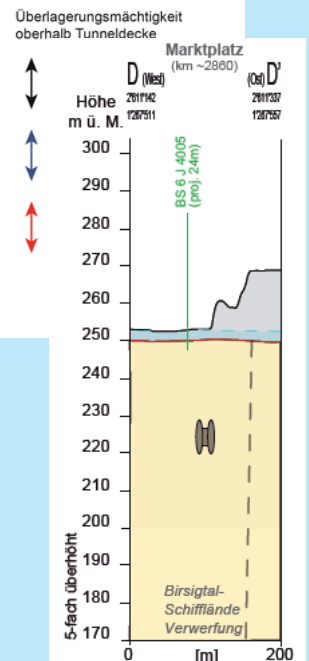
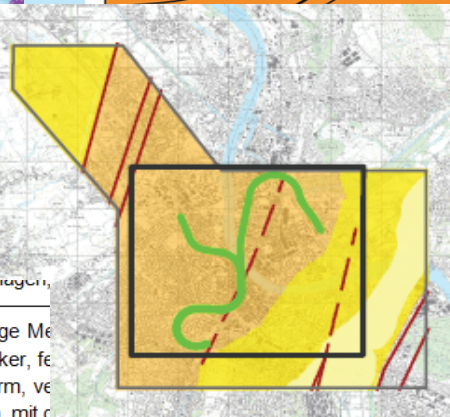
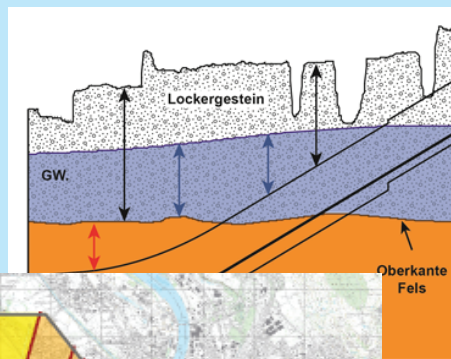


Meletta-Schichten
auch „Blaue Letten“
oder „Septarienton“

Tone und stark tonige Me
se auch Sande, locker, fe
merführend, fossilarm, ve
weise lehmig weich, mit c



Herzstück Y Synthese Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie

BGA Basel 148

November 2018

UNIVERSITÄT BASEL

Departement Umweltwissenschaften
Abteilung
Angewandte & Umweltgeologie

Bernoullistrasse 32
CH-4056 Basel

Tel. +41 (0)61 207 34 45
Fax +41 (0)61 207 29 98
E-Mail: info-aug@unibas.ch
<http://aug.duw.unibas.ch/>

Berichtstitel: Synthese Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie – Herzstück Y

Berichtsnummer: Baugrundarchiv (BGA), Basel 148

Auftraggeber: Götz Schackenberg
Konsortium
Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft
Bahnknoten- und Herzstück-Basel
Dufourstrasse 40/50, Postfach
CH-4001 Basel

Datum: 02. November 2018

Adresse Angewandte und Umweltgeologie
Departement Umweltwissenschaft
Universität Basel
Bernoullistrasse 32, 4056 Basel
T: 061 207 34 45 / F: 061 207 29 98
<https://duw.unibas.ch/de/aug/>

Sachbearbeiter: Prof. Dr. Peter Huggenberger
Dr. Horst Dresmann
Dr. Jannis Epting

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung und Reportsübersicht.....	3
2. Datengrundlage.....	9
3. Geologie.....	10
4. Hydrogeologie.....	23
5. Beschreibung der hydro-geologischen Kartendarstellungen und Profile.....	28
6. Zusammenstellung Geotechnik.....	30
7. Gefährdungen und Grundwasserschutz.....	31
8. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	35
Literatur.....	37
Verwendete Unterlagen.....	37
Abbildungsverzeichnis.....	37
Tabellenverzeichnis.....	38
Beilagenverzeichnis.....	38

Beilagen 16

1. Zusammenfassung und Reportsübersicht

1.1. Zusammenfassung

Im Folgenden werden die wichtigsten Aussagen aus der Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse und der ersten Beurteilung von möglichen Gefährdungsbildern zusammengefasst. Die Zusammenfassung beruht auf einer Reihe von früheren Berichten und Analysen der Verhältnisse im Projektperimeter. Zudem werden offene Fragen, bzw. Problemkreise skizziert, die in nachfolgenden Projektierungsphasen anhand von ergänzenden Untersuchungen abgeklärt werden sollen. Auf erkannte Kenntnislücken in den zur Verfügung gestellten Informationen und auf eine allfällige Unvollständigkeit der Daten wird hingewiesen.

Das Tunnelbauwerk Herzstück: Vom Bahnhof SBB kommend beginnt der Tunnel „Herzstück Y“ (Okt 2018), westlich der neuen Brücke am Zoo. Hier verläuft er auf einer Strecke von ca. 150 m in der ungesättigten Zone der Lockergesteine. Zwischen km 0.250 und 0.600 liegt der Tunnel im Bereich der gesättigten Niederterrassenschotter parallel zur mittleren Grundwasserflussrichtung und dringt dann in den Felsuntergrund ein. Der Felsuntergrund besteht auf der gesamten Tunnellänge aus Meletta-Schichten. Ab etwa km 3.000 trennen sich die beiden Tunnellinien, wobei die linke Röhre nicht den Rhein unterquert.

Die rechte Tunnelführung unterquert zwischen km 3.050 und 3.500 den Rhein. Die Überlagerung durch Felsgestein beträgt hier zwischen 12 und 6 m. Auf Kleinbasler Seite verbleibt der Tunnel (rechte Röhre) im Felsuntergrund bis er etwa bei km 5.650 wieder in Kontakt zur Felsoberfläche und damit der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter kommt. Ab ca. km 6.050 befindet sich der Tunnel oberhalb der Felsoberfläche. Etwa ab km 6.300 liegt der Tunnel wieder in der Grundwasserungesättigten Zone.

Auf Grossbasler Seite verläuft die linke Tunnelröhre im Felsuntergrund, bis sie ab ca. km 3.850 bis 4.250 in der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter zu liegen kommt. Zu beachten ist, dass beide Tunnelabschnitte in den Grundwasserzonen teilweise mehr oder wenig senkrecht zur mittleren Grundwasserflussrichtung verlaufen.

Grundlagedaten aus dem Baugrundarchiv

Vorhandene Berichte aus dem Baugrundarchiv, welche das Projekt betreffen, wurden zusammengetragen und tabellarisch dokumentiert. Aussagen zu Baugrunduntersuchungen sind meistens beschränkt auf das spezifische Bauwerk und liefern deshalb meist nur sehr punktuell Informationen zum Untergrund als Basis des Bauwerks. Für eine flächendeckende Zusammenstellung, wurden deshalb auch Gutachten von grösseren und regionalen Projekten, welche umfassendere Informationen beinhalten, berücksichtigt.

Dokumentierte Datensätze, die für die Abklärungen zusammengetragen wurden, entsprechen einer Bestandaufnahme (einschliesslich einer Angabe bezüglich der Vollständigkeit der vorhandenen Informationen). Für spätere Projektphasen und detaillierte Prognosen müssten je nach Fragestellung einzelne Datensätze lokal verfeinert bzw. aktualisiert werden.

Geologie

Die Geologie wurde für einen definierten Projektperimeter sowie angrenzende Bereiche beschrieben, sofern diese für die projektierten Tunnelbauwerke von Bedeutung sind. Die Beschreibung der Lockergesteine, Festgesteine und der Lage und Ausbildung der Felsoberfläche berücksichtigt dabei den aktuellen Kenntnisstand zur Geologie.

Geologisch betrachtet liegt der Projektperimeter (erweiterter Betrachtungsrahmen) zwischen der Allschwiler-Verwerfungszone und der Rheintal Flexur auf dem westlichen Schenkel der Mulde von St. Jakob – Tüllingen. In diesem Bereich, des sogenannten „Basler Rückens“, liegen die Gesteine des Felsuntergrundes schwach nach O bis SO geneigt.

Im Bereich des projektierten Tunnelbauwerks „Herzstück Y“ wird der Felsuntergrund durch Meletta-Schichten gebildet und von Lockergesteinen (fluvialen Schottern) der Niederterrasse mit einer variierenden Mächtigkeit (0 bis über 30 m) überlagert. Die Meletta-Schichten sind hier tektonisch nur schwach beansprucht worden. Die Felsoberfläche ist morphologisch un stet und zeigt im obersten Teil eine Verwitterungszone, deren Verbreitung und Variation der Mächtigkeit in den folgenden Projektphasen vertieft abgeklärt werden muss.

Als Arbeitsgrundlage für die geologischen Schnitte im Bereich des projektierten Tunnelbauwerkes wurde für den Projektperimeter aus dem aktuellen geologischen 3D-Modell der Region Basel ein Teilmodell extrahiert. Dieses erlaubt die Darstellung der geologischen Strukturen und beliebiger 2D-Profileschnitte. Anhand des 3D-Teilmodells kann der Verlauf der Projekttrassen im Untergrund dargestellt und visualisiert werden. Generell liegen die Projekttrassen für Teilstrecken im Grenzbereich der Locker- und Festgesteine sowie im Grundwasser. Diesen Umstand gilt es in den Projektierungsphasen aus geotechnischer Sicht zu berücksichtigen.

Kenntnislücken des Grenzbereichs Lockergestein-Fels-Grundwasser erfordern ergänzende Abklärungen (Sondierbohrungen, geophysikalische Messmethoden, etc.) zu folgenden Aspekten: (1) Tiefenlage der Felsoberfläche im Rheinbett; (2) Mächtigkeit, Ausbildung und geophysikalische Eigenschaften der Verwitterungszonen entlang der gesamten Projekttrasse und (3) Lokalisierung von Sandlinsen, Rollkies- bzw. Nagelfluhkörpern innerhalb der Niederterrassenschotter. Die zusätzlichen Informationen erlauben zudem eine Aktualisierung des 3D-Teilmodells im Projektperimeter, im Hinblick auf die geotechnische Analyse und die Dynamik und Wasserwegsamkeit des Grundwassers im Projektperimeter.

Hydrogeologie

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Projektgebiet werden bestimmt durch die gut durchlässigen und grundwasserführenden quartären Niederterrassenschotter, welche schlecht durchlässigen tertiären Sedimenten (Grundwasserstauer) auflagern. Die regionale Grundwasserflussrichtung im Bereich Gross- und Kleinbasel ist gegen den Rhein gerichtet. Vor allem im Bereich Grossbasel kann zwischen einem Grundwasserflussregime ober- und unterhalb einer Felsschwelle unterschieden werden. Wohingegen oberhalb der Felsschwelle Bereiche ohne Grundwasser existieren, ist die Grundwassermächtigkeit unterhalb der Felsschwelle mit bis zu 10 m vergleichsweise gross. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass das geplante Tunnelbauwerk die Oberflächengewässer Rhein, Wiese und Birsig kreuzt.

Von anderen Untersuchungen bekannte Werte der hydraulischen Leitfähigkeit wurden tabellarisch zusammengestellt. Die Niederterrassenschotter weisen allgemein eine hohe hydraulische

Leitfähigkeit auf ($k_f \approx 10^{-4} - 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$). Die hydraulischen Leitfähigkeiten der tertiären Sedimente sind generell geringer ($k_f \approx 10^{-5} - 10^{-8} \text{ ms}^{-1}$).

Eine Änderung des Grundwasserfließregimes aufgrund des Tunnelbauwerks während und nach dem Bau birgt ein Gefährdungs- und Konfliktpotential in Bezug auf bestehende Grundwassernutzer, welches mit geeigneten Massnahmen (z.B. Grundwassermodellierungen) im Hinblick auf den Grundwasserschutz ermittelt werden sollte. Auch zu berücksichtigen ist, dass in den Felsformationen gespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen werden können.

Geotechnische Aspekte und Gefährdungen

Geotechnische Kennwerte der im Projektgebiet auftretenden Lockergesteine und des Felsuntergrundes sind tabellarisch zusammengestellt und die Referenzen dokumentiert. Da die ausgewerteten Untersuchungen bestenfalls lokal anstehende Verhältnisse repräsentieren, sind die geotechnischen Kenndaten vor Beginn der Bauarbeiten generell durch geeignete Untersuchungen (Sondierung mit Kernbohrungen, experimentelle Bestimmung an gewonnenem Probenmaterial) vor Ort zu bestimmen.

Generell erfolgen die Abklärungen der Gefährdungen entsprechend der geltenden Vorgaben nach SIA und GSchG. Die meisten Gefährdungen, welche das projektierte Tunnelbauwerk betreffen stehen im Zusammenhang mit der Wasserzirkulation im Untergrund, sowie der Lage der Projekttrasse im Grenzbereich der Locker- und Festgesteine und im Grundwasser. Um Gefährdungen der hydrologischen Verhältnisse bzw. deren Veränderung im Projektgebiet zu beurteilen, sind in einigen Abschnitten detaillierte Analysen der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Kontext der näheren Umgebung (unterirdische Bauten, Verkehrswege, Infrastrukturbauten und Grundwassernutzungen) erforderlich.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- (1) In Bereichen in denen die Tunneltrasse im Grenzbereich der Locker- und Festgesteine verläuft, sind vertiefte Abklärungen der Grundwasserzirkulation, des Setzungsverhaltens, der Mächtigkeit und Beschaffenheit von Verwitterungszonen an der Felsoberfläche und dem Risiko von Tagbrüchen erforderlich.
- (2) Abklärung hydrogeologischer Verhältnisse im Zusammenhang mit der Baustellen Wasserhaltung und Grundbruch. Insbesondere beim Durchfahren der Niederterrassenschotter bzw. in den Meletta-Schichten in Bereichen mit gespannten Grundwasserverhältnissen.
- (3) Erarbeitung eines Konzepts zum Aufbau eines geeigneten Monitoring Systems für die verschiedenen Projektphasen (Istzustand, Bauphasen, Betriebsphase) des Grundwasserfließregimes zu dokumentieren und mit geeigneten Modellwerkzeugen allfällige Änderungen des Grundwasserfließregimes während und nach dem Bau des Tunnels zu erfassen. Dies ist für die Planung von Wasserhaltungen, für die Gewährleistung des Grundwasserschutzes und bezüglich einer frühzeitigen Abklärung der Auswirkung auf Grundwassernutzer erforderlich. Zudem kann eine Veränderung des Grundwasserfließregimes eine Mobilisierung von Schadstoffen im Untergrund bei Altlasten bewirken.
- (4) Sicherstellung von regionalen Grundwassernutzungen. Mit den vorgeschlagenen Abklärungen können dabei auch konkrete Gewässerschutzkonzepte für die Bauphase sowie Erfolgs-

Kontrolle von Grundwasserschutzmassnahmen nach Fertigstellung des Bauwerks evaluiert werden.

(5) Abklärung möglicher Interferenzen mit bestehenden Geothermie Bohrungen in unmittelbarer Umgebung des Tunnels vor Baubeginn.

(6) Abklärung der geologischen-hydrogeologischen Situation im Bereich des Badischen Bahnhofs.

(7) Erarbeitung hydrologischer Grundlagen, Abschätzung der zu erwartenden mittleren Zuflüsse zu verschiedenen Tunnelabschnitten.

(8) Hochwasser, Überflutung des Baustellenbereichs bei Starkregen, Überflutung von Notausgängen und Haltestellen bei Hochwasser.

(9) Gesteinsquellen durch Wasserzutritt (auch sehr kleine Wassermengen), in Ton- und tonreichen Gesteinen in den Meletta-Schichten.

(10) Abschätzung der Auswirkung von Erdbeben (vorwiegend Bauphasen) auf einzelne, an die Oberfläche austretende Bauwerkteile (Stationen).

(11) Besteht ein Risiko von Gaszutritten, insbesondere in den Meletta-Schichten oder in kontaminierten Abschnitten der Lockergesteine.

(12) Untersuchung der Mächtigkeit und Beschaffenheit der Verwitterungszone im Felsuntergrund.

(13) Qualität Aushub: Abklärung einer möglichen geogenen Belastung der Meletta-Schichten.

(14) Abklärungen zur Lage von Bauten im Untergrund; insbesondere im Bereich Tiefhaltestelle Mitte, Kantonspital und Novartis (Kleinbasel).

(15) Längs- und Querprofile: Für die Linienführung Herzstück Y besteht nur ein geologisches Querprofil (Bereich Marktplatz); zur Beurteilung der geol. Situation, insbesondere im Hinblick auf die Position der Felsoberfläche und der Grundwassersituation empfiehlt sich die Anfertigung weiterer Querprofile im Bereich der Haltestellen, Rheinunterführung und Notzugängen. Des Weiteren besteht noch kein Längsprofil für den Rettungstollen, welcher zumindest Abschnittsweise (Rheinunterquerung) nicht parallel zu den geplanten Achsen der Doppelspurröhren verläuft.

1.2. Einführung

Im Rahmen der Planungsarbeiten zum Tunnelbauwerk Herzstück erhielt die Angewandte und Umweltgeologie (AUG), Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel, im Oktober 2015 von dem Konsortium Herzstück-Basel den Auftrag, die Grundlagen zur Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse sowie die Beurteilung des Gebirges zu erarbeiten (BGA BS 138). In der Folge wurden weitere Projektstudien zu veränderten Linienführungen oder zusätzlichen inhaltlichen Fragestellungen erstellt (BGA BS 140, BGA BS 141, BGA BS 145, BGA BS 146). Der vorliegende Synthesebericht fasst den Inhalt dieser Berichte zusammen und fokussiert auf die aktuelle Linienführung „Herzstück Y“ vom Oktober 2018. Die Synthese beinhaltet eine Beschreibung der lokalen geologischen und geotechnischen Verhältnisse sowie des Ist-Zustandes bezüglich der hydrogeologischen Randbedingungen. Kapitel 2 beschreibt die verwendeten Grundlagen aus dem Baugrundarchiv sowie die verwendeten Datensätze. Kapitel 3 bis 6 enthalten eine Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse und Kapitel 7 eine Formulierung und Beurteilung von möglichen Gefährdungsbildern.

Die verschiedenen Grundlagen und Datensätze wurden für die einzelnen Bearbeitungsschritten aufbereitet und im Weiteren in GIS-Projekten und einem projektbezogenen geologischen 3D-Modell vorgehalten. Während der Durchführung der vorausgegangenen Abklärungen wurde das geologische 3D-Modell partiell auf neue Erkenntnisse angepasst. Es dient als Basis für allfällige Abklärungen von Variantenstudien und die Erarbeitung von hydrogeologischen Modellen. Der Projektperimeter wurde zu Projektbeginn 2015 so festgelegt, dass mögliche Änderungen der Linienführung in die bestehende Bearbeitungsstruktur integriert werden können. Die Beschreibung der geologischen und geotechnischen Verhältnisse sowie des Ist-Zustandes bezüglich der hydrogeologischen Randbedingungen bezieht sich auf diesen Projektperimeter. In Kapitel 5 werden die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse entlang der Tunnel-längsprofile zum Herzstück Y erläutert.

Die Synthese dient als Grundlage für eine (1) weitergehende Beurteilung des Baugrundes und (2) Formulierungen von Gefährdungsbildern, die in nachfolgenden Projektierungsphasen anhand von ergänzenden Untersuchungen abgeklärt werden sollen. Wichtig sind zudem eine erste Beurteilung von Fragen bezüglich des Grundwasserfließregimes sowie eine Diskussion von technischen Risiken während der verschiedenen Bauphasen und beim Betrieb der Verkehrsanlage. Auf Kenntnislücken in den zur Verfügung gestellten Informationen und auf eine allfällige Unvollständigkeit der Daten wird hingewiesen.

1.3. Aufstellung der erstellten Berichte und Beilagen mit Bezug zum Herzstück Y

Folgende Berichte und Beilagen wurden durch die AUG im Zuge der Vorabklärungen im Bereich Geologie - Hydrologie – Geotechnik zum Herzstück S-Bahn Basel seit März 2016 erstellt.

- ❖ Projektstudie Herzstück "Variante Mitte 3"; Bericht Geologie - Hydrologie – Geotechnik; **BGA GPI Kanton Basel-Stadt 138**, März 2016.
 - Beilage 1: Profil A-A', Profil entlang der Trasse „Variante Mitte 3“
 - Beilage 2: Profile B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', Querprofile zur „Variante Mitte 3“
 - Beilage 3: Übersichtskarte
 - Beilage 4: Abgedeckte Felsoberfläche, Bereich der Trasse „Variante Mitte 3“

- Beilage 5: Abgedeckte Felsoberfläche, gesamter Projektperimeter
 - Beilage 6: Hydrogeologie „Variante Mitte 3“
 - Beilage 7: Hochwassergefährdung
 - Beilage 8: Tiefenlage der geologischen Modellhorizonte
 - Beilage 9: Profil G-G', geologisches Übersichtprofil
 - Beilage 10: Zusammenstellung der geotechnischen Parameter
 - Beilage 11: Zusammenstellung Berichte Baugrundarchiv
 - Beilage 12: Zusammenstellung Grundwasserschutz
- ❖ Projektstudie Herzstück "Abschnitt Bahnhof SBB - Birs"; Bericht Geologie - Hydrologie - Geotechnik; Erweiterung zur "Variante Mitte 3"; **BGA GPI Kanton Basel-Stadt 140**, April 2016
- Beilage 1: Übersichtskarte
 - Beilage 2: Abgedeckte Geologie
 - Beilage 3: Hydrogeologie
 - Beilage 4: Naturgefahren-Hochwasser
 - Beilage 5: Längsprofil Bahnhof SBB – Birs
- ❖ Projektstudie Herzstück "Wolf - Rankhof - St. Johann"; Geologie - Hydrogeologie - Geotechnik; **BGA GPI Kanton Basel-Stadt 141**, Mai 2016
- Beilage 1: Längsprofil „Wolf - Rankhof“
 - Beilage 2: Längsprofil „Bahnhof Grossbasel – Haltestelle St. Johann“
 - Beilage 3: Abgedeckte Geologie und Hydrogeologie
- BGA GPI Kanton Basel-Stadt 141b**, Juli 2016
- Beilage 1: Längsprofil AA-AA' „Wolf - Rankhof“
 - Beilage 2: Längsprofil BB-BB' „Wolf - Bahnhof Grossbasel - Haltestelle St. Johann“
 - Beilage 3: Abgedeckte Geologie und Hydrogeologie (Version 2)
- ❖ Kurzbericht: Herzstück Basel - Variante Y-Hoch - Kartendarstellung: Mächtigkeit Felsüberlagerung und Grundwasser im Tunnelbereich; **BGA GPI Kanton Basel-Stadt 145**, Dezember 2017
- Beilage 1: Überlagerungsmächtigkeit Fels (Meletta-Schichten)
 - Beilage 2: Überlagerungsmächtigkeit Lockergesteine
 - Beilage 3: Überlagerungsmächtigkeit Grundwasser im Lockergestein
- ❖ Kurzbericht: Herzstück Basel - Variante Y-Hoch-hoch, Längsprofile; **BGA GPI Kanton Basel-Stadt 146**, Dezember 2017
- Beilage 1: Längsprofile 1
 - Beilage 2: Längsprofile 2

2. Datengrundlage

2.1. Aufstellung der verwendeten Grundlagendaten

Die AUG führt im Auftrag der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft die geologische Datenbank und unterhält ein Baugrundarchiv (BGA) für die Region Basel. Geologisch-hydrogeologische Informationen zu Bohrungen als auch zu Berichten und Gutachten (z.B. umfangreiche Dokumente zur Nordtangente) werden archiviert. Datenbank und Archiv bilden die Grundlage für die Abklärung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse sowie die Erarbeitung der verschiedenen geologischen und hydrogeologischen Modelle. Eine ausführliche Beschreibung der Datenbank und des Baugrundarchivs findet sich auf der Abteilungshomepage (<https://duw.unibas.ch/de/aug/>; Service; Nutzungsreglement).

Im Rahmen der unter 1.3 genannten Abklärungen für das Tunnelprojekt Herzstück Basel wurden Recherchen über Baugrunduntersuchungen (v.a. Grossbauten) im Projektperimeter durchgeführt. Dies schliesst die baselstädtischen Sektionen 1 bis 9 sowie die basellandschaftlichen Gemeinden Binningen und Allschwil mit ein. Für Bereiche, welche in Frankreich liegen konnten nur Bohr- und Grundwasserinformationen berücksichtigt werden.

Berichte, welche zu geotechnischen Kennwerten aussagekräftige Informationen beinhalten, wurden zusammengefasst (Beilage 14) und aufgelistet (Beilage 15).

Listen der im Text verwendeten Literatur und Unterlagen finden sich am Berichtsende.

Weitere Datensätze, die in die vorliegende Synthese eingeflossen sind, werden in Tabelle 2.1 aufgelistet.

Tabelle 2.1 Verwendete Datensätze, Datenformate und Exportmöglichkeiten

Name	Quelle (Stand)	Format
Geologie	Bohrungen Datenbank GeoData AUG / Universität Basel (Dezember 2015, im Rahmen von BGA 145 (OK Fels, Oktober 2017))	SQL-Server Datenbank verschiedene Exportformate möglich (DXF, Shape, txt, etc.)
	Geologische Schichtgrenzen Geologisches Modell der Region Basel AUG / Universität Basel (Dez. 2015, franz. Anteil Jun. 2012)	GoCAD – Modell verschiedene Exportformate möglich (Grid, DXF, Shape, txt, etc.)
Hydrologie / Hydrogeologie	Grundwassermächtigkeit BFE – Projekt (2017) AUG / Universität Basel (2017)	Grid
	Grundwasserpegel Grundwasserüberwachung BS AUE / Kanton Basel-Stadt (2017)	OTT-Hydrometrie Excel – Tabelle Shape
	Grundwassernutzer Nutzerkataster BS AUE / Kanton Basel-Stadt (2014)	
Diverses	Belastete Standorte Altlastenkataster Basel-Stadt, GVA Kanton Basel-Stadt (Januar 2016) (nur rechtsgültigen Standorte vermerkt)	Shape

3. Geologie

3.1. Geologischer Überblick

Der Projektperimeter (erweiterter Betrachtungsrahmen) liegt im Bereich des sogenannten „Basler Rückens“, im westlichen Teil der Mulde von St. Jakob – Tüllingen und reicht im Westen bis über die Allschwiler-Verwerfungszone. Die Rheintal-Flexur im Osten beeinflusst den östlichen Rand des Projektgebiets nur wenig. Die geologischen Einheiten des Felsuntergrundes liegen im westlichen Projektbereich weitgehend schwach geneigt, während sie nach Osten und Südosten sukzessive stärker (8° - 22°) einfallen (Abbildung 3.1). Zum Kern der Mulde von St. Jakob – Tüllingen verflacht die Lagerung und weiter nach Osten, in der Rheintal-Flexur, sind die geologischen Einheiten teils steil aufgerichtet.

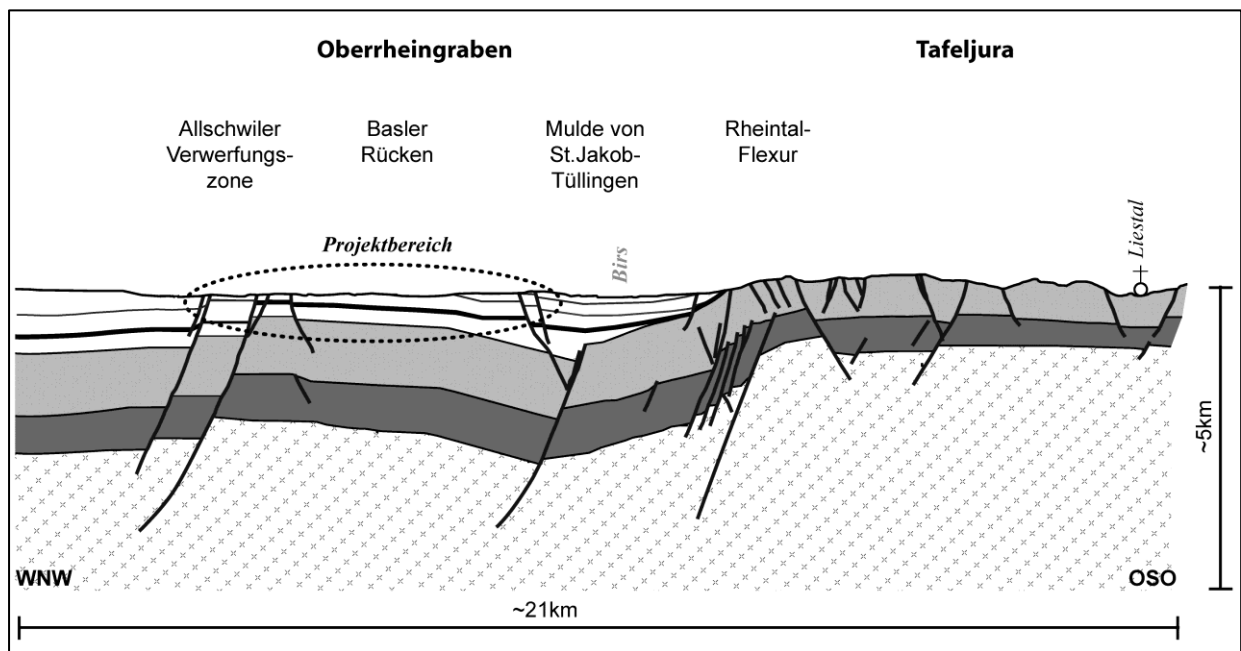


Abbildung 3.1 Regionaler geologischer Schnitt durch die Region Basel (nach Ustaszewski 2004). Der Schnitt liegt in WNW-OSO Richtung und befindet sich etwa 2km südlich von Basel. Grundgebirge (Kreuzsignatur), Perm (dunkelgrau), Mesozoikum (hellgrau), Tertiär und Quartär (weiss).

Die folgenden Abschnitte beschreiben im Überblick:

- Lithologien der vorliegenden geologischen Einheiten (Kap. 3.2)
- Verwitterungszonen am Übergang von Lockergestein zu Festgestein (Kap. 3.3)
- geochemische Auffälligkeiten der Meletta-Schichten (Kap. 3.4)
- Lage und Ausbildung der Felsoberfläche (Kap. 3.5)
- Tektonische Übersicht und Störungen (Kap. 3.6)

In den Beschreibungen der Profile (Kap. 5) wird auf die Verhältnisse im jeweiligen Trassenbereich eingegangen. Für weitere Informationen zum regionalen geologischen Kontext sei auf die bestehende Literatur verwiesen (z.B. Fischer et al. 1971, Gürler et al. 1987, Bitterli u. Fischer 1988).

Überdies wird das Geologische 3D Modell (Kap. 3.7), dessen Inhalt und die Rolle als Werkzeug in der Projektplanung beschrieben.

3.2. Lithologische Beschreibung der geologischen Einheiten im Projektgebiet

Eine Übersicht zur lithologischen Ausbildung der geologischen Einheiten im Projektgebiet findet sich im folgenden Abschnitt und in der Tabelle 3.1.

Lockergesteine

Neben dem im Stadtgebiet Basel weitverbreiteten Niederterrassenschotter, liegen im Bereich des Nordhangs des Bruderholzplateaus und der Binninger Höhe, überlagert von Löss, die Hochterrassenschotter. In Wechselwirkung von Aufschotterung und Flusserosion, schnitt sich der Rhein nach der Ablagerung der Hochterrassenschotter wieder tiefer ein und erodierte dabei sowohl Hochterrassenschotter als auch unterlagernde tertiäre Sedimente des Felsuntergrundes auf dem die Niederterrassenschotter dann flächendeckend auf verschiedenen Niveaus abgelagert wurden.

Niederterrassenschotter

Die Mächtigkeit der Niederterrassenschotter steigt im Projektgebiet generell von Süden nach Nordwesten an und variiert im Allgemeinen zwischen 5 und 20 m. Im Bereich Bahnhof St. Johann und westlich davon nimmt die Mächtigkeit auf über 30 m zu. Besonders gering ist die Mächtigkeit entlang des Birsig (meist um 2-3 m), dessen kanalisierter Ausbau streckenweise direkt auf dem Fels verläuft (Bereich Zoo Parkplatz). Im Rhein und besonders im südlichen Uferbereich tritt die Schotterauflage fast komplett zurück. Aufgrund des unregelmässigen Reliefs der Felsoberfläche, sowie einer starken anthropogenen Überprägung kann die Mächtigkeit Niederterrassenschotter lokal stark schwanken.

Die Niederterrassenschotter bestehen hauptsächlich aus Kies mit Geröllen, Sand und Silt. Die Mischung der verschiedenen Komponenten kann gebietsweise stark heterogen sein und schliesst Überschwemmungsablagerungen wie Auen- und Hochflutsedimente mit ein. Im Allgemeinen erreichen die Korndurchmesser etwa 25 cm, es finden sich aber auch vereinzelt Blöcke bis m³ Grösse. An der Basis der Niederterrassenschotter, im Übergangsbereich zur Felsoberfläche, liegt gebietsweise ein Geröllhorizont vor. In Kleinbasel kommt es zur Verzahnung von Rhein- (alpine Kristallin- und Sedimentgesteine) und Wieseschottern (silikatische Komponenten), während südlich des Rheins Rheinschotter dominieren, welche sich vor allem zwischen Birs und Birsig im Projektgebiet mit Birsschottern (Kalkgeröllen) verzahnen. Das Erscheinungsbild der Niederterrassenschotter ist bunt bis ockerfarben (grosser Anteil an Kalksteinen) und grau mit einer dichten bis sehr dichten Lagerung. Farblich unterscheiden sich insbesondere die Sande der verschiedenen Schottertypen; Rheinschotter haben eher grau und ockerfarbene Sande, Wieseschotter haben meist rote Sande und die Sande der Birsschotter sind cremefarben bis weiss.

Die Niederterrassenschotter können, wie im Bereich des Postgebäudes (Beilage 1) eine sandreiche bis sehr sandreiche Ausbildung zeigen (BGA BS IV 53). Letztere treten vorwiegend in sandreichen Partien auf. Sand tritt eher in Linsen oder Bändern mit beschränkter räumlicher Ausdehnung auf. Stellenweise fehlt in den Flusskiesen der Feinanteil komplett und saubere Rollkiese (unverfestigte Kiese, korngestützt) können beobachtet werden. Vereinzelt können auch Wechsellagerungen von Kies mit Nagelfluh (zementierte Kiese) vorkommen. Sowohl

Rollkies- als auch Nagelfluh Vorkommen sind überall im Stadtgebiet in Bohrungen dokumentiert. Ihr Vorkommen ist nicht auf bestimmte Gebiete beschränkt. Generell treten schlecht sortierte, teilweise verkittete Schotter eher in den obersten 5 bis 10 m auf. In den tieferen Bereichen dominieren Trog-Schrägschichtungen mit einem Anteil an Rollkieslagen von bis zu 50%.

Junge alluviale Sedimente

Diese jungen Ablagerungen des Rheins bestehen aus braunen bis beigebräunten, siltigen z.T. auch verlehnten Sanden mit einem unterschiedlichen Anteil an organischen Material. Die Ablagerungen sind schlecht konsolidiert und mässig tragfähig. Wie aus den Daten der im Archiv vorhandenen Bohrungen in der Umgebung bekannt ist, erreichen diese Auenlehme eine Mächtigkeit bis zu 4 m (BGA BS V 114). Bei den Ablagerungen handelt es sich um rötliche bis gelbe, sandige, umgelagerte Rhein-Niederterrassenschotter, deren Oberflächen und Hohlräume teilweise von Mangan- und Eisenausfällungen imprägniert sind. Diese umgelagerten Schotter sind locker bis mitteldicht gelagert, mässig tragfähig und mässig setzungsempfindlich (BGA BS V 114).

Gehängeschutt, Rutschungen und Bachsedimente (Schuttfächer)

Durch das Einschneiden des Rheins bis in den Felsuntergrund und die anschliessende Aufschotterung bis zum Akkumulationsniveau der Niederterrasse kommt es zur topographischen Entwicklung des Bruderholzes und der Binninger Höhe. Mit der Erosion des Rheins gehen Rutschungen und Gehängebildungen (verschwemmtes und verrutschtes Material) einher. Betroffen sind sowohl der freigelegte Felsuntergrund, der in gewissen Zonen dadurch seine Standfestigkeit weitgehend einbüsste, als auch die gebietsweise darüber liegende Hochterrasse und der Löss. Entlang der Hänge bildete sich auf diese Weise ein unregelmässiges, teils stark verwittertes Gemenge aus Gesteinsbruchstücken des Felsuntergrundes, Nagelfluhblöcken, Kiesen, Geröllen und Sanden. In Richtung Norden verzahnt sich der Gehängeschutt der Hochlagen mit den Ablagerungen der Niederterrasse.

Eine lateral ausgedehnte Stufe in der Felsoberfläche (Kapitel 3) zieht sich von Burgfelden über den Bereich Schifflande bis nach Kleinbasel. Entlang dieser durch Niederterrassenschotter verdeckten Schwelle gibt es in Bohrungen Hinweise auf alte Rutschungen.

Künstliche Auffüllungen

Künstliche Auffüllungen sind im Projektgebiet in fast allen Bohrungen beschrieben. Ihre Mächtigkeit liegt meist bei Werten bis 2 m. Allerdings sind diese sehr variabel und können sprunghaft auf mehrere Meter ansteigen. Insbesondere entlang der Bahntrassen, besteht eine erhöhte Mächtigkeit. Ein weiterer Bereich mit einer mächtigen künstlichen Auffüllung entlang der Tunneltrasse „Herzstück Y“ befindet sich bei der Heuwaage, wo eine bis zu 7.2 m mächtige künstliche Auffüllungen (3 R 512) dokumentiert ist. Das Material besteht dort meist aus Bau-schutt (Ziegel-, Backsteinreste, Beton, Teer, Glas, Holz, verunreinigte Kiese und Sande). Oft wurde das Aushubmaterial wieder in Baugruben eingebracht und besitzt dort im Vergleich zu den Schottern eine geringere Lagerungsdichte.

Tabelle 3.1 Übersicht der geologischen Einheiten im Projektgebiet.

	Geologie	Lithologie
Lockergestein	Hochterrassenschotter	Kiese, meist nicht zementiert, alpine Gerölle untergeordnet Kalkgerölle, teils Nagelfluhbänke
	Löss	Silt, gelblich bis graugelbe, feinporös, hoher Karbonatgehalt, teils Konkretionen (Lösskindl)
	Niederterrassenschotter	kristalline Gerölle (alpines Material und Wieseschotter), Kalkgerölle (u.a. Birsschotter), sowie Kies, Sand und Silt; die Farbe ist bunt bis grau, sie sind dicht bis sehr dicht gelagert, Korndurchmesser maximal ~25 cm, vereinzelt auch m ³ Grösse, teils Rollkies und Nagelfluhbildungen, sowie Schwemmlerhne
	Junge alluviale Sedimente (Talauensedimente)	Auenlehme: braune bis beigebraune, siltige z.T. auch verlehnte Sande mit unterschiedlichem Anteil an organischem Material; Ablagerungen mit Mächtigkeit bis 4 m, schlecht konsolidiert, mässig tragfähig und mässig setzungsempfindlich Schotter: rötliche bis gelbe, sandige, umgelagerte Rhein-Niederterrassenschotter, durch Mangan- und Eisenaussfällungen imprägniert, locker bis mitteldicht gelagert, mässig tragfähig und mässig setzungsempfindlich
	Gehängeschutt, Rutschungen und Bachsedimente (Schuttfächer)	Gemenge aus Gesteinsbruchstücken des Felsuntergrundes, Nagelfluhblöcke, Kiesen, Geröllen und Sanden, meist schlecht sortiert, sehr tonreich, teils stark verwittert, teils feinkörnige, lehmige Alluvionen
	Künstliche Auffüllung	Bauschutt (Ziegel-, Backsteinreste, Beton, Teer, Glas, Holz, verunreinigte Kiese und Sande), Aushubmaterial
Festgestein	Tüllinger-Schichten	Wechselagerung von Mergel und hellen Süsswasserkalken, vereinzelt Gipslagen und Dolomitbänke eingelagert, teilweise geklüftet, porös und verkarstet, vereinzelt Kieselknollen; Mergel sind bunt und grau bis hellbraun, Süsswasserkalke sind hell, weiss bis cremeweiss
	Elsässer Molasse	<i>Obere Elsässer Molasse</i> Feinsand, Sand, Sandsteinbänke, teils sehr harte zementierte Bänke, glimmerreich, grau, wenn verwittert dann gelblich bis braun, Mergelzwischenlagen, nach unten hin häufiger
		<i>Cyrenenmergel</i> siltig bis feinsandige Mergel, glimmerführend, olivgrau bis bräunlich, teils rötlich und gelblich, oft fleckig, kompakt gelagert, meist fest mit sandigen Zwischenlagen, nach unten hin seltener
	Meletta-Schichten auch „ <i>Blaue Letten</i> “ oder „ <i>Septarienton</i> “	Tone und stark tonige Mergel, blaugrau, schwach gebändert, teilweise auch Sande, locker, feinkörnig oder Kalke, leicht mergelig; glimmerführend, fossilarm, verwittert sind sie deutlich aufgelockert, teilweise lehmig weich, mit deutlicher Bänderung, fein

Festgesteine

Tüllinger-Schichten

Die Tüllinger-Schichten sind nur östlich des geplanten Tunnelbauwerks „Herzstück Y“ dokumentiert. Sie bilden den Kern der Mulde von St. Jakob-Tüllingen. Es handelt sich um Süßwasserablagerungen, welche hier als Wechsellagerung von Mergel und teilweise geklüfteten, porösen bis verkarsteten hellen Süßwasserkalken auftreten. Häufig sind Gipslagen und Dolomitbänke eingelagert. Vereinzelt treten Kieselknollen auf. Die Mergel weisen eine bunt, grau bis hellbraun Färbung auf.

Elsässer Molasse

Die Elsässer Molasse bildet den Felsuntergrund knapp östlich der Linienführung des Herzstück Y (Beilage 2), des geplanten Tunnelbauwerks und kann, aufgrund unterschiedlicher Ablagerungsräume (randmarin bzw. fluvial), in variablen Ausbildungen auftreten. Generell unterscheidet man eine eher sandige Fazies, die Obere Elsässer Molasse, von einer mergeligen Fazies, den Cyrenenmergeln, welche meist die Obere Elsässer Molasse unterlagert. Da die Faziesübergänge sehr fließend sind und die Mergel sich oft mit Sandsteinen verzahnen, kann nicht immer eindeutig bestimmt werden welche Fazies in der jeweiligen Bohrung oder dem jeweiligen Aufschluss vorliegt.

Die Gesteine der Oberen Elsässer Molasse sind oft glimmerreich, häufig sind es graue Sande mit teils sehr harten Sandsteinbänken. Zwischen diesen feinkörnigen Sanden und Sandsteinen kommen auch Mergellagen vor, die im unteren Teil der geologischen Abfolge häufiger werden. Im Übergang zu den überlagernden Tüllinger Schichten können auch dünne Gipslagen auftreten. Angewittert bzw. verwittert sind die Sandsteine meist gelblich-braun und verlieren schnell ihre Festigkeit. Sie zeigen dann alle Variationen von hart bis sehr mürbe.

Die Cyrenenmergel sind olivgrau bis bräunlich, aber auch rötlich und gelblich gefärbt und oft fleckig. Es handelt sich um glimmerführende, siltig bis feinsandige Mergel. Sie sind kompakt gelagert und meist fest mit sandigen Zwischenlagen, welche nach unten hin seltener werden. Die sandigen Lagen können erhebliche Festigkeiten aufweisen. Die Verwitterungszone, inklusive der nur angewitterten Cyrenenmergel, reicht bis wenige Meter unter die Felsoberfläche (u.a. Nägelin 2012). Hier herrschen braune Farben vor und eine Durchfeuchtung insbesondere im Kontakt zu Sandsteinlagen ist häufig.

Meletta-Schichten

Die Meletta-Schichten werden auch als „Blaue Letten“ oder „Septarienton“ (Schichtglied, Septarien sind harte Konkretionen, die oft aufgebrochen sind und in den Rissen Ton enthalten) bezeichnet. Die Meletta-Schichten bilden nordwestlich des Bahnhofs SBB (Beilage 3) entlang der Tunneltrasse des Herzstück Y die Felsoberfläche. Sie wurden unter flachmarinen Verhältnissen (Gezeitenablagerung des supratidalen Bereichs) abgelagert und zeigen nur wenig Eintrag an klastischen Sedimenten. Dennoch können die Meletta-Schichten über kurze Distanzen alle Übergänge von Tonen zu stark tonigen Mergeln über lockere feinkörnige Sande bis hin zu leicht mergeligen Kalken zeigen. Meist sind sie blaugrau, schwach gebändert, glimmerführend und fossilarm. Die sandigen Partien sind im Übergangsbereich zur Elsässer Molasse häufiger und sorgen für eine fließende Grenze zwischen diesen Einheiten. Bis 7 m unter die Felsoberfläche wurde die Verwitterungszone beschrieben (Kap. 3.3). Hier sind die Meletta-Schichten

deutlich aufgelockert, teilweise lehmig weich und die feine Bänderung tritt häufig deutlich hervor. Auch kommen variable Wassergehalte vor, so gibt es trockene und sehr nasse, teils durchweichte Bereiche.

3.3. Charakterisierung der Verwitterungszonen

Die Verwitterungszone in den Meletta-Schichten kennzeichnet sich durch zwei Erscheinungsbilder. Es wird unterschieden zwischen einer Auflockerungszone, welche in Baugruben und Bohrungen visuell erkennbar ist und eine daran anschliessende Zone, die noch in geophysikalischen und hydraulischen Messungen (Seismik, elektr. Widerstands-Logs, LUGEON-Test) eine deutliche Auflockerung bzw. Störung des natürlichen Gefüges aufweist (BGA IX 25, BGA VII 22, BGA VII 47).

In Bohrprofilen wird eine Verwitterungszone in den Meletta-Schichten meist nur mit einer Mächtigkeit von wenigen cm bis ca. 2 m beschrieben. Die oben erwähnten geophysikalischen und hydraulischen Messungen lassen eine Mächtigkeit der Verwitterungszone auf bis zu 10m abschätzen (BGA IX 25: 8-10 m, BGA VII 22: 5-7 m). Die Kenntnisse über die Verbreitung dieser Zone beschränken sich auf wenige Baugrunduntersuchungen, die diese Tiefe erschlossen haben.

3.4. Geochemische Auffälligkeiten der Meletta-Schichten

Aufgrund von geogenen Auffälligkeiten in der Elsässer Molasse (Rheintunnel Basel, Geologischer-geotechnischer Bericht, 2018) soll hier kurz auf die Situation der Meletta-Schichten, in denen das Tunnelbauwerk (Herzstück Y) streckenweise verläuft, eingegangen werden.

Für die Meletta-Schichten, sind keine geogenen Belastungen bekannt, die Auswirkungen auf die Deponierung des Aushubs haben. Allerdings sind die Meletta-Schichten nicht durch eine scharfe Grenze von der Elsässer Molasse getrennt, vielmehr ist ein gradueller Übergang von einer eher sandigen Ausbildung der Elsässer Molasse zu einer tonig-mergeligen Lithologie der Meletta-Schichten zu erwarten. Zudem müssten geochemische Messungen die Sachlage erhärten. Aus diesem Grund kann derzeit auch für die Meletta-Schichten eine der Elsässer Molasse vergleichbaren geogenen Belastung, insbesondere in diesem Übergangsbereich, nicht ausgeschlossen werden.

3.5. Lage und Ausbildung der Felsoberfläche

Im Projektbereich bilden die tertiären Einheiten des Oberrheingrabens den Felsuntergrund. Als Felsoberfläche wird die Grenzfläche zwischen Locker- und Festgestein bezeichnet. In Aufschlüssen tritt dieser hier nur temporär in Schächten oder im Untertagebau auf. Da die tertiären Sedimente eine generell flache Lagerung mit einer leichten Neigung nach Osten und Süd-Osten aufweisen (BGA Binningen 1, Gürler et al. 1987), bilden im Projektgebiet westlich der Birs immer ältere Einheiten die Felsoberfläche (siehe auch Profile G-G', Beilage 13 und Karte zur Abgedeckte Felsoberfläche, Beilagen 2). Während im Osten (östlich einer NNO verlaufenden Linie entlang des Westrandes des Wolf-Gottesackers; Beilage 2) noch die Tüllinger-Schichten erbohrt wurden, trifft man nach Westen hin zuerst auf die Sedimente der Elsässer Molasse (meist als Cyrenenmergel ausgebildet) und dann, etwa ab dem Bahnhof SBB (Beilage 3), auf die Meletta-Schichten.

Im Gegensatz zur Neigung der Schichten im Felsuntergrund, welches prinzipiell gegen Osten gerichtet ist, zeigt die Felsoberfläche südlich des Rheins ein generelles Abfallen nach N gegen den Rhein hin. Das Relief der Felsoberfläche ist im kleinen Massstab (1-2 m) sehr wellig und unregelmässig ausgebildet, was grösstenteils auf alte Entwässerungssysteme zurückzuführen ist. Nördlich des Rheins wird die Felsoberfläche von SO nach NW von schwachen Mulden durchzogen die vermutlich auf ehemalige alte Rheinläufe zurückzuführen sind. Der aktuelle Rheinverlauf weist zwischen Schwarzwald- und Johanniterbrücke ebenfalls eine deutliche Rinnenstruktur auf, welche mindestens teilweise auf Erosionstätigkeit des Rheins seit der Tulla'schen Rheinbegradigung 1820-1876 zurückgeht. Nach dem Bau der Staustufen Kembs und Birsfelden, liess die erosive Wirkung des Rheins in Basel wieder nach. Die aktuelle Lage der Felsoberfläche entlang des Rheinbetts ist insbesondere westlich der Mittleren Brücke nicht gut dokumentiert.

Während entlang der Birsig die Bohrinformationen keine ausgeprägte Felsrinne zeigen, könnten entlang des Allschwilerbaches und des Dorenbaches (ursprünglicher Verlauf) Rinnen existieren.

Im Süden und Südwesten des Projektgebietes liegt die Felsoberfläche auf über 300 m ü.M. und fällt am Nordhang des Bruderholzes und der Binner Höhe schnell ab und verflacht sich dann gegen Norden. Etwa nördlich einer Linie Burgfelderstrasse - Burgfelderplatz – Schifflande befindet sich im Untergrund eine markante Schwelle (i.F. „Felsschwelle“). Diese Felsschwelle wird vom aktuellen Rheinbett unterbrochen und setzt sich nördlich des Rheins zwischen Mittlerer Brücke und Wettsteinplatz fort, bis sie sich im Bereich der Peter-Rot Str. verliert. An dieser Schwelle fällt der Fels von etwa 248-250 auf 235 m ü.M. ab. Der tiefste Punkt des Felses im Stadtgebiet befindet sich im Bereich Schlachthofstrasse auf ca. 233 m ü.M. Weiter im Nordwesten beim Euro Airport liegt der Fels auf etwa 222 m ü.M.

Entlang der Felsschwelle gibt es in mindestens 3 Bohrungen Hinweise auf alte, inzwischen durch die Niederterrassenschotter, verdeckte Rutschungen. Neben ungewöhnlich grossen Blöcken mit einem Durchmesser von 50 cm (1 J 1080) finden sich in Bohrbeschreibungen auch inverse Schichtlagerungsabfolgen bei denen Meletta-Schichten über Rheinsanden zu liegen kommen (1 Z 1056, 2 J 740).

Entlang der Verwerfungen (Fig. 3.4, Beilage 2 und 3) im Projektgebiet existieren derzeit keine eindeutigen Hinweise auf einen tektonischen Versatz der Felsoberfläche und damit auf eine verwerfungsbedingte Felsstufe.

3.6. Tektonische Situation und Störungen

Die Lagerungsverhältnisse der geologischen Einheiten des Felsuntergrundes im Projektperimeter werden durch die Profile in Abb. 3.1 und Beilage 13 sowie der 3D Visualisierung in Abb. 3.4 übersichtlich dargestellt. Der Projektperimeter liegt grösstenteils auf dem tektonischen Segment des sogenannten „Basler Rückens“ im westlichen Teil der Mulde von St. Jakob – Tüllingen. Er reicht im Westen bis über die Allschwiler-Verwerfungszone und im Osten grenzt er an die Rheintal-Flexur (östliche Begrenzung des Oberrheingrabens). Die geologischen Einheiten des Felsuntergrundes liegen im Bereich des Basler Rückens schwach gegen Osten und Südosten geneigt. Messbar ist die Schichtlagerung entlang des Rheinufer (siehe geologische Karte Blatt Basel 1047). Der Neigungswinkel variiert dort zwischen 8 und 22°. Entlang der geplanten Tunneltrasse „Herzstück Y“ liegen keine Messwerte vor.

Hinweise auf junge aktive tektonische Verwerfungen entlang des direkten Tunnelperimeters sind weder aus Bohrungen noch Berichten des Baugrundarchivs bekannt. Die Allschwiler-Verwerfungszone, welche mehrere 100 m Versatz aufweist, durchzieht das Projektgebiet im Westen in NNO-Richtung. Weitere Verwerfungen, deren Position, Aktivität und Versatzweite allerdings unklar sind, sind die Birsigtal-Schiff lände (in BGA BS 138: „Birsigtal-Münsterhügel-Verwerfung“) und die Reinach-Verwerfung. Eine Versatzweite von bis zu 1500 m wird für die Rheintal-Flexur angenommen, die ebenso wie die anderen Strukturen in NNO-Richtung streicht.

Die Birsigtal-Schiff lände Verwerfung ist aus der Literatur bisher nicht bekannt. Sie wurde, auf der Basis von strukturellen Überlegungen und Befunden in den reflexionsseismischen Untersuchungen auf dem Rhein (INTERREG III MONIT, 2003), bei der Erstellung des geologischen 3D-Modells der Region Basel eingeführt. Der Charakter dieser Verwerfung ist aufgrund der spärlichen Datenlage sehr unsicher und hat den Status „vermutet“. Nach den Befunden am Rhein wird der vertikale Versatz an der Basis der Meletta-Schichten auf wenige Meter geschätzt. Gegen Süden im Birsigtal ist an der Basis der Elsässer Molasse praktisch kein Versatz mehr zu erkennen. Sie kreuzt vermutlich 2-3mal die Trasse der „Herzstück Y“ (bei km: 2.100, 2.850 und 5.500). Die Störung wird innerhalb der Meletta-Schichten von dem Tunnelbauwerk durchfahren. Mit einem signifikanten Wechsel in der lithologischen Zusammensetzung ist nicht zu rechnen. Allenfalls kann mit einer tiefergreifenden Zerrüttung und Verwitterung der Meletta-Schichten gerechnet werden.

In der Fachliteratur wird die Reinach-Verwerfung mehrfach erwähnt und für das verheerende Basler Erdbeben von 1356 verantwortlich gemacht (z.B. Meghraoui et al. 2001). Vermutlich begrenzt diese Verwerfung die strukturelle Scholle des Basler Rückens im Osten. An der Oberfläche wird ihre Lage entlang des Ostabhanges des Bruderholzes vermutet, allerdings ist insbesondere nördlich des Bruderholzes ihre Lage sehr unsicher. Einzelne Strukturen, die der Reinach Verwerfung zugeordnet werden, sind aus dem Bereich Wolf-Gottesacker bekannt. Im Weiteren wird ihre Lage in Richtung auf die Schwarzwaldbrücke vermutet.

Damit kommt weder die Reinach-Verwerfung noch die Rheintalflexur in unmittelbare Nähe des Herzstück Y zu liegen.

Gemäss der Diskussion in der Fachliteratur, muss damit gerechnet werden, dass diese Verwerfung auch heute noch aktiv sein könnte.

Die östliche Begrenzung der Allschwiler-Verwerfungszone liegt etwa 1,5 km westlich der Trasse Herzstück Y und damit für diese nicht im direkten Umfeld. Sie ist 1 bis 2 km breit und streicht in NNO-Richtung durch das Projektgebiet (Beilagen 2 & 13). Ob die Allschwiler-Verwerfungszone heute noch aktiv sein könnte ist unklar. Vermutlich besteht sie aus 2 bis 3 weitreichenden Einzelverwerfungen mit grossen Versatzweiten und einem komplexen internen Aufbau aus sekundären Zweigstörungen.

Die Rheintalflexur (auch Flexurzone oder Haupttrandverwerfung der Oberrheingraben) ist eine 400 – 1000 m breite Störungszone, welche die tektonischen Grossstrukturen Oberrheingraben im Westen von Tafeljura im Osten trennt. In der Rheintalflexur werden die mesozoischen Einheiten um bis zu 1500 m vertikal versetzt, wobei sich der Westteil gegenüber dem Tafeljura im Osten abgesenkt hat. Die Sedimentation känozoischer (tertiärer) Gesteine glich diese Bewegungen aus, so dass die Flexurzone im Bereich des Rheins im Relief nicht sichtbar ist. Über die Flexurzone hinweg ändert sich die Geologie des Felsuntergrunds kleinräumig, was auf eine komplexe Internstruktur der Flexurzone hinweist, die zu weiten Teilen noch unbekannt ist.

Im geologischen 3D-Modell wurden die Allschwiler-Verwerfungszone und die Rheintalflexur durch ihre begrenzenden Hauptverwerfungen modelliert. Die internen Strukturen sind derart komplex, dass diese bei der momentanen Datenlage lokal nur schwer darzustellen sind.

Abgesehen von den erwähnten Strukturen zeigen verschiedene Arbeiten, die nach dem Geothermieprojekt Basel publiziert wurden, dass im Basler Untergrund noch weitere, bisher unbekannte Störungen existieren (z.B. Häring & Schmidt 2007, Mukuhira et al. 2012, Evans et al. 2013). Aus Befunden der angrenzenden Gebiete des Juras, Oberrheingrabens, Dinkelbergs und Schwarzwaldes ist davon auszugehen, dass neben den bekannten grossen, NNO verlaufenden Verwerfungen, wie der Rheintal-Flexur, der Reinach-Verwerfung oder der Allschwiler-Verwerfungszone noch weitere Brüche mit unterschiedlichen Richtungen vorhanden sind. Vermutlich bilden sie ein komplexes Störungsmuster, in dem auch rezent tektonische Bewegungen nicht auszuschliessen sind.

3.7. Geologisches 3D Modell – „Werkzeug“ der 3D-Raumplanung

Für die Region Basel wurde von der AUG im Zusammenhang mit der Erarbeitung der quantitativen Erdbebengefährdungskarte ein geologisches 3D-Modell der Region Basel erstellt, welches bis Sommer 2012 im Rahmen des INTERREG Projektes (GeORG) komplett überarbeitet und auf eine Grösse von 20 x 30 km und bis in eine Tiefe von 6 km erweitert wurde. Neben etwa 250 Verwerfungen, verfügt das Modell über 20 geologische Horizonte von der Felsoberfläche bis zum Top des kristallinen Grundgebirges. Zur Bearbeitung spezifischer Fragestellungen, wie dem Herzstück Tunnelprojekt, kann aus dem regionalen 3D Modell ein lokales Arbeitsmodell in beliebiger Grösse extrahiert werden. Anschliessend werden die Ergebnisse z.B. neue Horizontgeometrien wieder ins regionale Modell integriert. Hierdurch wird das regionale 3D Modell, Projekt für Projekt, sukzessive und nachhaltig weiterentwickelt und kann als „Werkzeug“ zur Bearbeitung für Fragestellungen in der Raumplanung herangezogen werden.

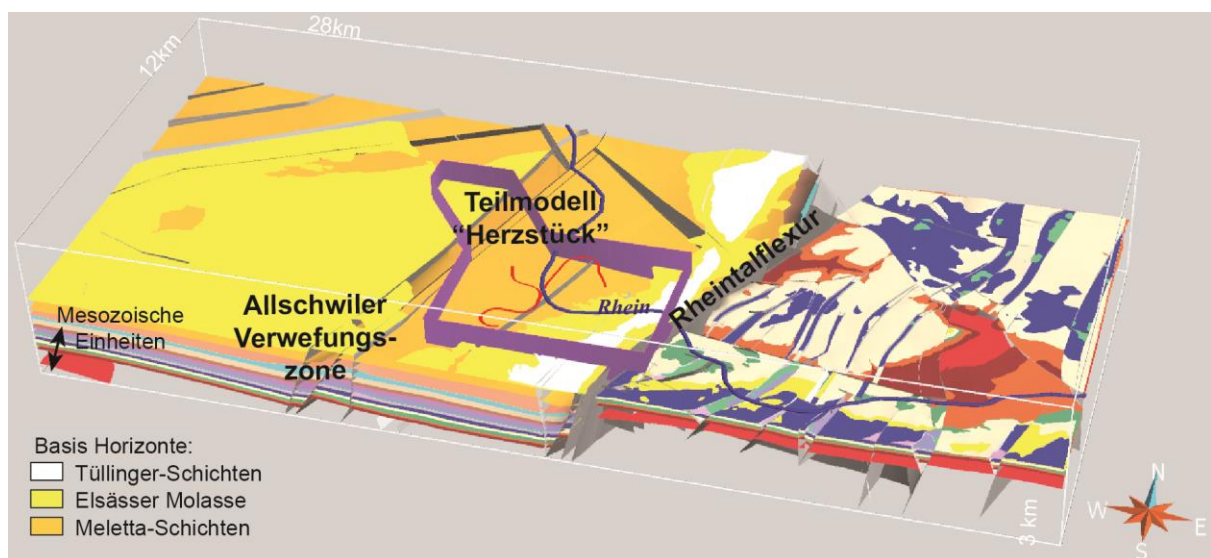


Abbildung 3.2 Ausschnitt aus dem geologischen 3-D Modell der Region Basel. Die Legende beschreibt die 3 wichtigsten Basis Horizonte (Bezeichnung der unteren Grenze der jeweiligen geologischen Einheit) im Bereich des Teilmodells „Herzstück“. Die Topographie ist nicht dargestellt. Der Perimeter des Teilmodells für das projektierte Tunnelbauwerk ist in violett dargestellt; schwarz: Tunnelbauwerk „Herzstück Y“ (für exakten Trassenverlauf vgl. Beilage 1).

Das 3D Modell im Bereich des Projektgebiets Herzstück

Aus dem geologischen 3D-Modell der Region Basel (Stand 2012) wurde das Teilmodell „Herzstück“ für den Perimeter des projektierten Tunnelbauwerks extrahiert. Das Teilmodell „Herzstück“ umfasst den Projektperimeter (Beilage 1) und wurde im Schweizer Bereich im Januar 2016 überarbeitet. Für die französischen und deutschen Bereiche des Perimeters fehlte eine aktualisierte Datengrundlage für eine Überarbeitung. Das 3D Modell „Herzstück“ hat eine ungefähre Erstreckung von 7200 m in NS Richtung und 8200 m in WO Richtung und reicht bis in eine Tiefe von etwa 0 m ü.M.

Geologische Modellhorizonte

Neben der Topographie enthält das Teilmodell vier geologische Horizonte (Abb. 3.4): (1) Basis Quartär (= Felsoberfläche; entspricht der Basis Lockergesteine); (2) Basis Tüllinger-Schichten (Top Elsässermolasse); (3) Basis Elsässer Molasse (Top Meletta-Schichten) und (4) Basis Meletta-Schichten. Der zur Tiefe hin nächste Horizont, die Basis Känozoikum (Tertiär), liegt etwa 180 bis 450 m unterhalb der Basis Meletta-Schichten und wird hier nicht weiter diskutiert.

Bohrungen und Geländemodell

Für die Überarbeitung des „Herzstück“-Modells konnten alle Bohrungen berücksichtigt werden, die bis zum 17.11.2015 in der Datenbank (GeoData) aufgenommen und für einen Export nach GOCAD geeignet waren. Aufgrund der kleineren Dateigrösse und der dadurch besseren Handhabung wird ein Geländemodell mit einer Auflösung von 25 m für Übersichtsdarstellungen genutzt. Für die Profilkonstruktionen zur Linienführung des Herzstück Y und Detailabklärungen wird ein digitales Höhenmodell mit 2 m Auflösung verwendet.

Verwerfungen im Modell

Der gegenwärtige gewählte Ansatz bei der Erstellung des geologischen 3D Modells berücksichtigt in der Hauptsache Verwerfungen (auch Störungen und Störungszonen), welche aufgrund von relativ grossen Versätzen von Schichten oder aus kinematischen Gründen eine signifikante Bedeutung für die regionale Geologie haben. Darüber hinaus wurden im Bereich des Oberrheingrabens auch jene Verwerfungen mit aufgenommen, die eine besondere Relevanz im Zusammenhang mit der Erdbebengefahr in der Region haben. Einzelheiten zu den Verwerfungen finden sich im Kapitel 3.6.

Im Bereich des Teilmodells „Herzstück“ wurden folgende Verwerfungen bzw. Störungszonen modelliert:

- Reinach-Verwerfung (entlang des Ostabhangs des Bruderholzes und weiter Richtung Schwarzwaldbrücke)
- Allschwiler-Verwerfungszone (im Bereich der Grenze zu Frankreich und westlich davon), welche mittels dreier Einzelverwerfungen in das 3D Modell integriert wurde
- Rheintal-Flexur (östlich der Birs, in NNO-Richtung). Es wurden keine Internstrukturen modelliert; die Flexurzone wird durch die sie begrenzenden Hauptstörungen im Modell wiedergegeben
- Birsigtal-Schifflande Verwerfung (entlang des Birsigtals und westl. des Münsterhügels). Sie hat den Status „vermutet“.

Nutzung, Möglichkeiten und Erstellung des Geologischen 3D-Modell der Region Basel

Die Nutzung des 3D Modells als Planungswerkzeug beruht auf einem modularen Konzept von Datenbank- Geoinformationssystem (GIS) und 3D Modell. Das Modul Datenbank beinhaltet den wichtigsten Basisdatensatz, die Bohrungen der Region (zurzeit ca. 13.000). Bohrungen aus den Kantonen Basel-Stadt und -Landschaft werden routinemässig eingegeben und verwaltet. Im Modul Geoinformationssystem werden alle Eingangsdatensätze und Ergebnishorizonte verwaltet. Das dritte Modul ist das eigentliche 3D Modell, welches den geologischen Aufbau der Region beinhaltet und je nach Fragestellung verfeinert werden kann. Die Möglichkeit zur Weiterentwicklung wird durch diese Flexibilität beim Datenmanagement und der 3D Modellierung gewährleistet. Veränderungen der Datenlage, des Modellinhalts oder -grösse können jeweils ins Gesamtmodell integriert werden.

Das geologische 3D-Modell der Region Basel wurde mittels des Softwarepakets GOCAD aufgebaut. Der in GOCAD implementierte Interpolationsalgorithmus DSI (Discrete Smooth Interpolator; Mallet 1992) ermöglicht die diskrete Modellierung vielschichtiger geologischer Topologien (z.B. Abb. 3.2). Hierbei können verschiedene Datentypen verwendet werden (u.a. Punkte, Linien, Flächen, Volumina, Bohrungen oder digitale Bilder).

Zu den Stärken von GOCAD zählen die variablen Darstellungsmöglichkeiten am Monitor, welche in 2D-Abbildungen oft nur schwer zu reproduzieren sind.

Als Exporte aus GOCAD können, zur Darstellung der geologischen Strukturen, Profilschnitte in beliebiger Raumlage erstellt werden. Darüber hinaus bietet GOCAD einfache Möglichkeiten verschiedene Dateiformate (TIN, DXF, ASCII) zu exportieren und in anderen Softwarepaketen (GIS und hydrogeologische Modelle) zu integrieren.

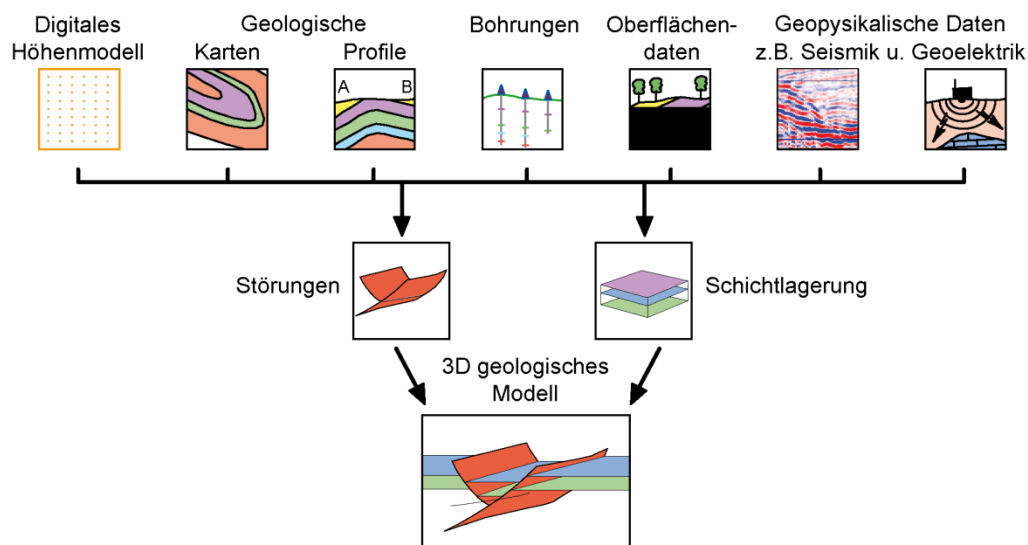


Abbildung 3.3 Schematische Darstellung der Modellerstellung

Die Datenbasis für die Erstellung des 3D Modells waren in erster Linie (1) die geologischen Karten der Region, (2) geologische vertikale Profile aus der Literatur (u.a. Gürler et al. 1987); (3) Bohrungen, (4) digitale topographische Höhendatensätze mit 2 bis 25 m Auflösung sowie (5) zahlreiche Einzelbeobachtungen, die in der Fachliteratur oder in technischen Berichten dokumentiert sind.

Unsicherheiten im 3D-Modell

Da das geologische 3D-Modell der Region Basel auf die Erfassung von Grossstrukturen ausgelegt ist, beinhalten die Raumlagen der einzelnen Verwerfungen und geologischen Horizonte in Detailbetrachtungen Unsicherheiten. Die Ursachen liegen vor allem in der teils geringen Datendichte insbesondere ab Tiefen > 25 m unter Gelände, hier existieren wenig Bohrinformationen und detaillierte Aussagen somit schwierig.

Die Quartärmächtigkeit und damit die Tiefenlage der Felsoberfläche sind durch die Bohrungen im Stadtgebiet recht gut bekannt, hier liegen die Unsicherheiten im Allgemeinen bei Werten kleiner 2 m. Sie bestehen vor allem aufgrund der unsteten und welligen Felsoberfläche (siehe Kap. 3.5). In Abschnitten mit einer stärkeren Oberflächenmorphologie wie entlang der Birsig, dem Bereich Schiffflände, Blumenrain und Rheinbett können die Abweichungen auch grösser sein. Grosse Unsicherheiten in Bezug auf die Ausbildung des Lockergesteins bzw. der künstlichen Auffüllung als auch auf die Tiefenlage des Felsens gibt es in den Bahnhofsbereichen (Badischer Bhf. und Bhf. SBB). Weitere Unsicherheiten bestehen im Bereich des Rheinbetts, die Tiefenlage der Felsoberfläche ist im Bereich der Trasse „Herzstück Y“ aus Befunden direkt am Ufer recht gut bekannt, allerdings nicht im Rheinbett selbst. Es liegt keine unmittelbare Bohrung vor.

Die Modellierung der Position der geologischen Grenze der Elsässer Molasse und den Meletta-Schichten beruht ausschliesslich auf Bohrbefunden. Da sie nicht durch einen scharfen lithologischen Wechsel in der Zusammensetzung markiert ist, kann es hier schon in den Basisdaten, den Bohrprofilen, zu Unsicherheiten kommen. Auch geben die Basisdaten nur sporadisch Aufschluss über die Raumlage und damit den Neigungswinkel der Schichtlagerung. Hier profitiert das lokale geologische Teilmodell von der Modellierung der Grossstrukturen im regionalen Modell, welches die Schichtlagerungen in einem grösseren Zusammenhang darstellen kann.

Im Projektgebiet weist nur eine Bohrung (12 Y 1) darauf hin, dass eine der Hauptstörungen der Allschwil-Verwerfungszone angebohrt wurde. Ansonsten wurde keine der Verwerfungen im Teilmodell „Herzstück“ direkt angebohrt, auch gibt es keine geophysikalischen Untersuchungen die ihre detaillierte Lage belegt. Die modellierten Geometrien der Verwerfungen und damit ihre Raumlage beruht auf der Interpretation und Extrapolation von Befunden (1) am Südrand des Projektgebietes und unmittelbar südlich davon bis in das Gebiet des Faltenjuras, (2) Bohrungen (in D, F, CH), welche insbesondere die Basis des Tertiärs erreicht haben und (3) reflexionsseismische Untersuchungen südlich des Projektgebiets und entlang des Rheins.

Visualisierung

Detaillierten Aufschluss über die geologischen Verhältnisse bieten die 3D-Ansichten des Modellraums (Abb. 3.4). In der 3D-Visualisierung (siehe auch Tunnellängsprofil Beilage 4 & 5) wird deutlich in welchen geologischen Einheiten die Projekttrassen zu liegen kommt. Der Reihe nach werden die Topographie (Abb. 3.4 Mitte) und die Felsoberfläche (Abb. 3.4 unten) abgedeckt.

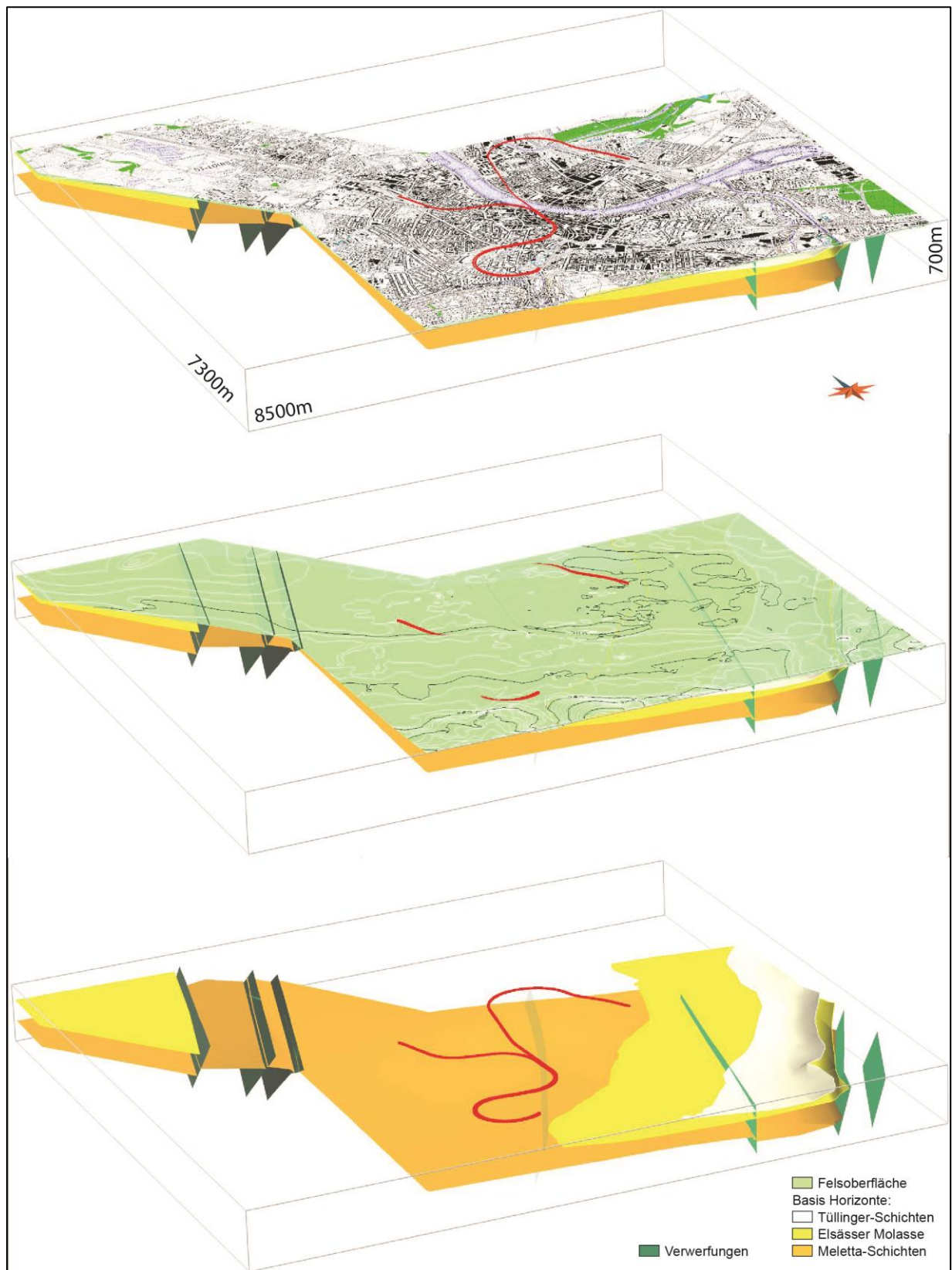


Abbildung 3.4 3D-Visualisierung (Blick aus SW) der Trassenführung (rot) im Teilmodell „Herzstück“; Oben: Linienführung Herzstück Y auf der Topographie; Mitte: Felsuntergrund (inkl. Höhenlinien); Unten: „Basis Horizonte“ (bezeichnet die untere Grenze der jeweiligen geologischen Einheit), vermutete Störung (transparent)

4. Hydrogeologie

4.1. Grundwasserverhältnisse

In Abbildung 4.1 werden die Grundwasservorkommen in den Lockergesteinen für den Projektperimeter und den Kanton Basel-Stadt dargestellt.

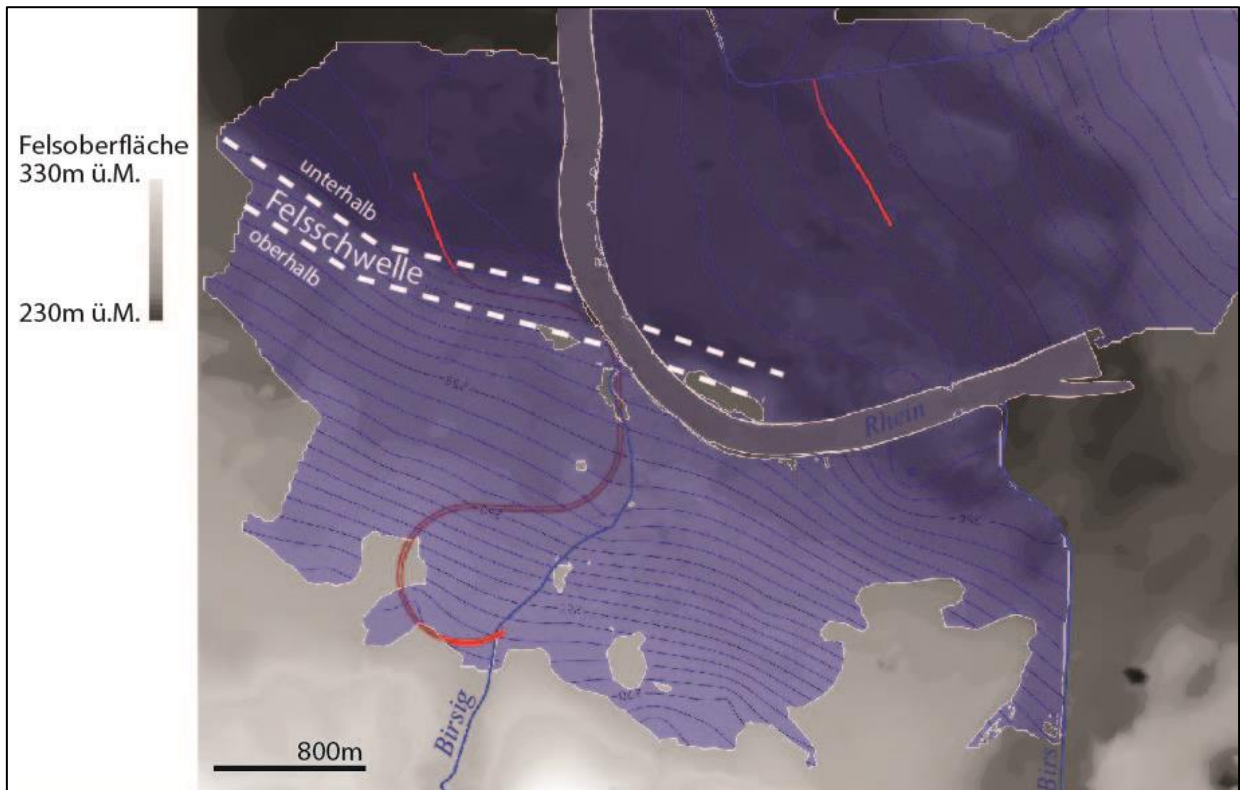


Abbildung 4.1 Teilmodell mit Darstellung der mittleren Grundwassersituation (blau, transparent) und -gleichen (m ü.M., schwarz, 5 m Konturierung); Für das Gebiet östlich der Birs, sowie Frankreich und Deutschland ist das Grundwasser nicht dargestellt; Projekttrasse (rot).

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Projektgebiet werden bestimmt durch gut durchlässige und grundwasserführende quartäre Niederterrassenschotter (vgl. Kapitel 3.2 Lockergesteine). Diese lagern i.a. schlecht durchlässigen tertiären Sedimenten (Grundwasserstauer) auf. Das Grundwasserfließregime (Grundwasserfließgeschwindigkeiten, -mengen und -richtungen) wird durch die stark stationären hydrologischen und betrieblichen Randbedingungen von Grundwasserneubildung, den Austauschprozessen mit den Fließgewässern sowie den Nutzungen des Oberflächen- und Grundwassers bestimmt.

Für die Beschreibung der Grundwasserverhältnisse wurde auf Resultate der Grundwassermodellierung aus dem BFE-Projekt "Thermische Bewirtschaftungssysteme für den oberflächennahen Untergrund der Region Basel" (SI/501044-01) zurückgegriffen. Die regionale Grundwasserfließrichtung in den Lockergesteinen ist sowohl auf Gross- als auch auf Kleinbasler Seite gegen den Vorfluter Rhein gerichtet (Abb. 4.1). Aufgrund des Felsverlaufs (siehe oben) kann das Gebiet des projektierten Tunnelbauwerkes in drei hydrogeologische Einheiten zusammengefasst werden (Kap. 3, Beilage 7): (A) Bereich oberhalb der Felsschwelle; (B) Bereich der Felsschwelle; und (C) Bereich unterhalb der Felsschwelle. Im Folgenden werden die Grund-

wasserverhältnisse in den Lockergesteinen entlang der projektierten Tunnelbauwerke für diese verschiedenen Bereiche dargestellt.

(A) Bereich oberhalb der Felsschwelle

Der Grundwasserflurabstand im Bereich der projektierten Tunnelbauwerke oberhalb der Felsschwelle variiert zwischen 10 und 20 m, im Bereich des Birsigtals und des Basler Zoos kann der Flurabstand unter 5 m liegen; die Grundwassermächtigkeit variiert zwischen 0 und 5 m und die Schwankungen des Grundwasserspiegels liegen zwischen -0.5 und +1.0 m (Tab. 4.1). Zwischen km 0.250 und 0.600 liegt der Tunnel im Bereich der gesättigten Niederterrassenschotter und parallel zur mittleren Grundwasserfliessrichtung.

(B) Bereich Felsschwelle

Der Grundwasserflurabstand im Bereich des projektierten Tunnelbauwerks in der Felsschwelle (Abb. 4.1) liegt bei 0 bis 15 m; die Grundwassermächtigkeit variiert zwischen 0 bis 5 m.

Auf Kleinbasler Seite befinden sich zwei Grundwassermessstellen im unmittelbaren Bereich der Felsschwelle (BS 1084 und BS 1161) und die Schwankungen des Grundwasserspiegels liegen zwischen -0.9 und +1.9 m.

Auf Grossbasler Seite sind die Schwankungen des Grundwasserspiegels vergleichsweise gross und liegen in der Grössenordnung von 2 m (aufgrund fehlender Piezometerdaten basiert die Information auf einer Interpolation).

(C) Bereich unterhalb der Felsschwelle

Der Grundwasserflurabstand im Bereich der projektierten Tunnelbauwerke unterhalb der Felsschwelle reicht von ca. 5 bis 20 m; die Grundwassermächtigkeit variiert zwischen 2 und 10 m. Die Schwankungen des Grundwasserspiegels in diesem Bereich liegen zwischen -2.0 und +1.9 m (Tab. 4.1).

Auf Kleinbasler Seite verläuft, nach der Trennung der Linienführung (ca. km 3.000), die rechte Tunnelröhre bis km 5.650 im Felsuntergrund und dann bis km 6.300 in der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter. Zu beachten ist, dass das Tunnelbauwerk senkrecht zur mittleren Grundwasserfliessrichtung verläuft (Verringerung des durchflusswirksamen Grundwasserleiters, Grundwasseraufstau).

Auf Grossbasler Seite verbleibt, nach der Trennung der Linienführung (ca. km 3.000), die linke Tunnelröhre im Felsuntergrund, bis sie ab ca. km 3.850 bis 4.250 in der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter zu liegen kommt. Auch hier ist zu beachten, dass das Tunnelbauwerk in diesem Bereich teilweise mehr oder wenig senkrecht zur mittleren Grundwasserfliessrichtung verläuft.

Tabelle 4.1 Grundwasserstände im Projektgebiet (Datengrundlage: kontinuierlich aufzeichnende Grundwasserpegel AUE BS & IWB, Datenzeitraum: 1994 bis 2013). Min/Max: Abweichung nach unten/oben vom mittleren Pegel.

Messstelle	Mittlerer Pegel (m ü.M.)	Min (m ü.M.) (Differenz (m))	Max (m ü.M.) (Differenz (m))	Lage relativ zur Felsschwelle
BS 634	260.32	259.88 (-0.44)	260.73 (+0.41)	oberhalb
BS 825	252.97	252.59 (-0.38)	253.57 (+0.60)	oberhalb
BS 931	258.32	257.90 (-0.42)	258.76 (+0.44)	oberhalb
BS 1052	253.40	252.96 (-0.44)	254.11 (+0.71)	oberhalb
BS 1060	256.65	256.46 (-0.19)	256.92 (+0.27)	oberhalb
BS 1065	268.19	267.82 (-0.36)	268.82 (+0.63)	oberhalb
BS 1072	259.38	258.90 (-0.48)	260.28 (+0.90)	oberhalb
BS 1169	266.08	265.84 (-0.24)	267.14 (+1.06)	oberhalb
BS 1885	272.98	272.85 (-0.13)	273.10 (+0.12)	oberhalb
BS 3755	256.08	255.92 (-0.16)	256.44 (+0.36)	oberhalb
BS 1084	245.52	244.65 (-0.87)	247.45 (+1.93)	Felsschwelle (Kleinbasel)
BS 1161	245.7	245.13 (-0.57)	246.57 (+0.87)	Felsschwelle (Kleinbasel)
Keine Piezometerdaten vorhanden				Felsschwelle (Grossbasel)
BS 31	248.28	247.05 (-1.23)	250.07 (+1.79)	unterhalb
BS 460	250.68	248.68 (-2.0)	252.20 (+1.52)	unterhalb
BS 703	245.03	244.65 (-0.38)	246.42 (+1.39)	unterhalb
BS 752	248.06	246.70 (-1.36)	249.57 (+1.51)	unterhalb
BS 814	247.48	246.60 (-0.88)	248.63 (+1.15)	unterhalb
BS 1064	250.73	248.78 (-1.95)	252.00 (+1.27)	unterhalb
BS 1090	245.61	244.10 (-1.51)	246.50 (+0.89)	unterhalb
BS 1291	249.63	247.55 (-2.08)	251.33 (+1.70)	unterhalb
BS 1433	246.68	245.73 (-0.95)	247.91 (+1.23)	unterhalb
BS 2477	245.41	244.63 (-0.78)	246.10 (+0.69)	unterhalb

4.2. Hydraulische Eigenschaften

Niederterrassenschotter

Die Niederterrassenschotter weisen allgemein eine hohe hydraulische Leitfähigkeit auf (k_f -Werte in der Grössenordnung zwischen 10^{-4} und 10^{-2} m s^{-1}). Örtlich kann die hydraulische Leitfähigkeit durch Verkittungen zu Nagelfluh, Sandlinsen und verlehmtten Bereiche deutlich kleiner sein. Solche Erscheinungen sind auch innerhalb des Projektgebiets bekannt (BGA BS IV 90). Tabelle 4.2 enthält eine Zusammenstellung bekannter Werte der hydraulischen Leitfähigkeiten im Projektgebiet. Die für die Modellierung der Grundwasserströmung notwendigen hydraulischen Eigenschaften und deren Verteilung wurden aus Pumpversuchen und fluvio-sedimentologischen Überlegungen übernommen sowie fortlaufend kalibriert.

Tabelle 4.2 Ermittelte und geschätzte Werte der hydraulischen Leitfähigkeit (kf-Wert) im Projektgebiet.

Einheit	k _f -Wert (m/s)	Bemerkung	Datenquelle
Niederterrassenschotter	1.0E-4 bis 1.5E-1	Grundwassermodellkalibrierung gesamter Projektperimeter	BFE-Projekt SI/501044-01
	9.0E-4 bis 2.0E-3	Pumpversuch	BGA BS I 42
	1.0E-5 bis 1.0E-4	Füllerversuche	BGA BS I 60
	1.0E-3 bis 3.0E-3	Auswertung Pumpbetrieb GW-Nutzer	BGA BS I 65
	9.0E-4 bis 3.8E-3	Pumpversuch	BGA BS I 84
	3.12E-3	Pumpversuch	BGA BS I 122
	3.5E-3 bis 6.0E-3	Grundwassermodellkalibrierung	BGA BS I 127
	9.0E-5 bis 4.0E-2	Zusammenstellung Pumpversuche	BGA BS I 132
	2.0E-4 bis 4.0E-4	Körner Durchlässigkeitsfaktoren	BGA BS I 182
	1.3E-4 bis 2.5E-3	Grosspumpversuche	Grundwassermodell NT (BGA BS I 136S)
	1.0E-4 bis 5.0E-3	Grundwassermodellkalibrierung	
	1.5E-3 bis 2.75E-3	Grosspumpversuche	BGA BS II 8
	1.4E-4	BL 16.T.4	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	8E-4	BS 4.E.1010, GW-Fassung, Horizontalfilterbrunnen mit 6 Strängen	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	2.34E-3	BS 4.Z.1069	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	1.47E-3	BS 4.T.3615	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	2.7E-8	BS 5.P.3617, Berechnung aus Auffüllversuch, kein Einbau!	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	2E-4	BS 5.P.3621	Geodatenbank Kanton BS/BL (GeoData)
	0.38E-3 bis 2.64E-3	Grosspumpversuch Nordtangente (Bericht K&S, 1990)	Grundwassermodell 2000 (BGA BS 96, Beilage 11)
	0.15E-3 bis 3.9E-3	Nordtangente, aus Kornverteilung bestimmt (Hauber, PNP, 1990)	Grundwassermodell 2000 (BGA BS 96, Beilage 11)
	1.5 E-3 bis 2E-3	Nordtangente, Absenkversuch	Grundwassermodell 2000 (BGA BS 96, Beilage 11)
	3.58E-4 bis 8.97E-3, Mittel 1.82E-3	Pumpversuche Gaswerkareal Pro Rheno	Grundwassermodell 2000 (BGA BS 96, Beilage 11)
	6.0E-4 bis 9.7E-3	Diverse Brunnen Archiv Grossbasel	Grundwassermodell 2000 (BGA BS 96, Beilage 11)
Elsässer Molasse	1.41E-3 bis 2.34E-3	Pumpversuch Neubau Lonza AG	(BGA BS IV 86)
	11E-4 bis 8E-3	Grosspumpversuch Allschwil	BGA Allschwil 37
	2.7E-8	Sandige Fazies, aus Auffüllversuch in 5.P.3617	BGA BS V 95
	1E-5 bis 1E-6	Sandige Fazies, geschätzt	BGA BS VIII 34
	3E-6 bis 9E-6, z.T. 1E-5 bis 1.5E-4	Sandige Fazies, geschätzt aus Kornverteilungskurven	BGA BS VIII 37
Meletta-Schichten	< 1E-7	Mergelige Fazies (Cyrenenmergel), geschätzt	BGA BS VIII 34, BS VIII 37
	1E-8	Mergelige Fazies, geschätzt	
	5E-5 bis 1E-7	Sandige Fazies, geschätzt	BGA BS IX 25

Felsuntergrund

Die hydraulischen Eigenschaften der tertiären Sedimente werden meist nur qualitativ beschrieben. Die wenigen vorhandenen Daten basieren auf Baugrundaufnahmen (siehe auch Tabelle 4.2). Generell sind die hydraulischen Leitfähigkeiten gering (Tab. 4.2). Das vereinzelte Auftreten von Wasser ist in Deformationszonen und sandigen Lagen möglich. Die folgenden stellvertretenden Beschreibungen stammen aus verschiedenen geotechnischen Berichten im Raum Basel:

Elsässer Molasse: Häufig kleine hydraulische Durchlässigkeiten (Tab. 4.2), mit Ausnahme lokaler, sandiger Lagen oder Kluftzonen (BGA Riehen B 34). Mergelige Fazies (Cyrenenmergel) „dicht, praktisch undurchlässig“ (BGA BS VIII 34, BGA BS VIII 37). „In sandigen Abschnitten ist mit Grundwasserflüssen zu rechnen. Die Ausbildung der Sandsteine ist jedoch feinkörnig, d.h. es sind geringe Durchlässigkeiten und Transmissivitäten zu erwarten“ (BGA BS V 95).

Meletta-Schichten: Kleine hydraulische Durchlässigkeiten (Tab. 4.2), „Auftreten von Wasser in Kluft-/Deformationszonen sowie bei Verbindung von sandigen Einlagerungen mit (wasserführenden) Schottern“ (BGA BS VII 46). „Sand(stein)-Einlagerungen wassergefüllt, entspricht gespanntem Grundwasserleiter geringer Transmissivitäten und schlechter bis mässiger Durchlässigkeit. Keine grossen Wassermengen zu erwarten, jedoch Gefahr des hydraulischen Grundbruchs wegen hoher Wasserdrücke“ (BGA BS VII 47). „Mergel praktisch undurchlässig, Sandeinlagerungen schlechte Durchlässigkeit, nur kleine anfallende Wassermengen, aber dennoch Grundbruchgefahr bei aufwärtsgerichteten hydraulischen Drücken“ (BGA BS IX 25).

4.3. Grundwasserneubildung und Randzuflüsse

Die Grundwasserneubildung im Projektgebiet erfolgt direkt aus flächenhaft versickerndem Niederschlagswasser und indirekt über den Grundwasserzustrom aus Süden (Grossbasel) bzw. Nordosten (Lange Erlen, Kleinbasel) sowie über die Infiltration der Oberflächengewässer (Rhein, Birsig, Wiese). Im Vergleich zur indirekten, ist die direkte Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser erfahrungsmässig sehr gering.

Die Ergiebigkeit des Grundwassers im Bereich des Bahnhofs SBB ist gering, im Baubereich ist entsprechend nur mit geringen Wassermengen zu rechnen (BGA BS IV 53). Relevant für das Tunnelbauwerk im südlichen Abschnitt ist die Interaktion des Grundwassers mit der Birsig. Dieser ist auf baselstädtischem Gebiet jedoch grösstenteils eingedolt. Lediglich ober- und unterhalb des Zoologischen Gartens tritt er auf wenigen hundert Metern zutage.

Wesentlicher ist die Interaktion der Tunnelabschnitte mit dem Grundwasser im St. Johann und im Bereich des Badischen Bahnhofs. Diese Tunnelabschnitte liegen teilweise senkrecht zur mittleren Grundwasserfliessrichtung. Auch die Ergiebigkeit des Grundwassers in diesem Bereich kommt der Dimensionierung der Wasserhaltungen eine im Vergleich zu dem südlichen Abschnitt grössere Bedeutung zu.

4.4. Grundwassernutzung

Als Grundlage für die Darstellung der Grundwassernutzer im Projektperimeter (Beilage 7) wurden verschiedene Datensätze verwendet (Tabelle 2.1). Eine Bestandsaufnahme der Grundwassernutzer, einschliesslich Entnahme- und Rückgabemengen, sollte vor Projektbeginn stattfinden. Dies beinhaltet auch die Erarbeitung von Lösungsansätzen um die Grund-

wasserversorgung einzelner Nutzer während des Tunnelbaus und der anschliessenden Betriebsphase sicherzustellen.

Im Kontext der Grundwassernutzung ist auch das kantonale Grundwassermessnetz zu beachten. Der Beilage 7 ist zu entnehmen, dass mehrere Messstellen in unmittelbarer Nähe oder direkt auf der aktuellen Linienführung (Herzstück Y) liegen. In Bezug auf diese Messstellen muss vorab eine Abklärung zu ihrer Nutzung und möglichen alternativen Standorten stattfinden.

5. Beschreibung der hydro-geologischen Kartendarstellungen und Profile

5.1. Übersichtskarten

Abgedeckte geologische Karte – Herzstück Y (Beilage 3)

Die Karte stellt die Geologie an der Felsoberfläche dar. Die Felsisohypsen geben die Topologie der Felsoberfläche wieder, sie beruht auf Bohrbefunden und deren Interpretation. Mittels des DSI Algorithmus (Kap.3.7) wurde die Felsoberfläche interpoliert. Eine mehrstufige Qualitätskontrolle fand zum einen, bei der Beurteilung der Bohrbefunde, als auch durch eine automatisierte und visuelle Überprüfung der modellierten Oberfläche statt. Im Herbst 2017 fand eine Aktualisierung der Felsoberfläche entlang der Linienführung (Y-Hoch hoch vom 28.11.2017) statt.

Überlagerungsmächtigkeit Fels (Beilage 8), Lockergesteine (Beilage 9) und Grundwasser im Lockergestein (Beilage 10)

Den Karten kann die Überlagerungsmächtigkeit des Tunnelbauwerks durch Lockergestein, Fels und Grundwasser (maximal Situation) entnommen werden. Die Ermittlung der jeweiligen Überlagerungsmächtigkeit (Abb. 5.1) wurde im GIS erarbeitet.

Die ermittelten Werte zur Überlagerungsmächtigkeit beinhalten Unsicherheiten. Alle drei Darstellungen werden von der Genauigkeit der Lage der Felsoberfläche beeinflusst (Kap. 3.7).

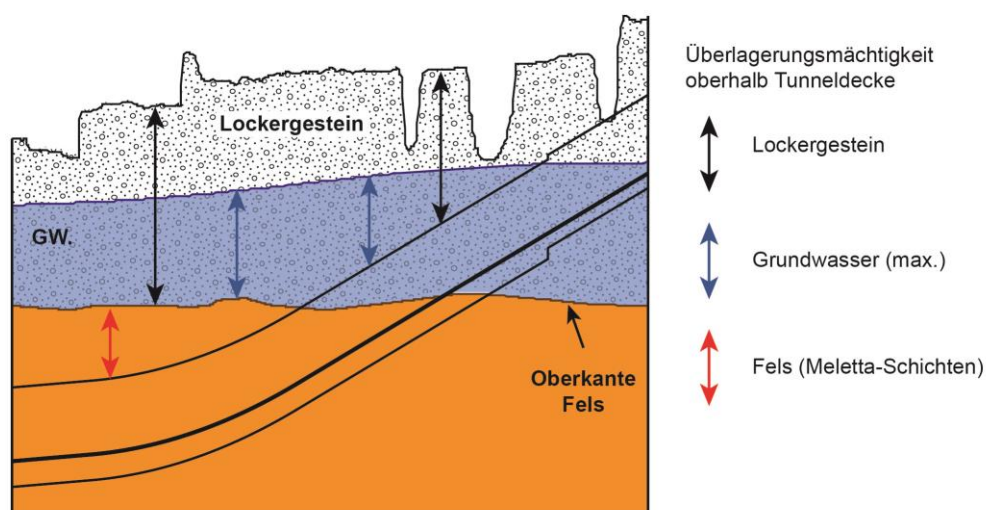


Abbildung 5.1 Darstellung möglicher Situationen die bei der Ermittlung der jeweiligen Überlagerungsmächtigkeit berücksichtigt wurden.

Da Untergrundbauten (z.B. Keller) in die Darstellung nicht einbezogen sind, könnte bei Unterquerung baulicher Strukturen die Mächtigkeit natürlich vorkommender Felsüberlagerung lokal stark reduziert sein. Für den verwendeten maximalen Grundwasserstand ist, bezogen auf den modellierten Zeitraum von 2010 bis 2015, die Genauigkeit im Dezimeterbereich. Ausgenommen ist der Bereich der Tiefhaltestelle Mitte und weiter bis zum rechten Rheinufer, hier existieren komplexe instationäre Grundwasserverhältnisse (in Abhängigkeit der hydrologischen Randbedingungen auch trockenfallende Bereiche).

Für die Berechnung der Lockergesteinsmächtigkeit wurde ein Höhenmodell mit 1m Raster verwendet (DHM1m).

5.2. Profilbeschreibung

Geologisches Längsprofil (A-A') – Hoch Y rechts, Neue Brücke Zoo – Badischer Bhf.

(Beilage 4)

Vom Bahnhof SBB kommend beginnt der Tunnel, Herzstück Y, westlich der neuen Brücke am Zoo. Hier verläuft er auf einer Strecke von ca. 150 m in der ungesättigten Zone der Lockergesteine. Zwischen km 0.250 und 0.600 liegt der Tunnel im Bereich der gesättigten Niederterrassenschotter und dringt dann in den Felsuntergrund ein. Der Felsuntergrund besteht auf der gesamten Tunnellänge aus Meletta-Schichten. Zwischen km 3.050 und 3.500 unterquert der Tunnel den Rhein. Der Tunnel verbleibt im Felsuntergrund bis er etwa bei km 5.650 wieder in Kontakt zur Felsoberfläche kommt. Ab ca. km 6.050 befindet sich der Tunnel oberhalb der Felsoberfläche und damit in der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter. Etwa ab km 6.300 liegt der Tunnel wieder in der ungesättigten Zone. Generell beträgt die Überlagerung durch Felsgestein (Meletta-Schichten) mehr als 5 m und in Grossbasel generell mehr als 10 m. Ausgenommen sind die Bereiche des Auf- und Abtauchens in denen der Tunnel die Felsoberfläche durchfährt. Die Lockergesteinsmächtigkeit (incl. künstl. Aufschüttungen) beträgt meist mehr als 5 - 10 m. Deutlich weniger Lockergesteine befinden sich im Bereich des Marktplatzes bis Barfüsserplatz. Unsicher ist die Situation entlang des Rheins, da hier zur Zeit der Berichterstattung für den Synthesebericht die Rheinsohle ausgebaggert wird. Es ist davon auszugehen, dass die auf Beilage 9 dargestellten 5 – 10 m Lockergesteinsüberlagerung entlang der Rheinunterquerung die Situation überschätzen.

Besondere Beachtung sollte der Lage von Untergrundbauten in den Bereichen Barfüsser Platz, Tiefhaltestelle Marktplatz und dem Novartis Areal (Kleinbasel) gelten. Hier sind der AUG Gebäude bekannt, die teils bis in den Felsreichen und somit die Überlagerungsmächtigkeit reduzieren.

Geologisches Längsprofil (B-B') – Hoch Y links, Neue Brücke Zoo – Tiefhaltestelle Marktplatz - Bhf. St. Johann (Beilage 5)

Da die linke Tunneltrasse zwischen der neuen Brücke am Zoo und der Tiefhaltestelle am Marktplatz parallel zur rechten Tunneltrasse verläuft, wird hier in der Profilbeschreibung nur auf den weiterführenden Abschnitt zwischen Tiefhaltestelle am Marktplatz und dem Bahnhof St.Johann eingegangen.

Ab etwa km 3.000 trennen sich die beiden Tunnellinien, wobei die linke Trasse nicht mehr den Rhein unterquert. Der Tunnel (linke Röhre) verbleibt im Felsuntergrund bis er etwa bei km

5.650 die Felsoberfläche im Bereich der Felsschwelle (Kap. 3.5 & 4.1) durchdringt. Ab ca. km 6.050 befindet sich der Tunnel oberhalb der Felsoberfläche und damit komplett in der gesättigten Grundwasserzone der Niederterrassenschotter. Etwa ab km 6.300 liegt der Tunnel wieder in der ungesättigten Zone.

Entsprechend der Anmerkung zum Längsprofil „rechts“ gilt es auch entlang des Linienführung „links“ auf die Lage von Untergrundbauten zu achten. Insbesondere im Bereich Kantonspital. Hier sind der AUG Gebäude bekannt, die teils bis in den Fels reichen und somit die Überlagerungsmächtigkeit reduzieren.

Geologisches Übersichtsprofil (G-G') – Projektperimeter (Beilage 13)

Die Profilposition des Übersichtsprofils ist auf Beilage 2 dargestellt. Das Profil beruht auf dem geologischen 3D-Modell und veranschaulicht die geologische Situation im Perimeter.

6. Zusammenstellung Geotechnik

6.1. Geotechnische Kennwerte (Beilage 14)

Eine Zusammenstellung dokumentierter geotechnischer Kennwerte der im Projektgebiet auftretenden Lockergesteine und des Felsuntergrundes findet sich in Beilage 14. Bei den Schichten des Felsuntergrundes wurden Angaben aus ganz Basel berücksichtigt. Die Angaben sind zum Teil geschätzt. Sie geben einen Überblick über den zu erwartenden Rahmen, jedoch sind Abweichungen, bedingt durch Heterogenitäten im Lockergestein und Fels und den Einfluss der Verwitterung, möglich. Deshalb sind die ortspezifischen geotechnischen Kenndaten vor Beginn der Bauarbeiten für bestimmte Tunnelabschnitte durch geeignete Analysen abzuklären (Sondierung mit Kernbohrungen, experimentelle Bestimmung vor Ort und an gewonnenem Probenmaterial). Ein besonderes Augenmerk sollte auf die Eigenschaften im Bereich von Verwitterungszonen gerichtet sein. Dies betrifft die Bereiche des Durchfahrens der Felsoberfläche, der Haltestellenzugänge und Notausstiegen sowie der Unterquerung des Rheins. Aufgrund der lokal wechselnden Zusammensetzung wurden Angaben zu künstlichen Auffüllungen nicht berücksichtigt.

6.2. Quellerscheinungen

Quellfähiges Gebirge besteht aus ton- und anhydrithaltigen Gesteinen, welche die Eigenschaft haben, ihr Volumen durch Aufnahme von Wasser zu vergrößern.

Der Felsuntergrund im Bereich der Projekttrassen wird von den Meletta-Schichten gebildet, welche abschnittsweise als Tone oder stark tonige Mergel ausgebildet sein können. Es ist zu berücksichtigen, dass Quellerscheinungen in unverwitterten Tongesteinen auftreten können. An Tonsteinen aus den Meletta-Schichten im Übergang zur Elsässer Molasse wurden Quellversuche unternommen und nur geringe Quelldrücke (0.02-0.03 MN m⁻²) und Quellhebungen (0.9-1.1%) festgestellt (BGA BS VIII 38). Aus einer Einzeluntersuchung kann jedoch nicht auf das generelle Quellverhalten der känozoischen Mergel über die gesamten Trassenverläufe geschlossen werden. Dieser Umstand ist durch eine detaillierte Erkundung von bestimmten Bauabschnitten vor den Bauarbeiten abzuklären.

6.3. Aquiferheterogenitäten

In den Niederterrassenschottern können Heterogenitäten in Form von nagelfluhartigen Verkitungen, Rollkieslagen*, sowie Linsen und Lagen von Sand und Feinsedimenten auftreten. Eine diesbezügliche Häufung kann unter Umständen auftreten, ohne dass dies durch Sondierbohrungen erkennen liesse (BGA BS IV 90, BGA BS IV 100). Ausserdem können an der Schotterbasis bis m3 grosse Blöcke auftreten (BGA BS V 95).

*Rollkieslagen sind Zonen erhöhter Wasserdurchlässigkeit, die anderen genannten Erscheinungen sind Zonen mit verringerter Durchlässigkeit. Rollkieslagen sind nicht standfest und neigen beim Aushub oder beim Anböschern zum Nachrollen. Ebenso können Verkitungen zu Nagelfluh die Abbaumethoden beeinflussen. Böden sowie Lagen und Linsen von Feinsedimenten in den Schottern, können das Setzungsverhalten bei Grundwasserabsenkungen und die Tragfähigkeit der sonst meist sauberen Kiessande beeinflussen.

7. Gefährdungen und Grundwasserschutz

Im Folgenden werden die Gefährdungen, welche für das Projektgebiet bekannt sind, benannt, beschrieben und kurz beurteilt. Vor allem werden die zum jetzigen Zeitpunkt für das projektierte Tunnelbauwerk als relevant angesehen Gefährdungen aufgeführt. Generell müssen Gefährdungen im Vorfeld der Baumassnahmen, entsprechend der geltenden Vorgaben (SIA) noch im Detail abgeklärt werden. Die meisten Gefährdungen, welche das projektierte Tunnelbauwerk betreffen stehen im Zusammenhang mit der Wasserzirkulation im Untergrund. Insbesondere beim „ab- und auftauchen“ der Tunneltrasse sind die grössten Veränderungen des Grundwasserfließregimes zu erwarten (siehe auch Abb. 4.1 und Längsprofile Beilagen 4 & 5).

Um Gefährdungen im Zusammenhang mit der Änderung der hydrologischen Verhältnisse im Projektgebiet erkennen und zu beurteilen, ist in einigen Abschnitten („ab- und auftauchende“-Bereiche, Haltestellenzugänge, Notausgänge und Unterquerung des Rheins) eine vertiefte Analyse der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse in 3D angezeigt.

Für die Beschreibung der hydraulischen Randbedingungen ist der vorgängige Aufbau eines geeigneten Monitoring Systems Voraussetzung. Die Auswertung der hydraulischen Daten kann über regionale 3D geologische Modelle (Stockwerkbau) und lokale 3D hydrogeologische Modelle (siehe Nordtangenten-Projekt) erfolgen.

7.1. Wasserzutritt

Durch Veränderung der Wasserzutritte im Grenzbereich Fels-Lockergestein, können Veränderungen der hydraulischen und geotechnischen Eigenschaften der durchfahrenen Felsformationen entstehen und erfordern spezielle Abklärungen. Eine Modellierung der Wasserzirkulation im regionalen Massstabsbereich ist gut geeignet um Gefährdungen im Zusammenhang mit den hydrologischen Verhältnissen im Projektgebiet abzuklären und zu beurteilen (siehe verschiedene Varianten beim Bau der Nordtangente).

7.2. Geothermische Anlagen

Die Anzahl geothermischer Anlagen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Bestehende (Beilage 7) und zukünftige Geothermieranlagen (Erdwärmesondenbohrungen) stellen vermutlich, sowohl für die Bauphase als auch für den Betrieb der Tunnel, nur ein geringes Gefahrenpotential dar. Jedoch kann es zu erheblichen Konflikten bei der Nutzung des geologischen Untergrundes kommen. Das Tunnelprojekt kann die thermischen Verhältnisse in seinem Umfeld und somit den Wirkungsgrad von benachbarten geothermischen Anlagen erheblich beeinflussen. Abklärungen mit den Betreibern der geothermischen Anlagen im Vorfeld der Bauphase sind angezeigt. Ziel ist es, die zu erwartenden Änderungen vom Fließfeld und des geothermischen Zustandes vorgängig zu erkennen.

Es besteht zudem die Möglichkeit der direkten Kollision mit bestehenden Geothermiebohrungen. Generell können Bohrungen bis zu 30° von der Senkrechten abweichen, da insbesondere Geothermiebohrungen meist kostengünstig erstellt werden, ohne dabei auf eine vertikale Ausbildung der Bohrung zu achten.

Im Umfeld der projektierten Tunneltrasse sind mehrere Bohrungen zur thermischen Nutzung abgeteuft. Allerdings liegt derzeit (Stand Oktober 2018) keine Bohrung näher als ca. 80m zum geplanten Tunnelbauwerk.

7.3. Grund-/ Tagbruch und gespannte Grundwasserverhältnisse

Beim Tunnelvortrieb in den Meletta-Schichten sind Abklärungen bezüglich der hydraulischen Druckverhältnisse erforderlich. Im Projektperimeter sind aufgrund von verschiedenen geothermischen Bohrungen gespannte Grundwasserverhältnisse und Grundwasserstockwerkbau bekannt (z.B. BS 3 H 2937 und 2938, beide in direkter Nähe zur Tunneltrasse).

Wegen der relativen Nähe zu der topographischen Anhöhe des Bruderholzes können regionale, durch die Topographie induzierte, Fließsysteme existieren, welche sich auch auf Bereiche in der Rheinebene auswirken. So kann es, wie schon in Basel beobachtet, durch Veränderungen der Auflast in den Meletta-Schichten zu Situationen mit Grundbruch kommen. Allgemein können gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten, wenn ein Grundwasserleiter dessen Anreicherungsgebiet höher als dieser am Ort der Bohrung liegt von einer undurchlässigen Schicht bedeckt ist.

In den Geothermiebohrungen BS 3 H 2937 und 2938 wurden in den Meletta-Schichten in 22 bis 24 m Tiefe gespannte Grundwasser vorgefunden. Das Grundwasser stieg auf 12 m unter Geländeoberkannte an. Aus verschiedenen Geothermiebohrungen im Untersuchungsperimeter sind Wasserzutritte in den Meletta-Schichten bekannt.

Im geologische-geotechnischen Bericht zum Tunnelprojekt Rheintunnel Basel (Geologischer-geotechnischer Bericht GP Rheintunnel Basel, Pfrirer, Nyfeler + Partner AG, 2018) sind weitere Hinweise auf artesische Grundwasserverhältnisse im Übergangsbereich von Elsässer Molasse zu Meletta-Schichten dokumentiert.

7.4. Hochwasser, Überflutung bei Starkregen

Bei extremen Starkregen können die Oberflächengewässer, welche das Bruderholzplateau und die Anhöhe bei Binningen entwässern, stark anschwellen. In Abhängigkeit der Heterogenität des Untergrundes sind instationäre unterirdische Randzuflüsse in die Schottervorkommen nicht

auszuschliessen. Dies betrifft vor allem auch die Abschnitte in denen die Oberflächengewässer Rhein und Birsig das Tunnelbauwerk kreuzen bzw. die oberirdischen Zugänge in solchen Bereichen liegen. Hinsichtlich der Hochwassergefährdung ist der Bereich entlang der Birsig und beidseitig des Rheins für das Tunnelbauwerk von Bedeutung. Datengrundlage ist ein 300-jähriges Hochwasserereignis. (HQ 300, Geoportal BS - Naturgefahren). Hier sind vor allem Notausgänge (NAS) und Haltestellen (Marktplatz und Barfusserplatz) detailliert auf Hochwassersicherheit zu überprüfen (Beilage 11).

7.5. Gesteinsquellen

Im Projektbereich sind Quellerscheinungen durch Wasserzutritt (auch sehr kleine Wassermengen) nicht auszuschliessen. Laborexperimente an Gesteinsproben von ausgewählten Standorten und Tiefen können darüber nähere Angaben geben. Betroffen sind Ton- und tonreiche Gesteine in den Meletta-Schichten.

7.6. Grundwasserhaltung

In allen geologischen Einheiten entlang der projektierten Projekttrassen treten sandreiche Abschnitte auf. Bei Grundwasserspiegelabsenkungen (z.B. während der Baustellenwasserhaltung) sind die Pumpraten so zu dimensionieren, dass die Förderung von Sand wenn immer möglich verhindert wird (versanden der Pumpen). Der Übergang Lockergestein, Verwitterungshorizont oder Fels erfordert für die Baustellenentwässerung eine besondere Beachtung.

7.7. Instabile Gehängebildungen

Rutschungen, Sackungen und Kriechbewegungen stellen insbesondere entlang der Birsig eine Gefährdung dar. Die heterogene Zusammensetzung und Lagerung von künstlichen Auffüllungen und Niederterrassenschottern (z.B. Rollkies) erfordern für die Prognose der Standfestigkeit entsprechende Untersuchungen. Entlang der Felsschwelle, zwischen Rhein und Haltestelle Marktplatz wo die Meletta-Schichten den Felsuntergrund bilden, insbesondere in der Verwitterungszone, muss ebenfalls mit einem solchen Verhalten gerechnet werden (siehe auch kap. 3.5).

7.8. Gaszutritte

Zwar sind aus dem Projektgebiet keine ungewöhnlich hohen Gaskonzentrationen bekannt, allerdings ist, insbesondere in den Meletta-Schichten, bituminöses Material enthalten. Auch kann in kontaminierten Abschnitten der Lockergesteine (Altlasten) eine Gasführung vorhanden sein. Folglich lassen sich Gefährdungen im Zusammenhang mit Gas im Tunnelbereich zum jetzigen Zeitpunkt nicht ganz ausschliessen.

7.9. Altlasten

In Beilage 7 sind potentielle Altlastenstandorte dargestellt, die rechtsgültig im öffentlich zugänglichen Kataster des AUE BS eingetragen sind. Aus Gründen des Datenschutzes sind Altlastenverdachtsflächen nicht dargestellt. Für Bahnanlagen ist die SBB bzw. die Deutsche Bahn zuständig. Sie führen ein eigenständiges Kataster, das mit dem Altlastenkataster BS nicht ab-

geglichen ist. Im Bereich von Bahnanlagen können deshalb belastete Standorte vorhanden sein, die in Beilage 7 nicht berücksichtigt sind.

7.10. Erdbeben und tektonische Bewegungen

Die Berücksichtigung von Risiken, die von Erdbeben ausgehen, betrifft vorwiegend die Bauphase bzw. die Portal und Stationsbereiche.

Für Bauwerke an der Oberfläche gilt generell die SIA 261. Auf dem GeoPortal Basel-Stadt ist die Erdbeben-Mikrozonierungskarte (<http://www.geo.bs.ch/erdbebenmikrozonierung>) für Basel zugänglich. Auf dieser Basis ist dann eine detaillierte Betrachtung der Erdbebengefahr im Projektgebiet möglich. Im unmittelbaren Projektbereich finden sich bis jetzt keine Hinweise auf junge tektonische Bewegungen.

7.11. Grundwasserschutz

Aspekte des Grundwasserschutzes im Lockergestein betreffen vor allem die „Ab- und auftauchenden“ Bereiche und die Übergangszonen Lockergestein-Fels-Grundwasser, Baustellen-grundwasserhaltungen, mögliche Nutzungskonflikte mit bestehenden Grundwassernutzern sowie die Altlastenproblematik.

Beilage 16 gibt einen Überblick über einige relevante gesetzliche Vorschriften aus dem GSchG, der GSchV und der Wegleitung Grundwasserschutz bei Bauarbeiten im Untergrund.

Das projektierte Tunnelbauwerk wird zumindest teilweise im nutzbaren Grundwasserleiter verlaufen und dabei das Speichervolumen und die Durchflusskapazität und somit auch die Nutzbarkeit der Grundwasservorkommen beeinflussen. Dabei kann die bundesrechtliche Bestimmung, dass in begründeten Ausnahmefällen die Durchflusskapazität um höchstens 10% reduziert werden darf, überschritten werden. Wird die Durchflusskapazität des Grundwasserleiters stärker beeinträchtigt werden geeignete Ersatzmassnahmen nötig.

Eine der Hauptanforderung an ein Grundwassermanagement während des Tunnelbaus wird die Aufrechterhaltung des bestehenden GrundwasserflieBregimes während und nach den Bauphasen sein. Dies setzt voraus, dass für einzelne Bauabschnitte Modellwerkzeuge mit entsprechender Auflösung aufgebaut werden, die es erlauben, Wasserhaltungen zu dimensionieren und die Anforderungen an den Grundwasserschutz zu gewährleisten. Modelle liefern auch die Grundlagen für die Grundwasserüberwachungskonzepte, die im Rahmen der Gewässerschutzgesetze und -verordnungen (GSchG, GSchV) erarbeitet werden müssen. Mit geeigneten Werkzeugen kann die Instationarität des GrundwasserflieBregimes im Zusammenhang mit den verschiedenen Grundwassernutzern und Wasserhaltungen adäquat erfasst werden. Grundwassermodelle erlauben es zudem Szenarien zu definieren, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bauphasen, Bauvorgehensweisen und diejenigen von hydrologischen Extremereignissen frühzeitig zu erkennen und allfällige alternative Vorgehensweisen in der Planung zu berücksichtigen.

7.12. Einsatz von Betonzusatzstoffen

Für die Baustellenwasserhaltungen und die Einleitung von Grundwasser in Oberflächengewässer gelten die Vorgaben der Gewässerschutzverordnung. Vor allem bei Wasserhaltungen in

Bereichen in denen Zementinjektionen stattfinden, kann vor der Einleitung in Oberflächengewässer oder das Grundwasser eine CO²-Neutralisation notwendig werden.

Der Einfluss von Baustellenwasserhaltungen auf bestehende Grundwassernutzer erfordert vorgängig eine Abklärung. Im Fall von nicht zu umgehenden Beeinträchtigungen einzelner Grundwassernutzer sollten frühzeitig Ersatzmassnahmen in die Wege geleitet werden.

8. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- (1) In Bereichen in denen die Tunneltrasse im Grenzbereich der Locker- und Festgesteine verläuft, sind vertiefte Abklärungen der Grundwasserzirkulation, des Setzungsverhaltens, der Mächtigkeit und Beschaffenheit von Verwitterungszonen an der Felsoberfläche und dem Risiko von Tagbrüchen erforderlich.
- (2) Abklärung hydrogeologischer Verhältnisse im Zusammenhang mit der Baustellen Wasserhaltung und Grundbruch. Insbesondere beim Durchfahren der Niederterrassenschotter bzw. in den Meletta-Schichten in Bereichen mit gespannten Grundwasserverhältnissen.
- (3) Erarbeitung eines Konzepts zum Aufbau eines geeigneten Monitoring Systems für die verschiedenen Projektphasen (Istzustand, Bauphasen, Betriebsphase) des Grundwasserfließregimes zu dokumentieren und mit geeigneten Modellwerkzeugen allfällige Änderungen des Grundwasserfließregimes während und nach dem Bau des Tunnels zu erfassen. Dies ist für die Planung von Wasserhaltungen, für die Gewährleistung des Grundwasserschutzes und bezüglich einer frühzeitigen Abklärung der Auswirkung auf Grundwassernutzer erforderlich. Zudem kann eine Veränderung des Grundwasserfließregimes eine Mobilisierung von Schadstoffen im Untergrund bei Altlasten bewirken.
- (4) Sicherstellung von regionalen Grundwassernutzungen. Mit den vorgeschlagenen Abklärungen können dabei auch konkrete Gewässerschutzkonzepte für die Bauphase sowie Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmassnahmen nach Fertigstellung des Bauwerks evaluiert werden.
- (5) Abklärung möglicher Interferenzen mit bestehenden Geothermie Bohrungen in unmittelbarer Umgebung des Tunnels vor Baubeginn.
- (6) Abklärung der geologischen-hydrogeologischen Situation im Bereich des Badischen Bahnhofs.
- (7) Erarbeitung hydrologischer Grundlagen, Abschätzung der zu erwartenden mittleren Zuflüsse zu verschiedenen Tunnelabschnitten.
- (8) Hochwasser, Überflutung des Baustellenbereichs bei Starkregen, Überflutung von Notausgängen und Haltestellen bei Hochwasser.
- (9) Gesteinsquellen durch Wasserzutritt (auch sehr kleine Wassermengen), in Ton- und tonreichen Gesteinen in den Meletta-Schichten.
- (10) Abschätzung der Auswirkung von Erdbeben (vorwiegend Bauphasen) auf einzelne, an die Oberfläche austretende Bauwerkteile (Stationen).
- (11) Besteht ein Risiko von Gaszutritten, insbesondere in den Meletta-Schichten oder in kontaminierten Abschnitten der Lockergesteine.

(12) Untersuchung der Mächtigkeit und Beschaffenheit der Verwitterungszone im Felsuntergrund.

(13) Qualität Aushub: Abklärung einer möglichen geogenen Belastung der Meletta-Schichten.

(14) Abklärungen zur Lage von Bauten im Untergrund; insbesondere im Bereich Tiefhaltestelle Mitte, Kantonspital und Novartis (Kleinbasel).

(15) Längs- und Querprofile: Für die die Linienführung Herzstück Y besteht nur ein geologisches Querprofil (Bereich Marktplatz); zur Beurteilung der geol. Situation, insbesondere im Hinblick auf die Position der Felsoberfläche und der Grundwassersituation empfiehlt sich die Anfertigung weiterer Querprofile im Bereich der Haltestellen, Rheinunterführung und Notzugängen. Des Weiteren besteht noch kein Längsprofil für den Rettungstollen, welcher zumindest Abschnittsweise (Rheinunterquerung) nicht parallel zu den geplanten Achsen der Doppelspurröhren verläuft.

Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.



Prof. Dr. Peter Huggenberger



Dr. Jannis Epting



Dr. Horst Dresmann

Basel 2. November 2018

Literatur

- Bitterli P. & Fischer H. (1988) Geologischer Atlas der Schweiz 1:25.000, Erläuterungen Blatt Arlesheim 1067
- Evans et al. (2013) GEOTHERM, Geothermal Reservoir Processes: Research towards the creation and sustainable use of Enhanced Geothermal Systems, Final Report. Bundesamt für Energie, Schweiz, Projektnr.: 500411, pp.89
- Fischer, H., Hauber, L., Wittmann, O., (1971) Geol. Atlas der Schweiz, 1:25 000, Blatt 1047 Basel: Erläuterungen: K + F, Bern
- Gürler, B., Hauber, L. & Schwander, M.(1987) Die Geologie der Umgebung von Basel mit Hinweisen über die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. Beiträge zur Geologischen Karte Schweiz, 160, 33 S.
- Häring M. & Schmidt S. (2007) Deep-Heat-Mining-Projekt Basel-Kleinhüningen – Erschliessung eines geothermischen Reservoirs. Bull. angew. Geol. Vol. 12/1:33-41
- Nägelin T.(2012) Zweite SBB-Rheinbrücke Basel. Mitteilungen der Geotechnik Schweiz, Vol. 165, S. 49-53
- Mallet, J. (1992) Discrete smooth interpolation in geometric modeling. CAD 24(4):178–191
- Mukuhira Y., Asanuma H., Niitsuma H. & Häring M. (2012) Characteristics of large-magnitude microseismic events recorded during and after stimulation of a geothermal reservoir at Basel, Switzerland, Geothermics 45 (2013) 1-17
- Ustaszewski K. (2004) Reactivation of pre-existing crustal discontinuities: the southern Upper Rhine Graben and the northern Jura Mountains - a natural laboratory. Dissertation Uni-Basel

Verwendete Unterlagen

- Geologischer-geotechnischer Bericht, GP Rheintunnel Basel, Pfirter, Nyfeler + Partner AG (31.07.2018)
- Herzstück Basel, Situationsplan und Längenprofil Hoch-Y, Gugger Consulting GMBH (Entwurf vom 5.10.2018)

Für Verzeichnis der zitierten Berichte aus dem Baugrundarchiv siehe Beilage 15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Regionaler geologischer Schnitt durch die Region Basel.....	10
Abbildung 3.2	Ausschnitt aus dem geologischen 3-D Modell der Region Basel.....	18
Abbildung 3.3	Schematische Darstellung der Modellerstellung	20
Abbildung 3.4	3D-Visualisierung der Trassenführung im Teilmodell „Herzstück“;	22
Abbildung 4.1	Teilmodell mit Darstellung der mittleren Grundwassersituation	23
Abbildung 5.1	Darstellung möglicher Situationen zur Überlagerungsmächtigkeit	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Verwendete Datensätze, Datenformate und Exportmöglichkeiten.....	9
Tabelle 3.1	Übersicht der geologischen Einheiten im Projektgebiet.....	13
Tabelle 4.1	Grundwasserstände im Projektgebiet.	25
Tabelle 4.2	Ermittelte und geschätzte Werte der hydraulischen Leitfähigkeit (kf-Wert) im Projektgebiet.....	26

Beilagenverzeichnis

Beilage 1	Übersichtskarte - Projektperimeter
Beilage 2	Abgedeckte geologische Karte – Projektperimeter
Beilage 3	Abgedeckte geologische Karte – Herzstück Y (Okt. 2018)
Beilage 4	Geologisches Längsprofil – Hoch Y rechts (Neue Brücke Zoo – Bad. Bhf.)
Beilage 5	Geologisches Längsprofil – Hoch Y links (Neue Brücke Zoo – Bhf. St.Johann)
Beilage 6	Geologisches Querprofile – Marktplatz
Beilage 7	Hydrogeologie
Beilage 8	Überlagerungsmächtigkeit Fels (Meletta-Schichten)
Beilage 9	Überlagerungsmächtigkeit Lockergesteine
Beilage 10	Überlagerungsmächtigkeit Grundwasser im Lockergestein
Beilage 11	Hochwassergefährdung
Beilage 12	Tiefenlage der geologischen Modellhorizonte - Projektperimeter
Beilage 13	Geologisches Übersichtsprofil (G-G') – Projektperimeter
Beilage 14	Zusammenstellung der geotechnischen Parameter
Beilage 15	Zusammenstellung Berichte Baugrundarchiv
Beilage 16	Zusammenstellung Grundwasserschutz