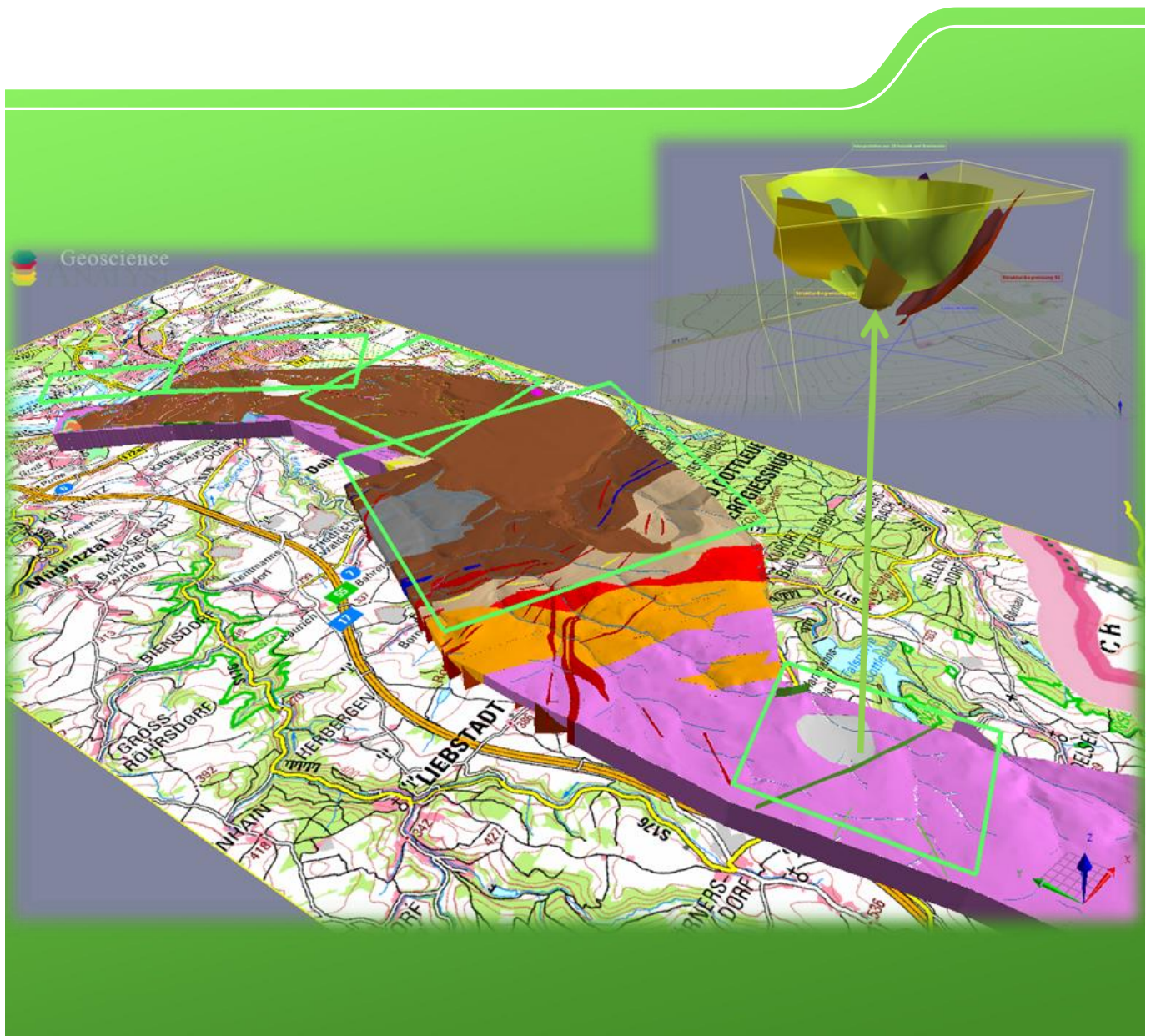


Geophysik und 3D-Model- lierung im Osterzgebirge

Voruntersuchungen zur Neubaustrecke Dresden–Prag



Ergebnisse der Forschungsberichte:

Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation

3D-Modellierung der Struktur Börnersdorf sowie der Neubaustrecke Dresden–Prag im Osterzgebirge



Co-financed by the European Union
Trans-European Transport Network (TEN-T)

Geophysik (Kapitel 2)

Prof. Dr. Stefan Buske, Dr. Rolf Käppler, Dr. Ralph-Uwe Börner, Lutz Sonnabend, Sascha Bodenburg,
Vera Lürer, Carolin Ader

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik

3D-Modellierung (Kapitel 1 und 3.2)

Dr. Ines Görz, Karl Schmidt, Erik Seiert, Daniel Werner

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik

Geotechnik (Kapitel 3.3, 3.4)

Detlev Tondera, Dr. Thomas Frühwirt, Tommy Gambke

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik

Projektbetreuung, Redaktionelle Bearbeitung sowie Kapitel 1.3, 3.1 und 4

Dr. Ottomar Krentz, Sabine Kulikov, Sascha Görne, Ines Döring-Koppatz, Carsten Schulz, Larissa Aßmann
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

1	Einführung	7
1.1	Aufgabenstellung.....	7
1.2	Kenntnisstand/Datengrundlage	8
1.2.1	Übersicht	8
1.2.2	Digitale Geländemodelle	9
1.2.3	Bohrdaten.....	9
1.2.4	Geologische Karten	9
1.2.5	Geologische Profilschnitte	9
1.2.6	Geophysikalische Daten.....	9
1.3	Geologie.....	10
1.3.1	Geologische Übersicht (deutscher Anteil)	10
1.3.2	Geologisch-stratigrafische Komplexe	12
2	Geophysikalische Untersuchungen.....	17
2.1	Durchgeführte Untersuchungen	18
2.1.1	Gravimetrie.....	19
2.1.2	Magnetik.....	20
2.1.3	Geoelektrik	20
2.1.4	Seismik.....	21
2.2	Untersuchungsergebnisse „Außerhalb der Struktur“	22
2.3	Untersuchungsergebnisse „Innerhalb der Struktur“	22
3	Geologische 3D-Modellierung und gesteinsphysikalische Charakterisierung der im Trassenverlauf zu erwartenden Gesteine	26
3.1	Methodik der Erstellung der Geologischen Übersichtsschnitte.....	26
3.2	Methodik der 3D-Modellierung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Teilgebiete.....	28
3.2.1	Quartär	31
3.2.2	Kreide.....	32
3.2.3	Elbtalschiefergebirge.....	33
3.2.4	Struktur Börnersdorf.....	35
3.2.5	Erzgebirge (Zwischengebiet).....	36
3.2.6	Eger Graben.....	37
3.3	Gesteinsphysikalische Charakterisierung der im Trassenverlauf anstehenden Gesteine	38
3.3.1	Datenrecherche.....	38
3.3.2	Probenahme.....	38
3.3.3	Gesteinsmechanische Untersuchungen	39
3.3.4	Geomechanische Kennwerte – Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse	39
3.3.5	Abrasivität.....	42
3.4	Betrachtungen zur Verwertung von Überschussmassen.....	43
3.4.1	Ausbruchvolumen der Tunnel.....	43
3.4.2	Verwertungsmöglichkeiten	44
3.4.3	Verwertung innerhalb bergbaulicher Anlagen.....	45
3.4.4	Verwertung im Rahmen von Landschaftsbauwerken	46
3.4.5	Optimierung der Gestaltung des Einschnittes am Galgenberg unter geotechnischen Aspekten	48
4	Schlussfolgerungen, Ausblick	50
4.1	Weiterführende Arbeiten nach Projektabschluss.....	50
4.1.1	Bauanfang bis Galgenberg (Tunnelportal).....	50
4.1.2	Galgenberg (Portal Grenztunnel) bis zur Struktur Börnersdorf.....	52
4.1.3	Struktur Börnersdorf bis zum Erzgebirgsabbruch (Tschechien)	55
4.2	Bilanz der bisherigen Zusammenarbeit am Projekt	56
	Quellen	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersichtsdarstellung der Eisenbahnneubaustrecke	7
Abbildung 2:	Geologisch-stratigrafische Haupteinheiten.....	10
Abbildung 3:	Hauptstörungen im Untersuchungsgebiet.....	11
Abbildung 4:	Trassenverlauf im Bereich der Querung quartärer Ablagerungen.....	12
Abbildung 5:	Quartäre Ablagerungen entlang der Tunneltrasse im Bereich Pirna–Heidenau.....	13
Abbildung 6:	Kreidesedimente entlang der Tunneltrasse im Bereich Dohma–Bahretal mit dem Tunnelportal bei km 7,0	14
Abbildung 7:	Gesteine des Elbtalschiefergebirges entlang der Tunneltrasse	15
Abbildung 8:	Modelliereinheiten des Elbtalschiefergebirges in der Karte und im Profilschnitt	16
Abbildung 9:	Verlauf der Tunneltrasse in den Gneisen des Erzgebirges bis zur tschechischen Grenze mit der Struktur Börnersdorf und der Quarz-Fluorit-Gangzone von Petrovice–Döbra als Profilschnitt und Karte	17
Abbildung 10:	Untersuchungsgebiet (blauer Kreis) an der Autobahnabfahrt Bad Gottleuba	18
Abbildung 11:	Geplante Lage der Profile außerhalb der Struktur	18
Abbildung 12:	Übersicht der Gravimetrie-Profilen und -Messpunkte	19
Abbildung 13:	Korrigierte BOUGUER-Anomalie entlang der beiden Profile „Außerhalb der Struktur“ (oben: Ost-West verlaufendes Profil; unten: Nord-Süd verlaufendes Profil)	20
Abbildung 14:	Inversionsergebnis der Geoelektrik-Messungen entlang Profil 1 (Profilmeter 0 bis 500)	21
Abbildung 15:	Fallgewichtsquelle (links) und Geofonauslage (rechts).....	21
Abbildung 16:	Gemeinsame Interpretation der Daten des Ost-West verlaufenden Profils.....	22
Abbildung 17:	Übersicht der Profillagen und Messpunkte im Zeitraum 2011–2013 (aus HORNA et al.) (links) und Ergebnis der drei 2D-Seismik-Profilen (SI-III) (rechts)	23
Abbildung 18:	Horizontalgradient (links) und Vertikalgradient (rechts) der regionalen BOUGUER-Anomalie.....	24
Abbildung 19:	Lage aller Quellpunkte (rote Sterne) und Empfängerpunkte (schwarze Kreise) im 3D-Seismik-Messgebiet.....	24
Abbildung 20:	3D-Interpretation der Struktur. Der lila Quader im linken Bild repräsentiert die 3D-Seismik-Auslage (GÖRNE & KRENTZ).	25
Abbildung 21:	Schematische Zusammenstellung aller geophysikalischen Ergebnisse „Innerhalb der Struktur“	25
Abbildung 22:	Modelliereinheiten in den geologischen Profilen	27
Abbildung 23:	Modelliergebiete 3D-Modell	28
Abbildung 24:	Das Modellierungsgebiet mit einer Ausdehnung von ca. 30 x 5 km und Detailgebieten	29
Abbildung 25:	Trassenverlauf von Bauanfang bis zum Seidewitztal/Kohlberg.....	32
Abbildung 26:	Basisflächen quartärer Lockergesteinskörper im Detailgebiet 2	32
Abbildung 27:	Trassenverlauf im Bereich der Kreideablagerungen mit Schnitt 10-fach überhöht	33
Abbildung 28:	Kretazische Mergel-Sandstein-Wechsellagerung am Cottaer Spitzberg und im Lohmgrund (3-fach überhöht).....	33
Abbildung 29:	Trassenverlauf im Bereich der Kreideablagerungen mit Schnitt 10-fach überhöht	34
Abbildung 30:	3D-Modell der Einheiten des Elbtalschiefergebirges; Draufsicht mit nach oben projizierter Trasse (rot)	34
Abbildung 31:	3D-Modell der Struktur Börnersdorf	35
Abbildung 32:	Trassenverlauf im Bereich der auf den Schnitt projizierten Struktur Börnersdorf.....	36
Abbildung 33:	Die Störungszone von Petrovice–Döbra wurde einmal als 1 km breite Zone mit vertikalem Einfallen (braun) und einmal als NE-wärts einfallende Störungsfläche (grün) modelliert. Gelb sind Bohrungsmarker-Punkte, auf deren Grundlage die Modellierung erfolgte, und die Staatsgrenze. Rechts der Schnitt.	36
Abbildung 34:	An der Staatsgrenze (gelbe Linie) wird die Trasse (rote Linie) vermutlich ein großes Störungskreuz durchfahren (gelbe, grüne und braune Flächen).	37
Abbildung 35:	Ausschnitt aus dem Trassenprofilschnitt am Erzgebirgsabbruch und Eger Graben (Erklärung siehe Abbildung 22).....	37
Abbildung 36:	Einschätzung des Cerchar-Abrasivitäts-Index und der Zusammenhang zwischen CAI und dem äquivalenten Quarzanteil	43
Abbildung 37:	Mengenberechnung des Basistunnels (deutscher Teil) [23]	44

Abbildung 38: Randbedingungen der Verwendung von Ausbruchmaterial.....	44
Abbildung 39: Kohlberg Trassen-km 4,8 bis 6,5 ohne Landschaftsbauwerk.....	46
Abbildung 40: Kohlberg Trassen-km 4,8 bis 6,5 mit Landschaftsbauwerk.....	47
Abbildung 41: Einschnitt Galgenberg Tunnelportal, Böschungsneigung 45°	49
Abbildung 42: Einschnitt Galgenberg Tunnelportal, Böschungsneigung 30°	49
Abbildung 43: Trassenverlauf Bauanfang bis Tunnelportal am Galgenberg (ca. Bau-km 7,0).....	51
Abbildung 44: Trassenverlauf Tunnelportal am Galgenberg bis Struktur Börnersdorf (ca. Bau-km 7,0–19,0).....	53
Abbildung 45: Übersichtskarte der möglichen weiteren geophysikalischen Arbeiten.....	54
Abbildung 46: Trassenverlauf Struktur Börnersdorf (ca. Bau-km 18,0–32,0).....	55

Tabellenverzeichnis

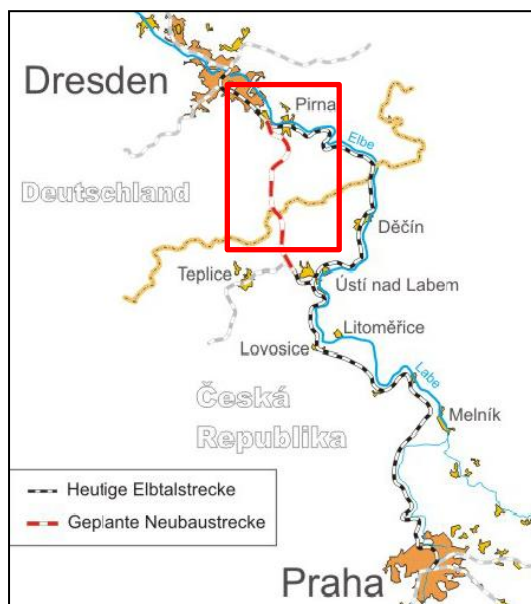
Tabelle 1: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Primär- und Modelldaten	8
Tabelle 2: Charakteristik des 3D-Modells	31
Tabelle 3: Untersuchungsprogramm des gesteinsmechanischen Labors	39
Tabelle 4: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Druckfestigkeit	40
Tabelle 5: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Spaltzugfestigkeit	40
Tabelle 6: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Rohdichte...	41
Tabelle 7: Ergebnisse der Triaxialversuche [22].....	42
Tabelle 8: Ergebnisse der Abrasivitätsuntersuchungen nach dem Cerchar-Verfahren [21]	42
Tabelle 9: Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial.....	45
Tabelle 10: Potenzielle Kapazitäten der untersuchten Steinbrüche zur Verfüllung	45

1 Einführung

1.1 Aufgabenstellung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation“ mit dem Ergänzungsauftrag „Geologische 3D-Modellierung der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge sowie der Neubaustrecke Dresden-Prag“ widmet sich der Untersuchung und Beschreibung der geologischen Situation im Trassenverlauf der geplanten Schienenneubaustrecke Dresden-Prag. Die Ergebnisse sollen als fachlicher Beitrag in die von der Europäischen Kommission geförderte Studie zu „Planungsdienstleistungen für die Neubau-Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Dresden-Prag“ einfließen.

Die geplante Eisenbahnneubaustrecke zwischen Dresden und Prag gehört als TEN-V-Achse (Trans-European Network – TEN) zum Orient/East-Med-Korridor, der von der Europäischen Union ins Leben gerufen wurde, um die wirtschaftlichen und sozialen Beziehungen der Länder zu verbessern. Sie ist die wichtigste Verbindung zwischen Skandinavien und Südosteuropa [23].



Das Projekt ist eine Gemeinschaftsarbeit des Freistaates Sachsen und der Tschechischen Republik, die den Neubau einer hochgeschwindigkeitstauglichen Strecke zwischen Dresden und Prag außerhalb des Elbtales realisieren möchten. Seit dem Jahr 2012 unterstützt das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) das Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA) bei den Planungsarbeiten mit Detailkenntnissen über den regionalen geologischen Bau des Untergrundes und initiierte in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF) das FuE-Vorhaben „Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge und geophysikalische Untersuchungen zur Klärung der tektonischen Situation in Börnersdorf“ [9].

Abbildung 1: Übersichtsdarstellung der Eisenbahnneubaustrecke (Quelle: <http://www.nbs.sachsen.de/>)

Die Zielstellungen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erkennung von markanten Störungszonen in unmittelbarer Umgebung der Struktur Börnersdorf und die möglichst genaue Bestimmung der Tiefe sowie der Randflächen der Struktur mittels geophysikalischer Methoden
- Erstellung eines 3D-Übersichtsmodells des geologischen Untergrundes auf der Basis aller verfügbaren Daten mit den wichtigsten geologischen Einheiten im Trassenverlauf
- Darstellung der ingenieurgeologischen Besonderheiten und Erarbeitung einer ersten Datengrundlage zu ingenieurgeologischen Gesteinskennwerten für die Planung/Bilanzierung des Tunnelbaus

Die enge Zusammenarbeit zwischen SMWA, Planungsbüro, LfULG und TU BAF im Rahmen der laufenden Studie führten zu einer Verbesserung der geologischen Grundlagen, der Optimierung des Trassenverlaufes und einer Ausweisung von Risikofaktoren und -bereichen.

1.2 Kenntnisstand/Datengrundlage

1.2.1 Übersicht

In die Projektrealisierung flossen umfangreiche geologische Daten ein.

Tabelle 1: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Primär- und Modelldaten

Datentyp	Datensatz	Auflösung	Quelle
Digitales Geländemodell	DGM2, DGM 10	2 m	bereitgestellt durch: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN)
	DMR4G der Tschechischen Republik	5 m	bereitgestellt durch: Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH
Bohrungsdaten	Ca. 800 Schichtverzeichnisse	-	Aufschlussdatenbank des LfULG
Geologische Karten	GK5049 Pirna	1 : 25.000	[1]
	Quartärbasis-Karte, Blatt Pirna	1 : 25.000	[1]
	GK L5148 Pirna (dig)	1 : 50.000	[3]
	GK L5348 Altenberg (dig)	1 : 50.000	[3]
	03-322 Krupka	1 : 25.000	[2]
	02-144 Petrovice	1 : 25.000	[2]
Geologische Profilschnitte	Schnitte Blatt Pirna	1 : 25.000 10-fach überhöht	[1]
	Profil Spitzberg		[2]
	Profil Preiselberg		[2]
	Hydrogeologische Schnitte Freiberg/Pirna	1 : 25.000 5-fach überhöht	[4] / [5]
	Profil Kohlberg	1 : 1.000 2-fach überhöht	[6]
	Profil Braunkohlenbecken bei Chlumec	1 : 10.000 10-fach überhöht	[26]
Geophysikalische Daten	Struktur Börnersdorf		[10] / [11]
Geophysikalische Daten	Geophysikalische Untersuchungen Börnersdorf		[9]
	Seismische Profile (4) Börnersdorf	10 m Quellen 5 m Geophone	[13]
	Geoelektrisches Gutachten Döbra-Oelsengrund		[7]
Daten zur Trasse	Trassenverlauf (Stand 27.2.2015/30.6.2015)		[25]
	Tunnelquerschnitt (Stand 13.2.2015)	1 : 50	[25]
Geologische 3D-Modelle	Modell Kohlberg		[27]
	Modell Altenberg-Teplice		[28]
	Modell Elbezone		[28]

Sowohl für die Schnitterarbeitung als auch für die 3D-Modellierung musste ein Großteil der Rohdaten umfassend aufbereitet werden. Typische Arbeitsschritte waren die Transformation in das Koordinatenreferenzsystem UTM33N und die Konvertierung in Software-kompatible Dateiformate.

Die umfangreichen Datengrundlagen der Studienarbeit „Recherche zu geomechanischen Kennwerten für die im Trassenverlauf der Neubaustrecke Dresden–Prag zu erwartenden Gesteine“ sind in Anlage 4 enthalten. Die Ergebnisse der Studienarbeit werden in Kapitel 3.3 dargestellt.

1.2.2 Digitale Geländemodelle

Für die Beschreibung der Geländeoberfläche wurden das DGM2 und das DGM 10 des Staatsbetriebes Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN) sowie das Tschechische Geländemodell DMR4G verwendet. Alle Geländemodelle wurden in UTM33N transformiert.

1.2.3 Bohrdaten

Es standen 1.138 Bohrungen mit rund 7.300 Einträgen im zugehörigen Schichtverzeichnis aus der zentralen Aufschlussdatenbank Sachsens des LfULG zur Verfügung. Aus dieser Menge wurden 800 Bohrungen mit 2.000 Einträgen im Schichtverzeichnis für die Modellierung ausgewählt. Die Auswahlkriterien sind in Anlage 3.7 näher beschrieben. Für die 3D-Modellierung konnten ca. 600 Bohrungen verwendet werden.

1.2.4 Geologische Karten

Als geologische Kartengrundlage standen drei geologische Blätter im Maßstab 1 : 25.000 zur Verfügung. Das Blatt GK5049 Pirna [1] lag in digitaler Form im Koordinatensystem Gauß-Krüger-Zone 5 und die tschechischen geologischen Kartenblätter 02-322 Krupka und 02-144 Petrovice [2] als gescannte Pixelbilder vor.

Für die Modellierung der Quartärbasis wurden die digitalisierten Höhenlinien der Quartärbasis-Karte vom Blatt Pirna herangezogen [2]. Die Modellierung des Tops der Grundgebirgseinheiten unter der Kreide erfolgte unter Einbeziehung der Kreidebasiskarte des LfULG, Blatt Pirna [2].

1.2.5 Geologische Profilschnitte

Für die 3D-Modellierung fanden geologische Profilschnitte des geologischen Blattes Pirna, der laufenden HYK50 Kartierung [4], [5] und der entlang des Trassenverlaufes entwickelte geologische Schnitt (Anlagen 1.1, 1.2) Verwendung. Sie waren neben den geologischen Karten maßgebliche Grundlage für den im Rahmen des Projektes erarbeiteten Übersichtsschnitt im Trassenverlauf der Schienenneubaustrecke. Letzterer basiert auf dem Trassenverlauf und den entsprechenden Höhenplänen vom Februar 2015.

Die geologischen Profile vom Spitzberg (Blatt 02-144 Petrovice) und Preiselberg (Blatt 03-322 Krupka) [2] wurden zur Kontrolle der aus den geologischen Karten modellierten Störungen verwendet.

1.2.6 Geophysikalische Daten

Im Bereich der Trasse liegen für zwei Abschnitte detaillierte geophysikalische Untersuchungen vor. Zwischen Trassenkilometer 18 und 19 km liegt nur wenige 100 m entfernt die Struktur Börnersdorf, ein durch quartäre Sedimente verdecktes Kreidevorkommen von 500 bis 600 m Durchmesser und mit einer vermuteten Tiefe von ca. 250 bis 300 m. 2011 wurden hier bereits erste seismische, gravimetrische, geomagnetische und geoelektrische Untersuchungen durchgeführt [8], [9], [10]. Die Genese dieser Struktur ist weitgehend unklar. Die Untersuchungen wurden im Rahmen dieses Projektes 2014/15 weitergeführt (vergl. Kapitel 2).

Zwischen Trassenkilometer 22 und 23 km quert die Trasse unmittelbar im Bereich der Staatsgrenze die Struktur Petrovice–Döbra. Es handelt sich um eine vermutlich bis 100 m breite Störungszone mit Quarz- und Fluss-

spatvererzungen, die auf tschechischer Seite nördlich des Spicak durch Bohrungen nachgewiesen wurde. Auf deutscher Seite wurden 1978 geoelektrische Untersuchungen durchgeführt, um die Struktur weiter zu verfolgen [7].

1.3 Geologie

1.3.1 Geologische Übersicht (deutscher Anteil)

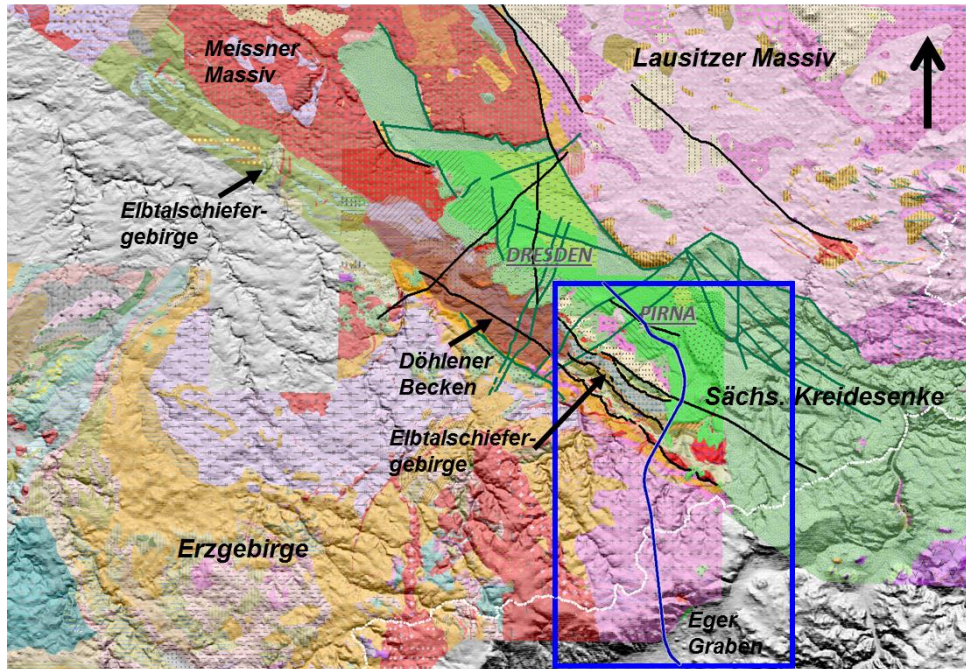


Abbildung 2: Geologisch-stratigrafische Haupteinheiten

Die von Nord nach Süd verlaufende Neubaustrecke Dresden–Prag durchläuft verschiedene geologisch-stratigrafische Haupteinheiten (Abbildung 2).

Sie beginnt bei Heidenau–Pirna–Dohma im Bereich der Granodiorite des Lausitzer Massivs, das von den Sandsteinen und Mergeln der Sächsischen Kreidesenke überlagert wird. Anschließend durchquert sie zwischen Obercotta und Bahretal die unterschiedlichen Schiefereinheiten des Elbtalschiefergebirges (auch Maxen-Berggießhübler Synklinorium genannt) und erreicht auf der Höhe von Bad Gottleuba die Gneise des Erzgebirges. Auf tschechischer Seite gelangt sie im Bereich von Chlumec in die tertiären Sedimente des Eger Grabens.

Mehrere dieser Haupteinheiten werden durch regionale Störungszonen voneinander getrennt (Abbildung 3). Die Westlausitzer Störung (auch Weesensteiner Störung genannt) trennt die Granodiorite des Lausitzer Massivs von den Schiefen des Elbtalschiefergebirges. Sie streicht NW-SE, ist mehrere zehner bis wenige hundert Meter mächtig und fällt wahrscheinlich senkrecht ein. Es ist eine variszische, duktile Störungszone.

Die Donnerberg-Verwerfung und die Winterleithe-Verwerfung streichen schieferungsparallel NW-SE, fallen wahrscheinlich mittelsteil nach NE ein und sind die Hauptelemente innerhalb des tektonisch sehr stark beanspruchten Elbtalschiefergebirges. Sie weisen einen dextralen Bewegungssinn auf. Ebenso wie ein großer Teil

der anderen dort auftretenden Störungen sind sie als Aufschiebung ausgebildet und dadurch mit verantwortlich für den ausgeprägten Schuppenbau im Elbtalschiefergebirge.

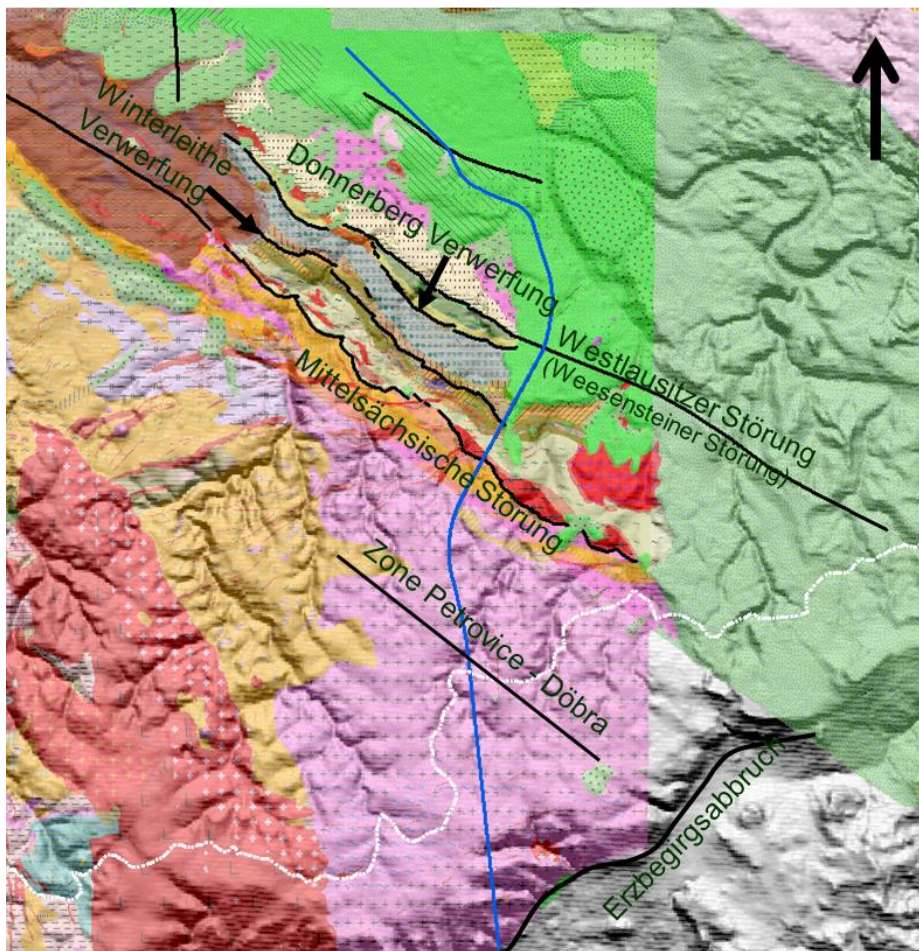


Abbildung 3: Hauptstörungen im Untersuchungsgebiet

Die variszische *Mittelsächsische Störung* trennt das Elbtalschiefergebirge von den Gneisen des Erzgebirges. In diesem Bereich tritt der häufig tektonisch stark gestörte Turmalingranit auf. Die durch die Autobahn A17 zwischen Anschlussstelle Bad Gottleuba und Anschlussstelle Bahretal über mehrere hundert Meter aufgeschlossene Störung fällt wahrscheinlich senkrecht ein und ist sowohl duktil als auch spröd-klastisch beansprucht.

Innerhalb der Gneise des Erzgebirges liegt die *Quarz-Fluorit-Zone von Petrovice–Döbra*. Diese NW-SE-streichende Struktur kreuzt die geplante Tunneltrasse etwa im Bereich des Gottleubatal unmittelbar an der tschechischen Grenze. Es handelt sich um eine bis zu hundert Meter mächtige, steil nach NE einfallende Gangstruktur.

Der auf tschechischer Seite in der Nähe des Tunnelportals bei Chlumeč auftretende NE-SW-streichende *Erzgebirgsabbruch* trennt das Erzgebirge von den tertiären Sedimenten des Eger Grabens. Es handelt sich um eine mehrere hundert Meter mächtige Verwerfungszone mit zahlreichen Einzelstörungen, die insgesamt einen Verwerfungsbetrag von mindestens 800 bis 1.000 m aufweisen. Das Alter des Erzgebirgsabbruchs ist Tertiär.

1.3.2 Geologisch-stratigrafische Komplexe

Quartär

Die für die Eisenbahntrasse relevanten quartären Sedimente befinden sich im nördlichen Bereich bei Heidenau–Pirna sowie im Bereich des Kohlbergs und des Galgenberges am Portal des Grenztunnels (Abbildung 4 und Abbildung 5). Es handelt sich um weichselkaltzeitliche Lössablagerungen und solifluidale Hanglehme, die elsterglaziale Schmelzwasser- und Flusskiese, Beckenbildungen und Grundmoräne überlagern. Die Mächtigkeit der auf der Hochfläche liegenden elsterzeitlichen Bildungen kann bis über 30 m betragen. Die Mächtigkeit der holozänen und pleistozänen Auenlehme und Kiese der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Müglitz, Gottleuba etc.) übersteigt 3 bis 5 m nicht.

Maßstabsbedingt können geringmächtige Einheiten (z. B. Quartär, Kreide) in den Profilschnitten lokal überhöht dargestellt sein. Aufgrund ähnlicher Eigenschaften wurden quartäre Einheiten in durchlässige, wasserleitende Lockergesteine (Modelliereinheit 1, Grundwasserleiter) und in geringdurchlässige, wasserstauende Lockergesteine (Modelliereinheit 2, Grundwasserstauer) zusammengefasst. Eine detaillierte Unterteilung wäre aufgrund des Übersichtscharakters des Trassenschnittes und der 3D-Modellierung in diesem Stadium nicht zielführend gewesen (vergl. Kapitel 3.1).

Im Schnitt werden Bereiche, in denen sich Grundwasserleiter und Grundwasserstauer überlagern, als 1/2 angezeigt, was bedeutet, dass beide Ablagerungen vorkommen, eine Unterteilung aufgrund des Maßstabes jedoch nicht darstellbar ist. Die Farbgebung wurde jeweils nach der im entsprechenden Abschnitt dominierenden Modelliereinheit gewählt.

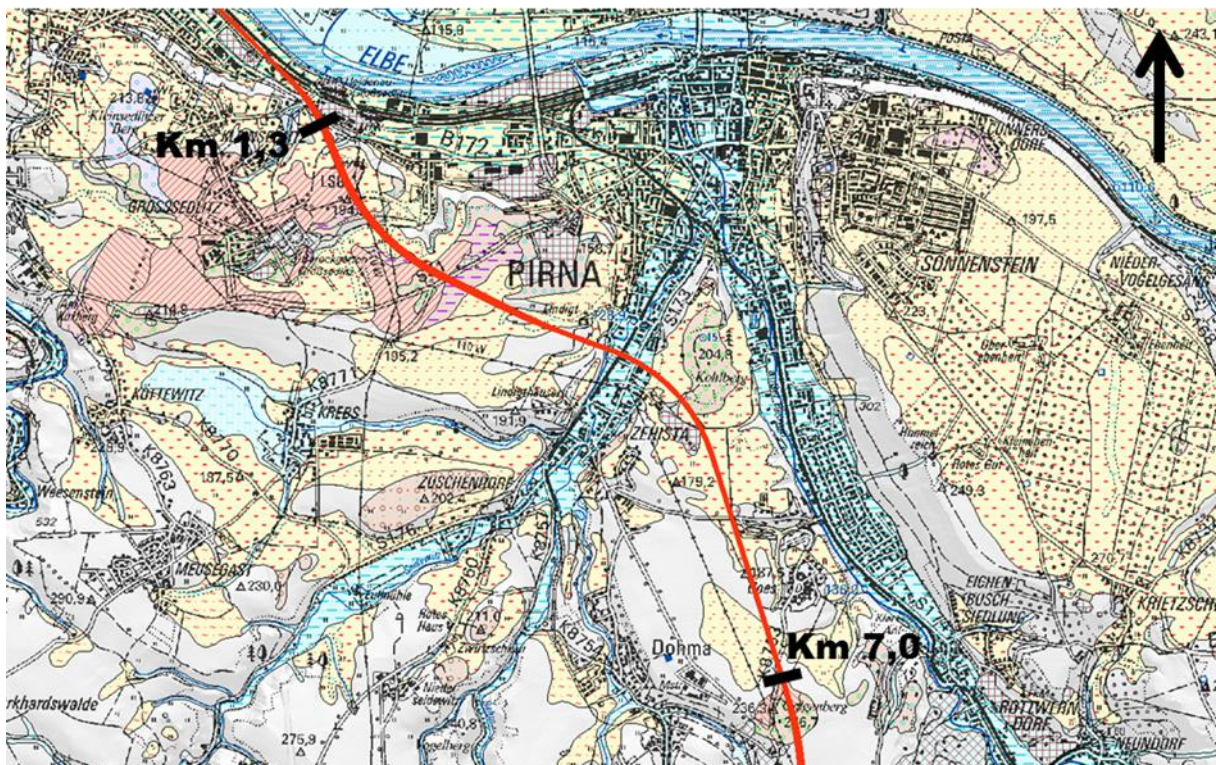


Abbildung 4: Trassenverlauf im Bereich der Querung quartärer Ablagerungen

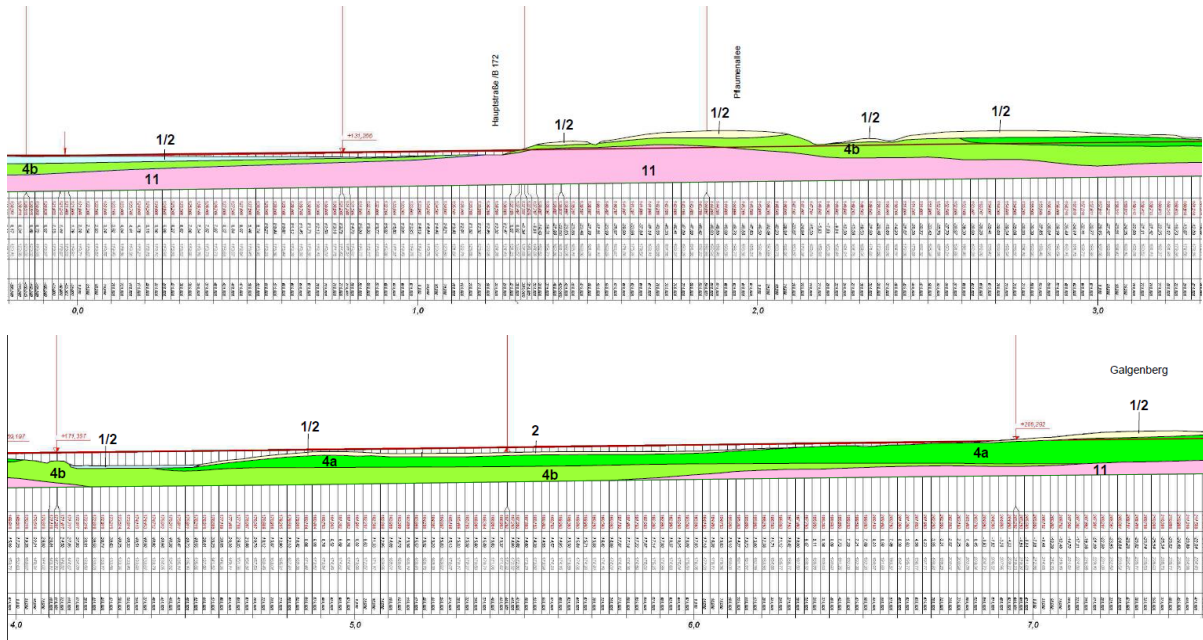


Abbildung 5: Quartäre Ablagerungen entlang der Tunneltrasse im Bereich Pirna–Heidenau (Legende Schnitt siehe Abbildung 22)

Kreide

Die kretazischen Sedimente (Cenoman-Turon) im Bereich von Pirna sind durch einen starken faziellen Wechsel gekennzeichnet. Nördlich von Pirna herrscht eine merglige Entwicklung vor, die nach Süden in eine sandige Fazies übergeht. Im Bereich der Tunneltrasse liegt örtlich basal der cenomane sandige Unterquader vor, der nach Norden in die mergligen Dölzschener Schichten übergeht (Abbildung 6). Darüber folgt der unterturo-ne Labiatus-Sandstein mit Übergängen zum Labiatus-Mergel. Die diskordant auf den Schiefen, Grauwacken und Granodioriten aufliegenden Kreidesedimente keilen nach Süden hin aus. Die Mächtigkeit entlang der Trasse reicht von wenigen Metern Kreideüberdeckung im Süden bis zu 40 bis 50 m im Norden.

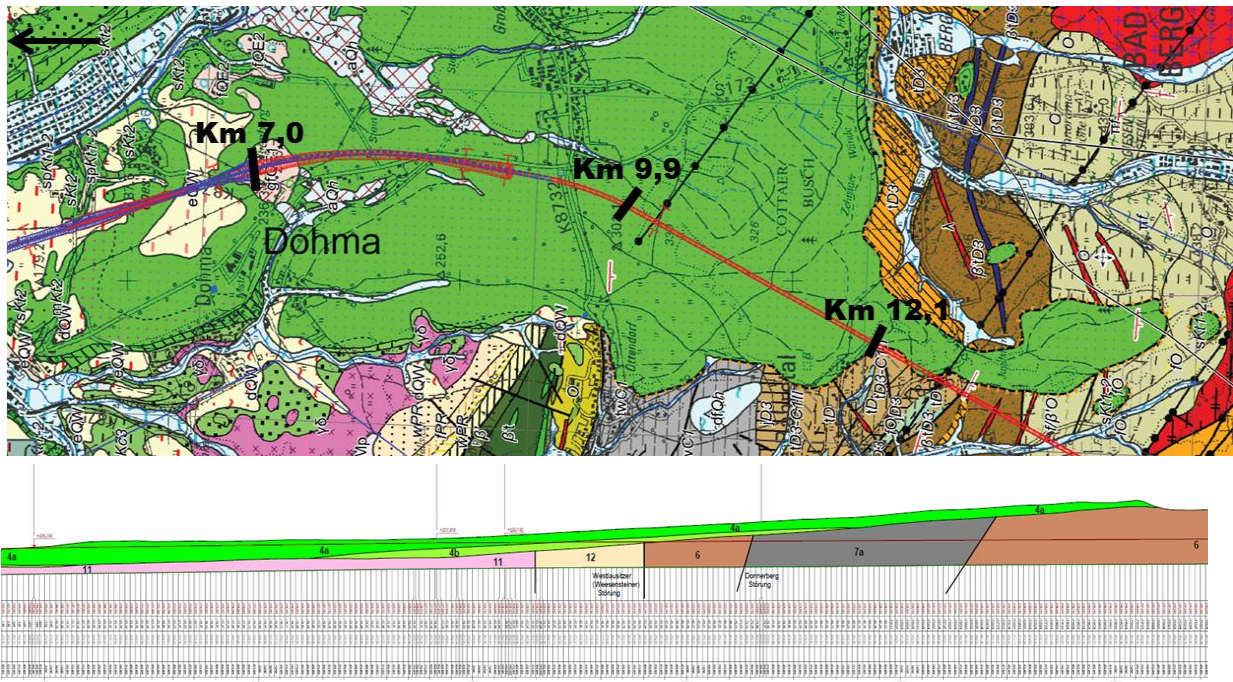


Abbildung 6: Kreidesedimente entlang der Tunneltrasse im Bereich Dohma–Bahretal mit dem Tunnelportal bei km 7,0 (Legende Schnitt siehe Abbildung 22)

Altpaläozoikum des Elbtalschiefergebirges

Die Tunneltrasse passiert zwischen Kilometer 9,9 und 14,4 die unterschiedlichen NW-SE-streichenden Schiefereinheiten des Elbtalschiefergebirges (Maxen-Berggießhübler Synklinorium). Diese ordovizischen bis unterkarbonen petrografisch sehr heterogenen Einheiten sind sowohl durch NW-SE-streichende schieferungsparallele als auch NE-SW-streichende Querstörungen stark gestört und intern häufig gefaltet (Abbildung 7). Im NE liegen die bis max. 900 m mächtigen, kontaktmetamorphen Metabasite, Tonschiefer und Grauwacken der Bahre- und Donnerbergformation (Abbildung 8, Modelleinheit 6). Danach folgt eine bis zu 500 m mächtige Abfolge von unterkarbonen Konglomeraten, Grauwacken und Tonschiefern (Abbildung 8, Modelleinheit 7a).

Nach SW schließt sich eine 300 bis 500 m mächtige oberdevonische Diabas-Kalkstein-Abfolge mit tektonischen Einschaltungen von silurischen Kiesel- und Alaunschiefern sowie Tonschiefern an. Die Kalksteinlager können lokal bis über 100 m Mächtigkeit erreichen (Modelleinheit 5b). Obwohl diese Abfolge nicht kontaktmetamorph ausgebildet ist, wurde sie auf Grund ihrer petrografischen Heterogenität wie die Bahre- und Donnerberg-Formation als „Schalsteinserie“ (Arbeitsbezeichnung) modelliert (Abbildung 8, Modelleinheit 6).

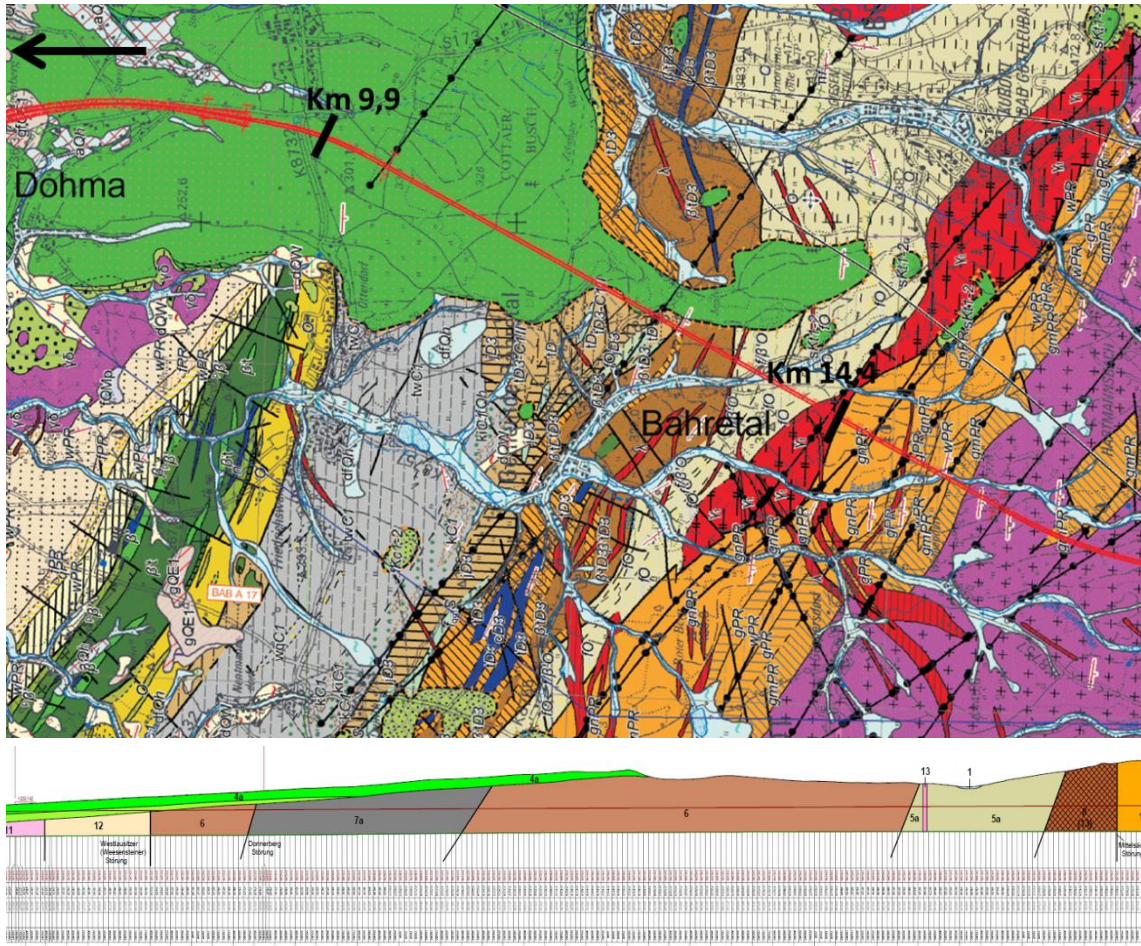
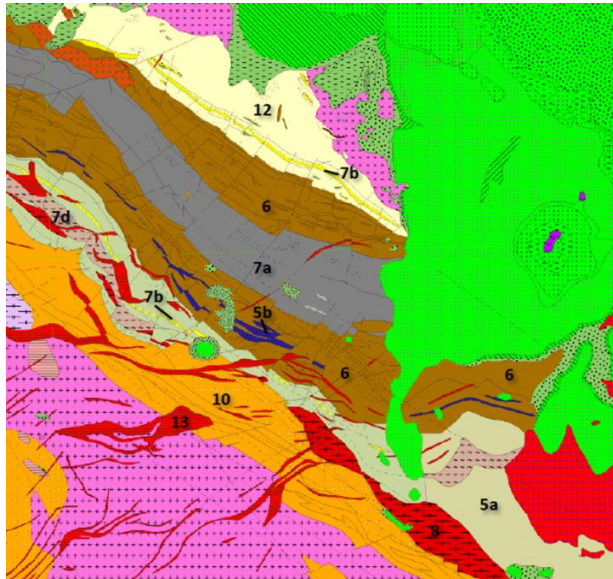


Abbildung 7: Gesteine des Elbtalschiefergebirges entlang der Tunneltrasse

Die südwestlichste Einheit des Elbtalschiefergebirges bildet eine bis zu 1.000 m mächtige Abfolge von Phylliten, Quarzphylliten und Quarziten sowie Metabasiten und deren Tuffe der ordovizischen Mühlbach-Nossener Gruppe (Abbildung 8, Modelleinheit 5a). Eingelagert sind ein weitaushaltender, bis zu 300 m mächtiger Chloritgneis-Horizont (Modelleinheit 7d) und Vorkommen von Turmalingranit (Abbildung 8, Modelleinheit 8) an der Basis dieser Gruppe. Sowohl der Chloritgneis als auch der Turmalingranit sind tektonisch stark überprägt und z. T. mylonitisiert.



Benennung der Modellierkörper	
5a	Phyllit, Tonschiefer (niedrig metamorphe Schiefer), Quarzite <u>umfasst gesamtes Ordovizium</u> gesamte Mühlbach-Nossen-Gruppe mit Ausnahme der Schichten, die mächtigkeitsbedingt separat als Modellkörper ausgehalten werden (5b, 7b, 7c, 7d)
5b	Karbonate (Kalk, Kalkstein, Dolomit, Kalkstein und Schiefer in Wechsellagerung) Darstellung mächtigkeitsabhängig
6	„Schalensteinserie“: Basische Vulkanite, Diabase, Tonschiefer, Kiesel- und Alaunschiefer, Karbonate, Quarzite, (heterogene Wechsellagerung unterschiedlicher Gesteine) <u>gesamtes Devon + Altpaläozoikum, ungegliedert</u> Bahre-Formation + Donnerberg-Formation mit Ausnahme der Schichten, die mächtigkeitsbedingt separat als Modellkörper ausgehalten werden (5b, 7b, 7c)
7a	Grauwacke, Konglomerate, Tonschiefer, <u>Unterkarbon</u> twC1, kiC1, wqC1, tcaC1, kC1
7b	Quarzit Darstellung mächtigkeitsabhängig
7c	Kieselschiefer/Radiolarit Darstellung mächtigkeitsabhängig
7d	Chloritgneis Blankenstein-Formation πf (mächtigkeitsabhängig)

Abbildung 8: Modelliereinheiten des Elbtalschiefergebirges in der Karte und im Profilschnitt

Proterozoikum/Altpaläozoikum des Erzgebirges

Im Bereich des Erzgebirges erstreckt sich ein relativ einheitlicher Komplex petrografisch unterschiedlich ausgebildeter Gneise. Während im Norden noch feinkörnige, häufig schiefrige Gneise der Haselberg- und Herbergen-Folge auftreten, werden nach Süden die Gneise massiver, mittel-grobkörnig, schuppig und gehen in weiträumige Wechsel von kalifeldspat-führende Orthogneise und plagioklasführenden Zweiglimmerparagneisen über. Die Gneisgebiete sind insbesondere im Norden im Bereich der Mittelsächsischen Störung häufig gestört.

Besondere Beachtung sollte die Struktur Börnersdorf finden, die in unmittelbarer Nähe der Tunneltrasse liegt (Abbildung 9). Hierbei handelt es sich um eine runde Struktur mit ca. 600 m Durchmesser. Sie ist mit kretazischen Sedimenten gefüllt und hat nach seismischen Untersuchungen eine Tiefe von ca. 250 bis 300 m. Die Genese dieser Struktur ist derzeit noch nicht geklärt. Die Ergebnisse der aktuellen geophysikalischen Untersuchungen konnten die Annahme einer kreisrunden Form der Struktur allerdings nicht bestätigen.

Die Trasse schneidet die Struktur Börnersdorf nach Verlagerung der Trasse nach Westen nicht mehr. Weil ihre Entstehung jedoch noch nicht abschließend geklärt ist und möglicherweise auch eine Beeinflussung der Trasse durch die Struktur begleitende tektonische Elemente zu betrachten ist, wurde die Struktur in die Schnittdarstellungen (Anlage 1.2) in die Trasse projiziert. Innerhalb der Gneise des Erzgebirges liegt die Quarz-Fluorit-Zone von Petrovice–Döbra. Diese NW-SE-streichende Struktur kreuzt die geplante Tunneltrasse etwa im Bereich des Gottleubatalts unmittelbar an der tschechischen Grenze. Auf tschechischer Seite wurde die Struktur durch zahlreiche Bohrungen aufgeschlossen, während sie auf deutscher Seite durch geophysikalische Untersuchungen (Elektrik, VLF) belegt ist. Es handelt sich um eine bis zu 100 m mächtige, steil nach NE einfallende Gangstruktur, die lokal mehrere Meter mächtigen Quarz-Fluoritvererzungen aufweist. Hier ist mit verstärkter Klüftigkeit und Wasserführung zu rechnen.

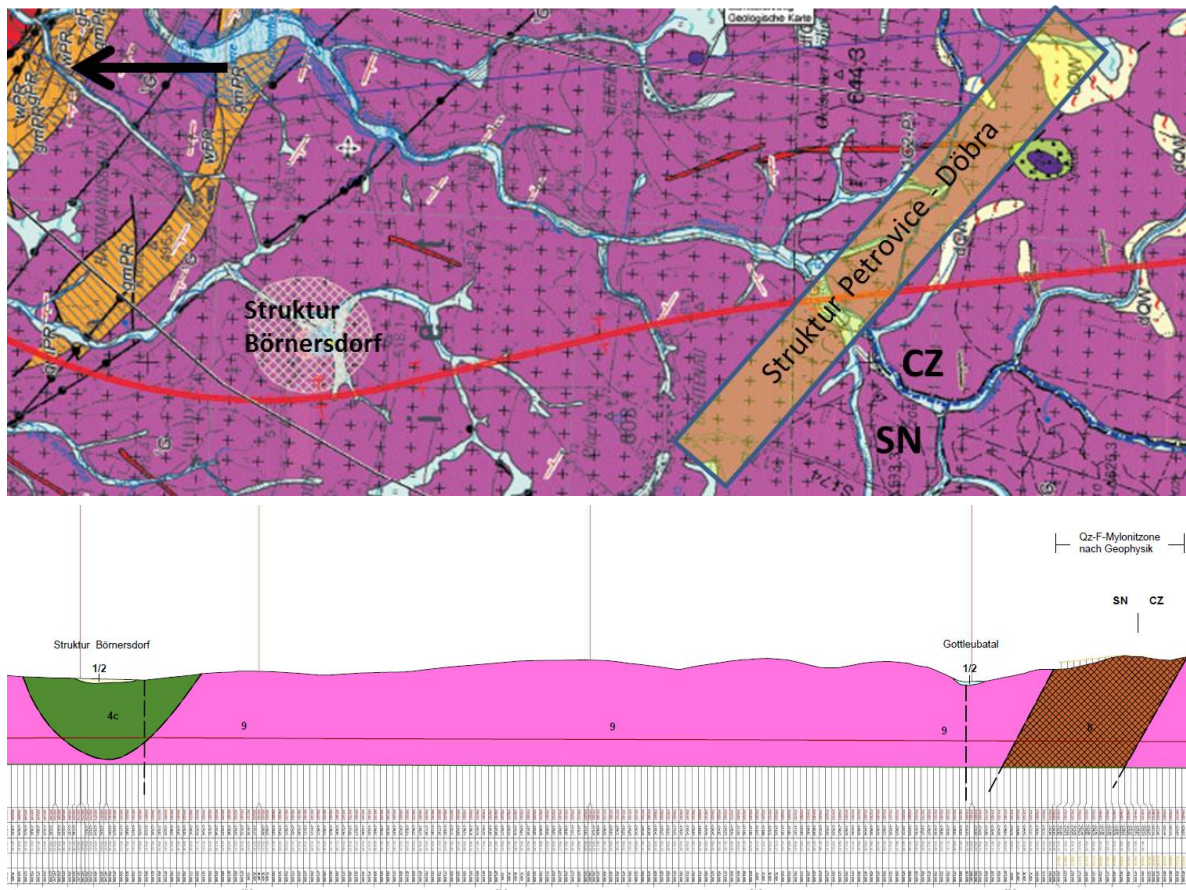


Abbildung 9: Verlauf der Tunneltrasse in den Gneisen des Erzgebirges bis zur tschechischen Grenze mit der Struktur Börnersdorf und der Quarz-Fluorit-Gangzone von Petrovice–Döbra als Profilschnitt und Karte (Legende Schnitt siehe Abbildung 22)

2 Geophysikalische Untersuchungen

Dieses Kapitel enthält eine zusammenfassende Darstellung des FuE-Projektteils „Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation“. Der ausführliche Bericht dazu ist in den Anlage 2.1 und 2.2 enthalten.

Die Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge, östlich der Autobahnabfahrt Bad Gottleuba an der A 17, zeigt ein durch quartäre Sedimente verdecktes Kreidevorkommen von 500 bis 600 m Durchmesser und mit einer vermuteten Tiefe von ca. 250 bis 300 m (Abbildung 10). Die Genese ist weitgehend unklar, es könnte sich um ein vulkanisches Maar oder eine tektonische Struktur handeln.



Abbildung 10: Untersuchungsgebiet (blauer Kreis) an der Autobahnabfahrt Bad Gottleuba

Mithilfe geophysikalischer Methoden sollte Folgendes gezielt geklärt werden:

1. Erkennung von markanten Störungszonen in unmittelbarer Umgebung der Struktur (inkl. Streichrichtung), im Folgenden als „**Außerhalb der Struktur**“ referenziert (Abbildung 11)
2. möglichst genaue Bestimmung der Tiefe und der Randflächen der Struktur (inkl. Lage, Streichen, Einfallen), im Folgenden als „**Innerhalb der Struktur**“ referenziert

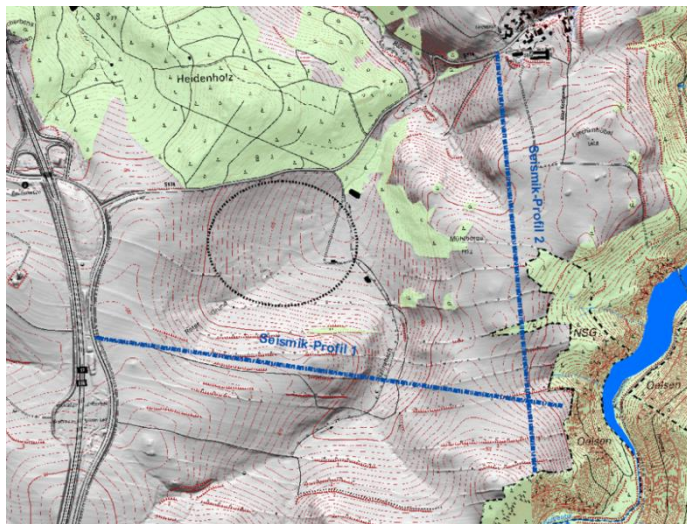


Abbildung 11: Geplante Lage der Profile außerhalb der Struktur

2.1 Durchgeführte Untersuchungen

Folgende geophysikalische Verfahren kamen dabei zum Einsatz:

- Gravimetrie
- Magnetik
- Geoelektrik/VLF
- Seismik

2.1.1 Gravimetrie

Im Mai/Juni 2014 wurden gravimetrische Messungen entlang der beiden Profile „Außerhalb der Struktur“ durchgeführt. Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der Profillagen und Messpunkte. Neben diesen neu gemessenen Daten standen zur Auswertung auch die regionalen Gravimetrie-Messwerte (schwarze Kreuze) und die in den vergangenen Jahren im Rahmen der Untersuchung der potenziellen Maar-/Kreidestruktur im zentralen Bereich gewonnenen Gravimetrie-Messwerte (rote Kreuze) zur Verfügung.

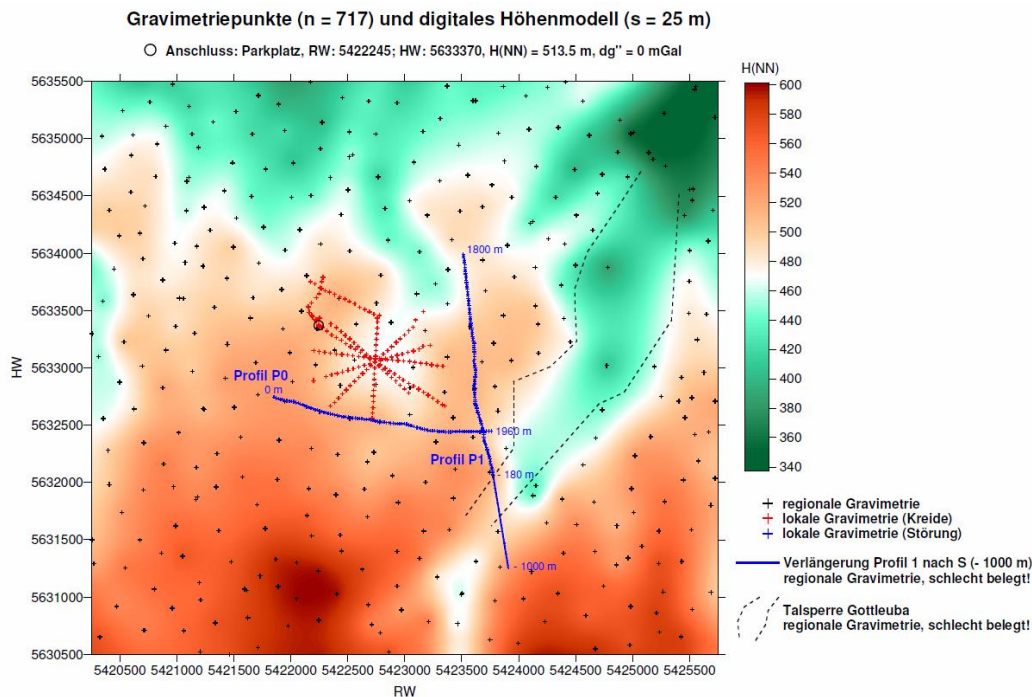


Abbildung 12: Übersicht der Gravimetrie-Profile und -Messpunkte

Im West-Ost verlaufenden Profil (Abbildung 13 oben) deutet sich im westlichen Teil bei Profilmeter 100 ein gravimetrisches Minimum an („ST“). Dies könnte ein Anzeichen für eine das Profil schneidende Störung in diesem Bereich sein.

Im Süd-Nord verlaufenden Profil (Abbildung 13 unten) ist ein ausgeprägtes Minimum bei Profilmeter 1.200 zu erkennen, das ebenfalls auf eine Störungszone hindeuten und gemäß der Morphologie eine Streichrichtung von NW nach SO haben könnte. Im südlichen Ende des Profils ist ein ausgeprägter Abfall der Messwerte zu beobachten. Dies könnte auf eine überregionale Störungszone hindeuten.

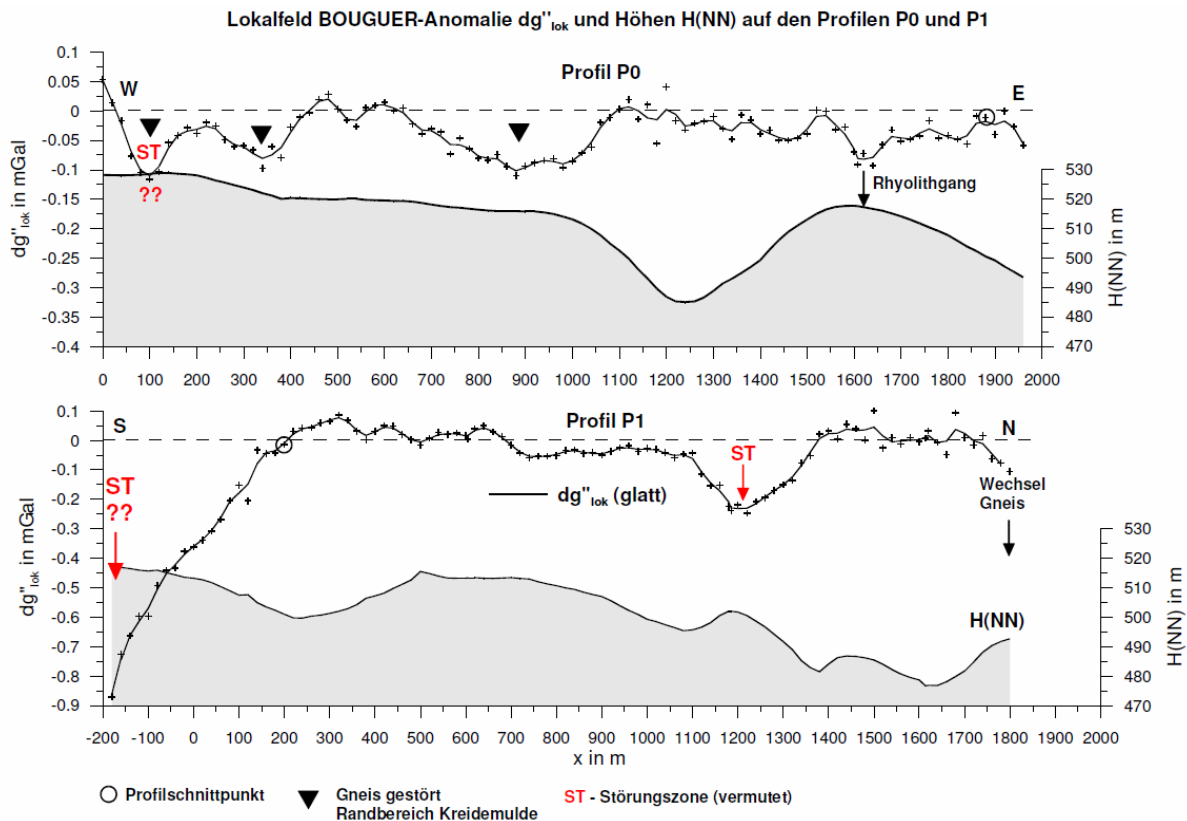


Abbildung 13: Korrigierte BOUGUER-Anomalie entlang der beiden Profile „Außerhalb der Struktur“ (oben: Ost-West verlaufendes Profil; unten: Nord-Süd verlaufendes Profil)

2.1.2 Magnetik

Im Untersuchungsgebiet wurden in den vergangenen Jahren bereits umfangreiche geomagnetische Untersuchungen durchgeführt. Diese wurden mit neuen Messungen entlang der beiden oben genannten Profile „Außerhalb der Struktur“ ergänzt. Hinweise auf potenzielle Störungszonen sind in den magnetischen Anomaliekurven dieser beiden Profile nicht unmittelbar zu erkennen.

2.1.3 Geoelektrik

Aufgrund der lokalen Gegebenheiten (Stromleitung etc.) konnten die geoelektrischen Untersuchungen nur im westlichen Teil des Ost-West verlaufenden Profils durchgeführt werden. Abbildung 5 zeigt den resultierenden Vertikalschnitt des spezifischen elektrischen Widerstandes, rekonstruiert aus einer gemeinsamen Inversion von Wenner- und Schlumberger-Anordnungen. Bei ca. Profilmeter 320 ist ein niederohmiger (gut leitfähiger), N-S streichender und nach Osten einfallender Bereich bis in eine Tiefe von ca. 50 m zu erkennen. Dies könnte auf eine Störungszone hindeuten, die in Folge der Klüftung einen erhöhten Fluidgehalt und damit eine erhöhte Leitfähigkeit aufweist (Abbildung 14).

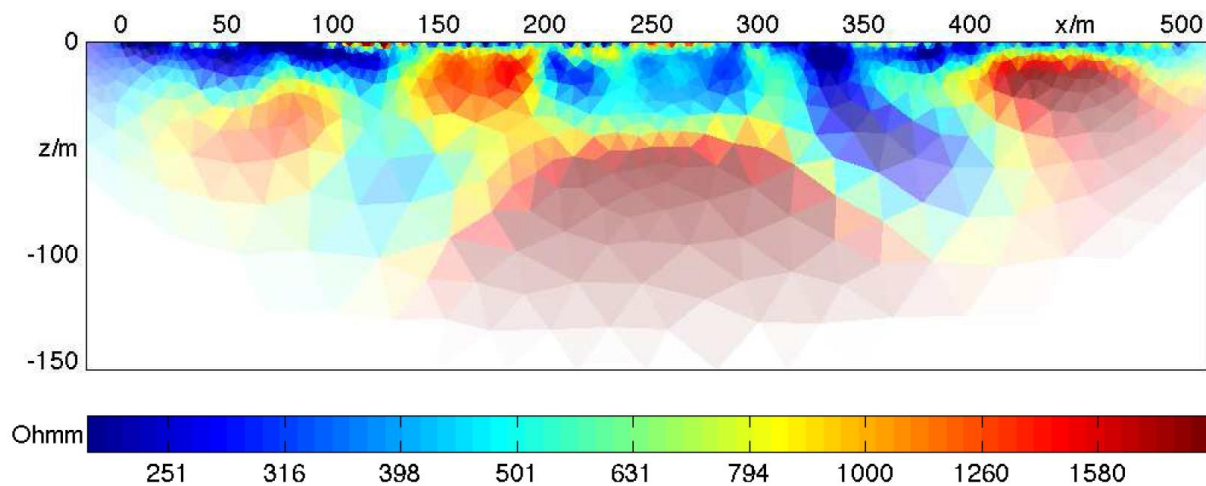


Abbildung 14: Inversionsergebnis der Geoelektrik-Messungen entlang Profil 1 (Profilmeter 0 bis 500)

2.1.4 Seismik

Das Ziel der seismischen Messungen war die Erkundung entlang der beiden Profile „Außerhalb der Struktur“ bis in eine Tiefe von ca. 500 m. Dazu wurden die seismischen Empfänger (insgesamt 360 simultan registrierenden Empfänger) entlang der gesamten Profillänge engabständig (5 m Geofonabstand) ausgelegt und mit einer ausreichend starken Quelle seismischer Wellen ebenso engabständig (10 m Quellpunktabstand) entlang des Profils angeregt (Abbildung 15).



Abbildung 15: Fallgewichtsquelle (links) und Geofonauslage (rechts)

Als Ergebnis wurde nach einer standardmäßigen Auswertung und der Tomografie eine Prestack-Tiefenmigration auf die seismischen Daten angewendet, um ein Strukturabbild zu erstellen. Zum Einsatz kam die sogenannte Fresnel-Volumen-Migration. Das Ergebnis ist für das Ost-West verlaufende Profil in phasengetreuer Version zeigt Abbildung 16. Deutlich sind mehrere nach Osten einfallende Reflektoren zu erkennen, die mit ca. 45° nach Osten einfallen und sich bis in eine Tiefe von ca. 500 bis 600 m, 1.000 bzw. 2.000 m unter Geländeoberkante verfolgen lassen. Eine Extrapolation des tiefsten und stärksten Reflektors würde mit gleichem Einfallswinkel bis an die Erdoberfläche zu einem potenziellen Oberflächenausbiss ca. 1,5 bis 2 km westlich des Ost-West-Profilbeginns führen.

2.2 Untersuchungsergebnisse „Außerhalb der Struktur“

Die zur Erkennung von markanten Störungszonen in unmittelbarer Umgebung der Struktur („Außerhalb der Struktur“) durchgeführten geophysikalischen Arbeiten lieferten Daten, die direkte Hinweise auf regionale Störungszonen gaben. Insbesondere die vergleichende Interpretation der Gravimetrie- und Geoelektrik-Daten sowie in entsprechend hochauflösender Form mit großer Tiefenreichweite in den Seismik-Daten erbrachten übereinstimmende Ergebnisse. So ist für das Ost-West verlaufende Profil (Abbildung 16) neben der oberflächennahen Störungszone ($x = 350$ m), die sowohl in den Gravimetrie-, Geoelektrik- als auch den Seismik-Daten deutlich zu erkennen ist, insbesondere der tief liegende und dominante Reflektor in demselben Profil zu nennen. Letzterer deutet aufgrund seiner Ausprägung auf eine übergeordnete und eher großskalige Störungszone hin, deren potenzieller Oberflächenausbiss auf der westlichen Seite der das Untersuchungsgebiet begrenzenden Autobahn allerdings aufgrund der Lage der Profile auf der östlichen Seite der Autobahn nur extrapoliert werden kann. Die BOUGUER-Anomalie-Übersichtskarte (Inset in Abb. 18) zeigt in diesem potenziellen Ausbissbereich eine Süd-West/Nord-Ost verlaufende, längliche negative Anomalie, die mit der angenommenen Streichrichtung dieses Reflektors und seines potenziellen Oberflächenausbisses korreliert werden könnte.

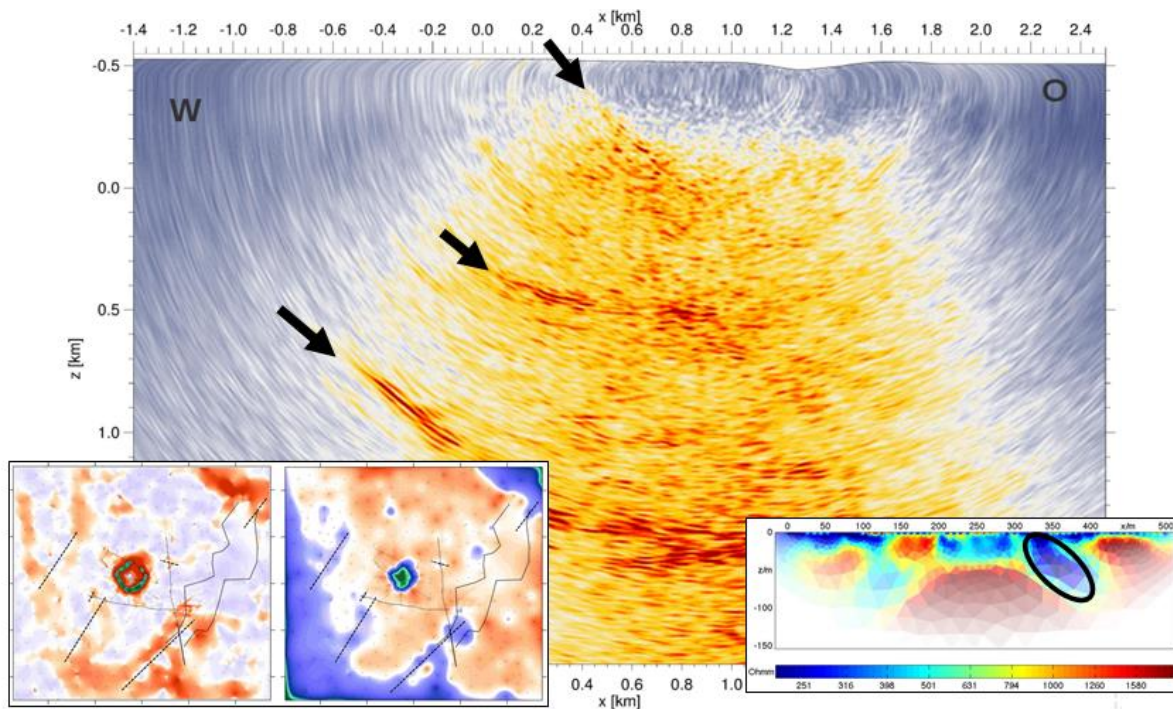


Abbildung 16: Gemeinsame Interpretation der Daten des Ost-West verlaufenden Profils

2.3 Untersuchungsergebnisse „Innerhalb der Struktur“

Bereits 2011 und den Folgejahren wurden innerhalb der Struktur umfangreiche geophysikalische Messungen durchgeführt. Abbildung 17 zeigt eine Übersicht der entsprechenden Profillagen und Messpunkte.

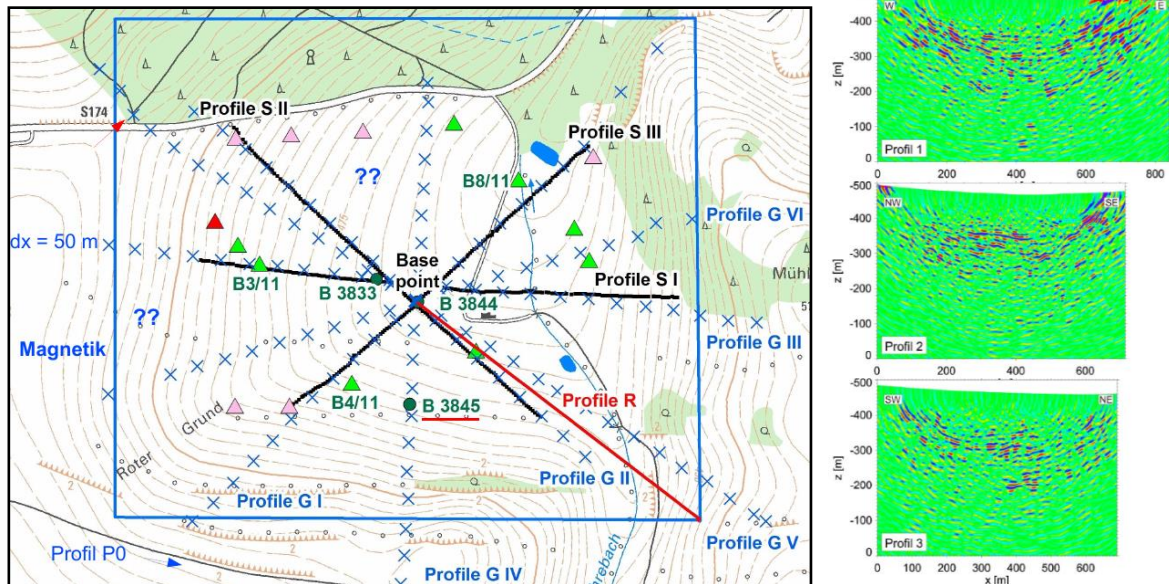


Abbildung 17: Übersicht der Profillagen und Messpunkte im Zeitraum 2011–2013 (aus HORNA et al.) (links) und Ergebnis der drei 2D-Seismik-Profile (SI-III) (rechts)

Dabei wurde eine Struktur identifiziert, die annähernd rund und mit relativ steil einfallenden Grenzflächen in allen bis dato abgeleiteten geophysikalischen Ergebnissen erschien (vergl. [10]). Exemplarisch ist in Abbildung 17 das Ergebnis der drei 2D-Seismik-Profile (SI-III) und die entsprechende Interpretation dargestellt.

Neue Messergebnisse und Neuberechnungen der regionalen und lokalen BOUGUER-Anomalie gaben Hinweise auf eine mehr eckige Form der Anomalien, was auf eine Störungsbegrenzung hinweisen würde (Abbildung 18).

Insbesondere im nordwestlichen und der südwestlichen Teil erscheinen die Grenzflächen nicht rund, sondern als zwei separate, annähernd gerade Teilflächen, die in einem zur Struktur hin gewandten Innenwinkel von ca. 90 bis 100 Grad zueinander stehen.

Aus diesem Grund wurde 2015 eine 3D-Seismik im Bereich der westlichen Grenzfläche durchgeführt, aus deren Auswertung die räumliche Lage dieser Grenzflächen gut bestimmbar sein sollte. Abbildung 19 zeigt die Lage aller Quell- und Empfängerpunkte der 3D-Seismik im Bereich der Struktur. Insgesamt konnten acht Auslagen mit teils überlappenden Quellpunkten realisiert werden, sodass in Summe ein Datensatz mit insgesamt ca. 3.500 verschiedenen Empfängerpunkten und ca. 300 verschiedenen Quellpunkten generiert wurde.

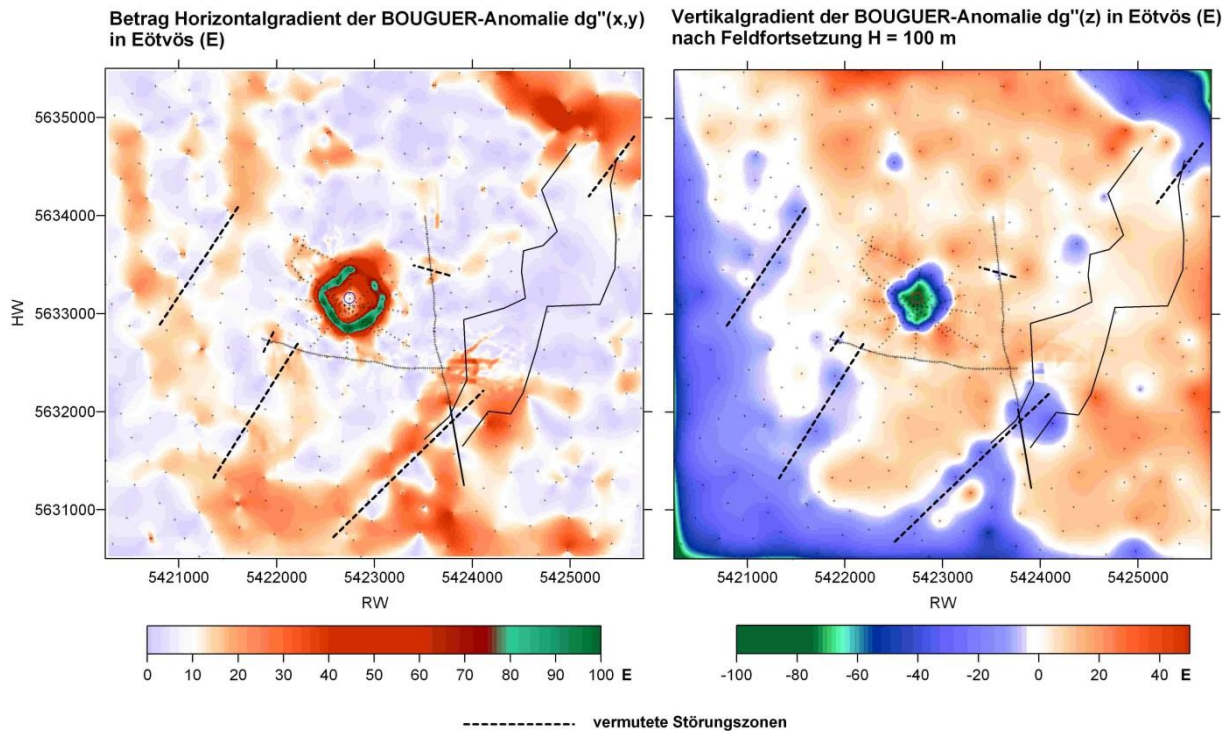


Abbildung 18: Horizontalgradient (links) und Vertikalgradient (rechts) der regionalen BOUGUER-Anomalie

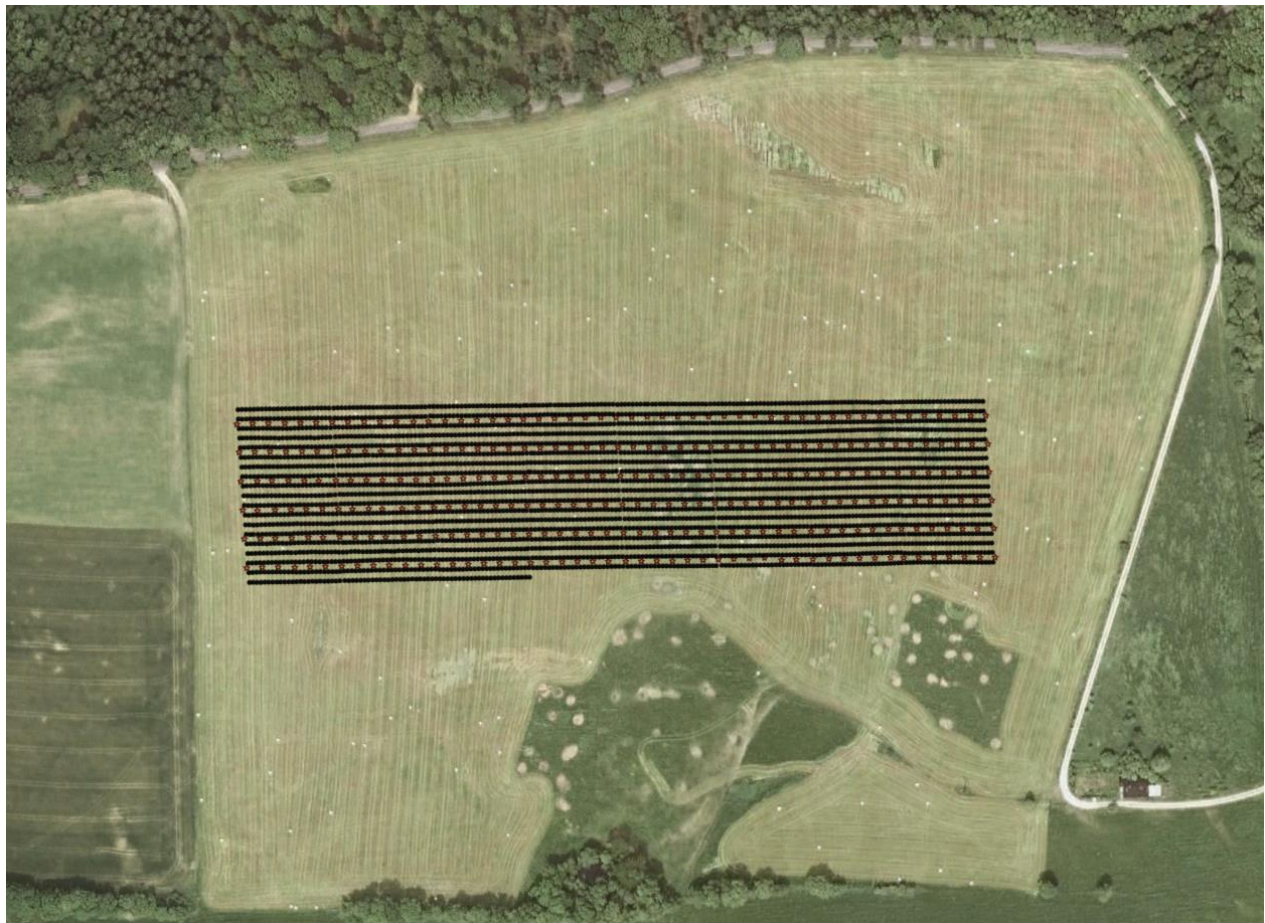


Abbildung 19: Lage aller Quellpunkte (rote Sterne) und Empfängerpunkte (schwarze Kreise) im 3D-Seismik-Messgebiet

Aus diesem 3D-Seismik-Cube wurde bereits eine erste geometrische 3D-Interpretation angefertigt (Abbildung 20), die die Lage der Hauptreflektoren im Raum deutlich erkennen lässt und die komplexe 3D-Geometrie der Börnersdorf-Struktur mit einem Wechselspiel von steilen und flacheren Flanken, im Wesentlichen horizontal gelagerten Sedimenten und einer „eckigen“ Außenform widerspiegelt.

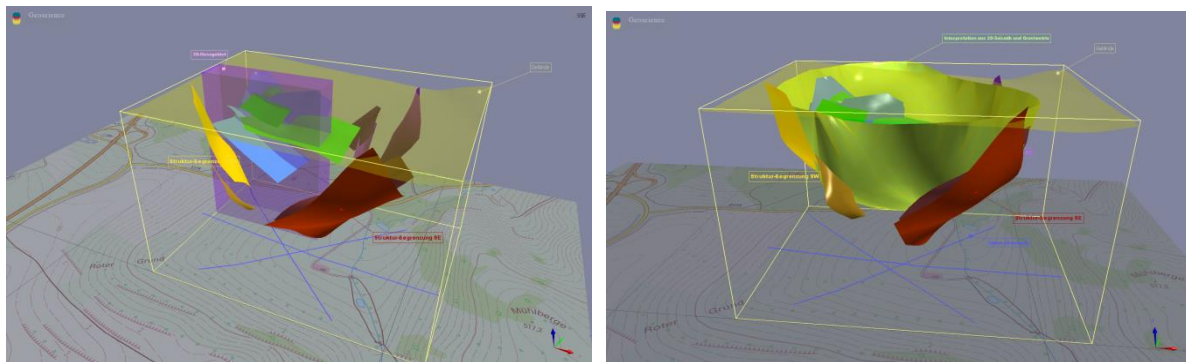


Abbildung 20: 3D-Interpretation der Struktur. Der lila Quader im linken Bild repräsentiert die 3D-Seismik-Auslage (GÖRNE & KRENTZ).

Auf der Basis der umfangreichen Potenzialfelddaten und der neuen 3D-Seismik konnte die 3D-Börnersdorf-Struktur insbesondere hinsichtlich der Lage ihrer westlichen Grenzflächen sehr genau abgebildet werden. Dabei ergänzten sich die unterschiedlichen geophysikalischen Verfahren in überzeugender Weise. Abbildung 21 zeigt eine abschließende schematische Zusammenstellung der entsprechenden Ergebnisse.

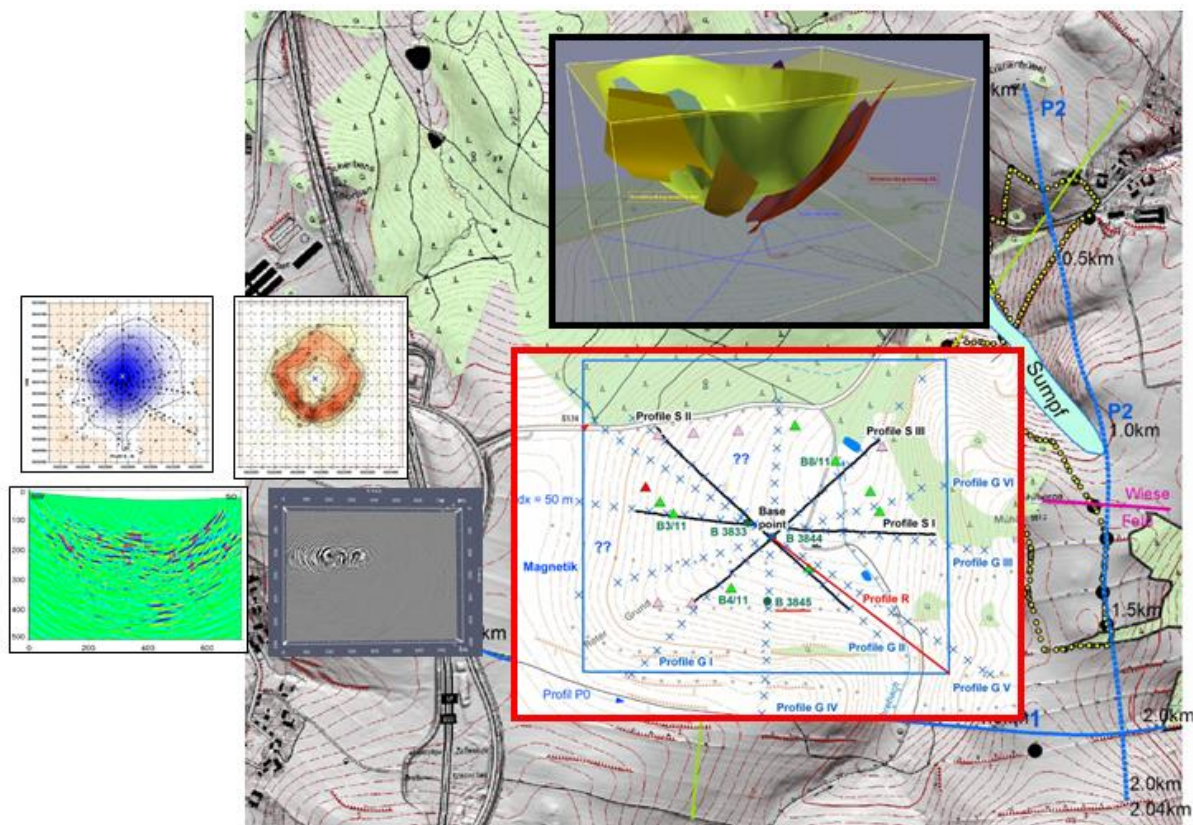


Abbildung 21: Schematische Zusammenstellung aller geophysikalischen Ergebnisse „Innerhalb der Struktur“

3 Geologische 3D-Modellierung und gesteinsphysikalische Charakterisierung der im Trassenverlauf zu erwartenden Gesteine

3.1 Methodik der Erstellung der Geologischen Übersichtsschnitte

Die geologischen Schnitte (Anlage 1) wurden nach dem derzeit vorliegenden Kenntnisstand entlang des Trassenverlaufs (Profile Mitte vom Februar 2015) auf der Grundlage der vom Büro KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH zur Verfügung gestellten Höhenpläne vom Februar 2015 [25] mit der Software Geodin erstellt und sind als prinzipielle Übersichtsprofile zu verstehen.

Die dargestellten Modelliereinheiten sind eine Zusammenfassung der in den Karten und Bohrungen angebotenen geologischen Einheiten. In Hinblick auf ihre Relevanz für den Tunnelbau wurden insgesamt 21 Modelliereinheiten ausgehalten, die in fünf verschiedenen geologischen Stockwerken (Quartär, Tertiär, Kreide, Altpaläozoikum/Elbtalschiefergebirge, Kristallin) und als Störungskörper auftreten (Abbildung 22).

Maßstabsbedingt können geringmächtige Einheiten (z. B. Quartär, Kreide) lokal überhöht dargestellt sein. Im Quartär wurden Sedimente mit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften zusammengefasst. Es wurden zum einen durchlässige, wasserleitende Lockergesteine als Grundwasserleiter zusammengefasst (Modelliereinheit 1) und geringdurchlässige, wasserstauende Lockergesteine als Grundwasserstauer (Modelliereinheit 2). Eine detailliertere Unterteilung wäre aufgrund des Übersichtscharakters des Trassenschnittes und der 3-D-Modellierung in diesem Stadium nicht zielführend gewesen (vgl. Kapitel 1.3).

Im Schnitt werden Bereiche, in denen sich Grundwasserleiter und Grundwasserstauer überlagern, als 1/2 angezeigt, was bedeutet, dass beide Ablagerungen vorkommen, eine Unterteilung aufgrund des Maßstabs jedoch nicht darstellbar ist. Die Farbgebung wurde jeweils nach der im entsprechenden Abschnitt dominierenden Modelliereinheit gewählt.

Im Bereich der Kreideablagerungen wurde lediglich zwischen Mergeln und Sandsteinen unterschieden. Entscheidendes Kriterium waren auch hier die geotechnischen und hydrogeologischen Eigenschaften.

Für die Darstellung des petrografisch sehr heterogen aufgebauten Elbtalschiefergebirges wurde ein generalisiertes Einfallen von 60° gewählt. Der komplexe tektonische Bau mit Faltungen und Aufschiebungen erlaubt keine sichere Darstellung der geologischen Verhältnisse in dem gewünschten Teufenbereich. Die Modelliereinheiten wurden auch hier auf der Grundlage zu erwartender geotechnischer Eigenschaften und einer Darstellbarkeit gewählt. Im Rahmen der Modellierung und Auswertung der Bohrergebnisse erfolgten später Anpassungen der Legende und einer Erweiterung von ehemals drei Modellierkörpern auf sieben, was aus der Unterteilung mittels Buchstaben deutlich wird. Im Schnitt treten nicht alle modellierten Einheiten des Elbtalschiefergebirges auf, weil deren Vorkommen und Lage unter kreidezeitlichen Überdeckungen nicht bekannt ist.

Im Kristallin wurde im südlichen Bereich zwischen Gneisen (allgemein) und Gneisen (überprägt) differenziert. Überprägter Gneis wird im Umfeld von Störungszonen und Bereichen besonderer tektonischer oder metamorpher Beanspruchung ausgehalten.

Geologische Störungen wurden den geologischen Karten entnommen und sind von ihrem Charakter sehr unterschiedlich zu bewerten. In den Profilen werden einfache Kluft- und Aufschiebungszone als ‚tektonische Störungen‘ dargestellt. Mehrere zehner bis hundert Meter mächtige Bereiche mit Quarz-Flußspat-Mineralisationen (Struktur Petrovice–Döbra) oder mit spröden bis duktilen Mylonitisierungen, Kluft- und Ruschelzonen (Mittelsächsische- und Westlausitzer Störung) werden als Störungskörper ausgehalten.

Die 50 m östlich verlaufenden Profile Ost wurden aus dem 3D-Modell des Trassenverlaufs abgeleitet und danach mit den Profilen Mitte des Trassenplans abgeglichen. Weil das 3D-Modell aufgrund der räumlichen Darstellung auf einer bedeutend komplexeren Datenbasis interpoliert wurde, können durchaus abweichende Darstellungen zu den abgeglichenen 2D-Profilen auftreten. Die Profile Ost erlauben aber prinzipiell zusammen mit den Profilen Mitte, das Streichen der modellierten Störungen und Körper besser einzuschätzen.



Abbildung 22: Modelliereinheiten in den geologischen Profilen

3.2 Methodik der 3D-Modellierung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Teilgebiete

Die in diesem Kapitel enthaltene zusammenfassende Beschreibung der Methodik der 3D-Modellierung basiert auf den Angaben aus Anlage 3.7.

Für eine detaillierte Darstellung der geologischen Verhältnisse im Trassenbereich und im Bereich Börnersdorf/Osterzgebirge wurde ein geologisches 3D-Modell erarbeitet. Es setzt sich aus mehreren Teilgebieten mit unterschiedlicher Datengrundlage, Betrachtungsschwerpunkten und Detaillierungsgrad zusammen und wurde zu einem konsistenten 3D-Gesamtmodell zusammengeführt. Berücksichtigung fanden darin die in Tabelle 1 aufgeführten Datengrundlagen und anteilig geophysikalische Erkundungsergebnisse sowie eine Vielzahl von Bohrungen. Das Modell dient als Grundlage für die weiteren ingenieurtechnischen Bearbeitungsschritte und Erkundungsarbeiten. Nachfolgend sind die sechs Teilgebiete aufgeführt (Abbildung 23):

- (1) Struktur Börnersdorf
- (2) Tunnel und Einschnitt Heidenau–Pirna
- (3) Bereich Kohlberg
- (4) Lohmgrund-Rücken
- (5) Elbtal–Schiefergebirge
- (6) Erzgebirgsabbruch (nicht abgebildet)

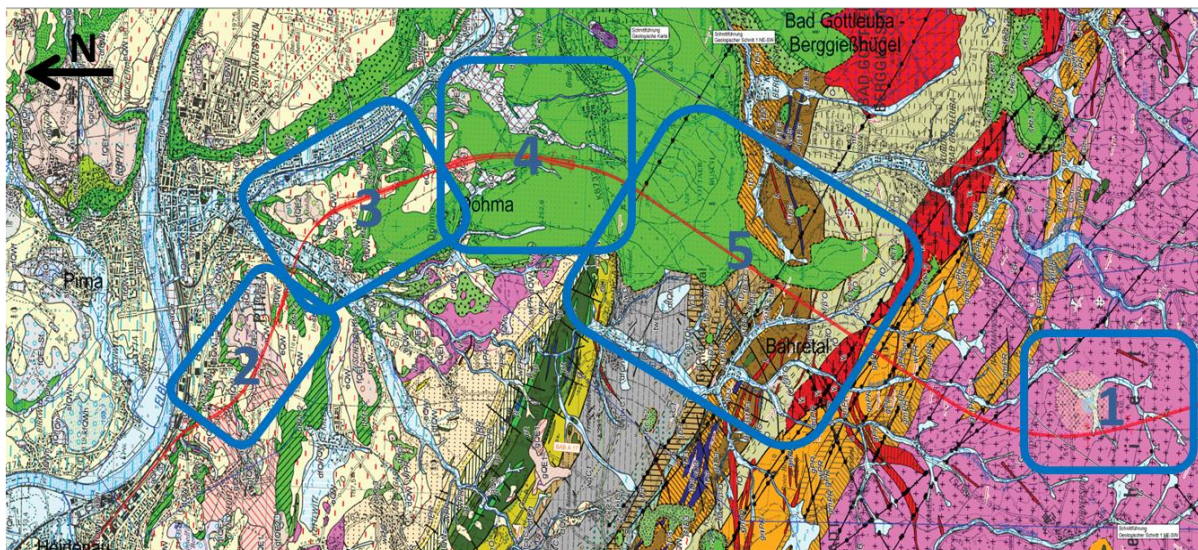


Abbildung 23: Modelliergebiete 3D-Modell

Die einzelnen Teilgebiete können folgendermaßen charakterisiert werden (Abbildung 24):

- Das Teilmodell 1 Börnersdorf liegt an den Baukilometern 17,5–20,0 und wurde in einer Größe von 2,5 x 2 km x 500 m modelliert. Die Struktur Börnersdorf ist eine schüsselartige Oberkreidestruktur, die von quartären Sedimenten überdeckt wird.
- Das Teilmodell 2 bildet im Bereich Pirna–Heidenau ein Volumen von ca. 2,2 x 1 km x 100 m ab, das aus Sedimenten der Kreide und des Quartärs besteht. Hier verläuft die Trasse oberflächennah durch kretazische und quartäre Sedimente.

- Das Teilmodell 3 Kohlberg liegt an den Baukilometern 3,4–7,0, hat eine Größe von 3,6 x 2 km und betrachtet Tiefen bis 100 m. Das Gebiet wird durch sedimentäre Gesteine der Kreide und des Quartärs charakterisiert. In dieses Teilmodell wurden der geplante Eisenbahneinschnitt vor dem Tunnelportal des Erzgebirgsbasistunnels und eine mögliche Verfüllung der Kohlbergflanke im Bereich der Deponie Zehista eingearbeitet, um eine Visualisierung der geplanten Eingriffe in die Landschaft zu ermöglichen.
- Das Detailgebiet 4 Lohmgrundrücken hat ein Volumen von ca. 3 x 3 km x 100 m. Hier verläuft die Trasse im Erzgebirgsbasistunnel, der Sedimente der Kreide durchfährt.
- Das Modellierungsgebiet 5 umfasst überwiegend Gesteine des Elbtalschiefergebirges und teilweise kretazische und känozoische Sedimente, die dieses überdecken. Die Gesteine sind oft steilgestellt, geschiefert, gefaltet und gestört. Modelliert wurde der tektonische Bau der Hauptgesteinseinheiten auf der Grundlage detaillierter Oberflächenkartierungen und Bohrungen. Das Teilmodell 5 erstreckt sich von Baukilometer 10,0–14,5 und wird in einer Größe von 4,5 x 5 km x 300 m erstellt.
- Das Modellierungsgebiet 6 liegt im Bereich des Eger Grabens bei Baukilometer 31,0–34,0 und ist 3 x 5 km groß. Es betrachtet den Untergrund bis in eine Tiefe von 400 m. Das Modellierungsgebiet befindet sich in der Tschechischen Republik. Zur Modellierung wurden geologische Karten und der vom LfULG zur Verfügung gestellte Trassenprofilschnitt verwendet. In diesem Gebiet sind große Störungszonen vorhanden, die im Modell dargestellt wurden.

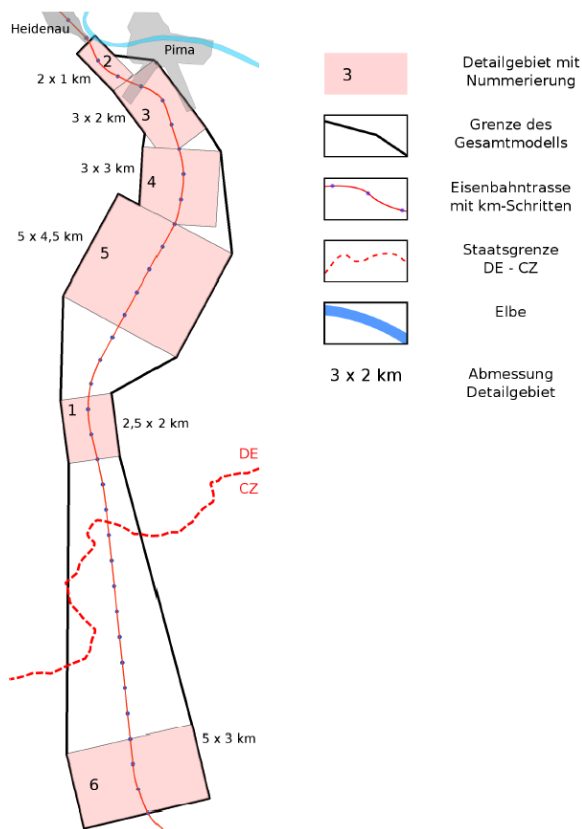


Abbildung 24: Das Modellierungsgebiet mit einer Ausdehnung von ca. 30 x 5 km und Detailgebieten

Die übergebenen Rohdaten wurden mit ArcGIS, QGIS und EXCEL bearbeitet und in Datenformate überführt, die durch ein einheitliches Lage- und geologisches Referenzsystem beschrieben wurden. Mit der Software Paradigm Skua-Gocad wurden die geologischen Einheiten modelliert.

Geologische Körper lassen sich durch flächenhafte Diskontinuitäten wie Störungen oder stratigrafische Horizonte voneinander abgrenzen. Die geologischen Randflächen werden durch Daten beschrieben, die aus Aufschlüssen, geologischen Karten, Bohrungen oder seismischen Profilen stammen. Auf der Grundlage solcher Daten wurden die Randflächen der geologischen Einheiten durch geologische Korrelation und mathematische Interpolation modelliert.

Das grundlegende Vorgehen war, beim Modellieren der geologischen Körper zuerst die Daten zu verwenden, die als hinreichend sicher galten und den schnellsten Fortschritt ermöglichten (Tabelle 2). Das auf diese Weise entstandene „Grundgerüst“ wurde im Anschluss mit Daten ausgebaut, deren Aufbereitung aufwendiger war und ein tiefergehendes Verständnis der geologischen und modellertechnischen Zusammenhänge voraussetzte. Diese Herangehensweise basiert auf der Tatsache, dass an Hängen und Einschnitten im Gelände Schichtgrenzen zutage treten, die in den geologischen Karten dokumentiert sind. In Skua-Gocad wurden diese Daten auf das DGM projiziert. Dadurch entstanden Stützpunkte, die zur 3D-Modellierung geologischer Grenzflächen herangezogen werden konnten. Verfeinert wurde das Modell durch alle verfügbaren Tiefendaten, besonders Bohrmarker, aber auch durch die zur Verfügung stehenden Profilschnitte.

Störungen wurden meist als senkrechte Flächen modelliert, weil ihr Einfallen nicht bekannt ist. Das ist eine gravierende Vereinfachung der realen geologischen Situation. Deshalb ist damit zu rechnen, dass die Trasse die modellierten Störungen nicht genau an den im Modell abgebildeten Stellen schneidet. Eine detaillierte Dokumentation der Modellierungsarbeiten ist in [14] enthalten.

Das 3D-Modell ist als Geoscience-ANALYST-Projekt¹ (Anlage 3.1), als Satz triangulierter Flächen (Anlage 3.3) und als 3D-PDF (Anlage 3.4) diesem Bericht angefügt. Für die Soft-ware Geoscience-ANALYST ist eine Kurzanleitung unter Anlage 3.2 angefügt.

Für die Aussagekraft und Realitätsnähe des Modells sind in erster Linie Art, Qualität und räumliche Verteilung der Ausgangsdaten ausschlaggebend. Im Falle des vorliegenden Modells unterlagen diese Faktoren über den modellierten Bereich hinweg starken Schwankungen. Herangehensweisen und Ansätze, die in einem Detailgebiet verwendet werden konnten, waren unter Umständen im Nachbargebiet nicht mehr zielführend oder überhaupt anwendbar. Aus diesem Grund weist das Modell abschnittsweise in unterschiedlichem Umfang Unsicherheiten auf.

¹ kostenlos unter <http://www.mirageoscience.com/our-products/software-product/geoscience-analyst> zu beziehen

Tabelle 2: Charakteristik des 3D-Modells

Charakteristika des 3 D- Modells	
N-S Ausdehnung	34 km
E-W Ausdehnung	1-5 km
Abgedeckte Fläche	ca. 109 km ²
Höhe	100m üNN bis Geländeoberkante (max 800m üNN)
Koordinatensystem	UTM 33 U
Einheiten mit Mächtigkeit	> 2m
Modellierte Komplexe	Quartär bei Heidenau Kreide bei Pirna Lausitzer Granodiorit im Bereich Heidenau-Pirna Elbtalschiefergebirge südlich von Pirna Erzgebirge südlich von Pirna Erzgebirgsabbruch südlich von Pirna
Datenbasis	ca. 600 Bohrungen 4 geologische Karten 5 geologische Profilschnitte 4 seismische Profile 2 gravimetrische Profile
Modellierungssoftware	Skua-Gocad
Repräsentation der Körper	Randflächen durch triangulierte Netzwerke

Die für die einzelnen Detailgebiete angewandte Methodik unter Berücksichtigung der vorhandenen Datengrundlagen und der erforderlichen Genauigkeit ist in Anlage 3.7 ausführlich beschrieben.

Nachfolgend werden zur Übersicht die einzelnen Modelliergebiete/-einheiten beispielhaft dargestellt.

3.2.1 Quartär

Die quartären Bildungen, die im nördlichen Teil des Modells ihre größte Verbreitung haben, sind im Modell als eine Reihe von Einzelflächen kleiner und mittlerer Größe dargestellt. Die Schichten des Quartärs werden durch ihre größtenteils horizontalen Basisflächen dargestellt; hinzu kommen Talfüllungen der Fluss- und Bachläufe sowie die hangparallelen Löss- und Soliflukationsdecken (Abbildung 25).

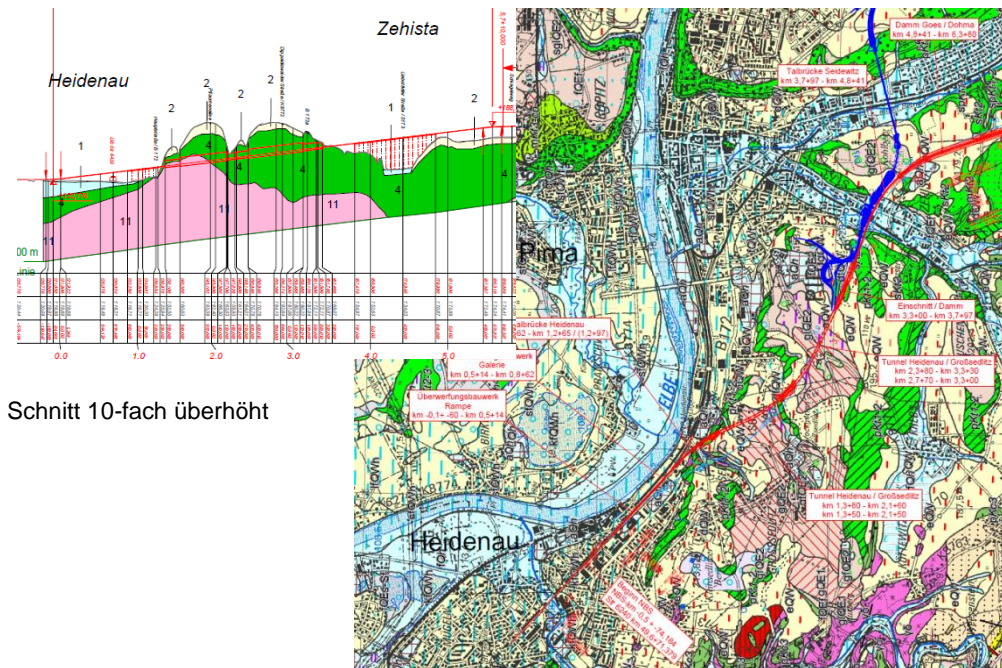


Abbildung 25: Trassenverlauf von Bauanfang bis zum Seidewitztal/Kohlberg

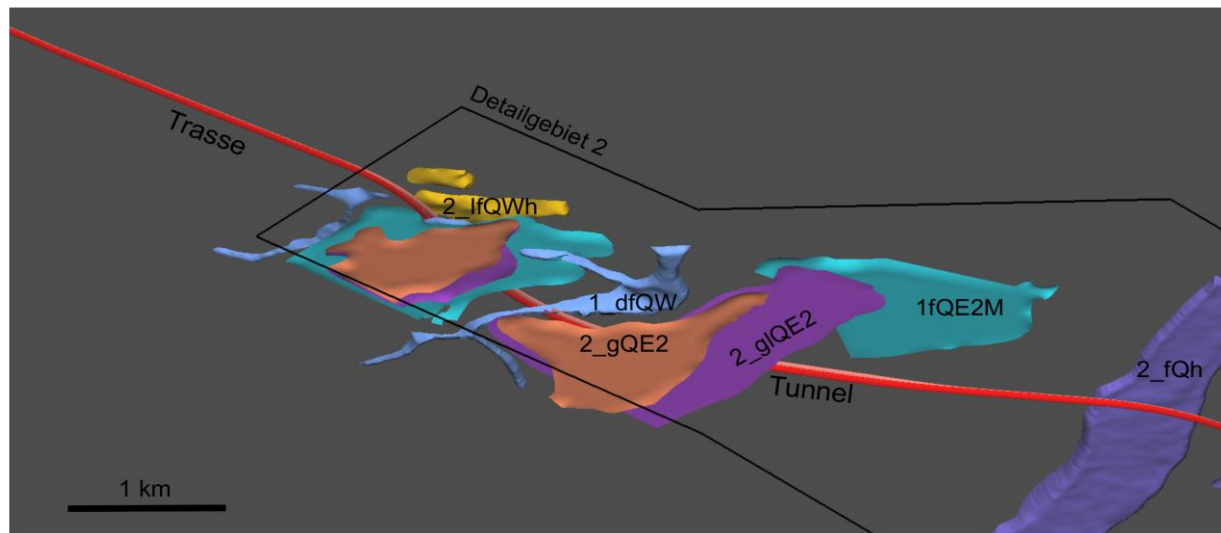


Abbildung 26: Basisflächen quartärer Lockergesteinskörper im Detailgebiet 2

Das Modell geht insbesondere im Bereich des Tunnels Heidenau-Großsedlitz wesentlich detaillierter auf die geologischen Einheiten ein als die Generallegende mit zwei Modelliereinheiten es vorsieht. Dadurch kann zu einem späteren Zeitpunkt, bei Vorliegen neuer Erkundungsergebnisse, eine Anpassung und Verfeinerung des Modells erfolgen (Abbildung 26).

3.2.2 Kreide

Charakteristisch für die Gesteine der Kreide sind in horizontaler Lage (leichtes Einfallen von 3–5° nach NNE) kilometerweit aushaltende Einheiten mit Mächtigkeiten von mehreren zehner Metern, die über lang gezogene Ausbisse nachvollziehbar sind. Diese konnten an weit auseinanderliegenden Stellen als Stützpunkte aufgegriffen werden (Abbildung 27 und Abbildung 28). Zum DGM und der GK Pirna wurde für diesen Modellteil noch der hydrogeologische Profilschnitt hinzugezogen. Tiefeninformationen wurden mittels vorhandener Bohrungen verarbeitet.

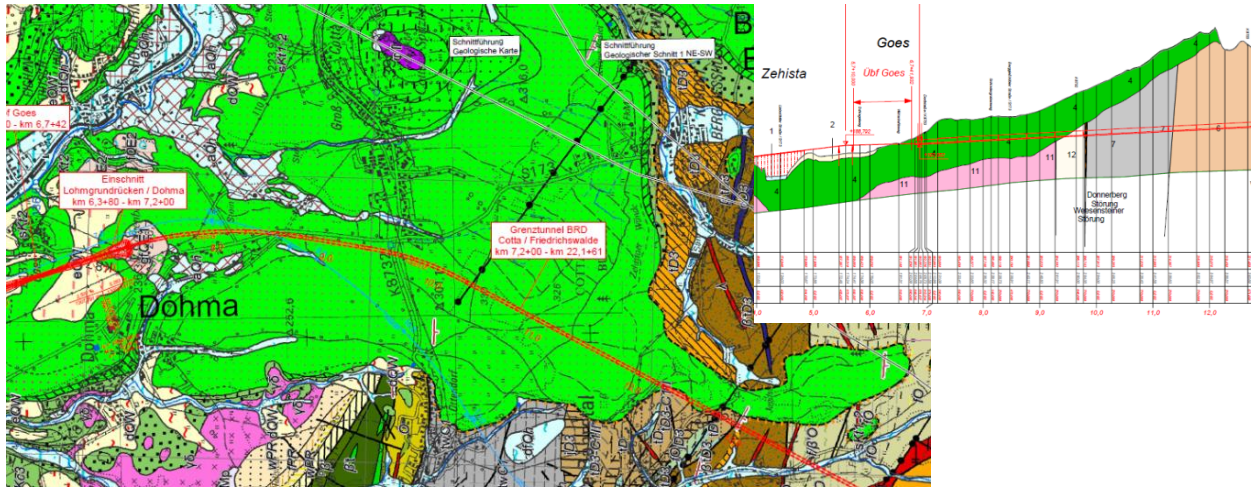


Abbildung 27: Trassenverlauf im Bereich der Kreideablagerungen mit Schnitt 10-fach überhöht

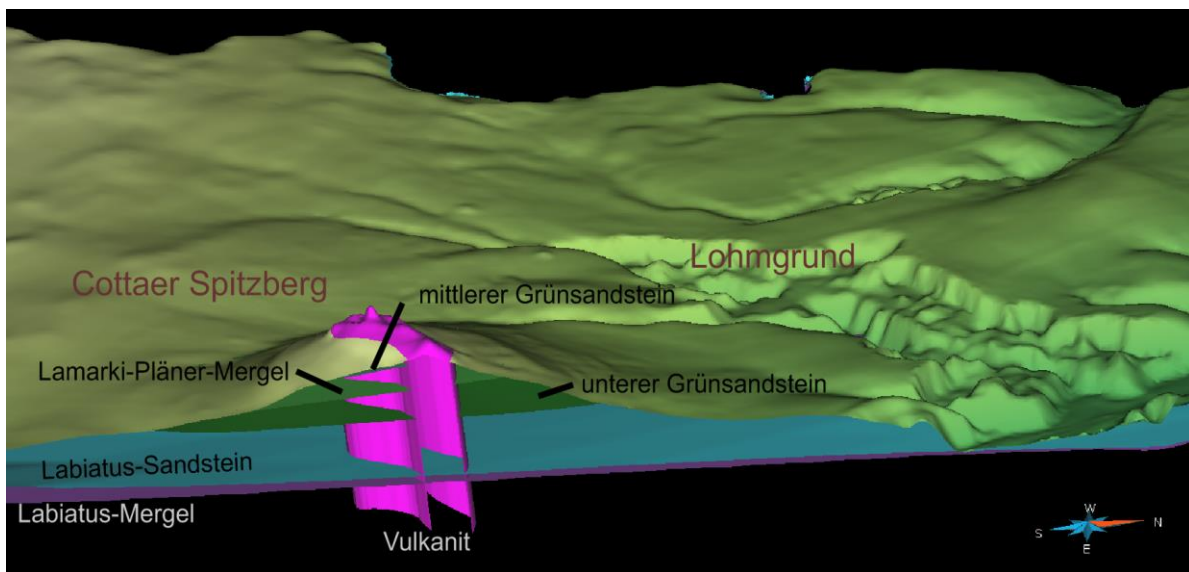


Abbildung 28: Kretazische Mergel-Sandstein-Wechselagerung am Cottaer Spitzberg und im Lohmgrund (3-fach überhöht)

Die Tunnel der Schienenneubaustrecke durchlaufen verschiedene kretazische Sandsteine und ihre liegenden Mergel. Mergel und Sandstein treten in Wechselagerung auf. Beim Modellieren wurden verschiedene übereinanderliegende Sandsteine zusammengefasst. Gleichmaßen wurde auch bei aufeinanderfolgenden Mergeln vorgegangen, weil fazielle Wechsel über den Modellbereich nicht berücksichtigt werden konnten.

3.2.3 Elbtalschiefergebirge

Bei der Modellierung des Elbtalschiefergebirges war aufgrund des steilen Einfallens der Gesteinskörper eine andere Herangehensweise als beim Quartär und der Kreide notwendig. Die aus der geologischen Karte entnommenen Ausbisslinien wurden dem Einfallen entsprechend in die Tiefe fortgesetzt, wobei ein mittleres Einfallen von 60° nach NE für alle Einheiten des Elbtalschiefergebirges angenommenen wurde (Abbildung 29).

Die Gesteinskörper wurden als "tubes" modelliert, welche die Gesteinsausbisse röhrenartig in die Tiefe fortsetzen. Der für das geforderte Einfallen von 60° benötigte Vektor wurde direkt im Funktionsdialog angegeben.

Im Anschluss erhielt jeder tube noch eine Topfläche, die mit dem DGM an dieser Stelle identisch ist. Jeder Gesteinskörper besteht somit aus einem top und body Objekt.

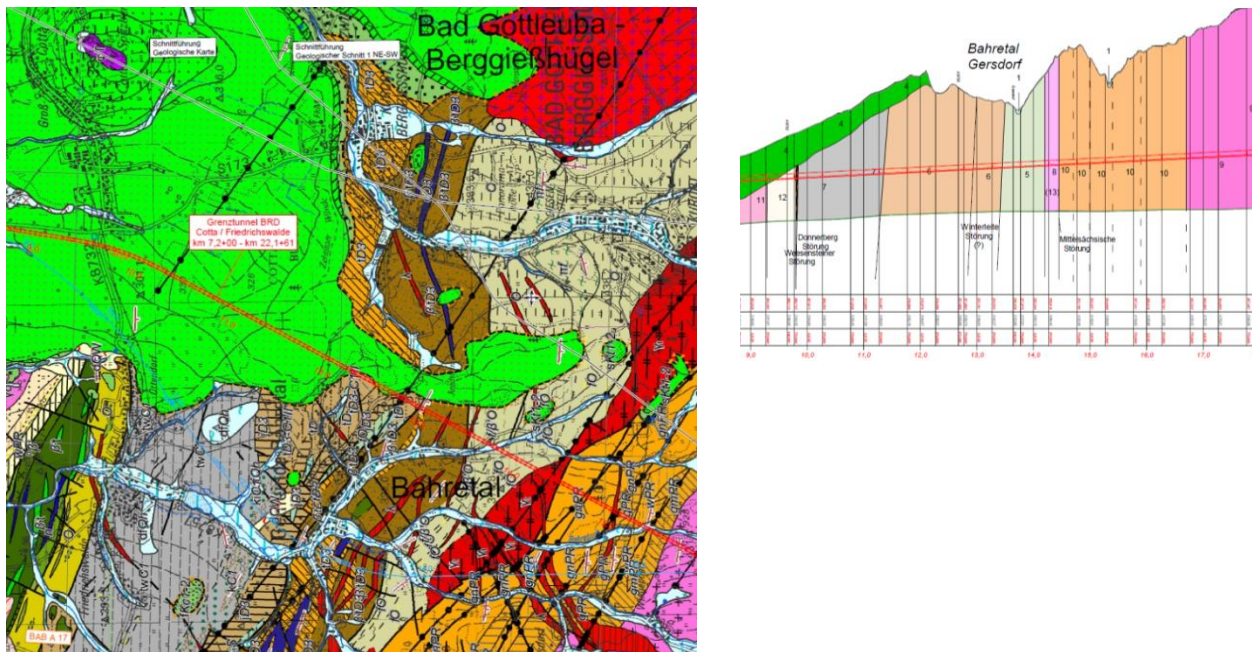


Abbildung 29: Trassenverlauf im Bereich der Kreideablagerungen mit Schnitt 10-fach überhöht

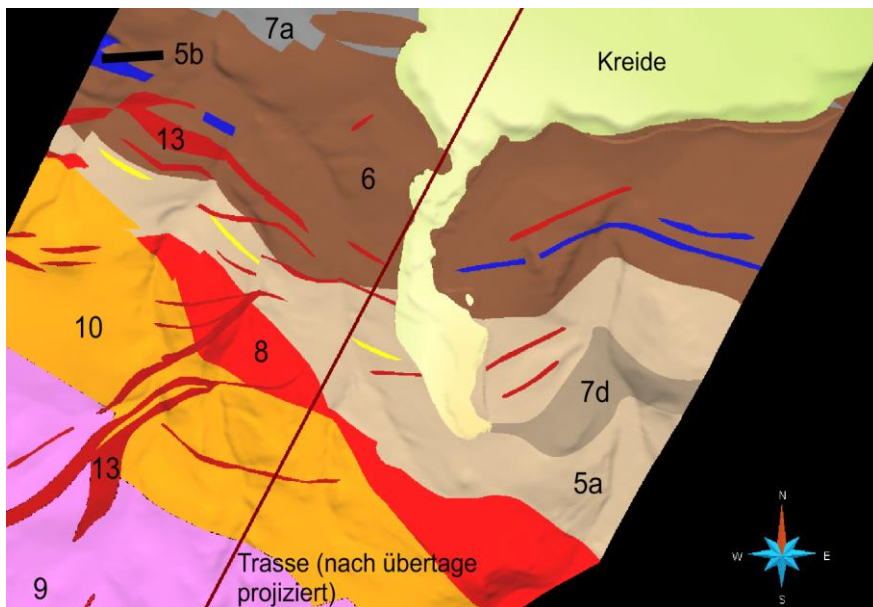


Abbildung 30: 3D-Modell der Einheiten des Elbtalschiefergebirges; Draufsicht mit nach oben projizierter Trasse (rot)

Die geplante Trasse verläuft senkrecht zum Streichen der Einheiten, also auf dem kürzest möglichen Weg durch den schmalsten Bereich der Mittelsächsischen Störungszone (8). Somit kann eingeschätzt werden, dass die Trasse in diesem komplizierten Streckenabschnitt aus geologischer Sicht bestmöglich positioniert ist (Abbildung 30).

3.2.4 Struktur Börnersdorf

Die Struktur Börnersdorf nimmt gegenüber den anderen Detailgebieten eine Sonderrolle bei der Modellierung ein, weil deren Tiefenerstreckung weitgehend durch geophysikalische Untersuchungen erarbeitet worden war. In der geologischen Karte ist die Struktur bisher nicht dokumentiert.

Modelliert wurden (Abbildung 31) holozäne fluviatile Ablagerungen im oberflächennahen Bereich des Gebietes auf Basis der geologischen Karte. Die flächige quartäre Füllung der Struktur ist aus Rammkernsondierungen bekannt, die eine Mächtigkeit von bis zu 8 m (RKS 11) nachweisen konnten. Die Außengrenze der quartären Füllung wurde anhand der Ergebnisse der Rammkernsondierungen festgelegt und in diesem Modell mit der Außengrenze der Struktur zusammengelegt. Für die Mächtigkeit wurde ein konstanter Betrag von 8 m gewählt. Die Kreidestruktur wurde basierend auf Profilen im Ergebnis der 2D-Seismik [13] als annähernd kreisrunde, schüsselförmige Mulde von ca. 500–600 m Durchmesser und 250–300 m Tiefe angenommen. Unter der Kreidebasis sind stark reflektive Gesteinsgrenzen mit einer ebenfalls schüsselartigen Struktur zu erkennen, die als überprägte Gneise modelliert wurden [11], deren wahre Lithologie und Struktur aber unbekannt ist. In dieser Zone ist ein Bereich erhöhter seismischer Reflektivität sichtbar, der ebenfalls modelliert wurde. Zwei Störungen sind aus gravimetrischen Profilen bekannt und in einem seismischen Profil verifiziert, allerdings können Streichen und Fallen der Strukturen nicht aus den Profilen rekonstruiert werden und sind damit im Modell nur mit einer vermuteten Raumlage dargestellt.

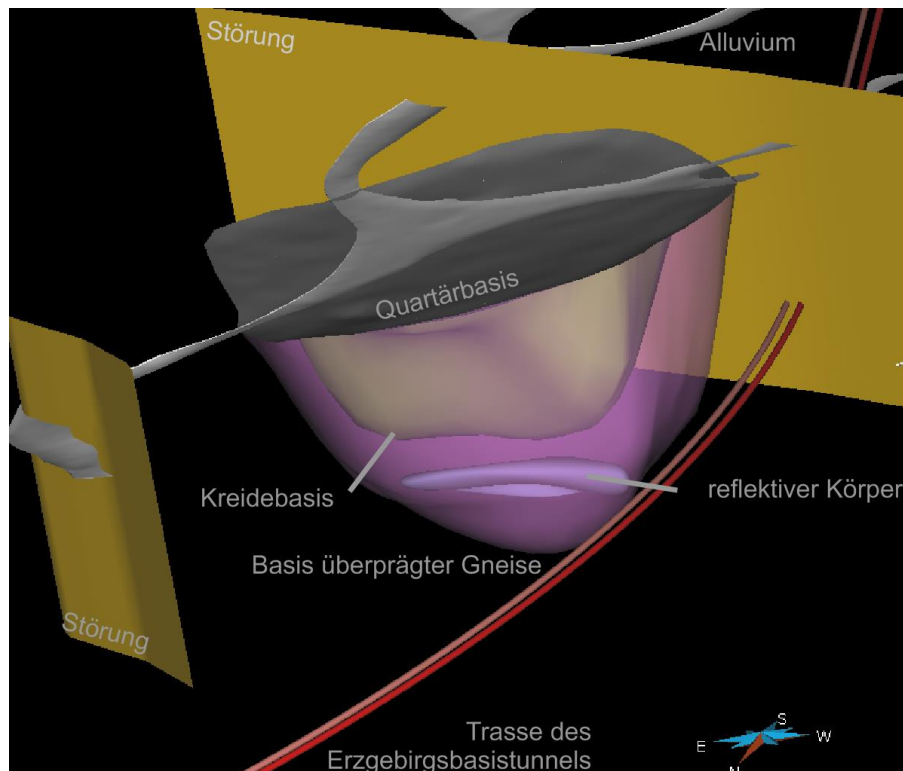


Abbildung 31: 3D-Modell der Struktur Börnersdorf

Die neuesten Erkenntnisse aus der 3D-Seismik-Auswertung vom Oktober 2015, die die kreisförmige Darstellung der Struktur Börnersdorf nicht bestätigen und eher mehrere steilstehende Störungen als lineare Begrenzungen der Struktur, insbesondere im Westen, vermuten lassen, konnten im Rahmen der Erstellung des 3D-Modells nicht mehr berücksichtigt werden.

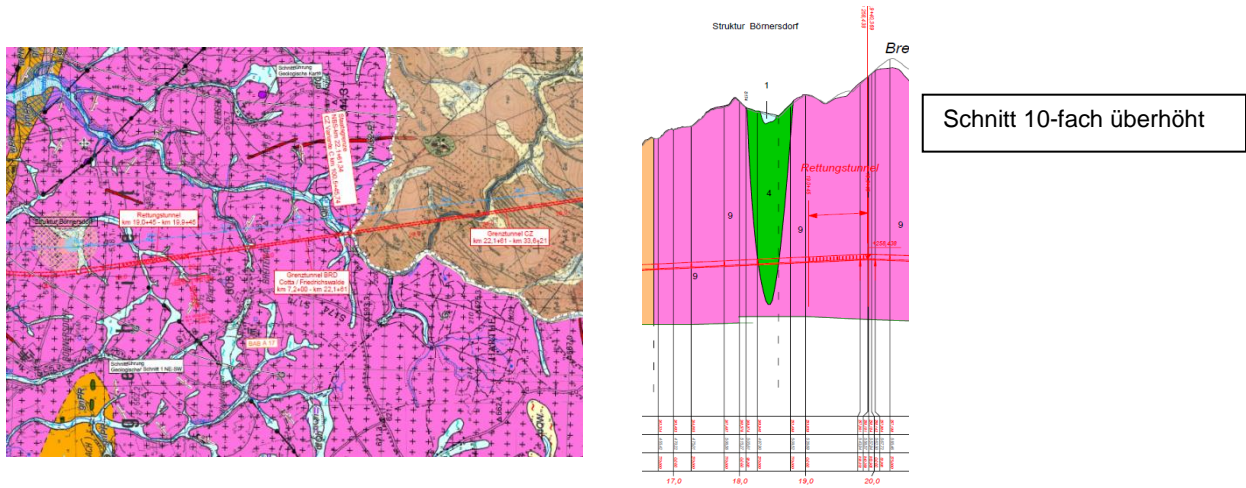


Abbildung 32: Trassenverlauf im Bereich der auf den Schnitt projizierten Struktur Börnersdorf

3.2.5 Erzgebirge (Zwischengebiet)

Im modellierten Gebiet bestehen die Einheiten des Erzgebirges fast ausschließlich aus Gneis, der hier als ein homogener Körper modelliert wurde. Aus den vorhandenen geologischen Karten wurden Störungen hinzugefügt, deren Einfallen meist nicht bekannt ist. Deshalb wurden die Störungen senkrecht modelliert, was sicherlich nicht der Realität entspricht. Somit ist zu erwarten, dass die Tunneltrasse die Störungen nicht genau an den modellierten Stellen trifft.

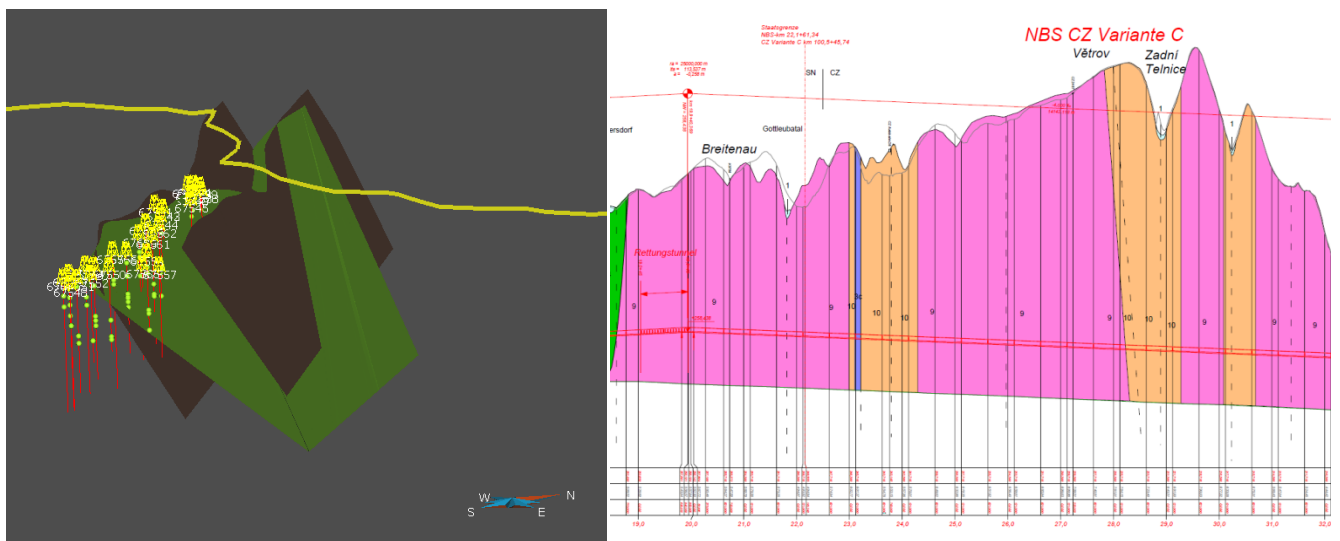


Abbildung 33: Die Störungszone von Petrovice–Döbra wurde einmal als 1 km breite Zone mit vertikalem Einfallen (braun) und einmal als NE-wärts einfallende Störungsfläche (grün) modelliert. Gelb sind Bohrungsmarker-Punkte, auf deren Grundlage die Modellierung erfolgte, und die Staatsgrenze. Rechts der Schnitt.

Eine Sonderstellung nahm die Störungszone von Petrovice–Döbra ein, die in 29 Bohrungen erfasst wurde. Die Zone wurde einmal als 1 km breiter Bereich und einmal als nach NE einfallende Fläche modelliert (Abbildung 33). Zusätzlich sind in der Nähe der tschechisch-deutschen Grenze noch weitere Störungszone vermutet (Gottliebatal vermutet aus der Gravimetrie) bzw. dokumentiert (aus der geologischen Karte). Das aus diesen Informationen modellierte Störungsmuster (Abbildung 34) zeigt, dass hier weitere Detailuntersuchungen erforderlich sind.

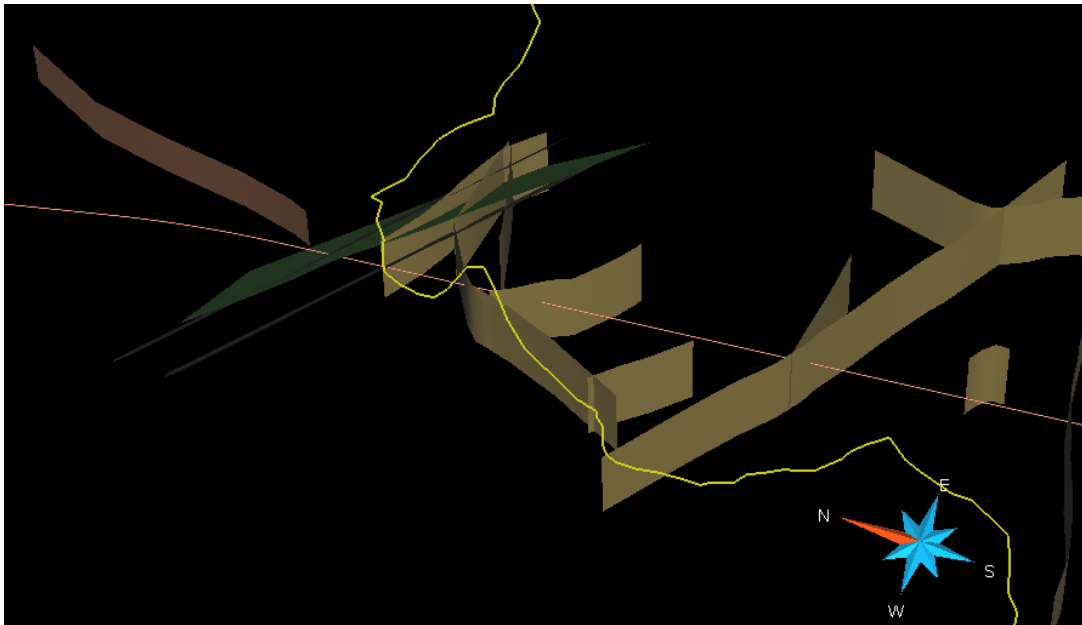


Abbildung 34: An der Staatsgrenze (gelbe Linie) wird die Trasse (rote Linie) vermutlich ein großes Störungskreuz durchfahren (gelbe, grüne und braune Flächen).

3.2.6 Eger Graben

Eine 3D-Darstellung des Gebiets 6 und damit der Situation um das zweite Tunnelportal war nicht möglich, weil zu wenige Daten zur Verfügung standen (acht Bohrungen mit unzureichenden Schichtverzeichnissen und geologische Karten). In das 3D-Projekt wurden alle gegenwärtig verfügbaren Daten aus Tschechien eingeleitet (Abbildung 35).

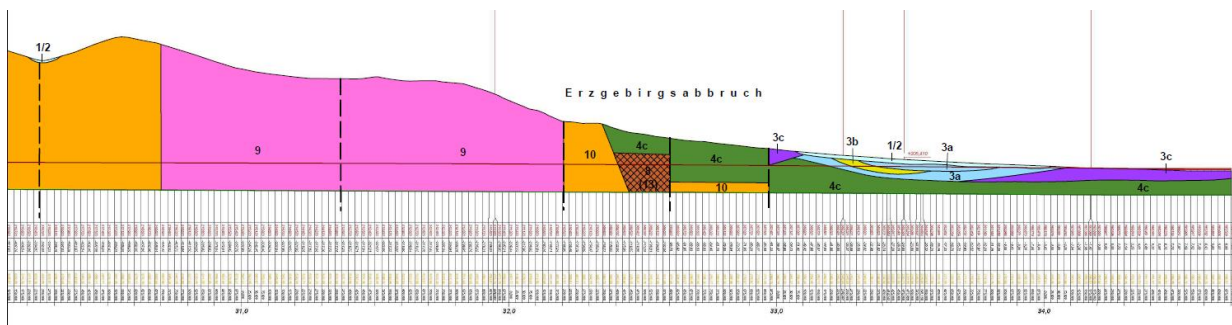


Abbildung 35: Ausschnitt aus dem Trassenprofilschnitt am Erzgebirgsabbruch und Eger Graben (Erklärung siehe Abbildung 22)

Um die geologische Situation im Trassenverlauf zu visualisieren, wurden die Schichtgrenzen aus dem Trassenprofilschnitt extrudiert, wobei aber keine Informationen über den lateralen Verlauf der Einheiten vorlagen. Für eine 3D-Modellierung und eine Beurteilung des Trassenverlaufes bezüglich der geologischen Situation sind weitere Recherchen bzw. Datenerfassungen notwendig. Nach dem bisherigen Wissensstand kann man lediglich sagen, dass im Bereich des südlichen Tunnelportals tertiäre Lockergesteine mit Vulkaniten abwechseln und somit stark wechselnde Gesteinseigenschaften zu erwarten sind. Außerdem sind zahlreiche Störungszonen am Erzgebirgsabbruch zu erwarten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das 3D-Modell eine Übersicht über die geologischen Einheiten und tektonischen Strukturen, die im Bereich der Schienenneubaustrecke Dresden–Prag vorkommen, vermittelt.

Die 3D-Modellierung basiert überwiegend auf Oberflächendaten bzw. wurde aus anderen Arbeitsunterlagen abgeleitet. Tiefendaten standen punktuell zur Verfügung. Die kartierten geologischen Grenzen wurden zur Konstruktion der Grenzflächen mit linearen Gradienten interpoliert oder extrapoliert. Bei fehlender Datengrundlage setzen sich die Randflächen in den Untergrund fort. Diese Vereinfachung wurde auf Grund fehlender Daten erforderlich. Störungen wurden generell vertikal modelliert, weil ihr Einfallen nicht bekannt ist. Daraus resultieren zwei Einschränkungen für die Nutzung des Modells:

- 1.) muss davon ausgegangen werden, dass oberflächennahe Gesteine und Strukturen genauer modelliert wurden als tiefer liegende.
- 2.) In das Modell wurden alle bekannten wichtigen Grenzflächen eingebaut. Aufgrund unzureichender Information in der Tiefe bestehen für das Modell Unsicherheiten hinsichtlich der Raumlage der Gesteinsgrenzen im Bereich der Tunneltrasse.

3.3 Gesteinsphysikalische Charakterisierung der im Trassenverlauf anstehenden Gesteine

Dieses Kapitel beinhaltet eine Zusammenfassung der Ergebnisse einer Studienarbeit, die am Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen des vorliegenden FuE-Projektes erstellt wurde. Diese Studienarbeit (vgl. Anlage 4) widmet sich Recherchen zu geomechanischen Gesteinskennwerten der im Trassenverlauf in den Tunnel- und Einschnittbereichen zu erwartenden Gesteine und liefert auch erste laborativ ermittelte Kennwerte von Gesteinen aus dem Trassenumfeld. Somit stellen die Ergebnisse dieses Kapitels eine erste Annäherung an diese Thematik dar, bedürfen aber einer weiteren Vertiefung.

3.3.1 Datenrecherche

Grundlage für die Auswahl der zu betrachtenden Gesteine waren der geologische Übersichtsschnitt und das erarbeitete 3D-Modell. Für die Kennwertermittlung wurden verschiedene Quellen herangezogen.

Es wurden umfangreiche Rechercharbeiten im rohstoffgeologischen Archiv des LfULG in Freiberg durchgeführt, wobei die wesentliche Aufgabe darin bestand, die Unterlagen der in der Nähe liegenden Steinbrüche aufzuarbeiten und Kennwerte zu sammeln. Parallel dazu wurden auch Literaturwerte zur Ersteinschätzung und Gutachten aus dem Intranet des LfULG herangezogen. Außerdem wurden vom Gesteinsmechanischen Labor des Instituts für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg Kennwerte recherchiert und zusammengefasst [21]. Eine detaillierte Darstellung zu den Rechercharbeiten und -ergebnissen ist in Kapitel 3 der Studienarbeit enthalten.

3.3.2 Probenahme

Zusätzlich zur Datenrecherche erfolgte nach deren Abschluss und Festlegung potenzieller Risikogesteine, Gesteine mit wenig vorhandenen Kennwerten und Gesteine weiträumiger Verbreitung im August 2015 eine Probenahme an ausgewählten Gesteinen.

Zu den ausgewählten Risikogesteinen zählen die Weesensteiner Grauwacke und der Quarzit, die aufgrund ihres hohen Quarzgehalts einen hohen Verschleiß an sämtlichen Bohr- und Schneidwerkzeugen erwarten

lassen. Weil insgesamt 17,837 km Tunnel im Gneis aufgefahen werden, wurde auch dieser ausgewählt. Ebenfalls untersucht wurde der in Linsen vorkommende Kalkstein.

Als Aufschlusspunkte wurden gut zugängliche Klippenbereiche aufgesucht, die oberflächennah anzutreffen sind. Gegebenenfalls ist eine gewisse oberflächennahe Verwitterung zu berücksichtigen. In größeren Teufen können die Kennwerte abweichen, dennoch sind diese Proben für eine Ersteinschätzung gut geeignet. Die Proben für den Kalkstein wurden aus dem Steinbruch Kalkwerk Borna entnommen. Für eine unkomplizierte Probenahme wurden geeignete Gesteinsbrocken aufgesucht, aus denen später die Probekörper hergestellt werden können.

3.3.3 Gesteinsmechanische Untersuchungen

In Tabelle 3 sind die an den beprobten Gesteinen durchgeführten Untersuchungen aufgeführt. Die Auswahl der Versuche erfolgte in Abstimmung mit dem Planungsbüro KREBS+KIEFER Ingenieure.

Tabelle 3: Untersuchungsprogramm des gesteinsmechanischen Labors

Gestein	Orthogneis	Kalkstein	Grauwacke	Quarzit
Modellierkörper	9	5b	12	7b
	Anzahl Prüfkörper			
Herstellen Probenkörper	17	17	16	17
Einaxialer Druckversuch	3	4	4	4
Triaxialversuch	2	2	2	2
Spaltzugfestigkeit inkl. Natürliche Rohdichte und Wassergehalt	10	9	8	9
Abrasionsindex	2	2	2	2

3.3.4 Geomechanische Kennwerte – Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse

Die vergleichende Betrachtung der Ergebnisse aus Literatur, Recherche und Laboruntersuchungen soll der Validierung der Untersuchungsergebnisse dienen, wobei die vergleichende Betrachtung der recherchierten und laborativ ermittelten Kennwertdaten insofern schwierig ist als die regionalen Besonderheiten der Gesteine sowie die Versuchsrandbedingungen häufig nicht bekannt bzw. nicht vergleichbar sind. Die Rückschlüsse aus diesem Vergleich haben deshalb nur orientierenden Charakter und verdeutlichen die Heterogenität der Gesteinskennwerte in Abhängigkeit von Gesteinszustand, Gesteinsanisotropie, regionalem Vorkommen und Versuchsbedingungen.

Tabelle 4: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Druckfestigkeit

Quelle	Druckfestigkeit						
	[MPa]						
	Literatur*				Recherche		Versuche
					Archiv LfULG	TUBAF	Labor [22]
Sandstein	15-190	30-180	30-250	29-41	35,6-67,6		
Grauwacke	130-300	150-300		80-200			29,5-120
Kalkstein	12-240	20-180	50-200				63,1-108,1
Gneis	70-260	160-280	70-200	110	68-258		64-132,2
Quarzit	40-325	150-300	100-300				35,5-59,4

* die eindeutige Zuordnung zu den einzelnen Literaturquellen kann Anlage 4 entnommen werden

Die einaxialen Druckfestigkeiten der Laborversuche des Kalksteins spiegeln die Literaturergebnisse wider. Beim Gneis ähneln sich die Ergebnisse. Insgesamt betrachtet wurden zum Teil deutlich geringere Festigkeiten festgestellt. Die geringeren Festigkeiten sind möglicherweise durch die oberflächennahe Probenahme bedingt. Auf Basis der historisch gegebenen großen Datenmenge an Parametern des Gneises aus dem Erzgebirge, weist die Literatur in der Mehrzahl hohe Festigkeiten auf. Mit den Rechercheergebnissen des gesteinsmechanischen Labors stimmen die Druckfestigkeiten des Gneises im unteren Drittel der Spannweite überein. Die Ergebnisse für die Weesensteiner Grauwacke und den Quarzit weichen von den Literaturwerten mit deutlich verminderten Druckfestigkeiten ab. Mögliche Gründe für die Abweichung liegen eventuell in der oberflächennahen Probenahme. Hier sind weitere Untersuchungen für repräsentative Ergebnisse und Aussagen notwendig. Die Ergebnisse der Sandsteingutachten aus den Tagebauen entsprechen den Literaturergebnissen, wobei in der Literatur auch sehr hohe Druckfestigkeiten angegeben sind.

In Tabelle 5 sind die Spaltzugfestigkeiten enthalten. Hier stimmen die ermittelten Festigkeiten der Gneise und der Kalksteine sehr gut mit den Literatur- und Recherchewerten überein. Wie bereits bei den Druckfestigkeiten weisen auch die Spaltzugfestigkeiten für Grauwacke und Quarzits geringere Werte als in der Literatur angegeben auf.

Tabelle 5: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Spaltzugfestigkeit

Quelle	Spaltzugfestigkeit		
	[MPa]		
	Literatur	Recherche	Versuche
		TUBAF /Rohstoffkartei	Labor [22]
Grauwacke	8,5-22,5		2,8-13
Kalkstein	2,5-15,5		2,8-13,7
Gneis	5-16,5	6,2-14,1	5,4-15,6
Quarzit	7-17,5		5,5-9,3
Sandstein	1,5 – 14,5	2,9	-

Die Ergebnisse für die Rohdichten in Tabelle 6 liegen alle in den Spannbreiten der Literaturwerte. Bei den Sandsteinen gibt es leichte Abweichungen. Der Cottaer Sandstein weist eine geringere Rohdichte auf. Die Rohdichte ist wichtig zur Ermittlung der anfallenden Massen des jeweiligen Ausbruchmaterials.

Tabelle 6: Vergleichende Betrachtung der Literatur-, Recherche- und Versuchsergebnisse hinsichtlich der Rohdichte

Quelle	Rohdichte				
	[g/cm ³]				
	Literatur*			Recherche	Versuche
				Archiv LfULG	Labor [22]
Gneis	2,65-3,00	2,5-2,8	2,65-2,72		2,57-2,66
Grauwacke	2,60-2,65	2,6-2,7	2,64-2,72		2,60-2,73
Sandstein	2,00-2,65	2,0-2,6	2,04-2,14	1,93-2,05	
Dichter Kalkstein	2,65-2,85	2,6-2,8			2,65-2,76
Quarzit	2,60-2,65	2,6-2,7	2,64-2,72		2,60-2,70

* die eindeutige Zuordnung zu den einzelnen Literaturquellen kann Anlage 4 entnommen werden

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Laborergebnisse für Grauwacke und Quarzit insgesamt geringere Werte aufzeigen, wobei die Ursachen dafür im gegenwärtigen Untersuchungsstadium noch nicht ermittelt werden konnten. Durch weitere Erkundung und Beprobung ist zu überprüfen, ob die Gesteine in diesem Gebiet wirklich geringere Festigkeiten als in der Literatur angegeben aufweisen. Dies gilt ebenso für die Druckfestigkeiten der Gneise.

Die vergleichende Betrachtung von Literatur, Archivdaten und Laborversuchen zeigt deutlich, dass eine Sichtung von Literatur und Archivalien sinnvoll ist, um einen Überblick über relevante und bereits bekannte Kennwerte zu erhalten und ermittelte Werte besser einordnen zu können. Wichtig ist im Auge zu behalten, dass es sich aufgrund der oben beschriebenen unterschiedlichen Randbedingungen jedoch immer nur um einen orientierenden Vergleich handeln kann.

Für die Triaxialversuche konnte keine vergleichende Gegenüberstellung mit Literaturwerten vorgenommen werden, weil zum Zeitpunkt der Abgabe der Studienarbeit die Triaxialversuche noch nicht abgeschlossen waren. Die Tabelle 7 enthält die Laborergebnisse der Triaxialversuche.

Deutlich wird aus den Ergebnissen die schieferungsbedingte Anisotropie beim Gneis sowie hinsichtlich Verformungsmodul und Querdehnungszahl auch die entstehungsbedingte Anisotropie bei der Grauwacke.

Tabelle 7: Ergebnisse der Triaxialversuche [22]

	Verformungsmodul	Querdehnungszahl	Winkel der inneren Reibung	Kohäsion
	V [GPa]	v	Φ [°]	c [MPa]
Grauwacke	L 16,78	L 0,25	L 45,9	L 9
	II 39,94	II 0,16	II 45	II 15
Kalkstein	L 61,27	L 0,23	L 49	L 13,7
	II 62,6	II 0,26	II 48,2	II 12,9
Gneis	L 31,91	L 0,37	L 39	L 9
	II 52,05	II 0,15	II 52	II 13,5
Quarzit	L 22,88	L 0,13	L 49,7	L 22,7
	II 35,55	II 0,15	II 48,4	II 22,2

3.3.5 Abrasivität

Die Ergebnisse der Abrasivitätsuntersuchungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse der Abrasivitätsuntersuchungen nach dem Cerchar-Verfahren [21]

Gestein		Orthogneis		Kalkstein		Grauwacke		Quarzit	
		OG 1	OG 2	K 1	K 2	GW 1	GW 2	Q 1	Q 2
Mittlere Abnutzung aller Prüfstifte	[mm]	0,33	0,35	0,12	0,19	0,21	0,12	0,10	0,20
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI)	[-]	3,6	3,9	1,3	2,1	2,3	1,3	1,1	2,2
Klassifizierung		Hoch	Hoch	Niedrig	Mittel	Mittel	Niedrig	Niedrig	Mittel

Der Abrasivitätsindex zeigt einen direkten Zusammenhang zum äquivalenten Quarzgehalt, wie in Abbildung 36 zu sehen ist. Aus dem CAI lässt sich allerdings kein Rückschluss hinsichtlich des Einflusses der Korngrößen und Kornformen der Quarzkörner ableiten.

Im Vorfeld der Untersuchungen bestanden Vermutungen, dass insbesondere Quarzit und Grauwacke aufgrund ihres hohen Quarzanteiles hohe Abrasivitäten aufweisen. Das wurde durch die Versuche nicht bestätigt.

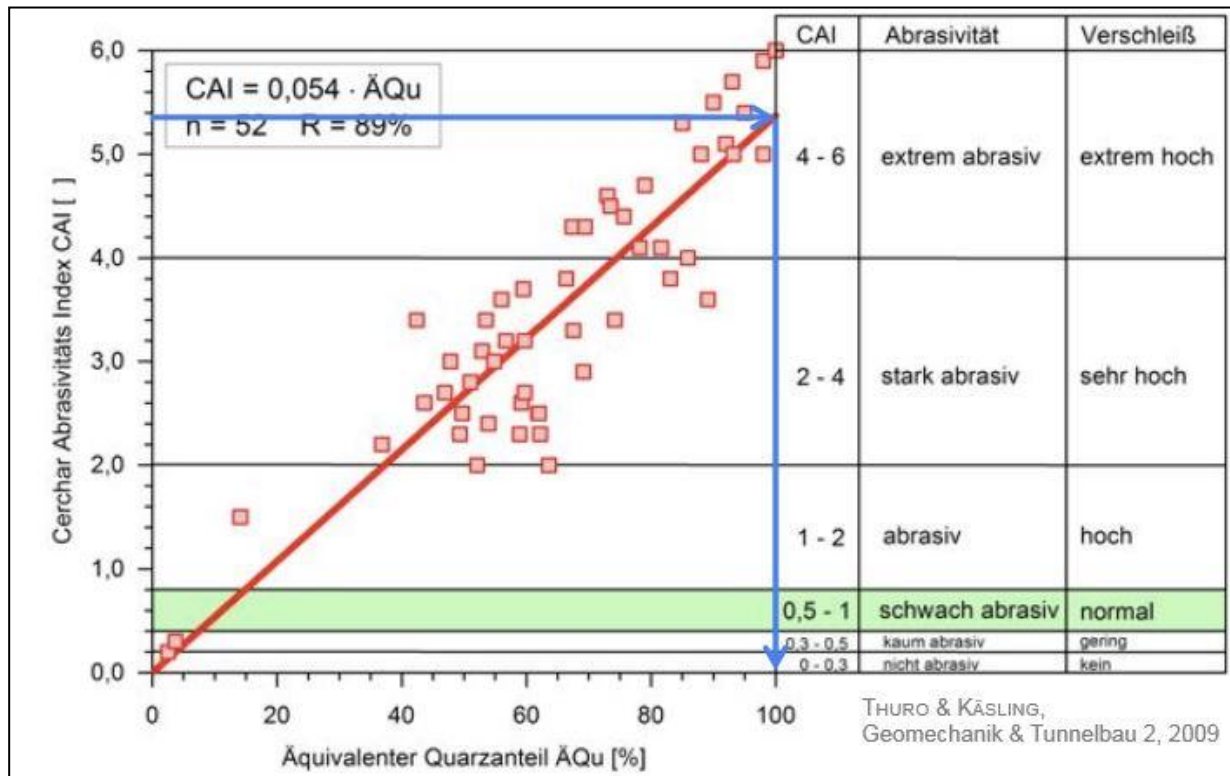


Abbildung 36: Einschätzung des Cerchar-Abrasivitäts-Index und der Zusammenhang zwischen CAI und dem äquivalenten Quarzanteil

Die Abrasivitätsuntersuchungen ergaben für den Gneis den höchsten Abrasivitätsindex und weisen das Gestein damit als stark abrasiv aus, sodass mit einem sehr hohen Verschleiß zu rechnen ist. Das ist insofern bedeutsam als der längste Teil des Grenztunnels im Gneis verläuft und hierfür von KREBS+KIEFER ca. 1,35 Mio m³ Ausbruchmenge [24] veranschlagt werden.

Für eine Bestimmung des Quarzanteiles in den untersuchten Gesteinen und mögliche Rückschlüsse auf den Einfluss von Korngröße und Kornform der Quarzkörner auf die Abrasivität, sollten Schliffe angefertigt und entsprechende petrografische Untersuchungen vorgenommen werden.

3.4 Betrachtungen zur Verwertung von Überschussmassen

Dieser Abschnitt bezieht sich auf das Kapitel 5 der Studienarbeit (Anlage 4). Die Text wurde zusammengefasst und ergänzt sowie Tabellen und Darstellungen übernommen.

3.4.1 Ausbruchvolumen der Tunnel

Wie aus den ersten Berechnungen des Ingenieurbüros KREBS+KIEFER [24] hervorgeht, werden im Tunnel Heidenau-Großsedlitz insgesamt 209.600 m³ Ausbruchmengen anfallen. Für den Grenztunnel/Erzgebirgsbasistunnel sind die Ausbruchmengen in Abbildung 37 aufgeführt und auf der Grundlage der geologischen Übersichtsschnitte (Anlagen 1.1, 1.2) nach Gesteinsarten unterteilt.

Basistunnel - Mengenübersicht D [Sachsen] / CZ	
<i>Tunnelabschnitt bergm. BW - D [Sachsen]</i>	
Tone und Tonsteine (3a)	0 m ³
Sande (3b)	0 m ³
Vulkanite: Basalt (3c)	0 m ³
Sandstein (4)	324.275 m ³
Phyllit (5)	127.500 m ³
Basische Vulkanite "Schalsteinserie" (6)	357.850 m ³
Grauwacke (7)	256.700 m ³
Störungskörper (8)	6.800 m ³
Gneise , allgemein (9)	969.000 m ³
Gneise überprägt (10)	382.500 m ³
Weesensteiner Grauwacke (12)	57.375 m ³
Störungskörper (8) - Granit (13)	42.500 m ³
Ausbruchmengen - Tunnelabschnitt D [Sachsen]	2.524.500 m³

Abbildung 37: Mengenermittlung des Basistunnels (deutscher Teil) [23]

Das ergibt in der Summe ein Ausbruchvolumen von 2.524.500 m³. Die einzelnen Volumenanteile des sächsischen Tunnelabschnitts sind in Abbildung 37 aufgeschlüsselt. Der größte Mengenanteil fällt damit mit 1.35 Mio m³ auf den Gneis.

3.4.2 Verwertungsmöglichkeiten

Hauptkriterium für eine Wiederverwertung ist die Eignung des Materials. Randbedingungen für eine Verwendung sind in Abbildung 38 enthalten. Die Qualität des Tunnelausbruchmaterials ist neben dem Zustand des Gebirges abhängig von den Gewinnungstechnologien. Eine Einschätzung erfolgt nach den geotechnischen und bautechnischen Kenngrößen sowie Korngröße und -form des entstandenen Haufwerkes. Der Mineralbestand, die chemische Beschaffenheit, der Bedarf und die rechtlichen Rahmenbedingungen sind weitere zu beachtende Kriterien. Zudem können Abrasivität, Schichtsilikatgehalt und seismische Untersuchungen zur Qualitätsermittlung herangezogen werden

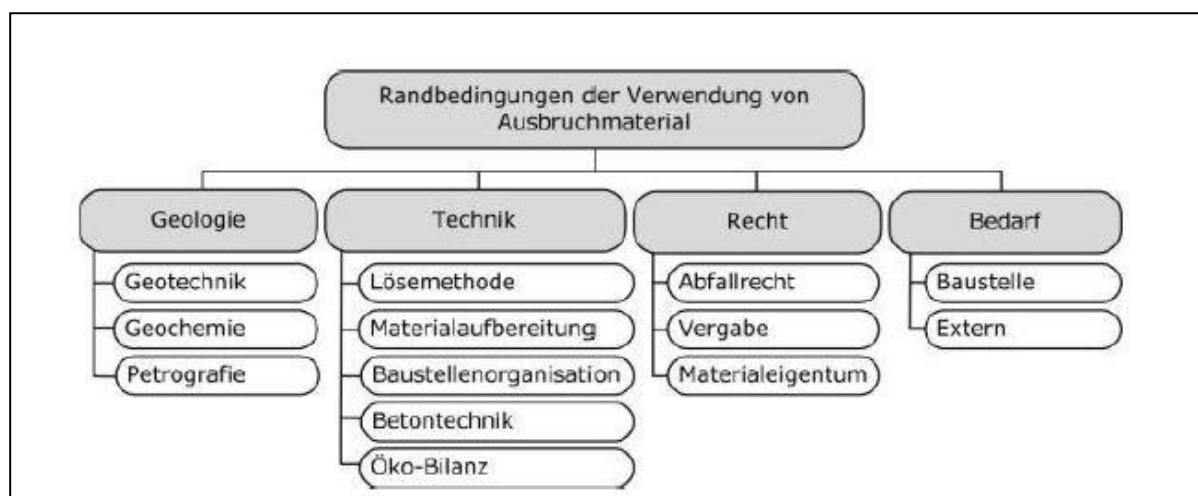


Abbildung 38: Randbedingungen der Verwendung von Ausbruchmaterial

Anzustreben ist eine ausgeglichene Massenbilanz und vorzugsweise eine Wiederverwertung der Tunnelausbruchsmaterialien im Rahmen der Baumaßnahme durch eine entsprechende Aufbereitung.

Tabelle 9: Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial

Tunnelausbruchmaterial		
temporäre Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baustraßen ■ Baustelleneinrichtungsflächen, Baustraßen ■ Sichtschutz, Lärmschutz, Staubschutz 	
dauerhafte Verwertung	■ Erdbauwerke	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Hinterfüllung ➔ Bodenverfestigung ➔ Dämme
	■ Verkehrswegebau	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Tragschichten ➔ Bankette ➔ Gleisschotter
	■ Betonzuschlagstoff	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Schalbeton ➔ Spritzbeton ➔ System Feste Fahrbahn
	■ Wasserbau	
	■ Landschaftsbau	
	■ Geländeprofilierung	
	■ Verfüllmaterial für Deponien und Steinbrüche	

3.4.3 Verwertung innerhalb bergbaulicher Anlagen

In der Studienarbeit (Anlage 4, Kapitel 5.1.1) wurde anhand von im LfULG vorhandenen rohstoffgeologischen Unterlagen [20] nach Möglichkeiten der Verwertung der Ausbruchmassen in umliegende Steinbrüche als Verfüllmaterial in Rahmen- und Abschlussbetriebsplänen von Bergbauunternehmen recherchiert. Tabelle 10 fasst den gegenwärtigen Planungsstand hinsichtlich einer möglichen Verfüllung nach Abschluss der Gewinnungstätigkeit zusammen.

Tabelle 10: Potenzielle Kapazitäten der untersuchten Steinbrüche zur Verfüllung

Vollständige Verfüllung	Teilverfüllung	Keine Verfüllung
Oberottendorf	Friedrichswalde-Ottendorf	Borna
	Nentmannsdorf	Neundorf
		Lohmgrund I
Lohmgrund II (wäre möglich)		Lohmgrund II (generell)
		Mühlleite
Wehlen (ausschließlich Sandsteinmaterial)		
		Alte Poste

Das Kalkwerk Borna erhält durch seine unmittelbare Nähe zur Trasse besondere Aufmerksamkeit. Es wäre möglich, bei einer Verfüllung des Tagebaus die anfallenden Ausbruchmassen vollständig unterzubringen. Hierzu müsste allerdings der Rahmenbetriebsplan bzw. der Abschlussbetriebsplan des Kalkwerkes Borna geändert werden.

3.4.4 Verwertung im Rahmen von Landschaftsbauwerken

Dieser Abschnitt entspricht weitgehend dem Kapitel 5.1.2 der Anlage 4 und beinhaltet die Idee zur Gestaltung eines Landschaftsbauwerkes als Nachhaltigkeitsstrategie, die Umweltaspekte, logistische und ökonomische sowie ökologische und landschaftsästhetische Aspekte miteinander verbindet. Die Idee entstand im Rahmen der gemeinsamen Projektberatung mit dem SMWA am 19.01.2015 und wurde als Aufgabenstellung mit in das FuE-Vorhaben „Geologische 3D-Modellierung“ integriert. Als Standort für das Landschaftsbauwerk bietet sich die Südflanke des Kohlbergs an. Diese unterliegt hinsichtlich der Schutzgüter Boden, Flora/Fauna und Landschaft durch bestehende, planfestgestellte und planerisch vorgesehene Einwirkungen starken Beeinträchtigungen. Dazu zählen:

- die gegenwärtig nicht bewirtschaftete Altdeponie Pirna-Zehista südlich des Schützengrundes
- die in Planung befindliche Verkehrsbaumaßnahme „B 172, Ortsumgehung Pirna-Süd, 3. Bauabschnitt“ mit Tunnelbauwerken und Einschnitten der Südwestflanke des Kohlberges
- die angedachte Schienenneubaustrecke Dresden–Prag mit einem langen und hohen Dammbauwerk am Schützengrund
- vielfältige naturschutzrechtliche Ersatzmaßnahmen für die Ortsumgehung Pirna-Süd, die durch die Trassenführung der Neubaustrecke überlagert werden und an anderer Stelle realisiert werden müssen

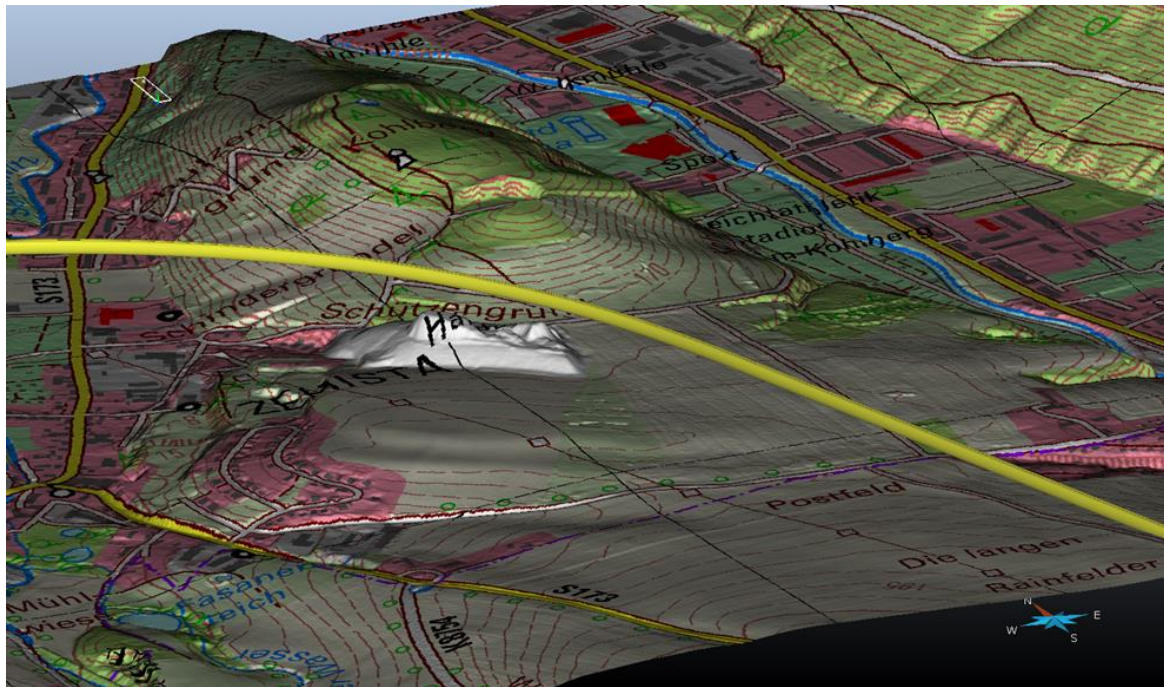


Abbildung 39: Kohlberg Trassen-km 4,8 bis 6,5 ohne Landschaftsbauwerk

In Abbildung 39 ist der Kohlberg mit Trassenverlauf und Deponie Zehista ohne das mögliche Landschaftsbauwerk zu sehen. Nicht dargestellt werden konnte dabei die Ortsumfahrung Pirna-Süd, die in unmittelbarer Nähe der Eisenbahntrasse verlaufen würde.

Durch die Gestaltung eines Landschaftsbauwerkes an der Südflanke des Kohlberges könnte, wie in Abbildung 40 ersichtlich, ein Beitrag zur Heilung des Landschaftsbildes geleistet werden. Das Erdbauwerk orientiert sich bei der Gestaltung an der Höhe der Deponie und der Eisenbahntrasse, um beide zu umhüllen und den Kohlberg nach Süden mit einem natürlich erscheinenden Höhenrücken sanft ausgleiten zu lassen. Im Osten

schließt sich das Bauwerk an den geplanten Damm an, wobei es sich an dessen Höhe orientiert und diesen optisch ansprechend mit der Landschaft verbindet.

Diese landschaftsästhetischen Aspekte werden im nachfolgenden von ökonomischen und logistischen sowie abfallrechtlichen ergänzt, wobei die Ausführungen eine erste Betrachtung darstellen und aufgrund einer fehlenden Einbeziehung zuständiger Fachbereiche noch keinen fachlich planerisch geprüften Stellenwert haben.

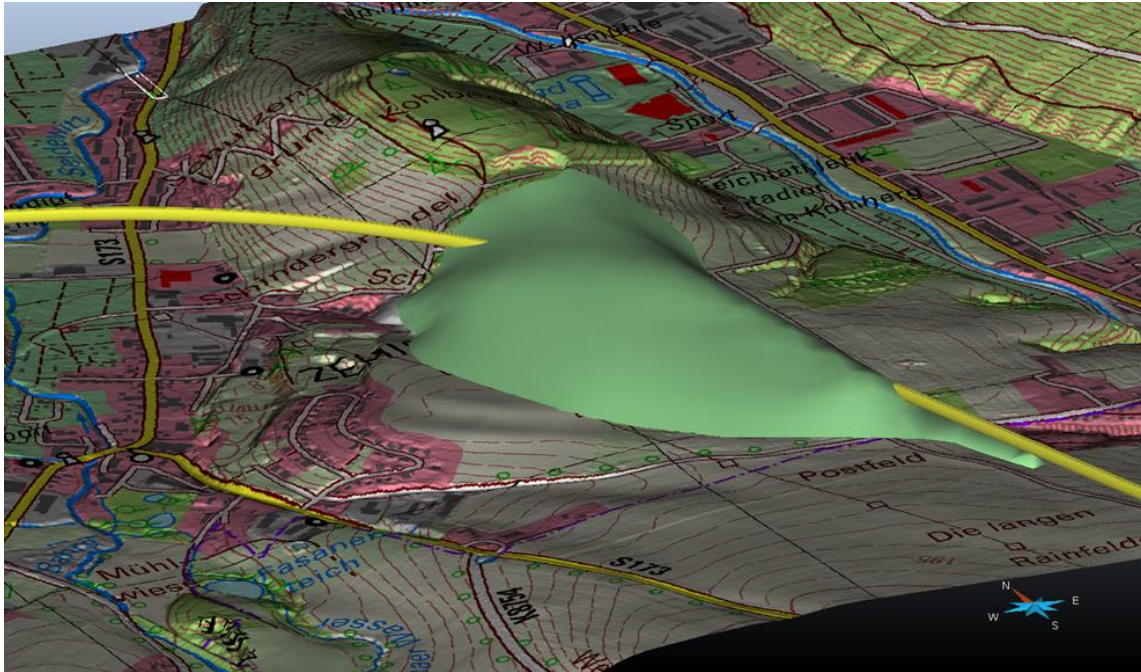


Abbildung 40: Kohlberg Trassen-km 4,8 bis 6,5 mit Landschaftsbauwerk

Ökonomische Vorteile

- Das Landschaftsbauwerk kann in der modellierten Form 6,5 Millionen m³ Aushubmassen aufnehmen, was mehr als der doppelten Menge des gegenwärtig prognostizierten Massenüberschusses entspricht. Eine Separierung der Ausbruchmassen nach Eigenschaften ist für die Gestaltung des Erdbauwerkes nicht zwingend erforderlich, weil bei der geplanten Geländeneigung (22° bis < 30°, d. h. eine maximale Böschungsneigung von 1 : 1,8) keine erhöhten Anforderungen an die geotechnischen Eigenschaften bestehen.
- Durch die Lage in unmittelbarer Nähe des Tunnelportales wären kurze Transportwege garantiert. Von transportbedingten Emissionen wären lediglich der Ortsrand von Goes und die Randbereiche von Pirna-Zehista betroffen.
- Durch eine Übernahme der Deponie Zehista durch den Bauträger könnte im Rahmen der Baumaßnahme eventuell anfallender kontaminierter bzw. grenzwertüberschreitender Aushub kostenneutral abgelagert werden. Die rechtlichen Aspekte für die abschließende, abfallrechtlich konforme Gestaltung der Deponie könnten mit der Landesdirektion Sachsen vereinbart werden. Durch die Integration der Deponie in das Landschaftsbauwerk kann Standsicherheitsaspekten umfänglich Rechnung getragen werden. Gleichzeitig ermöglicht das Erdbauwerk die Annahme zusätzlicher Massen.

Umweltaspekte

Flora und Fauna

- Die Verhüllung der Deponie Zehista ermöglicht, dass diese Fläche für naturschutzfachliche Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen zu Verfügung steht. Bisher war diese Fläche im Rahmen der Planung der Ersatzmaßnahmen für die Ortsumfahrung Pirna-Süd nicht betrachtet worden. Durch die Herstellung des Damms der Eisenbahntrasse würden diese überbaut und müssten somit neu geplant werden.
- Auf der durch das Landschaftsbauwerk geschaffenen Fläche von mehr als 800.000 m² können sämtliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, die für die B 172, Ortsumgehung Pirna-Süd, im Bereich der Südflanke des Kohlberges geplant waren, realisiert werden.
- Die im Bereich des Kohlberges als Trogbauwerk in offener Bauweise hergestellte, geführte Eisenbahntrasse hätte damit keinen Landschaftsverbrauch und keine Schädigung von Schutzgütern zu verbuchen, sondern würde im Gegenteil Platz für weitere Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen schaffen. Durch gezielten Einsatz des Aushubs in oberflächennahen Bereichen kann auf spezielle Bedingungen für die Schaffung von Fauna-/Florahabitaten eingegangen werden (z. B. Schaffung von Trockenstandorten oder Steinhügel für Amphibien).

Boden

Das Schutzgut Boden würde ebenfalls eine Kompensation erfahren. Insbesondere im Bereich der Kohlbergflanke würden Flächenverbrauch und die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Verdichtung in der Dammaufstandsfläche vermieden werden.

Luft und Mensch

Durch eine Verhüllung der Eisenbahntrasse ergäben sich auch deutlich geringere Lärmemissionen, sodass dem Schutzgut Mensch durch die Gewährleistung des Lärmschutzes Rechnung getragen würde. Unter dem Aspekt, dass durch die hoch frequentierte Strecke und die Parallelführung mit der Ortsumgehung Pirna-Süd eine starke Lärmbelastung im Seidewitztal und auf der Hochfläche zu erwarten wäre, trägt das Landschaftsbauwerk zu einer deutlichen Beruhigung bei.

3.4.5 Optimierung der Gestaltung des Einschnittes am Galgenberg unter geotechnischen Aspekten

In Anlage 4, Kapitel 5.3, wurde auf der Grundlage der 3D-Modellierung und basierend auf vorliegenden Erfahrungswerten für die geomechanischen Kennwerte des Sandsteins gemäß [16] eine mögliche Versteilung des bisher nach [24], [25] geplanten Böschungswinkels von ca. 30° auf 45° betrachtet.

Anlass dazu gab unter anderem die Besichtigung des alten Portals des Cotta-Tunnels der Bahnstrecke Pirna-Großcotta, der 1894 angelegt wurde und in dessen Einschnittbereich bis heute keine nennenswerten Schäden an den ca. 70° bis 80° steil abgeböschten Hängen erkennen lässt. Durch eine steilere Böschungsgestaltung könnte die Flächeninanspruchnahme und die Menge der anfallenden Ausbruchmassen verringert werden.

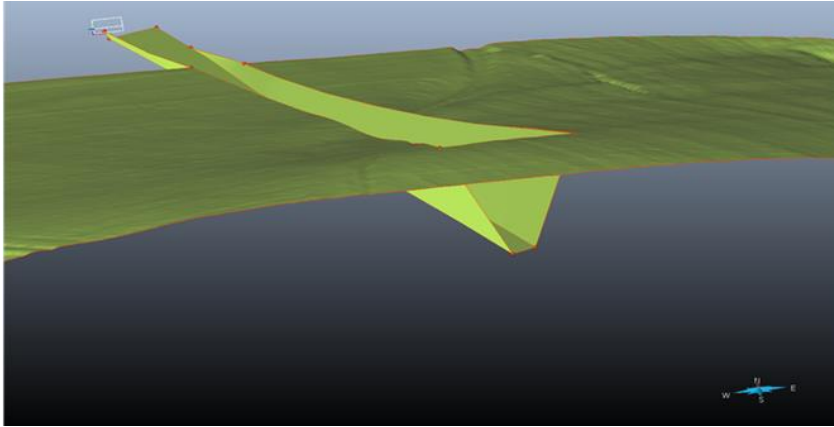


Abbildung 41: Einschnitt Galgenberg Tunnelportal, Böschungsneigung 45°

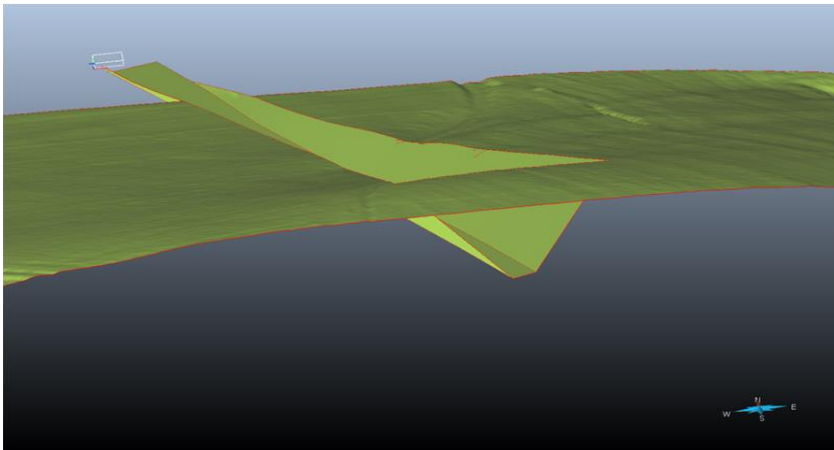


Abbildung 42: Einschnitt Galgenberg Tunnelportal, Böschungsneigung 30°

Die Darstellung in Abbildung 41 ist allerdings nur schematisch zu sehen, weil der steilere Böschungswinkel für die gesamte Böschungshöhe gewählt wurde. Der oberflächennahe, verwitterte Bereich und die quartäre Überdeckung müssten aufgrund der gegenüber dem Festgestein geringeren Scherfestigkeit flacher abgebösch werden.

Bei günstigem Trennflächeninventar und gemäß dem Bewertungsverfahren für Festgesteine nach BRAND-ECKER könnte die Böschungsneigung je nach Böschungshöhe zwischen 1,7 : 1 und 2,75 : 1 variieren. Für eine nähere Betrachtung der Böschungsgestaltung sind technische Standsicherheitsbetrachtungen nach EC 7 erforderlich. Prinzipiell sind auch bei geringer Gebirgsfestigkeit übersteile Böschungswinkel möglich, wenn die Standsicherheit durch den Einsatz technischer Sicherungsmaßnahmen (Vernagelungen, vorgesetzte Stützmauern, Geokunststoffe, Bodenbewehrungssysteme etc.) gewährleistet werden kann.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit bietet sich durch die Vorverlagerung des Tunnelportals am Galgenberg nach Norden. Durch diese Maßnahme kann der Einschnittbereich in den quartären Böden minimiert und der Abschnitt mit Bereichen geringerer Scherfestigkeit, die flache Böschungswinkel bzw. technische Maßnahmen erfordern, verringert werden. Zugleich wird damit auch der hydrogeologischen Situation Rechnung getragen, die für den besagten Abschnitt nach gegenwärtigem Kenntnisstand umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Böschungssicherheit und der Tragfähigkeit im Planum des Einschnitts zu erwarten sind.

4 Schlussfolgerungen, Ausblick

4.1 Weiterführende Arbeiten nach Projektabschluss

Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungsberichte (Anlagen 2.1, 3.7 und 4) wurden durch das LfULG die nachfolgenden Empfehlungen für weiterführende Arbeiten und Untersuchungen zusammengestellt.

4.1.1 Bauanfang bis Galgenberg (Tunnelportal)




Durch die oberflächennahe Trassenführung im Bereich der quartären Ablagerungen vom Bauanfang bis zum Galgenberg ist dem lateral und vertikal kleinräumigen Wechsel zwischen Modellierkörper 1 (Grundwasserleiter) und Modellierkörper 2 (Grundwasserstauer) innerhalb ihres Verbreitungsgebietes besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Aufgrund der Klassifizierung der quartären Ablagerungen nach geotechnischen Eigenschaften (Durchlässigkeit, Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten) kann anhand des Schnittes (Anlage 1.1) und des 3D-Modells (Anlage 3.1) der Wechsel in den differierenden geotechnischen Eigenschaften im Trassenverlauf bei der Planung berücksichtigt werden.

Weil die im Rahmen des 3D-Modells und des Schnittes getroffenen Aussagen ausschließlich auf Kartendaten und Altaufschlüssen basieren, sind bereichsweise große Lücken hinsichtlich der Datendichte bedingt.

Der Tunnel Heidenau-Großsedlitz verläuft über weite Strecken in den kreidezeitlichen Sandsteinen bzw. Mergeln. Die Sandsteine sind verwitterungsbeständige Festgesteine mit hoher Gebirgsfestigkeit. Sie bilden in den Tälern steile Hänge. Die Mergel sind als sehr gering verwitterungsbeständig zu klassifizieren. Sie wirken als Wasserstauer und bilden in Tälern Quellhorizonte. Gespannte Grundwasserverhältnisse sind in Bereichen mit Sandstein-Mergel-Wechsellagerung nicht auszuschließen.

Voraussichtlich durchörtert der Tunnel ausgehend vom westlichen Portal über mehrere 100 m den Granodiorit, der unter den kreidezeitlichen Ablagerungen ansteht. Der Granodiorit gehört ebenfalls zu den verwitterungsbeständigen Gesteinen und zeichnet sich durch eine hohe Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit aus.

Aufbauend auf den gegenwärtigen Kenntnissen zur geologischen Situation ergeben sich die in Abbildung 43 markierten Bereiche mit weiterem Klärungsbedarf und den nachfolgend aufgeführten Empfehlungen für weiterführende Aufgaben/Erkundungsschwerpunkte/Zusatzuntersuchungen im Vorfeld der Festlegung der Bohrpunkte.

	Hydrogeologische Untersuchungen/ Erkundungen		Geotechnische Erkundungsbohrungen/ Untersuchungen		Geophysikalische Untersuchungen
---	--	---	---	---	---------------------------------

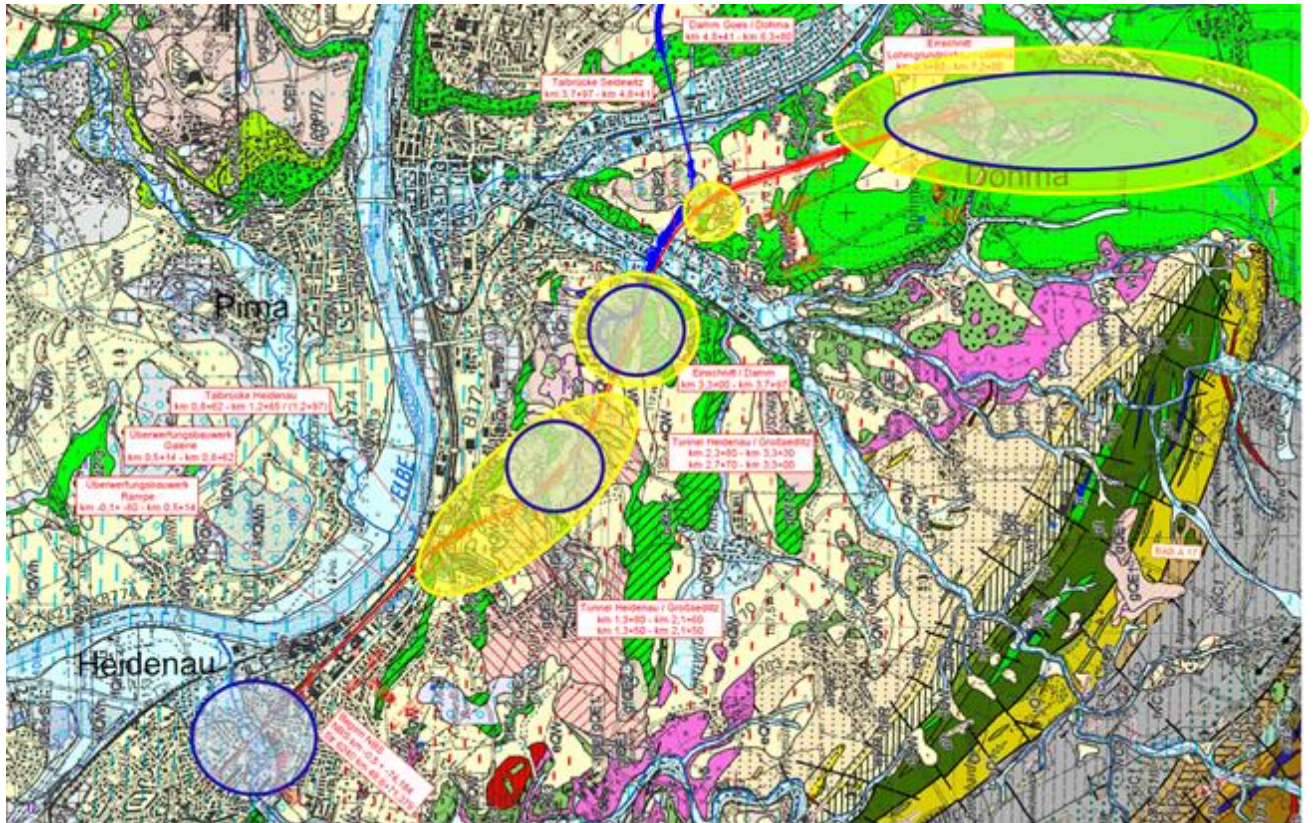


Abbildung 43: Trassenverlauf Bauanfang bis Tunnelportal am Galgenberg (ca. Bau-km 7,0)

Hydrogeologische und geotechnische Untersuchungen

- Festlegung der Erkundungsschwerpunkte
 - Trasse Heidenau im Überschwemmungsbereich der Müglitz
 - Tunnel Heidenau/Großsedlitz (Tunnelportale; Bereiche mit geringer Überdeckung)
 - Brückenwiderlager Seidewitztalbrücke
 - Schützengrund/Südflanke Kohlberg
 - Einschnitt Lohmgrundrücken/Tunnelportal am Galgenberg
- Gutachtenrecherche im Archiv des LfULG/Bauamt der Stadt Pirna/Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- Analyse hydrogeologischer Risikobereiche hinsichtlich der Änderung des GW-Regimes bei Durchführung von OW-Scheiden bzw. Schaffung künstlicher Entwässerungsbahnen durch Herstellung von Einschnitten
- Detailkartierungen
- Auswertung und Anpassung des geologischen Schnittes
- Festlegung von Bohrpunkten in Bereichen mit unklarer geologischer Situation und besonderen bautechnischen Anforderungen (Tunnelportale, Bereiche mit offener Bauweise, Brückenwiderlager)
- Untersuchungen zu Gebirgsfestigkeit und zur Abrasivität des Sandsteins und des Granodiorites im Bereich der Tunnelportale und der Tunnel

Recherchen/Untersuchungen zur Massenbilanzierung

- Betrachtungen zu Verbringungsmöglichkeiten überschüssiger Massen aus dem Tunnelabschnitt Heidenau-Großsedlitz (Deponien, Tagebaurestlöcher, aktive Tagebaue, Bodenbörse)
- Forschungsvorhaben zu Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Separierung und Aufbereitung heterogener Aushubmassen sowie für einen geordneten Wiedereinbau
- Prüfung einer Nutzung der Deponie Zehista im Schützengrund als Ablagerungsfläche

Recherchen/Studien zum Landschaftsverbrauch/Konflikte mit konkurrierenden Planungen

- Überlagerung der Flächennutzung der Trasse südlich des Kohlberges mit Maßnahmenbereichen für Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen der planfestgestellten Ortsumfahrung Pirna-Süd
- Prüfung der Gestaltung eines Landschaftsbauwerkes südlich des Kohlbergs mit Einbindung der Deponie Zehista und Einhausung der Eisenbahntrasse; Prüfung des Potenzials für die Schaffung neuer Ausgleichsflächen

4.1.2 Galgenberg (Portal Grenztunnel) bis zur Struktur Börnersdorf

Der Trassenabschnitt vom Portal des Grenztunnels bis zur Struktur Börnersdorf durchfährt zwischen km 7 und 9,5 kreidezeitliche Sandstein-Mergel-Wechsellagerungen, bis er bei km 9,5 im Bereich der Westlausitzer (Weesensteiner) Störung in das Elbtalschiefergebirge eintritt. Für die kreidezeitlichen Ablagerungen gilt die im vorherigen Abschnitt gegebene geotechnische Charakterisierung.

Das Elbtalschiefergebirge stellt aufgrund seines komplexen Aufbaus, der kleinräumig wechselnden Gesteine mit unterschiedlichen geomechanischen Eigenschaften und der Vielzahl an Störungen einen besonderen, geotechnisch anspruchsvollen Bereich dar. Aus Aufschlüssen ist bekannt, dass hier niedrig-metamorphe Gesteine in steiler Lagerung und mit zahlreichen Falten und Störungen anzutreffen sind. Die Lithologie und das Richtungsgefüge wechseln zum Teil im Meterbereich und damit auch die geomechanischen Eigenschaften der Gesteine. Diese engständigen lithologischen Wechsel können vom Modell nicht widergegeben werden, weil nur große Gesteinskomplexe dargestellt werden. Die Trasse verläuft senkrecht zum Streichen der Einheiten durch einen, nach gegenwärtigem Kenntnisstand weniger gestörten Bereich und durchfährt die stark mylonitisierten Gesteine der Mittelsächsischen Störungszone an deren schmalster Stelle. Nach Süden schließen sich die Gneise des Erzgebirges an.

Einen weiteren, gesondert zu betrachtenden Streckenabschnitt stellt die Struktur Börnersdorf dar. Hier sind auf Grund noch unzureichend gekläarter geologisch-tektonischer Verhältnisse und der gegenwärtig geplanten erweiterten Baumaßnahmen (Bahnhof/Rettungstunnel) dringend weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Abbildung 44 zeigt die empfohlenen Untersuchungsbereiche für den betrachteten Trassenabschnitt.

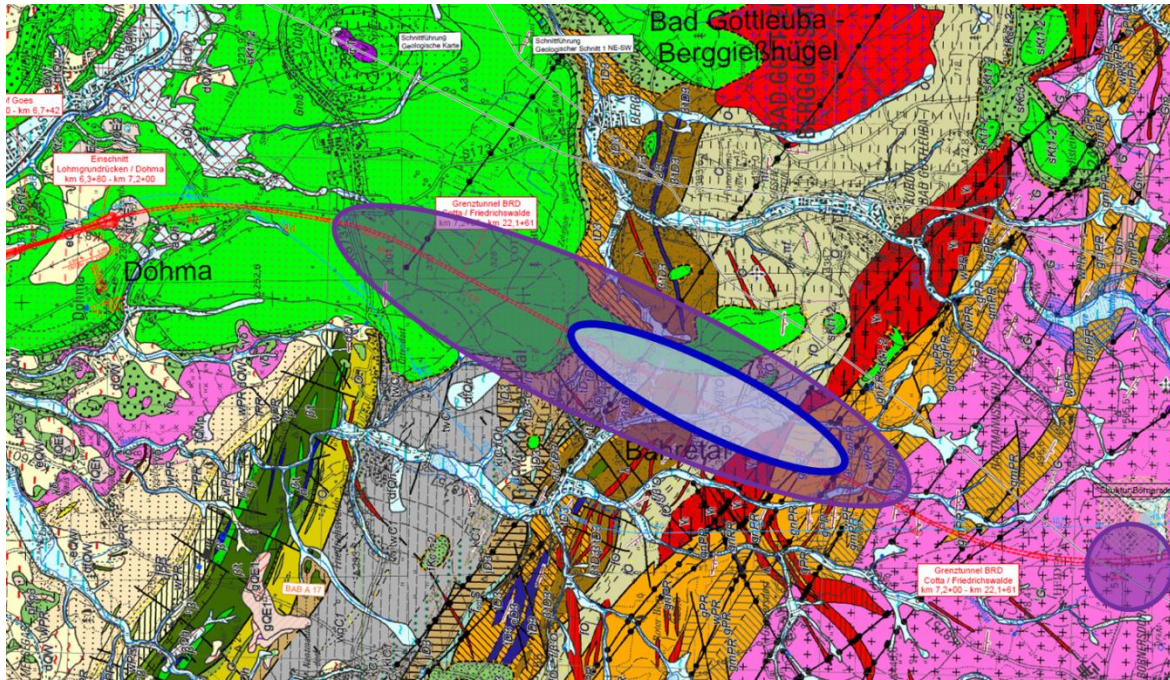


Abbildung 44: Trassenverlauf Tunnelportal am Galgenberg bis Struktur Börnersdorf (ca. Bau-km 7,0–19,0)

Hydrogeologische und geotechnische Untersuchungen

- Festlegung der Erkundungsschwerpunkte
 - Westlausitzer (Weesensteiner) Störung
 - Donnerbergstörung
 - Elbtalschiefergebirge (insbesondere die Schalsteinserie)
 - Mittelsächsische Störung
 - Struktur Börnersdorf
- Gutachtenrecherche im Archiv des LfULG/Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- Analyse zur hydrogeologischen Situation, Auswertung von Grundwassermessstellendaten
- Detailkartierungen zum Störungsinventar im Elbtalschiefergebirge (Kluftmessungen)
- Schliffe von Gesteinsproben zur petrografischen und Kornformanalyse (Bestimmung des Quarzanteiles in den untersuchten Gesteinen, Betrachtung des Einflusses von Korngröße und Kornform der Quarzkörner auf die Abrasivität)
- Untersuchungen zur Gebirgs-/Gesteinsfestigkeit der einzelnen Gesteinskomplexe im Tunnelverlauf
- Auswertung und Anpassung des geologischen Schnittes
- Festlegung erster Bohrpunkte

Recherchen/Untersuchungen zur Massenbilanzierung

- Betrachtungen zu Verbringungsmöglichkeiten überschüssiger Massen des Grenztunnels unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Anlage 4 und der Recherchen beim Sächsischen Oberbergamt (Kalkwerk Borna,

Steinbruch Lauenstein, Deponie Zehista) sowie Forschungsvorhaben zu Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Separierung und Aufbereitung heterogener Aushubmassen und deren geordnetem Wiedereinbau

Durch die bisherigen Untersuchungen zur Struktur Börnersdorf konnte bereits ein sehr wertvoller Beitrag zur Erkennung von Störungszonen in unmittelbarer Umgebung der Struktur und zur Bestimmung der Tiefe sowie der Randflächen der Struktur geleistet werden. Im Ergebnis der Untersuchungen ergaben sich weitere Fragestellungen, auch im Hinblick auf die Lage des geplanten Rettungstunnels, denen mit weiteren geophysikalischen Untersuchungen nachgegangen werden sollte. Die jeweiligen Untersuchungsbereiche sind in Abbildung 45 markiert.

Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf

- A) Untersuchung des südwestlichen Bereiches der 3D-Struktur zur Anbindung an die in dem Ost-West verlaufenden langen Profil „Außerhalb der Struktur“ gefundenen Störungszonen (z. B. der „x = 350 m-Störung“) bzw. zur Abschätzung der zugehörigen Streichrichtungen. (Methodik: mehrere parallele Ost-West verlaufende 2D-Seismik- bzw. Gravimetrie-Profile)
- B) Untersuchung des Bereiches ca. 1 km südlich des Ost-West-Profiles zur südwestwärtigen Verfolgung der in A) genannten Streichrichtungen. (Methodik: Seismik, Gravimetrie und Geoelektrik)
- C) Verlängerung des Ost-West verlaufenden Profils „Außerhalb der Struktur“ nach West-Nordwest jenseits der Autobahn um ca. 2 km zur Suche nach der zum „tiefen Reflektor 3“ gehörigen großen Störungszone (inkl. Oberflächenausbiss) bzw. der zugehörigen regionalen Gravimetrie-Anomalie (Methodik: Seismik und Gravimetrie)
- D) Hoch auflösende Abbildung der flachen (0–50 m) oberflächennahen Struktur der Grenzflächen-Kanten „Innerhalb der Struktur“ (Methodik: Hochauflösende P- und S-Wellen-Seismik mit entsprechenden Hochfrequenz-Sweep-Quellen)
- E) Gravimetrische Verdichtung für großregionale Störung im Nordwesten des Untersuchungsgebietes

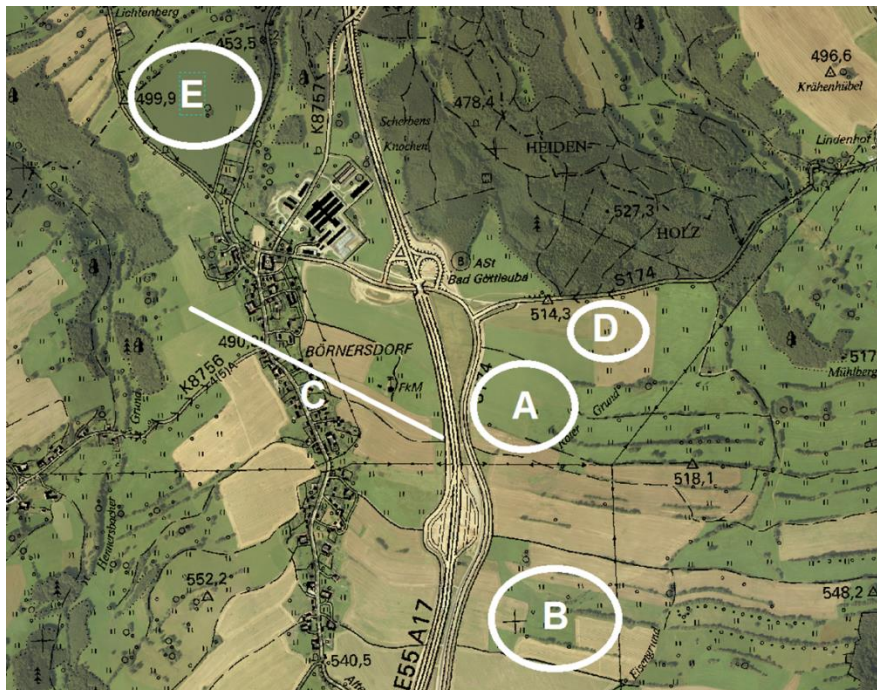


Abbildung 45: Übersichtskarte der möglichen weiteren geophysikalischen Arbeiten im Raum Börnersdorf

4.1.3 Struktur Börnersdorf bis zum Erzgebirgsabbruch (Tschechien)

Südlich der Struktur Börnersdorf verläuft die Trasse durch die Gneise des Erzgebirges.

Innerhalb der Gneise des Erzgebirges liegt die Quarz-Fluorit-Zone von Petrovice–Döbra. Diese NW-SE-streichende Struktur kreuzt die geplante Tunneltrasse etwa im Bereich des Gottleubatalts unmittelbar an der tschechischen Grenze. Auf tschechischer Seite wurde die Struktur durch zahlreiche Bohrungen aufgeschlossen, während sie auf deutscher Seite durch geophysikalische Untersuchungen (Elektrik, VLF) belegt ist. Es handelt sich um eine bis zu hundert Meter mächtige, steil nach NE einfallende Gangstruktur, die lokal mehrere Meter mächtige Quarz-Fluoritvererzungen aufweist. Hier ist mit verstärkter Klüftigkeit und Wasserführung zu rechnen.

Der auf tschechischer Seite in der Nähe des Tunnelportals bei Chlumec auftretende NE-SW-streichende Erzgebirgsabbruch trennt das Erzgebirge von den tertiären Sedimenten des Eger Grabens. Es handelt sich um eine mehrere hundert Meter mächtige Verwerfungszone mit zahlreichen Einzelstörungen, die insgesamt einen Verwerfungsbetrag von mindestens 800–1.000 m aufweisen. Das Alter des Erzgebirgsabbruchs ist Tertiär.

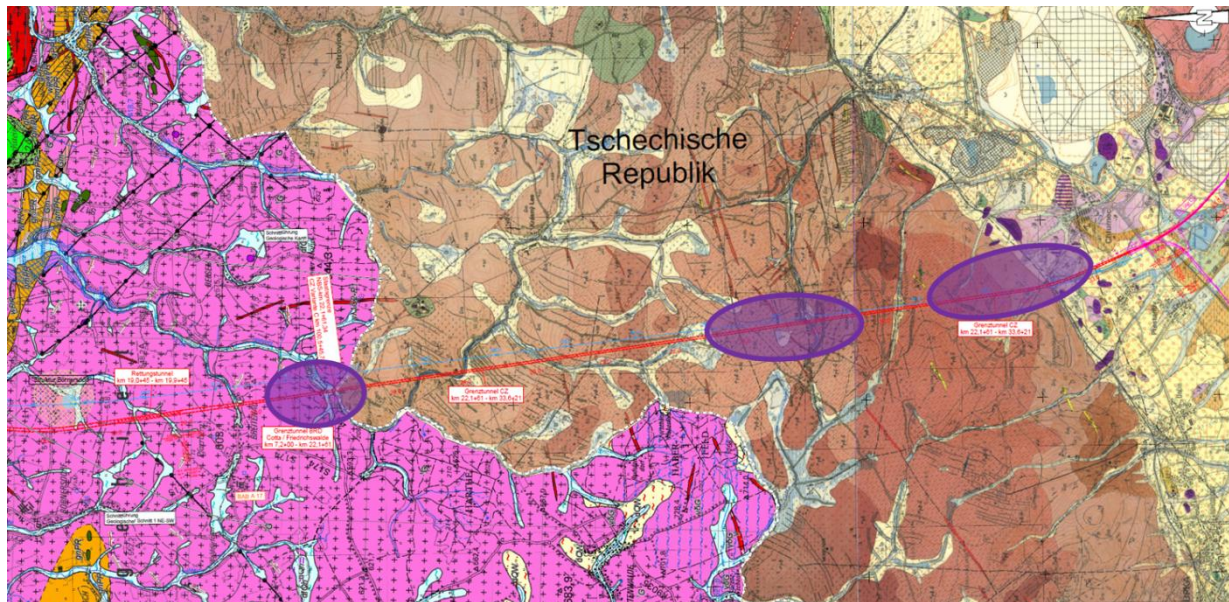


Abbildung 46: Trassenverlauf Struktur Börnersdorf (ca. Bau-km 18,0–32,0)

Geophysikalische Untersuchungen

- Festlegung der Erkundungsschwerpunkte
 - Struktur Petrovice–Döbra
 - Erzgebirgsabbruch
- Gutachtenrecherche im Archiv des LfULG/Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- Geophysikalische Untersuchungen in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit der jeweiligen Erkundungsbereiche

Geotechnische/gesteinsphysikalische/petrografische Untersuchungen

- Schliffe von Gesteinsproben zur petrografischen und Kornformanalyse (Bestimmung des Quarzanteiles in den untersuchten Gesteinen und mögliche Rückschlüsse auf den Einfluss von Korngröße und Kornform der Quarzkörner auf die Abrasivität)
- Untersuchungen zur Gebirgs-/Gesteinsfestigkeit im Tunnelverlauf mit besonderer Betrachtung der Störungszonenbereiche

4.2 Bilanz der bisherigen Zusammenarbeit am Projekt

Nach den ersten Zuarbeiten der Abteilung Geologie des LfULG 2012 und 2014 erfolgte eine Verlagerung des Trassenverlaufes, die zu einer Umgehung der Struktur Börnersdorf sowie einer verkürzten Querung des Elbschiefergebirges führte und somit die Hinweise des LfULG berücksichtigte.

Weiterhin konnten verschiedene Empfehlungen aus der Zwischenverteidigung des 3D-Modells vom Juni 2015 und in Auswertung der geologischen Trassenexkursion im September 2015 bereits im Rahmen des FuE-Projektes bearbeitet werden und teilweise in die laufenden Arbeiten zur europäischen Studie einfließen. Das betrifft unter anderem:

- Betrachtungen zu hydrogeologischen Schutzbereichen (Quadersandstein bei Heidenau)
 - kein Schutzstatus mehr, weil Trinkwasserversorgung von Pirna über die Talsperre Bad Gottleuba gesichert wird
- Analyse der morphologischen Situation auf der Grundlage des DGM 2 (z. B. langer Einschnitt zwischen Cottaer Spitzberg und Kohlberg) und hydrogeologischer Risikobereiche hinsichtlich der Änderung des GW-Regimes bei Durchfahrung von OW-Scheiden bzw. Schaffung künstlicher Entwässerungsbahnen durch Herstellung von Einschnitten
 - Verkürzung des Einschnittbereiches am Lohmgrundrücken und Verlängerung des Tunnels nach Norden, zur Vermeidung der Schaffung künstlicher Entwässerungsbahnen durch Herstellung von Einschnitten in hydrogeologisch schwierigen Bereichen
- Nutzung vorhandener Aufschlüsse und Tagebaue/Steinbrüche für Analysen (z. B. Druckfestigkeiten, Klufmessungen)
 - Laboruntersuchungen im Rahmen der Studienarbeit „Recherche zu geomechanischen Kennwerten für die im Trassenverlauf der Neubaustrecke Dresden–Prag zu erwartenden Gesteine“ (Anlage 4)
- Gestaltung eines Landschaftsbauwerkes an der Südflanke des Kohlbergs
 - Ausführliche Darstellung und Betrachtung dieses Vorschlages in Kapitel 3.4

Wir danken Referat 62 des SMWA sowie KREBS+KIEFER, Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH, für die enge Kooperation, die dieses Ergebnis ermöglichte.

Anlagenverzeichnis

Die Anlagen können bei den Autoren digital angefordert werden.

Anlage 1 **Geologische Schnitte**

- Anlage 1.1 Schnitt Trassenmitte, Teil 1
auf der Grundlage der Höhenpläne und Trassierung vom Februar 2015
- Anlage 1.2 Schnitt Trassenmitte, Teil 2
auf der Grundlage der Höhenpläne und Trassierung vom Februar 2015

Anlage 2 **Geophysik**

- Anlage 2.1 Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation“ vom 31.10.2015
- Anlage 2.2 Zwischenbericht zum FuE-Vorhaben „Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation“ vom 31.10.2014
- Anlage 2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den geophysikalischen Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge durch die der TU BAF (2014–2015), englische Version, 31.10.2015

Anlage 3 **Geologisches 3-D-Modell**

- Anlage 3.1 Geoscience-ANALYST-Projekt
- Anlage 3.2 Kurzanleitung Geoscience-ANALYST
- Anlage 3.3 Triangulierte Flächen NBS-Dresden–Prag
- Anlage 3.4 3D-PDF NBS-Dresden–Prag
- Anlage 3.5 3D-PDF Struktur Börnersdorf
- Anlage 3.6 3D-PDF Landschaftsbauwerke
- Anlage 3.7 Bericht zum FuE-Vorhaben „Geologische 3D-Modellierung der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge sowie der Neubaustrecke Dresden–Prag“
- Anlage 3.8 Dokumentationsformulare 3D-Modell

Anlage 4 **Recherche zu geomechanischen Kennwerten für die im Trassenverlauf der Neubaustrecke Dresden–Prag zu erwartenden Gesteine**

Studienarbeit Tommy Gambke (2015), TU Bergakademie Freiberg

Quellen

- [1] ALEXOWSKY, W.; WOLF, L., KURZE, M; TRÖGER, K. A. (1996/1997): Blatt 5049 Pirna, Geologische Karte und Erläuterungen, M 1: 25.000.- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- [2] Česká geologická služba: Geologische Kartenblätter 02-322 Krupka, 02-144 Petrovice, M 1: 25.000, <http://www.geology.cz>
- [3] KRENTZ, O.; KOCH E.A.; FRIEBE, A.: Digitale Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland 1:50 000.- LfULG Freiberg (Stand 2011)
- [4] KRENTZ, O. (2015a): Geologischer Schnitt 1 (NO-SW), Blatt Freiberg – Pirna (HYK50), Freiberg, unveröffentlicht
- [5] KRENTZ, O. (2015b): Geologischer Schnitt 2 (NO-SW), Blatt Freiberg – Pirna (HYK50), Freiberg, unveröffentlicht
- [6] KULIKOV, S., ALEXOWSKY, W. (2011): Geologischer Schnitt durch den Kohlberg im Maßstab 1 : 1000 mit 2-facher Überhöhung, Freiberg, unveröffentlicht
- [7] BERGMÜLLER, F. (1978): Geoelektrische Gutachten Schlottwitz, Teil Döbra – Ölsengrund.- Unveröff. Bericht, VEB Geophysik Leipzig
- [8] BODENBURG, S.; LÜER:, V. Gravimetrische Messungen zum Nachweis tektonischer Störungen in der Umgebung der Oberkreidestruktur bei Börnersdorf.- Bachelorarbeit, Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, 91 S.
- [9] BUSKE, ST., KÄPPLER, R., BÖRNER, R.-U., BODENBURG, S., LÜER, V., ADER, C., SONNABEND, L. (2014): Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge zur Klärung der tektonischen Situation.- Zwischenbericht, Freiberg, 15 S.
- [10] HORNA, F, KRENTZ, O., BUSKE, ST., SCHÖNFELD, J., SONNABEND, L. (2011): Die Mergel von Börnersdorf (Osterzgebirge) – Stratigraphie, Tektonik und Geophysik eines verdeckten Oberkreidereliktes. - Freiburger Forschungshefte C 540: 65 – 78.
- [11] HORNA, F., KRENTZ, O., BUSKE, ST. KÄPPLER, R., BÖRNER, R.-U. (2015): Is the structure of Börnersdorf possibly a maar-diatreme volcano?.- Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.), 166 (2), 149–160.
- [12] MALLEY, J.- L. (1989): Discrete smooth interpolation.- ACM-Transactions on Graphics 8 (2), 121 – 144.
- [13] SONNABEND, L. (2013): Seismik Börnersdorf.- Bachelorarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 79 S.
- [14] WERNER, D. (2015): Ingenieurgeologische und geotechnische Untersuchungen in Teilbereichen der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden – Prag.- Bachelorarbeit, TU Bergakademie Freiberg.
- [15] GAMBKE, T. (2015): Recherche zu geomechanischen Kennwerten für die im Trassenverlauf der neubaustrecke Dresden-Prag zu erwartenden Gesteine.- Studienarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 67 S.
- [16] IfB - Institut für Bergbausicherheit Leipzig (1989): Geotechnische Grundsätze für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen im Festgestein.- Anhang C Geotechnisches Arbeitsblatt C: Geomechanische Kennwerte, Leipzig
- [17] PESCHEL, A. (1983): Natursteine.- VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- [18] LORENZ, W., GWOSDZ W. (2003): Handbuch zur geologisch-technischen Bewertung von mineralischen Baurohstoffen.- S. G. D. d. B. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hrsg., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Hannover
- [19] KLENGEL, J., WAGENBRETH, O. (1989): Ingenieurgeologie für Bauingenieure.- VEB Verlag für Bauwesen, Berlin
- [21] FRÜHWIRT, T. (2015): Mündliche Mitteilung Gesteinskennwerte und Laborversuche, Freiberg: Gesteinsmechanisches Labor, Institut für Geotechnik, TU Bergakademie Freiberg
- [22] FRÜHWIRT, T. (2015): Laborbericht über die Ergebnisse von Gesteinsphysikalischen Laborversuchen zum Projekt: Gesteinsphysikalische Charakterisierung von Typusgesteinen des Elbtalschiefergebirges

und des Erzgebirgskristallin im im Osterzgebirge anhand von Laborversuchen.- TU Bergakademie Freiberg

- [23] <http://nbs.sachsen.de/>
- [24] Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH (2015): Mengenberechnung der Tunnel NBS Dresden - Prag, Dresden, unveröffentlicht.
- [25] Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH (2015): Planunterlagen zur Neubaustrecke Dresden -- Prag (Februar 2015, Juni 2015, September 2015 - Trassierungspläne, Höhenpläne, Querschnitte).- Dresden, unveröffentlicht
- [26] ZMITKO, J. (2014): NBS Dresden – Prag, Tunnel „Erzgebirge“, Geologische Begutachtung.- 3G Consulting Engineers s.r.o., Dresden, unveröffentlicht
- [27] APEL, M.; MEIER, J.; BONDZIO, E. (2006): 3-D-Modelldaten aus: 3D-Baugrundmodell (B 172 Ortsumgehung Pirna) IK 25 - Blätter Dresden, Leipzig; unveröff. Projektbericht
- [28] GEIßLER, V.; GAUER, A.; GÖRNE, S. (2014): 3-D-Modelldaten aus: Innovative digitale Geomodelle 2020.- Schriftenreihe, Heft 22/2014; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.)

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Ottomar Krentz, Sabine Kulikov
LfULG, Abteilung Geologie
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
E-Mail: ottomar.krentz@smul.sachsen.de; sabine.kulikov@smul.sachsen.de
Dr. Ines Görz, Daniel Werner, Erik Seiert, Karl Schmidt
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik
Gustav-Zeuner-Str. 12, 09599 Freiberg
E-Mail: lGo@geo.tu-freiberg.de
Prof. Dr. Stefan Buske, Dr. Rolf Käppler, Dr. Ralph-Uwe Börner,
Lutz Sonnabend, Sascha Bodenburg, Vera Lüer, Carolin Ader
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik
Gustav-Zeuner-Str. 12, 09599 Freiberg
E-Mail: buske@geophysik.tu-freiberg.de
Tommy Gambke, Dr. Thomas Frühwirt, Detlev Tondera
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik
Gustav-Zeuner-Str. 1, 09599 Freiberg
E-Mail: detlev.tondera@ifgt.tu-freiberg.de

Redaktion:

Dr. Ottomar Krentz, Sabine Kulikov
LfULG, Abteilung Geologie
Referat Geologische Kartierung, Geophysik/Referat Ingenieurgeologie
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 294-1201/-1303
Telefax: +49 3731 294-1099
E-Mail: ottomar.krentz@smul.sachsen.de; sabine.kulikov@smul.sachsen.de

Abbildungen:

Topografie (Abb. 10, 11, 17, 21): GeoSN
Luftbilder (Abb. 19, 45): GeoSN
Reliefdarstellungen (Abb. 2, 3, 11, 21): Daten – GeoSN, Bearbeitung – LfULG
Geologische Karten (Abb. 2, 3, 6, 7, 8, 9, 23, 27, 29, 32, 44, 46):
Krentz et al. (2011)
Geologische Karten (Abb. 4, 25, 43): Alexowsky et al. (1996/97)
Fotos (Abb.15): Stefan Buske (2015)

Redaktionsschluss:

03.12.2015

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.
Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.