: Die bis zu 400 m mächtigen Beckenablagerungen beinhalten grauschwarze Schiefertone, graue Tonmergel mit Einschaltungen von Mergelkalken und bis zu 20 m mächtigen Partnachkalken (Jerz 1966, Hornung & Haas 2017). Größere Mächtigkeiten können durch intensive tektonische Verfaltung vorge-täuscht werden, primäre Verzahnungen mit Karbonatgesteinen der Riffazies (Reifling- und Wettersteinformation) und Einschaltungen von Riffschuttkalken sind möglich (Hornung & Haas 2017).

Die Schichtung ist meist laminiert bis sehr dünn, selten dünn oder blättrig-schiefrig (zerschert) ausgebildet. Trennflächen sind eben bis wellig-glatt, untergeordnet rau und zeigen oft glatt bis polierte Harnischflächen.

Die Gesteine verwittern in hellgrauer bis bräunlicher, teils rostbrauner Farbe, Schiefertone und Tonmergel zerfallen dabei grusig bis blättrig (Abbildung 4). Bei Wasserkontakt und mechanischer Beanspruchung ist ein veränderlich festes Gesteinsverhalten zu erwarten, v.a. wenn das Gestein bereits aufgelockert und verwittert ist.

Nach Jerz & Ulrich (1966) und Hornung & Haas (2017) kann der Kalkgehalt der tonigen Gesteine und der nahezu fehlende Fossilgehalt der Partnach-Formation

als Abgrenzungskriterium zur kalkfreien Basis der Raibl-Formation herangezogen werden. Es können Pyrit und Bitumen enthalten sein, eine Gasführung ist möglich. Die Gesteine der Partnach-Formation im Projektgebiet werden dem Nordschenkel des Wamberger Sattels zugerechnet, der sich südlich der Kanker als West-Ost-streichender Höhenrücken an das Projektgebiet anschließt. Der Kontakt zu der im Norden und Westen angrenzenden Raibl-Formation ist tektonischer Art.

Vorkommen im Projektgebiet: Die Partnach-Formation wird im Projektgebiet von quartären Sedimenten überlagert, Oberflächenaufschlüsse finden sich weiter südlich im Talbereich der Kanker. Im südlichen Trassenabschnitt und im Bereich des Südportals wurde die Partnach-Formation unterhalb der quartären Lockergesteine mit den Bohrungen KB 01(s)/10, KB 02/10 und KB 16(s)/11 aufgeschlossen. Die in KB 17/11, KB 18/11 und KB 57-KB59/21 angetroffenen Tonsteine konnten nicht eindeutig einer bestimmten Formation zugeordnet werden, da sie in stark gestörtem und verschuppten Gesteinsverband vorliegen und Unterscheidungsmerkmale nicht eindeutig sind. Bei den Bohrarbeiten wurden kaum intakte größere Kernstücke (max. ca. 20 cm) erbohrt, was auf einen hohen Zerlegungsgrad hindeutet (siehe Abbildung 5). Aufgrund der oberflächennahen Position mit wenigen dm- bis m-mächtiger quartärer Überdeckung in Kombination mit intensiver tektonischer Beanspruchung und Verfaltung liegen die inkompetenten Gesteine im Bereich des Südportals oft verwittert, zerschert und stark aufgelockert vor und können variable geotechnische Eigenschaften aufweisen. Übergänge zu Störungsgesteinen (vgl. Kapitel 4.4.4) und Verwitterungsschutt / Felszersatz mit Lockergesteinscharakter können fließend sein.

Das Auftreten der Partnach-Formation unterhalb der tektonisch stark verfalteten Raibl-Formation (evtl. mit sedimentären Übergängen) im Trassenbereich von ca. Station 2+900 (v.a. ab 3+736) in südliche Richtung kann nicht ausgeschlossen werden.



**Abbildung 4: Bräunlich verwitterte und blättrig zerlegte Schiefertone der Partnach-Formation im Oberflächenaufschluss am Bohransatzpunkt von KB 16(s)/11.**



**Abbildung 5: Tektonisch beanspruchte Gesteine der Partnach-Formation im Bohrkernaufschluss.**

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Die Partnach-Formation wird aufgrund ihrer Gesteinszusammensetzung aus überwiegend tonigen Gesteinen als relativer Wasserstauer mit geringen bis sehr geringen Wasserdurchlässigkeiten angesehen, so dass bei entsprechenden topographischen Bedingungen Vernässungszonen entstehen können. In kalkigen und stärker zerlegten Abschnitten können höhere Durchlässigkeiten auftreten (vgl. hydraulische Packertests KB 02/10).

#### 4.2.2 Raibl-Formation (Karn)

##### 4.2.2.1 Allgemeine Beschreibung

Die Raibl-Formation stellt eine heterogene Sedimentgesteinsabfolge mit Schiefer-tonen, Sandsteinen, Mergeln, Kalken, Dolomiten, Rauwacken und Evaporiten dar. Eine ternäre Gliederung der Raibl-Formation anhand der Wechsellagerung von drei Schiefer-tonserien und drei Karbonatgesteinsserien in Obere, Mittlere und Un-tere Raiblerschichten wurde u.a. von Jerz (1966) geprägt. Aufgrund von intensiver tektonischer Beanspruchung kann diese Gliederung im Projektgebiet nicht immer nachvollzogen werden. Die Geländeaufnahmen und Bohrerergebnisse aus dem Trassenumfeld des geplanten Wanktunnels zeigen, dass die Raibl-Formation hauptsächlich in drei lithologischen Ausbildungen existiert: Rauwacken, Kalke und tonig-mergelige Fazies/Schiefer-tonfazies. Karbonatische Abfolgen (Rauwacken, Kalksteine) können in stark verkarsteter Form vorliegen.

Die Raibl-Formation kann im Kartengebiet Blatt 8532/8632 Garmisch-Partenkir-chen zwischen 300-500 m mächtig werden und beträgt im Ferchenbachgebiet süd-lich des Wanks ca. 300 m (Jerz 1966, Hornung & Haas 2017). Die Angabe der Maximalmächtigkeit wird gemäß Hornung & Haas 2017 durch intensive tektoni-sche Beanspruchung (Duplexbildungen, Durchscheren) erschwert, die aus der Funktion der Raibl-Formation als duktiler „Puffer“ zwischen zwei spröde deformier-ten stratigraphischen Einheiten resultiert (Wetterstein-Formation im Liegenden und Hauptdolomit im Hangenden).

Die Erkundungsergebnisse bestätigen die intensive tektonische Beanspruchung, häufig wurden spröde und duktile Störungszonen aufgeschlossen. Im Bereich der Schalmeschlucht westlich der Tannenhütte wurde mit der Bohrung KB 22(s)/22 eine mehrere Zehnermeter mächtige Störungszone mit zerscherten Tonsteinen, Störungsbrekzien und tonigem Lockermaterial erkundet, welche als tektonisch



überprägte Hangendgrenze zum nördlich gelegenen Hauptdolomit in Form einer Überschiebungszone interpretiert wird. Diese nördliche Begrenzung der Raibl-Formation entspricht in etwa dem Verlauf der Schalmeschlucht / Birkelsgraben. Die Liegendgrenze zur Partnach-Formation kann am Ferchenbach südlich des Projektgebietes als stratigraphischer Übergang anhand des Farbwechsels und des abrupt fehlenden Karbonatgehaltes (Reingraben Schiefer) gezogen werden (Hornung & Haas 2017), ist im unmittelbaren Projektgebiet jedoch nicht aufgeschlossen und wird als vorwiegend tektonischer Kontakt mit Verschuppungen zwischen Partnach- und Raibl-Formation prognostiziert.

Im Folgenden werden die verschiedenen Ausbildungen der Raibl-Formation im Projektgebiet erläutert.

#### 4.2.2.2 Raibl-Formation: Schiefertonzonafazies / tonig-mergelige Fazies

##### Beschreibung:

Bei der Schiefertonzonafazies der Raibl-Formation handelt es sich um eine heterogene Wechsellagerung von dunkelgrauen bis schwarzen Tonsteinen und Schiefertonen mit Einschaltungen von feinkörnigen Sand- und Schluffsteinen und dunkelgrauen, teils grünlichgrauen Mergel-, Tonmergel- und Kalkmergelsteinen. Die Mächtigkeit der einzelnen Lagen liegt zwischen wenigen Dezimetern und mehreren Metern, teils bis 10er Metern, die einzelnen Lagen sind vermutlich nicht durchgehend horizontbeständig. Sandige Tonsteine, Schiefertone, Tonmergel und (Kalk)Mergelsteine wurden in den Bohrungen KB 13/11, KB 14(s)/11, KB 15(s)/11 und KB 16/11, KB 24(s)/22 und KB 25(s)/23 angetroffen. Da diese Schichten aufgrund des komplexen Gebirgsbaus und tektonischer Überprägung nicht eindeutig einer der drei in der Literatur beschriebenen siliziklastischen Horizonte (Untere, Mittlere, Obere Schiefertonzonafolge) zugeordnet werden können, ist ihre Stellung innerhalb der Raibl-Formation (oberer, mittlerer oder unterer Abschnitt) unklar. Typische Anzeiger wie z.B. die Sphaerocodienbänke (untere Schiefertonzonafolge) konnten nicht festgestellt werden. Die siliziklastischen und tonig-mergeligen Schichten werden daher im Folgenden aufgrund ihrer lithologischen Ausbildung allgemein als Raibl-Formation in Schiefertonzonafazies bezeichnet.

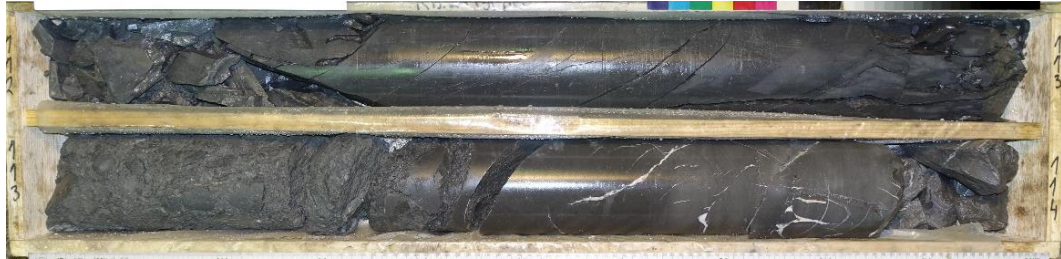
An Internstrukturen können Bioturbationsspuren oder Slumpingstrukturen auftreten, als Charakteristikum für die Raibl-Formation wurden einzelne cm-mächtige Lagen mit Fossilschutt, siliziklastischem Detritus in Form Quarz und makroskopisch erkennbaren Hellglimmerschüppchen vorgefunden.

Die Gesteine der Raibler Schiefertonzonafazies sind v.a. in gestörten Bereichen teils von bis zu 2 cm dicken weißen und rosa gefärbten Calcitadern durchzogen und können Bitumen und Pyrit und pyritisierte Fossilien (z.B. KB 13/11, 145 m) enthalten, eine Gasführung ist möglich. Die Gesteine können durch Verwitterungseinflüsse und tektonische Prozesse oft stark verwittert und aufgelockert sein, Übergänge zu Lockergesteinen in Form von Störungsgesteinen (Bimrock, Tone) und Verwitterungsschutt / Felszersatz können fließend sein und in sämtlichen Tiefenlagen auftreten (z.B. KB 24(s)/22).

Die inkompetenten Gesteine weisen überwiegend (sehr) geringe bis mäßig schwache Festigkeiten und unterschiedliche Kalkgehalte auf. Bei Wasserkontakt und mechanischer Beanspruchung ist ein veränderlich festes Gesteinsverhalten zu erwarten.

Die Schichtung ist meist laminiert bis sehr dünn, selten dünn oder blättrig-schiefrig (zerschert) ausgebildet, sodass bei den Bohrungen bereichsweise wenig intakte Kernstücke gewonnen werden konnten. Trennflächen sind häufig eben bis wellig glatt (selten rau), teils als gestriemte bis polierte Harnische ausgebildet oder tonig-schmierig belegt. Kalkmergelsteine können bereichsweise mittel bis dick geschichtet mit wenigen mechanisch wirksamen Trennflächen und mäßig hohen Festigkeiten vorliegen. Lokal gibt es tonige Füllungen im mm- bis cm-Bereich mit weicher bis steifer Konsistenz.

Die einzelnen Schiefertonfolgen werden in der Literatur mit unterschiedlichen Mächtigkeiten angegeben (Hornung & Haas 2017, Kuhnert 1967). Die Untere Schiefertonfolge kann Mächtigkeiten von ca. 35 m am Ferchenbach, bis 140 m in der Wamberg-Synklinale südlich des Projektgebietes und ca. 36 m am Zirbelkopf im östlichen Wettersteingebirge betragen, während die Obere Schiefertonfolge als nur sehr geringmächtig angegeben wird (Jerz 1966).



**Abbildung 6: Tonsteinen aus der Raibler Schiefertonfazies mit gestörter Bimrock-Struktur (KB 24(s)/22, 112-114 m).**

Vorkommen im Projektgebiet: Die Schiefertonfazies der Raibl-Formation ist im Projektgebiet aufgrund der quartären Überdeckung an der Oberfläche nicht aufgeschlossen. Ab ca. Station 2+850 nach Süden bis zur südlichen Anschlussstelle wurde sie in mehreren Bohrungen und unterschiedlicher Ausbildung erkundet. Die größte erbohrte Länge von Ton-, Mergel- und Kalkmergelsteinen der Raibl-Formation in KB 24(s)/22 mit ca. 110 m liegt in der überwiegend schleifend bis parallel zur Schichtung orientierten Bohrung begründet und weist im unteren Bereich eine starke tektonische Überprägung auf. In der Bohrung KB 13/11 wurden mehrere Ton- und Mergelsteinhorizonte zwischen 149,5 m und 216,1 m erkundet, wobei sich eine tektonische Beeinflussung aus den Bohrergebnissen ableiten lässt. Bei den Vorkommen der Raibl-Formation in Schiefertonfazies in den Bohrungen KB 14(s)/11 und KB 16(s)/11 handelt es sich überwiegend um dunkelgraue bis schwarze Tonsteine und Kalkmergel, wobei die starke Zerlegung dieser Gesteine auf erhebliche tektonische Beanspruchung hinweist. In der Bohrung KB 15(s)/11 treten nur zwei jeweils ca. 4 m mächtige Tonstein- bzw. Mergellagen auf, die der Raibler Schiefertonfazies zugeordnet werden. In der Bohrung KB 25(s)/23 wurden Gesteine der Raibler Schiefertonfazies von durchgängig 117,60 bis 145,00 erbohrt.

Im Bereich von Überschiebungszonen konnten vereinzelt (westlich des Südportals) dunkle Schiefertone und Mergel beobachtet werden, die vermutlich sog. Schubfetzen darstellen und ebenfalls der Schiefertonfazies der Raibl-Formation zuzuordnen sind.

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Da der überwiegende Teil der Schiefertonserie aus tonig-mergeligen Gesteinen besteht, ist davon auszugehen, dass die Raibl-Formation in Schiefertonfazies als relativer Wasserstauer wirkt. Die hydraulischen Durchlässigkeitsversuche in Bohrung KB 13/11 und KB 24(s)/22 bestätigen eine geringe hydraulische Durchlässigkeit. In spröderen kalkigen Abschnitten mit geöffneten Klüften und Störungszonen kann die Durchlässigkeit lokal erhöht sein.

#### 4.2.2.3 Raibl-Formation: Karbonatgesteinsserien, Kalk-Dolomit-Folgen

##### Beschreibung:

Gemäß der ternären Gliederung der Raibl-Formation folgt im Hangenden der drei Schiefertonhorizonte je eine karbonatische Gesteinsfolge (Untere, Mittlere und Obere Karbonatserie), wobei aufgrund des tektonisch komplexen Gebirgsbaus eine genaue Zuordnung der erbohrten Gesteine zu den jeweiligen Abschnitten nicht möglich ist. Die obere Folge wird vorwiegend von Rauwacken geprägt und wird daher gesondert im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

Der Großteil der karbonatischen Abfolgen wird aus gut gebankten, feinkörnigen hellgrauen bis braungrauen Kalken, Zellenkalken, beigen Kalkmikriten und bereichsweise Dolomiten gebildet. Untergeordnet treten Einschaltungen von Rauwacken mit massiger Ausbildung und mürbe Kalke mit kreidiger Absonderung auf. Quarzitisches Hornsteinlinsen werden in der Literatur (Jerz & Ulrich 1966) beschrieben, konnten in den Bohrungen aber nicht festgestellt werden.

Die Kalke sind überwiegend gut gebankt (Schichtmächtigkeit dünn bis mittel vgl. Abbildung 7), wobei die Schichtflächen z.T. gewellt sind und einen dünnen Tonbelag bzw. tonig-schluffige Zwischenlagen aufweisen können. Teils sind durch Drucklösung entstandene Stylolithen mit tonigen schwarzen Rückständen zu finden.

Die Kalke sind unterschiedlich stark von Calcitadern durchzogen, teils fossilführend und beinhalten bereichsweise mm- bis cm-große rundliche Hohlräume und Poren sowie leicht geöffnete Klüfte mit Calcitrasen (schwach verkarstet). Abschnittsweise liegen die Kalke tektonisch beansprucht, zerrüttet und brekziiert als Kataklastite vor, wodurch sie teils kleinstückig brechen (z.B. KB 23(s)/22). In den Bohrungen KB 23(s)/22 und im untersten Abschnitt von KB 24(s)/22 wurden stark tektonisierte und stark verkarstete Kalksteine und Kalkbrekzien mit Hohlräumen bis zu mehreren Dezimetern bis vermutlich Metern Erstreckung erbohrt (hohe Spülverluste beim Abteufen der Bohrungen, Kamerabefahrung wegen Bohrlochinstabilitäten nicht vollständig möglich). Es besteht die Möglichkeit, dass der starke Zerlegungsgrad dieser Gesteine teilweise auf den Bohrvorgang zurückzuführen ist. Das oberflächlich überwiegend steile Schichteinfallen der Raibler Karbonate südlich der Schalmeschlucht dürfte die Wasserwegigkeiten und Verkarstung begünstigen. Aufgrund einer Havarie bei KB 23(s)/22, hohen Kernverlusten und nicht gänzlich durchführbarer Geophysik ist die Ausbildung und Verbreitung des Karstes bis auf Tunnelniveau in diesem Abschnitt nur zu vermuten.

In kompakteren Abschnitten sind die Festigkeiten der Karbonatgesteine hoch bis sehr hoch, in beanspruchten Teilen entsprechend niedriger (sehr gering bis mäßig hoch).

Die untere Karbonatgesteinsserie wird im Bereich des Kartenblatts Mittenwald mit 50-60 m Mächtigkeit, die mittlere Serie mit 20-30 m Mächtigkeit beschrieben (Jerz & Ulrich 1966), für das Blatt Garmisch-Partenkirchen werden keine Mächtigkeiten angegeben. Obwohl im Projektgebiet durch Bohrungen nicht aufgeschlossen, wird basierend auf den Erläuterungen von Jerz & Ulrich (1966) davon ausgegangen, dass im Liegenden der Schiefertonfazies nochmals Raibler Schichten in Karbonatfazies auftreten (vgl. geol. Längsschnitt in Anlage 3). Es ist damit zu rechnen, dass diese untere Karbonatabfolge eine Mächtigkeit von mehreren 10er-Metern aufweisen kann. HORNING & HAAS (2017) beschreiben in der unteren Karbonatabfolge eine Bitumenführung.





**Abbildung 7: Gebankte graue Raibler Kalke (KB 13/11 84-88 m).**

Vorkommen im Projektgebiet: Die Karbonatgesteinsserie bildet im Kartiergebiet unter anderem die südliche Felsflanke der Schalmeislucht (Abbildung 8), weitere Aufschlüsse befinden sich, häufig von Quartär bedeckt, auf der Südflanke des Wank und in einem Grabeneinschnitt südlich von KB 03/10 bis zur Bundesstraße B2. Auf Tunnelniveau kommen die Karbonate in Wechselfolge mit Schiefertonfazies von ca. Station 2+789 bis 3+418 und von ca. 3+505 bis zum Südportal zu liegen, wobei im südlichen Abschnitt zunehmend Verschuppungen mit der Partnach-Formation auftreten können. Die westlichste Bohrung für die Anschlussstelle Süd (KB 63/21) erschließt Raibler Karbonate in einer Tiefenlage von ca. 20 m unterhalb postglazialer Schotter und Moränenablagerungen.



**Abbildung 8: Raibler Kalke der Karbonatgesteinsserie.**

Im Bereich des Birkelsgrabens findet sich ein auffälliger Horizont aus sedimentären (?) Brekzien (siehe Abbildung 9). mit unterschiedlichen Komponenten der Raibl-Formation überwiegend in Kies- und Steingröße. Zum Teil sind auch Komponenten in Blockgröße eingelagert. Die meist kantengerundeten Komponenten sind in eine feinklastische Matrix eingebettet, die diagenetisch verfestigt ist. Aufgrund der Verwitterung ist der Gesteinsverband oberflächennah aufgelockert, so dass auch einzelnen Komponenten leicht mit dem Hammer herausgelöst werden

können. In den Bohrungen wurden innerhalb von Rauwacken optisch sehr ähnliche Brekzien erkundet, welche im vorliegenden Bericht als Füllungen von Karsthohlräumen und/ oder als Störungsgesteine / Block-in-Matrix Strukturen interpretiert werden.



**Abbildung 9: Aufgeschlossene Brekzie mit Komponenten der Raibl-Formation, möglicherweise Hohraumfüllung.**

Des Weiteren wurden im Bereich des Birkelsgrabens graublaue, hellgrau anwitternde Mergelkalke mit einer aufgeschlossenen Mindestmächtigkeit bis ca. 2 m beobachtet. Die Mergellagen stellen laut Jerz (1966) einen Leithorizont dar und leiten die Obere Serie der Raibl-Formation ein.



**Abbildung 10: Mergellage innerhalb der Karbonatabfolge.**

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Die Wasserführung in den Raibler Kalken wird durch die vorhandenen Trennflächen und Hohlräume bestimmt, da die Kalke an sich als sehr gering wasserdurchlässig einzustufen sind. Je mehr geöffnete Trennflächen bestehen, desto höher ist die Wasserführung. Die Bohrungen zeigten, dass einige geöffnete Trennflächen sowie tektonisch zerrüttete Bereiche mit hoher Trennflächendichte in den Kalken bestehen. Zudem wurden beispielsweise in KB 15s/11, KB 23(s)/22 und KB 24(s)/22 in den Kalken mehrere dm-mäch-



tige Hohlräume angetroffen, so dass von bereichsweise vorhandenen Karsterscheinungen ausgegangen werden muss. Die Wasserführung entlang geöffneter, durch Karst erweiterter Trennflächen kann erheblich sein, Schüttungsmenge und Druckpotentiale können im Karst starken niederschlagsabhängigen Schwankungen unterliegen.

#### 4.2.2.4 Raibl-Formation: Obere Kalk-Dolomitfolge (vorwiegend Rauwacken)

Beschreibung: Das Top der Raibl-Formation bestehen im Kartiergebiet aus überwiegend massigen Rauwacken und Kalkbrekzien, sowie eingeschalteten Mergellagen, Mürbkalken und Dolomiten unterschiedlicher Schichtmächtigkeiten. Teils treten mergelige Zwischenlagen mit schwarz-glänzenden, schmierigen Trennflächenbestegen sowie Lockergesteinsabschnitte auf.

Entlang der Zufahrt zur Tannenhütte fallen im Bereich der Schluchtquerung stark unterschiedliche Verwitterungsgrade und Festigkeitseigenschaften der Gesteine auf engstem Raum auf, Bänke mit harten und kompetenten Karbonatgesteinen liegen innerhalb von tonig-schluffigen Verwitterungsprodukten mit Lockergesteinscharakter vor. In der Bohrung KB 22(s)/22 wurde bis zur Bohrtiefe von ca. 54 m tiefgründig verwittertes, zerbohrtes, lockergesteinsähnliches Material erkundet. Ein vergleichbarer Bohrbefund ergibt sich für KB 26(s)/23, wo bis in eine Teufe von ca. 130m zerbohrtes, lockergesteinsähnliches Material erkundet wurde. Aufgrund der Kernqualität ist eine Zuordnung dieser Gesteine nicht eindeutig. Aus der Zusammenschau aller Erkundungsergebnisse im Umfeld von KB 26(s)/23 wird davon ausgegangen, dass es sich um zerbohrte Rauwacken und Mürbkalke der Oberen Kalk-Dolomitfolge handelt.

Das Vorkommen von Gips- und Anhydrit in der oberen Raibl-Formation ist grundsätzlich bekannt (z.B. Straße „Am Gipsbruch“ am Ausgang der Schalmeschlucht). Bei den Erkundungsarbeiten wurden keine makroskopisch erkennbaren Gipsvorkommen erkundet, dünne weißliche Linsen und Lagen in der Bohrung KB 22(s)/22 konnten nicht eindeutig als Gips identifiziert werden (evtl. Verwitterungsprodukte davon). Teils erhöhte Sulfatgehalte im Eluat von Umweltproben in KB 22(s)/22 (Bohrtiefe 107-123,2 m) geben Hinweise auf fein verteilten Gips oder Anhydrit innerhalb der Überschiebungszone. Im Gegensatz dazu lieferten die bislang durchgeführten Untersuchungen im Hinblick auf Betonaggressivität keinen Hinweis auf erhöhte Sulfatgehalte (vergl. Kapitel 6.9.2). Ein Hinweis auf ausgelaugten Gipskarst könnte die Lokalität „Auf der Lache“ ca. 600 m westlich von KB 14(s)/11 sein, bei der es sich um eine Doline handeln könnte. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch auf Tunnelniveau in der Oberen Raibler Serie Gipsvorkommen auftreten. Hierbei handelt es sich laut Jerz (1966) nicht um horizontgebundene Bildungen, sondern um stockartige Einzelvorkommen.

KUHNERT (1967) erwähnt teils erhebliche Bitumengehalte in den Rauwacken. In den Erkundungsbohrungen konnte ein Bitumengehalt bislang jedoch nur in einer in Rauwacken eingeschalteten ca. 1,5 m langen Kalksteinsequenz in KB 25(s)/23 festgestellt werden. Innerhalb bituminöser Gesteine ist eine Gasführung möglich. Innerhalb der Oberen Serie wurden mit bindigem Material verfüllte Hohlraumstrukturen erbohrt (KB 25(s)/23, KB 22(s)/22, KB 04(s)/11, KB 03/10), wobei es sich vermutlich um verfüllte Paläokarsthohlräume (Karbonatkarst und/oder Gipskarst) handelt (siehe Abbildung 11). Eine genauere Beschreibung dieser Strukturen findet sich in Kapitel 4.5.1. In KB 13/11, KB 23(s)/22 und im unteren Teil von KB 24(s)/22 wurden unverfüllte Hohlräume von mehreren Dezimetern Länge angetroffen. Ob diese Hohlräume primär unverfüllt waren, oder die Füllung durch die Bohrspülung ausgewaschen wurde, lässt sich durch den Bohrbefund nicht klären. Auch die durchgeführten geophysikalischen Bohrlochscans erlauben keine eindeutige Aussage.

Die Rauwacken im obersten Abschnitt der Raibl-Formation, haben laut Hornung & Haas ([10]) eine Mächtigkeit von 140-200 m.



**Abbildung 11: Hellbraune Karstfüllungen in Rauwacken der Oberen Serie in der Bohrung KB 03/10 (64-68 m).**

Vorkommen im Projektgebiet: Die Obersten Raibler Schichten (Rauwacken) kommen im Bereich der Tunneltrasse nördlich der Schalmeischlucht (KB 04(s)/10, KB 22(s)/22) in einem mächtigen, nach Süden einfallenden Gesteinsstapel vor, der vermutlich tektonisch stark überprägt ist. Die Südgrenze verläuft ca. parallel zur Schalmeischlucht/Birkelsgraben. Mit der KB 22(s)/22 wurde eine mehrere Zehnermeter mächtige Überschiebungszone der Raibler Rauwacken auf den darunter liegenden nördlich anschließenden Hauptdolomit aufgeschlossen. Des Weiteren wurden die Rauwacken u.a. auch im südöstlich gelegenen Bereich durch die Bohrungen KB 13/11 und KB 03/11, z.T. in KB 23(s)/22, sowie in KB 25(s)/23 und KB 26(s)/23 erkundet. Es bestehen mehrere Aufschlüsse, in denen Raibler Rauwacken an der Geländeoberfläche anstehen, allem voran in der Schalmeischlucht entlang der Zufahrt zur Tannenhütte.

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Die Wasserführung und hydraulischen Eigenschaften der Rauwacken werden als sehr inhomogen eingestuft, da massige Gesteinsbereiche mit stark zellig-porösen Abschnitten und zahlreichen Hohlräumen abwechseln. In Bohrung KB 13/11 wurden innerhalb der Rauwacken offene Hohlräume (Karst) bis 2 m Länge angetroffen. Die sehr hohen Durchlässigkeiten in derartig verkarsteten Abschnitten zeigten sich beim Abteufen der Bohrungen KB 13/11, KB 22(s)/22 und KB 23(s)/22 durch vollständige Spülverluste. Die Wasserführung entlang geöffneter, durch Karst erweiterter Trennflächen kann erheblich sein, Schüttungsmenge und Druckpotentiale können im Karst starken niederschlagsabhängigen Schwankungen unterliegen.

#### 4.2.3 Hauptdolomit-Formation (Nor)

Beschreibung: Die Abfolge des Hauptdolomits wird aus meist hellgrauem, braungrauem bis dunkelgrauem, teilweise leicht kalkigem Dolomitgestein aufgebaut. Örtlich sind bituminöse Mergelsteine (Asphaltschiefer) mit Mächtigkeiten bis zu

1 m eingeschaltet. Des Weiteren wurden häufig schwarz glänzende, bituminöse Trennflächenbeläge beobachtet. Im Zusammenhang mit der Bitumenführung ist eine Gasführung im Hauptdolomit möglich.

Der Hauptdolomit ist in der Regel im Dezimeter- bis Meter-Bereich gebankt, vereinzelt treten auch Schichtabstände bis zu 10 m Mächtigkeit auf (siehe Abbildung 12). Häufig ist die Schichtung nur sehr undeutlich zu erkennen. Das Inventar an Internstrukturen beinhaltet charakteristischerweise synsedimentäre und tektonische Brekzien, Slumpingstrukturen und Lamination (Algenstromatolithe).

In den Bohrkernen der KB 21/22, in Tiefen von ca. 321-324m und 355-359m und von KB 22(s)/22, in Tiefen von 153,8-154,8m, 166,5-168,4m und 213-215,8m wurden im Hauptdolomit faserige, dünne, weißliche Mineralausfällungen in Klüften und Störungsbereichen festgestellt. Es handelt sich dabei lediglich um sehr dünne, nur unmittelbar am Handstück erkennbare Bestege auf Trennflächen. Seitens Universität Innsbruck erfolgte der Hinweis, dass es sich um sogenanntes „Bergleder“ handeln könnte. Der Begriff umfasst Akkumulationen plattiger, faseriger, lederähnlicher Schichtsilikate (Sepiolith und Palygorskit, selten verfilzter Serpentin)<sup>1</sup> Die XRD-Analysen zweier Proben aus KB 21/22 in 323,5-323,7m und 356,0-356,4m Tiefe als Bestege auf Trennflächen ergaben Palygorskit. Faserminerale können potentiell lungengängig sein, Palygorskit und Sepiolith gelten als wahrscheinlich kanzerogen beim Menschen<sup>2</sup>. Eine detaillierte Beschreibung dieser Thematik erfolgt im Tunnelbautechnischen Bericht. Im Bohrkern der KB 22(s)/22 wurden zudem Bereiche mit fein verteiltem Quarz im Hauptdolomit festgestellt, welcher sich durch Funkenschlag und Ritzen des Hammers sowie (sehr) hohe Gesteinsfestigkeiten äußert. Silifizierter Hauptdolomit wird in der Literatur beschrieben, wobei sich Quarz im Hauptdolomit teils auch in Form von makroskopisch sichtbaren Hornsteinschnüren konzentrieren kann.



**Abbildung 12: Massig ausgebildeter Hautdolomit im unteren Bereich des Kesselgrabens.**

In Bereichen mit tektonischer Beanspruchung (Zerrüttungszonen) treten die Sedimentationsstrukturen zugunsten des tektonischen Strukturinventars zurück. Das Gestein zerbricht dann in die für die Hauptdolomit-Formation typischen, scharfkantigen, rhomboedrischen Kluftkörper und erscheint massig und ungeschichtet (z.B. KB 07(h)/10). Bei starker Tektonisierung entlang von Störungszonen treten Kata-

<sup>1</sup> <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Bergleder>, 19.01.23

<sup>2</sup> [https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw\\_32\\_kuenstliche\\_mineralfasern.pdf](https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_32_kuenstliche_mineralfasern.pdf), Tabelle 2



klasite und Kakirite auf (vgl. Kapitel 4.4.4), die Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Metern aufweisen können (z.B. KB 22(s)/22 216-220 m). Letztere weisen meist eine hellgraue bis weißliche Farbe auf und können, wie z.B. im Kesselgraben, Mächtigkeiten von mehreren Dezimetern erreichen.

Die Mächtigkeit des Hauptdolomits wird mit 700-1000 m angenommen, wobei die Mächtigkeit im Kartengebiet Garmisch-Partenkirchen (Hornung & Haas 2017) von W nach E und von S nach N zunimmt. Zehnermeter bis 100 m mächtige stratigraphische Übergänge und Verzahnungen zum Hangenden Plattenkalk zeichnen sich durch vermehrte Einschaltungen kalkiger und mergeliger Abfolgen am Top des Hauptdolomits aus, was die stratigraphische Grenzziehung sowohl bei der Kartierung als auch im Bohrkern erschwert (z.B. KB 05(s)/10, KB 11/11 und KB 21/22).



**Abbildung 13: Störungszone in der Hauptdolomit-Formation mit Kakirit- und Katakilasitzone (KB 22(s)/22 216-220 m).**

Vorkommen im Projektgebiet: Die Hauptdolomit-Formation tritt entlang der Tunnelachse oberflächlich am Nordportal im Bereich des Kesselgrabens auf. Während die nördliche Abfolge Hauptdolomit-Plattenkalk sich in der Kartierung vorwiegend durch einen sedimentären Übergang auszeichnet, ist der Übergang Plattenkalk-Hauptdolomit südlich von KB 12/11 und KB 05(s)/10 auf Basis der neuesten Kartierungsergebnisse tektonisch angelegt (Auf- oder Überschiebung).

Auf Tunnelachse wird der Hauptdolomit ca. von km 0+324 bis 0+350, km 1+025 bis 1+621 sowie von ca. 2+082 bis 2+534 prognostiziert, wobei mächtige sedimentäre Übergänge zum Plattenkalk auftreten können.

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Die Wasserführung im Hauptdolomit wird in der Regel vom Zerlegungsgrad bestimmt. Das ungestörte Gestein weist eine sehr geringe hydraulische Durchlässigkeit auf (z.B. Packertests KB 21/22). Im Bereich von stärker geklüftetem Gebirge und Störungszone kann diese zunehmen und stärkere Wasserzutritte im Tunnelvortrieb bedingen. Ausgeprägte Verkarstungserscheinungen sind in der Hauptdolomit-Formation aufgrund der chemischen Gesteinszusammensetzung des Dolomits wenig wahrscheinlich, Störungszone können aufgrund der Gebirgszerlegung stark wasserführend sein.

In der Bohrung KB 22(s)/22 treten ab einer Tiefenlage von ca. 171 m unverfestigte Sandlagen von wenigen cm und bis zu 3 m Mächtigkeit innerhalb von kompaktem Hauptdolomit auf. Die mineralogischen Analysen zeigen Anteile von ca. 75 % Dolomit und ca. 20 % Calcit. Die Genese der Sandlagen ist unklar, wahrscheinlich handelt es sich um sekundäre Kluft- oder Spaltenfüllungen oder um Ablagerungen im Bereich von ausgewaschenen Störungszone bzw. Kakiriten. Die Sandlagen

können unterhalb des Grundwasserspiegels wasserführend sein und beim Auffahren des Tunnels zum Auslaufen neigen. Das Phänomen wurde bisher lediglich im tektonisch stärker beeinflussten Abschnitt nahe der Schalmeschlucht / Kesselgraben (ca. Station 2+082 bis 2+534) mit steilem Einfallen der Schichtung festgestellt (vermutlich höhere Wasserwegigkeit). In den nördlich gelegenen Bohrungen konnten keine Sandlagen erschlossen werden, sind aber dennoch nicht auszuschließen.

#### 4.2.4 Plattenkalk-Formation (Oberror bis Unterrhät)

Beschreibung: Die Plattenkalk-Formation geht sedimentär unter Aufnahme von Kalkbänken aus der Hauptdolomit-Formation hervor, so dass eine eindeutige Grenzziehung zwischen beiden Gesteinen erschwert ist. Die Plattenkalk-Formation tritt als hell- bis dunkelgrauer, z.T. auch blaugrau gefärbter und sehr gut gebankter Kalkstein in Erscheinung. Die Bankmächtigkeit liegt in der Regel im Dezimeter-Bereich und kann Maximalwerte bis ca. 2,5 m erreichen. Zwischen den Kalkbänken sind zum Teil dunkelgraue bis schwarze Mergellagen eingeschaltet (siehe Abbildung 14). Bereichsweise ist die Plattenkalk-Formation von ebenen bis gewellten, oft glänzenden Trennflächen mit schwarzem, bituminösem Belag durchzogen. Die Mächtigkeit der Plattenkalk Formation wird im Projektgebiet auf ca. 200 m geschätzt.



**Abbildung 14: Plattenkalk mit Mergelzwischenlage.**

Auftreten im Projektgebiet: Die Plattenkalk-Formation fällt an der Geländeoberfläche meist flach bis mittelsteil nach Südwesten, ca. parallel zur geplanten Trasse, ein. An der Südostgrenze (bei ca. KB 12/11 und KB 05(s)/10) liegt der Plattenkalk in einer engen, Muldenstruktur vor („Krottenkopfmulde“), deren Faltenachse nach Südwesten abtaucht. Der Plattenkalk tritt im Nordteil der geplanten Trasse von etwa von Station km 0+350 bis ca. 1+025 und 1+615 bis 2+082 auf.

Wasserführung / hydrologische Eigenschaften: Hinsichtlich der Wasserführung ist die Plattenkalk-Formation als Karst- und Kluftwasserleiter zu bezeichnen; das Kalkgestein an sich ist zwar sehr gering durchlässig, aber sobald das Gebirge geklüftet und verkarstet ist, ist die Wasserwegigkeit sehr hoch. Die nennenswerte Verkarstungsneigung der Plattenkalk-Formation kommt in oberflächlichen Verkarstungserscheinungen (z.B. Karren) zum Ausdruck. Der Plattenkalk wurde bei



der Kartierung teilweise verkarstet angetroffen (Karrenbildung), wobei oberflächlich keine größeren Dolinen wie im Estergebirge angetroffen wurden (Kuhflucht-Gebiet mit stark schüttenden Karstquellen) und in Bohrungen lediglich schwache bis mittelgradige Verkarstungserscheinungen in Form von lösungserweiterten Trennflächen und Hohlräume im cm- bis dm-Bereich auftraten. Entlang dieser Klüfte ist die Wasserwegsamkeit deutlich erhöht. Größere Karststrukturen konnten in den Bohrungen zwar nicht beobachtet werden, sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen. Es muss mit Verkarstungserscheinungen auf Tunnelniveau gerechnet werden. Hinsichtlich hydrologischer Eigenschaften sind auch die eingeschalteten Mergellagen zu erwähnen, da diese im ungestörten Gebirgsverband eine stauende Funktion haben können und dadurch der Grundwasserkörper untergliedert sein kann.

#### 4.2.5 Kössen Formation (Rhät)

Bei der Kössen Formation handelt es sich um eine Wechselfolge aus Kalken und Mergeln, welche den südwestlichen Muldenkern im Bereich der Wankbahn Talstation aufbauen. Aufgrund der nach Südwesten abtauchenden Muldenstruktur konnten die Kössener Schichten im Bereich der Tunneltrasse nicht angetroffen werden und werden daher ebenfalls nicht auf Tunnelniveau erwartet und werden somit nicht näher beschrieben.

#### 4.2.6 Quartär

Das Auftreten von mächtigeren quartären Lockergesteinen beschränkt sich im Projektgebiet zum Großteil auf die Portalbereiche und freien Strecken sowie die Südflanke des Wanks.

Im Bereich des Nordportales handelt es sich um die quartäre Talfüllung des Loisachtales (fluviale Sedimente und Stillwassersedimente mit organischen Lagen) sowie um eine geringmächtige Hangschuttbedeckung. An der Westflanke des Wanks nordöstlich des Nordportals wurden Moränenablagerungen und Findlinge dokumentiert, im Bereich der Ausläufer der Gräben wurden Schuttkegel abgelagert.

Der Hang südlich der Schalmeischlucht wird v.a. in morphologischen Senken von Meter- bis Zehnermetermächtigen, feinkornreichen Moränenablagerungen bedeckt (KB 24(s)/22 bis KB 03/10), die jedoch nicht auf Tunnelniveau zu erwarten sind.

Am Südportal treten ebenfalls Moränenablagerungen sowie glaziofluviale Schotterablagerungen auf, bei denen es sich um Schmelzwasserablagerungen der Kanker handelt [92]. Zudem gibt es im Bereich Südportal entlang der Bundesstraße B2 sowie südlich davon auf der Fläche eines Lagerplatzes künstliche Anschüttungen.

Die quartäre Bedeckung wird im Bereich der freien Strecken und Anschlussstellen nach Nordwesten und Südosten mächtiger und heterogener (Talfüllungen des Kanker- und Loisachtales, u.a. mit Einschaltungen von Torfen und Seetonen).

Für die Baugrundgutachten Nordportal & Südportal wurde das dort jeweils ange-troffene Quartär noch differenzierter abgegrenzt. Für deren Charakterisierung wird auf die entsprechenden Gutachten verwiesen.

##### 4.2.6.1 Moränenablagerungen

Im südlichen Trassenabschnitt werden die Festgesteine bereichsweise von würm-zeitlichen Moränenablagerungen [92] überdeckt. Diese wurden mit den Bohrungen KB 24(s)/22, KB 03/10, KB 14(s)/11, KB 02/10, KB 16(s)/11, KB 17/11, KB 18/11, KB 01(s)/10 und KB 09/10 erbohrt. Hierbei handelt es sich um braune bis graue, teils tonige, schluffig-sandige Kiese mit Steinen bis Schluff-Kies-Gemische mit unterschiedlichen Anteilen an Sand, Ton und Steinen. Nordöstlich des Nordportales

sind Findlinge bis ca. 1 m<sup>3</sup> Volumen zu finden. In den Bohrungen wurden keine Findlinge angetroffen, ein Vorkommen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. In die kiesbetonten Moränenablagerungen sind dm-mächtige feinkörnige Lagen eingeschaltet, wobei es sich vermutlich um Stillwasserablagerungen (Seetone) handelt. Die Ablagerungen sind überwiegend dicht bis sehr dicht gelagert bzw. weisen eine steife, teils halbfeste Konsistenz auf. Das Komponentenspektrum ist karbonatbetont; kristalline Gerölle treten nur untergeordnet auf. Aufgrund des hohen Feinkorngehaltes sind die Moränenablagerungen als gering wasserdurchlässig zu bezeichnen. Das Vorkommen beschränkt sich im Bauwerksbereich voraussichtlich auf den Bereich Südportal und Anschlussstelle Süd sowie die Anschlussstelle Nord.



**Abbildung 15: Grundmoräne aus Bohrung KB 03/10.**

#### 4.2.6.2 Schmelzwasserablagerungen der Kanker

Im Bereich des Südportals werden die Moränenablagerungen von sandigen bis stark sandigen, meist schwach schluffigen, teils steinigen Kiesen überlagert, die nach [10] als spätwürmzeitliche, glaziofluviale Schmelzwasserablagerungen der Kanker zu deuten sind. Die Komponenten sind überwiegend angerundet bis kantengerundet, untergeordnet gerundet und stammen aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet (d.h. karbonatbetontes Komponentenspektrum mit nur einzelnen kristallinen Geröllen). Innerhalb der Kiese können auch Rollkies und Sandlagen, aber auch feinkornreichere Abschnitte auftreten, wobei es sich um aufgearbeitetes Moränenmaterial handeln kann ([92]).

Gemäß mündlichen Informationen wurde innerhalb der Schmelzwasserschotter südlich der B2 von Garmisch Richtung Mittenwald vor Jahrzehnten Kies gewonnen. Daher ist mit anthropogenen Veränderungen und künstlichen Auffüllungen im Bereich der südlichen Anschlussstelle zu rechnen (vgl. Kapitel 7.2).

#### 4.2.6.3 Fluviale Sedimente der Loisach

Bei den fluvialen Sedimenten des Loisachtales (Bereich Nordportal) handelt es sich um sandige, teils schwach schluffige Kiese mit überwiegend gut gerundeten, karbonatischen Komponenten. Der Sand- und Schluffanteil der Kiese ist wechselhaft. Bereiche mit korngestützten, vorherrschend kohäsionslosen Kiesen beinhalten zum Teil Rollkieslagen. In Bohrung KB 08/10 wurden zudem dm- bis m-mächtige, bindige Schlufflagen sowie Einschaltungen von setzungsempfindlichen Torflagen erbohrt.

Es können künstliche Anschüttungen und anthropogen verändertes Material auftreten, v.a. im Nahbereich der bestehenden B2 (vgl. Kapitel 7.1).

#### 4.2.6.4 Hangschuttablagerungen, bindige Deckschichten

In einzelnen Bohrungen im Bereich der Anschlussstelle Süd wurden unter der Mutterbodenschicht bindige Deckschichten mit weicher bis steifer Konsistenz erbohrt, die teils humos durchsetzt sind. Bei diesen sandigen, kiesigen bis stark kiesigen Schluffen bis schluffigen Kiesen mit lockerer bis mitteldichter Lagerung handelt es sich vermutlich um Hangschuttablagerungen, die sehr inhomogen hinsichtlich Mächtigkeit und Kornzusammensetzung sein können. Die Bohrerergebnisse lassen darauf schließen, dass diese Schichten geringmächtig sind (wenige Dezimeter bis max. ca. 2 m). Die Abgrenzung zu den unterlagernden Kiesen ist mitunter schwierig.

#### 4.2.6.5 Künstliche Auffüllungen

Gemischtkörnige künstliche Auffüllungen, teils mit anthropogenen Beimengungen liegen stehen südlich des Südportals im Bereich eines bestehenden Lagerplatzes an und der bestehenden Bundesstrasse B2 (Straßenunterbau) vor. Im Bereich der Anschlussstelle Süd gibt es Hinweise auf ehemalige Kiesabbau (vgl. Baugrundgutachten Südportal).

Auch im Bereich der nördlichen Anschlussstelle können auf einer ehemaligen Wiesenfläche (Umgebung KB 08/10) sind inzwischen künstliche Auffüllungen vorhanden, da sich hier aktuell ein Baucontainer-Gebäude sowie ein Parkplatz der Baustelle Kramertunnel befindet.

## 4.3 Strukturgeologische Verhältnisse

### 4.3.1 Allgemeines

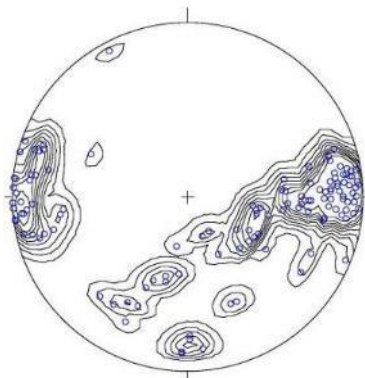
Die Erkenntnisse zu den strukturgeologischen Verhältnissen stammen aus allen Erkundungsphasen.

Im Nachfolgenden sind die Lagerungsverhältnisse dargestellt, wie sie sich aus den Bohrungen ableiten lassen.

### 4.3.2 Nordabschnitt

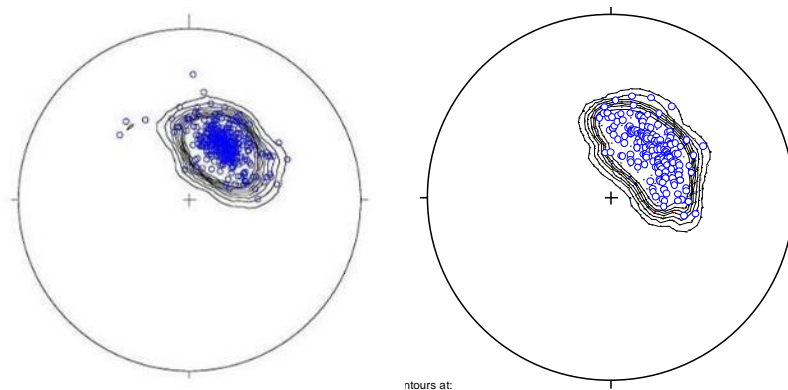
Der Wank wird im nördlichen Abschnitt von einer Muldenstruktur, der sog. Krottenkopfmulde dominiert. Die Mulde weist im Süden einen mittelsteil bis steil, invers Richtung Süden einfallenden Südschenkel und einen flach bis mittelsteil Richtung Südwesten einfallenden Nordschenkel auf. Die Muldenachse taucht Richtung Südwesten ab, wodurch es zum umlaufenden Schichtstreichen kommt, welches im Gelände und auf dem Laserscan südlich und westlich vom Berggasthof Panorama nachvollzogen werden kann. Die Muldenstruktur ist von mehreren Störungen durchzogen.

Im Bereich des Nordportales streicht der Hauptdolomit an der Oberfläche aus. Aufgrund der Nähe zum Loisachtal bzw. zur Loisachtalstörung ist der Hauptdolomit in diesem Bereich stark tektonisch beansprucht und zerlegt, was durch die Erkundungsbohrung KB 07(h)/10 bestätigt wurde. Des Weiteren wurde vermutlich durch den Versatz Richtung NE das Schichtstreichen und Schichteinfallen verstellt, so dass aufgrund des Schichteinfallens die Zuordnung zur Krottenkopfmulde nicht möglich wäre. Unter Berücksichtigung des gesamten geologischen Kontextes ist das Hauptdolomitvorkommen an der Nordflanke des Wank jedoch dieser Muldenstruktur zuzuordnen (vgl. Abbildung 16).

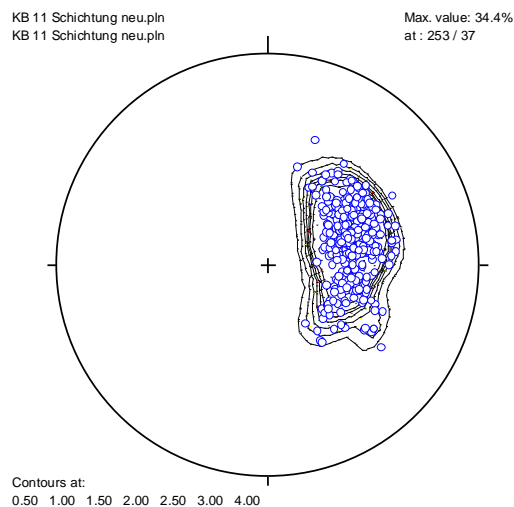


**Abbildung 16: Contour Diagramm (Schichtung Bohrung KB07(h)/10).**

Die entlang der Tunneltrasse nach Süden hin folgenden Bohrungen KB 06/10, KB 10/11, KB 11/11 und KB 21/22 erschließen den Nordschenkel der Krottenkopfmulde, wobei in den Bohrungen KB 06/10, KB 10/11 und KB 21/22 ein sehr einheitliches, flaches bis mittelsteiles Schichteinfallen nach Südwesten auftritt (Abbildung 17). Vermutlich durch tektonisch bedingte Verstellungen des Schichtstapels und dem Abtauchen der Muldenstruktur nach Südwesten dreht die Einfallsrichtung des Schichtpaketes in Bohrung KB 11/11 auf WSW-Richtungen (vgl. Abbildung 18).



**Abbildung 17: Contour Diagramme der Schichtung in Bohrung KB 06/10 und KB 10/11.**



**Abbildung 18: Contour-Diagramm der Schichtung in KB 11/11.**

Den Muldenkern bildet eine mächtige Abfolge des Plattenkalkes, welche aus gebankten Kalken mit eingeschalteten Mergellagen besteht und intern verfalltet sein kann. Im Bereich Berggasthof Panorama und Wankbahn Talstation liegen im Muldenkern die stratigraphisch jüngeren Gesteine der Kössen Formation vor. Es wird vermutet, dass aufgrund der tektonischen Beanspruchung speziell der Muldenkern stärker zerlegt ist und daher möglicherweise eine erhöhte Wasserwegigkeit im zentralen Muldenbereich besteht.

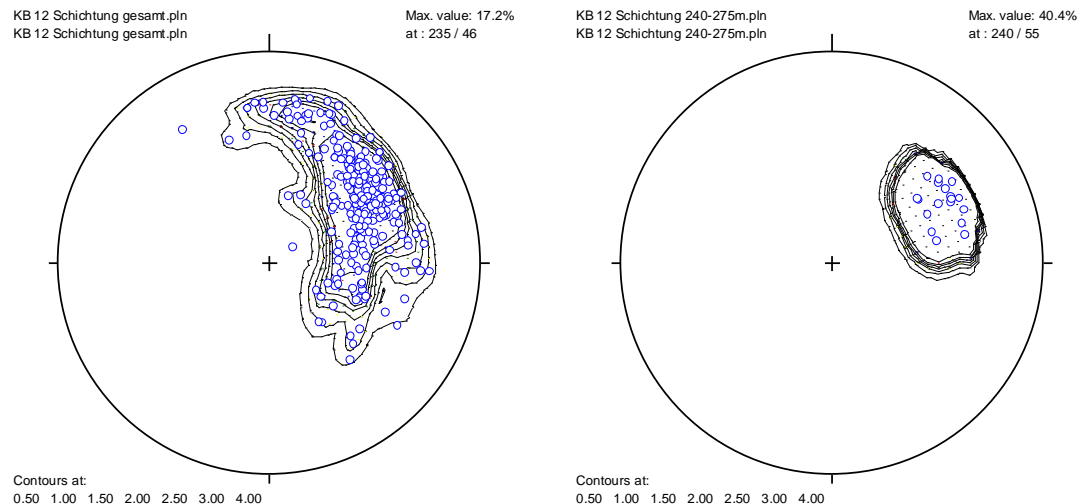
Der Südschenkel der Krottenkopfmulde wird durch eine steil Richtung Süden einfallende Überschiebung von Hauptdolomit auf Plattenkalk begrenzt. Zwar ist die Überschiebung im Gelände nicht direkt aufgeschlossen, es ist jedoch in betreffendem Gebirgsbereich mit einer stärkeren Zerlegung und Wasserwegigkeit der angrenzenden Gesteine des Plattenkalks und des Hauptdolomits zu rechnen.

Die Trennflächenaufnahme in Bohrung KB 12/11, deren Ansatzpunkt im Nahbereich der Überschiebung situiert ist, zeigt aufgrund der Faltung und der Nähe zur Überschiebung unterschiedliche Einfallrichtungen entlang der Bohrlochachse. In der Umgebung des geplanten Tunnelquerschnittes im Bereich von ca. 240-275 m Bohrtiefe herrscht allerdings sehr einheitliches, mittelsteiles Schichteinfallen nach Südwesten vor (vgl. Abbildung 19). Dies deutet darauf hin, dass dieser Gebirgsbereich noch nicht wesentlich durch die Überschiebung tektonisch beansprucht wurde.

Die Kartierung zeigt, dass der auf den Plattenkalk aufgeschobene Hauptdolomit im Bereich des Kesselgrabens steil nach Norden einfällt und von einer grabenparallelen Störungen durchzogen wird. Östlich der Trasse oberhalb einer flachgründigen Rutschung ist das Einfallen meist steil nach Süden orientiert. Dieser Teil des



Hauptdolomites wird tektonisch bereits der Wamberger Sattelzone zugeordnet, wie im nachfolgenden Kapitel erläutert wird. Aufgrund der geologischen Situation und des Gesteinsinventars wird der Hauptdolomit im Weiteren dem Nordabschnitt (Plattenkalk-Hauptdolomit-Komplex) zugeordnet.



**Abbildung 19: Contour-Diagramm der Schichtung in KB 12/11 (links: gesamte Bohrung, rechts: Tiefenbereich Tunnelquerschnitt 240-275m).**

### 4.3.3 Zentral- und Südabschnitt

#### 4.3.3.1 Allgemeines

Die südlich an die Plattenkalk-Formation anschließenden Gesteine der Hauptdolomit-Formation und der Raibl-Formation sind zwar noch dem Nordschenkel der tektonischen Großeinheit des Wamberger Sattels zuzurechnen, weisen aber tektonisch bedingt eine starke Verfaltung mit internen Mulden- und Sattelstrukturen auf (vgl. Längenschnitt Anlage 2). Dies ist durch die Funktion der Raibl-Formation als „Knautschzone“ zwischen den kompetenten Gesteinen des Wettersteinkalks im Süden und des Hauptdolomits im Norden bedingt.

Kennzeichnend für den Zentralbereich der Tunneltrasse im Bereich der Schalmeschlucht ist eine mit ca. 40 m Mächtigkeit erkundete Störungszone (KB 22(s)/22, KB 04(s)/10), welche als W – E streichende Überschiebungsbahn der Raibl-Formation auf den Hauptdolomit interpretiert wird. Anhand der Projektion der Bohrlochdaten von KB 22(s)/22 und KB 04(s)/10 dürfte die Überschiebung ca. im Bereich von km 2+510 bis 2+589 die Tunneltrasse queren.

Der Südabschnitt von Station ca. 2+589 bis zum Südportal bei km 3+817 ist gekennzeichnet durch eine starke Internverfaltung, wobei entlang der Tunneltrasse mehrere Muldenstrukturen prognostiziert werden. Dazwischenliegende Sättel wurden vermutlich tektonisch durchgeschert. Der betreffende Trassenabschnitt wird aus dem inhomogen aufgebauten Gesteinspaket der Raibl-Formation, bestehend aus verschiedenen Karbonaten (inkl. Rauwacken), Mergeln und Tonsteinen, aufgebaut. Der gefaltete Schichtstapel ist durchzogen von mehreren Störungen, die entweder in NE-SW-Richtung oder in W-E-Richtung streichen.

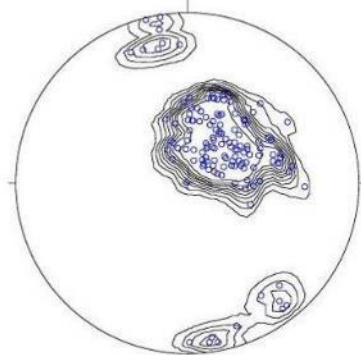
Die Zugehörigkeit der Raibl-Formation zum Wamberger Sattel stützt sich auf die Aussage von Kuhnert (1967), der den nördlich der Schalmeschlucht befindlichen Hauptdolomit auch noch dem Wamberger Sattel zurechnet. Etwas westlich des Projektgebietes im Bereich der Ortschaft Kaltenbrunn wird auf der Geologische Karte von Mittenwald und den dazugehörigen Erläuterungen (Jerz & Ulrich, 1966) die Kaltenbrunner Sattelstruktur erwähnt, als deren westliche Fortsetzung die im

Projektgebiet auftretenden Sattel-Muldenstrukturen anzusehen sind. Bei der Kaltenbrunner Sattelzone handelt es sich um eine Internstruktur innerhalb des Wamberger Sattels. Der interne Faltenbau an der Südflanke des Wankmassivs stellt sich überaus kompliziert dar, sodass ohne Berücksichtigung des geologischen Kontextes die Kaltenbrunner Sattelstruktur im geologischen Längsschnitt des Wanktunnels nicht eindeutig identifiziert werden kann. Jerz & Ulrich (1966) erwähnen zudem, dass westlich von Wamberg (etwas südlich des Projektgebietes gelegen) ein westliches Achsabsaufen und östlich von Wamberg ein östliches Achsabsaufen der Sattel- und Muldenstrukturen auftritt. Das Projektgebiet befindet sich in dem Bereich, in dem die Absaufrichtung der Faltenstrukturen wechselt und ist daher von mehreren Querstörungen durchzogen. Die durch intensive Verfaltung und tektonische Beanspruchung komplex aufgebaute Südflanke des Wanks gliedert sich somit in das geologische Umfeld ein.

#### 4.3.3.2 Beschreibung des Internaufbaus

Die Auswertung der geophysikalischen Messungen in der Bohrung KB 05(s)/10 deutet im Bereich der Nordflanke des Kesselgrabens auf ein konstantes, flaches Einfallen des Hauptdolomits in SW-Richtung hin (vgl. Abbildung 20). Der Bereich ab dem Kesselgraben nach Süden wird als Sattelstruktur interpretiert, welche im Trassenabschnitt von Station ca. 2+250 bis etwa 2+589 steil bis mittelsteil in nördliche und südliche Richtung einfällt.

Wie Kuhnert (1967) ausführt ist der nördlich der Schalmeischlucht liegende Hauptdolomit der Wamberger Sattelzone zuzurechnen und an einer Überschiebung dem Plattenkalk der Krottenkopfmulde aufgeschoben. Der in diesem Bereich überwiegend massig ausgebildete Hauptdolomit lässt nahezu keine Schichtung erkennen.



**Abbildung 20: Contour-Diagramm (Schichtung KB05(s)/10).**

Nach Süden schließen sich die Karbonate der oberen Raibl-Formation an, die auf den nördlich anschließenden Hauptdolomit aufgeschoben wurden. Dieser tektonische Kontakt zwischen der Raibl-Formation und der Hauptdolomit-Formation ist im Bereich der unteren Schalmeischlucht aufgeschlossen (siehe Abbildung 21) sowie in den Bohrungen KB 22(s)/22 und KB 04(s)/10 angetroffen worden.

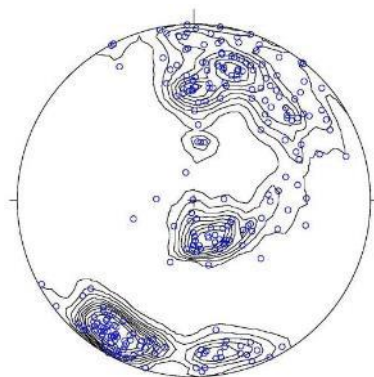
Die dunkelbraunen Gesteine der Raibl-Formation sind stark tektonisch beansprucht (Störungsletten), der hellgraue bis hellbraune Hauptdolomit stark zerlegt. In diesem Bereich wird eine mehrere Zehnermeter mächtige Überschiebungszone vermutet (erkundet bis 40 m Mächtigkeit). Die tektonische Beanspruchung dieses Gebirgsbereiches ist auch in einem Aufschluss im Kesselgraben ersichtlich. Eine hier verlaufende Störung hat den Hauptdolomit stark tektonisiert.





**Abbildung 21: Störungszone zwischen dunkelbraunen Gesteinen der Raibl-Formation (rechts, Vordergrund) und hellgrauen/beigen Gesteinen der Hauptdolomit-Formation (links, Hintergrund) in der Schalmeschlucht.**

Die steile Lagerung der jüngsten Gesteine der Raibl-Formation (Rauwacken, Dolomite und Mergel) wurde durch die Bohrung KB 04(s)/11 bestätigt. Die Auswertung der Gefügewerte ergibt ein WNW-ESE-Streichen mit überwiegend steilem Schachteinfällen Richtung NNE bzw. SSW (Abbildung 22).



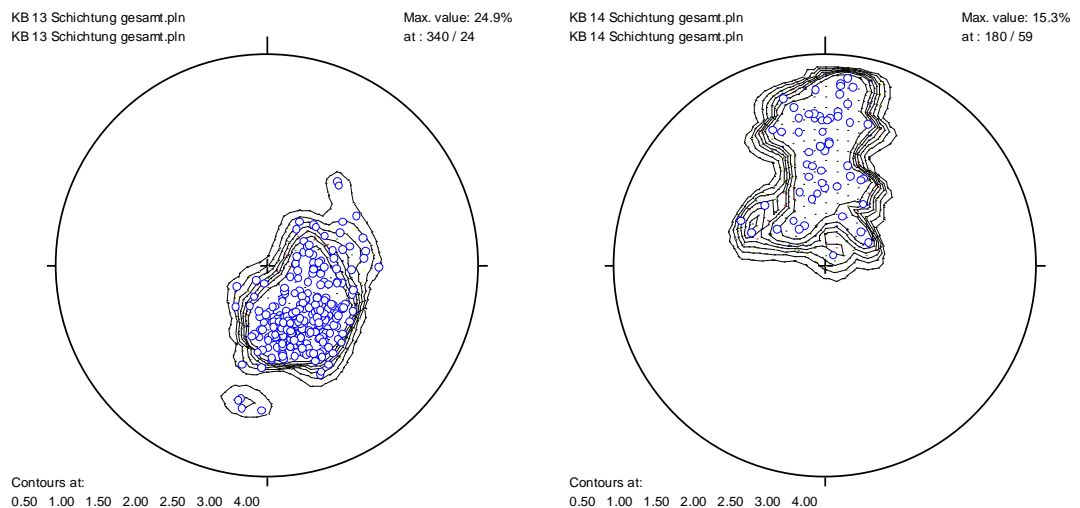
**Abbildung 22: Contour Diagramm (Schichtung KB04(s)/10).**

Nach der Überschiebungsbahn schließt im Süden ab Station 2+589 bis zum Südportal der am stärksten durch Faltenbau und Störungen kleinräumig gegliederte Trassenabschnitt an. Dieser Bereich, in dem aufgrund von quartärer Überdeckung und Bewuchs nur sehr wenig Aufschlüsse in anstehendem Fels bestehen, wurde mit den Bohrungen KB 24(s)/22, KB 13/11, KB 14(s)/11, KB 03/11, KB 15(s)/11 und KB 16(s)/11 erkundet. Aus den Bohrergebnissen kann der in Anlage 2 dargestellte Gebirgsbau mit Mulden- durchgescherten Sattelstrukturen abgeleitet werden. Mehrere Störungen durchtrennen den Faltenbau, wobei die Störungen häufig in den Bereichen der vermutlich stärksten tektonischen Beanspruchung, d.h. in den Muldenkernen oder Sattelscheitel verlaufen. An diesen parallel zu den Falten verlaufenden Störungen kam es zu Abscherungen, so dass die Faltenstrukturen nicht mehr vollständig erhalten sind. Andere Störungen durchschlagen den Falten-

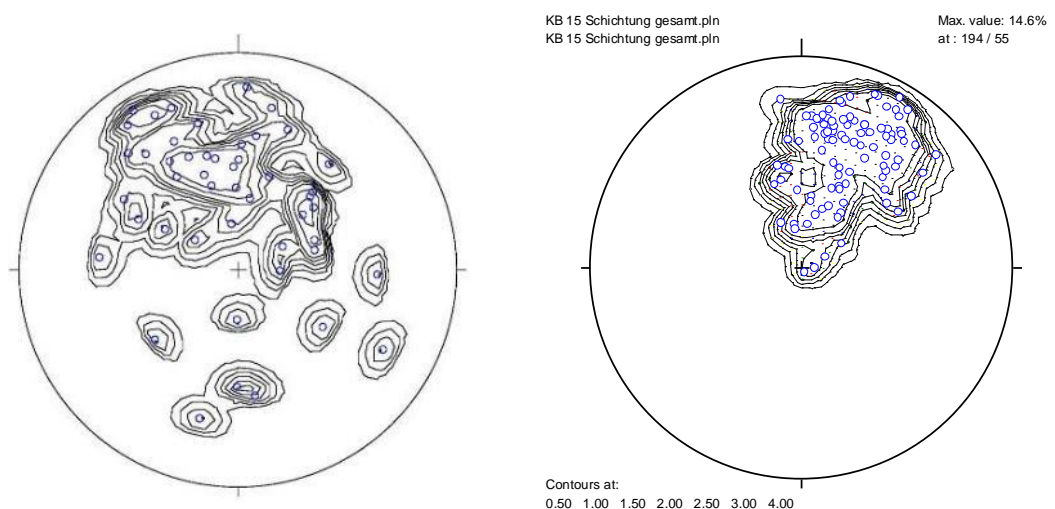
bau quer, wodurch die Faltenstrukturen gegeneinander versetzt sein können. Aufgrund des inhomogenen Aufbaus des Gesteinspaketes, das die Störungen durchschlagen, ist mit verschiedenen ausgebildeten Störungszonen zu rechnen (vgl. Kap. 4.4.4).

Die Verfallung des Gesteinspaketes ist auch an den wechselnden Einfallrichtungen der Schichtung in den Bohrungen in betreffendem Abschnitt abzulesen. Im Trassenabschnitt von Station ca. 2+800 bis 3+360 muss daher auf Tunnelniveau mit teils in südliche bis südöstliche, teils in nördliche bis nordwestliche Richtung einfallender Schichtung gerechnet werden. Die Einfallswinkel sind mittelsteil bis steil, teils flach, vor allem im Gelände überwiegend steil.

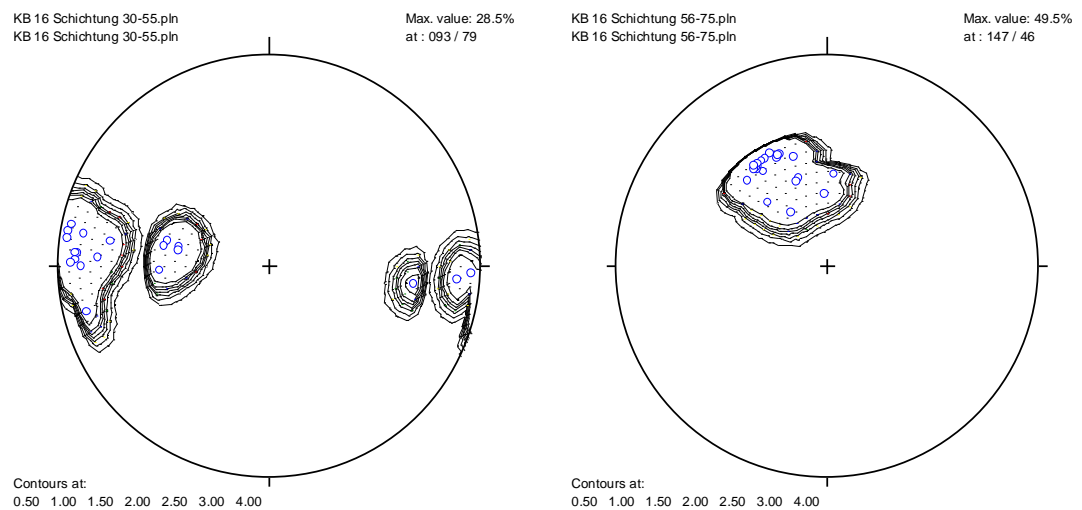
Im weiteren Verlauf bis 3+737 fallen die Gesteine überwiegend mittelsteil bis steil in südliche Richtungen (SE, S, SW) ein. Das unterschiedliche Einfallen der Schichtung in den verschiedenen Bohrungen ist an den Contour-Plots in den Abbildungen (Abbildung 23 bis Abbildung 25) ersichtlich. In Bohrung KB 16(s)/11 ist das Durchörtern einer Störungzone im Bereich von 55-56 m sehr deutlich an dem unterschiedlichen Schichteinfallen und auch an der starken Zerlegung dieses Bohrabschnittes zu erkennen.



**Abbildung 23: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 13/11 (links) und Bohrung KB 14s/11 (rechts).**



**Abbildung 24: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 03/10 (links) und Bohrung KB 15s/11 (rechts).**

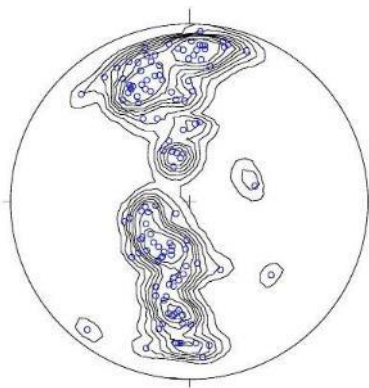


**Abbildung 25: Contour-Plots der Schichtflächen in Bohrung KB 16s/11 in Bohrtiefe 30-55 m (links) und 56-75 m (rechts).**

Im Bereich des Südportals ist die Partnach-Formation des Sattelkerns der Wamberger Sattelzone auf die Raibl-Formation des Kaltenbrunner Sattels aufgeschoben und teils eingeschuppt (vgl. folgendes Kapitel). Dieser Trassenabschnitt gehört zu dem am stärksten tektonisch beanspruchten Gebirgsbereich und weist einen sehr komplexen Internbau auf.

#### 4.3.4 Wamberger Sattelzone

Der südlichste Trassenabschnitt und der Bereich des Südportales mit intern stark verfalteter Partnach-Formation kann der Wamberger Sattelzone zugerechnet werden. Da die Partnach-Formation oberflächlich nicht in der unmittelbaren Nähe des Südportales aufgeschlossen ist, wurden deren Lagerungsverhältnisse aus den geophysikalischen Untersuchungen der Bohrung KB 02/10 abgeleitet. Dabei ist zu erwähnen, dass die in der KB 02/10 aufgeschlossenen Gesteine der Partnach-Formation durch eine vermutete Störung nach Norden versetzt wurden und im Bereich der geplanten Haupttunneltrasse Gesteine der Raibl-Formation vorliegen. Aus dem in Abbildung 26 dargestellten Contour-Diagramm wird ersichtlich, dass ein etwa E-W gerichtetes Streichen dominiert. Die Schichtung fällt flach bis steil in südliche oder nördliche Richtung ein, was auf eine interne Verfaltung hinweist.



**Abbildung 26: Contour Diagramm (Schichtung KB 02/10).**

Der Kontakt zu der nach Norden anschließenden Raibl-Formation ist im Projektgebiet nicht aufgeschlossen, sondern von quartären Ablagerungen überdeckt. Aufgrund der Erkundungsergebnisse (z.B. KB 16(s)/11) wird jedoch vermutet, dass es sich um einen tektonischen Kontakt in Form einer steil nach Süden einfallenden Überschiebung / Störung handelt. Auf der geologischen Karte Blatt Mittenwald ist diese Störung in den Profilschnitten in gleicher Position angedeutet. Zusätzlich dazu werden mehrere NNE-SSW orientierte Störungen vermutet. Die intensive Zerlegung der in Bohrung KB 02/10 erbohrten Partnach-Formation weist ebenso auf eine starke tektonische Beanspruchung dieses Gebirgsbereiches hin.

Der unmittelbare Portalbereich befindet sich in einer stark verschuppten Zone, in der sowohl Gesteine der Partnach- als auch der Raibl-Formation vorkommen können. Aufgrund des starken Beanspruchungsgrades sind v.a. tonig-mergelige Gesteine in den Erkundungsbohrungen oft nicht eindeutig einer der Formationen zuzuordnen. Unsicherheiten bestehen hierbei v.a. im Bereich der Bohrungen KB 16(s)/11, KB 58/21 und KB 59/21, welche sehr unterschiedliche Bohrprofile aufweisen. Im Längenschnitt entlang der Haupttunneltrasse wurden die Gesteine der Raibl-Formation zugeordnet. Die südlich der KB 02/10 gelegenen Bohrungen KB 17/11 und KB 18/11, die etwas außerhalb des bergmännischen Portalbereiches liegen, haben neben tonige Gesteinen auch stark gestörte graue Kalksteine erbohrt. Es war nicht eindeutig zu klären, ob diese Kalksteine der Raibl-Formation, oder den oberen Abschnitten der Partnach-Formation, in denen ebenfalls Kalksteine vorkommen können, zuzurechnen sind. Ungeachtet der fraglichen stratigraphischen Zuordnung steht fest, dass der Bereich des Südportales aufgrund der tektonischen Beanspruchung sehr inhomogen und komplex aufgebaut ist.

## 4.4 Trennflächenauswertung

### 4.4.1 Allgemeines

Gemäß den Untersuchungen von Schmidt-Thome (1953) dominieren im weiteren Umfeld des Projektgebietes NNW-SSE, NNE-SSW sowie NE-SW (Loisach Richtung) und NW-SE (Ammer Richtung) streichende Kluftrichtungen bzw. Störungen. Diese Erkenntnisse wurden von früheren Projektbearbeitern aufgegriffen und mit der Aussage ergänzt, dass im Hauptdolomit unregelmäßig orientierte Klüfte auftreten.

Darüber hinaus erfolgten im Zuge der vorliegenden Projektbearbeitung zusätzliche strukturgeologische Erhebungen in Form einer Geländekartierung sowie Strukturaufnahmen mittels ABI/OBI-Befahrungen, welche in ausgewählten Bohrlöchern durchgeführt wurden.

Die ABI/OBI-Befahrungen, bei denen die längs der Bohrlochachse erkennbaren Trennflächen aufgenommen und bewertet werden, machen detaillierte Aussagen über die Orientierung und Verteilung der Trennflächen sowie über den Trennflächenabstand möglich. Sie bieten den Vorteil, dass sie um ein Vielfaches umfangreicher sind, als die im Gelände erhobenen Daten. Demzufolge ist ihre statistische Aussagekraft höher einzustufen. Ferner lassen sich aus den Daten Aussagen zu Kluftöffnung sowie zu Ausbrüchen in der Bohrlochwandung ableiten. Nachteil ist jedoch, dass steilstehende Trennflächen unterrepräsentiert sind. Einschränkend ist ebenfalls zu erwähnen, dass bei manchen Trennflächen die eindeutige Charakterisierung einer Trennfläche als Kluftfläche oder Schichtfläche nicht immer möglich ist. Daher werden vor allem bei der Bewertung der Schichtflächenabstände auch die Informationen aus den Bohrkernen ebenso berücksichtigt.

Die Auswertung der Trennflächen erfolgte separat für jede Bohrung. Hierbei ist anzumerken, dass bei den Bohrungen KB 02/10, KB 03/11, KB 13/11, KB 14(s)/11, KB 15(s)/11 und KB 16(s)/11 nicht auf dem gesamten Bohrlochabschnitt Scans aufgenommen werden konnten (Bohrungen teils verrohrt).



Aus den Scan-Aufnahmen wurden die Orientierung der verschiedenen Trennflächen ermittelt und anhand von Contour-Plots die Hauptrichtungen für Schichtung, Klüftung und Störungen bestimmt.

#### 4.4.2 Schichtung

Die Schichtfugenabstände wurden nach DIN EN ISO 14689, Teil 1 (2018) klassifiziert und deren Anteil anhand der geophysikalischen Messungen bestimmt. Die Ergebnisse der Auswertung für jede Bohrung sind in Tabelle 11 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei den meisten Bohrungen überwiegend Schichtfugenabstände zwischen 0,06 und 0,6 m und etwas untergeordnet Schichtfugenabstände von über 0,6 m auftreten. Diese Auswertungen decken sich mit den Erkenntnissen aus der Begutachtung der Bohrkerns. Die Bohrabschnitte in der Hauptdolomit Formation und den Raibler Rauwacken (z.B. KB 05/10 und KB 03/10) weisen bereichsweise einen relativ hohen Anteil an großen Schichtfugenabständen auf, da diese Gesteine erwartungsgemäß eher massig ausgebildet sind.

**Tabelle 11: Trennflächenabstände (Schichtung)**

BOHRUNG	TRENNFLÄCHENABSTAND (SCHICHTUNG)					
	FEIN UND GROB LAMINIERT [%]	SEHR DÜNN [%]	DÜNN [%]	MITTEL [%]	DICK [%]	SEHR DICK [%]
	<0,02m	0,02 - 0,06m	0,06 - 0,2m	0,2-0,6m	0,6m-2m	>2m
KB07(h)/10	0	3	35	31	19	12
KB06/10	4	29	37	21	7	1
KB 10/11		2	40	38	16	4
KB 11/11		0,5	31	45	18,5	4,0
KB 12/11		0,5	29	44	15,5	10,0
KB 05(s)/10	0	1	20	27	19	33
KB 04(s)/10	1	3	41	29	17	10
KB 13/11			40	37	16	7
KB 14(s)/11			19	42	18	21
KB 03/10	2	0	20	27	24	27
KB 15(s)/11	2	3	53	33	8	1
KB 16(s)/11			8	17	9	6
KB 02/10	0	10	61	22	6	2
KB 25(s)/23	0	0	66	33	0	0

Aus den optischen und akustischen Bohrlochbefahrungen sowie den Bohrkernaufnahmen, kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die karbonatischen Gesteine (mit Ausnahme der Rauwacken) meist in Form geschichteter Gesteinskörper mit Schichtfugenabständen im cm- bis dm-Bereich auftreten. Die tonigen Gesteine hingegen weisen meist einen geringeren Schichtfugenabstand auf (mm-Bereich bis wenige Zentimeter) und sind gleichzeitig stark geklüftet, so dass die Charakterisierung der Trennflächen als Schichtflächen oder Klüftflächen erschwert ist. Hinsichtlich ihrer geomechanischen Wirksamkeit werden Schicht- und Klüftflächen in diesen Gesteinen jedoch als gleichwertig eingeschätzt, so dass die unsichere Charakterisierung von untergeordneter Bedeutung ist.

Die Großkreisdarstellungen der Schichtflächen in den einzelnen Bohrungen sind im Bewertungsband auf dem geologischen Längsschnitt enthalten.

#### 4.4.3 Klüftung

In nachfolgenden Ausführungen wird unter anderem auf die Trennflächenabstände, die Orientierung der Trennflächen und die Trennflächenbeschaffenheit sowie deren Öffnungsweiten eingegangen.

Trennflächenabstand: In Tabelle 12 ist die prozentuale Verteilung der Trennflächenabstände für jede Bohrung angegeben, wobei alle in den ABF/OPT-Befahrungen angegebenen Trennflächen mit Ausnahme der Schichtung berücksichtigt wurden (ohne Berücksichtigung der Orientierung).

**Tabelle 12: Trennflächenabstände (Klüftung, Ausbrüche)**

BOHRUNG	TRENNFLÄCHENABSTAND (KLÜFTUNG)					
	K1 [%] AUßERORDENTLICH ENGSTÄNDIG	K2 [%] SEHR ENG- STÄNDIG	K3 [%] ENGSTÄNDIG	K4 [%] MITTELSTÄN- DIG	K5 [%] WEITSTÄN- DIG	K6 [%] SEHR WEITSTÄN- DIG
	<0,02m	0,02 - 0,06m	0,06 - 0,2m	0,2-0,6m	0,6m-2m	>2m
KB07(h)/10	6	14	38	33	9	0
KB06/10	12	22	33	28	6	0
KB 10/11		6	36	41	11	0
KB 11/11	4	8	28	44	14	1
KB 12/11	5	8	33	38	15	2
KB 05(s)/10	4	10	30	35	18	2
KB 04(s)/10	3	11	26	36	19	6
KB 13/11	4	10	29	40	14	2
KB 14(s)/11	6	9	39	38	7	2
KB 03/10	0	10	15	43	28	3
KB 15(s)/11	10	14	50	23	2	0
KB 16(s)/11	1	6	36	35	16	5
KB 02/10	3	14	26	42	14	0
KB 25(s)/23	3	11	40	38	7	0

Die rein statistische Auswertung der Trennflächenabstände ergibt, dass Trennflächenabstände zwischen 0,06 und 0,6 m vorherrschen. Eine Unterteilung nach Orientierung der Klüfte erfolgt bei der Auswertung nicht, so dass die Ergebnisse einen Überblick über die Trennflächenhäufigkeit im Allgemeinen, aber nicht bezogen auf eine bestimmte Trennflächenorientierung geben. Ebenso muss einschränkend erwähnt werden, dass bei den Scanaufnahmen v.a. in den tonig-mergeligen Gesteinen der Raibler Schiefertonfazies und der Partnach-Formation sowie in Störzonen offensichtlich nicht alle Trennflächen erkannt und aufgelistet wurden. In den Bohrkernen aus betreffenden Bohrlochabschnitten in KB 13/11, KB 14(s)/11, KB 16(s)/11 und KB 02/10 waren deutlich mehr Trennflächen zu erkennen. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen zeigt die statistische Auswertung der Trennflächenabstände aus Tabelle 12 vermutlich bei den Bohrungen im südlichen Trassenbereich, die neben Karbonatgesteinen auch tonig-mergelige Gesteine erschließen, tendenziell zu große Trennflächenabstände an. In den Bohrkernen wurden häufig geringe Trennflächenabstände von wenigen Zentimetern (teils auch im mm-Bereich, siehe Abbildung 27) beobachtet. Die Unterrepräsentierung der geringen Trennflächenabstände hat auch mit der Tatsache zu tun, dass Bohrlochabschnitte in stark zerlegten Tonen während der ABF/OPT-Befahrungen verrohrt waren, und daher nicht aufgenommen werden konnten. Für die Karbonatgesteine (Raibler Kalke, Hauptdolomit-Formation und Plattenkalk-Formation) hingegen können die in Tabelle 12 angegebenen Werte der Trennflächenabstände als zutreffend erachtet werden.



**Abbildung 27: Von zahlreichen Trennflächen durchzogene Raibler Schiefertone aus Bohrung KB 14(s)/11 (35 m Tiefe).**

**Trennflächenorientierung:** Ungeachtet der Trennflächenabstände ist generell für das Projektgebiet festzuhalten, dass alle Gesteine von zahlreichen Klüften durchzogen sind. Dies zeigt die durchwegs starke tektonische Beanspruchung des Gesteinspaketes durch die Gebirgsbildungsprozesse an. Speziell in Störungszonen ist die Trennflächendichte nochmals erhöht, so dass in diesen Gesteinsabschnitten von stark bis vollständig zerlegtem Gebirge gesprochen werden kann. Trennflächen wurden nahezu in jeder Streichrichtung festgestellt, wobei in allen Bohrungen NNW-SSE bis NW-SE streichende Trennflächen leicht dominieren. Zusätzlich dazu treten meist NE-SW- und E-W-orientierte Trennflächen auf. In den Bohrungen KB 13/11, KB 14(s)/11 und KB 15(s)/11 treten auch einige NNE-SSW-streichende Klüfte auf. Das Trennflächeninventar der Bohrungen KB 16(s)/11 und KB 02/10 mit abruptem Wechsel der Orientierungen bestätigen dabei die starke tektonische Beanspruchung der Südflanke des Wank. Die Einfallswinkel der Trennflächen sind meist mittelsteil bis steil; flach liegende Trennflächen treten nur untergeordnet auf. Alle in den Bohrungen detektierten Klufflächen wurden in Contour-Plots dargestellt und daraus die Hauptklufftrichtungen abgeleitet.

**Trennflächenbeschaffenheit:** Für die Trennflächenbeschaffenheit wurden die Daten der Geländeaufnahmen und der Bohrkerndokumentationen sowie die Informationen aus den optischen und akustischen Bohrlochbefahrungen ausgewertet. Im Folgenden wird die Ausbildung der Trennflächen innerhalb der verschiedenen Gesteine beschrieben:

Die Trennflächen innerhalb der Hauptdolomit und Plattenkalk-Formation sind in der Regel eben bis wellig und rau bis glatt ausgebildet. Auf den Schichtflächen treten häufig schwärzliche, glänzende Bitumenbeläge auf, die eine Reduktion der Trennflächenscherfestigkeit nach sich ziehen. Die Beläge können hart und poliert oder schmierig und weich sein. Auf einigen Kluffflächen findet sich ein dünner calcitischer Belag. Zudem sind einzelne Trennflächen als Harnischflächen mit gestriemter bis getreppter Oberflächenbeschaffenheit ausgebildet.

Die Obere Serie der Raibl-Formation, die sich überwiegend aus Rauwacken zusammensetzt, weist aufgrund von Lösungserscheinungen und dem damit einhergehenden zelligen, porösen Habitus überwiegend unebene und raue Trennflächen auf. Die Trennflächen der Raibler Kalke sind in der Regel eben bis wellig und rau



bis glatt ausgebildet. Vor Allem auf den Schichtflächen befindet sich bereichsweise ein dünner toniger Belag. Einige Kluffflächen sind mit dünnem Calcitbelag versehen. Auch in den Raibler Kalken sind einzelne Trennflächen als Harnischflächen mit gestriemter Oberfläche zu bezeichnen.

Die Partnach-Formation sowie die Schiefertonserie der Raibl-Formation sind im Projektgebiet stark tektonisch beansprucht und werden daher von zahlreichen, glatten Harnischflächen durchzogen. Die Oberflächen der Trennflächen (Schicht- und Kluffflächen) sind meist wellig bis eben und glatt bis poliert ausgebildet. Zudem weisen die Trennflächen tonige Beläge auf, die eine Reduktion der Trennflächenscherfestigkeit bewirken.

Bezüglich der Öffnungsweiten der Trennflächen kann aus den geophysikalischen Untersuchungen abgeleitet werden, dass ca. 20-40% der Trennflächen in der Plattenkalk-Formation und ca. 50-60% der Trennflächen in der Hauptdolomit-Formation geöffnet bzw. teilweise offen sind. In den anderen Lithologien liegt der Anteil der geöffneten bzw. teilweise geöffneten Klüfte zwischen ca. 30 und 40%. Hierbei ist erneut auf die in den Bohrlochscans unterrepräsentiert vertretenen Bohrlochabschnitte in tonig-mergeligen Lithologien hinzuweisen. Auf Basis der Bohrlochabschnitte in KB 13/11 (Raibler Schiefertonzonierung) und KB 02/10 (Partnach-Formation) ist jedoch auch in diesen Gesteinen mit einem Anteil geöffneten Trennflächen von etwa 30-35% zu rechnen. Im Allgemeinen können geöffnete Trennflächen eine erhöhte Durchlässigkeit und eine geringere Verbandsfestigkeit des Gebirges bewirken. Zu den Öffnungsweiten der Trennflächen stehen aus den Scanaufnahmen keine Angaben zu Verfügung, es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Öffnungsweiten zwischen Beträgen von <1mm und wenigen Millimetern liegt.

#### 4.4.4 Störungen

Nach derzeitigem Kenntnistand wird das Tunnelbauwerk mehrere Störungszonen durchörtern, die unterschiedliche Mächtigkeiten und Ausbildungen aufweisen werden. Die Störungszonen wurden entsprechend ihrer geotechnischen Eigenschaften in folgende drei Kategorien unterteilt:

- Zerrüttungszone
- Kataklasite mit Kakiritlagen
- Störungsletten

Als Zerrüttungszonen werden mehr oder weniger breite Bereiche bezeichnet, in denen der Gesteinsverband durch tektonische, d.h. mechanische Beanspruchung intensiv zerlegt bzw. zerrüttet ist (siehe Abbildung 28). Im Projektgebiet treten diese Zonen überwiegend im Bereich der kompetenten Gesteine der Hauptdolomit und Plattenkalk-Formation und der Raibler Kalke auf und stellen Begleitgesteine von kataklastisch-kakiritischen Störungszonen sowie Störungsletten dar. Zerrüttungszonen können sehr unterschiedliche Mächtigkeiten von wenigen Metern bis hin zu längeren Gebirgsabschnitten von mehreren Zehnermetern und mehr aufweisen. In der Regel zeichnen sich die Zerrüttungszonen durch eine erhöhte Wasserwegigkeit aus.





**Abbildung 28: Stark gestörter Gesteinsverband mit Zerrüttungszone auf der rechten Seite und Störungsletten-Bereich auf der linken Seite.**

Kataklasite stellen intensiv zerbrochene Bewegungszonen mit richtungsloser, oft chaotischer Textur dar, wobei die Kohäsion des Gesteins nicht verloren gegangen ist. Lokal können innerhalb der Kataklasezonen geringmächtige Kakirite (kohäsionsloses Störungsgestein) auftreten, deren Mächtigkeit jedoch auf einige Zentimeter bis Dezimeter beschränkt ist (siehe Abbildung 13). In diesen kakiritischen Lagen ist das Gestein aufgrund der starken mechanischen Beanspruchung überwiegend in Sand- und Feinkorngröße zerlegt, so dass es oft lose vorliegt und daher eher Lockergesteinseigenschaften aufweist. Die Kataklasite hingegen weisen einen inneren Zusammenhang (Kohäsion) auf, der u.U. durch Zementation hervorgerufen ist und weisen damit im Wesentlichen Festgesteinseigenschaften auf. Die Durchlässigkeit hängt vom Zementationsgrad ab. Im Projektgebiet wurden Kataklasite mit z.T. kakiritischen Lagen in den Störungszonen innerhalb der Hauptdolomit- und Plattenkalk-Formation beobachtet. Zusätzlich können sie im Bereich der Raibler Kalke auftreten (vgl. Abbildung 29).



**Abbildung 29: Bohrkern aus der Bohrung KB 14(s)/11 (154-156 m) mit kakiritischen Lagen (mittig) in einer kataklastischen Störungszone (randlich).**

Calcitisch verheilte Störungsbrekzien können auch als Kataklasite bezeichnet werden, wobei der Grad der calcitischen Zementation unterschiedlich stark ausgebildet sein kann (Abbildung 30). Bei noch vorhandenen Poren und geöffneten Klüften ist von erhöhter Wasserwegigkeit auszugehen.



**Abbildung 30: Störungsbrekzie in Kalkstein (Kataklasit): durch calcitische Ausfällungen wieder-  
verteilte Kalkbruchstücke (KB 14(s)/11, 144-145 m).**

Störungsletten entstehen bei der mechanischen Zerlegung von inkompetenten Gesteinen bzw. der Vermischung von inkompetenten und kompetenten Gesteinen. Das Produkt ist ein kohäsives und aufgrund des hohen Feinkornanteiles in der Regel gering durchlässiges Gestein. Je nach Wassergehalt, Auflockerungs- und Verwitterungsgrad sind die Störungsletten als Lockergesteine zu charakterisieren. Innerhalb des Störungsgesteines können Scherlinsen bzw. Blöcke aus kompetenteren Gesteinen auftreten. Derartige Gesteinsgefüge werden auch als Bim-rocks (Medley (1994) bzw. Block-in-Matrix-Gesteine bezeichnet. Hierbei handelt es sich um ein Gesteinsgemisch, zusammengesetzt aus in geotechnischer Sicht signifikanten Blöcken in einer feinkörnigen Matrix. Der Ausdruck geotechnisch signifikant gibt an, dass ein mechanischer Unterschied zwischen den Blöcken und der Matrix besteht. Die Standfestigkeit des Störungsgesteines ist abhängig vom Anteil der Matrix zum Blockanteil und von den geotechnischen Eigenschaften der Matrix.



**Abbildung 31: Stark gestörte Raibler Mergel mit Scherlinse (Bildmitte) aus dünnbankigen Dolomiten.**





**Abbildung 32: Störungsletten in Raibl-Formation mit Bimrock Struktur**

In den Bohrungen KB 14(s)/11, KB 16(s)/11, KB 22(s)/22 und KB 24(s)/22 sowie im untersten Abschnitt der KB 04(s)/10 wurden Störungszonen mit Störungsletten und Block-in-Matrix-Strukturen auf mehreren Bohrmetern Länge erschlossen (bis ca. 40 m in KB 22(s)/22). Wie auf den folgenden Abbildungen ersichtlich, handelt es sich um inhomogene Gebirgsabschnitte mit stark wechselnder Zusammensetzung. Matrixbetonte Abschnitte wechseln mit festgesteinsbetonten Abschnitten (in diesem Fall Karbonate) ab. Die Matrix besteht dabei aus stark zerscherten Tonsteinen der Raibl-Formation. Diese Tonsteine weisen aufgrund ihrer starken Zerschierung und Verwitterung nahezu keine Festgesteinsmerkmale auf und sind daher als veränderlich festes Gestein oder bindiges Lockergestein zu beschreiben. In den weichen bis steifen Tönen sind Kalkkomponenten in Sand- bis Steingröße, teils bis hin zu Blockgröße eingelagert. Die erkundeten Blockgrößen betragen zwischen wenigen Dezimetern bis hin zu ca. 4 m (vgl. KB 22(s)/22, 129,4-133,5 m), größere Kubaturen und Festgesteinsschollen können nicht ausgeschlossen werden. Die erkundeten Bimrock-Strukturen zeichnen sich durch diese starke Vermischung und chaotische Lagerung von Fest- und Lockergesteinsabschnitten aus und sind eindeutig als Störungszonen zu identifizieren. Auf Bewegungsvorgänge innerhalb dieser Bimrock-Strukturen deuten die glatt polierten Scherflächen hin, die zahlreich in der Tonmatrix vorgefunden wurden.



**Abbildung 33: Störungszone mit kalkstein- und tonsteinbetonten Abschnitten. Die Tonsteinabschnitte weisen Bimrock-Strukturen auf (KB 14s()/11, 130-135 m).**



**Abbildung 34: Bimrock-Struktur in Bohrung KB 14(s)/11 (119/120m und 131/132m).**

Im Bereich der ausgeprägten Störzone in KB 14(s)/11 waren mithilfe der optischen Bohrlochbefahrung keine definierten Trennflächen zu identifizieren. und die Bohrkernansprache zeigt eine richtungslose, chaotische Vermengung von Kalksteinen und Tonsteinen.

Die im geologischen Längsschnitt dargestellten Störungen wurden aufgrund der Bohrergebnisse, der Oberflächenkartierung und unter Berücksichtigung der allgemeinen tektonischen und lithologischen Gegebenheiten eingezeichnet. Nicht alle Störungen sind durch Oberflächenaufschlüsse und Bohrergebnisse erschlossen. Die angenommene Raumlage sowie der prognostizierte Störungstyp können dem geotechnischen Längsschnitt in Anlage 2 entnommen werden. Bei den eingezeichneten Versätzen an den Störungen handelt es sich um Prognosen, welche nicht immer eindeutig anhand von Gelände- und Bohrbefunden belegt werden können.

#### 4.5 Karst

Der Plattenkalk wurde im Projektgebiet teilweise verkarstet angetroffen, wobei oberflächlich keine größeren Dolinen wie im Estergebirge angetroffen wurden und



in Bohrungen lokal lösungserweiterte Trennflächen im cm- bis dm-Bereich auftraten.

Der Hauptdolomit zeigt sich aufgrund seiner schlechteren chemischen Löslichkeit weitestgehend unverkarstet, wobei im Bereich der Überschiebungszone (Kesselgraben) unverfestigte Sandlagen mit cm- bis dm- und teils bis 3 m Erstreckung erkundet wurden. Dabei handelt es sich vermutlich um physikalische Verwitterungserscheinungen (Vergrusung) in stark zerlegten Gebirgsabschnitten. In Störungszonen können mm- bis cm-erweiterte Trennflächen auftreten.

In der Raibl-Formation wurden stark zerrüttete Kalkgesteine und Rauwacken mit luft- und lockermaterialerfüllten Hohlräumen im dm- bis m-Bereich erkundet, allem voran in Bereichen mit steilem Schichteinfallen (KB 22(s)/22, KB 23(s)/22, KB 04(s)/11, KB 03/10). In kompakten und ungestörten Karbonatgesteinen sind lokal mm- bis cm-erweiterte Trennflächen zu erwarten.

Die tonig-mergelige Gesteine der Raibl- und Partnach-Formation werden als nicht verkarstet prognostiziert.

#### 4.5.1 Paläokarst

Entlang des geplanten Tunnelbauwerkes sind verkarstungsanfällige Karbonatgesteine zu durchhörern. In der Raibl-Formation wurden in den Erkundungsbohrungen KB 02(s)/22, KB 04(s)/10, KB 13/11, KB 14s/11, KB 03/11, KB 15s/11 und KB 16s/11 verfüllte Karsthohlräume und verfüllte Klüfte erbohrt (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). Längere Bohrabschnitte mit mehreren dezimeter- bis metermächtigen Karstfüllungen wurden in den Raibler Rauwacken angetroffen. In den geschichteten Kalken der Raibl-Formation waren die verfüllten Karststrukturen (meist verfüllte Klüfte) mit wenigen Zentimetern bis wenigen Dezimetern (max. 80 cm) geringmächtiger ausgebildet. Die ehemaligen Hohlräume in den Karbonatgesteinen sind zum Teil mit hellbraunen, bindigen Tonen mit unterschiedlicher Konsistenz (halbfest, steif, weich bis breiig) verfüllt, wobei bereichsweise eckige Bruchstücke aus dem Nebengestein in diesen Ablagerungen enthalten sind. Es wird daher vermutet, dass es sich hierbei um Karsthohlräume handelt, die nachfolgend mit feinkörnigen Sedimenten verfüllt wurden. Strukturen im Bereich von mehreren Metern bis Zehnermetern können nicht ausgeschlossen werden. Innerhalb der tonigen Füllungen konnte in Abschnitten oberhalb des Grundwassers mit steifer bis halbfester Konsistenz eine Lamination bzw. Schichtung innerhalb des Sediments erkannt werden. Bereichsweise wurde zudem eine kleinräumige interne Verfaltung festgestellt, was darauf hindeutet, dass diese Ablagerungen in spätere Bewegungsphasen einbezogen wurden. Aufgrund der angenommenen Entstehungsgeschichte werden im vorliegenden Bericht diese Ablagerungen als Paläokarststrukturen bezeichnet. Während der Bohrarbeiten bei KB 03/10 und KB 04s/10 war kein Durchfallen des Gestänges zu beobachten, was darauf hindeutet, dass die Hohlräume im Bereich dieser Bohrungen vollständig verfüllt sind. Im Gegensatz dazu wurden v.a. bei der Bohrung KB 13/11 im Bohrlochabschnitt von ca. 26-56 m in den Raibler Rauwacken mehrmals unverfüllte Hohlräume von bis zu 2 m Länge angetroffen. Auch in Bohrung KB 15s/11 wurden zwei Hohlräume mit mehreren Dezimetern Länge in Raibler Kalken erkundet, ebenso in den Bohrungen KB 23(s)/22 und KB 24(s)/22.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die räumliche Ausdehnung dieser Karststrukturen nicht bekannt ist und durchaus größere Strukturen beim Vortrieb angetroffen werden können. Die Bohrerergebnisse weisen des Weiteren darauf hin, dass die bindigen Karstfüllungen in unterschiedlicher Konsistenz und Wassergehalt vorliegen und daher sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können.



**Abbildung 35: Erbohrter Paläokarsthohlraum KB 04(s)/10.**



**Abbildung 36: 3-4cm mächtige, braune, tonige Paläokarstfüllung mit steifer Konsistenz in einer Kluft in Raibler Kalken (KB 14(s)/11, 140,6 m).**

#### 4.5.2 Junger Karst

Aus den geophysikalischen Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass sowohl im Hauptdolomit als auch in der Plattenkalk-Formation die Trennflächen zum Teil durch Lösungserscheinungen erweitert bzw. geöffnet sind (cm bis dm-Bereich). Wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt, wurden in den Bohrungen KB 23(s)/22, KB 13/11, KB 24(s)/22 und KB 15/11 in Raibler Rauwacken bzw. Raibler Kalken unverfüllte Hohlräume bis 2 m Länge erbohrt. Aufgrund dieser Ergebnisse muss auch auf Tunnelniveau mit dem Auftreten von Hohlräumen und geöffneten Strukturen/Trennflächen gerechnet werden. In den Gesteinen des Plattenkalks und Hauptdolomits wurden keine größere Karsthohlräume oder geöffneten Klüfte im cm- oder dm-Bereich erkundet. Sie können jedoch nicht ausgeschlossen werden, da gerade im Trassenabschnitt von 0+500 bis 2+000 eine vergleichsweise geringe Anzahl von Bohrungen abgeteuft wurde.

Die In-Situ Untersuchungen (Hydraulische Tests, Flowmeter-Messungen) in den Bohrungen KB 10/11, KB 11/11 und KB 12/11 im nördlichen Trassenabschnitt zeigen, dass generell im Plattenkalk (KB 10/11 und KB 12/11) mit einer höheren Wasserwegigkeit bzw. Wasserdurchlässigkeit zu rechnen ist als im Hauptdolomit (KB 11/11). Die sehr geringe Infiltration bei der Flowmeter-Messung in KB 11/11 weist laut BLM auf ein vergleichsweise dichtes Gebirge mit sehr wenig geöffneten, wasserwegigen Klüften hin.

Aus der Literatur (KUHNERT, 1967) sind im Bereich des Krottenkopfgebietes (Frickenhöhle, Kuhfluchtquelle), welches sich ca. 3 km nordöstlich des Projektgebietes befindet, größere wasserführende Karststrukturen bekannt. Die Karststrukturen befinden sich in der Plattenkalk-Formation, welche in der Krottenkopfmulde bzw. im nördlichen Trassenabschnitt auftritt. Daher muss beim Vortrieb damit gerechnet werden, dass wasserführende Karstsysteme angetroffen werden können. Eine hydraulische Verbindung zu den oben erwähnten Karststrukturen (Frickenhöhle, Kuhfluchtquelle) ist nicht anzunehmen (vgl. Kapitel 6.5.1). Im Hauptdolomit sind aufgrund der chemischen Gesteinszusammensetzung größere Karststrukturen unwahrscheinlich. Erfahrungen aus dem nahegelegenen Kramertunnel sowie die Bohrerergebnisse der KB 22(s)/22 zeigen jedoch, dass auch im Hauptdolomit v.a. im Bereich von Störzonen geöffnete Klüfte auftreten können, die z.T. erhebliche Wasserzutritte in den Tunnel hervorrufen können.

## 4.6 Quellendes Gebirge

### 4.6.1 Quellfähige Tonminerale

Um das Quellpotential bestimmter Gesteine im Projektgebiet abzuschätzen, wurden an bestimmten Fest- und Lockergesteinen tonmineralogische Untersuchungen sowie ein Quelldruckversuch nach Huder & Amberg durchgeführt. Hierbei wurden die tonreichen Gesteine der Partnach-Formation, Raibl-Formation und die Moränenablagerungen untersucht.

Die tonmineralogischen Untersuchungen erbrachten folgende Ergebnisse:

Partnach-Formation: Die Analyseergebnisse zeigen keine relevanten Anteile an quellfähigen Tonmineralen, so dass quellendes Verhalten aufgrund quellender Tonminerale nicht zu erwarten ist. Die Proben bestehen überwiegend aus Illit, Kaolinit und Chlorit.

**Tabelle 13: Tonmineralogie der Partnach-Formation aus den Bohrungen KB 01/10(s) und KB 02/10, sowie KB 16/11 (Angabe in Prozent).**

Mineralbestand	KB02/10 50,5 BIS 50,7M	KB01/10(H) 43,0 BIS 44,0M	KB01/10(H) 51,0 BIS 52,0M	KB02/10 76,0 BIS 76,9M	KB 16/11 5,2M	KB16/11 11,0M
Kaolinit	14	2	0	2		5
Illit	60	65	70	72	59	54
Illit / Smektit*	4	9	11	9	5	3
Chlorit	22	24	19	17	7	6
Andere (Quarz, Feldspat, Calcit, Pyrit)	-	-	-	-	29	22

\*freier Smektit wurde in den Proben nicht nachgewiesen

### Raibl-Formation:

Es wurden im EKP 2 7 Proben aus den tonigen Gesteinen der Raibl-Formation (Schiefertonzonierung) und 2 Proben aus feinkornbetontem Störungsgestein auf ihre tonmineralogische Zusammensetzung untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt. Weitere Untersuchungen an Gesteinen der Raibl-Formation wurden

an Proben im EKP 3 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

**Tabelle 14: Ergebnisse der tonmineralogischen bzw. röntgendiffraktometrischen Untersuchungen an Proben aus der Raibl-Formation (Angabe in (Gew.-) Prozent), EKP2.**

Mineralbestand	KB 13/11, 201,8M	KB 14S/11, 26M (A)	KB 14S/11, 26M (B)	KB 14S/11, 35M (A)	KB 14S/11, 35M (B)	KB 14S/11, 130M (STÖRUNGS- GE-STEIN)	KB 14S/11, 137M (STÖRUNGS- GE-STEIN)	KB 16S/11, 63,25M	KB 16S/11, 74,5M
Quarz	24	29	16	13	16	5	5	17	25
K-Feldspat	1	12	2	4	2	3	1		
Plagioklas	6		1		2		1	1	2
Illit	55	26	63	62	55	20	39	55	54
Illit/Smektit	2	3	4	4	3		2	3	2
Chlorit	4	4	2	4	4			5	6
Kaolinit		9	6	6	6			6	6
Calcit	7	15	3	6	9	70	8	12	4
Dolomit		1	-	-	-	1	42		
Pyrit	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Gibbsit		-	2	-	2				

Die Untersuchungsergebnisse der EKP 2 und 3 zeigen, dass die Tonsteine bzw. Rauwacken der Raibl-Formation überwiegend aus Illit und Quarz mit geringen bis hohen Anteilen an Calcit und geringen Anteilen an Chlorit und Kaolinit bestehen. Für alle untersuchten Proben gilt jedoch, dass der Anteil an quellfähigen Tonmineralen (Illit/Smektit) mit wenigen Prozentanteilen gering ist. Ergebnisse des EKP3 zeigen Gehalte an quellfähigen Tonmineralen zwischen 2-10 %, dafür jedoch teils mittlere und hohe Quellpotentiale im Bereich von Tonsteinen und Schiefertönen der KB 24(s)/22.

#### Störungsgesteine im Bereich der Raibl-Formation:

Bei den Proben aus Störungsgestein aus KB 14(s)/11 überwiegt der Calcit- bzw. Dolomitanteil gegenüber dem Tonmineralanteil, der Anteil quellfähiger Tonminerale liegt bei max. 2 %. Die Ergebnisse der Untersuchungen des EKP 3 zeigen im Bereich der Überschiebungszone der Raibl Formation auf den Hauptdolomit im Zentralbereich des geplanten Tunnels teils **hohe Gehalte an quellfähigen Tonmineralen zwischen 9-23%**, Proben aus der KB 24(s)/22, KB 58/21 und KB 57/21 zeigen Anteile von 7-8%. Es handelt sich um Chlorit-Vermikulit- sowie Illit-Smektit-Wechselagerungen (Tabelle 16). In Pulverquellversuchen zeigt sich dementsprechend ein **mittleres bis hohes**, teilweise aber auch geringes **Quellpotential**.

Paläokarstfüllungen innerhalb der Raibl-Formation: Eine Analyse einer Probe aus der Bohrung KB04(s)/10 aus dem Bereich eines verfüllten Paläokarsthohlraumes ergab einen Corrensit-Wert von 18%. Corrensit ist ein quellfähiges Tonmineral. Erste Ergebnisse von Pulverquellversuchen an Paläokarstfüllungen ergaben mittlere bis hohe Quellpotentiale. Nach derzeitigem Wissenstand treten die Karstfüllungen nur räumlich begrenzt im Bereich der oberen Serie der Raibl-Formation auf. Aufgrund der vermutlich nur geringen Verbreitung der Karstfüllungen wird das Quellpotential als nicht bauwerksrelevant eingestuft.



**Tabelle 15: Tonmineralogie der Paläokarstfüllungen**

Mineralbestand	KB04/10(S) 184,2 BIS 184,8
Illit	66 %
Corrensit	18 %
Chlorit	22 %

Aufgrund dieser Analyseergebnisse ist davon auszugehen, dass die Raibl-Formation in Großteils kein bauwerksrelevantes Quellpotential aufweist. Hierfür sprechen auch die Erfahrungen aus den Erkundungsstollen Brixlegg Ost und Vomp Ost (Zulaufstrecke Nord zum Brenner Basistunnel), bei denen ebenfalls keine bauwerksrelevanten Quelldrücke in Vortriebsabschnitten innerhalb der Schiefertonserie der Raibl-Formation aufgetreten sind. Innerhalb feinkörniger Störungszonen bzw. Überschiebungsbahnen sowie lokal im Bereich von Karstfüllungen können jedoch nennenswerte Anteile quellfähiger Tonminerale auftreten, allem voran im Zentralbereich bei ca. km 2+510 bis 2+589. Hier ist insbesondere auch zu erwähnen, dass zusätzlich mit gespanntem Grundwasser in diesem Bereich zu rechnen ist (vgl. Kapitel 6.6.2.3).

#### Plattenkalk- und Hauptdolomit-Formation

Analyseergebnisse des EKP 3 zeigen, dass der Anteil quellfähiger Tonminerale innerhalb von feinkörnigen mergeligen Lagen zwischen 0-12 % betragen kann. Es handelt sich vorwiegend um Illit-Smektit-Wechsellagerungen. Das Quellpotential der Zwischenlagen der aus Pulverquellversuchen ist mittel bis gering. In den kompetenten Kalksteinen und Dolomiten wird kein Quellverhalten erwartet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Moränenablagerungen: Die weitgestuften Moränenablagerungen überdecken im Bereich des Südportals die Festgesteine der Raibl-Formation und wurden in den Bohrungen mit einer maximalen Mächtigkeit von 2,6 m angetroffen (KB 17/11). Es ist davon auszugehen, dass diese Moränenablagerungen im Bereich des Südportals als vergleichsweise dünne Lockergesteinsschicht von wenigen Metern Mächtigkeit den Felsuntergrund überlagern. Ein Quelldruckversuch im Labor erbrachte einen Quelldruck von 480,7 [kN/m<sup>2</sup>]. Aufgrund der geringen Mächtigkeit sowie der morphologischen Gegebenheiten werden die Moränenablagerungen lediglich im Bereich des Voreinschnittes (offene Bauweise) erwartet. Ein Auftreten der Moränenablagerungen im Bereich der bergmännischen Bauweise ist unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen. Das Quellpotential der Moränenablagerungen wurde dennoch als nicht bauwerksrelevant eingestuft.

Im Bereich der geplanten Dammschüttung (Anschlussstelle) südlich des Portals wurden Moränenablagerungen in größerer Mächtigkeit im Wechsel mit steifen bis halbfesten Seetonablagerungen angetroffen (KB 19/11 und KB 20/11). Diese Moränenablagerungen werden in einem gesonderten Bericht beschrieben.





**Tabelle 16: Ergebnisse der XRD-Analysen der EKP3.**

Bohrung	Teufe	Formation	Illit-Smektit-WL	Smektit (dioktaedrisch)	Chlorit-Vermikulit-WL	Illit/Glimmer	Kaolinit	Chlorit	Quarz	Palygorskit	Pyrit	Na-Plag. Feldspat	Kali-Feldspat	Calcit	Dolomit	Goethit	Hämatit
KB 21/22	271,5-271,7	Plattenkalk	12	1		32		6	2		1	1		30	14	<<1	
KB 21/22	288,6-288,8	Plattenkalk	9			28		4	2		<1	<1			56		
KB 21/22	323,5-323,7	Hauptdolomit								80					20		
KB 21/22	330,0-330,3	Hauptdolomit	10			18		3	1			1		2	65		
KB 21/22	356,0-356,4	Hauptdolomit								60					40		
KB 22(s)/22	105,4-105,5	Störung, bindig	5		18	13		5	2			1	1	5	50		
KB 22(s)/22	107,2-107,5	Störung, bindig	5		5	5		5	3			<1	<1	75	1		
KB 22(s)/22	109,0-109,5	Störung, bindig	5		13	14		6	2			1	<1	6	52		
KB 22(s)/22	131,0-131,4	Störung, bindig	4		5	6		4	1			1		18	61		
KB 22(s)/22	146,4-146,5	Hauptdolomit	1			1		1	1			1		<1	94		
KB 22(s)/22	171,0-173,1	Hauptdolomit	1			2		1	1			1		18	75	<1	<<1
KB 22(s)/22	172-172,4	Hauptdolomit	1			2		1	1			1		20	73	<1	<<1
KB 24(s)/22	36,2-36,3	Raibl Fmt.	2			11	1	4	28			3	<1	47	3		
KB 24(s)/22	51,6-51,7	Raibl Fmt.	3			25	6	7	47			8		3	1		
KB 24(s)/22	108,4-108,9	Störung bindig, Raibl Fmt.	7			34	5	11	33			6	2	1	<1		
KB 24(s)/22	123,3-123,4	Störung bindig, Raibl Fmt.	8			55	6	12	15			2	1	<<1	<<1		
KB 24(s)/22	138,0-138,5	Raibl Fmt.	7			29	3	8	10			4	1	35	2	<<1	
KB 25(s)/23	92,80-93,20	Raibl Fmt.	7	6		34		9	21		n.v.	1	3	14	<1	<1	<<1
KB 25(s)/23	95,60-96,00	Raibl Fmt.	10	6		31		8	11		n.v.			32	<1	<1	
KB 25(s)/23	116,00-117,00	Raibl Fmt.	15	10		39		9	11		n.v.	2	1	4	<1	2	
KB 25(s)/23	119,90-120,40	Raibl Fmt.	13	1		39		7	17			3	2	1	1	1	
KB 25(s)/23	130,40-131,00	Raibl Fmt.	18	2		29		8	10			2	1	<1	16	2	
KB 25(s)/23	133,90-134,70	Raibl Fmt.	13	3		38		10	13			2	3	1	5	3	
KB 25(s)/23	142,30-142,70	Raibl Fmt.	7	1		36		10	27		<1	6	2	<1	<1		

#### 4.6.2 Quellfähiger Anhydrit

Hinsichtlich Anhydritquellen kommen im Projektgebiet lediglich die Rauwacken der Raibl-Formation in Frage, die theoretisch Reste von Anhydrit enthalten könnten, die noch nicht in Gips umgewandelt sind. Allerdings sind im Projektgebiet innerhalb der Raibl-Formation lediglich Gipsvorkommen bekannt (Gipssteinbruch am Ost- rand von Partenkirchen); es wird davon ausgegangen, dass keine Anhydritvorkommen in größerem Umfang bestehen, bzw. dass der Anhydrit bereits zu Gips umgewandelt ist. Bei den bisher durchgeführten Baugrunderkundungen wurde kein Anhydrit angetroffen. Speziell sind aus den Erkundungen des EKP3 (KB22(s)/23 + KB25(s)/23) und den dort durchgeführten Röntgendiffraktometrieuntersuchungen in den untersuchten Proben keine Anteile an Anhydrit festgestellt worden. Es ist jedoch nicht gänzlich auszuschließen, dass Anhydrit in geringem Umfang in isolierten Vorkommen auftritt.

Andere anhydritführende Gesteinsformationen sind aus dem Projektgebiet nicht bekannt.

Zusammenfassend ist aufgrund der bisher durchgeführten Baugrunderkundung davon auszugehen, dass keine Gesteine mit nennenswertem Anhydrit-Quellpotential durch die Baumaßnahme angeschnitten werden.

#### 4.7 Primärspannungsverhältnisse

Die vertikale Spannungskomponente wird unter Berücksichtigung der Überlagerung und der Wichte ermittelt. In den Alpen ist aufgrund von In-situ Spannungsmessungen und ausgeführten Tunnelbauwerken seit Längerem bekannt, dass die Horizontalkomponente die Vertikalkomponente, bedingt durch die vorherrschenden tektonischen Spannungen überschreiten kann. Mögliche Ursachen sind:

- die plattentektonisch bedingt vorherrschenden Spannungen
- konservierte hohe Horizontalspannung infolge des geologisch gesehen raschen Rückgangs der letzten Vereisungsphasen

Die generelle Richtung der horizontalen Hauptspannung steht gemäß den Ergebnissen von zahlreichen im Alpenraum durchgeführten Primärspannungsmessungen in etwa normal auf den Alpenbogen (MÜLLER et al. (1992)). Für das Projektgebiet würde das eine N-S bis NW-SE gerichtete Spannung bedeuten. Eine N-S-gerichtete Orientierung der Hauptspannungsrichtung ist auch in der World-Stress-

Map (Heidbach et al. 2008) für das Projektgebiet ersichtlich. Für den geplanten Tunnel ergeben sich somit Hauptspannungen spitzwinkelig zur Tunnelachse. Betreffend die Höhe der Horizontalspannungen wird davon ausgegangen, dass zum Nordrand der Kalkalpen hin die Werte gegenüber den inneralpinen Werten reduziert sind. Des Weiteren kann eine Reduktion aufgrund der Lehnenlage des Bauwerkes und dadurch bedingter Entspannung gegen das Tal hin angenommen werden. Deshalb wird von keiner Überschreitung der Vertikal- durch die Horizontalspannung ausgegangen. Für den Festgesteinsabschnitt des Projektgebietes wird ein  $k_0$ -Wert von 0,4 bis 0,6 empfohlen. Abschnittsweise können jedoch auch erhöhte  $k_0$ -Werte bis 1,0 auftreten.

## 4.8 Erdbeben

Nach der in DIN EN 1998-1/NA veröffentlichten Karte liegt das Projektgebiet in Erdbebenzone 1. Das bedeutet nach der in den Erläuterungen zur Norm angegebenen (unten angeführter) Tabelle (Tabelle 17), dass der Intensitätsgrad ( $I_0$ ) zwischen 6,5 und 7,0 liegt. D.h. der Bemessungswert für die horizontale Bodenbeschleunigung liegt bei  $0,4 \text{ m/s}^2$ .

**Tabelle 17: Auszug aus der Intensitäts-Skala, basierend auf der Europäischen Makroseismischen Skala 1998 (EMS-98) nach GRÜNTAL (1998) und der Mercalli-Sieberg-Skala.**

GRAD / EMS IN- TENSITÄT ( $I_0$ )	ERDBEBENWIRKUNG AN DER ERDOBERFLÄCHE	ERDBE- BEN- ZONE
5	<b>Stark fühlbar:</b> Wird im Freien von einigen, in Gebäuden von allen wachen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Hängende Gegenstände pendeln stark, angelehnte Gegenstände können umfallen. Gelegentlich treten Haarrisse im Verputz auf.	0
6	<b>Leichte Gebäudeschäden:</b> Viele Menschen flüchten aus den Häusern ins Freie. Möbel können von der Stelle gerückt werden. An vielen Häusern entstehen leichte Schäden (Risse im Verputz), von älteren Häusern können Verputzteile, Dachziegel oder Schornsteine herabfallen. Quellschüttungen können sich ändern oder Trübungen von Quellwässern auftreten.	
7	<b>Gebäudeschäden:</b> Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Gegenstände fallen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerisse, größere Verputzteile fallen ab, Risse an Schornsteinen, Schornsteine fallen herab). Ältere Gebäude zeigen häufig Mauerisse oder Schornsteineinstürze, vereinzelt auch Spalten im Mauerwerk – Einsturz von Zwischenwänden. Auftreten oder Versiegen von Quellen. Erdrutsche, Fels- oder Bergstürze können ausgelöst werden.	1
		2
		3

Tunnelbauwerke sind aufgrund ihrer Bettung bei derartigen Belastungen nicht gefährdet.

## 4.9 Gasführung

In manchen Schichten wie z.B. in der bitumenführenden Hauptdolomit- und Plattenkalk-Formation oder tonig-mergeligen Gesteinen (Raibl- und Partnach-Formation) kann eine Gasführung vorhanden sein. Bei Tunnelbauprojekten in vergleichbaren Lithologien (Brixlegger Tunnel, Roppener Tunnel, beide in Tirol) wurde Gas im Vortrieb angetroffen, es wurden jedoch keine Schlagwetter-relevanten Konzent-

rationen erreicht. Für den Wanktunnel ist von vergleichbaren Verhältnissen auszugehen. Es wird jedoch empfohlen während des Vortriebs regelmäßig Gasmessungen an der Ortsbrust durchzuführen.

#### 4.10 Geogene Hintergrundbelastung

Aufgrund der Erfahrung aus dem Kramertunnel ist denkbar, dass beispielsweise siliziklastische Gesteine (z.B. Tonsteine, Rauwacken) unter Umständen erhöhte geogene Schadstoffbelastung (z.B. Schwermetallanreicherungen oder erhöhte Sulfatkonzentrationen) aufweisen können. Beim Kramertunnel wurde bei Tonsteinen der Kössener Schichten eine erhöhte Arsen-Belastung festgestellt, so dass dieses Material bei Deponierung / Wiederverwertung gesondert behandelt werden musste.

Erhöhte Sulfatgehalte können in pyrit- und bitumenführenden sowie in evaporithaltigen (Gips/Anhydrit) Gesteinsserien auftreten (z.B. Obere Raibler Serie mit Rauwacken sowie Raibler Schiefertonserie, Partnach-Formation, Hauptdolomit).

An 5 Gesteinsproben aus betreffenden Gesteinen wurden daher chemische Analysen durchgeführt (siehe Tabelle 18).

**Tabelle 18: Ergebnisse der chemische Analysen von Gesteinsproben**

Nr.	Bohrung	Entnahmetiefe	Beschreibung	Ergebnis
1	KB 13/11	175 m	Mergel, Raibl-Fm.	Aufgrund des pH-Wertes von 8,6 (Feststoff) bzw. 9,5 (Eluat) Einstufung als Z1.2 gemäß LAGA, alle anderen Parameter unauffällig (=Z0).
2	KB 13/11	204 m	Feinsandstein/Tonstein, Raibl-Fm.	Aufgrund des pH-Wertes von 8,2 (Feststoff) bzw. 9,0 (Eluat) Einstufung als Z1.2 bzw. Z 1.1 gemäß LAGA, alle anderen Parameter unauffällig (=Z0).
3	KB 14/11	128 m	Toniges Störungsgestein, Raibl-Fm.	Aufgrund des pH-Wertes von 8,3 (Feststoff) bzw. 9,4 (Eluat) Einstufung als Z1.2 gemäß LAGA, alle anderen Parameter unauffällig (=Z0).
4	KB 14/11	135,9 m	Toniges Störungsgestein, Raibl-Fm.	Aufgrund der el. Leitfähigkeit (1091 µS/cm, Eluat) und des Sulfatgehaltes (520 mg/l Eluat) Einstufung als Z2 bzw. >Z2 (Sulfatgehalt). Die Parameter Nickel (Feststoff) und Kohlenwasserstoffen (Feststoff) sind leicht erhöht (Einstufung Z1.1). Alle anderen Parameter unauffällig (=Z0).
5	KB 16/11	11 m	Tonstein, Partnach-Fm.	Aufgrund des Sulfatgehaltes (90mg/l, Eluat) Einstufung als Z1.2, Nickelgehalt (Feststoff) und pH-Werte leicht erhöht (Einstufung als Z1.1). Alle anderen Parameter unauffällig (=Z0).

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass 3 Proben (Nr. 1, 2 und 3) lediglich aufgrund eines leicht basischen pH-Wertes (8,2-9,4) in die Klasse Z1.2 nach LAGA einzustufen sind. Alle anderen Parameter sind bei diesen Proben unauffällig, bzw. sind in die Klasse Z0 nach LAGA einzustufen.

Bei Probe Nr. 4 und Nr. 5 sind die Sulfatgehalte erhöht. Probe Nr. 5 ist demnach als Z1.2 einzustufen. Der Sulfatgehalt (Eluat) der Probe Nr. 4 übersteigt mit 520 mg/l den Grenzwert für die Einstufung in die Klasse Z2, der bei 150 mg/l liegt. Bezüglich einer erhöhten Schwermetallbelastung wurde lediglich bei den Proben Nr. 4 und Nr. 5 ein leicht erhöhter Nickel-Gehalt festgestellt. Des Weiteren war bei Probe Nr. 4 der Gehalt an Kohlenwasserstoffen erhöht.

Diese Ergebnisse sind bei Planung und Ausführung der Deponierung bzw. Wiederverwertung des Tunnelausbruchsmaterials zu berücksichtigen. Es wird empfohlen ein auf diese Ergebnisse abgestimmtes Beprobungsprogramm des Tunnelausbruchsmaterials während der Bauausführung durchzuführen.

## **4.11 Naturgefahren**

### **4.11.1.1 Hangbewegungen**

Bei den Kartierungsarbeiten wurden keine Massenbewegungen beobachtet, die für das Tunnelbauwerk inkl. Voreinschnitte und Anschlussstellen als relevant erachtet werden.

Die im online abrufbaren Umweltatlas Naturgefahren im Trassenbereich dargestellten Gefährdungspotentiale für Steinschlag und flachgründige Hanganbrüche werden nicht als bauwerksrelevant erachtet, Portalbereiche und Anschlussstellen befinden sich außerhalb der markierten Gefahrenzonen.

Die Flanken der tief eingeschnittenen Gräben (Schalmeischlucht, Kesselgraben, Faukenbach) gelten als rutschungsgefährdet für flachgründige Anbrüche [4]. Im Bereich der Schalmeischlucht zwischen Eckenhütte und Tannenhütte (ehem. Gamshütte) ist ein Gefahrenhinweis für eine tiefreichende Rutschung (Stand 2010) sowie eine Rutschanfälligkeit verzeichnet [4], ein Anbruch ist ebenfalls in der Geologischen Karte zu finden [92]. Der Geländebefund des Bayerischen Landesamtes für Umwelt ergibt gemäß mündlicher Auskunft, dass es sich um eine stark erosiv überprägte Anrisskante handelt und eine Rutschung mit bauwerksrelevanter Tiefe (>100 m unter GOK) ausgeschlossen werden kann.

### **4.11.1.2 Wildbachereignisse, Hochwasser**

Im Umweltatlas Naturgefahren [4] sind Wildbachereignisse in folgenden Gewässern verzeichnet:

- Brünnlrunze (im Bereich der Siedlung am Brünnl)
- Katzenbach
- Faukenbach

Hochwassergefährdungsflächen für HQ 100 und HQextrem befinden sich nördlich der Anschlussstelle Nord im Bereich des Flachmoors [4].

Sämtliche Objekte befinden sich außerhalb des unmittelbaren Bauwerksbereiches.

### **4.11.1.3 Subrosion**

Markante oberflächliche Subrosionserscheinungen durch Verkarstung (Dolinen) sind im Bereich der Raibl-Formation am Südhang des Wank dokumentiert (vgl. geol. Lageplan Anlage 1), befinden sich jedoch abseits der Tunneltrasse.

Im Zuge des Vortriebs ist mit lockergesteinsgefüllten Hohlräumen mit Materialeintrag in den Tunnel zu rechnen, vor allem in Kombination mit Wasserzutritten.

## **4.12 Schutzgebiete**

Die West- und Südflanke des Wanks liegen gemäß Umweltatlas Natur [3] in großen Teilen in einem Landschaftsschutzgebiet, ebenso die geplante südliche Anschlussstelle. Südlich der Kanker (Wamberg) ist ein FFH-Gebiet als Teil des Schutzgebietsnetzes Natura 2000 ausgewiesen, dieses liegt außerhalb des Projektgebietes.



**Biotopkartierung**

- mit geschützten Anteilen
- möglicherweise mit geschützten Anteilen
- ohne geschützte Anteile

Seite 71



## 5 INGENIEURGEOLOGISCHE BEURTEILUNG DES GEBIRGES

Anmerkung: Kapitel 5 ist in Bearbeitung und wird nach Fertigstellung aktualisiert.

### 5.1 Gebirgsarten gem. Richtlinie Geomechanische Planung

Basierend auf den geologischen Verhältnissen im Projektgebiet und auf den vorliegenden Erkundungsergebnissen wurden zur Einteilung und Charakterisierung der geol.-geotechnischen Verhältnisse entlang der Tunneltrasse verschiedene Gebirgsarten definiert und für jede Gebirgsart ein Datenblatt mit Beschreibung und Angabe von Kennwerten aus Labor- und Feldversuchen erstellt. Dabei wurden sowohl die in der DIN 18300 und DIN 18312 für die Einteilung von Boden und Fels in Homogenbereiche geforderten Gesteinskennwerten angegeben (grau hinterlegte Felder) aber auch darüber hinausgehend weitere, für die geotechnische Bearbeitung erforderliche Kennwerte. Für den Wanktunnel (bergmännischer Teil sowie Portalbereiche/Anschlussstellen) wurden die in folgender Tabelle aufgelisteten Gebirgsarten festgelegt; die Zuordnung zu Homogenbereichen erfolgt in Kap. 5.3 bzw. ist auf dem Geol. Längsschnitt in Anlage 3 ersichtlich.

**Tabelle 19: Gebirgsarten Wanktunnel**


Gebirgsart	Kurzbeschreibung
F1	Dolomite
F2	Kalksteine, Dolomitsteine und Mergelkalke mit Mergelzwischenlagen
F3	Kalksteine und Dolomitsteine, zerrüttet
F4	Rauwacken mit Paläokarststrukturen
F5	Tonsteine mit Mergel und Kalkmergel
F6	Tonsteine und Schiefertone, stark zerlegt
S1	Störungszone in Karbonatgesteinen
S2	Störungsgesteine mit bindigen Anteilen (Störungslettness, Bimrock)
L1	Moränenablagerungen, feinkörnig und kiesbetont
L2	Schmelzwasserschotter der Kanker
L3	Fluviatile Sedimente der Loisach

Anmerkungen: F= Festgestein S= Störungsgestein L=Lockergestein


Nach jetzigem Kenntnisstand wird nahezu der gesamte Tunnelquerschnitt in Festgesteinen, bzw. in veränderlich festen Gesteinen mit Festgesteinsursprung liegen. Paläokarstfüllungen können jedoch Lockergesteinscharakter aufweisen. Lediglich im Bereich des Südportales (Voreinschnitt) wird mit „echten“ Lockergesteinsablagerungen in Form von Moränenablagerungen im Bereich des Tunnelquerschnittes gerechnet. Außerhalb des eigentlichen Tunnelbauwerkes im Bereich der Anschlussstellen Nord und Süd werden neben den Moränenablagerungen auch Schotterablagerungen der Loisach (AST Nord) bzw. der Kanker (AST Süd) auftreten. Die teilweise im Bereich der AST Süd auftretende Hangschuttbedeckung ist aufgrund ihrer geringen geotechnischen Relevanz in der Gebirgsarten-Einteilung nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für anthropogene Auffüllungen / Anschüttungen. Sollten derartige Lagen bei zukünftigen Erkundungsmaßnahmen in nennenswertem Umfang im Baufeld erkundet werden, sind diese auch in der Gebirgsarten-Aufteilung zu berücksichtigen.

Anmerkung zu den angegebenen Kennwerten: Labor- bzw. Feldversuch sind für Parameter gem. DIN 18312/DIN 18300 angegeben.

**Tabelle 20: Gesteinskennwerte Gebirgsart F1**


Gebirgsart	F1		
Ortsübliche Bezeichnung	Dolomite, massig - gebankt		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Hell- bis dunkelgraue, massige bis geschichtete Dolomite, lokal mit Einschaltungen von Kalkstein- und Mergelbänken und vereinzelt Bitumenlagen bis 1 m (Asphaltschiefer); abschnittsweise durchziehen zahlreiche Calcitadern, sedimentäre Brekzien oder Slumping-Strukturen das Gestein.		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,77 g/cm³ (Medianwert aus 37 Versuchen)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	Frisch bis schwach verwittert (V0-V1); bräunliche Verfärbungen entlang der Klüfte		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	nicht veränderlich (Grad 1, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	30-184 MN/m² (Medianwert aus 32 Versuchen: 60 MN/m²)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Schichtung überwiegend mittelsteil nach Südwesten teils Westen einfallend; Klüftung mittelsteil bis steil in unterschiedliche Richtungen einfallend Schichtflächenabstand: mittel- bis dick, teils sehr dick Trennflächenabstand: überwiegend mittelständig, teils engständig, teils weitständig Gesteinskörperform: vielflächige und rhombische Gesteinskörperformen		
Öffnungsweite und Kluffüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: Eng bis teilweise offen Kluffüllung: teils treten harte bis weiche, schmierige Bitumenbesteuge und teilweise dünne limonitische Besteuge auf Trennflächenoberflächen: rauh bis glatt; eben bis stufig; gerade		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	1-6 MN/m² (Medianwert aus 8 Versuchen: 3,8 MN/m²)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächen-scherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	TF-Reibungswinkel: 30° TF-Kohäsion: 0,5 MN/m² (Median-Werte aus 14 Versuchen)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	33 GN/m² (Median-Wert aus 6 Versuchen)		
GSI	65	K <sub>f</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E-7 bis 5E-8 m/s
Bohrkernfoto KB 05(s)/10 192-196 m			
Anmerkungen: Lokal ist das Auftreten von karsterweiterten Trennflächen möglich, entlang derer erhöhte Wasserwegigkeit zu erwarten ist. Im Dolomit sind Gaszutritte möglich.			

**Tabelle 21: Gesteinskennwerte Gebirgsart F2**

Gebirgsart	F2		
Ortsübliche Bezeichnung	Kalksteine, Dolomitsteine und Mergelkalke mit Mergelzwischenlagen		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Graue bis braungraue, geschichtete Kalke, Dolomite und Mergelkalke, teils Mürbkalke oder poröse Kalke mit geringmächtigen Mergelzwischenlagen		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,67 g/cm³ (Medianwert aus 58 Versuchen)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	Frisch bis schwach verwittert (V0-V1); bräunliche Verfärbungen entlang der Klüfte		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Kalksteine: nicht veränderlich (Grad 1, abgeschätzt) Mergelsteine: veränderlich (Grad 2, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	18-171 MN/m² (Medianwert aus 43 Versuchen: 50 MN/m²)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Schichtung überwiegend mittelsteil bis steil in südwestliche teils südliche und westliche untergeord. in nördliche Richtungen einfallend; Klüftung mittelsteil bis steil in unterschiedliche Richtungen einfallend Schichtflächenabstand: dünn bis mittel Trennflächenabstand: engständig bis mittelständig, teils weitständig Gesteinskörperform: tafelförmige bis prismatische Gesteinskörperformen		
Öffnungsweite und Kluffüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: Eng bis offen; teilweise karsterweiterte Trennflächen bis in cm-Bereich (weit) Kluffüllung: teilweise treten mm-mächtige schmierige, dunkelgraue tonige Bestege auf Trennflächenoberflächen: rauh bis glatt; eben bis stufig; gerade		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	0,8-11 MN/m² (Median-Wert aus 39 Versuchen: 3,9 MN/m²)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	TF-Reibungswinkel: 32° TF-Kohäsion: 0,2 MN/m² (Median-Werte aus 27 Versuchen)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	26 GN/m² (Median-Wert aus 5 Versuchen)		
GSI	50	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-6</sup> bis 5E <sup>-7</sup> m/s
Bohrkernfoto KB 10/11 56-60 m			
Anmerkungen: Lokal ist das Auftreten von karsterweiterten Trennflächen bzw. Karsthohlräumen (dm-bis m-Bereich) möglich, entlang derer erhöhte Wasserwegigkeit zu erwarten ist. Im Verzahnungsbereich mit bitumenführenden Gesteinsserien sind Gaszutritte möglich.			





**Tabelle 22: Gesteinskennwerte Gebirgsart F3**

Gebirgsart	F3		
Ortsübliche Bezeichnung	Kalksteine und Dolomitsteine, zerrüttet		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Hell- bis dunkelgraue, massige bis geschichtete Kalksteine und Dolomite, tektonisch beansprucht bzw. oberflächennah zerlegt mit geringer Verbandsfestigkeit (Gestein zerfällt bei mechanischer Beanspruchung zu Haufwerk aus Einzelkomponenten in überwiegend Kies- und Steinkorngröße).		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,55 g/cm³ (geschätzt)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	frisch bis mäßig verwittert (V0-V2)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Nicht veränderlich (Grad 1, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	Aufgrund hoher Zerlegung keine geeigneten Prüfkörper gewinnbar, daher Versuch nicht durchführbar. Druckfestigkeit von intakten Gesteinskörpern mäßig hoch bis hoch (geschätzt)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Störungen sind dominierende Trennflächen, diese fallen steil in südöstliche und südwestliche Richtungen ein  Schichtflächenabstand: dünn bis dick, aber oft aufgrund der tektonischen Überprägung nicht mehr bestimmbar Trennflächenabstand: engständig Gesteinskörperform: vielfächige bis rhombische Gesteinskörperformen		
Öffnungsweite und Kluftfüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: Eng bis offen; Trennflächenoberflächen rau bis glatt, teils gestriemt; eben bis stufig; gerade		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	Nicht bestimmbar		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	Keine Versuchsergebnisse vorliegend		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	Keine Versuchsergebnisse vorliegend		
GSI	38	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-5</sup> bis 5E <sup>-6</sup> m/s
Bohrkernfoto KB 07(h)/11 16-20 m			
Anmerkungen: Homogenbereich tritt in Randbereichen von tektonisch beanspruchten Gebirgsabschnitten (Störungen, Zerrüttungszonen) und oberflächennahen Auflockerungszonen auf. Bereichsweise tritt eine calcitische Verkittung auf. Gaszutritte sind möglich			




**Tabelle 23: Gesteinskennwerte Gebirgsart F4**


Gebirgsart	F4		
Ortsübliche Bezeichnung	Rauwacken mit Paläokarststrukturen		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Graue bis braune, poröse bis zellige, meist massige teils undeutlich geschichtete Rauwacken mit Einschaltungen von Kalkbrekzien, Mürbkalken, Mergeln und Dolomiten mit teils unverfüllten Hohlräumen, teils mit bindigem Material verfüllten Hohlräumen. Die Größe der Hohlräume liegt meist im dm-Bereich, teils im m-Bereich (bis ca. 10 m erkundet, größere Strukturen nicht ausgeschlossen)		
Kennwerte für Fels gemäß DIN 18312, gültig für die Festgesteinsabschnitte			
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,39 g/cm³ (Median aus 18 Versuchen)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	frisch bis stark verwittert (V0-V3)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Nicht veränderlich bis stark veränderlich (Grad 1 bis 5, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	5-35 MN/m² (Medianwert aus 18 Versuchen: 16,3 MN/m²)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Schichtung falls erkennbar flach bis steil in südliche Richtungen einfallend; Klüftung unregelmäßig mittelsteil bis steil in unterschiedliche Richtungen einfallend Schichtflächenabstand: dünn bis sehr dick (oft nicht feststellbar) Trennflächenabstand: engständig bis mittelständig Gesteinskörperform: vielfächige Gesteinskörperformen		
Öffnungsweite und Klüftfüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: Eng bis offen; teils mit bindigem Material verfüllt; Trennflächenoberflächen rau; stufig; kurvig		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv (CAI-Index: 0,5-1)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	0,6-4,5 MN/m² (Medianwert aus 12 Versuchen: 1,12 MN/m²)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	Keine Versuchsergebnisse vorliegend		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	0,18 GN/m² (1 Versuch)		
GSI	35	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-6</sup> bis 5E <sup>-7</sup> m/s
Bohrkernfoto oben KB 04(s)/10 132-134 m Rauwacken			
Bohrkernfoto unten KB 03/10 64-66m Paläokarstfüllung mit weicher bis steifer Konsistenz und Rauwacke			

<b>Fortsetzung Gebirgsart F4: Rauwacken mit Paläokarststrukturen</b>	
	Kennwerte für Boden gemäß DIN 18312, gültig für die Hohlraumfüllungen
Ortsübliche Bezeichnung	Braune, feinkörnige Paläokarstfüllungen
Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern nach DIN 17892-4	Schluff, kiesig, tonig und Ton, schluffig, kiesig teils Kies, schluffig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Bestimmung nicht möglich; Komponenten in Steingröße wahrscheinlich, in Blockgröße nicht ausgeschlossen
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	2,2 g/cm <sup>3</sup> (Feuchtdichte, Medianwert aus 10 Versuchen)
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN SIO 17892-7 oder DIN 17892-8	Kohäsion: 0,01 MN/m <sup>2</sup> Reibungswinkel: 27,3° (Medianwerte aus 7 Triax-Versuchen)
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	1-15%
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	Nicht bestimmt
Konsistenzzahl nach DIN 17892-12	Nicht bestimmt Feldansprache Konsistenz: weich bis steif, teils breiig bzw. halbfest (je nach Wassergehalt; Konsistenz vermutl. bei Erkundungsborungen durch Bohrvorgang verändert)
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN ESISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	Nicht bestimmt
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt, kann als schwach abrasiv angenommen werden
Bodengruppe nach DIN 18196	UL, UA, TM, TA, GU, GT*

**Tabelle 24: Gesteinskennwerte Gebirgsart F5**


Gebirgsart	F5		
Ortsübliche Bezeichnung	Tonsteine mit Mergel und Kalkmergel		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Graue bis schwarze, geschichtete Tonsteine bis Schiefertone mit dm-mächtigen Mergel und Kalkmergel, untergeordnet Silt- und feinkörnige Sandsteine, mit dm-dicken Mergelbänken		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,64 g/cm³ (Medianwert aus 16 Versuchen)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	Frisch bis schwach verwittert (V0-V1)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Veränderlich(Grad 2, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	2-80 MN/m² (Medianwert aus 13 Versuchen: 26,1 MN/m²)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Schichtung: nach Nordwesten oder Südosten einfallend, mit unterschiedlicher Neigung; Klüftung mittelsteil bis steil in unterschiedliche Richtungen einfallend Schichtflächenabstand: grob laminiert bis dünn, teils mittel Trennflächenabstand: eng- bis mittelständig Gesteinskörperform: tafelförmige Gesteinskörper		
Öffnungsweite und Klüftfüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: aufgrund fehlender Oberflächenaufschlüsse nicht feststellbar, vermutlich sehr eng bis teilweise offen Klüftfüllung: schmierig, tonig-schluffiger Belag Trennflächenoberflächen: glatt bis rau; eben; wellig		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	0,1-6,4 MN/m² (Medianwert aus 6 Versuchen: 1,1 MN/m²)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	TF-Reibungswinkel: 27-33° (Medianwert aus 4 Versuchen: 30°) TF-Kohäsion: 0,02-0,14 MN/m² (Medianwert aus 4 Versuchen: 0,06 MN/m²)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	4,6 GN/m2 (Median-Wert aus 3 Versuchen)		
GSI	38	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-8</sup> bis 5E <sup>-9</sup> m/s
Bohrkernfoto KB 13/11 208-212m			
Anmerkungen: Bereichsweise treten als Internstrukturen Bioturbationsspuren oder Slumpingstrukturen in den Kalkmergeln auf. Zudem wurden einzelne cm-mächtige Lagen mit Fossilschutt angetroffen. Die Tonsteine, Tonmergel und Schluff-Sandsteine sind meist deutlich geschichtet bzw. haben eine blättrig-schiefrige Ausbildung. Bei tektonischer Beanspruchung bildet das Gestein häufig Kakirite bis Störungsletten Lagen.			

**Tabelle 25: Gesteinskennwerte Gebirgsart F6**



Gebirgsart	F6		
Ortsübliche Bezeichnung	Tonsteine und Schiefertone, stark zerlegt		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Abfolge aus schwarzen und braunschwarzen, feinkörnigen bis dichten Tonsteinen und Schiefertönen mit geringem Anteil von Mergelkalken.  Das Gebirge wird von einem eng- bis dichtständigen Trennflächensystem durchzogen. Die Oberflächenbeschaffenheit der Trennflächen ist meist wellig bis eben und glatt bis poliert ausgebildet.		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Trockendichte: 2,17 g/cm³ (Medianwert aus 20 Versuchen)		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	Frisch bis verwittert (V0-V2)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Veränderlich bis stark veränderlich (Grad 3-4, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	0,05-4,78 MN/m² (Medianwert aus 10 Versuchen: 0,9 MN/m²)		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Schichtung und Klüftung in unterschiedliche Richtungen einfallend. Schichtflächenabstand: fein laminiert bis dünn Trennflächenabstand: außerordentlich engständig bis engständig Gesteinskörperform: tafelförmige Gesteinskörper		
Öffnungsweite und Kluffüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: aufgrund fehlender Oberflächenaufschlüssen nicht feststellbar, vermutlich sehr eng bis teilweise offen Kluffüllung: schmierig, tonig-schluffiger Belag, teils bis mehrere mm dick Trennflächenoberflächen: glatt; eben bis wellig; gerade bis wellig		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	0,01-5 MN/m² (Medianwert aus 5 Versuchen: 0,52 MN/m²)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	TF-Reibungswinkel: 26-35° (Medianwert aus 2 Versuchen: 30°) TF-Kohäsion: 0,008-0,16 MN/m² (Medianwert aus 2 Versuchen: 0,08 MN/m²)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	0,19 GN/m² (Median-Wert aus 5 Versuchen)		
GSI	24	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-8</sup> bis 5E <sup>-9</sup> m/s
Bohrkernfoto KB 14s/11 24-28 m			
Anmerkungen: Die veränderlich festen Gesteine sind aufgrund tektonischer Beanspruchung stark zerlegt. Das Gebirge wird von zahlreichen, glatten Harnischflächen mit tonigen Bestegen, welche die Trennflächenscherfestigkeit reduzieren, durchzogen. In den Bohrungen war aus diesen Gesteinen nahezu kein intakter Bohrkern zu gewinnen, da das Material aufgrund der starken Zerlegung und geringer Festigkeit auseinanderfiel.			



**Tabelle 26: Gesteinskennwerte Gebirgsart S1**

Gebirgsart	S1		
Ortsübliche Bezeichnung	Störungszone in Karbonatgesteinen		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Hell- bis mittelgraue Kakirite und Kataklasite aus Kalksteinen und Dolomitsteinen, tektonisch stark gestört bis zerschert, teils brekziiert / calcitische Verkittung möglich.		
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	Nicht bestimmt; Versuchsdurchführung an vorhandenem Probenmaterial nicht möglich		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	Frisch bis verwittert (V0-V2)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	Nicht im Versuch bestimmt. Abschätzung: nicht veränderlich bis veränderlich, Grad 1-3 (das Gestein zerfällt entlang der Trennflächen, Grad des Zerfalls je nach Trennflächenbeschaffenheit / Verbandsfestigkeit).		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	Versuchsdurchführung an vorhandenem Probenmaterial nicht möglich. (Abschätzung: sehr gering bis mäßig schwach, teils hoch).		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: Klüftung in unterschiedliche Richtungen einfallend Schichtflächenabstand: - (Schichtung aufgrund tektonischer Überprägung meist nicht mehr erkennbar) Trennflächenabstand: sehr engstündig bis engstündig, teils außerordentlich engstündig Gesteinskörperform: vielfächige Gesteinskörper		
Öffnungsweite und Kluffüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: teilweise offen bis offen Kluffüllung: hellgraue bis weißliche feinkörnige Zwischenlagen möglich (zermahlenes Gestein) Trennflächenoberflächen: glatt oder rau; eben bis stufig; gerade, teils wellig		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmt; Schätzung: schwach abrasiv bis abrasiv (CAI-Index: 0,5-2)		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	Nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenverscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	TF-Reibungswinkel: nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet) TF-Kohäsion: nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	Nicht bestimmt (Versuchsdurchführung nicht möglich)		
GSI	25	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-5</sup> bis 5E <sup>-7</sup> m/s
Aufschluss mit Kakirit-Lage (helles Band) in Hauptdolomit			
Anmerkungen: Diese Gesteinsart ist auf Störungszonen beschränkt. Häufig treten gestriemte Harnischflächen auf. Sedimentäre Merkmale / Schichtung ist meist nicht mehr erkennbar. Bei mechanischer Beanspruchung zerfällt das Gestein zu losem Haufwerk in überwiegend Sand- und Kies Korngröße. Die Mächtigkeit derartiger Störungsgesteine, die je nach Grad der Zerlegung bzw. dem inneren Verband als Kakirite (kohäsionslos) oder Kataklasite (kohäsiv) bezeichnet werden, liegt bei einigen Dezimetern bis hin zu wenigen Metern.			

**Tabelle 27: Gesteinskennwerte Gebirgsart S2**

Gebirgsart	S2		
Ortsübliche Bezeichnung	Störungsgestein mit bindigen Anteilen (Störungslettns, Bimrock)		
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689	Störungsgestein mit inhomogener Zusammensetzung. Matrixbetonte Abschnitte wechseln mit festgesteinsbetonten Abschnitten ab. Die Matrix besteht aus stark zerscherten Tonsteinen. Diese weisen aufgrund ihrer starken Zerschierung und Verwitterung nahezu keine Festgesteinsmerkmale auf und sind daher als veränderlich festes Gestein oder bindiges Lockergestein zu beschreiben. In den steifen bis halbfesten Tönen sind Kalkkomp. in Sand- bis Steingröße, vermutlich bis hin zu Blockgröße eingelagert; diese stellen die Festgesteinsabschnitte dar. Die erkundeten Block-in-Matrix-Strukturen zeichnen sich durch die starke Vermischung und chaotische Lagerung von Fest- und Lockergesteinen aus.		
Kennwerte für Fels gemäß DIN 18312*			
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2	siehe Abschnitt Lockergesteinskennwerte		
Verwitterung nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 15)	frisch bis stark verwittert (V0-V3)		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689 (Tab. 5)	veränderlich bis stark veränderlich (Grad 3-5, abgeschätzt)		
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins nach DIN 18141-1	Nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet). Abschätzung Festgesteinsabschnitte: außerordentlich gering bis sehr gering auf der sicheren Seite liegend		
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689	Trennflächenrichtung: unterschiedliche Richtungen Schichtflächenabstand: nicht mehr feststellbar Trennflächenabstand: außerordentlich engständig bis sehr engständig Gesteinskörperform: tafelig bis vielfächig		
Öffnungsweite und Kluftfüllung von Trennflächen nach DIN EN ISO 14689	Öffnung: aufgrund fehlender Oberflächenaufschlüsse nicht feststellbar, vermutlich sehr eng bis teilweise offen Trennflächenoberflächen: glatt; eben oder wellig; kurvig oder wellig Die zerscherten Tonsteine sind intensiv von Harnischflächen durchzogen, die die tektonische Beanspruchung widerspiegeln.		
Abrasivität nach DGGT-Empf. Nr. 23 des AK 3.3	Nicht bestimmbar;		
Weitere Eigenschaften / Kennwerte			
Spaltzugfestigkeit	Nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet)		
TF-Reibungswinkel und TF-Kohäsion aus Trennflächenscherversuch nach DGGT-Empfehlung Nr. 13 des AK 3.3.	Nicht bestimmbar (Probenmaterial ungeeignet)		
E-Modul aus In-situ Versuchen (BAV, letzter Wiederbelastungsast)	0,15 GN/m² (Mittelwert aus 2 Versuchen)		
GSI	18	K <sub>r</sub> -Wert (Schätzung)	Ca. 5E <sup>-7</sup> bis 5E <sup>-9</sup> m/s
Bohrkernfoto KB 14s/11 (118,7-119 m / 119,7-120 m) Kalksteinbruchstücke in bräunlicher, toniger Matrix		Bohrkernfoto KB 14s/11 (130,7-131 m / 131,7-132 m) Kalksteinbruchstücke in schwarzer, toniger Matrix	
			

<b>Fortsetzung Gebirgsart S2</b>	
	Kennwerte für Boden gemäß DIN 18312*
Ortsübliche Bezeichnung	Bindiges Störungsgestein Bimrock-Struktur
Korngrößenverteilung mit Körnungsbänder nach DIN 17892-4	Kies, schluffig bis stark schluffig, schwach bis stark sandig, tonig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Bestimmung nicht möglich; Komponenten in Stein- und Blockgröße möglich
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	2,23 g/cm³ (Feuchtdichte, Median aus 9 Versuchen)
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN SIO 17892-7 oder DIN 17892-8	Kohäsion: 0,02 MN/m² Reibungswinkel: 31° (Medianwerte aus 9 Triax-Versuchen)
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	8 % (Medianwert aus 9 Versuchen)
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	19,5 (Mittelwert aus 2 Versuchen)
Konsistenzzahl nach DIN 17892-12	1,35 (Mittelwert aus 2 Versuchen) Feldansprache Konsistenz: steif bis halbfest, teils weich (evtl. durch Bohrspülung verändert!)
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN EN ISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	Nicht bestimmt
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt, kann als schwach abrasiv angenommen werden
Bodengruppe nach DIN 18196	GT*, TM, TL

\*Da es sich bei der Gebirgsart S2 um ein Störungsgestein handelt, das sowohl Festgesteins- als auch Lockergesteinseigenschaften aufweist, sind die gemäß DIN 18312 erforderlichen Kennwerte sowohl für Festgestein als auch Lockergestein aufgelistet.

**Tabelle 28: Gesteinskennwerte Gebirgsart L1 (kiesbetont)**

Gebirgsart	L1 (kiesbetont)*
Ortsübliche Bezeichnung	Moränenablagerungen (kiesbetont) und Geschiebemergel
Korngrößenverteilung mit Körnungsbänder nach DIN 17892-4	Kies, sandig bis stark sandig, schwach schluffig bis stark schluffig, schwach tonig, steinig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Anteil Steine ca. 5-15% (Schätzung), Blöcke ca. 0-10% (Schätzung)
Feuchtdichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	Feuchtdichte: 2,15 g/cm <sup>3</sup> (1 Versuch) Trockendichte: 2,11 g/cm <sup>3</sup> (Medianwert aus 3 Versuchen; Kiesbetonte Abschnitte)
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN SIO 17892-7 oder DIN 17892-8	Kohäsion: 16,5 kN/m <sup>2</sup> Reibungswinkel: 37,5° (Medianwerte aus 2 Triax-Versuchen)
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	6,4 % (Medianwert aus 13 Versuchen)
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	16 (Medianwert aus 3 Versuchen)
Konsistenzzahl nach DIN 17892-12	0,52 (1 Versuch)
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN EN ISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	Nicht bestimmt (Feldansprache: dicht bis sehr dicht gelagert (evtl. durch Bohrvorgang verändert))
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt (vermutlich schwach abrasiv)
Bodengruppe nach DIN 18196	GU, GU*, GW
Ergänzende Beschreibung	Glaziale Ablagerungen in Form von Moränenablagerungen mit weitgestufter Kornverteilung. Neben kompaktem feinkornreichem Grundmoränenmaterial können auch Bereiche mit höherem Sand- und Kiesanteil auftreten. Aufgrund der Genese (glaziale Ablagerungen) sind Inhomogenitäten innerhalb der Gebirgsart wahrscheinlich. Oberflächennah kann das Material aufgeweicht und aufgelockert sein.

\*da die Moränenablagerungen aus kiesbetonten und feinkornbetonten Lagen aufgebaut sind, wurde bei der Angabe der Gesteinskennwerte in L1 (kiesbetont) und L1 (Feinkornlagen) unterschieden.



**Tabelle 29: Gesteinskennwerte Gebirgsart L1 (Feinkornlagen)**

Gebirgsart	L1 (Feinkornlagen)*
Ortsübliche Bezeichnung	Ton-Schluff-Lagen und Seetone innerhalb der Moränenablagerungen
Korngrößenverteilung mit Körnungsbänder nach DIN 17892-4	Ton, schluffig bis stark schluffig, schwach bis sehr schwach sandig, Schluff, sandig, schwach tonig bis tonig, schwach kiesig, Ton/Schluff, kiesig, schwach sandig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Keine Steine und Blöcke
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	Trockendichte: 1,8 g/cm <sup>3</sup> (Medianwert aus 8 Versuchen)
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN ISO 17892-7 oder DIN 17892-8	Kohäsion: 26,0 kN/m <sup>2</sup> Reibungswinkel: 34° (Medianwerte aus 7 Triax-Versuchen)
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	15,5 % (Medianwert aus 16 Versuchen)
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	31 (Medianwert aus 5 Versuchen)
Konsistenzzahl nach DIN 17892-12	0,97 (Medianwert aus 5 Versuchen)
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN EN ISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	Nicht bestimmt
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt (vermutlich schwach abrasiv)
Bodengruppe nach DIN 18196	TM, TL, TA, UM
Ergänzende Beschreibung	Innerhalb der glazialen Moränenablagerungen mit weitgestufter Kornverteilung treten tonig-schluffige Sedimente und Seetone auf, welche teils durch vormalige Eisauflast überkonsolidiert mit halbfester bis fester Konsistenz vorliegen können. Vermutlich jüngere Seetone, welche nicht mehr vom Gletscher überfahren wurden, liegen in breiig-weicher bis steif-halbfester Konsistenz vor und können in Quellgebieten eine Torfauflage besitzen (vgl. KB 20/11). Oberflächennah kann das Material aufgeweicht und aufgelockert sein. Innerhalb der feinkörnigen Ablagerungen können kiesige Lagen auftreten.

\*da die Moränenablagerungen aus kiesbetonten und feinkornbetonten Lagen aufgebaut sind, wurde bei der Angabe der Gesteinskennwerte in L1 (*kiesbetont*) und L1 (*Feinkornlagen*) unterschieden.

**Tabelle 30: Gesteinskennwerte Gebirgsart L2**

<b>Gebirgsart</b>	<b>L2</b>
Ortsübliche Bezeichnung	Schmelzwasserablagerungen der Kanker
Korngrößenverteilung mit Körnungsbänder nach DIN 17892-4	Kies, stark bis schwach sandig, schwach schluffig bis schluffig, schwach steinig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Anteil Steine ca. 0-10 %, Blöcke ca. 0-3 % (Schätzung)
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	Nicht bestimmt
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN ISO 17892-7 oder DIN 17892-8	Nicht bestimmt
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	3,48 % (Mittelwert aus 4 Laborversuchen)
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	12,90 (bindiger Anteil, aus 1 Versuch)
Konsistenzzahl nach DIN 17892-12	0,86 (bindiger Anteil, aus 1 Versuch)
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN EN ISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	Nicht bestimmt
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt (vermutlich schwach abrasiv)
Bodengruppe nach DIN 18196	GU, GW, GE
Ergänzende Beschreibung	Innerhalb der kiesbetonten Abfolge können dm- bis m-mächtige sandige und schluffige Lagen auftreten.
Anmerkungen	Bis dato liegen für die Gebirgsart 2 noch sehr wenig Laborergebnisse vor; Zukünftige Erkundungsmaßnahmen werden weitere Versuchsergebnisse liefern. Auftreten anthropogener Auffüllungen und Anschüttungen möglich (z.B. Dammschüttung B2, Verfüllungen ehemaliger Kiesgruben)

**Tabelle 31: Gesteinskennwerte Gebirgsart L3**

<b>Gebirgsart</b>	<b>L3</b>
Ortsübliche Bezeichnung	Fluviatile Sedimente der Loisach
Korngrößenverteilung mit Körnungsbänder nach DIN 17892-4	Kies, sandig, schluffig bis stark schluffig
Massenanteile Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	Nicht bestimmt; Schätzung: Anteil Steine ca. 0-15 % , Blöcke ca. 0-5 %
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2	Nicht bestimmt
Undrainierte Scherfestigkeitsparameter nach DIN 4094-4 oder DIN EN ISO 17892-7 oder DIN 17892-8	Nicht bestimmt
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	Nicht bestimmt
Plastizitätszahl nach DIN 17892-12	Nicht bestimmt
Konstistenzahl nach DIN 17892-12	Nicht bestimmt
Bezogene Lagerungsdichte: Bezeichnung nach DIN EN ISO 14688-2 Bestimmung nach DIN 18126	nicht bestimmt
Abrasivität nach NF	Nicht bestimmt (vermutlich schwach abrasiv)
Bodengruppe nach DIN 18196	GU, GU*, GW
Ergänzende Beschreibung	Innerhalb der kiesbetonten Abfolge können meist geringmächtige (dm- bis m-mächtige) sandige und schluffig-tonige Lagen sowie cm- bis dm-mächtige organikreiche bis torfige Linsen auftreten. Rollkieslagen sind ebenfalls möglich. Auftreten anthropogener Auffüllungen und Anschüttungen möglich
Anmerkungen	Bis dato liegen für die Gebirgsart L3 noch sehr wenig Laborergebnisse vor; Zukünftige Erkundungsmaßnahmen werden weitere Versuchsergebnisse liefern.

## 5.2 Charakteristische Kennwerte

### 5.2.1 Charakteristische Gebirgskennwerte Festgesteine

In nachfolgender Tabelle sind die charakteristischen Kennwerte der einzelnen Gebirgsarten angegeben, wobei die Werte u.a. auf Basis der angegebenen Gesteinskennwerte der Gebirgsarten abgeschätzt wurden. Bei Gebirgsarten, für die ein trennflächendominiertes Gebirgsverhalten erwartet wird, sind die Trennflächenkennwerte angegeben. In den folgenden Projektphasen sind diese Werte unter Berücksichtigung der Ergebnisse von neuen Labor- und Felsversuchen zu verifizieren. Es sei darauf hingewiesen, dass z.B. für den Nachweis der Ortsbruststabilität die hier angegebenen Kohäsionen vermutlich zu hoch sind, da die durch die Gebirgslösung einhergehende Gebirgsauflockerung (Sprengauflockerung) nicht berücksichtigt ist.

**Tabelle 32: Charakteristische Kennwerte Festgesteine**

Gebirgsart			F1	F2	F3	F4	F5	F6	S1	S2
Wichte	$\gamma_{\text{geb}}$	kN/m <sup>3</sup>	27,5	26,5	25	24 (20) <sup>3</sup>	26	22,5	20	22
Einaxiale Druckfestigkeit	$\sigma_{\text{GD}}$	MPa	12	10	5	2	3	1	1,5	1
Reibungswinkel	$\phi'_{\text{geb}}$	Grad	48	45	35	35 (25) <sup>3</sup>	35	28	25	22
Kohäsion	$c'_{\text{geb}}$	MPa	2	1,8	1,2	0,5 (0,01) <sup>3</sup>	0,5	0,6	0,5	0,3
E-Modul	$E_{\text{geb}}$	GPa	15	12	1	0,5 ( $E_s=0,005$ ) <sup>3</sup>	1	0,5	0,8	0,5
<b>Charakt. Trennflächenkennwerte</b>										
Reibungswinkel residual	$\phi_{\text{res}}$	Grad	35 <sup>1</sup> /15 <sup>2</sup>	30	30	-	28	-	30	-
Kohäsion residual	$c_{\text{res}}$	MPa	0 <sup>1</sup> /0,01 <sup>2</sup>	0,01	0	-	0	-	0	-

1 ohne Bitumenbelag, 2 mit Bitumenbelag, 3 die Kennwerte in Klammern stellen die Kennwerte für die Paläokarststrukturen dar (Lockergesteinskennwerte)

### 5.2.2 Bodenkennwerte Lockergesteine

Die charakteristischen Bodenkennwerte für die angetroffenen Lockergesteine wurden auf Basis der durchgeführten Labor- und In-situ Versuche (z.B. Rammsondierungen) ermittelt bzw. abgeschätzt. Soweit keine Versuchsergebnisse vorlagen, wurde auf Kennwerte von vergleichbaren Lithologien (Literaturkennwerte, z.B. [20]) zurückgegriffen.

#### 5.2.2.1 Bodenkennwerte L1 Moränenmaterial

Für das Moränenmaterial ist anzunehmen, dass diese Ablagerungen inklusive der feinkörnigen Zwischenlagen durch frühere Gletscherauflast überkonsolidiert sind. Dafür spricht die außerordentlich hohe Lagerungsdichte bzw. die halbfeste bis feste Konsistenz, die das Bohrgut der Bohrungen KB 19/11 und KB 20/11 aufwies. Dementsprechend wird als Bodenkennwert nicht der Steifemodul der Erstbelastung sondern der Ent-/ Wiederbelastungsmodul angegeben. Dasselbe gilt für die Ableitung des Steifemoduls für die tonig-schluffigen Zwischenlagen in den Moränenablagerungen.



**Tabelle 33: Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, kiesbetont**

<b>Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, kiesbetont</b>				
Bodengruppe nach DIN 18196	GU*, teils GU; steife bis halbfeste Konsistenz des Feinanteils			
	<b>Bez</b>	<b>Dim</b>	<b>Kennwerte</b>	<b>Bemerkung</b>
Wichte feucht	$\gamma_f$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,0	-
Reibungswinkel	$\varphi'$	[°]	32-37	Bandbreite aus Triax- und Rahmenscher- versuch
Kohäsion	$c'$	[kPa]	20-30	
Steifemodul (Ent-/ Wiederbelastung)	$E_s$	[MN/m <sup>2</sup> ]	100-150*	Aus Seitendruckversuchen abgeleitet
Querdehnungszahl	$\nu$	[-]	0,3	abgeschätzt
Durchlässigkeit	$k_f$	[m/s]	$10^{-6} - 10^{-7}$	abgeschätzt

\*Hier wurde aufgrund der glazialen Vorbelastung der Ent-/ Wiederbelastungsmodul angegeben.

**Tabelle 34: Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, feinkornbetont**

<b>Bodenkennwerte L1 Moränenablagerungen, feinkornbetont</b>				
Bodengruppe nach DIN 18196	TM bis TA, teils TL; feste, teils halbfeste Konsistenz			
	<b>Bez</b>	<b>Dim</b>	<b>Kennwerte</b>	<b>Bemerkung</b>
Wichte feucht	$\gamma_f$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,0-19,0	
Reibungswinkel	$\varphi'$	[°]	22-27	Bandbreite aus Triax- und Rahmen- scherversuch, wobei Reibungswinkel et- was abgemindert wurde
Kohäsion	$c'$	[kPa]	25-60	
Steifemodul (Ent-/ Wiederbelastung)	$E_s$	[MN/m <sup>2</sup> ]	100-150*	Aus Seitendruckversuchen abgeleitet
Querdehnungszahl	$\nu$	[-]	0,3	abgeschätzt
Durchlässigkeit	$k_f$	[m/s]	$10^{-9} - 10^{-11}$	aus Laborversuchen

\*Hier wurde aufgrund der glazialen Vorbelastung der Ent-/ Wiederbelastungsmodul angegeben.

### 5.2.2.2 Bodenkennwerte L2 Schmelzwasserschotter der Kanker

**Tabelle 35: Bodenkennwerte L2 Schmelzwasserschotter der Kanker**

<b>Bodenkennwerte L2 Schmelzwasserschotter der Kanker</b>				
Bodengruppe nach DIN 18196	GU, teils GW und GE			
	<b>Bez</b>	<b>Dim</b>	<b>Kennwerte</b>	<b>Bemerkung</b>
Wichte feucht	$\gamma_f$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20,0-21,0	-
Reibungswinkel	$\varphi'$	[°]	30-35	Kennwerte abgeschätzt, da Ver- suchsergebnisse unplausibel
Kohäsion	$c'$	[kPa]	0 – 5	
Steifemodul	$E_s$	[MN/m <sup>2</sup> ]	40 – 60	abgeschätzt
Querdehnungszahl	$\nu$	[-]	0,3	abgeschätzt
Durchlässigkeit	$k_f$	[m/s]	$10^{-3} - 10^{-4}$	abgeschätzt

### 5.2.2.3 Bodenkennwerte L3 fluviatile Sedimente der Loisach

Die Schotterablagerungen der Loisach, die im Bereich Anschlussstelle Nord anstehen sind zwar überwiegend als weitgestufte, sandige, schwach schluffige bis schluffige Kiese einzustufen, aber sie enthalten auch Sandlagen und Schlufflagen. Daher sind neben Bodenkennwerten für die Kiese auch Bodenkennwerte für sandige bzw. schluffig Lagen angeführt. Die bisher erkundeten Torflagen sind gering (wenige cm). Sollte sich bei zukünftigen Erkundungsmaßnahmen und Gründungen ein anderes Bild ergeben sind Anpassungen vorzunehmen.

**Tabelle 36: Bodenkennwerte L3 Fluviale Sedimente der Loisach**

Bodenkennwerte L3 Fluviale Sedimente der Loisach					
	Bez	Dim	Kennwerte Kiese	Kennwerte Sandlagen	Kennwerte Schlufflagen
Bodengruppe nach DIN 18196			GU, GU*, GW	SU - SU*	TL-TM, UL-UM (mit gerundeten Kieskomp.)
Wichte feucht	$\gamma_f$	[KN/m <sup>3</sup> ]	21 – 22	20	19
Reibungswinkel	$\varphi'$	[°]	30 – 38	28-32	22 – 28
Kohäsion	$c'$	[kPa]	0 – 10	0 – 5	2 – 10
Steifemodul*	$E_s$	[MN/m <sup>2</sup> ]	30 – 60	20 – 40	2 – 10
Querdehnungszahl	$\nu$	[-]	0,3		0,3
Durchlässigkeit	$k_f$	[m/s]	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-5} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-10}$

\*Annäherungsweise kann angenommen werden, dass der Ent-/Wiederbelastungsmodul für die Kiese und Sandlagen um den Faktor 2 höher ist als der Erstbelastungsmodul, bei den Schlufflagen ist Faktor 3 anzusetzen. Dies ist durch In-Situ-Versuche in weiteren Erkundungsphasen zu verifizieren.

## 5.3 Homogenbereiche

Gemäß den Vorgaben der DIN 18300 und DIN 18312 sind Homogenbereiche nach jeweiligen Gewerken zu definieren, wobei DIN 18300 für Erdarbeiten (Portale, Anschlussstellen) und DIN 18312 für Untertagebauarbeiten (bergmännischer Vortrieb Haupttunnel, Rettungstollen) greifen.

Unter einem Homogenbereich ist ein „begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für Erdarbeiten (DIN 18300) / Untertagebauarbeiten (DIN 18312) vergleichbare Eigenschaften aufweist“ (DIN 18312), zu verstehen. Die Angabe der in diesen Normen geforderten Kennwerte für die einzelnen Boden- oder Felsschichten ist in den Datenblättern der Gebirgsarten erfolgt. Weiter heißt es „Boden und Fels sind entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen einzuteilen.“ (DIN 18300, DIN 18312).

Für den bergmännischen Vortrieb wurden 11 Homogenbereiche festgelegt, die sich in der Gebirgsarten-Zusammensetzung unterscheiden (siehe Tabelle 37). Das auf Basis des derzeitigen Kenntnisstandes abgeschätzte Auftreten der unterschiedlichen Homogenbereiche entlang der Tunneltrasse ist dem geol. Längsschnitt in Anlage 3 zu entnehmen. Für die Bereiche der offenen Bauweisen (Anschlussstellen Nord und Süd, Portale) wurden separate Homogenbereiche ausgewiesen (H

ASTN = Homogenbereich Anschlussstelle Nord; H ASTS= Homogenbereich Anschlussstelle Süd).

Weiters sind gemäß DIN 18300 und 18312 umweltrelevante Stoffe bei der Einteilung der Homogenbereiche zu berücksichtigen.

Die Einteilung der Homogenbereiche muss daher unter Umständen im Rahmen der nachfolgenden Projektphasen dem zusätzlichen Erkenntnisgewinn aus weiteren Erkundungs- und Untersuchungsergebnissen angepasst werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass innerhalb der Gebirgsarten und damit auch innerhalb der Homogenbereiche naturgemäß Schwankungen in den einzelnen Gesteins- und damit auch Gebirgskennwerten auftreten und dass für Bereiche, in denen die Prognosesicherheit eine genaue Lokalisierung der einzelnen Gebirgsarten nicht zulässt, keine detaillierteren Angaben / Zuordnungen möglich sind.

**Tabelle 37: Zuordnung der einzelnen Gebirgsarten zu Homogenbereichen.**

		GEBIRGSART										
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	S1	S2	L1	L2	L3
HOMOGENBEREICH TUNNEL	H1											
	H2											
	H3											
	H4											
	H5											
	H6											
	H7											
	H8											
	H9											
	H10											
	H11											
HB An-schlu-ssstei-en	H ASTN											
	H ASTS											

## 5.4 Gebirgsverhalten

Auf Basis der bisher entlang der Tunneltrasse erkundeten Gebirgsverhältnisse kann das zu erwartenden Verhalten der Gesteine / des Gebirges beim Tunnelvortrieb abgeschätzt werden. Grundsätzlich wird in gefügedominiertes und span-

nungsdominiertes Verhalten unterschieden, welches wesentlich von den Festigkeitseigenschaften sowie den Trennflächen-Charakteristika (Anzahl, Abstand, Zustand der Trennflächen) und der Überlagerung über Tunnelfirste abhängt.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Kenntnisse über die anstehenden Gesteine bzw. das Gebirge (vgl. Kap. 5.1 und Kap. 5.2) ist davon auszugehen, dass in den Gebirgsarten **F1**, **F2**, **F3**, **F4** (Rauwacken), **F5** und **S1** ein gefügedominiertes Verhalten auftritt. Dort ist beim Tunnelvortrieb in ungesichertem Zustand mit gefüge- und schwerkraftbedingten Nachfällen von Kluftkörpern in unterschiedlichem Ausmaß aus dem First- und Ulmenbereich und z.T. auch aus der Ortsbrust zu rechnen. Das Ausmaß (Anzahl) sowie das Volumen der Nachfälle hängt vom Zerlegungsgrad (Trennflächenabstände, Trennflächenanzahl, Verschneidung von Trennflächenrichtungen, Trennflächeneigenschaften) ab.

In der Gebirgsart F1 und F2 ist mit den vergleichsweise größten Kluftkörpern mit Kantenlängen von max. ca. 3 m (F1) bzw. max. ca. 2 m (F2) zu rechnen; bei F3, F4 und F5 bis max. ca. 1 m und bei F6 von <1 m Kantenlänge der einzelnen Kluftkörper. Das Verformungsverhalten ist als elastisch einzustufen, und es ist mit rasch abklingenden Verformungen im Bereich von wenigen mm zu rechnen.

Bei geringen Überlagerungen ist auch bei der Gebirgsart **F6** mit zahlreichen, gefügebedingten, eher kleinvolumigen Nachfällen zu rechnen. Bei zunehmender Überlagerung und damit zunehmendem Gebirgsdruck ist in dieser Gebirgsart und auch bei der Gebirgsart **S2** ein Übergang von gefügedominiertem hin zu spannungsdominierten Gebirgsverhalten d.h. von stark nachbrüchigem bis gebrächem Verhalten hin zu druckhaftem Gebirgsverhalten bzw. einer Kombination aus beidem möglich (zahlreiche Nachbrüche aus ungesichertem Gebirge und anhaltende, plastische Verformungen ggf. auch nach Herstellung der Außenschale). Radialverformungen im cm- bis niedrigen dm-Bereich sind hier denkbar. Das Ausmaß der Druckhaftigkeit ist durch Berechnungen zu untersuchen.

Als Sonderfall hinsichtlich der Einschätzung des Gebirgsverhaltens sind sowohl die Rauwacken mit den Paläokarstfüllungen (F4) als auch das Störungsgestein S2 zu betrachten, da diese Gesteine sehr inhomogen aufgebaut sein können (kleinräumig stark wechselnde Verhältnisse z.B. Rauwacke mit Lockergesteinsfüllung oder Bimrock Strukturen in Störungsgesteinen). Hier kann es sowohl zu Nachfällen von Kluftkörpern und Gesteinspaketen aus Laibung und Ortsbrust als auch beispielsweise zu einem Ausfließen von wassergesättigten Lockergesteinen (z.B. Paläokarstfüllungen) bzw. Ausfließen von Störungsgestein bei stark wasserführenden Störungen kommen. Das gleichzeitige Auftreten von Fest- und Lockergestein in der Tunnellaibung bzw. auch in der Tunnelsohle ist auch in Hinblick auf die Betätigung des Tunnels zu berücksichtigen.

Mit Ausnahme der Gebirgsarten F1 und F2 ist bei allen anderen Gebirgsarten davon auszugehen, dass auftretendes Grundwasser primär die Ausbruchsverhältnisse verschlechtert aber auch sekundär im Vortrieb zu Problemen führen kann (z.B. vermehrte Schlamm Bildung bei tonreichen Gesteinen, Beeinträchtigung der Fahrbahnqualität, Verminderte Anhaftung des Spritzbetons, Wasserhaltungskonzept etc.).



## 6 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

### 6.1 Überblick

Im Projektgebiet bestehen mit der Loisach im Westen und Norden und der Kanker im Süden zwei größere Fließgewässer, die als Vorflut der kleineren Bäche und Gerinne fungieren, wobei das Loisachtal deutlich breiter ist und die darin befindlichen fluviatilen Schotterablagerungen einen bedeutenden Porengrundwasserkörper beinhalten. Der Taleinschnitt der Kanker südlich des Projektgebietes ist deutlich schmaler und weist außerhalb des Talbodens von Garmisch-Partenkirchen keinen mächtigen Schotterkörper auf.

Die Festgesteine des Wankmassivs sind überwiegend als Kluft- und speziell die Kalksteine sowie ausgelaugte sulfatführende Gesteine und Rauwacken als Karstgrundwasserleiter einzustufen. Auf die Lage des Grundwasserspiegels sowie auf die vorhandenen Oberflächengewässer wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

### 6.2 Trinkwasserschutzgebiete

Im unmittelbar vom geplanten Bauwerk betroffenen Bereich gibt es keine Trinkwasserschutzgebiete. Im Loisachtal folgen nördlich bis Eschenlohe mehrere Trinkwasserschutzgebiete, u.a. mit mehreren Brunnen zwischen Farchant und Oberau für die Wasserversorgung München (Stadtwerke München, SWM), siehe Abbildung 38. Innerhalb des Projektumgriffes liegt ein Vorranggebiet zur Trinkwasserversorgung (Vorranggebiet Wasserversorgung Nr.: GAP-VR-06 SW München), welches im Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie [46] behandelt wird.



Abbildung 38: Trinkwasserschutzgebiete in der Umgebung des Wank (Umweltatlas Bayern).

### 6.3 Hydrogeologische Erhebungen und wasserwirtschaftliche Beweissicherung

Durch das hydrologische Beweissicherungsprogramm werden die hydrogeologischen Ausgangsbedingungen (Situation vor Bau des Tunnels) erfasst. Dies ermöglicht es, qualitative und quantitative Auswirkungen der hydrogeologischen Gegebenheiten auf den Tunnelvortrieb zu beurteilen und mögliche Auswirkungen des Tunnelvortriebs auf das hydrogeologische System abzuschätzen. Durch die Herstellung der Bauwerke wird eine Drainagewirkung (Tunnelbauwerke wirken als horizontale Brunnen) während und nach den Bauarbeiten auf den umgebenden Aquifer erwartet (Kapitel 6.8).

Basierend auf den hydrogeologischen Erhebungen von ILF 2002 wurde im Herbst 2010 eine ergänzende Quellerhebung bei den Landratsämtern, der Marktgemeinde Garmisch-Partenkirchen und den Bayerischen Forstbetrieben alle bekannten Grundwassernutzungen vorgenommen. Frei austretende und gefasste Quellen und Oberflächengewässer / Moore im Bereich des Wankmassivs, wurden dokumentiert und teils in Geländebegehungen mit der zuständigen Umweltbaubeglei-

tung (NRT) evaluiert. Weitere Quellen und Oberflächengewässer wurden in Abstimmung mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt (WWA Weilheim) in den Jahren 2021-2023 aufgenommen.

Um die Grundwasserverhältnisse im Trassenbereich zu klären, wurden 21 Bohrungen zu Grundwassermessstellen ausgebaut (Tabelle 38).

In Anlage 4 sind die im Projektgebiet erhobenen und kartierten Quellen und Messstellen dargestellt. Die wasserwirtschaftliche Beweissicherung wird in Form von Jahresberichten aufgearbeitet.

#### 6.3.1.1 Grundwassermessstellen

Die Beweissicherung (WWBS) der ausgebauten Pegel erfolgte im Zeitraum Oktober 2010 bis April 2012 (außer Juli-Okt. 2011 und Jan.-März 2012) und ab Mai 2021 (bis aktuell) im Abstand von ca. 4 Wochen (Abstich, Temperatur, Leitfähigkeit). Die zeitliche Lücke in der WWBS ist dem Planungsstopp für das Projekt in betreffendem Zeitraum geschuldet.

Seit September 2021 bzw. laufend seit 2023 sind in einigen Bohrungen Datensammler zur kontinuierlichen Parameter-Aufzeichnung installiert (Tabelle 38). Die Integration der Bohrungen KB 21/22 bis KB 26(s)/23 in das WWBS-Programm erfolgte kontinuierlich nach Fertigstellung der jeweiligen Bohrung.

Die Messstellen werden im Halbjahres-Rhythmus beprobt und dabei ein teufenorientiertes Leitfähigkeits-Temperatur-Profil erstellt. Die chemische und physikalische Laboruntersuchung der Wasserproben erfolgt durch die Hygiene Innsbruck nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001), die Untersuchung des Versinterungspotentials nach RI-BWD-TU, die Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1. Eine detaillierte Aufstellung der Wasserprobenahmen und Wasseranalytik ist den Jahresberichten WWBS zu entnehmen.



**Tabelle 38: Grundwassermessstellen mit wasserwirtschaftlicher Beweissicherung (mit Anschlussstellen).**

Grundwassermessstelle	Teufe Boh- rung [m]	Messort-Teufe [m unter POK]	Datensamm- ler DS	Anmerkungen
KB 02/10	55	30	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 04(s)/10	224	200	-	kein DS-Einbau möglich-
KB 06/10	95	70	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 08/10	20	18	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 09/10	20	8	-	-
KB 10/11	100	95	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 11/11	290,7	270	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 12/11	275,6	265	-	kein DS-Einbau möglich-
KB 13/11	220	178	ja	DS-Einbau 09/2021
KB 14(s)/11	160	125	-	ab 147 m nicht messbar
KB 15(s)/11	80	55	-	-
KB 19/11	10	9		
KB 21/22	365	330	ja	DS-Einbau 08/2023
KB 22(s)/22	245	205	ja	DS-Einbau 08/2023
KB 23(s)/22	176,5	100	ja	DS-Einbau 08/2023
KB 24(s)/22	155	139	ja	DS-Einbau 08/2023
KB 25(s)/23	145	135		DS-Einbau 02/2024
KB 26(s)/23	140		geplant	bisher trocken
KB 60/21	12	11,5	-	-
KB 75/21	16	10	-	-
KB 76/21	16	12	-	-

#### 6.3.1.2 Quellen und Oberflächengewässer

Die Loisach bildet die Hauptvorflut des Projektgebiets. Der nordwestliche Teil des Wankmassiv wird über Schweinbach und Markgraben und deren Zuflüsse entwässert, die direkt der Loisach zufließen. Der nördliche Zufluss des Schweinbachs entspringt in der sog. Brünnlrünze östlich der Siedlung am Brünnl und kreuzt die geplante Trasse am Nordportal. Ausgehend von der Brünnlrünze sind Wildbache-reignisse bekannt. Das südliche und südwestliche Projektgebiet wird oberflächlich v.a. über die Kanker und deren Zuflüsse (v.a. Birkelsgraben, Kesselgraben, Fau-kenbach) entwässert. Die Kanker fließt westlich der B2 im Ortsteil Partenkirchen der Partnach zu, die nordwestlich bei Garmisch in der Loisach mündet. Unmittelbar der Loisach fließt der Katzenbach zu, welcher nördlich des Faukenbachs im Be-reich der WV Brunnhäusl entspringt und bis ca. zum Wasserkraftwerk Esterberg unterirdisch verläuft.

Bezogen auf die Fläche des Projektgebietes gibt es vergleichsweise wenig Quellen und Oberflächengewässer. Viele der Quellen zeigen starke Schüttungsschwan-kungen, sind stark abhängig vom Niederschlags- und Schmelzwasserdargebot und können zeitweise trockenfallen (Tabelle 39). Die am stärksten und kontinuier-lich schüttende Quelle der WV Brunnhäusl entspringt dem Hauptdolomit abstromig (SW) des geplanten Bauwerks [22] in welcher seit 09/2021 ein Datenlogger zur kontinuierlichen Aufzeichnung installiert ist.

Bereichsweise versickern Fließgewässern im Untergrund, einige Oberläufe von Gräben führen nur periodisch Wasser (z.B. Birkels- und Kesselgraben / Schal-meischlucht). Stehende Gewässer zeigen sich als Vernässungszonen an Quellaustritten im Bereich der nördlichen Tunneltrasse (Wankbahn, Schweinbach)



und auf mit bindigem Lockermaterial (v.a. Moräne) bedeckten Geländedepressionen am Südhang des Wanks. Zwischen geplantem Nordportal des Wanktunnels und Südportal des Farchanter Tunnels befindet sich ein v.a. von Oberflächenwässern gespeistes Flachmoor, dessen Untergrund mittels Handbohrungen als tonig-schluffiges, wasserstauendes Lockersediment erkundet wurde.

Der Großteil der in das WWBS-Programm aufgenommenen Quellen ist von einer Nutzung nicht betroffen (Tabelle 39) und nur von untergeordneter wasserwirtschaftlicher Relevanz. Ein Teil der aufgenommenen Quellen findet als Trink- und Nutzwasserversorgung für Almhütten Verwendung.

Die Position der Quellen ist dem Lageplan in Anlage 1 zu entnehmen. Einige Quellen und Oberflächengewässer besitzen mehrere Messorte (vgl. WWBS-Jahresbericht).

Derzeit werden im selben Messintervall wie bei den GWMs 22 Quellen und Oberflächengewässer beweisgesichert (Schüttungs-, Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen). Weitere Oberflächengewässer (Kankerbach, Katzenbach, Schweinbach, Faukenbach) wurden 2023 in die WWBS aufgenommen. Die Quellen QL 4 und QK3 wurden aus dem ursprünglichen Monitoringprogramm genommen (Messort nicht mehr auffindbar).

Aufgrund teils diffuser und gering schüttender Quellaustritte konnten durch näherungsweise Abschätzung der Gesamtschüttungsmengen mancher Quellen zutreffendere Ergebnisse erzielt werden.

Die chemische und physikalische Laboruntersuchung der Wasserproben erfolgt durch die Hygiene Innsbruck nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001), bei Trinkwassernutzungen werden auch bakteriologische Analysen durchgeführt.

**Tabelle 39: Quellen und Oberflächengewässer mit wasserwirtschaftlicher Beweissicherung.**

Quelle	Anzahl aktueller Messorte	Nutzung	Anmerkung
<b>Daxkapelle Laufbrunnen</b>	1	Laufbrunnen	im Winter nicht messbar
<b>Faukenbach unterstromig</b>	1	nein	Erstmessung 04/2023
<b>Kankerbach</b>	1	nein	Erstmessung 03/2023
<b>Katzenbach</b>	1	nein	Erstmessung 03/2023
<b>Quelle Schalmeschlucht Kesselgraben Ost</b>	1	nein	Erstmessung 11/2022
<b>QL 1 Wankbahn</b>	2	nein	
<b>QL 2 Wankbahn</b>	2	nein	MO1 z.T. trocken
<b>QS 1 Schweinbach</b>	3	nein	MO3 trocken MO1+2 z.T. trocken
<b>QS 2 Schweinbach</b>	2	nein	
<b>QS 3 Philosophenweg</b>	3	nein	
<b>QL 3 Panorama</b>	2	nein	MOs z.T. trocken
<b>QL 4 Wankbahn</b>	-	nein	wird nicht mehr gemessen
<b>WV Brunnhäusl</b>	2 (mit 1 DS)	nein	DS-Einbau 09/21
<b>QKE 1 Eckenhaus</b>	2	nein	MOs z.T. trocken
<b>QKE 2 Eckenhaus</b>	1	nein	
<b>Gamshütte 1</b>	1	nein*	schlechter Zustand, oft nicht messbar GH2 nur Tropfwasser
<b>Gamshütte 2</b>	2	nein*	
<b>Pfeifer Alm Möslquelle</b>	1	Nutzwasser	
<b>Gschwandnerbauer</b>	1	ja, Trinkwasser	z.T. trocken
<b>Schweinbach Flachmoor</b>	2	nein	
<b>Schalmeschlucht</b>	1	nein	z.T. trocken
<b>WV Wankhaus</b>	2	ja, Trinkwasser	
<b>QK3 Kankerbach</b>	3	nein	MO existiert nicht mehr, wird nicht mehr gemessen

\* Aufgrund des schlechten Zustands wird die Quelfassung nicht mehr zur Trinkwasserversorgung genutzt, eine Instandsetzung ist nicht geplant. Wasserversorgung Tannenhütte über Versorgungsleitung

#### 6.4 Quellen und Oberflächengewässer mit Beweissicherung

Die Lage der Quellen inkl. Höhenlage der GW-Stände befindet sich im hydrogeologischen Lageplan in Anlage 4. Tabelle 39 zeigt eine Zusammenfassung der im Zuge der WWBS gemessenen und beprobten Quellen.

Die Messergebnisse stammen aus dem Zeitraum Oktober 2010 bis April 2012 (und ab Mai 2021 bzw. Herbst 2022).

Nachfolgend werden die Quellen nach den bisher vorliegenden Daten charakterisiert, eine Prognose über die Beeinflussungswahrscheinlichkeit durch das geplante Bauwerk wird in Kapitel 6.8.4 getroffen.

**Tabelle 40: Messdaten der Quellen und Oberflächengewässer (Zusammenstellung aus den WWBS-Daten).**

Quelle	MO	Höhe (m üNN)	Schüttung min [l/s]	Schüttung max [l/s]	Schüttungs- koeff. [min/max]	T min [°C]	T max [°C]	Δ T [°C]	LF min μS/cm	LF max μS/cm
QS 3 Philosophenweg	1	709	0,250	0,40	0,63	4,5	12,5	8,0	405	446
QS 3 Philosophenweg	3	709	0,113	0,37	0,31	2,8	14,6	11,8	405	439
QS 3 Philosophenweg	2	709	0,050	0,20	0,25	2,8	11,3	8,5	293	444
QS2 Schweinbach	1	756	0,179	9,50	0,02	4,2	11,2	7,0	279	436
QS2 Schweinbach	2	756	0,102	2,35	0,04	5,3	12,4	7,1	418	439
Daxkapelle Laufbrunnen	1	965	0,011	0,29	0,04	5,5	10,2	4,7	321	377
QL 1 Wankbahn	1	779	0,116	2,50	0,05	7,1	9,2	2,1	325	439
QL 1 Wankbahn	2	779	0,486	10,00	0,05	2,0	20,4	18,4	355	431
QL 2 Wankbahn	1	823	0,000	1,90	0,00	2,7	15,9	13,2	319	423
QL 2 Wankbahn	2	823	0,075	15,29	0,00	-0,1	26,6	26,7	319	389
QS 1 Schweinbach	1	886	0,000	12,56	0,00	4,0	10,4	6,4	293	425
QS 1 Schweinbach	2	886	0,000	5,08	0,00	3,8	18,4	14,6	330	418
QS 1 Schweinbach	3	886	0,000	4,50	0,00	5,8	5,9	0,1	309	398
QL 3 Panorama	1	776	0,000	2,05	0,00	6,0	13,8	7,8	339	428
QL 3 Panorama	2	776	0,000	3,80	0,00	5,4	12,6	7,2	334	485
QL 4 Wankbahn	4	779	0,300	0,00	0,00	6,2	0,0	0,0	365	0
WV Brunnhäusl	1	933	2,403	20,55	0,12	7,6	9,0	1,4	352	453
WV Brunnhäusl	DS	933	3,900	18,54	0,21	8,3	8,5	0,2	-	-
QKE 1 Eckenhaus	1	1146	0,000	1,11	0,00	6,5	15,3	8,8	357	416
QKE 1 Eckenhaus	2	1146	0,000	0,80	0,00	0,0	23,3	23,3	350	423
QKE 2 Eckenhaus	1	1046	0,036	5,14	0,01	-0,1	17,7	17,8	358	430
Gamshütte 1	1	946	-	-	0,00	5,6	11,7	6,1	389	424
Gamshütte 2	1	946	0,001	0,10	0,01	3,0	13,3	10,3	437	572
QK 3 Kankerbach	4	785	0,000	0,00	0,00	-	-	-	-	-
QK 3 Kankerbach	2	785	0,000	-	0,00	-	-	-	-	-
QK 3 Kankerbach	3	785	0,001	0,04	0,03	2,6	17,6	15,0	291	767
Pfeifer Alm Mösquelle	1	1044	0,055	0,29	0,19	4,7	12,5	7,8	314	367
Gschwandnerbauer	1	1040	0,000	0,04	0,00	2,0	13,6	11,6	348	497
Schweinbach Flachmoor	1	678	1,649	14,67	0,11	2,6	16,5	13,9	378	417
Schalmeischlucht	1	820	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0	0
WV Wankhaus	1	1282	0,231	5,17	0,04	5,6	7,7	2,1	261	307
WV Wankhaus	2	1282	0,727	2,82	0,26	5,6	7,5	1,9	270	306

#### 6.4.1 Schweinbachquellen QS1, QS2 und Wankbahnquellen QL1, QL2

Im Bereich der Nordwestflanke des Wanks bestehen mehrere Quellaustritte in einer Höhenlage zwischen ca. 700 m.ü.NN und 886 m.ü.NN. Diese fließen kleinere Gerinnen und Bächen zu, die sich im Schweinbach sammeln und der Loisach zufließen.

Die bisherigen Messungen der Quellen (**QS 1, QS 2, QL1, QL2**) ergaben starke Schwankungen in den Schüttungsmengen zwischen 0 und mehreren l/s. Die maximale Schüttung wurde beim Quellaustritt QL2 (MO2) mit 15,3 l/s (Winter 2012) gemessen.

Einzelne Messorte der Quellen QL 1 (MO 2), QL 2 (MO 1+2) und QS1 (MO 2) weisen starke Temperaturschwankungen zwischen 13,2 und 26,6°C auf. Teilweise fallen einzelne Quellaustritte in niederschlagsarmen Perioden vollständig trocken, wodurch sich geringe Schüttungskoeffizienten ergeben.

Es handelt sich um normal erdalkalische, überwiegend hydrogenkarbonatische Wässer, welche anhand der hydrochemischen Eigenschaften den dolomitisch-kalkigen Gesteinen des Hauptdolomit-Plattenkalk-Komplexes oder deren Verwitterungsprodukten zugeordnet werden können. QS2 kommt im kartierten Hauptdolomit zu liegen und zeigt im Vergleich zu den anderen im Plattenkalk befindlichen Schweinbach- und Wankbahnquellen die prozentual höchsten Magnesium-Gehalte.

Die 150 m nordöstlich der Trasse gelegene QS2 (756 mNN) sowie die 150-250 m westlich gelegenen Wankbahnquellen QL1-2 (779-823 mNN, Brünnlrunze) werden mit dem in KB 06/10 und KB 10/11 beobachteten, oberflächennahen Grundwasserspiegel in Verbindung gesehen. Der Abschnitt südöstlich der Brünnlrunze

zeichnet sich durch ein zweites, ca. 60 m höher gelegenes Grundwasserniveau im Plattenkalk aus (vgl. Kapitel 6.3), dessen räumliche Ausdehnung außerhalb des durch Bohrungen erkundeten Bereiches auf einer Korrelation mit der ebenfalls ca. 60 m höher gelegenen Schweinbachquelle QS1 (886 mNN) beruht (vgl. Längenschnitt Anlage 2). Vermutlich handelt es sich bei den genannten Quellen um störungsgebundene Überlaufsituationen (vgl. Geologische Karte Anlage 1). Sinkende Leitfähigkeiten bei Zunahme der Schüttung lassen auf Verdünnungseffekte (Schneesmelze, Niederschläge) schließen, eine Zunahme der Schüttung nach Niederschlägen und Schneesmelze sowie teils hohe Temperaturen an einzelnen Messorten zeigen aber ebenfalls Beiträge aus oberflächennahen Zirkulationssystemen.

#### 6.4.2 Schweinbach Flachmoor

Der Schweinbach wird von Oberflächenabfluss und teils von Quellen (Kapitel 6.4.1) gespeist. Im Bereich eines Flachmoors am westlichen Hangfuß des Wank, ca. 300 m südlich des Südportals Tunnel Farchant, fließt der Schweinbach mit einer durchschnittlichen Schüttung von ca. 4,3 l/s (Schüttungsmax. 14,7 l/s im Mai 2022). Auf dem Hang selbst waren das mittlere Gerinne des Schweinbachs (Einspeisung der Quellen QS1, QS2) sowie das südliche Gerinne am geplanten Dükerbauwerk der AST Nord, in dessen oberstromigen Abschnitt (Brünnlrunze) die Wankbahnquellen QL1 und QL2 einspeisen, bei Begehungen im Frühjahr 2022 trocken.

Der Messort **Schweinbach Flachmoor** zeigt einen höheren Schüttungskoeffizienten als die südlich gelegenen, dem Kluftgrundwasserleiter entspringenden Quellen QS1, QS2, QL1 und QL2 (Tabelle 40). Es handelt sich um normal erdalkalisches, überwiegend hydrogencarbonatisches Wasser.

Auf Basis dieser Erkenntnisse ist der Zufluss zum Schweinbach im Bereich des Flachmoors aus den oberstromigen Gerinnen und Quellen mit hoher Ausfallprognose durch den Tunnel (QS1, QS2, QL1, QL2), aufgrund des natürlichen periodischen Trockenfallens der Gerinne und Quellen, als untergeordnet zu bewerten. Im Bereich des Flachmoors dürfte v.a. eine Speisung des Schweinbachs durch Niederschläge und Schneesmelze sowie ein Abfluss aus den talrandnahen quartären Moränenablagerungen und Schuttkegeln in Frage kommen. Hier sind v.a. die nördlichen Gerinne zu erwähnen, in welche die Quelle QS 3 Philosophenweg dotiert (Kapitel 6.4.3) Im Untergrund des Moors wurden bei acht Handbohrungen im Jahr 2022 tonig-schluffige Stauschichten mit mehreren Dezimeter Mächtigkeit erkundet.

#### 6.4.3 Quelle Philosophenweg QS3

Die Schüttung der Quelle Philosophenweg QS3 schwankt zwischen 0,05-0,2 l/s (MO2) und 0,25-0,4 l/s (MO1). Daraus ergeben sich höhere Schüttungskoeffizienten >0,25 als im Vergleich zu den übrigen Quellen an der Westflanke des Wanks, was auf ein höheres Retentionsvermögen schließen lässt. Verdünnungseffekte durch Niederschlagsereignisse oder Schneesmelze zeigen sich z.T. als Verringerung der Leitfähigkeit bei Zunahme der Schüttung, MO2 zeigt relativ hohe Temperaturunterschiede von 11,8°C und damit einen gewissen Oberflächeneinfluss. Im talrandnahen Bereich der Wank-Westflanke wurden Moränenablagerungen und Schuttkegel kartiert. Aufgrund der Lage der Quelle im Bereich des Quartärs und des höheren Retentionsvermögens der Quelle liegt ein Einzugsgebiet in quartären Ablagerungen nahe.



#### 6.4.4 Daxkapelle Laufbrunnen

Die Schüttungsmengen des **Laufbrunnen Daxkapelle** schwankten im Beobachtungszeitraum zwischen 0,01 und 0,29 l/s. Da die Quelle über die Wintermonate verschlossen ist, stehen keine Messungen aus dieser Jahreszeit zur Verfügung. Die Auswertung der Kationen-Anionen-Verhältnisse (WWBS Jahresbericht 2022) zeigt den von allen gemessenen Quellen höchsten Magnesium-Anteil. Dies und die relativ geringen Leitfähigkeiten von 321-377  $\mu\text{S}/\text{cm}$  deuten auf eine dolomitisch geprägte Mineralisierung hin.

Aufgrund der nicht bekannten Lage der Brunnenzuleitung könnte das Wasser an eine Schichtquelle im Hauptdolomit oder an die östlich gelegenen Schuttkegel gebunden sein. Geringe Temperaturen von 5,5-10,2°C deuten auf ein tieferliegendes Zirkulationssystem hin.

#### 6.4.5 Panorama Quelle QL3

Die Quelle **QL 3** befindet sich auf einer Höhe von **776 mNN** zwischen Kletterwald und Bergasthof Panorama. Sie liegt geologisch gesehen im Nahbereich des Muldenkerns der Krottenkopfmulde, ca. am Übergang vom Plattenkalk zur mergeligen Kössen-Formation, die als Stauer fungieren kann.

Die Schüttung beträgt 0-3,8 l/s, der Temperaturunterschied liegt zwischen 7,2°C und 7,8°C, die Leitfähigkeiten betragen 334-485  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Wechselnde Mg-Gehalte zwischen ca. 30-40 % und sinkende Leitfähigkeiten bei Zunahme der Schüttung lassen auf Verdünnungseffekte (Schneesmelze, Niederschläge) schließen.

Die Quelle steht aufgrund ihrer Höhenlage wahrscheinlich in Verbindung mit dem Grundwasserspiegel, bei GW-Anstiegen kann es zum Überlauf entlang von Trennflächen im Zusammenspiel mit den wasserstauenden Schichten der Kössen-Formation kommen.

#### 6.4.6 WV Brunnhäusl

Nördlich des Faukenbaches liegt am Ortsrand von Partenkirchen auf einer Höhe von **753 mNN** die **WV Brunnhäusl**, die in früheren Zeiten zur Trinkwasserversorgung von Partenkirchen genutzt wurde (HOFMANN, 1997). Aktuell findet keine Nutzung statt, die bakteriologischen Befunde sind auffällig.

Die Quelle tritt aus Trennflächen des Hauptdolomites hervor [22] und weist mit max. ca. 21 l/s die höchsten Schüttungen der Quellen im Monitoringprogramm auf. Ein etwas höherer Schüttungskoeffizient  $> 0,1-0,2$  sowie eine ganzjährige, zwar stark schwankende Schüttung, weisen auf ein etwas höheres Retentionsvermögen hin, als es bei den meisten anderen Quellen im Projektgebiet der Fall ist. Die Temperaturschwankungen sind minimal (0,2-1,4°C), was auf einen tieferliegendes Zirkulationssystem hindeutet. Ein Zusammenhang des Einzugsgebietes mit tlw. verkarsteten Kalkgesteinen des nördlich anstehenden Plattenkalks lässt aus der Leitfähigkeit von 352-453  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dem Mg-Gehalt von ca. 35-40 % und einer zeitverzögerten aber deutlichen Reaktion der Schüttung auf Niederschläge (vgl. WWBS Jahresbericht 2022) ableiten.



#### 6.4.7 Kesselgraben, Birkelsgraben, Schalmeischlucht (Faukenbach):

##### 6.4.7.1 Gerinne

Das Gerinne Kesselgraben ist ein stark geschiebeführender Wildbach. Abschnittsweise liegt die Gerinnesohle auf Fels (z.B. Kesselgraben Wasserfall 50 m nördlich der Quelle Schalmeischlucht Kesselgraben Ost). Der Bach ist nur temporär, abschnittsweise wasserführend (kein perennierendes Gerinne). An einigen Stellen versickert das Wasser in den kiesig-steinigen Sohlabschnitten.

Das Gerinne Birkelsgraben ist ein stark geschiebeführender Wildbach. Abschnittsweise liegt die tief eingeschnittene, stark steinschlaggefährdete Gerinnesohle auf Fels. Der Bach ist nur temporär, abschnittsweise wasserführend (kein perennierendes Gerinne). An einigen Stellen versickert das Wasser in den kiesig-steinigen Sohlabschnitten.

Auf ca. 780 müNN, ca. 200 m westlich der geplanten Tunneltrasse, fließen Birkelsgraben und Kesselgraben zusammen und ergeben den Faukenbach (Schalmeischlucht), der durch den Ortsteil Partenkirchen fließt und an der B2 in die Kanke mündet. Bei einer Begehung im Winter 2022-2023 lag dieser Abschnitt ebenfalls trocken vor (Tabelle 41).

Es ist anzunehmen, dass im Bereich der Bachbetten teils unterirdische Entwässerungswege in verkarstetem und / oder stark tektonisiertem Gestein bestehen. Die Gerinne wurden im Jahr 2023 in die WWBS aufgenommen.

**Tabelle 41: Hydrologische Datenerhebung Kesselgraben, Birkelsgraben (Niedrigwasserperiode Winter 2022-2023).**

Messort	Schüttung Q [l/s]	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]
Kesselgraben Wasserfall 50 m nördl. QSK	1,43	1,2	337
Kesselgraben Geschiebesperre (vor Einmündung in Faukenbach)	1,03	3,7	396
Kesselgraben nach Geschiebesperre (vor Einmündung in Faukenbach)	trocken	-	-
Birkelsgraben, ca. 160 m vor Einmündung in Faukenbach	0,10	1,7	353
Birkelsgraben, ca. 50 m vor Einmündung in Faukenbach	0,09	1,8	354
Birkelsgraben unmittelbar vor Einmündung in Faukenbach	trocken	-	-
Faukenbach oberstromig	trocken	-	-

##### 6.4.7.2 Quellen Kesselgraben/Schalmeischlucht: WV Wankhaus, QKE 1, QKE2, Gams- hütte 1+2, Quelle Schalmeischlucht Kesselgraben Ost

Weitere Quellaustritte im Projektgebiet befinden sich im Bereich des Kesselgrabens bzw. der Schalmeischlucht. Von Nord nach Süd sind folgende Quellen in das Monitoringprogramm aufgenommen:

Die **WV Wankhaus** im oberstromigen Bereich des Kesselgrabens bildet mit einem Austrittsort von **1282 mNN** die am höchsten gelegenen Quelle im Projektgebiet. Die Quelle wird zur Trinkwasserversorgung genutzt und zeigt auffällige bakteriologische Befunde.

Das Einzugsgebiet liegt höchstwahrscheinlich in einer auf dem Laserscan erkennbaren Rutschung an der NW-Flanke des Kesselgrabens. Die geringen Temperaturschwankungen von 1,9-2,1°C sowie ein höherer Schüttungskoeffizient von ca. 0,3 bei MO2 mit ganzjährigen Schüttungen deuten auf ein höheres Retentionsvermögen des Einzugsgebietes relativ zu den meisten Quellen am Wank hin, was mit dem höheren Zerlegungsgrad im Bereich der Hangbewegung in Zusammenhang stehen kann. Die geringe elektrische Leitfähigkeit sowie hohe Magnesium-Anteile von ca. 45 % deuten auf eine dolomitisch geprägte Mineralisierung hin (Nahbereich zum Hauptdolomit mit mächtigen Übergangszonen). Insgesamt ist die elektrische Leitfähigkeit relativ gering im Vergleich zu anderen Quellen am Wank. Im Bereich der Rutschbahn können möglicherweise abdichtende, feinkörnige Schichten eine untere Begrenzung dieses Aquifers darstellen.

In der Nähe der Eckenhütte befinden sich östlich außerhalb des eigentlichen Grabeneinschnittes des Kesselbachs zwei ebenfalls relativ hoch gelegene Quellen **QKE 1 (1146 mNN)** und **QKE 2 (1046 mNN)**, die höher gelegene QKE 1 fällt zeitweise trocken. Beiden Quellen weisen einen geringen Schüttungskoeffizienten auf, sowie hohe Temperaturdifferenzen zwischen 8,8°C und 23,3°C. Dies deutet auf eine starke Oberflächenbeeinflussung und ein geringes Retentionsvermögen des Einzugsgebietes hin. Wahrscheinlich entspringen die Quellen einer geringmächtigen quartären Auflage aus dolomitischem Hangschutt (hohe Mg-Gehalte bis knapp 50 % bei QKE2) und/oder Moränenmaterial (höhere Leitfähigkeiten von 350-430 µS/cm).

Die Wasserfassungen der ehem. Gamshütte (Tannenhütte), **Gamshütte 1 und 2**, sind in einem schlechten Zustand, eine Messung ist daher und aufgrund schlechter Zugänglichkeit oft erschwert bzw. nicht durchführbar (Gamshütte 1). Die Quelle wird nicht mehr zu Trinkwassernutzung verwendet, die neue Tannenhütte wird über eine Wasserleitung vom Tal her versorgt. Die Fassung liegt im Nahbereich der Überschiebung der Raibl-Formation auf den Hauptdolomit zwischen Birkelsgraben und Kesselgraben in einer Höhenlage von **946 mNN**. Auf dem Laserscan und der GK 25 Blatt Garmisch-Partenkirchen ist eine Hangbewegung erkennbar, die in Zusammenhang mit den Quellaustritten stehen könnte (vgl. Kapitel 4.11.1.1). Gamshütte 2 zeigt nur sehr geringe Schüttungen zwischen 0,001 (Tropfwasser) und 0,01 l/s. Die Leitfähigkeit der Quellen liegt bei 389-424 (GH1) und 437-572 µS/cm (GH2), bei GH2 etwas höher als im Vergleich aller nördlich gelegenen Quellen im Hauptdolomit-Plattenkalk-Komplex. Temperaturunterschiede von 6,1-10,3°C und geringe Schüttungskoeffizienten deuten auf ein niedriges Retentionsvermögen des Einzugsgebietes und eine gewisse Oberflächenbeeinflussung hin. Die Mg-Gehalte der GH2 liegen mit ca. 40 % etwas niedriger als die der GH1 (ca. 45 %), die Mineralisierung spiegelt die oben beschriebene Geologie im Grenzbereich Hauptdolomit-Raibl-Formation wider.

Im Fußbereich der verzeichneten Hangbewegung befindet sich die **Quelle Schalmeschlucht Kesselgraben Ost QSK** auf ca. 820 mNN. In der Umgebung der Quelle befindet sich anstehender Hauptdolomit und dolomitischer Hangschutt. Die Quelle wurde im November 2022 ins WWBS-Programm aufgenommen wurde und zeigte seither keine Schüttung.

Die Höhenlage der Quelle befindet sich in etwa auf Niveau des in den NW-gelegenen Bohrungen KB 12/11 und KB 05(s)/10 erkundeten Grundwasserspiegels (ca. 810-815 mNN, vgl. Längenschnitt Anlage 2).

#### 6.4.8 Pfeifferalm Möslquelle

Etwa 500 m östlich des Birkels- bzw. Ochsengrabens befindet sich auf einer Höhe von 104 mNN die Möslquelle im Pfeifferalm-Gebiet, welche genutzt wird. Die bakteriologischen Befunde sind auffällig.

Mit Schüttungen von 0,055-0,29 l/s und einem Schüttungskoeffizienten von 0,2, einer Temperaturdifferenz von 7,8°C, Leitfähigkeiten von 314-367 µS/cm und Mg-Gehalten von ca. 45 % ist ein Einzugsgebiet in dolomitischem Hangschutt wahrscheinlich.

#### 6.4.9 Gschwandtnerbauer

Etwa 1 km östlich der Pfeifferalm gibt es beim Gasthaus **Gschwandtnerbauer** auf **1040 mNN** eine gefasste und genutzte Quelle. Die bakteriologischen Befunde sind auffällig.

Die Schüttung dieser Quelle ist mit 0,00 und 0,04 l/s gering, die Wassertemperatur schwankte zwischen 2,0 und 13,6°C. Die Quelle liegt im Bereich der Überschiebungszone der Raibl-Formation auf den Hauptdolomit und möglicherweise in Verbindung mit dieser tektonischen Struktur bzw. Hang- und Verwitterungsschutt mit kalkig-dolomitischem Substrat zu sehen. Die elektrische Leitfähigkeit von 348-497 µS/cm und Mg-Gehalte von ca. 35 % lassen diesen Schluss zu.

#### 6.4.10 Kankerbach: QK3

Die Quelle **QK 3** am Südosthang des Wanks auf **785 mNN** weist nur sehr geringe Schüttung (Tropfwasser bis 0,04 l/s) auf und wird aktuell nicht mehr gemessen. Zwei Messorte sind nicht mehr auffindbar bzw. trocken. Die hohen Temperaturunterschiede von 15°C deuten auf eine starke Oberflächenbeeinflussung hin, die Leitfähigkeiten liegen bei 291-767 µS/cm, was möglicherweise auf die Nähe zu einer Straße (Salzeintrag) zurückzuführen ist.

### 6.5 Quellen ohne Beweissicherung mit regionaler Bedeutung

#### 6.5.1 Kuhfluchtquelle

Die Kuhfluchtquelle am nördlich gelegenen Fricken entwässern den gesamten Westteil des Estergebirges [2]. In Markierungsversuchen wurde nachgewiesen, dass das Einzugsgebiet der Kuhfluchtquellen jenseits der oberirdischen Wasserscheiden bis 5 km nordöstlich hinter den Krottenkopf reicht. Das Karstwasser folgt innerhalb des Plattenkalks dem Verlauf einer Synklinale und tritt dort aus, wo die Muldenachse relativ steil zum Loisachtal hin abtaucht. Die geologische Kartierung hat ergeben, dass mehrere ca. WNW-ESE-streichende Störungssysteme entlang des Markgrabens und des Esterbergtales das hydrogeologische System des Wanks von dem des Estergebirges entkoppeln. Die Entwässerung des Esterbergtales nach Westen zur Loisach wird in der Literatur belegt [22]. Zudem liegt der Austrittsort der stark niederschlagsabhängigen Karstquelle deutlich höher, als der prognostizierte Grundwasserspiegel im Wankmassiv (vgl. Querprofil 1). Eine Beeinflussung durch den geplanten Tunnel wird daher nicht erwartet.

#### 6.5.2 Esterbergquellen

Die der Wasserversorgung dienenden Quellen im Esterbergtal entspringen an der Südflanke des Estergebirges und werden aufgrund der erwähnten Störungssysteme ebenfalls nicht im Zusammenhang mit dem Grundwasserspiegel des Wankmassives gesehen. Das Esterbergtal weist einen unterirdischen Abfluss



zum Regenlaingraben bzw. zur Loisach sowie zur Isar (Finzbach) auf [22]. Eine Beeinflussung durch den geplanten Tunnel wird daher nicht erwartet.

## **6.6 Grundwasserspiegel und Grundwasserströmung**

Nachfolgend wird der Grundwasserspiegel innerhalb des Wankmassivs und im Bereich des geplanten Wanktunnels anhand der Daten aus Bohrungen, Bohrlochversuchen, Grundwassermessungen und Literatur prognostiziert. Angaben zum Grundwasser in den Bereichen der Portale und Anschlussstellen sind gesonderten Baugrundgutachten zu entnehmen.

### **6.6.1 Allgemeine Annahmen**

#### **6.6.1.1 Gradiente**

Die Gradiente des zusammenhängenden Grundwasserspiegels wird auf Basis von Erfahrungen aus Referenzprojekten und Literatur zur Hydrogeologie des Estergebirges [22] mit ca. 10,5 % (entspricht ca. 6° bzw. 1:10) angenommen. Dieser Wert kann in Abhängigkeit vom Einfallen der geologischen Strukturen und der hydraulischen Durchlässigkeit und Konnektivität der permeablen Schichten abweichen.

#### **6.6.1.2 Fließrichtung**

Die generelle Fließrichtung des Grundwassers ist v.a. abhängig von großtektonischen Strukturen, der Orientierung und Öffnungsweite von Trennflächen, Verkarsung, der Verteilung der mittleren hydraulischen Durchlässigkeiten und dem Auftreten potentiell abdichtender Gebirgsbereiche. Die Interpretation der Flowmeter-Versuche im Plattenkalk und Hauptdolomit ergibt Wasserwegigkeiten, die schichtdominiert und/oder kluftdominiert sein können.

Im Projektgebiet wird eine ungefähre Strömungsrichtung entlang des generell NE-SW-orientierten Schichteinfallens angenommen (Nord- und Südabschnitt), auch zum Tunnel als tiefster Drainagekörper hin.

Dies korreliert mit der NE-orientierten Entwässerung des NE-gelegenen Estergebirges [22]. Vor allem im Plattenkalk-Hauptdolomit-Komplex des Nordabschnitts kann zudem eine Strömung entlang von ca. NNE-SSW- bis NNW-SSE-streichenden Hauptkluftrichtungen auftreten (Querprofil 1, Anlage 3). Im Bereich von KB 12/11 wird eine ca. nach WSW-abtauchende Faltenachse (Muldenstruktur) mit rel. steil stehendem Südschenkel prognostiziert, wo eine weitere Abflussmöglichkeit in Richtung quartärer Talflur der Loisach bestehen kann (vgl. Lageplan Anlage 1, Längenschnitt Anlage 2).

Das Grundwasser des Nordabschnitts dürfte überwiegend zum Loisachtal hin entwässern, das Grundwasser des Südabschnitts zur Talflur Partnach/Kankerbach.

Die prognostizierte Fließrichtung ist damit generell senkrecht bis stumpfwinklig zum geplanten Bauwerk orientiert.

#### **6.6.1.3 Einzugsgebiet**

Als Einzugsgebiet des Grundwassers wird das gesamte Wankmassiv oberhalb von ca. 1000 mNN gesehen, da dort keine oder kaum Quellen und Oberflächenabflüsse vorkommen. Ein Teil der quartären Talfüllungen der Hochtäler im NE des Wanks dürfte ebenfalls in die generell nach SW-einfallenden Festgesteine des Wankmassivs entwässern (z.B. Esterbergtal, Kaltwassergraben).

Die Quellen im Plattenkalk-Hauptdolomit-Abschnitt können aufgrund ihrer Mineralisierung mit dem anstehenden Festgestein und/oder Verwitterungsprodukten daraus in Verbindung gesehen werden. Es handelt sich um normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch. Quellen unterhalb von 1000 mNN können einen Zusammenhang mit dem zusammenhängenden Grundwasserspiegel aufweisen und durch die drainagierende Wirkung des geplanten Bauwerks beeinflusst werden (vgl. Kapitel 6.8).

Im Südabschnitt (Raibl-Formation) können feinkornreiche, sehr gering wasser-durchlässige Moränenablagerungen partiell zu einer verminderten oder fehlenden GW-Neubildung führen, was z.B. am stark gedämpften Verlauf der GW-Spiegelschwankungen der KB 02/10 deutlich wird.

## 6.6.2 Grundwasserspiegel im Bauwerksbereich

### 6.6.2.1 Allgemein

Allgemein kann der Vortrieb des Wanktunnels hydrogeologisch in drei Abschnitte gegliedert werden. Während im Nordabschnitt eine Abfolge von Hauptdolomit und Plattenkalk prognostiziert wird (bis ca. km 2+510), liegt südlich des Kesselgrabens (Südabschnitt, ab ca. km 2+589) eine heterogene Gesteinsabfolge der Raibl Formation vor (Kalkstein, Rauwacken mit Paläokarstfüllungen, tonig-mergelige Gesteine, Störungsgesteine).

Der Nordabschnitt verläuft fast durchgängig unterhalb des prognostizierten Grundwasserspiegels, der Südabschnitt verläuft nur teilweise unterhalb des Grundwasserspiegels. Bei Vortrieben unterhalb des Grundwasserspiegels sind während der Bau- und Betriebsphase prinzipiell in allen Bauwerksbereichen Wasserzutritte zu erwarten (Ortsbrust, Laibung, Sohle). Die Aquifere des Nord- und Südabschnittes werden voraussichtlich durch eine ca. 40 m mächtige, potentiell wasserstauende Überschiebungszone (Zentralbereich) voneinander getrennt (ca. Tunnel-km 2+510 – 2+589).

In den komplexen hydrogeologischen Kluft- und Karstgrundwasserleitern können schwebende Grundwasserstockwerke vorkommen. Im Hauptdolomit-Plattenkalk-Abschnitt wurden zwischen KB 11/11 und KB 21/22 zwei Druckniveaus mit Druckspiegeln von max. ca. 23 bar bzw. 16 bar über Gradienten erkundet. Nach SE hin zum Kesselgraben nimmt das Druckniveau auf ca. 6-8 bar ab, der Grundwasserspiegel kann unterhalb der Überschiebungszone gespannt vorliegen.

In der Raibl-Formation liegt der Grundwasserspiegel im Allgemeinen tiefer. Aufgrund sehr heterogener, stark tektonisierter Verhältnisse wurden teils mehrere Druckhöhen innerhalb der Bohrungen mit Hinweisen auf schwebende GW-Stockwerke festgestellt (KB 13/11, KB 24(s)/22). Innerhalb verkarsteter Karbonatgesteine und Rauwacken wurden starke GW-Schwankungen von mehreren Zehnermetern beobachtet, die innerhalb weniger Tage auftreten können. Südöstlich von KB 24(s)/22 wird der Grundwasserspiegel unterhalb der Tunneltrasse prognostiziert.

### 6.6.2.2 Grundwasserstände in den Messpegeln

Entlang der Trasse des geplanten Wanktunnels bestehen die Tabelle 42 aufgelisteten Grundwassermessstellen, die Aufschluss über die Lage des Grundwasserspiegels im Untergrund geben. Zudem wurden die Ergebnisse der hydraulischen Packertests in die Interpretation miteinbezogen.



**Tabelle 42: Grundwassermessstellen im Trassenbereich**

Mess- stelle	Sta- tion	Ab- stand zu Trasse	im Mess- programm seit	GW Min	GW Max	Druckpo- tential (HPT-Ver- suche)
KB 08/10	0+230	-35 m	15.10.2010	674,95 (18.01.2023)	679,00 (05.08.2011)	
KB 06/10	0+440	-41 m	15.10.2010	717,81 (21.04.2022)	724,8 (21.07.2021)	
KB 10/11	0+800	-46 m	10.11.2011	777,3 (07.12.2011)	779,9 (21.07.2021)	771,6 (09.06.2011)
KB 11/11	1+280	-82 m	10.11.2011	880,82 (25.05.2022)	893,56 (26.04.2012)	890,4 (13.07.2011) 837,8 (12.07.2011)
KB 21/22	1+565	-44 m	24.11.2022	944,64 (18.01.2023)	961,20 (GWA 28.07.22)	891,0 (10.08.2022) 873,6 (03.08.2022)
KB 12/11	2+050	-86 m	12.11.2011	773,32 (21.04.2022)	815,14 (18.08.2021)	805,14 (23.08.2011)
KB 22(s)/22	2+680	-151 m	24.11.2022	867,06 (09.12.2022)	873,95 (Geophysik 25.10.2022)	
KB 04s/11	2+700	+54 m	15.10.2010	trocken	778,54 (18.08.2021)	
KB 23(s)/22	2+834	-18m	24.11.2022	trocken	873,81 (Geophysik 04.10.2022)	
KB 13/11	2+880	-38 m	12.11.2011	826,83 (07.12.2011)	871,8 (21.07.2021)	831,09 (09.11.2011) 807,69 (10.08.2011) 780,49 (11.08.2011)
KB 24(s)/22	3+113	-13 m	09.12.2022	774,74 (18.01.2023)	776,11 (09.12.2022)	
KB 14s/11	3+280	-29 m	12.11.2011	trocken	771,66 (18.08.2021)	
KB 15s/11	3+640	-11 m	12.11.2011	trocken	trocken	
KB 02/10	3+740	-70 m	15.10.2010	824,49 (13.09.2022)	830,5 (11.11.2010)	
KB 09/10	Freie Stre- cke	+10 m	15.10.2010	783,4 (07.12.2011)	786,66 (22.07.2021)	
KB 19/11	Süd	-	10.11.2011	780,16 (07.12.2011)	781,48 (22.07.2021)	

Auf Basis der vorhandenen Messwerte, der Beobachtungen während der Bohrarbeiten und In-Situ-Versuche sowie den Ergebnissen der Kartierung lässt sich die Lage des Grundwasserspiegels im Bauwerksbereich von Nordwest nach Südost wie folgt beschreiben. Der prognostizierte Verlauf des Grundwasserspiegels ist auf dem Längenschnitt in Anlage 2 und den hydrogeologischen Querprofilen (Anlage 3) dargestellt. Die folgende Beschreibung kann von den Annahmen der hydrogeologischen Zuflussprognose (Kapitel 6.9) geringfügig abweichen, da dort teils

vereinfachte und zusammenfassende Annahmen zum Grundwasserspiegel getroffen wurden.

### 6.6.2.3 Grundwasserspiegel entlang des Bauwerks

#### km 0+000 bis 0+298 (Anschlussstelle Nord bis Nordportal)

Im Bereich der Anschlussstelle Nord befindet sich der Grundwasserspiegel innerhalb fluviatiler Lockersedimente, ca. auf Niveau der Loisach und damit wenige Meter unter Geländeoberfläche. In der KB 08/10 liegt der Wasserspiegel mit einer Schwankung von 674,95 und 679,0 mü.NN im Beobachtungszeitraum ca. 3-7 m unter GOK.

#### km 0+298 bis 1+025 (Nordportal bis Brünnlrunze: Hauptdolomit / Plattenkalk)

Ab dem Nordportal wird nach wenigen Metern ein Eintauchen in den Grundwasserkörper prognostiziert, da die Wasserstände im Festgestein deutlich höher liegen. Die Tunnelgradiente liegt im Bereich der KB 06/10 auf Basis der Messungen ca. 31-38 m unter dem Wasserspiegel. Der Datensammler im Bereich des Hauptdolomits auf Tunnelniveau zeigt einen gedämpften Verlauf des Grundwasserspiegels und deutet auf einen tief liegenden, vom Oberflächeneinfluss wenig beeinflussten Aquifer hin.

Die Messungen in KB 10/11 zeigen, dass der Grundwasserspiegel nach Südosten ansteigt, in der Bohrung bis ca. 78-81 m über der Tunnelgradienten (ca. 776-779 mNN). Die 150-250 m westlich der Trasse gelegenen Wankbahnquellen QL1-2 (779-823 mNN) werden aufgrund des oberflächennahen GW-Stands in der KB 10/11 mit dem dort beobachteten Grundwasserspiegel in Verbindung gesehen. (vgl. Geologischer Karte Anlage 1, Längenschnitt Anlage 2, Kapitel 6.8.4.1).

Die Wasserspiegelschwankungen betragen ca. 3-6 m im Beobachtungszeitraum. In den portalnahen Bereichen und verwitterten, aufgelockerten Gesteinen sind Sickerwasserzutritte infolge von Niederschlagsereignissen zu erwarten.

#### km 1+025 bis 2+082 (Brünnlrunze bis Muldenkern Krottenkopfmulde: Hauptdolomit / Plattenkalk)

Der Abschnitt zeichnet sich durch zwei erbohrte Grundwasserstockwerke bzw. Druckniveaus (HPT-Versuche) im Plattenkalk aus, deren räumliche Ausdehnung außerhalb des durch Bohrungen erkundeten Bereiches auf Interpolation und Korrelation mit der Schweinbachquelle QS1 (886 mNN) und den Wankbahnquellen QL1-2 (779-823 mNN) beruht (vgl. Längenschnitt Anlage 2).

Das Druckpotential des obersten Stockwerks wird als maßgeblich für die Festlegung des Bemessungswasserstandes erachtet.

Im Bereich der Messstelle KB 11/11 bei Station 1+280 beträgt die maximale Grundwasserüberlagerung über Gradienten ca. 164-177 m. Die Ergebnisse der hydraulischen Packertests zeigen ein zweites, tieferes Druckniveau bei ca. 120 m über Gradienten, der u.U. gespannt vorliegt (Wasserspiegelanstieg um ca. 60 m während der Bohrarbeiten, Beeinflussung durch die Bohrspülung wahrscheinlich). Die GW-Schwankung in KB 11/11 beträgt im Beobachtungszeitraum ca. 13 m (oberer Aquifer oder Mischpotential).

Der bisher erkundete Maximalstand der GW-Überlagerung wurde mit ca. 234 m über Gradienten in der KB 21/22 bei ca. km 1+565 erkundet, das maximale Druckniveau beträgt somit ca. 23 bar. Ein Anstieg auf ca. 24 bar bei prognostizierten Schwankungen im Meter bis Zehnermeterbereich ist nicht ausgeschlossen (Datengrundlage derzeit noch nicht aussagekräftig). Bei den zwischen 270-365 m Tiefe durchgeführten HPT-Versuchen in KB 21/22 wurden ebenfalls tiefere Druckniveaus zwischen ca. 145-163 m über Gradienten festgestellt.

Zwischen KB 21/22 und KB 12/11 (km 1+565 bis 2+082) bestehen Unsicherheiten bezüglich der südöstlichen Begrenzung des Teilaquifers und dem Verlauf des



Grundwasserspiegels, da in der KB 12/11 mit ca. 29-67 m über Gradiente ein deutlich tieferes GW-Stockwerk erkundet wurde. Südöstlich der KB 21/22 wird angenommen, dass der GW-Spiegel entsprechend der Morphologie nurmehr geringfügig ansteigt, und sich die Druckhöhen über Gradiente aufgrund der Steigung des geplanten Tunnels nicht weiter erhöhen. Als Begrenzung der Teilaquifere werden Störungen am Übergang vom Plattenkalk zum Hauptdolomit zwischen ca. km 2+050-2+082 vermutet.

km 2+082 bis 2+510 (Muldenkern, Schalmeischlucht/Kesselgraben: Überschiebung Hauptdolomit auf Plattenkalk)

Bei KB 12/11 wird ein einzelnes GW-Stockwerk im Plattenkalk beobachtet, dessen Wasserspiegel mit ca. 29-67 m über Gradiente deutlich tiefer liegt als bei KB 21/22. Die Schwankungen im Beobachtungszeitraum betragen mehrere Zehnermeter (bis über 40 m), was auf eine starke Reaktion auf Sickerwässer und erhöhte Wasserwegigkeiten hinweist. Im Bereich des Muldenkerns kann z.B. ein stärkerer Zerlegungsgrad des Gebirges vorliegen, steil einfallende Schichten im Bereich des überkippten Mulden-Südschenkels können zudem Verkarstungsprozesse begünstigen. Eine zeitliche Abschätzung der Wasserspiegelschwankungen ist aufgrund des ausständigen Datensammler-Einbaus noch nicht möglich.

Die Bohrung KB 05/10 wurde nicht zu einer Messstelle ausgebaut. Während der Bohrarbeiten im Sommer 2010 schwankte der Wasserstand im Bohrloch spülungsbedingt um mehrere Zehnermeter. Bei den In-Situ-Versuchen wurde ein Wasserstand von 809,8 mÜNN (12/2010) gemessen (Plattenkalk), was einem vergleichbaren Wasserspiegel wie in KB 12/11 und einer Wasserüberlagerung über Tunnelgradiente von ca. 59 m entspricht. Vermutlich sind dort ebenfalls starke Wasserspiegelschwankungen zu erwarten.

Im Bereich des Kesselgrabens wird auf Tunnelniveau von ca. Station 2+082 bis 2+510 Hauptdolomit prognostiziert, bei km 2+260 wird eine Überschiebung vermutet. Diese Überschiebung von Hauptdolomit auf Plattenkalk wurde im Gelände kartiert, mehrere Störungen in KB 05(s)/10 deuten ebenfalls auf tektonische Beanspruchung in diesem Tunnelabschnitt hin.

Hinsichtlich des Grundwasserspiegels bestehen im Hauptdolomit unterhalb des Kesselgrabens Prognoseunsicherheiten. In der nordöstlich der Trasse gelegenen KB 22(s)/22 wurde ein max. Wasserstand bei ca. 873,95 mNN beobachtet, im Trassenkorridor liegt dieser aufgrund des prognostizierten NE-SW Gefälles der Grundwasserhöhen (vgl. Kapitel 6.6.1.1) vermutlich ca. 15 m tiefer. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um Wasser des Hauptdolomit-Aquifers, welches unterhalb einer ca. 40 m mächtigen, wasserstauenden Überschiebungszone gespannt vorliegen dürfte und sich im Messpegel im Bereich der im Hangenden befindlichen Raibl-Formation (beim Abteufen der Bohrung trocken) einpendelt. Die Datengrundlage der Messreihen ist noch nicht ausreichend für konkretere Aussagen.

Es wird ab ca. Station 2+300 ein Druckpotential im Hauptdolomit bei ca. 85 m über Gradiente prognostiziert. Durch das kartierte steile Einfallen der Schichten südöstlich des Kesselgrabens, tektonische Zerrüttungszonen sowie lokal sandführende Hohlräume und Kluftfüllungen (vgl. KB 22(s)/22) können erhöhte Wasserwegigkeiten mit schneller Reaktion auf Sickerwasserzutritte auftreten sowie ein Auschwemmen von Lockermaterial beim Auffahren des Tunnels möglich sein. Hohe Wasserspiegelschwankungen im Zehnermeterbereich (vgl. KB 12/11) werden als möglich erachtet.

Aufgrund eines vermutlich höheren Zerlegungsgrades in gestörten Bereichen und einem prognostizierten steilen Schichteinfallen im Bereich des Kesselgrabens können in Folge von Niederschlagsereignissen verstärkt Sickerwasserzutritte und Wasserspiegelschwankungen ähnlich denen der KB 12/11 auftreten.

km 2+510 bis 2+788 (Schalmeischlucht/Birkelsgraben: Überschiebungszone, Rauwacken)

In KB 22(s)/22 und KB 04(s)/10 wurde eine bis zu 40 m mächtige, feinkornreiche Überschiebungszone erkundet, die einen potentiellen Stauer zwischen den Aquiferen des Hauptdolomit-Plattenkalk-Komplexes und denen der Raibl-Formation darstellt. Beim Durchörtern der Überschiebungszone ab ca. Station 2+589 kann aufgrund der Fortsetzung des Hauptdolomits unter Bauwerksniveau bis unter den nördlichen Abschnitt der Raibl Formation ein weiterhin hohes Druckniveau vorliegen, obwohl das Wasser in der Oberen Raibl Formation (Rauwacken) deutlich tiefer liegen dürfte, vgl. KB 04(s)/10. Daher besteht das Potential für einen hydraulischen Grundbruch und Verformungen, auch im Hinblick auf teils erhöhte Anteile quelfähiger Tonminerale (vgl. Kapitel 4.6.1), beim Durchörtern der Überschiebungszone.

Die Messstelle KB 04(s)/10 befindet sich im Bereich des Birkelsgrabens, durchteuft Karbonate und Rauwacken der Raibl Formation und erreicht auf den letzten ca. 20 m die Überschiebungszone, welche nicht vollständig durchteuft wurde. Der dort gemessene Grundwasserstand kann somit eindeutig der Raibl Formation zugeordnet werden und erreicht max. ca. 778,5 mNN (Sommer 2021). Zeitweise ist die Bohrung trocken (< 756 mNN). In diesem Trassenabschnitt liegt der Grundwasserstand somit teils wenige Meter oberhalb, teils unterhalb oder im Bereich des Tunnelquerschnittes. Die im Beobachtungszeitraum gemessenen Wasserspiegelschwankungen können innerhalb der stark verkarsteten Gesteine > 20 m innerhalb weniger Tage betragen. V.a. zerrüttete Karbonatgesteine und Rauwacken, welche in diesem Bereich steil einfallen, können stark verkarstet vorliegen.

Die Bohrung KB 23(s)/22 kann aufgrund des geringen Kerngewinns und den aufgrund instabiler Bohrlochverhältnisse nicht durchführbaren In-Situ-Versuchen (inkl. Havarie) nicht für eine zuverlässige Prognose herangezogen werden, liegt jedoch bis mind. 70 m in stark verkarsteten Karbonatgesteinen der Raibl-Formation. Die Bohrung ist zwischen 176,5 m und 100 m zementiert. Zeitweise konnte ein Wasserspiegel oberhalb der Zementation beobachtet werden, welcher mit dem Wasserspiegel in der SE gelegenen KB 13/11 übereinstimmt (ca. 874 mNN, siehe nachfolgendes Kapitel). Dabei handelt es sich vermutlich um ein schwebendes bzw. gekammertes Grundwasserstockwerk. Ob dieses mit dem bis Station 2+788 prognostizierten Abschnitt der Raibler Rauwacken in Zusammenhang steht, oder vollständig durch eine hydraulische Barriere abgetrennt wird, kann auf Basis der Erkenntnisse nicht zuverlässig bewertet werden.

km 2+788 bis 3+085 (Hasenböderl-Plateau: Raibler Karbonat- und Schiefertonfazies)

In der Messstelle KB 13/11 (bei km 2+880) liegt der gemessene Grundwasserstand zwischen 826,8 mNN (Dezember 2011) und 873,8 mNN (Oktober 2022) und damit > 90 m höher als bei KB 04(s)/10. Es handelt sich um ein schwebendes bzw. gekammertes Grundwasserstockwerk, welches vom unteren, zusammenhängenden Grundwasserspiegel durch potentiell wasserstauende Lagen abgetrennt wird (tonig-mergelige Schichten der Raibl-Formation, feinkörnige Störungen).

Der Grundwasserspiegel schwankt bis zu ca. 45 m (ca. 52-97 m über Gradienten), wobei Anstiege von mehreren Zehnermetern innerhalb weniger Tage aufgezeichnet wurden (WWBS Jahresbericht 2022). Die hydraulischen Packertests zeigen weitere Druckniveaus im Bereich von ca. 33-56 m über Gradienten und im unmittelbaren Bauwerksbereich. Unterschiedliche Druckniveaus können auch durch die Packertests in der KB 24(s)/22 nachvollzogen werden (ca. Station 3+045).

Das unterste in KB 13/11 gemessene Druckpotential bei ca. 780,5 mNN liegt im unmittelbaren Bauwerksbereich und korreliert ca. mit den in KB 04(s)/11 (max. 778,5 mNN) und in KB 24(s)/22 (max. 771,7 mNN) gemessenen Wasserspiegeln,

wobei bei KB 24(s)/22 nur der Teil der Bohrung unterhalb einer mächtigen, feinkörnigen, wasserstauenden Störungszone verfiltert wurde. Die in KB 24(s)/22 erbohrten durchwegs mergeligen und tonigen Gesteine sowie feinkörnigen Störungszonen dürften eine hydraulische Barriere darstellen und die schwebenden GW-Stockwerke nach SE hin bei ca. Station 3+085 abgrenzen, wie die niedrigen Wasserspiegel in der SE-anschließenden Bohrungen zeigen.

Das Auftreten verschiedener Druckniveaus repräsentiert die heterogene Geologie innerhalb der Raibl-Formation, in der kleinräumige Wechsel von durchlässigeren mit gering durchlässigen, oft stark verfalteten Gesteinen und Störungszonen auftreten können. Für den Vortrieb wird Druckpotential des obersten Stockwerks als maßgeblich erachtet.

km 3+085 bis 3+817 (Wank-Südflanke bis Südportal: Raibler Karbonatgesteins- und Schiefertonsserie, Rauwacken)

Ab ca. Station 3+085 wird der zusammenhängende Grundwasserspiegel unterhalb des Bauwerksniveaus angenommen, basierend auf den GW-Beobachtungen in den Bohrungen KB 14(s)/11, KB 03/11 und KB 15(s)/11. Bei starken Niederschlagsereignissen kann ein kurzweiliges Aufspiegeln bis in den Bauwerksbereich innerhalb von Karsthohlräumen möglich sein, v.a. zerrüttete Karbonatgesteine und Rauwacken können stark verkarstet vorliegen.

Der Messpegel KB 14(s)/11 ist im Bauwerksbereich meist trocken. Beim Abteufen der Bohrung war das Bohrloch ebenfalls trocken (< 760 mNN). Der maximale Wasserspiegel lag im August 2021 nach starken sommerlichen Niederschlägen bei 771,7 mNN (ca. 14,5 m unter Gradienten), die Wasserspiegelschwankungen können daher > 11 m betragen.

In der Bohrung KB 15s/11 wurde der Grundwasserspiegel während der Bohrarbeiten bei ca. 786,4 m (ca. 15 m unter Tunnelgradienten) angetroffen. Bei den weiteren Messungen war die Messstelle trocken (< 781 mNN). Ein kurzzeitiger Anstieg auf Tunnelniveau ist bei extremen Wetterereignissen denkbar.

Aufgrund der starken Verfaltung und Störung des Gesteinsverbandes in diesem Trassenabschnitt ist es dennoch möglich, dass Grundwasser oder Schichtwasser im Tunnelquerschnitt angetroffen wird. Durch wasserstauend wirkende Störungen kann der Grundwasserspiegel in einzelne Kammern mit schwebenden GW-Stockwerken untergliedert sein, welche nicht erkundet wurden.

Im Bereich einer stark tektonisierten Schuppenzone mit zahlreichen Störungen (ab ca. Station 3+736 bis 3+817 Südportal Haupttunnel), in der in die Raibl-Formation auch Gesteine der Partnach-Formation mit unterschiedlichen hydraulischen Durchlässigkeiten eingeschuppt sein können, gibt es Hinweise auf kleinräumige, gekammerte GW-Körper und Schichtwässer in den Bohrungen KB 58/21 (GW ca. 808,5 m, Portalbereich) und KB 02/10 (GW ca. 824,5-830,5 m, 70 m NE Haupttunnel). Diese können bei der Herstellung des Haupttunnelportals (KB 58/21) oder im südlichen Abschnitt des Rettungsstollens angetroffen werden (KB 02/10). KB 17/11 und KB 18/11 am Südportal des Rettungsstollens waren trocken, was die kleinräumig wechselhaften Bedingungen zeigt. Die ca. parallel zur Haupttrasse verlaufende Bohrung KB 16s/11 brachte einen schwach rinnenden Wasserzutritt (Ansatzpunkt 811,92 mNN bzw. 810,98 mNN nach Neuvermessung 2022), welcher evtl. mit KB 58/21 korreliert. Während der Bohrarbeiten konnte nicht festgestellt werden, in welcher Tiefe das Wasser in das Bohrloch zutrat.

Aufgrund von Moränenbedeckung sind diese GW-Körper im Süden vermutlich bereichsweise von einer GW-Neubildung abgeschnitten und können durch den Vortrieb „ausbluten“.

Zusammenfassend wird für den Bereich des Südportals das Vorhandensein von wenig ergiebigen Schichtwasserhorizonten prognostiziert. In den portalnahen Bereichen und verwitterten, aufgelockerten Gesteinen sind Sickerwasserzutritte, v.a. infolge von Niederschlagsereignissen, zu erwarten.

### Anschlussstelle Süd

Im Bereich der südlichen Anschlussstelle wurde Schichtwasserhorizonte in post-glazialen Schmelzwasserschottern der Kanker und Moränenablagerungen erkundet. In den Bohrungen KB 09/10 und KB 19/11 liegt der Grundwasserspiegel bei 783,4 bis 786,7 mü.NN (KB 09/10) und 780,2 bis 781,5 mü.NN (KB 19/11) und damit 3,6-6,8 m bzw. 7,5-8,8 m unter GOK.

Auffallend bei beiden Messstellen sind die hohen elektrischen Leitfähigkeiten bis zu 2570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dies kann beispielsweise auf Sulfat führende Gesteine in der Nähe (z.B. Gips in der Raibl Formation) oder einen Eintrag aus anthropogenem Material (z.B. Verfüllungen ehemaliger Kiesgruben) hinweisen. Die Ionenbilanz der Wässer kann größere Schwankungen innerhalb derselben Messstelle aufweisen, was zu einer Zuordnung zu unterschiedlichen Grundwassertypen im Piper-Diagramm führt (WWBS Jahresbericht 2022). Beide Messstellen liegen im abstromigen Bereich einer Kiesgruben-Verdachtsfläche. Die Proben zeigen die insgesamt höchsten Gehalte an Chlorid, Sulfat, Natrium und Kalium, was auch auf eine landwirtschaftliche Nutzung (Düngung) zurückzuführen sein kann. Eine abfallchemische Beprobung wird im Zuge der weiteren Planung durchgeführt.

## **6.7 Hydraulische Durchlässigkeiten**

### **6.7.1 Erkundung Wanktunnel**

Die hydraulische Durchlässigkeit in den Festgesteinen wird im Wesentlichen vom Zerlegungsgrad und der Öffnungsweite von Trennflächen bestimmt.

Gemäß den Versuchsergebnissen variiert die Durchlässigkeit nach DIN 18130-1 von durchlässig bis sehr schwach durchlässig, wobei die meisten ermittelten Durchlässigkeitswerte im Bereich von  $5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  bis  $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  liegen.

Zur Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Wert) wurden während der Erkundungsphasen 2010, 2011 und 2022 als In-Situ-Versuche Einfachpacker- oder Doppelpackertests (EP, DP), Wasserabpressversuche (WD) und Pumpversuche (PPV) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in nachfolgender Tabelle 43 zusammengefasst.





**Tabelle 43: Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche aus den Erkundungsphasen 2010, 2011 und 2022 Wanktunnel.**

Bohrung	Teufe von [m]	Teufe bis [m]	Intervalllänge [m]	Versuchsart	Kf-Wert [m/s]	Formationszuordnung	Anmerkungen
KB07(h)/10	60,0	65,0	5,0	WD	3,67E-06	Hauptdolomit-Formation	
	95,0	110,0	15,0	WD	6,94E-08	Plattenkalk-Formation	
KB06/10	58,0	63,0	5,0	WD	4,70E-07	Plattenkalk-Formation	
	70,0	75,0	5,0	WD	2,31E-04	Hauptdolomit-Formation	tlw. geöffnete Klüfte
	31,7	79,5	47,8	PPV	1,24E-07	Hauptdolomit-Formation	
KB 10/11	62,8	68,1	5,3	DP	1,80E-05	Plattenkalk-Formation	tlw. zerlegt
	71,5	76,8	5,3	WD	1,42E-09	Plattenkalk-Formation	
	81,2	86,5	5,3	DP	5,50E-06	Plattenkalk-Formation	tlw. geöffnete Klüfte
	20,0	100,0	80,0	PPV	9,98E-06	Plattenkalk-Formation	
KB11/11	233,2	246,7	13,5	DP	1,70E-07	Hauptdolomit-Formation	
	243,0	256,4	13,5	DP	2,50E-08	Hauptdolomit-Formation	
	256,2	269,6	13,5	DP	3,90E-08	Hauptdolomit-Formation	
	268,1	290,7	22,6	EP	1,70E-07	Hauptdolomit-Formation	
	240,0	290,0	50,0	PPV	2,60E-08	Hauptdolomit-Formation	
KB 21/22	269,0	365,0	96,0	EP	7,38E-09	Plattenkalk- und Hauptdolomit-Formation	
	302,0	309,0	7,0	DP	2,59E-08	Hauptdolomit-Formation	gestörte Bereiche nicht erfasst, da keine Versuchsdurchführung möglich
	314,0	321,0	7,0	DP	3,11E-08	Hauptdolomit-Formation	
	321,0	328,0	7,0	DP	4,05E-09	Hauptdolomit-Formation	
	330,0	365,0	35,0	EP	3,52E-08	Hauptdolomit-Formation	
	347,0	365,0	18,0	EP	2,56E-08	Hauptdolomit-Formation	
KB12/11	218,3	229,0	10,7	DP	5,60E-07	Plattenkalk-Formation	tlw. geöffnete Klüfte
	241,0	251,8	10,8	DP	4,60E-06	Plattenkalk-Formation	
	251,7	262,5	10,8	DP	4,50E-06	Plattenkalk-Formation	tlw. zerlegt
	262,1	275,0	12,9	EP	6,20E-06	Plattenkalk-Formation	mit Störungszone
KB05(s)/10	335,0	340,0	5,0	WD	4,02E-05	Hauptdolomit-Formation	tlw. geöffnete Klüfte, Asphalt-schiefer
	320,0	380,0	60,0	WD	1,35E-06	Hauptdolomit-Formation	
	285,0	380,0	95,0	WD	1,10E-06	Hauptdolomit-Formation	
KB04(s)/10	188,0	191,0	3,0	WD	1,76E-06	Raibl-Formation: Rauwacke	ohne Paläo-karstfüllungen
	210,0	224,0	14,0	WD	5,98E-08	Raibl-Formation: Rauwacke + Störungszone mit bindigen Anteilen	mit Paläokarstfüllungen
	148,0	218,0	70,0	PPV	3,07E-07	Raibl-Formation: Rauwacke + Störungszone mit bindigen Anteilen	mit Paläokarstfüllungen
KB13/11	159,2	167,0	7,8	DP	1,40E-06	Raibl-Formation: karbonatische Fazies	
	151,2	159,1	7,9	DP	1,70E-09	Raibl-Formation: Wechsel von tonig-mergeliger und karbonatischer Fazies	

Bohrung	Teufe von [m]	Teufe bis [m]	Intervalllänge [m]	Versuchsart	Kf-Wert [m/s]	Formationszuordnung	Anmerkungen
	167,0	187,7	20,7	DP	2,90E-08	Raibl-Formation: Wechsel von tonig-mergeliger und karbonatischer Fazies	
	187,3	220,0	32,7	EP	1,10E-07	Raibl-Formation: Wechsel von tonig-mergeliger und karbonatischer Fazies	
	120,0	190,0	70,0	PPV	8,30E-08	Raibl-Formation: Wechsel von tonig-mergeliger und karbonatischer Fazies	
KB 24(s)/22	22,0	32,2	10,2	DP <sup>1)</sup>	2,67E-08	Raibl-Formation: tonig-mergelige Fazies	
	35,0	45,2	10,2	DP <sup>1)</sup>	1,36E-07	Raibl-Formation: tonig-mergelige Fazies	
	59,6	69,8	10,2	DP <sup>1)</sup>	7,68E-08	Raibl-Formation: tonig-mergelige Fazies	
	80,0	91,2	11,2	DP <sup>1)</sup>	7,20E-11	Raibl-Formation: tonig-mergelige Fazies, Störungszone mit bindigen Anteilen	
	93,5	139,0	45,5	EP <sup>1)</sup>	1,04E-07	Raibl-Formation: Störungszone mit bindigen Anteilen + Störung in Karbonaten	ab 131 m stark gestörte Karbonate
KB02/10	25,0	32,0	7,0	WD <sup>2)</sup>	4,63E-06	Partnach-Formation	
	50,0	55,0	5,0	WD <sup>2)</sup>	5,39E-07	Partnach-Formation	
	0,0	47,0	47,0	PPV <sup>2)</sup>	5,16E-06	Partnach-Formation	

<sup>1)</sup> Aufgrund der Verwendung einer bentonithaltigen Bohrspülung sind die ermittelten Kf-Wert vermutlich um ca. eine Zehnerpotenz zu niedrig angesetzt

<sup>2)</sup> die für die Partnach-Formation vorliegenden Kf-Werte werden als zu hoch für eine mittlere Durchlässigkeit dieser Formation eingestuft (Tonsteine, Mergel)

#### Anmerkungen:

Bei den Wasserabpressversuchen wurden die ermittelten Lugeon-Werte in Kf-Werte umgerechnet. Dies ist nur möglich unter Voraussetzung einer stationären Strömung und unter der Annahme, dass der Skinfaktor = 0 ist. Die Gleichung stammt aus RISSLER (1984) und entspricht der Gleichung im Earth Manual (USBR, 1953, 1987).

Angabe der Kf-Werte mit zwei Nachkommastellen, entsprechend der Auswertungen der hydraulischen Tests, die Prognosesicherheit ist in dieser Genauigkeit jedoch nicht gegeben

Aus den Erkundungsergebnissen lassen sich die in Tabelle 44 zusammengestellten Werte ableiten. Die für die Zustromprognosen verwendeten Kf-Werte wurden hydrogeologischen Abschnitten zugeordnet und sind in Kapitel 6.7 dargestellt.

**Tabelle 44: Zusammenfassung der ermittelten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte pro formation für die Erkundungsergebnisse Wanktunnel.**

Formation	Kf-Wert [m/s] von-bis		Kf-Wert [m/s] Mittel	Kf-Wert [m/s] Median	Bewertung DIN 18130
Plattenkalk	1,80E-05	1,42E-09	4,54E-06	4,55E-06	durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Hauptdolomit	2,31E-04	4,05E-09	1,64E-05	3,90E-08	durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Raibl-Formation: Rauwacke, Kalkstein (mit Paläokarstfüllungen)	1,76E-06	5,98E-08	8,82E-07	8,54E-07	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Raibl-Formation: tonig-mergelige Fazies, Partnach-Form. (mit Kalkeinschaltungen), bindige Störungsgesteine	5,16E-06	7,20E-11	9,08E-07	9,35E-08	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig

#### 6.7.2 Zusammenführung der Erkundungsergebnisse Wank- und Kramertunnel

Unter Einbeziehung der Erkundungsergebnisse des westlich der Loisach gelegenen Kramertunnels ergeben sich erweiterte Kennwerte für hydraulische Durchlässigkeit der Formationen Hauptdolomit und Plattenkalk. Der Hauptdolomit kann in weiterer Folge in kompakt und zerlegt unterteilt werden kann und im Plattenkalk können vermehrt mergelige Abschnitte am Übergang zur jüngeren Kössen Formation einbezogen werden. Für die Berechnungen der quasistationären Zuflüsse (Kapitel 6.8.2) wurden für die Hauptdolomit- und Plattenkalk-Formation die Median-Werte der in Tabelle 45 dargestellten Kf-Werte verwendet, welche im Weiteren als übergeordnete Gebirgsdurchlässigkeiten bezeichnet werden.



**Tabelle 45: Ergebnisse der hydraulischen Durchlässigkeitsversuche aus der Erkundung Wank- und Krantunnel für Hauptdolomit und Plattenkalk.**

Bohrung	Versuchs- strecke [m]	Messintervall [m]	Stratigraphie	Lithologie	Versuchsart	kt-Wert [m/s]	Anmerkung
GAP 03/05	51,0-57,0	6,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	5,6E-07	
GAP 04/05	88,5-91,6	3,1	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	3,0E-09	
GAP 05/05	162,0-165,4	3,4	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	2,0E-08	
GAP 05/05	181,0-184,5	3,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	2,1E-08	
GAP 05/05	25,4-198,0	172,6	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	3,5E-08	
GAP 10/06	39,8-45,5	5,7	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	8,4E-07	
GAP 10/06	31,0-44,0	13,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	AFV	1,2E-07	
GAP 11/06	52,0-58,0	6,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	1,4E-07	
GAP 11/06	44,3-64,0	19,7	Hauptdolomit Formation	Dolomitekataklasit	PPV	1,9E-06	
GAP 12/06	101,0-212,0	111,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	6,8E-11	
GAP 12/06	13,7-203,0	189,3	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	6,2E-09	
GAP 14/06	118,6-124,0	5,4	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DS Test	3,7E-08	
GAP 14/06	105,0-125,0	20,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	8,5E-10	
KB07(h)/10	60,0-65,0	5,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	3,7E-06	
KB11/11	233,2-246,7	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	1,7E-07	
KB11/11	243,0-256,4	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	2,5E-08	
KB11/11	256,2-269,6	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	3,9E-08	
KB11/11	268,1-290,7	22,6	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	1,7E-07	
KB11/11	240,0-290	50,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	PPV	2,6E-08	
KB 21/22	269,0-365,0	96,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	7,4E-09	
KB 21/22	302,0-309,0	7,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	2,6E-08	
KB 21/22	314,0-321,0	7,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	3,1E-08	
KB 21/22	321,0-328,0	7,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	4,1E-09	
KB 21/22	330,0-365,0	35,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	3,5E-08	
KB 21/22	347,0-365,0	18,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	2,6E-08	
KB 05(s)/10	335,0-340,0	5,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	4,0E-05	mit Asphaltschiefer
KB 05(s)/10	320,0-380,0	60,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	1,4E-06	
KB 05(s)/10	285,0-380,0	95,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	1,1E-06	
Mittelwert						1,8E-06	
gewichtetes Mittel, abhängig von der Messintervalllänge						4,7E-07	
Min						6,8E-11	
Max						4,0E-05	
<b>Median</b>						<b>3,5E-08</b>	



GAP 03/05	51,0-57,0	6,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	5,6E-07	
GAP 04/05	88,5-91,6	3,1	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	3,0E-09	
GAP 10/06	39,8-45,5	5,7	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	8,4E-07	
GAP 10/06	31,0-44,0	13,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	AFV	1,2E-07	
GAP 11/06	52,0-58,0	6,0	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	1,4E-07	
GAP 11/06	44,3-64,0	19,7	Hauptdolomit Formation	Dolomit-kataklasit	PPV	1,9E-06	
Mittelwert						5,9E-07	
gewichtetes Mittel, abhängig von der Messintervalllänge						8,9E-07	
Min						3,0E-09	
Max						1,9E-06	
<b>Median</b>						<b>3,5E-07</b>	
GAP 06/05	97,0-102,6	5,6	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Pulse Test	3,5E-09	
GAP 06/05	61,0-108,0	47,0	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	2,7E-08	
GAP 13/06	67,0-70,2	3,2	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	3,5E-06	
GAP 13/06	62,0-82,0	20,0	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	2,2E-07	
GAP 07/05	30,4-34,3	3,9	Kössen Formation	Kalk	Slug Test	5,3E-05	
GAP 08/05	26,4-38,5	12,1	Kössen Fm. / Plattenkalk Fm.	Kalk	WD Test	1,6E-08	
GAP 08/05	10,0-48,0	38,0	Kössen Fm. / Plattenkalk Fm.	Kalk	PPV	1,8E-06	
GAP 15/07	65,5-75,0	9,5	Kössen Formation	Kalk	Pulse Test	4,1E-10	
KB 07(h)/10	95,0-110,0	15,0	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD Test	6,9E-08	
KB 06/10	58,0-63,0	5,0	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD Test	4,7E-07	
KB 06/10	31,7-79,5	47,8	Hauptdolomit Fm. Plattenkalk	Kalk, Dolomit, Mergel	PPV	1,2E-07	
KB 10/11	62,8-68,1	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	1,8E-05	
KB 10/11	71,5-76,8	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD	1,4E-09	
KB 10/11	81,2-86,5	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	5,5E-06	
KB 10/11	20,0-100,0	80	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	PPV	1,0E-05	
KB 12/11	218,3-229,0	10,7	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	5,6E-07	
KB 12/11	241,0-251,8	10,8	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	4,6E-06	
KB 12/11	251,7-262,5	10,8	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	4,5E-06	
KB 12/11	262,1-275,0	12,9	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	EP	6,2E-06	
Mittelwert						5,7E-06	
gewichtetes Mittel, abhängig von der Messintervalllänge						4,1E-06	
Min						4,1E-10	
Max						5,3E-05	
<b>Median</b>						<b>5,6E-07</b>	

Anmerkung:

Für den Plattenkalk wurden aufgrund der vergleichbaren Lithologie auch die Ergebnisse der Kössen Formation berücksichtigt.

## 6.8 Einfluss der Baumaßnahmen auf das Grundwasser

### 6.8.1 Allgemeines

Die geplante Konstruktion der Tunnelbauwerke (U1 \_ EB, Kap. 4.1.7.5) sieht einen durchgehend drainierten Ausbau der Tunnelbauwerke vor. In der Bauphase sind lokal begrenzte Injektionsmaßnahmen zur bautechnischen Überbrückung von Spitzenwasserzutritten vorgesehen. Eine übergeordnete Reduktion der Gebirgsdurchlässigkeit durch systematische Injektionsmaßnahmen ist nicht geplant.

Als Folge daraus wird sowohl in der Bauphase Grundwasser über die Wasserhaltungen der Vortriebe aus dem Grundwasserkörper GWK 1\_G093 Alpen – Garmisch - Partenkirchen im Bereich des Wankmassivs entnommen, als auch in der Betriebsphase über die Bauwerksdrainagen der Tunnelbauwerke. Die Prognose der Grundwasserentnahmemengen wird an Hand von analytischen Methoden und Referenzprojekten vorgenommen (Kapitel 6.8.2.2 und 6.8.2.3). Als Folge der Grundwasserentnahme in der Bauphase tritt in Abhängigkeit des Bauablaufs und Baufortschrittes eine Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1\_G093 Alpen – Garmisch - Partenkirchen im Bereich des Wankmassivs ein, bis zur Erreichung des dauerhaft abgesenkten Grundwasserspiegels in der Betriebsphase. Die Prognose der Grundwasserabsenkung wird an Hand von analytischen Methoden und Referenzprojekten vorgenommen (Kapitel 6.8.2.2 und 6.8.2.3). Bei der Herstellung (Ausbruch), der Sicherung und dem Innenausbau der Tunnelbauwerke werden Bau- und Betriebsstoffe in den Grundwasserkörper GWK 1-G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs eingebracht, die einen Einfluss auf den chemischen Zustand des Grundwasserkörpers haben können.

Die vorgenannten Auswirkungen auf den mengenmäßigen und chemischen Zustand des Grundwasserkörpers GWK 1\_G093 Alpen \_ GAP im Bereich des Wankmassivs werden übergeordnet in der Wasserrahmenrichtlinie ([46]) beurteilt.

Der Umfang und der Betrag der Absenkung des Grundwasserspiegels wird grundsätzlich durch die Interaktion Bauwerk-Grundwasser bestimmt, welche wiederum abhängig vom geologisch-hydrogeologischen bzw. der räumlichen Ausbildung des Gebirgskörpers ist und dieser ist u.a. abhängig von:

- Lage, Verlauf, Persistenz, Öffnungsweite und Konnektivität von Trennflächen und durchlässigen Gebirgsbereichen und damit Potential zur Ausbildung großflächiger Grundwasserkörper (z.B. tektonische Großstrukturen, durchlässigere Störungs- und Zerrüttungszonen, Verkarstung)
- Auftreten potentieller Trennhorizonte („Stauer“) mit geringen Gebirgsdurchlässigkeiten (z.B. feinkörnige Störungszonen, Mergellagen, kompakte Gebirgsbereiche mit wenigen geöffneten Trennflächen etc.), welche Zuflüsse reduzieren und evtl. mehrere Grundwasserstockwerke voneinander trennen können

Die Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1\_G093 Alpen - GAP im Bereich des Wankmassivs führt zu einer möglichen Beeinflussung von Quellen und Oberflächengewässern im Untersuchungsgebiet, die zum Teil durch Zuflüsse aus dem Grundwasserkörper gespeist werden.

Wesentlich für die Abschätzung der Beeinflussungswahrscheinlichkeit der einzelnen Quellen und Oberflächengewässer im Projektgebiet ist, welchen Anteil des Abflusses diese jeweils aus einem oberflächennahen oder aus einem tiefer liegenden Zirkulationssystem bezieht. Auf Basis langjähriger Erfahrungen im Untertage-

bau ist davon auszugehen, dass Quellen und Oberflächengewässer, die ausschließlich oder maßgeblich aus stark niederschlagsabhängigen, oberflächennahen Zirkulationssystemen (z.B. kleinräumige, oberflächennahe Grundwasserkörper in quartären Lockergesteinen) gespeist werden, in der Regel nicht beeinflusst werden. Bei Quellen und Oberflächengewässer, die aus tiefer liegenden Zirkulationssystemen (Grundwasser) gespeist werden, ist je nach Überlagerung und geologisch-tektonischen Verhältnissen eine Beeinflussung durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels nicht auszuschließen. Wichtig ist hierbei auch, ob der Grundwasserspiegel im Umfeld der Tunnelbauwerke tatsächlich abgesenkt wird oder ob es nur lokal zu Verlagerung des Druckgradienten kommt [5].

Nachfolgend sind die prognostizierten Auswirkungen auf die Quellen und Oberflächengewässer im Projektgebiet beschrieben, wie sie sich auf Basis der Erkundungen, der Geländekartierung sowie hydrogeologischer Parameter ableiten lassen. Alle vorgenannten Auswirkungen auf Grundwasserkörper, Oberflächengewässer und Quellen wurden zusätzlich durch eine Kaskade aus Hydrologischem Modell und Grundwasser- bzw. Prinzipmodellen im Sinne einer Validierung und Plausibilitätskontrolle nachgebildet. Die Erläuterung der Methodik und der Abgleich der Ergebnisse im Sinne der Plausibilitätskontrolle sind in der Wassertechnischen Untersuchung (Unterlage 18 – Kap. 5.3) gegeben.

## 6.8.2 Prognose der Grundwasserzuflüsse

Für die Beurteilung der Auswirkungen der Baumaßnahme auf den Grundwasserhaushalt erfolgte zunächst eine Prognose der Grundwasserzuflüsse zu den Tunnelbauwerken in der Bau und Betriebsphase. Bei Vortrieben unterhalb des Grundwasserspiegels sind während der Bau- und Betriebsphase prinzipiell in allen Bauwerksbereichen Wasserzutritte zu erwarten (Ortsbrust, Laibung, Sohle).

*Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden Prognosen der Grundwasserzuflüsse ohne Berücksichtigung von Maßnahmen zur Reduktion der möglichen Wasserzutritte (z.B. Wasserhaltungsmaßnahmen, Injektionen) getroffen wurden. Dies ist notwendig, um nachfolgend den möglichen Beeinflussungsbereich des Grundwasserspiegels (Kapitel 6.8.3) zu identifizieren und anschließend mögliche Maßnahmen festzulegen.*

*Anmerkung: Für die Zuflussprognose wurde zur Vereinfachung der Abschnitt mit einem Druckpotential von ca. 23 bar über Gradienten bis km 2+082 (Ende der prognostizierten Plattenkalk-Strecke) angenommen.*

### 6.8.2.1 Methodik

Für den vorausseilenden Rettungsstollen des Wanktunnels wurde eine Prognose der bauzeitlich zu erwartenden kurz- bis mittelfristigen Spitzenzuflüsse und der nach Abschluss der Ausbruchsarbeiten zu erwartenden langfristigen, quasistationären Zuflüsse zum Bauwerk vorgenommen.

Für den Karst-/Kluftgrundwasserleiter im Projektraum ergeben sich auf Basis der Erkundungsergebnisse Bandbreiten für die Gebirgsdurchlässigkeit, die mehrere Zehnerpotenzen umfassen (vgl. Kapitel 6.7). Eine rein analytische Abschätzung auf Basis der Gebirgsdurchlässigkeiten ist daher aufgrund der großen Ergebnisbandbreiten nicht zielführend [5]. Zur Abschätzung der Zuflüsse muss daher auch auf Referenzprojekte zurückgegriffen werden. Hierfür wurden Daten aus mehreren kalkalpinen Untertagebauprojekten herangezogen:

- Kramertunnel
- Tunnel Oberau
- Neubaustrecke Kundl-Baumkirchen, Erkundungsstollen Vomp-Ost
- Kraftwerk Imst / Imst-Haiming: Stollen Prutz-Imst

Zusätzlich wurden analytische Lösungsverfahren für die Abschätzung der Zuflussmengen herangezogen und mit Referenzprojekten verglichen:

A) Ermittlung der Anströmmenge nach SCHRAFT (1986)

B) Tunnelzufluss über einen unvollkommenen Horizontalbrunnen nach HERTH & ARNDTS (1973)

Die Berechnungen erfolgten anhand hydrogeologischer Abschnitte (Tabelle 46) unter Betrachtung der bis dato maximalen gemessenen Grundwasserstände und unterschiedlicher Kf-Werte, womit dem jeweiligen Berechnungsziel Rechnung getragen wurde:

- Spitzenzuflüsse:
  - o Kf-Werte: Mittelwerte der hydraulischen Durchlässigkeitsversuche Wanktunnel („höhere“ Durchlässigkeiten)
  - o Absenkung: bis 10 m über Tunnelniveau
- Quasistationäre Zuflüsse:
  - o Kf-Werte Hauptdolomit und Plattenkalk: Medianwerte unter Einbeziehung von Erkundungsdaten Kramertunnel („niedrigere“ Durchlässigkeiten bzw. übergeordnete Gebirgsdurchlässigkeiten, (vgl. Kapitel 0)
  - o Absenkung: ca. 50 % des Ursprungsniveaus (vgl. Kramertunnel Kapitel 6.8.2.2.3)

In die Berechnung nach SCHRAFT sowie HERTH & ARENDTS fließt die Reichweite der Grundwasserabsenkung ein. Diese wurde nach der für Linienkonstruktionen abgeänderten Formel von SICHARDT (1928) abgeschätzt.

$$R = 2000 \cdot s \cdot \sqrt{kf}$$

R: Reichweite [m]

s: Betrag der Grundwasserabsenkung [m]

Kf: Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

Des Weiteren wurde für die analytischen Berechnungen, soweit notwendig, in Nord- und Südvortrieb differenziert. Da der derzeit festgelegte Durchschlagpunkt bei Tunnelmeter 2+500 liegt erfolgte die Grenzziehung für die Berechnungen zwischen Abschnitt 6 und 7 (Tunnelmeter 2+510) gemäß nachfolgender Tabelle. Sollte sich der Durchschlagpunkt in der weiteren Planung verschieben, sind die Zuflussberechnungen entsprechend anzupassen.

**Tabelle 46: Hydrogeologische Abschnitte mit für die Berechnung verwendeten Kf-Werten.**

Ab-schnitt	Grundwasserstand über Tun-nelmitte [m]			Formation	Tunnelabschnitt (bezo-gen auf Haupttunnel)		Lithologie	Hydraulische Durchlässigkeit [m/s]		
		Absenkung oberes GW-Stockwerk	Absenkung unteres GW-Stock-werk		Station	Länge		Versu-che	Mittelwert pro Abschnitt bei gleicher Lithologie, aus In-Situ-Versuchen Wank	Medianwert aus In-Situ-Versuchen Wank + Kra-mer (überge-ordnete Gebirgsdurchläs-sigkeit)
1	Max	6	6	Hauptdolomit (zerlegt, Stö-rungszone)	0+321 – 0+350	29	Dolomit, Kataklasit, ge-stört	1	3,67E-06	3,50E-07
	Mit-tel	0,5	0,5							
	Min	-5	-5							
2	Max	80	80	Plattenkalk	0+350 – 1+025	675	Kalk, Mergel, Dolomit, z.T. ge-stört	7	4,88E-06	5,60E-07
	Mit-tel	43	43							
	Min	6	6							
3	Max	220	153	Hauptdolomit	1+025 – 1+565	540	Dolomit, Kataklasit	11	5,08E-08	3,50E-08
	Mit-tel	185	116,5							
	Min	150	80							
4	Max	230	161	Hauptdolomit (zerlegt, Stö-rungszone)	1+565 – 1+615	50	Dolomit, Kataklasit	-	3,67E-06	3,50E-07
	Mit-tel	225	157							
	Min	220	153							
5	Max	232	161	Plattenkalk (zer-legt, Krottenkopf-mulde)	1+615 – 2+082	467	Kalk, Mergel, Dolomit, Kataklasit	4	3,97E-06	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel	232	161							
	Min	232	161							
6	Max	85	85	Hauptdolomit (zerlegt, Krotten-kopfmulde, Über-schiebungszonen)	2+082 – 2+510	428	Dolomit / Kataklasit, tlw. Sandlagen	3	1,11E-05	3,50E-07
	Mit-tel	76	76							
	Min	67	67							
7	Max	85	85	Überschiebung Raibl-Formation auf Hauptdolomit	2+510 – 2+589	79	Tone, Schluffe, Brekzien, Bim-rock, stark zer-legte Tonsteine	1	5,98E-08	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel	45	45							
	Min	5	5							
8	Max	5	5	Raibl Formation	2+589 – 2+788	199	Rauwacken	2	1,03E-06	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel	3,5	3,5							
	Min	2	2							
9	Max	97	97	Raibl Formation	2+788 –3+053	265	Kalkstein, Ton-stein, Mergel-stein, Mergels-andstein, Schie-ferton, (bindige) Störungsge-steine	5	3,25E-07	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel	93,5	93,5							
	Min	90	90							
10	Max	6	6	Raibl Formation, Störungszone	3+053 –3+085	32	Tone, Schluffe, Brekzien, Bim-rock, stark zer-legte Tonsteine	5	6,87E-08	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel	0,5	0,5							
	Min	-5	-5							

Auf Grundlage des derzeitigen Erkundungsstandes wird für den Tunnelabschnitt von ca. 3+085 bis 3+817 (Südportal) ein unter dem bzw. etwa auf gleicher Höhe des Tunnelbauwerkes liegender Grundwasserspiegel prognostiziert. Im Karst sind GW-Schwankungen im Dekameterbereich möglich, weshalb der Vortrieb hier zeitweise auch im Einflussbereich des GW-Spiegels liegen kann



11	Max	GW-Spiegel unter Tunnelniveau prognostiziert, Auftreten von Tropfwasser wahrscheinlich, schwebende GW-Körper nicht erkundet aber nicht auszuschließen		Raibl Formation	3+085 –3+363	278	Kalkstein, Tonstein, Mergelstein, Mergelsandstein, Schiefer-ton, (bindige) Störungsge-steine	-	3,25E-07	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel									
	Min									
12	Max			Raibl Formation	3+363 – 3+488	125	Rauwacken	-	1,03E-06	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel									
	Min									
13	Max			Raibl Formation	3+488 – 3+736	248	Kalkstein, Tonstein, Mergelstein, Schiefer-ton, (bindige) Störungsge-steine	-	3,25E-07	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel									
	Min									
14	Max			Raibl Formation (Einschuppung von Partnach Formation mög-lich)	3+736 – 3+817	81	stark gestörte + verschuppte Ab-folge von Kalk-stein, Ton-stein, Tonschiefer, Mergelstein	-	3,25E-07	Verwendung Mittelwert Wank
	Mit-tel									
	Min									

## 6.8.2.2 Referenzprojekt Kramertunnel

### 6.8.2.2.1 Grundwasserverhältnisse Kramertunnel

Die Grundwasserverhältnisse am Kramertunnel sind hauptsächlich geprägt vom Kluftgrundwasserleiter des Hauptdolomits, welcher teils stark wasserführende Klüfte und Störungszonen aufweist. Der Grundwasserspiegel wurde dem Relief folgend mit einem Scheitelpunkt unterhalb der höchsten Erhebungen des Kramer-massivs prognostiziert. In der Messstelle GAP 12/06 betrug die Höhe des Grund-wasserspiegels max. ca. 191 m über Gradiente (vgl. Kapitel 6.3).

Nach Norden stellt die Kramerüberschiebung einen wasserstauenden Horizont dar, die nördlich anschließenden kalkig-mergeligen Gesteine der Kössen-Forma-tion bilden ebenfalls einen Geringleiter. Oberhalb der Kössen-Formation wurden Bergsturzablagerungen aufgeföhren, welche stark wasserführend angetroffen wurden, aber für die gegenständliche Fragestellung unwesentlich sind.

### 6.8.2.2.2 Tunnelzuflüsse Kramertunnel

Beim Aufföhren der ca. 1,2 km langen Hauptdolomitstrecke im Südvortrieb des Er-kundungsstollens (EKS) kam es zu Beginn des Jahres 2012 auf einer Länge von ca. 600 m zu hohen Wasserzutritten im Bereich von Störungszonen von Stations-km EKS 1+887 bis 2+486 [10] (entspricht ca. km 2+400 bis 3+000 der Haupttun-nel-Kilometrierung [37])

Die **unmittelbaren Spitzenzuflüsse** im Vortriebsbereich erreichten im Bereich von Störungszonen max. **50-110 l/s**.

Für März 2012 (Vortrieb) wurde die Gesamtschüttung innerhalb der Hauptdolo-mitstrecke auf ca. 100 l/s angegeben, wobei diese in einem Zeitraum von 2 Mona-ten durch allmähliches Auslaufen der wasserführenden Zonen auf 60 l/s abnahm. Der Wasserspiegel in GAP 12/06 reagierte ca. 3 Monate nach Aufföhren der was-serführenden Zonen im Erkundungsstollen mit einem deutlichen Absinken (vgl. Kapitel 6.8.2.2.1).

Zwischen September 2013 und Dezember 2017 betrug die **Schwankungsbreite des quasistationären Zuflusses 27-57 l/s** [36] mit einem **mittleren Zufluss von ca. 37 l/s** (Rettungsstollen Südvortrieb).

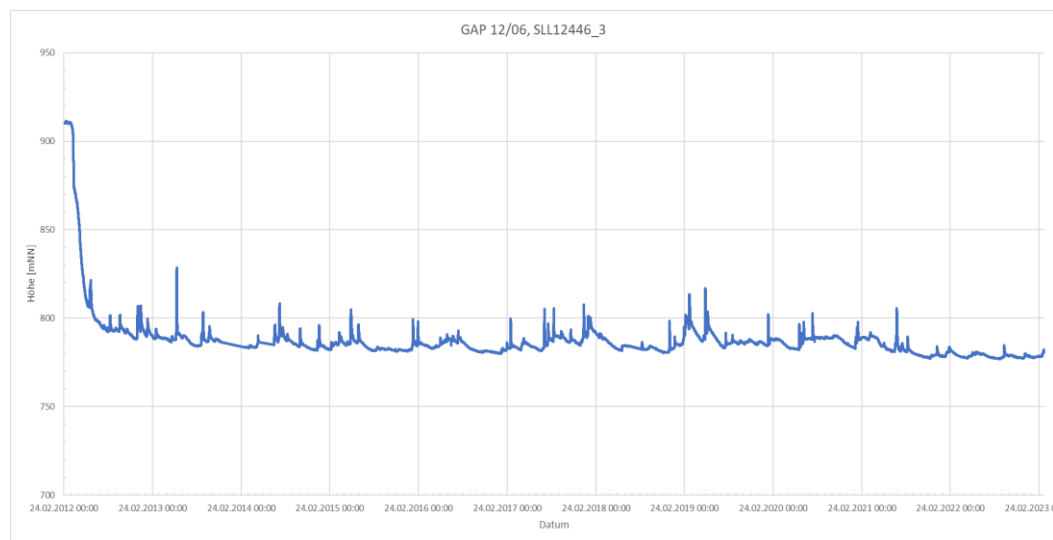
Der Vortrieb des Haupttunnels erreichte die wasserführende Hauptdolomitstrecke im Februar 2021. Die Ganglinie von GAP 12/06 zeigt seitdem einen unwesentlich geringeren Abfall und deutliche Reaktionen auf Niederschläge. Der mittlere Ab-fluss in der **GSA am Nordportal** betrug im **Februar 2023** durchschnittlich ca. **35**

**l/s (18-54 l/s)** [38]. Dabei handelt es sich allerdings um Mengen, die durch Maßnahmen (Injektionen, Grundwasserabsenkung, Ausbau etc.) beeinflusst wurden und aus mehreren aufgefahrenen Formationen stammen (Plattenkalk, Kössen Formation, Bergsturz, Hauptdolomit).

#### 6.8.2.2.3 Druckniveau des Grundwassers Kramertunnel

Bei einer Gradientenhöhe von ca. 720 mNN bei GAP 12/06 [37] entspricht die max. Grundwasserhöhe vor Auffahren des Stollens (ca. 911 mNN) einem Druckniveau von ca. 19 bar (191 m) über Gradiente. Durch die Drainagewirkung des Stollens stellte sich im Bereich der trassennahen Bohrung GAP 12/06 ca. 3 Monate nach Auffahren der wasserführenden Zonen im Erkundungsstollen ein neues Gleichgewicht bei ca. 780 mNN ein, was einem Druckniveau von ca. 6 bar über Gradiente entspricht. Die starke Verzögerung könnte evtl. mit dem Einfluss der Schneeschmelze zusammenhängen [30].

Aus dem Vergleich der Wasserstände des Prognoselängenschnitts 2007 [27] (Wasserspiegel vor Absenkung) und des Längenschnitts der zweiten Ausschreibung 2018 [37] (Wasserspiegel nach Absenkung durch EKS) ergibt sich für die Hauptdolomit-Strecke eine interpolierte mittlere Absenkung von ca. 50 % im unmittelbaren Trassenbereich, wobei einzelne Messstellen eine prozentual höhere Absenkung aufweisen, vgl. GAP 12/06 (Norden) und GAP 04/05 (Süden).



**Abbildung 39: Ganglinie der Bohrung GAP 12/06 mit Absinken des Wasserspiegels um ca. 130 m nach Auffahren von wasserführenden Störungszonen im Hauptdolomit.**

#### 6.8.2.2.4 Rückrechnung Zustrom Kramertunnel

Aus einer Rückrechnung der im hydrogeologischen Bericht Kramertunnel [36] angegebenen stationären Grundwasserzustrommungen des Hauptdolomits im EKS-Süd ergibt sich unter Verwendung **Median-kf-Werte**<sup>3</sup> für Hauptdolomit (kompakt) und Hauptdolomit (zerlegt/gestört) (siehe Kapitel 0) mit dem Berechnungsverfahren nach *Herth & Arndts* eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung (39 l/s) und dem Durchschnittswert der Schüttungsmessungen (37 l/s).


Aus der Anströmberechnung nach *Schraft* ergibt sich ein deutlich geringerer Wert von 11 l/s. Der Mittelwert aus beiden Berechnungsverfahren liegt bei 25 l/s, was

<sup>3</sup> Medianwerte wurden herangezogen, da sich Ausreißer nach oben und unten weniger stark auswirken. Ergebnisse aus allen hydraulischen Bohrlochversuchen Wank- und Kramertunnel (Tabelle 45)

ca. dem Minimalwert der tatsächlichen Schüttungen in der Hauptdolomitstrecke des EKS-Süd entspricht.

Der Berechnung liegt eine Absenkung des Grundwasserspiegels vom Stand des Prognose-Längenschnitts 2007 gegenüber dem Längenschnitt der Ausschreibung 2018 zugrunde (Abbildung 41 rechts).

Die GW-Neubildung sowie klimatisch und niederschlagsbedingte Schwankungen wurden hierbei der Vereinfachung halber nicht berücksichtigt, es wurde daher mit dem mittleren quasistationären Abfluss von 37 l/s aus dem seitlichen Zustrom bei einem abgesenkten GW-Körper gerechnet.

 BERATENDE INGENIEURE	Project:	A172: Verlegung B23	Bearb.:	S. Sch
	Object:	Kramer Tunnel	Gepr.:	
	Titel:	Stationärer Tunnelzufluss HD-Strecke EKS Süd	Datum:	Mrz 23

**Tunnelzufluss nach Herth & Arndts (1973)**

$$Q[m^3/s] = \left(0,73 + 0,27 \cdot \frac{H-h}{H}\right) \cdot \frac{k_f}{R} \cdot (H^2 - h^2) \cdot L$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme im Mittel über einen Abschnitt [m]  
h: Grundwasserstand abgesenkt im Mittel über einen Abschnitt [m]  
R: Reichweite nach Sichardt, angepasst für Linienbauwerke [m]  
k<sub>f</sub>: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
L: Abschnittslänge [m]

Input Parameters								
Station	Abschnitt	H	h	L	k <sub>f</sub>	R	Q	Anmerkung
Haupttunnel		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[l/s]	
2+100-2+400	7	173	83	300	3,5E-08	34	6,3	HD mit GAP 12/06
2+400-3+000	8	111	74	600	3,5E-07	44	26,9	HD, gestört mit Wasserzutritten
3+000-3+300	9	49	19	300	3,5E-07	35	5,4	HD, stark zerlegt
Schüttung HD-Strecke:							39	l/s

Abschnitt	Station Hauptun.	Wasserstand Prognose**		Absenkung	Anmerkung
		2007	2018*		
7	2+100	185	55	130	GAP 12/06
	2+400	163	110	53	
		173	83	91	
8	2+400	163	110	53	
	3+000	60	38	23	
		111	74	38	
9	3+000	60	38	23	
	3+300	38	1	37	GAP 04/05
		49	19	30	

\* mit Daten und Absenkung aus Vortrieb EKS Süd

\*\* Meter über Gradiente

**Abbildung 40: Rückrechnung der Grundwasserzuflüsse nach Herth & Arndts, basierend auf der geologisch-hydrogeologischen Prognose von 2007 und den Erkenntnissen aus dem der Ausschreibung zugrundeliegenden Daten des EKS-Südvortriebes. Bei Verwendung der Median-Werte der Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Bohrlochversuchen ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der Berechnung und den Angaben zur quasistationären Schüttung von 2013-2017.**

### 6.8.2.3 Weitere Referenzprojekte

#### 6.8.2.3.1 Tunnel Oberau

Beim Vortrieb des Oberauer Tunnels (v.a. Hauptdolomit) wurden keine nennenswerten Wasserzutritte verzeichnet. Die Spitzenzutritte an der Ortsbrust lagen stets < 5 l/s (Quelle: Auszug Geologischer Schlussbericht Tunnel Oberau). Lediglich im Zuge von Starkregenereignissen kam es zu einer Erhöhung der Grundwasserzutritte im Bereich mit geringer Überlagerung, im Grenzbereich Fest-/Lockergestein, den Talflanken und der Lockergesteinsstrecke Nord.

Beim Tunnel Oberau waren die stauenden Schichten im Hauptdolomit in einer Form ausgebildet, dass es zu keinen wesentlichen Auswirkungen an Quellen und Oberflächenwässern gekommen ist.

### 6.8.2.4 Ergebnisse und Bewertung

#### 6.8.2.4.1 Quasistationäre Zuflüsse

Aus der Zusammenführung der Erkundungsergebnisse von Kramer- und Wanktunnel ergeben sich Medianwerte der K<sub>f</sub>-Werte (Tabelle 45), mit denen die Rückrechnung des Abflusses Kramertunnel EKS-Süd gut in Einklang mit den tatsächlichen Messwerten gebracht werden kann. Daher werden diese Median-K<sub>f</sub>-Werte in weiterer Folge als **übergeordnete Gebirgsdurchlässigkeiten** für die Formationen Hauptdolomit (kompakt), Hauptdolomit (zerlegt/gestört) und Plattenkalk verwendet. Durch Verwendung der Medianwerte werden Extremwerte (z.B. hohe

Durchlässigkeiten in Störungszonen) weniger stark in die Wertbildung mit einbezogen, die übergeordneten Gebirgsdurchlässigkeiten sind daher geringer als die aus den Versuchsergebnissen Wanktunnel ermittelten Kf-Werte (Tabelle 44, Tabelle 45) und kompaktere Gebirgsbereiche des Hauptdolomits und Plattenkalks werden stärker berücksichtigt.

Im Bereich der Krottenkopfmulde am Wank, wo stärker zerlegter Plattenkalk prognostiziert wird, wurden keine Veränderungen vorgenommen, da für zerlegten und ggf. verkarsteten Plattenkalk keine zusätzlichen Werte aus der Erkundung Kramertunnel vorliegen. Am Kramertunnel liegt die Plattenkalkstrecke im Bereich des Nordportals oberhalb des Bergwasserspiegels und wies daher lediglich Tropfwasserzutritte auf. Für den Zentral- und Südabschnitt des Wanktunnels wurden aus diesem Grund ebenfalls die aus den Erkundungen des Wanktunnels abgeleiteten Kf-Werte verwendet (Tabelle 44).

Hinsichtlich der Grundwasserhöhen wurde eine Absenkung von ca. 50 % angenommen, wie sie aus den Daten des Kramertunnels als interpolierte mittlere Absenkung hervorgeht.

Bei der Anströmberechnung nach *Schraft* ergeben sich jeweils **35 l/s**, wobei die Variation der GW-Höhen aufgrund der Formel keine Auswirkungen ergeben. Die Berechnungen nach *Herth & Arndts* liefern je nach angenommener (abgesenkter) GW-Höhe unterschiedliche Ergebnisse. Bei gleichartigem Vorgehen wie bei der Zustromberechnung Kramertunnel ergeben sich quasistationäre Zuflüsse von 134 l/s (Absenkung unteres GW-Stockwerk) bis 182 l/s (Absenkung oberes GW-Stockwerk), die im Wesentlichen an den höheren Kf-Wert im prognostizierten, stärker zerlegten Muldenkern der Krottenkopfmulde im ggf. verkarsteten Plattenkalk gebunden sind (ca. 460 m aufzufahrende Strecke). Derzeit liegen keine weiteren Versuchsergebnisse oder Referenzwerte zur Durchlässigkeit im Plattenkalk vor. Vorauserkundungen vom Rettungsstollen werden aufgrund der Prognoseunsicherheiten vorgesehen.

Aus beiden Berechnungsverfahren ergeben sich Mittelwerte von 84,5-108,5 l/s für den Nordabschnitt (Hauptdolomit, Plattenkalk) des vorauseilenden Rettungsstollens, was bei einer Länge von 2,2 km ca. 3,8-4,9 l/s pro 100 m entspricht.

Insgesamt ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Mittelwerte aus beiden Berechnungsformeln Wanktunnel-EKS Nord (3,8-4,9 l/s pro 100 m) mit den tatsächlichen quasistationären Zuflüssen des Kramertunnel-EKS Süd (2,3-4,8 l/s pro 100 m).

Hinzu müssen im Mittel ca. 25,5-30,5 l/s (Südabschnitt Rettungsstollen und Haupttunnel) addiert werden, was einer mittleren **Gesamtsumme der quasistationären Tunnelzuflüsse von 110-139 l/s** entspricht (vgl. Tabelle 47).

Geht man im Rahmen einer Parameterstudie davon aus, dass sich dauerhaft ein abgesenkter Bergwasserspiegel von 50 % des Ursprungsniveaus einstellen wird (Reduzierung des Parameters „H“ in den Formeln um 50 %) würde sich ein mittlerer quasistationärer Zustrom von 59-73 l/s für den Wanktunnel ergeben (Tabelle 47), je nach abgesenktem oberen oder unteren GW-Stockwerk. Dieser Ansatz ist allenfalls im Sinne eines best case Szenarios zu betrachten, denn er stellt zwar eine Würdigung eines neuen Gleichgewichtes des Bergwasserspiegels und der damit verbundenen wirksamen Gebirgsdurchlässigkeit dar, entspricht jedoch nicht der üblichen Verwendung der Formel, bei der H = 100 % dem natürlichen Bergwasserspiegel vor Beeinflussung durch das Bauwerk angesetzt werden sollte.

**Tabelle 47: Vergleich (prognostizierte) quasistationärer Zuflüsse Wanktunnel.**

Parameter	Berechnungsgrundlage	Zustrom Nordabschn. Rettungsst. [l/s]		Zuschlag Zentral- / Südabschn. Rettungsst. [l/s]	Zuschlag Haupttröhre (20 % Rettungsst.)		SUMME	
		Absenkung unteres Stockwerk	Absenkung oberes Stockwerk		Absenkung unteres Stockwerk	Absenkung oberes Stockwerk	Absenkung unteres Stockwerk	Absenkung oberes Stockwerk
H = 100 %, h = 0,5*H	Herth & Arndts	134	182	8	28	38	170	228
	Schraft	35	35	7	8	8	50	50
	Mittelwert	84,5	108,5	7,5	18	23	110	139
H = 50 %, h = 0	Herth & Arndts	52	76	4	11	16	67	96
	Schraft	35	35	7	8	8	50	50
	Mittelwert	43,5	55,5	5,5	10	12	59	73

*Anmerkung: Für den langfristigen Zufluss zum Haupttunnel wird aufgrund von Erfahrungen [23] von einem Zufluss zum zweiten Röhre (Haupttunnel) im Ausmaß von 20 % des langfristigen Zuflusses zur ersten Röhre (Rettungstollen) ausgegangen.*

#### Bewertung der Ergebnisse:

Die Durchlässigkeitsversuche der Kramer-Erkundungsbohrungen sowie der Bohrungen KB 11/11 und KB 21/22 (EKP2-3 Wanktunnel) zeigen, dass durchaus geringere Gebirgsdurchlässigkeiten in kompakteren Gebirgsabschnitten im Hauptdolomit auftreten können, welche für die Betrachtung des langfristigen Zustroms stärker in die Bewertung eingehen müssen, da der Grundwasserspiegel aus Kluft- und Störungszonen in diesem Zustand durch den Vortrieb bereits abgesenkt wurde. Daher werden die Ergebnisse der Parameterstudie mit geringeren Formations-Kf-Werten in für die Bewertung der langfristigen, quasistationären Zuflüsse als plausibel betrachtet.

Die mittels Verfahren nach *Herth & Arndts* und *Schraft* ermittelten Ergebnisse liefern in Abgleich mit den Daten vom Kramertunnel und aus Erfahrungen von Referenzprojekten plausible Ergebnisse für den zu erwartenden langfristigen Zufluss. Die Ergebnisse sind hierbei jedoch u.a. stark abhängig von den verwendeten Kf-Werten, weshalb eine übergeordnete Gebirgsdurchlässigkeiten aus zahlreichen In-Situ-Versuchen sowie einer Vergleichsberechnung mit tatsächlichen Abflüssen des Kramertunnels für eine plausible Aussage unerlässlich sind.

Mit bloßer Verwendung der Formel von *Schraft* werden zu niedrige Ergebnisse erzielt. Eine reine Verwendung der Formel von *Herth & Arndts* dürfte aufgrund der relativ hohen Ergebnisse einem worst case Szenario entsprechen, eine Verwendung von Mittelwerten aus beiden Formeln wird als wahrscheinlichster Fall (medium case Szenario) angesehen, vgl. Kramertunnel Kapitel 6.8.2.2.

*Ein neuer Gleichgewichtszustandes im Grundwasserkörper und damit quasistationäre Zustromverhältnisse stellen sich i.d.R. nicht unmittelbar nach Vortriebsende ein sondern benötigen u.U. einen Zeitraum von Wochen bis Monaten. Der verwendete Begriff „quasistationärer Zufluss“ ist nicht als mengenmäßig konstanter Zufluss zu verstehen, sondern als Zufluss, der in Abhängigkeit von der Jahreszeit und den Witterungsverhältnissen Schwankungen unterworfen ist.*

#### 6.8.2.4.2 Spitzenzuflüsse

##### Analytische Methoden:

Für die Prognose der kurz- bis mittelfristigen Spitzenzuflüsse wurden in den analytischen Berechnungsverfahren mit den Formeln von *Herth & Arndts* und *Schraft* die höheren hydraulischen Durchlässigkeiten verwendet, die sich rein aus den Bohrlochversuchen am Wank ergeben. Bei den Durchlässigkeitsversuchen am Wank wurden häufig klüftige und zerlegte Bereiche erfasst, welche für die Bewertung der initialen Zuflüsse relevant sind. Aus der Berechnung mit beiden Formeln ergeben sich im Mittel prognostizierte Spitzenzuflüsse von **145-181 l/s**, bezogen auf die gesamte Länge des vorseilenden Rettungstollens. Dabei wurde bewusst nicht zwischen dem geplanten Nord- und Südtrieb unterschieden, da die Zuflüsse überwiegend im Nordabschnitt prognostiziert werden.



*Anmerkung: Unter kurz- bis mittelfristig ist dabei ein Zeitraum von Tagen bis Wochen zu verstehen, je nach Auslaufverhalten sind auch bis zu mehrere Monate möglich.*

Referenzprojekte:

Der westliche Höhenrücken des Wanks (Plattenkalk und Hauptdolomit) zeichnet sich, ähnlich wie am Kramer, durch querschlägig zur Tunnelachse (ca. N-S) orientierte Trennflächensysteme aus, welche im Falle hoher Durchlässigkeiten erhebliche Spitzenzuflüsse in der Größenordnung > 100 l/s liefern können. Im Hauptdolomit Kramertunnel wurden bis ca. 110 l/s [30], im Stollen Prutz-Imst bis ca. 140 l/s [5] verzeichnet. Bei den vorliegenden Referenzprojekten gibt es hinsichtlich quantitativer Aussagen zu Spitzenzutritten im Plattenkalk keine Vergleichsdaten. Im verkarsteten Wettersteinkalk wurden im Erkundungsstollen Vomp-Ost Spitzenzutritte bis 50 l/s verzeichnet [24] bei größeren Wasserüberlagerung sind Zutritte bis ca. 100 l/s denkbar.

Ein Auslaufen dieser Kluftsysteme kann, je nach Auslaufverhalten und der räumlichen Verteilung der Durchlässigkeiten, über Wochen bis mehrere Monate erfolgen, was sich in einer kontinuierlichen Abnahme der Wasserzutritte äußern kann. Generell können verkarstete Gesteine (z.B. Plattenkalk) Wasser schneller abgeben als intensiv und engständig geklüftete Dolomite. Eine punktuelle Absenkung des Bergwasserspiegels im Bereich durchlässiger Zonen bis auf Tunnelniveau wie im Hauptdolomit beim Stollen Prutz-Imst ist denkbar, konnte aber z.B. am Kramertunnel bis dato nicht beobachtet werden.

Im Plattenkalk sowie im Hauptdolomit können mergelige Zwischenlagen vorliegen, die eine wasserstauende Wirkung aufweisen und daher die Auswirkungen der Bergwasserabsenkung als natürliche Barriere beschränken können (Szenario Oberau, Vomp-Ost). Ggf. ist eine zeitverzögerte Drainage des Gebirges durch lokale Stauer und schwebenden Grundwasserstockwerke möglich, z.B. Kramertunnel GAP 12/06. Eine Begrenzung des Zustroms durch abdichtende Schichten (z.B. Asphaltschiefer im Hauptdolomit, Mergellagen im Plattenkalk, feinkörnige Störungszonen) ist abschnittsweise möglich, eine Abdichtung über die gesamte Hauptdolomit-Plattenkalk-Strecke mit durchwegs geringen Wasserzutritten im Ortsbrustbereich kann allenfalls ein best-case-Szenario darstellen (vgl. Tunnel Oberau, Kapitel Kapitel 6.8.2.3.1).

Bewertung der Ergebnisse:

Die analytisch berechneten Zuflüsse von 145-181 l/s werden unter Hinzuziehung von Referenzprojekten als realistisches Szenario der kurz- bis mittelfristigen, bauzeitlich zu erwartenden Zuströme angesehen, auch im Hinblick auf die Möglichkeit, dass u.U. mehrere stark wasserführende Zonen hintereinander aufgefahren werden können. Daher sollten für die Dimensionierung der GSA, Tunneldrainage und der bauzeitlichen Versickerung Zuströme von max. 181 l/s im Sinne von kurz- bis mittelfristig zu erwartenden Spitzenzuflüssen zugrunde gelegt werden.

*Anmerkung:*

*Für eine ausschreibungsrelevante Bewertung von Erschwernissen durch Wasserzutritte im unmittelbaren Vortriebsbereich (Ortsbrust und daran anschließender ca. 25 m langer Tunnelabschnitt) sind gesonderte Berechnungen im Zuge der weiteren Planung durchzuführen.*

#### 6.8.2.5 Vergleichbarkeit Wanktunnel und Kramertunnel

Hinsichtlich der geologischen Rahmenbedingungen werden im Hauptdolomit-Plattenkalk-Abschnitt des Wanktunnels bis zur Unterquerung Kesselgraben (Nordportal bis ca. km 2+534) vergleichbare Verhältnisse wie am Kramertunnel erwartet,

was die langfristigen Zuflüsse betrifft. Die größten Zuströme werden in einem Abschnitt mit höherem Zerlegungsgrad im Bereich der Krottenkopfmulde sowie Störungs- und Überschiebungszonen von ca. km 1+565-2+534 prognostiziert, wo auch der höchste Grundwasserspiegel über Gradienten zu liegen kommt. Die teils verkarsteten Plattenkalk-Abschnitte beim Wanktunnel, welche am Kramer nicht vorliegen, dürften sich im Sinne des langfristigen Abflusses durch eine raschere Reaktion des Karstaquifers auf Grundwasserneubildung und stärkere Abflussschwankungen vom Hauptdolomit unterscheiden.

Auf Basis der Erkundungsdaten und In-Situ-Versuche am Wank wird im Plattenkalk überwiegend mit punktuell über Klüfte und Karstschläuche zutretendem Wasser gerechnet, welches aufgrund des geringeren Retentionsvermögens nach dem Antreffen schneller auslaufen kann als im Hauptdolomit (Tage bis Wochen).

### 6.8.3 Potentiell möglicher Beeinflussungsbereich

Die in Kap. 6.8.2 bei der analytischen Prognose der Grundwasserzutritte zu den Tunnelbauwerken angesetzte Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1\_G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs kann an Hand der geologisch-hydrogeologischen Erkundungsergebnisse und an Hand von Referenzprojekten weiter ausgearbeitet werden, insbesondere auch hinsichtlich des horizontalen Umgriffs.

Hinsichtlich der vertikalen Grundwasserabsenkung und dem horizontalen Umgriff der Absenkung werden grundsätzlich zwei Bereiche unterschieden, die auch im hydrogeologischen Lageplan separat ausgewiesen sind (siehe Anlage 4):

Zum einen der potentiell mögliche horizontale Umgriff der Grundwasserabsenkung (Bereich mit prognostizierter Beeinflussung Grundwasser). Dieser wird aus den geologisch-hydrogeologischen Rahmenbedingungen, den hydraulischen Durchlässigkeiten (Kapitel 6.7), den Zustromberechnungen (Kapitel 6.8.2), sowie auf Basis von Referenzprojekten (Kapitel 6.8.2.2 und 6.8.2.3) abgeleitet.

Zum anderen wird innerhalb des Bereichs mit prognostizierter Beeinflussung des Grundwassers ein enger umgrenzter Risikobereich ausgeschieden (Bereich mit prognostizierter Beeinflussung Oberflächengewässer und Quellen). In diesem Bereich kann das Grundwasser im Ausgangszustand aufgrund der Höhenlage des Grundwasserspiegels im Verhältnis zur Oberfläche mit Quellen (Schüttung) und Oberflächengewässern (Basisabfluss) kommunizieren.

Innerhalb des Bereichs mit prognostizierter Beeinflussung Oberflächengewässer und Quellen kann grundsätzlich von einer Bioverfügbarkeit des Grundwassers ausgegangen werden. Folglich sind hier aufgrund der ermittelten Absenkung des Grundwasserspiegels Auswirkungen auf naturschutzfachliche Belange zu erwarten. Ausgenommen hiervon sind Bereiche, in denen zwar aus hydrogeologischer Sicht eine Beeinflussung der Schüttungen prognostiziert wird, jedoch aufgrund der lokalen Geologie keine Oberflächengewässer vorliegen oder keine grundwasserabhängigen Ökosysteme entwickelt sind (vgl. WV Wankhaus). Der obigen Abgrenzung folgend liegt der Bereich mit prognostizierter Beeinflussung Oberflächengewässer und Quellen innerhalb des Untersuchungsgebietes (UG) (Verweis U1, Kapitel 3.1), innerhalb dem die naturschutzfachlichen Untersuchungen stattfinden.

Außerhalb des Bereichs mit prognostizierter Beeinflussung Oberflächengewässer und Quellen kann das Grundwasser im Ausgangszustand aufgrund der tiefen Lage des Grundwasserspiegels nicht mit Quellen und Oberflächengewässern kommunizieren, sodass auch keine Bioverfügbarkeit bzw. Verbindung zu biologischen Lebensräumen gegeben ist und keine Auswirkungen auf naturschutzfachliche Belange erwartet werden.

Der Bereich mit prognostizierter Beeinflussung des Grundwassers liegt innerhalb des Sonderuntersuchungsgebiet (SG) (Verweis U18, Kapitel 1) für Grundwasserbelange.

Analog zur Ermittlung der Grundwasserzuflüsse zu den Tunnelbauwerken wurden bei der Ermittlung des potentiell möglichen Beeinflussungsbereichs mögliche abdichtende Schichten innerhalb der verschiedenen geologischen Einheiten (z.B. kartierte Seefeld-Formation als mergelreiche Fazies im Hauptdolomit nördlich der Daxkapelle (Querprofil 1) tonig-mergelige Gesteine und feinkörnige Störungszonen (Längenschnitt, Querprofil 2)) nicht berücksichtigt. Diese können aber den Umgriff des Bereichs mit prognostizierter Beeinflussung Grundwasser deutlich reduzieren. Erfahrungen aus Referenzprojekten (z.B. Erkundungsstollen Vomp-Ost, Kramertunnel, Tunnel Oberau, Kraftwerk Prutz-Imst) zeigen, dass, je nach (struktur)geologisch-hydrogeologischem Rahmen, sowohl eine großräumige Beeinflussung des Grundwasserspiegels als auch eine Begrenzung des Beeinflussungsbereichs durch stauende Schichten (z.B. feinkornreiche Störungszonen, Mergellagen) möglich ist. Reichweiten der Absenkung können auf Basis von Erfahrungswerten zwischen ca. 50-300 m, in tektonischen Störungszonen oder anderen wasserleitenden Strukturen bis über 2 km reichen. Beim Stollen Prutz-Imst wurde in Karbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen bei einer Grundwasserabsenkung von ca. 33 bar bzw. 330 m eine Auswirkungsreichweite von ca. 2 km festgestellt, welche sich aufgrund von Durchlässigkeitskontrasten senkrecht zum Gesteinsstapel entlang des Streichens von durchlässigeren Einheiten einstellen konnte [5]. Anhand der in Kapitel 6.8.2 vorgenommenen Zustromprognosen ergeben sich für den Wanktunnel Reichweiten R von bis zu ca. 900 m in Zonen mit erhöhter Durchlässigkeit (vgl. Anlage 6), wobei zu beachten ist, dass die verwendete Formel von *Sichardt* (angepasst für Linienbauwerke) für die Verwendung im Festgestein teilweise herangezogen wird.

Die Ausbildung von Störungen in Plattenkalk, Hauptdolomit und auch in der Raibl Formation kann unterschiedlich sein. Basierend auf Erkundungen und Kartierung können sowohl von spröde verformten Störzonen mit höheren Durchlässigkeiten auftreten, die aber durch eingeschmierte Mergellagen auch wasserstauend sein können, was zu unterschiedlichen Wasserständen im Gebirge führen kann [18]. In feinkornreichen Gesteinseinheiten, allem voran in der Raibl- und Partnach-Formation, können sich mehrere dezimeter- bis zehnermetermächtige Fault Gouges und tonig-schluffige Lockergesteine ausbilden, die unterschiedliche GW-Stockwerke voneinander trennen. Auch im Plattenkalk und Hauptdolomit ist dies durch mergelreiche Lagen und mitunter feinkornreichen Störungszonen möglich. Zwischen KB 11/11 und KB 21/22 kann auf Basis der hydraulischen Packertests von mindestens zwei Grundwasserstockwerken ausgegangen werden. Als Grundlage für die Abschätzung des Einflusses der Baumaßnahme auf den Grundwasserhaushalt bzw. für die Zustromberechnungen wird das obere Grundwasserstockwerk herangezogen.

Im Bereich bergseitig der Tunnelbauwerke wird im Plattenkalk-Hauptdolomit von einer Beeinflussung des Grundwasserspiegels bis maximal zu einem Störungssystem im Bereich des Markgrabens und zwischen Wank und Ameisberg ausgegangen. Im Extremfall (Auslaufen einzelner durchlässiger Zonen bzw. Hauptkluftsysteme) kann der Beeinflussungsbereich bis zum Störungssystem im Bereich Esterbergtals (des Regenlaingraben) reichen. Das Esterbergtal stellt eine hydrogeologische Grenze zum Estergebirge dar, welches durch die Kuhfluchtfälle entwässert wird (Kapitel 6.5). Die Wässer des mit quartären Sedimenten aufgefüllten Esterbergtals entwässern zum Teil nachweislich direkt nach Westen zur Loisach [22]. Im Esterbergtal verläuft auch die Wasserscheide zur Isar.

Im Südschnitt wird aufgrund des niedrigen Grundwasserspiegels eine geringere Reichweite der Beeinflussung angenommen.

Im Bereich talseitig der Tunnelbauwerke wird im worst case über deren gesamten Länge von einer Beeinflussung bis auf das Niveau des Übergangs zur quartären Talflur ausgegangen.

Das Druckniveau des Grundwasserspiegels befindet sich im Scheitelsbereich süd-östlich KB 21/22 (siehe Längenschnitt Anlage 2) im oberen erkundeten Grundwasserstockwerk des Plattenkalks ca. 230 m über Gradierte, im unteren erkundeten Grundwasserstockwerk des Plattenkalks ca. 160 m (entspricht ca. 16-23 bar). Erfahrungen aus dem Kramertunnel [36] und dem Erkundungsstollen Vomp-Ost [24] zeigen, dass sich ein neues hydraulisches Potential mehrere Zehnermeter über Firste einpendeln kann und eine Absenkung bis auf Tunnelniveau v.a. in stark geklüfteten und zerlegten Bereichen möglich ist (z.B. stark zerlegter talrandnaher Hauptdolomit Vomp-Ost). Eine Absenkung des Grundwasserspiegels bis auf Tunnelniveau um ca. 85 m (8,5 bar) könnte am ehesten im Abschnitt 6, Station 2+082 – 2+534 (Kesselgraben) auftreten, da dort die geringsten angenommenen Durchlässigkeiten im Bereich der Hauptdolomit-Überschiebungszone prognostiziert werden.

Referenzprojekte deuten darauf hin, dass in durchlässigeren Zonen Beeinflussungen des Grundwasserspiegels auch bis max. ca. 2km Entfernung erreicht werden können. Demzufolge wäre der potentiell mögliche Beeinflussungsbereich im Zustrom (Bereich bergseitig der Tunnelbauwerke) maximal bis zum nördlich gelegenen Esterbergtal begrenzt.

#### 6.8.4 Beeinflussungswahrscheinlichkeit von Quellen

Aus der Charakterisierung der Quellen und Oberflächengewässer in Kapitel 6.4, den qualitativen Merkmalen (Höhenlage Quelle, Hydrochemie, geologischer Rahmen, Grundwasserspiegel im Bauwerksbereich, Abstand zum Bauwerk, prognostizierte Absenkung des Grundwasserspiegels (Kapitel 6.8.2)) kann eine Beeinflussungswahrscheinlichkeit der Quellen und Oberflächengewässer durch die Baumaßnahme ermittelt werden. Die hier beschriebene Beeinflussungswahrscheinlichkeit gibt qualitativ an wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Quelle eine Beeinflussung durch die Baumaßnahme erfährt. Die Beeinflussungswahrscheinlichkeit gibt keine Information darüber, wie hoch die Beeinflussung quantitativ (Minderung der Schüttung) beim Eintritt der Beeinflussung ist. Die ermittelten Beeinflussungswahrscheinlichkeiten sind als Übersicht in nachfolgender Tabelle dargestellt.



**Tabelle 48: Prognostizierte Beeinflussungswahrscheinlichkeit der Quellen.**

	Beeinflussungs- wahrscheinlichkeit	Nutzung	Anmerkung
<b>Quellen</b>			
<b>Daxkapelle Laufbrunnen</b>	niedrig	Laufbrunnen	evtl. Quartär
<b>QL 1 Wankbahn</b>	hoch	nein	
<b>QL 2 Wankbahn</b>	hoch	nein	
<b>QS 1 Schweinbach</b>	hoch	nein	
<b>QS 2 Schweinbach</b>	hoch	nein	
<b>QS 3 Philosophenweg</b>	niedrig	nein	evtl. Quartär
<b>QL 3 Panorama</b>	mittel	nein	abstromig
<b>WV Brunnhäusl</b>	mittel	nein	abstromig
<b>QKE 1 Eckenhaus</b>	keine	nein	lokales Einzugsgebiet im Quartär
<b>QKE 2 Eckenhaus</b>	keine	nein	lokales Einzugsgebiet im Quartär
<b>Gamshütte 1</b>	niedrig	nein**	geringe Schüttmengen / evtl. Quartär (s. Kapitel 6.8.4.3)
<b>Gamshütte 2</b>	niedrig	nein**	geringe Schüttmengen / evtl. Quartär (s. Kapitel 6.8.4.3)
<b>Pfeifer Alm Möslquelle</b>	keine	Nutzwasser	evtl. Quartär
<b>Gschwandnerbauer</b>	keine	ja, Trinkwasser	evtl. Quartär
<b>Quelle Schalmeischlucht Kesselgraben Ost</b>	hoch	nein	Zusammenhang mit Grundwasser wg. Höhenlage nicht auszuschließen
<b>WV Wankhaus</b>	niedrig	ja, Trinkwasser	Einzugsgebiet in Hangbewegung
<b>Oberflächengewässer</b>			
<b>Schweinbach Flachmoor</b>	niedrig	nein	Keine Verbindung mit Grundwasser

#### 6.8.4.1 Hohe Beeinflussungswahrscheinlichkeit

##### **Wankbahnquellen QL1-QL2, Schweinbachquellen QS1-QS2:**

Aufgrund des oberflächennah prognostizierten Grundwasserspiegels im Bereich der Quellen QL1, QL2, QS1 und QS2 sowie mehrerer vermuteter Störungen liegt ein Zusammenhang der Quellen mit dem Grundwasserspiegel nahe (Überlaufsituation, vgl. Längenschnitt und Querprofile in Anlage 2, 3). Eine Beeinflussungswahrscheinlichkeit der Quellen durch eine mögliche Absenkung des Grundwassers ist *hoch*. Dies könnte sich in einer Verminderung der Schüttung bis hin zur Verlängerung des Trockenfallens einzelner Quellaustritte in niederschlagsarmen Perioden äußern.

Dennoch lässt sich ein Beitrag oberflächennaher Zirkulationssysteme zur Gesamtschüttung der Quellen aus der Erhöhung der Schüttung nach Niederschlägen und hohen Temperaturunterschieden an manchen Messorten ableiten.

##### **Quelle Schalmeischlucht Kesselgraben Ost:**

Ein Zusammenhang zwischen der Quelle und dem Abfluss im Kesselgraben mit dem Grundwasserspiegel ist aufgrund der Austrittshöhe der Quelle (ca. 820 mNN) und des prognostizierten Grundwasserspiegels (ca. 810-815 mNN) möglich. Da in der Bohrung KB 12/11 Wasserspiegelschwankungen im Zehnermeterbereich gemessen wurden, ist es möglich, dass die Quelle bei hohen Grundwasserständen anspringt (Überlaufquelle). Aufgrund der Höhenlage und der Bauwerksnähe wird die Beeinflussungswahrscheinlichkeit als *hoch* eingeschätzt.



#### 6.8.4.2 Mittlere Beeinflussungswahrscheinlichkeit

##### **QL 3 Panorama:**

Ein Zusammenwirken der Schüttungsmaxima mit Oberflächenabflüssen ist aus den Daten ableitbar. Aufgrund des hohen prognostizierten Grundwasserspiegels (Querprofil 2, Anlage 3) in Kombination mit einer größeren Entfernung von ca. 650 m zum geplanten Bauwerk wird die Beeinflussungswahrscheinlichkeit durch Absenkung des Grundwasserspiegels als *mittel* eingestuft.

##### **WV Brunnhäusl**

Aufgrund der abstromig zum Bauwerk befindlichen Lage kann eine Beeinflussung der Quelle durch das geplante Bauwerk stattfinden. Die Beeinflussungswahrscheinlichkeit ist in quantitativer Hinsicht abhängig der tatsächlichen räumlichen Ausdehnung der Grundwasserabsenkung, in qualitativer Hinsicht vom möglichen Eintrag gelöster Stoffe (z.B. aus Injektionen) und pH-Wert-Veränderungen (z.B. Spritzbeton). Die Beeinflussungswahrscheinlichkeit wird als *mittel* eingestuft.

#### 6.8.4.3 Niedrige Beeinflussungswahrscheinlichkeit

##### **Schweinbach Flachmoor:**

Das Risiko einer Beeinträchtigung des Schweinbachs im Bereich Flachmoor sowie des Moores an sich wird als *niedrig* eingestuft. Dies basiert auf den Erkenntnissen aus Kapitel 6.4.2 (abdichtende Schichten im Untergrund, teils trockenfallenden Gerinne im Zustrombereich, Speisung v.a. über Niederschläge und aus dem Quartär). Bei einer Geländebegehung im Mai 2022 mit der Umweltbaubegleitung wurde die Erstellung eines Maßnahmenpakets vereinbart, sollte es wider Erwartungen zu einer Beeinträchtigung kommen, z.B. eine Zuleitung aus den Tunnelwässern am Nordportal. Zudem soll eine weitere Messmöglichkeit im Abstrom des Flachmoores installiert werden.).

##### **Quelle Philosophenweg QS3:**

Eine Beeinflussung durch das geplante Bauwerk wird aufgrund des vermuteten Einzugsgebietes in quartären Ablagerungen als *niedrig* erachtet. Aufgrund der gemessenen hohen jährlichen Temperaturschwankungen ist von einem seichten Zirkulationssystem und einem relevanten Anteil von Oberflächenwässern auszugehen.

##### **Daxkapelle Laufbrunnen:**

Aufgrund einer südlich gelegenen prognostizierten NW-SE-verlaufenden Störung sowie der Höhenlage des Brunnens im Verhältnis zur prognostizierten Lage des Grundwasserspiegels (vgl. Querprofil 1, Anlage 3) wird die Beeinflussungswahrscheinlichkeit durch das geplante Bauwerk als *niedrig* eingestuft.

##### **WV Wankhaus:**

Die bisherige Datenlage lässt darauf schließen, dass aufgrund der Lage im Fußbereich einer Rutschung kein Zusammenhang mit dem durch das Bauwerk beeinflussten Bergwasserspiegel besteht, sondern ein eigenes, Zirkulationssystem besteht. Aufgrund dessen sowie der Höhenlage und Entfernung zum Bauwerk wird die Beeinflussungswahrscheinlichkeit als *niedrig* eingestuft.



### **Gamshütte 1+2**

Aufgrund der Höhenlage und der geologischen Situation ist ein Zusammenhang mit dem Grundwasserspiegel im Bauwerksbereich nicht sicher, aufgrund der Bauwerksnähe kann eine Beeinflussung durch die geplanten Tunnel aber nicht vollständig ausgeschlossen werden. Aus hydrogeologischer Sicht ist die Beeinflussungswahrscheinlichkeit als mittel zu bewerten. Aufgrund der aktuell gemessenen geringen Schüttungsmengen von max. 0.1 l/s wird die absolute Beeinflussung als niedrig eingestuft.

Ein Zusammenhang mit einer oberflächennahen Rutschung (Einzugsgebiet im Quartär?) an der Nordflanke des Birkelsgrabens ist möglich.

#### **6.8.4.4 Keine Beeinflussungswahrscheinlichkeit**

##### **Pfeifer Alm Möslquelle**

Aufgrund der Höhenlage, dem großen Abstand zum Bauwerk und den hydrochemischen Daten, welche auf ein seichtliegendes Einzugsgebiet in dolomitischen Hangschutt hindeuten, ist auf Basis der derzeitigen Prognose keine Beeinflussung durch die geplanten Tunnelbauwerke zu erwarten.

##### **Gschwandnerbauer**

Aufgrund der Höhenlage, der großen Entfernung zum Bauwerk und der geologischen Situation ist auf Basis der derzeitigen Prognose keine Beeinflussung durch die geplanten Tunnelbauwerke zu erwarten.

##### **QKE 1 + 2 Eckenhaus**

Aufgrund des vermuteten seichten Zirkulationssystems, welches sich auf quartäre Ablagerungen konzentrieren dürfte, sowie aufgrund der größeren Höhenlage der Quellaustrittsorte im Verhältnis zum prognostizierten Verlauf des Grundwasserspiegels (vgl. Querprofil 2, Anlage 3) ist auf Basis der derzeitigen Prognose keine Beeinflussung durch die geplanten Tunnelbauwerke zu erwarten.

#### **6.8.5 Beeinflussung von Gerinnen**

Kesselgraben, Birkelsgraben, Faukenbach:

Die Gerinne, Kesselgraben, Birkelsgraben und Faukenbach stellen keine perennierenden Gerinne dar und sind stark abhängig vom Wasserdargebot aus Oberflächenabfluss. Es ist anzunehmen, dass im Bereich der Bachbetten teils unterirdische Entwässerungswege in verkarstetem und / oder stark tektonisiertem Gestein bestehen. Mehrere Quellen im Bereich der Gerinne fallen zeitweise trocken. Aufgrund der Höhenlage des prognostizierten Grundwasserspiegels kann im Bereich der Schalmeschlucht (Kessel- und Birkelsgraben) eine Speisung des Gerinnes unter Beteiligung des Grundwassers bei hohen Grundwasserständen nicht ausgeschlossen werden. Eine Beeinflussung durch eine mögliche Absenkung des Grundwasserspiegels auf die Wasserführung der Gerinne und in weiterer Folge auch des Faukenbaches sind nicht auszuschließen.

Schweinbach:

Die Gerinne des Schweinbaches im Hangbereich könnten durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels beeinflusst werden. Die Gewässer wurden in die WWBS sowie in die naturschutzfachliche Kartierung mitaufgenommen. Die Beeinflussungswahrscheinlichkeit des Schweinbaches im Bereich Flachmoor wird dennoch, wie in Kapitel 6.4.2 und 6.8.4.3 erläutert, als niedrig bewertet. Der Ablauf des Flachmoors wurde daher in die WWBS mitaufgenommen.

Katzenbach:

Aufgrund der Beeinflussung durch das Esterbergkraftwerk und die WV Brunnhäusl ist eine Beeinflussung des Katzenbachs derzeit schon komplex (vgl. auch Schüttmengen WV Brunnhäusl und Katzenbach). Eine weitere relevante Beeinflussung durch die Baumaßnahme ist nicht zu erwarten. Der Katzenbach wurde dennoch in die WWBS mitaufgenommen.

Kankerbach:

Der Kankerbach ist ein kleiner Zubringer der Kanker, der westlich der AST Süd verläuft. Nach derzeitigem Kenntnisstand liegt im Bereich der AST Süd kein zusammenhängender Grundwasserleiter vor. Es wurden Hang- und Schichtwässer am Übergang von postglazialen Schmelzwasserschottern auf darunter liegenden feinkornreichen Moränenablagerungen (Stauer) erkundet, die tlw. im Bereich von Hangquellmooren nördlich der Bahnstrecke zutage treten. Für den Kankerbach wird deshalb davon ausgegangen, dass eine Beeinflussung durch die geplanten Bauwerke wenig wahrscheinlich ist.

## 6.8.6 Qualitative Beeinflussung

### 6.8.6.1 Grundwasser

Eine mögliche qualitative Beeinflussung des Grundwassers in GWK 1\_G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs durch das Einbringen von Betriebs- und Baustoffen bei der Herstellung, Sicherung und Innenausbau der Tunnelbauwerke wird im Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie [46] untersucht und bewertet. Im Ergebnis ist durch die genannten Wirkfaktoren bei Berücksichtigung geeigneter Maßnahmen und Vorkehrungen keine erhebliche, nachteilige Veränderung des chemischen Zustandes des Grundwassers im in GWK 1\_G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs zu erwarten.

### 6.8.6.2 Quellen und Oberflächengewässer

Eine qualitative Beeinflussung der Quellen und Oberflächengewässer durch die Tunnelbauwerke wäre denkbar, sofern sie einen maßgeblichen Anteil ihrer Schüttung bzw. ihres Abflusses aus dem Grundwasser (GWK 1\_G093 Alpen – GAP) erhalten und eine maßgebliche Beeinflussung des chemischen Zustandes des Grundwassers vorliegen würde. Da eine maßgebliche Beeinflussung des chemischen Zustandes des Grundwassers nicht zu erwarten ist (Kapitel 6.8.8.1), ist auch keine nachfolgende qualitative Beeinflussung der Quellen und Oberflächengewässer zu erwarten.

## 6.8.7 Schätzung der quantitativen Beeinflussung von Quellen und Oberflächengewässern

Im Rahmen der geologisch-hydrogeologischen Bearbeitung stehen keine geeigneten analytischen oder empirischen Methoden zur Verfügung, um die quantitative Beeinflussung der Quellen und Oberflächengewässer (Tabelle 48) abzuschätzen, falls diese der Beeinflussungswahrscheinlichkeit in Tabelle 48 folgend tatsächlich eintritt. Im Hinblick auf die wasserrechtlichen Belange steht vor allem die Schätzung der ggf. eintretenden Minderung des Abflusses im Vergleich zum Ausgangszustand im Vordergrund:

- Quellen: Minderung der Schüttung (l/s)
- Oberflächengewässer: Minderung des Abflusses (l/s)



Als ergänzende Methode werden deshalb das Hydrologische Modell [45], das Prinzipmodell Wankmassiv [44] und die Daten der laufenden WWBS herangezogen [40].

Das Hydrologische Modell ermittelt ausgehend von langjährigen Messdaten mit statistischen Methoden primär die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des GWK 1\_G093 Alpen - GAP im Bereich des Wankmassivs. Dabei werden im Sinne einer vollständigen Abbildung der Wasserbilanz im Bereich des Wankmassivs auch die theoretischen, langjährigen Schüttungen der Quellen und Abflüsse der Oberflächengewässer modelliert.

Das Prinzipmodell Wankmassiv schätzt ausgehend von den Daten des Hydrologischen Modells, den geologisch-hydrogeologischen Erkundungsergebnissen und der geplanten Konstruktion der Tunnelbauwerke (EB U1 – Kapitel 4.1.7.5) primär die Grundwasserzuflüsse zu den Tunnelbauwerken im Betriebszustand. Dabei werden als Folge der Grundwasserentnahme aus GWK 1\_G093 Alpen – GAP auch die Absenkung des Grundwasserspiegels, sowie die daraus folgende Minderung der Schüttung der betroffenen Quellen und Oberflächengewässer modelliert. Die mögliche tatsächliche Minderung des Abflusses für die betroffenen Quellen und Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet kann - unter Berücksichtigung der Modelleigenschaften und -genauigkeit - folglich überschlägig aus dem modellierten Verhältnis aus Ausgangszustand, Zustand bei Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1\_G093 Alpen \_ GAP im Bereich des Wankmassivs und den tatsächlich in der Wasserwirtschaftlichen Beweissicherung ermittelten Schüttungs- und Abflussdaten als Bezugsgröße geschätzt werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 49 zusammengefasst:



**Tabelle 49: Mögliche quantitative Minderung der Schüttung in Quellen und des Abflusses in Gerinnen bei Eintritt einer Beeinflussung durch die Absenkung des Grundwasserspiegels in GWK 1\_G093 Alpen - GAP**

	Modellergebnisse Variante 4 [44]			WWBS [40]	Prognose
	Ausgangszustand (l/s)	Geminderter Zustand (l/s)	Prozentuale Minderung (%) <sup>1</sup>	Abfluss/Schüttung (l/s)	geminderter Zustand (l/s)
<b>Quellen</b>					
Daxkapelle Laufbrunnen	k.A.	k.A.	≤ 10	0,01-0,29	0,01-0,29 <sup>2</sup>
QL 1 Wankbahn	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,29-17,41	0,10-6,09
QL 2 Wankbahn	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,08-19,99	0,03-6,7
QS 1 Schweinbach	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,0-22,14	0,0-7,75
QS 2 Schweinbach	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,28-70	0,1-24,5
QS 3 Philosophenweg	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,25-0,4	0,21-0,34 <sup>3</sup>
QL 3 Panorama	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,0-5,85	0,0-4,39 <sup>3</sup>
WV Brunnhäusl	k.A.	k.A.	>30 (65)	3,92-48,23	2,94-36,17 <sup>3</sup>
QKE 1 Eckenhaus	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,0-0,80	0,0-0,80 <sup>2</sup>
QKE 2 Eckenhaus	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,05-5,56	0,05-5,56 <sup>2</sup>
Gamshütte 1	k.A.	k.A.	>30 (65)	keine Messwerte	<sup>2</sup>
Gamshütte 2	k.A.	k.A.	>30 (65)	Tropfwasser 0,001-0,1	Tropfwasser <sup>3</sup> 0,001-0,1
Pfeifer Alm Möslquelle	k.A.	k.A.	≤ 10	0,001-0,35	0,001-0,35 <sup>2</sup>
Gschwandnerbauer	k.A.	k.A.	≤ 10	0,0-0,06	0,0-0,06 <sup>2</sup>
Quelle Schalmeischlucht Kesselgraben Ost	k.A.	k.A.	>30 (65)	0,0–8,39	0,0-2,94
WV Wankhaus	k.A.	k.A.	>20 bis ≤30 (25)	0,96-8,31	0,82-7,06 <sup>3</sup>
<b>Oberflächengewässer</b>					
Schweinbach Flachmoor/Farchant-Burggrain	k.A.	k.A.	≤ 10	1,65-23,91	1,4-20,32 <sup>3</sup>
Brünnlrunze	12,4	2,5	>30 (65)	-	0,0-2500 <sup>4</sup>
Katzenbach/Wankbahn	17,6	7,4	>30 (65)	75-256	75-256 <sup>2</sup>
Kesselgraben	23,1	1,9	>30 (65)	k.A.	<sup>5</sup>



	Modellergebnisse Variante 4 [44]			WWBS [40]	Prognose
	Ausgangs- zustand (l/s)	Geminder- ter Zustand (l/s)	Prozentuale Minderung (%) <sup>1</sup>	Abfluss/ Schüttung (l/s)	geminderter Zustand (l/s)
Birkels- graben	22,2	17,4	>20 bis ≤30 (25)	k.A.	<sup>5</sup>
Faukenbach (unterstro- mig)	16,3	9,5	>30 (65)	3,27-180	1,14-63
Kanker	85,6	81,9	≤ 10	k.A.	<sup>2</sup>
Kankerbach	k.A.	k.A.	k.A.	0,0 <sup>6</sup>	<sup>2</sup>

<sup>1</sup> prozentuelle Bandbreite gemäß Bewertung [44], der Wert in Klammer entspricht dem Median der Bandbreite und wurde zur Ermittlung des prozentuell geminderten Zustandes in l/s (letzte Spalte) herangezogen.

<sup>2</sup> prozentuale Minderungen ≤ 10 % liegen gemäß [44] unterhalb der Modellgenauigkeit und oder hydrogeolog. liegt keine Beeinflussungswahrscheinlichkeit vor, folglich ist mit keiner relevanten Minderung des Zustandes zu rechnen

<sup>3</sup> der geminderte Zustand entspricht der Beeinflussungswahrscheinlichkeit gem. Tabelle 48

<sup>4</sup> Die Brunnrunze ist nicht Teil der Wasserwirtschaftl. Beweissicherung, erfahrungsgemäß kann sie jedoch temporär kein Wasser führen. Maximale Menge entspricht HW100 gem. Aussage WWA und wird folglich nicht reduziert

<sup>5</sup> da im Bereich Kessel- + Birkelsgraben keine Abflussmessungen erfolgen können, wird die Minderung des Zustandes für die gesamte Schalmeschlucht am Faukenbach (unterstromig) definiert

<sup>6</sup> die Wasserwirtschaftl. Beweissicherung des Kankerbachs findet monatlich seit März 2023 statt, in diesem Zeitraum konnte keine messbare Schüttung festgestellt werden

Neben den wasserrechtlichen Belangen werden die geschätzten, geminderten Abflussdaten in der Beurteilung der Auswirkungen auf die betroffene Flora und Fauna im Rahmen der naturschutzfachlichen Bearbeitung (U19 – Umweltfachliche Untersuchung) eingesetzt.

#### 6.8.8 Maßnahmen und Überwachungskonzept

Die Auswirkungen der Grundwasserentnahme aus GWK 1\_G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs über die Wasserhaltung der Tunnelvortriebe (Bauzustand) und die Bauwerksdrainage der Tunnelbauwerke (Betriebszustand) sind durch ein umfassendes Monitoring der Quellen, Oberflächengewässer und Grundwassermessstellen zu überwachen, wie es bereits im Rahmen der WWBS erfolgt. Im Bauzustand ist eine Einleitung des entnommenen Grundwassers aus der Wasserhaltung der Tunnelvortriebe in den Katzenbach und den Kankerbach über Gewässerschutzanlagen vorgesehen. Im Betriebszustand ist eine vollständige Versickerung des Grundwassers aus der Bauwerksdrainage der Tunnelbauwerke in den im Abstrom folgenden Grundwasserleiter GWK 1\_G096 Quartär – Penzberg vorgesehen (Wassertechnische Untersuchung – U18; Kapitel 2). Die daraus entstehenden Auswirkungen auf den Grundwasserleiter GWK 1\_G096 Quartär – Penzberg im Bereich des Loisachtals, sowie die darin befindlichen Trinkwasserschutzgebiete und Trinkwassergewinnungsanlagen werden im Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie behandelt [46].

Tunnelbautechnische Maßnahmen zur Verringerung der Grundwasserzuströme sind nicht Gegenstand der geologisch-hydrogeologischen Bearbeitung und werden in der geplanten Konstruktion der Tunnelbauwerke (EB – Unterlage 1; Kapitel 4.1.7.5) untersucht und erläutert.

### 6.8.9 Zusammenfassung

Bei den vorliegenden hydrogeologischen Gegebenheiten ist gerade auf dem Nordabschnitt der Tunneltrasse im Wesentlichen von einer quantitativen Beeinflussung des Grundwassers und den damit in Verbindung gesehenen Quellen und Oberflächengewässern durch die Tunnelbauwerke (Bau- und Betriebszustand) auszugehen.

Für detaillierte Aussagen sind längere kontinuierliche Messungen, v.a. an den 2022-2023 neu hinzugekommenen Oberflächengewässern, sowie teils zusätzliche Datenaquise (z.B. Datensammleereinbau KB 12/11) erforderlich. Hydrogeologische Prognosen innerhalb eines derart heterogen aufgebauten Kluft- und Karstgrundwasserleiters werden dennoch aufgrund der Komplexität des Systems immer Prognoseunsicherheiten beinhalten. Ein Kenntnis- und Detaillierungsgrad wie der des Porengrundwasserleiters GWK 1\_G096 Quartär – Penzberg im Bereich des Loisachtals wird daher nie erreicht werden können.

Eine Betrachtung von Referenzprojekten sowie eine Plausibilitätskontrolle und Ergänzung sämtlicher Erkenntnisse durch eine Modellkaskade aus Hydrologischem Modell, Prinzipmodell Wankmassiv und Grundwassermodell Loisachtal (Wasser-technische Untersuchung – Unterlage 18; Kapitel 3) stellt eine bestmögliche Annäherung der Prognose an die Realität dar.

## 6.9 Einfluss des Grundwassers auf die Baumaßnahmen

### 6.9.1 Wasserhaltungsmaßnahmen

Aufgrund der prognostizierten Spitzen- und quasistationären Tunnelzuflüsse (siehe Kapitel 6.8.2) sind nachfolgende Maßnahmen während der Bauphase im entsprechenden Ausmaß vorzusehen:

- Installation von Wasserhaltungsmaßnahmen während des Vortriebs
- Installation einer Gewässerschutzanlage während der Bauphase.

### 6.9.2 Chemismus des Grundwassers – Betonaggressivität

Im Zuge des hydrologischen Beweissicherungsprogramms wurden bisher aus 14 Grundwassermessstellen und aus 16 Quellen Wasserproben (z.T. aus verschiedenen Messorten) entnommen und hydrochemisch untersucht (aus den Messstelle KB 14(s)/11, KB 15(s)/11, KB 21/22, KB 22(s)/22, KB 23(s)/22, KB 24(s)/22 sind keine Wasserproben vorhanden, da die Messstellen trocken waren oder zu geringe Wasserstände aufwiesen bzw. es sich um Schrägbohrungen mit eingebauten Datensammler handelt). Die Probenahmen fanden im Dezember 2010, Februar 2011, Juni 2011, Dezember 2011, April 2012, Juli 2021, September 2021, November 2021, März 2022, Juni 2022 März 2023, Juni 2023 und Dezember 2023 statt.

Die Auswertung der bisher vorhandenen Analysen ergibt folgendes Bild:

- Alle untersuchten Wässer sind gemäß DIN 4030 als nicht betonangreifend einzustufen.
- Die Wässer in den Messstellen, KB 04(s)/10, KB 10/11, KB 11/11, KB 12/11, KB 13/11, KB-60/21, KB-75/21 und KB-76/21 sind als calcitabscheidend einzustufen.
- Die Wässer in den Messstellen KB 02/10, KB 06/10, KB 08/10 und KB 09/10 sind teils als calcitabscheidend, teils als calcitlösend einzustufen.
- Die elektrischen Leitfähigkeiten in den Grundwassermessstellen liegen zwischen ca. 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis ca. 780  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lediglich in den Messstelle KB 08/10

, KB 09/10, KB 19/11, KB 75/21 und KB 76/21 wurden höhere elektrische Leitfähigkeiten zwischen ca. 400 und 2570  $\mu\text{S}/\text{cm}$  festgestellt.

- Die elektrischen Leitfähigkeiten der meisten Quellen liegen zwischen ca. 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Quelle WV Wankhaus weist mit 261-309  $\mu\text{S}/\text{cm}$  etwas niedrigere Werte. Ein etwas höherer Wert (767  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) wurde einmalig bei der Quelle Kankerbach im März 2011 gemessen, wobei die Quelle ab 2012 nicht mehr gemessen werden konnte. Im Allgemeinen sind die Quellwässer als gering bis mittel mineralisiert zu bezeichnen.
- Die pH-Werte aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von 6,6-8,3.

### 6.9.3 Versinterungspotential

Das Versinterungspotential des zu erwartenden Grundwassers beim Vortrieb des Wanktunnels wurde nach RI-BWD-TU (2007) abgeschätzt, wobei die Wasserproben aus den Grundwassermessstellen untersucht wurden.

Zur Beurteilung des Versinterungspotentials wurde der Sättigungsindex nach Langelier gemäß DIN 38404, Teil 10 berechnet. Nachfolgend sind die Ergebnisse dargestellt:



**Tabelle 50: Sättigungsindex der Probenwässer**

Messstelle	SI-Index min	SI-Index max	Anzahl SI-Index- Analysen bis 2023	Bewertung gemäß DIN38404
<b>KB 02/10</b>	-0,15	0,74	10	Calcit abscheidend mit einer Ausnahme
<b>KB 04s/10</b>	0,4	0,69	3	Calcit abscheidend
<b>KB 06/10</b>	-0,49	0,58	9	Calcit abscheidend mit einer Ausnahme
<b>KB 08/10</b>	-0,32	0,81	10	Calcit abscheidend mit einer Ausnahme
<b>KB 09/10</b>	-0,04	0,6	6	Calcit abscheidend mit einer Ausnahme
<b>KB 10/11</b>	0,06	0,69	8	Calcit abscheidend
<b>KB 11/11</b>	0,05	0,73	8	Calcit abscheidend
<b>KB 12/11</b>	0,11	0,89	8	Calcit abscheidend
<b>KB 13/11</b>	0,06	0,76	9	Calcit abscheidend
<b>KB 19/11</b>	-0,04	0,65	4	Calcit abscheidend mit einer Ausnahme
<b>KB 25s/23</b>	0,48	0,48	1	Calcit abscheidend
<b>KB 60/21</b>	0,13	0,53	3	Calcit abscheidend
<b>KB 75/21</b>	0,01	0,34	3	Calcit abscheidend
<b>KB 76/21</b>	0,07	0,75	2	Calcit abscheidend

Aus der Tabelle wird deutlich, dass das in den Bohrungen beprobte Grundwasser vorwiegend als Calcit abscheidend einzustufen ist. Sehr gering negative SI-Indices treten sehr untergeordnet auf, so dass hier eher von einem Calcit abscheidendem Chemismus und nicht von einem wechselnden, teils Calcit abscheidendem, teils Calcit lösendem Verhalten der Wässer auszugehen ist.

Es kann festgehalten werden, dass die Zusammensetzung des Grundwassers in GWK 1\_G093 Alpen – GAP im Bereich des Wankmassivs für die Versinterungen eine wesentliche Rolle spielt und im Fall des Wanktunnels hier die entsprechenden Gegebenheiten deutlich vorhanden sind. Andererseits spielen jedoch auch der Einsatz von alkalischen Baustoffen sowie die Ausführung der Drainagesysteme im

Tunnelbau eine wesentliche Rolle bei der Versinterungsneigung bzw. Ausbildung von Versinterungen.

Die Calcit Abscheidung, d.h. eine Überschreitung des Löslichkeitsproduktes mit Ausfällung von Salzkristallen, wird durch folgende Vorgänge verursacht bzw. begünstigt:

- Eindickung der Lösung (Verdunstung) – z.B. große Kontaktflächen, langsame Fließgeschwindigkeiten und lange Fließstrecken
- Temperaturerhöhung – vor allem im Sommer, im Bereich der Tunnelportale oder bei langen und schlecht belüfteten Tunnels
- Druckreduzierung – im Tunnel herrschen im Vergleich zum umgebenden Gebirge atmosphärische Verhältnisse
- Chemische Reaktionen, d.h. Anstieg des Gehaltes an gleichartigen Ionen oder pH-Erhöhung – Einsatz von alkalischen und gut eluierbaren Baustoffen oder Mischung verschiedener Wässer
- Verstärkte Keimbildung – Ungünstige Materialien bzw. vorhandene Verunreinigungen in den Drainagesystemen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass für das Untersuchungsgebiet auf Basis der bisher vorliegenden Analysedaten keine bauwerksrelevanten hydrochemischen Verhältnisse wie z.B. erhöhte Sulfatführung / Betonaggressivität zu erwarten ist. Von Sinterbildungen z.B. in Tunneldrainagen ist jedoch auf Basis der vorhandenen chemischen Analysen auszugehen. Entsprechende Maßnahmen sind z.B. bei der Planung / Festlegung der Tunneldrainage zu berücksichtigen.

#### 6.9.4 Geotechnische Auswirkungen

In veränderlich festen Gesteinen (v.a. Tonsteine, Mergelsteine, Störungsgesteine, Karstfüllungen) kann es während der Bauphase in Kombination mit Wasserzutritten zur Verschlammung, Beeinträchtigung der Fahrbahnqualität etc. kommen. In Bereichen unterhalb des Grundwasserspiegels ist prinzipiell mit Wasseraustritten auch aus der Sohle zu rechnen und dementsprechende Maßnahmen bei der Planung zu berücksichtigen (z.B. Sohl drainage).

Während des Ausbruchs kann es durch Wasserzutritten zu Instabilitäten in der Ortsbrust und Laibung kommen. Insbesondere im Bereich lockermaterialgefüllter Klüfte und Hohlräume kann es zum Eintrag von wassergesättigtem Material kommen.

Durch das lokal erhöhte Quellpotential der Gesteine in Kombination mit Wasserzutritten kann es lokal zu Hebungen kommen (v.a. im Bereich der Überschiebungszone im Zentralabschnitt, vgl. Kapitel 4.6). Quelfähiger Anhydrit wurde bei den Erkundungen nicht angetroffen, kann aber innerhalb der Raibl-Formation nicht gänzlich ausgeschlossen werden.





## 7 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM BEREICH DER ANSCHLUSSSTELLEN

### 7.1 Anschlussstelle Nord

Das Nordportal des Wanktunnels liegt am Hangfuss des Wankmassivs im Übergang zur Talflur des Loisachtales. Gemäß Bohr- und Kartierungsergebnissen schneidet der Voreinschnitt Nord bis zum bergmännischen Portal in den Festgesteinsrücken ein, wobei dem Festgesteinsuntergrund eine geringmächtige Hangschuttdecke auflagern kann. Abgesehen von dieser Lockermaterialbedeckung, liegt der Voreinschnitt in Festgesteinen.

Entsprechend der vorliegenden Erkundung stehen im Voreinschnitt/Portalbereich Dolomite der Hauptdolomit-Formation an, welche durch tektonische Beanspruchung von zahlreichen Trennflächen durchzogen und daher zerlegt sind. Dieser Gebirgsabschnitt wird als Zerüttungszone bezeichnet und der Gebirgsart F3 zugeordnet. Das Vorhandensein einer bis maximal 1,5 m mächtigen Hangschuttbedeckung ist wahrscheinlich.

Im Bereich des Nordportales wurden im Oktober 2023 ergänzend zwei (Profil 1 und Profil 2) tunnelparallele, 162 m und 166 m lange geoelektrische Messprofile ausgeführt. Profil 2 liegt ca. 15 m und Profil 1 ca. 75 - 80 m nordnordöstlich der Tunnelachse. Die dazugehörigen berücksichtigten Referenzbohrungen sind KB 07(H)/10 und KB 08/10.

Die Talflur weist lt. beiden Geoelektrikprofilen "geologisch uneinheitliches Material vorwiegend kiesig-sandig" mit bindigen Einlagerungen auf, was plausibel der Lockermaterialtalfüllung entsprechen würde. Im Hangbereich allerdings weisen die beiden Geoelektrikprofile im Vergleich zueinander unterschiedliche Ergebnisse auf. Profil 1 zeigt dort im steileren Hanggelände plausibel anstehenden Fels mit geringer Lockermaterialüberdeckung auf und eine unter dem Talniveau steil abfallende Felslinie. Sehr auffällig ist aber im mittleren Hangbereich eine steilstehende „messtechnisch vorhandene, ca. 3 – 4 m mächtige Zwischenlage aus besser leitfähigen Materials“, die unklar einerseits als „Störung mit Einlagerung bindig-sandig-kiesigem, lockerem“ Material und andererseits als „Kluftfüllung oder eine bindige Zwischenschüttung, z.B. durch einen Murabgang“ interpretiert wird. Eine Interpretation als „Murmaterialzwischenschüttung“ erscheint aber als sehr unwahrscheinlich bis fast unmöglich, eine Deutung als Störzone mit kakiritischem Störungsmaterial aber durchaus realistisch.

Profil 2 in einem etwas flacheren Gelände zeigt wiederum im größten Teil des Hanges, außer im untersten Hangbereich am Übergang zur flachen Talflur, eine ca. 5 – 12 m mächtige Hangschuttdecke (oder eine Verwitterungszone im Fels mit starker Klüftung) über dem Festgestein, das aber keine oben erwähnte 3 – 4 m mächtige Zwischenlage (Störzone) aufweist. Demgemäß müsste die Störzone entweder als seichte, hangparallele oder nur im Bereich des Profils 1 aus dem dahinterliegenden Gebirge in die Luft ausstreichende, also nicht mehr in den Tunnelquerschnitt hineinreichende tektonische Störzone gesehen werden.

Letztlich wird in der Interpretation der Messergebnisse der beiden Profile aufgrund der deutlichen Unterschiede ein „Unterschied hinsichtlich der Zusammensetzung des Hanges zwischen den beiden Profilen aus der Messung fundiert abgeleitet“. Mit Grundwasser ist im Voreinschnittsbereich nicht zu rechnen, jedoch ist das Auftreten von witterungsabhängigem Sickerwasser möglich.

Nordwestlich des Portalbereiches schließt sich die Talfüllung des Loisachtales an, die in diesem Bereich aus verschiedenen ausgebildeten sandigen Kiesen besteht. Es handelt sich um locker bis mitteldicht gelagerte, weitgestufte, sandige Kiese und schluffige Kiese der Loisach. In die Kiese können Rollkieslagen, Sandlagen,

aber auch dm- bis m-mächtige feinkörnigen Lagen eingeschaltet sein, die z.T. bis in oberflächennahe Bereiche (z.B. K 14/1s Bohrung 1-3, gesonderter Bericht) reichen. Die Kiese und Sande wurden fluviatil durch die Loisach abgelagert, bei den Tonen und Schluffen handelt es sich um Stillwassersedimente, die in zeitweise gebildeten Seen / Stillwasserbereichen zur Ablagerung kamen. Innerhalb dieser feinkörnigen Sedimente mit weicher bis steifer Konsistenz treten geringmächtige Lagen aus Torf in unterschiedlichen Niveaus auf (teils relativ oberflächennah bei 2-3 m unter GOK bei K14/1s Bohrung 2 und 3, gesonderter Bericht).

Mit dem Vorkommen von Anschüttungen und anthropogen verändertem Material ist zu rechnen, allem voran in der unmittelbaren Umgebung der bestehenden B2. Festgesteine wurden im Bereich der Anschlussstelle Nord bis in bauwerksrelevante Tiefen nicht erkundet.

Der Grundwasserstand liegt ca. 3 bis 6 m unter Geländeoberkante.

## 7.2 Anschlussstelle Süd

Das Südportal des Wanktunnels befindet sich an der südlichen Hangflanke des Wankmassivs in Richtung Kankertal nahe dem Weiler Anzlesau. Es schneidet in schleifendem Verschnitt in einen flach bis mittelsteil nach Südsüdwest einfallenden Hang ein. Der Hang ist teilweise mit Buschwerk bewachsen und teils als Wiesenfläche landwirtschaftlich genutzt. Die im Allgemeinen vergleichsweise flache Hangneigung ist auf die relativ weichen Gesteine der Partnach-Formation und Raibl-Formation (überwiegend Schiefertonzfazies) sowie deren starke tektonische Beanspruchung zurückzuführen. Die eiszeitliche Überprägung des Geländes (Erosion sowie Ablagerung von Moränenablagerungen und spätwürmzeitlichen glazifluviatilen Schmelzwasserschotter der Kanker) hat vermutlich zu den vorhandenen teils kleinräumig wechselnden Oberflächenformen (leicht hügeliges Gelände) geführt.

Im unmittelbaren Portalbereich / Voreinschnitt beträgt die Lockergesteinsbedeckung aus Moränenmaterial nur wenige Dezimeter bis wenige Meter. Darunter folgt der relativ stark tektonisch überprägte Festgesteinsuntergrund aus Gesteinen der Raibl-Formation und Partnach-Formation. Dieser besteht aus einer heterogenen Wechselfolge aus häufig tektonisch stark beanspruchten Tonsteinen, Mergelsteinen und Kalksteinen, welche häufig einen hohen Zerlegungs- und Verwitterungsgrad, sowie lokal Einschaltungen von schluffig-tonigem bis kiesigem Lockermaterial (Kluft- und Hohlraumfüllungen) aufweisen. Abschnittsweise sind die Gesteine komplett tektonisiert und als Bimrock vorliegend. Trennflächen können tonig-schmierig bestegt sein.

Im Oktober 2023 wurde zusammen mit zwei Geoelektrikprofilen im Bereich des Nordportales auch am Südportal 1 tunnelparalleles, 180 m langes Geoelektrikprofil gemessen. Dabei haben die spezifischen elektrischen Widerstandsmessungen „schlechter leitfähiges Material im oberen und unteren Tiefenbereich der Messung, welches von einem besserleitfähigen Material horizontal getrennt wird“ ergeben. Die Ursache für diese zwischenliegende, ca. 10-15m mächtige, besserleitfähige Schicht, die sonst als kiesig bis bindiges Lockermaterial, oder als Kluftfüllung, oder Störungsmaterial (Kakirit, fault gouge, etc.) interpretiert werden würde, lässt sich lt. Geophysikbericht nicht festlegen. Daher können die Ergebnisse für die Geoelektrikmessung im Bereich des Südportales nicht berücksichtigt werden.

Weiter südlich Richtung bestehende B2 und v.a. südlich der B2 stehen unter der Mutterbodenbedeckung und einer bereichsweise ausgebildeten, teils organisch durchsetzten, meist wenige dm-mächtigen kiesig-schluffigen Deckschicht fluvio-glaziale Kiese mit einer Mächtigkeit bis max. 20 m mit mitteldichter, teils lockerer teils dichter Lagerung an. Bei diesen sandigen bis stark sandigen, meist schwach schluffigen, teils steinigen Kiesen mit überwiegend mitteldichter Lagerung handelt

es sich um Schmelzwasserablagerungen der Kanker, die den Moränenablagerungen auflagern.

Lokal können künstlichen Anschüttungen auftreten, v.a. im Nahbereich des B2-Damms. Gemäß mündlicher Mitteilung einer Grundstücksbesitzerin wurden vor Jahrzehnten innerhalb der fluvioglazialen Schotter im Projektgebiet der südlichen Anschlussstelle mehrere Kiesabbau betrieben. Daher ist v.a. im Bereich südlich der B2 mit anthropogen verändertem Material und künstlichen Auffüllungen in Tiefen von bis zu mehreren Metern zu rechnen. Eine konkrete Lokalisierung der ehemaligen Kiesgruben liegt nicht vor, Abweichungen von der typischen „Buckelwiesenmorphologie“ könnten jedoch erste Hinweise liefern (z.B. ca. 120 m südöstlich von KB 54/11). In der KB 19/11 wurde eine Anschüttung mit Ziegelresten bis ca. 2,5 m Tiefe angetroffen (südlich Fa. Maurer).

Die Moränenablagerungen sind als weitgestufte teils tonige, schluffig-sandige Kiese mit Steinen bis Schluff-Kies-Gemische mit unterschiedlichen Anteilen an Sand, Ton zu beschreiben und sind überwiegend dicht bis sehr dicht gelagert bzw. weisen eine steife bis halbfeste teils feste Konsistenz auf. Diese kiesigen Moränenablagerungen enthalten dm- bis m-mächtige Einschaltungen aus Tonen und Schluffen von halbfester bis fester Konsistenz. Aufgrund der durchwegs hohen Lagerungsdichte der Moränenablagerungen und der geologischen Vorgeschichte ist anzunehmen, dass diese Ablagerungen durch vormalige Gletscherauflast stark verdichtet bzw. überkonsolidiert sind (auf die jüngeren Ablagerungen (fluvio-glaziale Kiese, Hangschuttablagerungen) trifft dies nicht zu).

Für den Bereich der geplanten Trasse der freien Strecke ist davon auszugehen, dass der Fels im portalnahen Bereich in Tiefen von 1,5-7 m und mit zunehmender Entfernung zum Hang in Tiefen > ca. 10-20 m ansteht.

Hinsichtlich der Grundwasserverhältnisse ist auf Basis der vorhandenen Daten davon auszugehen, dass kein großräumiger, ausgedehnter Grundwasserkörper im Bereich des betreffenden Hangbereiches ausgebildet ist. Gemäß geologischem Bericht handelt es sich bei dem in den Bohrungen angetroffenen Grundwasser vielmehr um Schichtwasserhorizonte und um Hangwässer, die auf den gering durchlässigen Moränenablagerungen talwärts fließen. Wenige Meter südlich des Fußbereiches der geplanten Dammschüttung, tritt in einer Verebnungsfläche das Hangwasser an die Oberfläche, was zur Bildung einer Vernässungszone mit entsprechendem Bewuchs geführt hat. In der Bohrung KB 20/11, die in diesem Bereich liegt, wurde dementsprechend eine 2 m mächtige Torfschicht über wassers-tauenden Tonen und Moränenablagerungen angetroffen.



## 8 EMPFEHLUNG

### 8.1 Zusätzliche Erkundungsmaßnahmen

#### 8.1.1 Vorauserkundung in Bauphase

Es ist davon auszugehen, dass durch die Erkundungsmaßnahmen in der Planungsphase nicht alle Karsthohlräume bzw. nicht alle geotechnisch relevanten Störungen lagerichtig prognostiziert werden können. Um die geologisch-hydrogeologische Prognose zu präzisieren sollte der vorseilend geplante Rettungsstollen für umfassende vortriebsbegleitende Erkundungsmaßnahmen herangezogen werden, z.B. Kernbohrungen, Geophysik, um in Verdachtsbereichen (z.B. bei prognostizierten Störungszonen oder Verdacht auf Karsthohlräume) die genaue Lage sowie die Ausbildung dieser Strukturen feststellen zu können. Die Möglichkeit zur Ausführung dieser Bohrungen sollten bei Erstellung der Ausschreibungsunterlagen berücksichtigt werden.



## **9 ANLAGEN**

**Anlage 1: Geologischer Lageplan**

**Anlage 2: Geologisch-Hydrogeologischer Längenschnitt**

**Anlage 3: Geologisch-Hydrogeologische Querprofile**

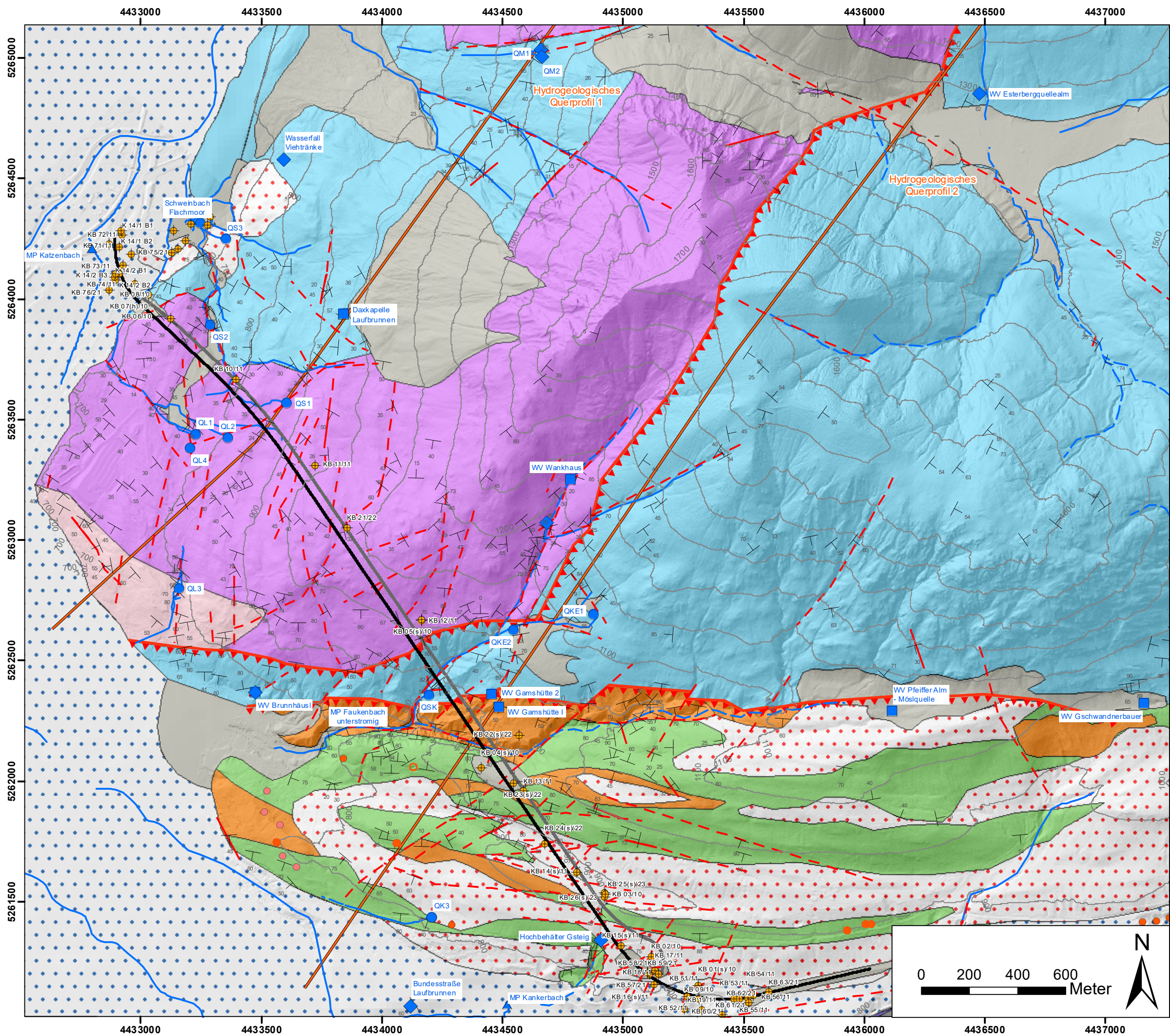
**Anlage 4: Hydrogeologischer Lagerplan**

**Anlage 5: Übersichtstabelle Durchlässigkeitsversuche**

**Anlage 6: Zustromberechnungen**







**Legende**

Fluviatile Sedimente (kiesbetont, sandbetont) / Schmelzwasserschotter

Moränenablagerungen (kiesbetont, feinkornbetont)

Quartäre Ablagerungen (undifferenziert) / Hang- und Verwitterungsschutt

Kössen-Formation

Plattenkalk

Hauptdolomit

Raibl Formation: Rauwacken

Raibl Formation: Schiefertonserie

Raibl Formation: Karbonatserie

Partnach-Formation

Überschiebung (vermutet / kartiert)

Störung (kartiert)

angenommener Störungsverlauf

**Dolinen**

Doline: vermutet

Doline: LfU Georisk-Objekt

Doline: LfU-Karte

**Quellen und Oberflächengewässer**

WWBS: gefasste Quelle

WWBS: freier Quellaustritt

WWBS: Messpunkt an Gerinne

Gewässer ohne WWBS

Gerinne

**Projekt**

Erkundungsbohrungen

Tunnelröhre

Rettungsstollen

<div>Planer</div> <div></div>			
		Datum	Name
	bearbeitet:	18.07.2024	Strauhal
	gezeichnet:	18.07.2024	Strauhal
Staatliches Bauamt Weilheim <div>Münchener Straße 39 82362 Weilheim Tel.: 0881/990-0, Fax: 0881/990-1000, E-Mail: poststelle@stbawm.bayern.de</div>			
	geprüft:	19.07.2024	Schwarz
	PSP Nr.:	B17S.ABBA0017.00	
	Dokumentennr.:		
Nr.	Art der Änderung	Datum	Zeichen

**PLANFESTSTELLUNGSVERFAHREN**

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern

Staatliches Bauamt Weilheim

Straße / Abschn.-Nr. / Station: B 2 / Abschn. 255, Stat. 0,000 - Abschn. 230, Stat. 7,045

PROJIS-Nr.: 09 890645 00

Unterlage / Blatt-Nr.:

Maßstab: 1:15.000

**B 2 München-Mittenwald**

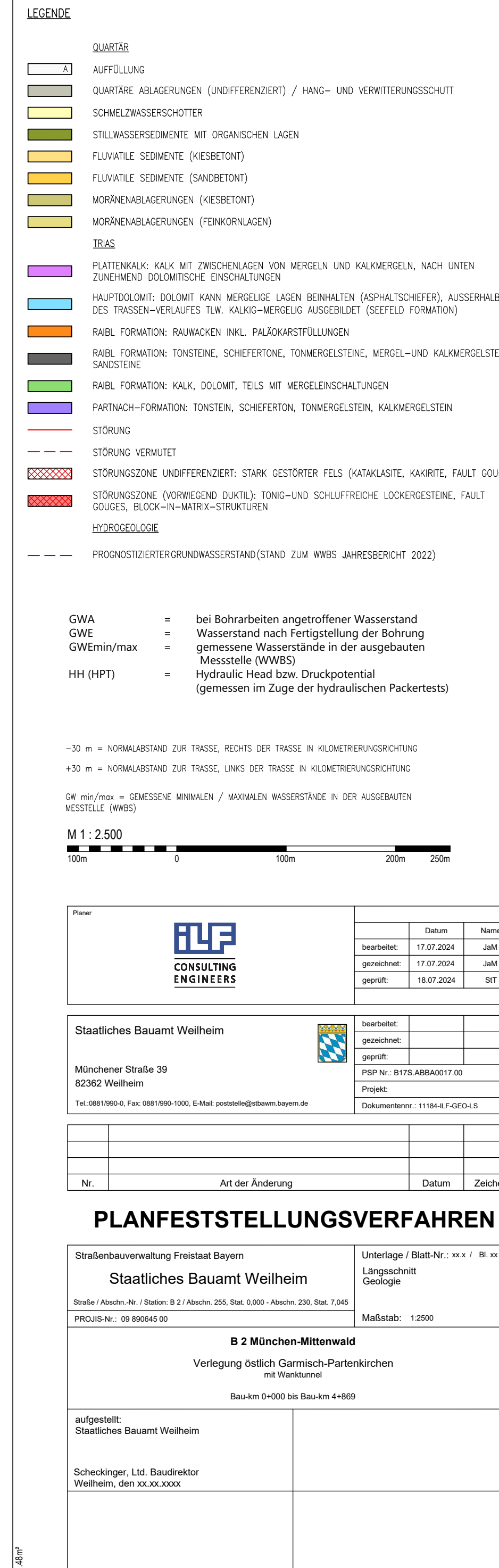
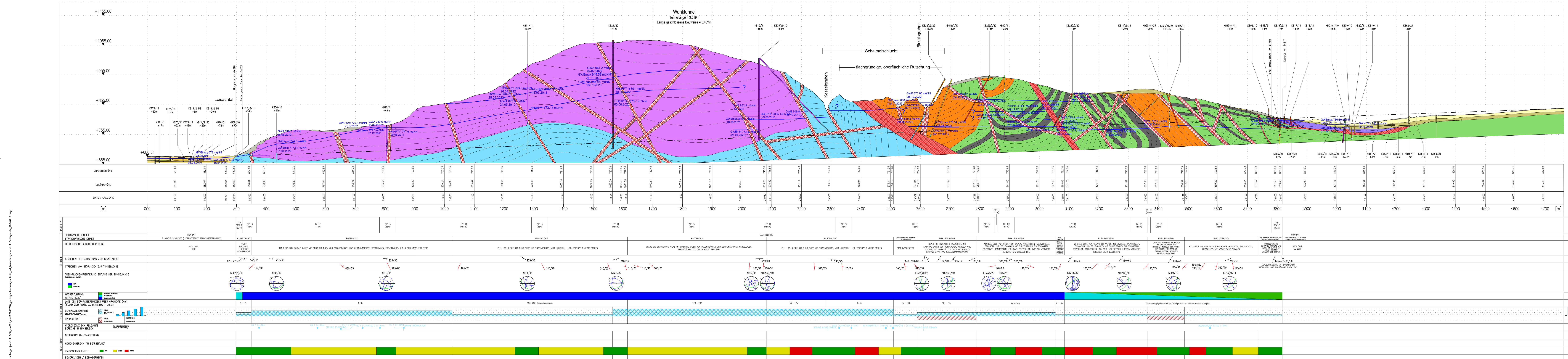
Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel

Bau-km 0+000 bis Bau-km 4+869

aufgestellt:  
Staatliches Bauamt Weilheim

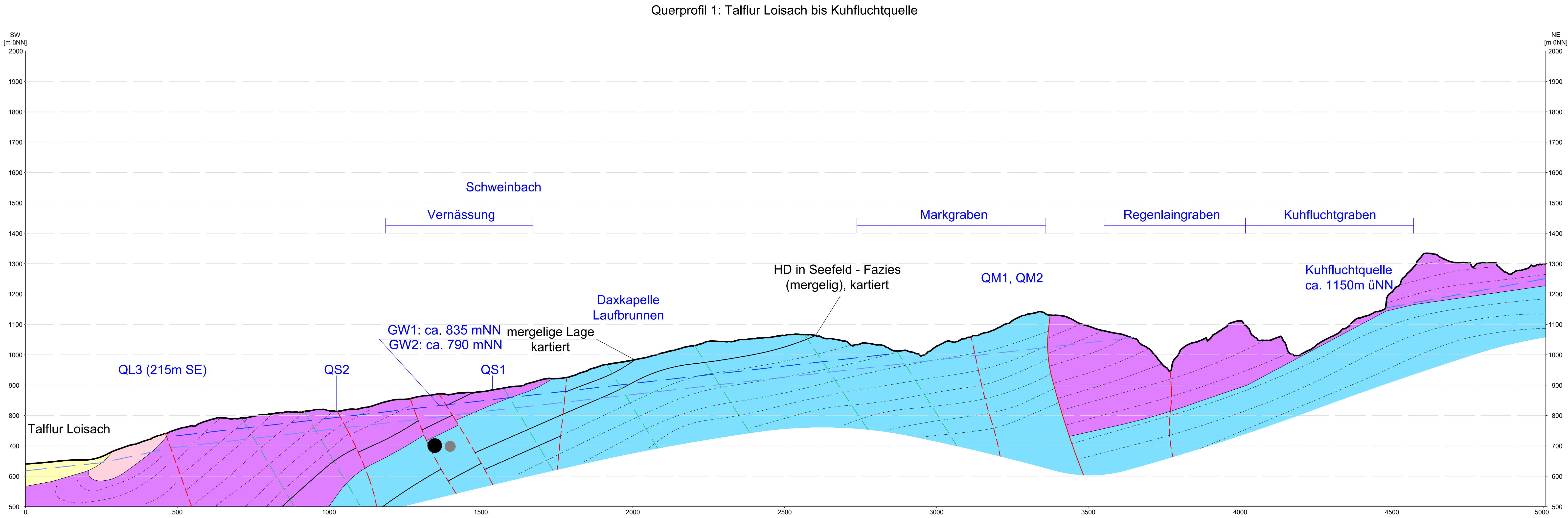
Weilheim, den



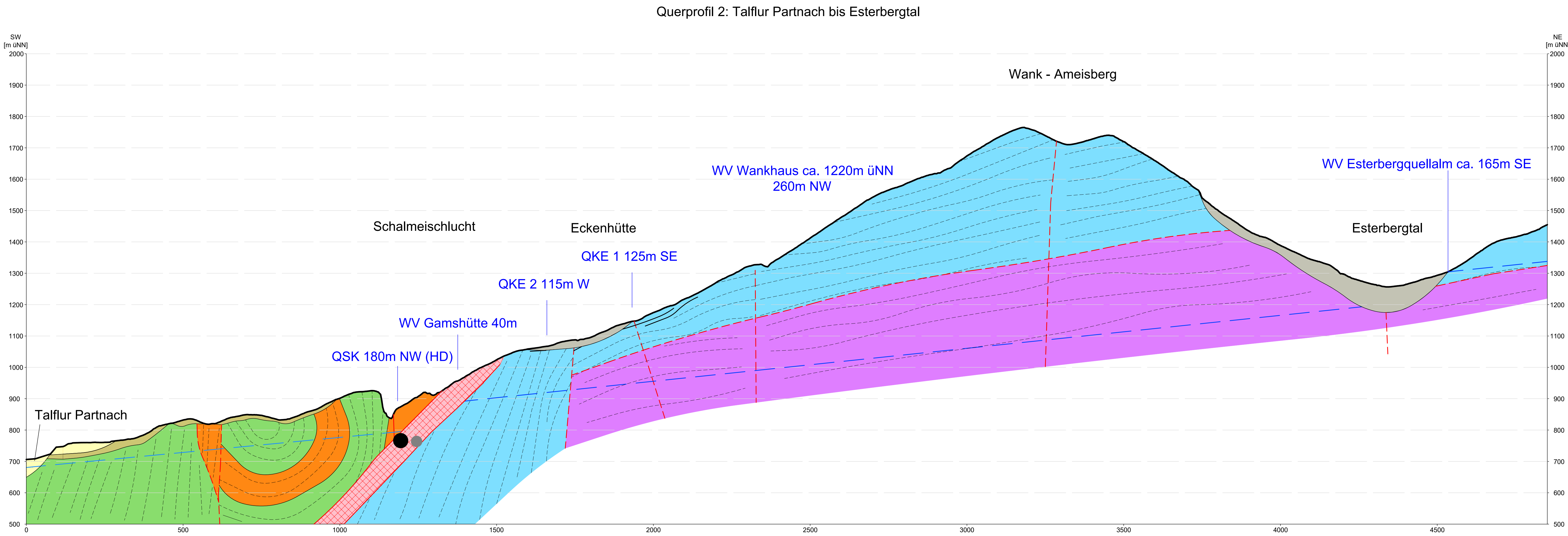




© 2024 L&L Projekt 11846\_saf01\_querprofilwank\_hydrogeol\_20211\_kawg



- Legende
- Quartär
- Quartäre Ablagerungen, undifferenziert / Hang- und Verwitterungsschutt
  - Fluviale Sedimente (kies- und sandbetont) / Schmelzwasserschotter
  - Moränenablagerungen (kies- und feinkornbetont)
- Trias
- Kössen-Formation: Kalk-Mergel-Wechsellage
  - Plattenkalk: Kalk mit Zwischenlagen von Mergeln und Kalkmergeln, nach unten zunehmend dolomitische Einschaltungen
  - Hauptdolomit: Dolomit, kann mergelige Lagen (Asphaltschiefer), außerhalb des Trassenverlaufes tlw. kailig-mergelig ausgebildet (Seefeld-Formation)
  - Raibl-Formation: Rauwacken inkl. Paläokarstfüllungen
  - Raibl-Formation: Kalk, Dolomit, teils mit Mergel einschaltungen
  - Partnach-Formation: Tonstein, Schieferen, Tonmergelstein, Kalkmergelstein
- Störung
- Störung vermutet
  - Klüfte
  - Störungszone (vorwiegend duktil): tonig- und schluffreiche Lockergesteine, Fault Gouges, Block-in-Matrix-Strukturen
- Prognostizierter Grundwasserstand (Stand zum WWBS Jahresbericht 2022)



		Datum	Name
	bearbeitet:	15.07.2024	Strauhal
	gezeichnet:	15.07.2024	Strauhal
	geprüft:	17.07.2024	Schwarz

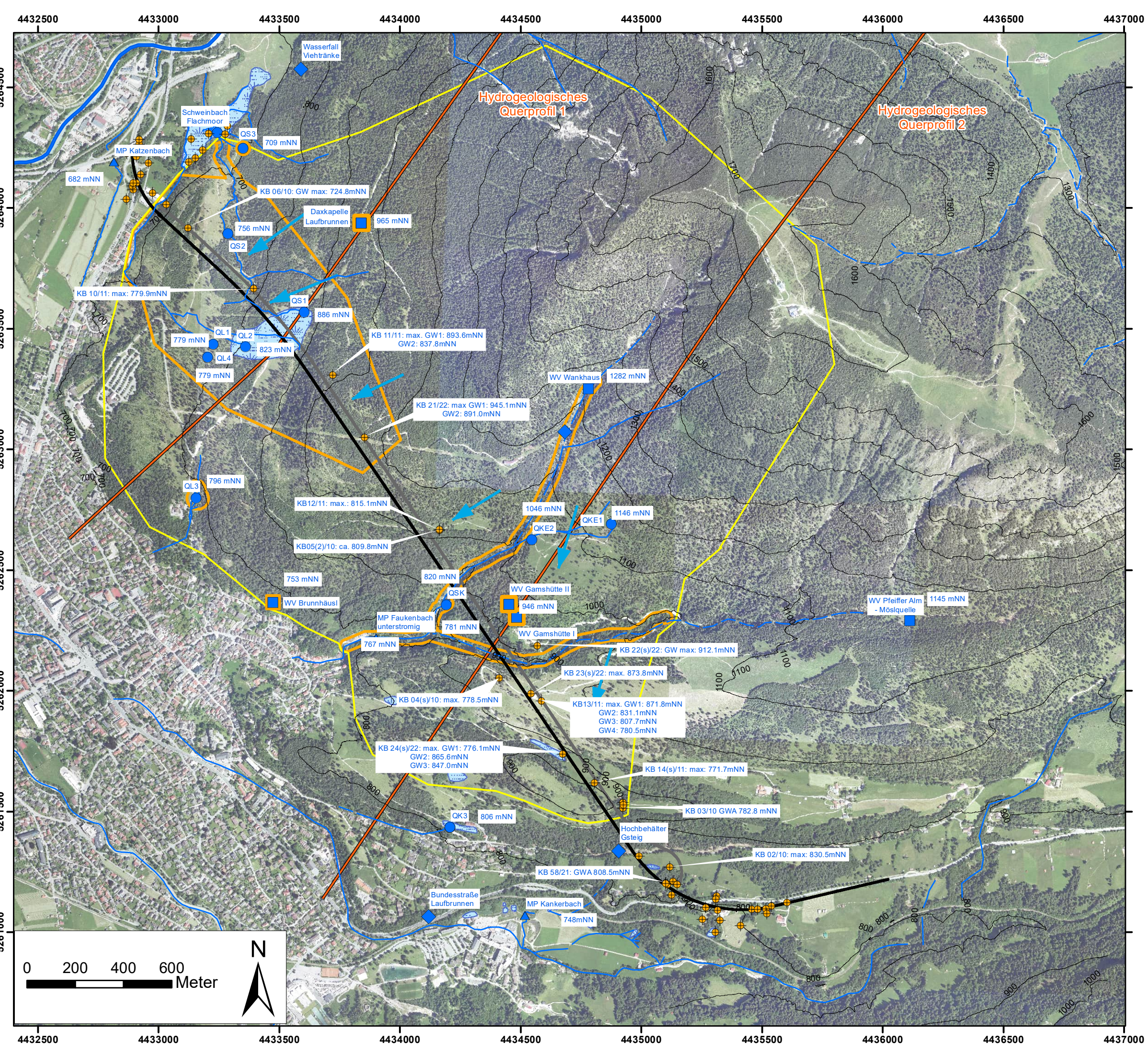
Staatliches Bauamt Weilheim		bearbeitet:		
Münchener Straße 39 82362 Weilheim		gezeichnet:		
Tel. 0881/9950-0, Fax 0881/9950-1000, E-Mail: poststelle@stbawm.bayern.de		geprüft:		
		Proj.-Nr.:	01175 ABBA0017.00	
		Dokumentation:		

Nr.	Art der Änderung	Datum	Zeichen

## PLANFESTSTELLUNGSVERFAHREN

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern		Unterlage / Blatt-Nr.:
Staatliches Bauamt Weilheim		
Straße / Abschn.-Nr. / Station: B 2 / Abschn. 215, Stk. 0,000 - Abschn. 220, Stk. 7,045		
PROJ.-Nr.: 09 890645 00		Maßstab: 1:5.000
<b>B 2 München-Mittenwald</b>		
Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel		
Bau-km 0+000 bis Bau-km 4+889		
aufgestellt: Staatliches Bauamt Weilheim		
Weilheim, den		





### Legende

#### Quellen und Oberflächengewässer

- WWBS: gefasste Quelle
- WWBS: freier Quellaustritt
- ▲ WWBS: Messpunkt an Gerinne
- ◆ Gewässer/Quellen ohne WWBS
- Gerinne
- - - Gerinne (periodisch wasserführend)
- Vernässungszone
- Prognose Fließrichtung Grundwasser
- Bereich mit prognostizierter Beeinflussung Grundwasser (Beeinflussung Grundwasser Loisachtal siehe [47])
- Bereich mit prognostizierter Beeinflussung Oberflächengewässer und Quellen

#### Projekt

- Erkundungsbohrungen
- Tunnelröhre
- Rettungsstollen

<div>Planer</div> <div></div>		Datum	Name
	bearbeitet:	06.08.2024	Strauhal
	gezeichnet:	06.08.2024	Strauhal
	geprüft:	06.08.2024	Schwarz
<div>Staatliches Bauamt Weilheim</div> <div></div> <div>Münchener Straße 39 82362 Weilheim Tel.: 0881/990-0, Fax: 0881/990-1000, E-Mail: poststelle@stbawm.bayern.de</div>			
bearbeitet: <div></div>			
gezeichnet: <div></div>			
geprüft: <div></div>			
PSP Nr.: B7S.ABBA0017.00			
Projekt: <div></div>			
Dokumentnr.: <div></div>			
Nr.	Art der Änderung	Datum	Zeichen

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern		Unterlage / Blatt-Nr.:
Staatliches Bauamt Weilheim		
Straße / Abschn.-Nr. / Station: B 2 / Abschn. 255, Stat. 0,000 - Abschn. 230, Stat. 7,045		Maßstab: 1:15.000
PROJIS-Nr.: 09 890645 00		
<div>B 2 München-Mittenwald</div> <div>Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel</div> <div>Bau-km 0+000 bis Bau-km 4+869</div>		
aufgestellt: Staatliches Bauamt Weilheim		
Weilheim, den		



**Zusammenstellung hydraulische Durchlässigkeitsversuche im Hauptdolomit und Plattenkalk  
(Kramertunnel "GAP", Wanktunnel "KB")**

Bohrung	Versuchs- strecke [m]	Messintervall [m]	Stratigraphie	Lithologie	Versuchsart	kf-Wert [m/s]	Anmerkung
GAP 03/05	51,0- 57,0	6	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	5,6E-07	
GAP 04/05	88,5- 91,6	3,1	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	3,0E-09	
GAP 05/05	162,0- 165,4	3,4	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	2,0E-08	
GAP 05/05	181,0- 184,5	3,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	2,1E-08	
GAP 05/05	25,4- 198,0	172,6	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	3,5E-08	
GAP 10/06	39,8- 45,5	5,7	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	8,4E-07	
GAP 10/06	31,0- 44,0	13	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	AFV	1,2E-07	
GAP 11/06	52,0- 58,0	6	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	1,4E-07	
GAP 11/06	44,3- 64,0	19,7	Hauptdolomit Formation	Dolomitekataklasit	PPV	1,9E-06	
GAP 12/06	101,0- 212,0	111	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	6,8E-11	
GAP 12/06	13,7- 203,0	189,3	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	6,2E-09	
GAP 14/06	118,6- 124,0	5,4	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DS Test	3,7E-08	
GAP 14/06	105,0- 125,0	20	Hauptdolomit Formation	Dolomit	Slug Test	8,5E-10	
KB07(h)/10	60,0- 65,0	5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	3,7E-06	
KB11/11	233,2- 246,7	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	1,7E-07	
KB11/11	243,0- 256,4	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	2,5E-08	
KB11/11	256,2- 269,6	13,5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	3,9E-08	
KB11/11	268,1- 290,7	22,6	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	1,7E-07	
KB11/11	240,0- 290	50	Hauptdolomit Formation	Dolomit	PPV	2,6E-08	
KB 21/22	269,0- 365,0	96	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	7,4E-09	
KB 21/22	302,0- 309,0	7	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	2,6E-08	
KB 21/22	314,0- 321,0	7	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	3,1E-08	
KB 21/22	321,0- 328,0	7	Hauptdolomit Formation	Dolomit	DP	4,1E-09	
KB 21/22	330,0- 365,0	35	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	3,5E-08	
KB 21/22	347,0- 365,0	18	Hauptdolomit Formation	Dolomit	EP	2,6E-08	
KB 05(s)/10	335,0- 340,0	5	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	4,0E-05	mit Asphaltschiefer
KB 05(s)/10	320,0- 380,0	60	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	1,4E-06	
KB 05(s)/10	285,0- 380,0	95	Hauptdolomit Formation	Dolomit	WD Test	1,1E-06	
Mittelwert						1,8E-06	
gewichtetes Mittel, abhängig von der Messintervalllänge						4,7E-07	
Min						6,8E-11	
Max						4,0E-05	
Median						3,5E-08	
GAP 03/05	51,0- 57,0	6	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	5,6E-07	
GAP 04/05	88,5- 91,6	3,1	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	3,0E-09	
GAP 10/06	39,8- 45,5	5,7	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	Slug Test	8,4E-07	



GAP 10/06	31,0-44,0	13	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	AFV	1,2E-07	
GAP 11/06	52,0-58,0	6	Hauptdolomit Formation	Dolomit, stark zerlegt	WD Test	1,4E-07	
GAP 11/06	44,3-64,0	19,7	Hauptdolomit Formation	Dolomitekataklasit	PPV	1,9E-06	
Mittelwert						5,9E-07	
gewichtetes Mittel	abhängig von der Messintervalllänge					8,9E-07	
Min						3,0E-09	
Max						1,9E-06	
Median						3,5E-07	
GAP 06/05	97,0-102,6	5,6	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Pulse Test	3,5E-09	
GAP 06/05	61,0-108,0	47	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	2,7E-08	
GAP 13/06	67,0-70,2	3,2	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	3,5E-06	
GAP 13/06	62,0-82,0	20	Kössen Formation	Kalk/Mergel Wechselfolge	Slug Test	2,2E-07	
GAP 07/05	30,4-34,3	3,9	Kössen Formation	Kalk	Slug Test	5,3E-05	
GAP 08/05	26,4-38,5	12,1	Kössen Fm. / Plattenkalk Fm.	Kalk	WD Test	1,6E-08	
GAP 08/05	10,0-48,0	38	Kössen Fm. / Plattenkalk Fm.	Kalk	PPV	1,8E-06	
GAP 15/07	65,5-75,0	9,5	Kössen Formation	Kalk	Pulse Test	4,1E-10	
KB 07(h)/10	95,0-110,0	15	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD Test	6,9E-08	
KB 06/10	58,0-63,0	5	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD Test	4,7E-07	
KB 06/10	31,7-79,5	47,8	Hauptdolomit Fm. Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	PPV	1,2E-07	
KB 10/11	62,8-68,1	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	1,8E-05	
KB 10/11	71,5-76,8	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	WD	1,4E-09	
KB 10/11	81,2-86,5	5,3	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	5,5E-06	
KB 10/11	20,0-100,0	80	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	PPV	1,0E-05	
KB 12/11	218,3-229,0	10,7	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	5,6E-07	
KB 12/11	241,0-251,8	10,8	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	4,6E-06	
KB 12/11	251,7-262,5	10,8	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	DP	4,5E-06	
KB 12/11	262,1-275,0	12,9	Plattenkalk Fm.	Kalk, Dolomit, Mergel	EP	6,2E-06	
Mittelwert						5,7E-06	
gewichtetes Mittel	abhängig von der Messintervalllänge					4,1E-06	
Min						4,1E-10	
Max						5,3E-05	
Median						5,6E-07	
KB24s/22	22,0-32,16	10,16	Raibl Formation, Tonschiefer	Mergelstein bis Kalkmergelstein	DP	2,67E-08	
KB24s/22	35,0-45,16	10,16	Raibl Formation, Tonschiefer	Mergelstein, Sandstein, Tonstein	DP	1,36E-07	
KB24s/22	59,64-69,8	10,16	Raibl Formation, Tonschiefer	Kalkstein, Mergelstein, Sandstein, Tonstein (Schiefer)	DP	7,68E-08	
KB24s/22	80,0-91,16	11,16	Raibl Formation, Störungszone	Tonstein, Störungsgestein (z.T. Lockergesteinscharakter)	DP	7,2E-11	
KB24s/22	93,5-139,0	45,5	Raibl Formation, Störungszone	Tonstein, Störungsgestein (v.a. Lockergesteinscharakter), Mergelstein, Kalkstein	EP	1,04E-07	
KB25s/23	68,25-73,0	4,75	Raibl Formation, Rauhwacke	Kalkstein, Rauhwacke	EP	7,89E-07	
KB25s/23	121,76-131	9,24	Raibl Formation, Rauhwacke	Tonstein, Kalkstein	EP	1,24E-07	
Mittelwert						1,8E-07	
gewichtetes Mittel	abhängig von der Messintervalllänge					1,2E-07	
Min						7,2E-11	
Max						7,9E-7	
Median						1,0E-07	

## Absenkung des tieferen Stockwerks

1) GW-Höhen H Abschnitt 3-5 = tieferes GW-Stockwerk vor Absenkung,

A) Herth & Arndts  $h = 10$  (atmosphär. Druck)

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	3,50E-07	1	0,00	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	5,60E-07	49	12,5	Plattenkalk
3	116,5	10	540	3,50E-08	40	6,2	Hauptdolomit
4	157	10	56	3,50E-07	174	2,7	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	161	10	461	3,97E-06	602	77,2	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	3,50E-07	78	11,1	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:					110	l/s	

best case  
 Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
 Median KT + WT aus allen Versuchen in Dolomit / Kalk / Kalk-Mergel WF aus HD, PK, KF  
 Medianwert WT = 137 l/s  
 Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
 Mittelwert KB 12/11  
 Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
 Annahme: Absenkung ca. 50 %

B) Herth / Arndts  $h = 0,5 \cdot H$  (abgeleitet aus ca. 50 % mittlerer Absenkung in HD-Strecke Kramertunnel)

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0,25	29	3,50E-07	0	0,01	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	21,5	675	5,60E-07	32	14,1	Plattenkalk
3	116,5	58,25	540	3,50E-08	22	7,6	Hauptdolomit
4	157	78,5	56	3,50E-07	93	3,4	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	161	80,5	461	3,97E-06	321	95,9	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	38	452	3,50E-07	45	13,2	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:					134	l/s	

Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
 Median KT + WT aus allen Versuchen in Dolomit / Kalk / Kalk-Mergel WF aus HD, PK, KF  
 Medianwert WT = 137 l/s  
 Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
 Mittelwert KB 12/11  
 Medianwert Kramertunnel HD zerlegt

C) Anströmberechnung Schraft  $h=10$

➔ Keine Auswirkung der Änderung von H und h

Tunnelradius 3 m  
 Tunnelumfang 19 m

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	F [m²]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	547	3,50E-07	1	0,3	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	12723	5,60E-07	49	9,5	Plattenkalk
3	116,5	10	540	10179	3,50E-08	40	1,9	Hauptdolomit
4	157	10	56	1056	3,50E-07	174	0,6	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	161	10	461	8690	3,97E-06	602	17,3	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	8520	3,50E-07	78	5,0	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:					35	l/s		

2)  $0,5 \cdot H$  nach Absenkung (abgeleitet aus mittlerer Absenkung in der HD-Strecke Kramertunnel),  
 Annahme  $h=0$  (würde am ehesten einem quasistationären Zustand entsprechen)

A) Herth & Arndts

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,25	0	29	3,50E-07	0	0,00	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	21,5	0	675	5,60E-07	32	5,4	Plattenkalk
3	58,25	0	540	3,50E-08	22	2,9	Hauptdolomit
4	78,5	0	56	3,50E-07	93	1,3	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	80,5	0	461	3,97E-06	321	37,0	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	38	0	452	3,50E-07	45	5,1	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:					52	l/s	

B) Anströmberechnung Schraft

Tunnelradius 3 m  
 Tunnelumfang 19 m

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	F [m²]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,25	0	29	547	3,50E-07	0	0,3	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	21,5	0	675	12723	5,60E-07	32	9,5	Plattenkalk
3	92,5	0	540	10179	3,50E-08	35	1,9	Hauptdolomit
4	112,5	0	56	1056	3,50E-07	133	0,6	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	116	0	461	8690	3,97E-06	462	17,3	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	38	0	452	8520	3,50E-07	45	5,0	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:					35	l/s		

## Absenkung des höheren Stockwerks

- 1) GW-Höhen H Abschnitt 3-5 = höheres GW-Stockwerk vor Absenkung,  $h = 10$  (atmosphärischer Druck)

### A) Herth & Arndts

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	3,50E-07	1	0,00	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	5,60E-07	49	12,5	Plattenkalk
3	185	10	540	3,50E-08	65	9,7	Hauptdolomit
4	225	10	56	3,50E-07	254	3,8	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	232	10	461	3,97E-06	884	109,8	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	3,50E-07	78	11,1	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						147	l/s

Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Median KT + WT aus allen Versuchen in Dolomit / Kalk / Kalk-Mergel WF aus HD, PK, Kf  
Medianwert WT + KT HD  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Mittelwert KB 12/11  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt

### B) Herth / Arndts $h = 0,5 \cdot H$ (abgeleitet aus ca. 50 % mittlerer Absenkung in HD-Strecke Kramertunnel)

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0,25	29	3,50E-07	0	0,01	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	21,5	675	5,60E-07	32	14,1	Plattenkalk
3	185	92,5	540	3,50E-08	35	12,1	Hauptdolomit
4	225	112,5	56	3,50E-07	133	4,8	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	232	116	461	3,97E-06	462	138,2	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	38	452	3,50E-07	45	13,2	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						182	l/s

Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Median KT + WT aus allen Versuchen in Dolomit / Kalk / Kalk-Mergel WF aus HD, PK, Kf  
Medianwert WT + KT HD  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Mittelwert KB 12/11  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt

### C) Anströmberechnung

➔ Kein Einfluss der Änderung von GW-Höhen!

Tunnelradius 3 m  
Tunnelumfang 19 m


Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	F [m²]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	547	3,50E-07	1	0,3	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	12723	5,60E-07	49	9,5	Plattenkalk
3	185	10	540	10179	3,50E-08	65	1,9	Hauptdolomit
4	225	10	56	1056	3,50E-07	254	0,6	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	232	10	461	8690	3,97E-06	885	17,3	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	8520	3,50E-07	78	5,0	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						35	l/s	

- 2)  $0,5 \cdot H$  nach Absenkung (abgeleitet aus mittlerer Absenkung in der HD-Strecke Kramertunnel), Annahme  $h=0$  (würde am ehesten dem quasistationären Zustand entsprechen)

### A) Herth & Arndts

Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,25	0	29	3,50E-07	0	0,00	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	21,5	10	675	5,60E-07	17	7,0	Plattenkalk
3	92,5	10	540	3,50E-08	31	5,0	Hauptdolomit
4	112,5	10	56	3,50E-07	121	2,0	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	116	10	461	3,97E-06	422	56,5	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	38	10	452	3,50E-07	33	6,0	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						76	l/s

Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Median KT + WT aus allen Versuchen in Dolomit / Kalk / Kalk-Mergel WF aus HD, PK, Kf  
Medianwert WT + KT HD  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt  
Mittelwert KB 12/11  
Medianwert Kramertunnel HD zerlegt


	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungsstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Nordvortrieb)	Datum:	Feb 23

**Tunnelzufluss nach Herth & Arndts (1973)**

$$Q[m3 / s] = \left( 0,73 + 0,27 * \frac{H - h}{H} \right) * \frac{kf}{R} * (H^2 - h^2) * L$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
L: Abschnittslänge [m]

Input Parameters							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	3,67E-06	2	0,01	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	4,88E-06	146	37,0	Plattenkalk
3	185	10	540	5,08E-08	79	11,7	Hauptdolomit
4	225	10	56	3,67E-06	824	12,5	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	232	10	461	3,97E-06	884	109,8	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	1,42E-05	498	70,7	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						242	l/s

 BERATENDE INGENIEURE	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungsstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Südvortrieb)	Datum:	Feb 23

**Tunnelzufluss nach Herth & Arndts (1973)**


$$Q[m3 / s] = \left( 0,73 + 0,27 * \frac{H - h}{H} \right) * \frac{kf}{R} * (H^2 - h^2) * L$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
L: Abschnittslänge [m]

Input Parameters							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
7	45	10	79	5,98E-08	17	0,5	Störungszone bindig, Überschiebung
8	3,5	0	176	1,03E-06	7	0,3	Raibl Fmt: Rauhwacken
9	93,5	10	256	3,25E-07	95	7,3	Raibl Fmt: Kalk-, Ton-, Mergel-, Sandst., Schiefer-ton
10	0,5	0	40	6,87E-08	0	0,003	Störungszone bindig

Schüttung gesamter Tunnel:

8l/s

	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Nordvortrieb)	Datum:	Feb 23


  

**Tunnelzufluss über Anströmmengenermittlung nach Schraft 1986**

$$Q[m^3/s] = 2 * kf * \frac{H-h}{R} * F$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
 H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
 h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
 R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
 kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
 F: Sickerfläche

Input Parameters								
Tunnelradius	3 m							
Tunnelumfang	19 m							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	F [m²]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	547	3,67E-06	2	1,0	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	12723	4,88E-06	146	28,1	Plattenkalk
3	185	10	540	10179	5,08E-08	79	2,3	Hauptdolomit
4	225	10	56	1056	3,67E-06	824	2,0	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	232	10	461	8690	3,97E-06	884	17,3	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	8520	1,42E-05	498	32,1	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
<b>Schüttung gesamter Tunnel:</b>						<b>83</b>	<b>l/s</b>	

	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Südvortrieb)	Datum:	Feb 23


**Tunnelzufluss über Anströmmengenermittlung nach Schraft 1986**

$$Q[m^3/s] = 2 * kf * \frac{H-h}{R} * F$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
 H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
 h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
 R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
 kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
 F: Sickerfläche

Input Parameters								
Tunnelradius	3 m							
Tunnelumfang	19 m							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	F [m²]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
7	45	10	79	1489	5,98E-08	17	0,4	Störungszone bindig, Überschiebung
8	3,5	0	176	3318	1,03E-06	7	3,4	Raibl Fmt: Rauhwacken
9	93,5	10	256	4825	3,25E-07	95	2,7	Raibl Fmt: Kalk-, Ton-, Mergel-, Sandst., Schieferton
10	0,5	0	40	754	6,87E-08	0	0,2	Störungszone bindig
<b>Schüttung gesamter Tunnel:</b>						<b>7</b>	<b>l/s</b>	




	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungsstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Nordvortrieb)	Datum:	Feb 23

**Tunnelzufluss nach Herth & Arndts (1973)**

$$Q[m3 / s] = \left( 0,73 + 0,27 * \frac{H - h}{H} \right) * \frac{kf}{R} * \left( H^2 - h^2 \right) * L$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
L: Abschnittslänge [m]

Input Parameters							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
1	0,5	0	29	2,94E-06	2	0,01	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	4,5E-06	140	35,6	Plattenkalk
3	116,5	10	540	3,71E-08	41	6,4	Hauptdolomit
4	157	10	56	2,94E-06	504	7,9	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	161	10	461	4,55E-06	644	82,6	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	2,94E-06	226	32,1	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
Schüttung gesamter Tunnel:						<b>165</b>	<b>l/s</b>


 BERATENDE INGENIEURE	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungsstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Südvortrieb)	Datum:	Feb 23

**Tunnelzufluss nach Herth & Arndts (1973)**

$$Q[m3 / s] = \left( 0,73 + 0,27 * \frac{H - h}{H} \right) * \frac{kf}{R} * (H^2 - h^2) * L$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
L: Abschnittslänge [m]

Input Parameters							
Abschnitt	H [m]	h [m]	L [m]	kf [m]	R [m]	Q [l/s]	Anmerkung
7	45	10	79	8,19E-08	20	0,6	Störungszone bindig, Überschiebung
8	3,5	0	176	1,03E-06	7	0,3	Raibl Fmt: Rauhwacken
9	93,5	10	256	3,25E-07	95	7,3	Raibl Fmt: Kalk-, Ton-, Mergel-, Sandst., Schieferton
10	0,5	0	40	8,19E-08	0	0,003	Störungszone bindig
Schüttung gesamter Tunnel:					8	l/s	

	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Nordvortrieb)	Datum:	Feb 23


  

**Tunnelzufluss über Anströmmengenermittlung nach Schrafft 1986**

$$Q[m^3/s] = 2 * kf * \frac{H-h}{R} * F$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
 H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
 h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
 R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
 kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
 F: Sickerfläche

Input Parameters								
Tunnelradius	3 m							
Tunnelumfang	19 m							
Abschnitt	H	h	L	F	kf	R	Q	Anmerkung
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m]	[m]	[l/s]	
1	0,5	0	29	547	2,94E-06	2	0,9	Hauptdolomit (stark zerlegt)
2	43	10	675	12723	4,5E-06	140	27,0	Plattenkalk
3	116,5	10	540	10179	3,71E-08	41	2,0	Hauptdolomit
4	157	10	56	1056	2,94E-06	504	1,8	Hauptdolomit (stark zerlegt)
5	161	10	461	8690	4,55E-06	644	18,5	Plattenkalk (zerlegt, Muldenstruktur)
6	76	10	452	8520	2,94E-06	226	14,6	Hauptdolomit (stark zerlegt, Mulde, Überschiebung)
<b>Schüttung gesamter Tunnel:</b>						<b>65</b>	<b>l/s</b>	

	Project:	B2 Ortsumfahrung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel	Bearb.:	S.Sch.
	Object:	Rettungstollen Wanktunnel	Gepr.:	S.E.
	Titel:	Spitzenzuflüsse Richtung Nordportal (Südvortrieb)	Datum:	Feb 23

**Tunnelzufluss über Anströmmengenermittlung nach Schrafft 1986**

$$Q[m^3/s] = 2 * kf * \frac{H-h}{R} * F$$

Q: Tunnelzufluss [m³/s]  
 H: Grundwasserstand vor Beginn der Baumaßnahme [m]  
 h: Grundwasserstand abgesenkt (wird vereinfachend auf Atmosphärendruck gesetzt) [m]  
 R: Reichweite nach Sichardt, angepaßt für Linienbauwerke [m]  
 kf: hydraulische Durchlässigkeit [m/s]  
 F: Sickerfläche

Input Parameters								
Tunnelradius	3 m							
Tunnelumfang	19 m							
Abschnitt	H	h	L	F	kf	R	Q	Anmerkung
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m]	[m]	[l/s]	
7	45	10	79	1489	8,19E-08	20	0,4	Störungszone bindig, Überschiebung
8	3,5	0	176	3318	1,03E-06	7	3,4	Raibl Fmt: Rauhwacken
9	93,5	10	256	4825	3,25E-07	95	2,7	Raibl Fmt: Kalk-, Ton-, Mergel-, Sandst., Schieferton
10	0,5	0	40	754	8,19E-08	0	0,2	Störungszone bindig
<b>Schüttung gesamter Tunnel:</b>						<b>7</b>	<b>l/s</b>	