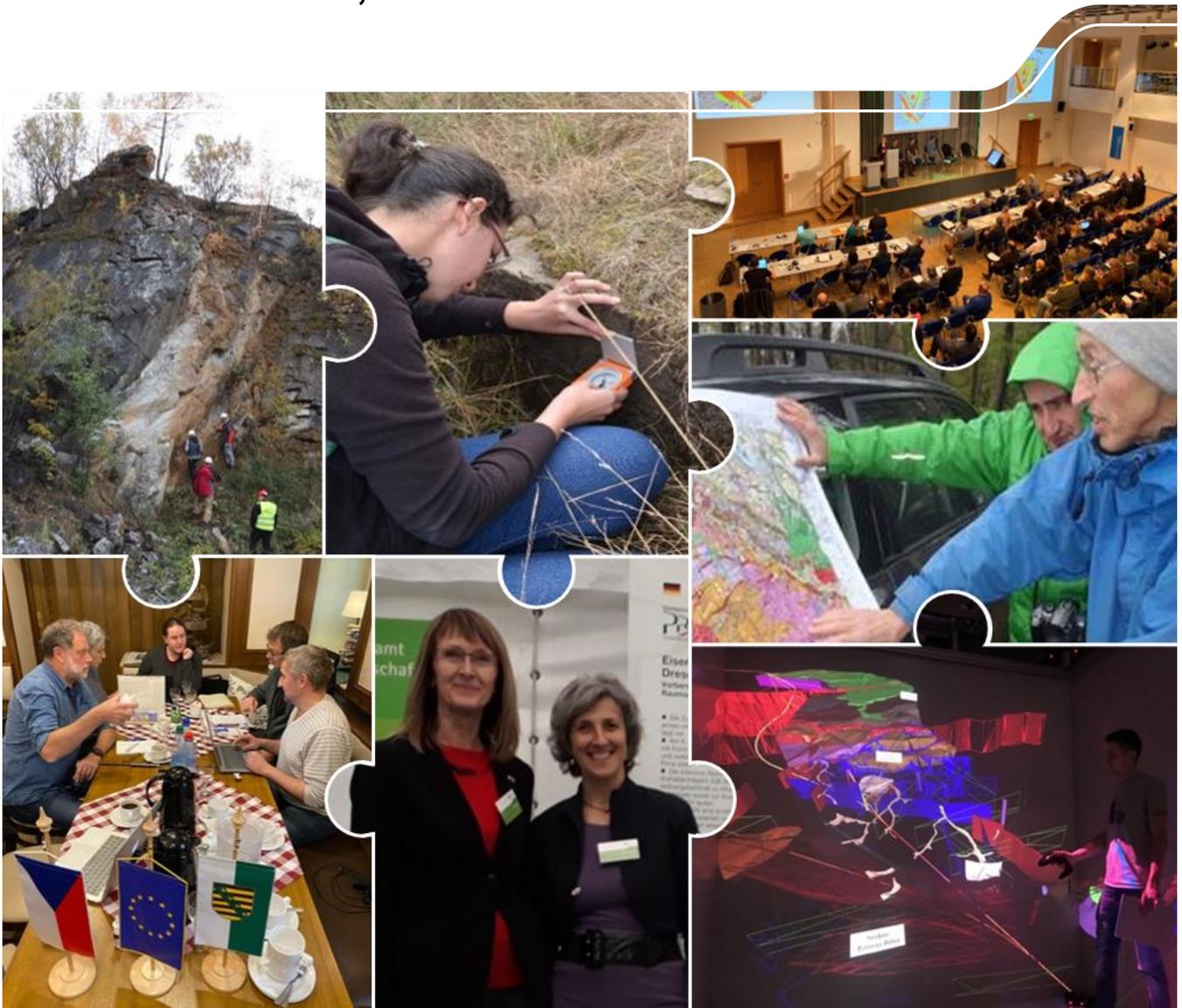


Geologische Untersuchungen an der Neubaustrecke Dresden-Prag

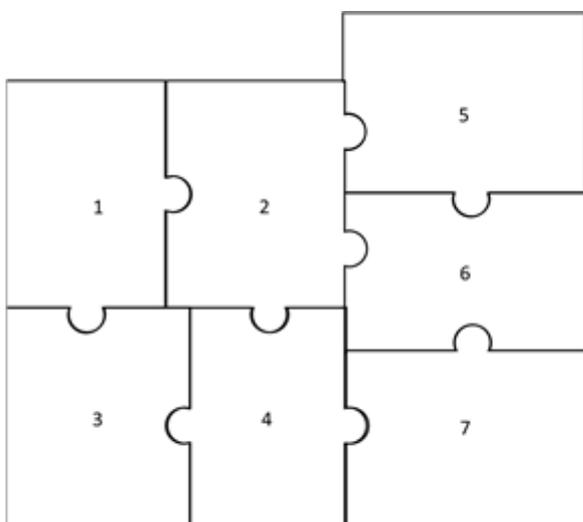
Schriftenreihe, Heft 4/2021



Geologische Untersuchungen an der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag (2011-2020)

M.Sc. Lisa Thiele, Dipl.-Ing. Sabine Kulikov, Dr. Ottomar Krentz, M.Sc. Gabriel Unger, Dr. Elisabeth Seidel,
M.Sc. Johannes Köhler, M.Sc. Lutz Sonnabend

Petr Kycl, Ph.D Vladislav Rapprich, Ph.D. Jan Franěk
(Česká geologická služba Tschechischer geologischer Dienst)



- 1 – Störungszone im Kalkbruch Borna (V. Rapprich, ČGS)
- 2 – Kartierungsarbeiten (Dr. S. Schneider, LfULG)
- 3 – Arbeitstreffen der AG Geologie (J. Köhler)
- 4 – Ausstellung in der deutschen Botschaft in Prag
(H. Saske, SMWA)
- 5 – Abschlusskonferenz des INTERREG Va-Projektes
(B. Lehmann, LfULG)
- 6 – Geländebegehung der AG Geologie (S. Kulikov, LfULG)
- 7 – geologisches 3D-Modell in der CAVE der TU BAF
(x-site.tu-freiberg.de)

Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse des Staatlichen Geologischen Dienstes Sachsen aus den Jahren 2011-2020. Die Bearbeitungshistorie wird in Kapitel 1 beschrieben. Auf die einzelnen Berichte wird in der Schriftenreihe Bezug genommen. Sie sind im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Den Hauptteil der Schriftenreihe bilden die Ergebnisse des INTERREG Va-Projektes, welche gemeinsam mit den Kollegen des Tschechischen Geologischen Dienstes erarbeitet wurden. Außerdem wird sich im Kapitel Geologie auf die Erläuterungen zu den geologischen Karten bezogen, die durch das LfULG herausgegeben wurden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	10
1.1	Historie der Einbeziehung des Geologischen Dienstes Sachsen im NBS-Projekt.....	11
2	Geografie.....	20
3	Geologie.....	22
3.1	Geologische Entwicklung.....	22
3.2	Regionale Geologie und Hydrogeologie.....	23
3.3	Petrographie auf sächsischer Seite.....	30
3.4	Tektonik.....	31
4	Literaturlauswertung.....	35
5	Graphisches Datenmanagement mit ArcGIS.....	36
6	Grenzüberschreitende geologische Karte.....	38
6.1	Methodik.....	38
6.2	Ergebnis.....	43
7	Kartierung.....	46
7.1	Gebietsauswahl/Vorgehensweise.....	46
7.2	Ergebnisse.....	47
8	Hydrogeologische Untersuchungen.....	53
8.1	Methodik.....	53
8.2	Ergebnisse.....	54
9	Geophysik.....	60
9.1	Methodik.....	60
9.2	Ergebnisse.....	65
10	Geotechnische Risikofaktoren.....	83
10.1	Störungen als Risikobereiche für die Gebirgsstabilität.....	83
10.2	Analyse potentieller Geogefahrenbereiche bzw. geotechnischer Problemzonen im Untersuchungsgebiet.....	87
10.3	Anisotropie der Abrasivität und Petrographie von Gneisen.....	94
10.4	Ingenieurgeologische Charakteristik der Gesteine im Untersuchungsgebiet.....	97
11	Geologische Trassenbänder.....	105
12	3D-Modellierung.....	107
12.1	Einleitung.....	107
12.2	Einheiten und Strukturen des 3D Modells.....	108
12.3	Daten und Datenaufbereitung.....	108
12.4	Modellierte Objekte und Modellierungsmethoden.....	110
12.5	Modellierungsregeln.....	110
12.6	Modellannahmen.....	111
12.7	Präsentation und Validierung der Modellierungsergebnisse.....	111
12.8	Modellunsicherheiten.....	111
13	Ergebnisbetrachtung.....	113
13.1	Nutzen der Arbeit des Geologischen Dienstes Sachsen für die aktuellen Planungen.....	114
13.2	Ausblick.....	116
14	Literaturverzeichnis.....	118
	Anlagenband.....	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Orient/East-Med Korridor. Rechts: Streckenverlauf der Bestandsstrecke durch das Elbtal.....	10
Abbildung 2:	Erste Ausweisung von Bereichen mit komplizierten geologischen Verhältnissen im Verlauf der geplanten Tunneltrasse der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag.....	12
Abbildung 3:	Zwei Wismut Bohrungen von 1966, in denen kretazische Sedimente innerhalb der proterozoischen Gneise des Osterzgebirges angetroffen worden sind.....	13
Abbildung 4:	a) Geologisches 3-D-Modell im Betrachtungskorridor mit 3D-Modell der Struktur Börnersdorf. b), c) Der ehemals geplante Trassenverlauf nach Westen.....	14
Abbildung 5:	Logos des INTERREG Va-Projektes.....	15
Abbildung 6:	Logos der Projektpartner.....	15
Abbildung 7:	Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes.....	16
Abbildung 8:	Lage des Untersuchungsgebietes des INTERREG Va-Projektes und der verschiedenen Trassenvarianten aus dem Raumordnungsverfahren von Heidenau bis Chlumec.....	19
Abbildung 9:	Geografie im Untersuchungsgebiet mit den Varianten des Raumordnungsverfahrens INTERREG Va-Projekt.....	21
Abbildung 10:	Regionalgeologische Einheiten des Erzgebirges und benachbarter Einheiten. Der blaue Rahmen zeigt die ungefähre Lage des Trassenkorridors für die NBS Dresden-Prag.....	22
Abbildung 11:	Quartäre Einheiten der dig. Geologischen Karte GK50 Blatt Pirna und Trassenverläufe.....	24
Abbildung 12:	Geologischen Karte der Kreideablagerungen und Trassenverläufe.....	25
Abbildung 13:	Normalprofil der Oberkreide und Grundwasserleiter.....	26
Abbildung 14:	Geologische Karte GK50 Erzgebirge/Vogtland und Geologische Karte Dresden-Prag.....	29
Abbildung 15:	Karte der aktiven Störungen im Umfeld der Neubaustrecke Dresden-Prag.....	32
Abbildung 16:	Störungen im Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes.....	34
Abbildung 17:	Literaturrecherche.....	35
Abbildung 18:	Vorteile des graphischen Datenmanagements mittels GIS-Software. Links: Ordnen nach Themengruppen und separate Aktivierung der einzelnen Layer. Rechts: Überlagerung von Daten durch Transparentfunktion.....	37
Abbildung 19:	Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes vor der geologischen Karte im Maßstab 1 : 50.000.....	39
Abbildung 20:	Archivunterlagen der geologischen Dienste von Sachsen.....	39
Abbildung 21:	Geländebegehung der deutschen und tschechischen Geologen zur Harmonisierung der Geologie im Untersuchungsgebiet.....	40
Abbildung 22:	Untersuchungsprogramm für die geoelektrischen Messungen zur Validierung vermuteter Störungsmuster.....	41
Abbildung 23:	Harmonisierung der Kreidestratigraphie.....	42
Abbildung 24:	Erster Entwurf der grenzüberschreitenden geologischen Karte im Maßstab 1 : 50.000.....	43
Abbildung 25:	Endfertigung der grenzüberschreitenden geologischen Karte des Untersuchungsgebietes.....	44
Abbildung 26:	Lage der Kartierungspunkte.....	46
Abbildung 27:	Übersichtskarte der Kartierungspunkte im Untersuchungsgebiet.....	47
Abbildung 28:	Aufschluss Stop 4 am Westufer der Talsperre Gottleuba.....	48
Abbildung 29:	Aufschluss BP 7 an der Staumauer der Talsperre Gottleuba.....	48
Abbildung 30:	Ausrichtung der gemessenen Foliationen mit Fallwinkel.....	49
Abbildung 31:	Stereographische Projektion der Lineation und Störungen. Mineralstreckungslineare.....	50
Abbildung 32:	Dichteverteilung aller im Untersuchungsgebiet eingemessener Klüfte.....	50
Abbildung 33:	Darstellung der Klüftverteilung in den einzelnen Messgebieten.....	51
Abbildung 34:	Darstellung aller im Untersuchungsgebiet bekannten Störungen.....	52
Abbildung 35:	Winkeltreue Projektion von Störungsflächen.....	52
Abbildung 36:	Messpunkte der hydrogeologischen Kartierung.....	54
Abbildung 37:	Übersichtskarte der kartierten Feucht- und Quellgebiete und Störungen im Untersuchungsgebiet.....	55
Abbildung 38:	a) Nassstelle am Stop 22 nördlich der Ortschaft Breitenau. b) Bachlauf Stop 38 südlich von Breitenau. c) Flechten und Moos am Aufschluss BP 7 an der Staumauer der Talsperre Gottleuba.....	56

Abbildung 39: Durchflussmessung der Gottleuba am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ für das hydrologische Jahr 2017/2018	57
Abbildung 40: Trockenwetterlinie und MAILLET-Wert der Gottleuba am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ für das hydrologische Jahr 2017/2018..	57
Abbildung 41: Links: Vibroseis Fahrzeug der TU Bergakademie Freiberg. Rechts: Auslage der Geophone.	60
Abbildung 42: Elektroden-Auslage für die Geoelektrik-Messung.....	61
Abbildung 43: Lage der geophysikalischen Messprofile der vier Untersuchungsetappen.	65
Abbildung 44: Stratigraphie der Kreidesedimente der Struktur Börnersdorf oben: Stratigraphische Abfolge mit der tatsächlichen Lage der Mergel von Börnersdorf. Unten: Modellierte Grenzen der Struktur Börnersdorf.	66
Abbildung 45: Horizontalgradient und Vertikalgradient der regionalen Bouger-Anomalie.....	67
Abbildung 46: 3D-Modell der Struktur Börnersdorf im Ergebnis der geophysikalischen Untersuchungen zwischen 2011 und 2014 mit Darstellung markanter Störungen und der Empfehlung für die geänderte Streckenführung.....	68
Abbildung 47: Interpretation der Daten des E-W verlaufenden Profils.	68
Abbildung 48: Lage der Struktur Börnersdorf in der Verlängerung der Karsdorfer Störung.	69
Abbildung 49: Schematische Darstellung der tektonischen Bildung durch (a, b) ein pull-apart-Becken, (c) antithetische Abschiebung und (d) synthetische Abschiebung.	69
Abbildung 50: Schematischer Aufbau eines Maar Diatremes.....	70
Abbildung 51: Lage der seismischen Profile von 2018 südlich von Breitenau und Gottleubatal sowie der geoelektrischen Profile zur Erfassung der Störungszone Petrovice Döbra.	71
Abbildung 52: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 1/2018.	71
Abbildung 53: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 2/2018.	72
Abbildung 54: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 3/2018	73
Abbildung 55: Lage des Profils Gottl1 im Gottleubatal entlang des Seismischen Profils 2/2019	74
Abbildung 56: Vergleich der geoelektrischen Messungen Profil Gottl1 mit dem seismischen Profi 2/2019.....	74
Abbildung 57: Geoelektrisches Profil Gottl1a nach der Wenner-Schlumberger-Methode als Verlängerung des Profils Gottl 1	75
Abbildung 58: Geoelektrisches Profil Tis08 nach der Wenner-Schlumberger-Methode im Gottleubatal..	75
Abbildung 59: Geoelektrisches Profil Gottl 2 nach der Wenner-Schlumberger-Methode südlich von Breitenau..	76
Abbildung 60: Lage der seismischen Profile zwischen der Struktur Börnersdorf und der Ortschaft Breitenau.....	76
Abbildung 61: Ergebnis der Fresnel- Volumen-Tiefenmigration für Profil 1/2014.....	77
Abbildung 62: Geschwindigkeitsmodell und Seismogrammsektion an Schusspunkt2041 für Profil 2/2017 mit der Kennzeichnung potentieller Störungszonen.	77
Abbildung 63: Ausstrichbereiche der Störungszonen aus den seismischen Profilen von 2014 und 2016 sowie den seismischen und gravimetrischen Messungen von 2017.....	78
Abbildung 64: Isolinienkarte der Bouguer-Anomalie, die Lage der Messprofile und Interpretation.....	78
Abbildung 65: W-E Profile L5, L0 und L4 mit Angabe der Anomaliebereiche.	79
Abbildung 66: Profil L1 (SW-NE) und Profil L2 (NW-SE) mit Angabe der Auflockerungsbereiche im Umfeld der Struktur Börnersdorf.....	79
Abbildung 67: Kohärenzbasierte Fresnel-Volumen-Tiefenmigration für Profil 1/2019 80	
Abbildung 68: Kohärenzbasierte Fresnel-Volumen-Tiefenmigration für Profil 2/2019.....	81
Abbildung 69: Übersicht über die Lage der beiden Profile bei der Ortschaft Breitenau sowie die potentiellen Bereiche der Oberflächenausbisse der beiden markantesten Reflektoren in den jeweiligen Profilen.	81
Abbildung 70: a) Störungsindikatoren aller geoelektrischen und seismischen Profile im Bereich der Störungszone Petrovice-Döbra b) modellierte Einzelstörungen der Petrovice-Döbra Zone.	82
Abbildung 71: Ungewöhnliche Wuchsform von Bäumen im Umfeld des Špičák.	84
Abbildung 72: Schematische Beziehungen zwischen den Deformationsbedingungen und der Bezeichnung der Störungszonen nach Schneider.....	85
Abbildung 73: Schematischer Schnitt durch eine Störungszone.	85
Abbildung 74: Verlauf von Störungszonen aus unterschiedlichen Kartenwerken mit verschiedenem Alter, Maßstab und Lagebezugssystem am Beispiel des Sächsischen Granulitgebirges	87
Abbildung 75: Herangehen an die Ausweisung von geotechnischen Problemzonen.	88

Abbildung 76: Evaluierung der Daten und Geometrien der Ampelkarte der geotechnischen Problemzonen im sächsischen INTERREG Va-Untersuchungsgebiet.	89
Abbildung 77: Detailausschnitt der Karte der geotechnischen Problemzonen im Bereich der Strukturen Börnersdorf und Petrovice-Döbra.	92
Abbildung 78: Ampelkarte der geotechnischen Problemzonen über den gesamten Verlauf der Trasse.	93
Abbildung 79: Übersichtskarte der Aufschlusspunkte BP 1 - BP 10	94
Abbildung 80: Probenwürfel.	95
Abbildung 81: Cerchar-Gerät an der TU Bergakademie Freiberg.	95
Abbildung 82: Ergebnisse der Cerchar-Abrasivitätsversuche.	96
Abbildung 83: Ausgangssituation Dichter Gneis	97
Abbildung 84: Verteilung der Lockergesteine.	104
Abbildung 85: Ausschnitt des geologischen Längsschnittes Variante F.	106
Abbildung 86: Struktur Börnersdorf.	106
Abbildung 87: Projektion der Struktur Börnersdorf am Beispiel der Variante F.	107
Abbildung 88: Lage und Ausdehnung des 3D-strukturellen - geologischen Modells.	108
Abbildung 89: Strukturgeologisches 3D-Modell der Gesteinumgebung	111
Abbildung 90: Modellierte Störungen der Struktur Börnersdorf	112
Abbildung 91: 3D-Workshop für die DB AG und Planungsbüros.	114
Abbildung 92: Ehemalige Eisenbahnstrecke Lovosice - Teplice.	115
Abbildung 93: Abschlusskonferenz des INTERREG Va-Projektes in Freiberg 01/2020.	115
Abbildung 94: Roll ups des EVTZ in Zusammenarbeit mit dem LfULG.	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Aktivitäten des Staatlichen Geologischen Dienstes (SGD) des LfULG im Zusammenhang mit der Eisenbahnneubaustrecke Dresden – Prag.	11
Tabelle 2: Arbeitspakete der Arbeitsgruppe Geologie im INTERREG Va-Projekt.	17
Tabelle 3: Auslaufkoeffizienten	58
Tabelle 4: Mögliche Interpretation zur Wasserführung ausgewählter Störungen im Untersuchungsgebiet.	58
Tabelle 5: Kurzbeschreibung der geophysikalischen Messverfahren.	60
Tabelle 6: Erkundungsziel der geophysikalischen Messverfahren.	62
Tabelle 7: Tiefenwirkung der geophysikalischen Messverfahren.	62
Tabelle 8: Messaufwand der geophysikalischen Messverfahren.	62
Tabelle 9: Auflösungsvermögen und Unsicherheiten der geophysikalischen Messverfahren.	63
Tabelle 10: Kombinierbarkeit der geophysikalischen Messverfahren.	63
Tabelle 11: Geophysikalische Untersuchungsmethoden zwischen 2011 und 2019 im Trassenkorridor der geplanten Neubaustrecke Dresden-Prag.	64
Tabelle 12: Merkmale einer mineralisierten Störungszone.	86
Tabelle 13: Ingenieurgeologische Einheiten deutscher Nomenklatur.	98

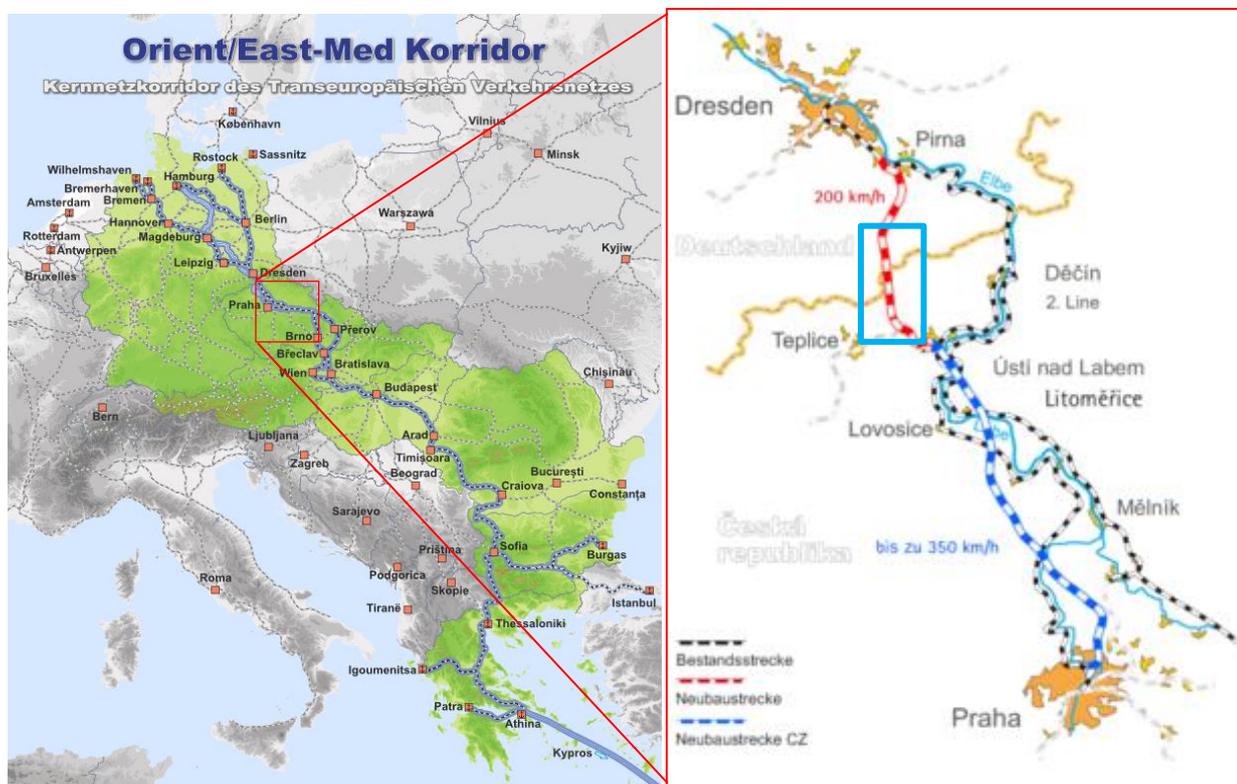
Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AG	Arbeitsgruppe
BAF	Bergakademie Freiberg
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ČGS	Tschechischer Geologischer Dienst
CZ	Tschechische Republik
d.h.	das heißt
DB	Deutsche Bahn
DEMP	Dipol-elektromagnetische Profile
dig.	digital
DGM	Digitales Geländemodell
DSI	Discrete Smooth Interpolation
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
ehem.	ehemals
ERTMS	European Rail Traffic Management System
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EVTZ	Europäischer Verbund für territoriale Zusammenarbeit
FuE	Forschung und Entwicklung
GIS	Geoinformationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GOK	Geländeoberkante
GPS	Global Positioning System
HT	Hochtemperatur
LEP	Landesentwicklungsplan
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LiDAR	Light detection and ranging
LTV	Landestalsperrenverwaltung
max.	maximal
mdl. Mitt.	mündliche Mitteilung
Mio.	Millionen
MSS	Mittelsächsische Störung(szone)
NBS	Neubaustrecke
PDZ	Petrovice–Döbra Zone
ROV	Raumordnungsverfahren
SAB	Sächsische Aufbaubank
SGD	Staatlicher Geologischer Dienst
SMWA	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr
SN	Freistaat Sachsen
TEN-V	Transeuropäisches Verkehrsnetz
TIN	Triangulated Irregular Network
tlw.	teilweise
TOC	gesamtorganischer Kohlenstoff
TS	Talsperre

TU	Technische Universität
TWSZ	Trinkwasserschutzzonen
ü. NHN	über Normalhöhennull
ü. NN	über Normalnull
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

Die Eisenbahnneubaustrecke zwischen Dresden und Prag ist Teil des Orient/East-Med Korridors, der zu den neun Kernnetzkorridoren des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) gehört und Mitteleuropa mit den maritimen Schnittstellen – Nord- und Ostsee als auch Schwarzes Meer und Mittelmeer – verbinden soll. Er integriert auch die Schienengüterverkehrskorridore 7 und 8 sowie den ERTMS-Korridor E. Im Abschnitt zwischen Pirna und Ústí nad Labem verläuft der Eisenbahnverkehr aktuell im Elbtal, das ein Nadelöhr in diesem wichtigen Verbindungskorridor (Abbildung 1) darstellt.



Quelle: SWMA

Abbildung 1: Links: Der Orient/East-Med Korridor. Rechts: Streckenverlauf der Bestandsstrecke durch das Elbtal (schwarz) und einer Variante der Neubaustrecke mit Lage des INTERREG Va-Untersuchungsgebietes (blauer Rahmen).

2017 wurde der Vorschlag der Sächsischen Staatsregierung zu einer alternativen Trassenführung als Tunnel durch das Osterzgebirge in den vordringlichen Bedarf des deutschen Bundesverkehrswegeplans aufgenommen (SMWA, 2020). Die Herausforderung dieses grenzüberschreitenden Projektes ist ein abgestimmtes Vorgehen der beiden Länder Tschechien und Deutschland in allen Fachbereichen. Erste Erfahrungen diesbezüglich konnten im Rahmen des bis Januar 2020 gelaufenen INTERREG Va- Projektes „Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zur Entwicklung des Eisenbahnverkehrs Sachsen– Tschechien“ gesammelt werden, welches am 23.01.2020 mit einer international besuchten Konferenz und einem geowissenschaftlichen Fachkolloquium zu Ende ging.

Da es sich bei dem Tunnel um ein Kernelement der Strecke handelt, sind geologische Belange von ganz besonders hoher Bedeutung. Die Region durch die die Trasse führen soll, ist geologisch und tektonisch hoch komplex. Die Trasse durchfährt in ihrem Verlauf, z.T. auf engem Raum, zahlreiche Gesteine mit unterschiedlichen petrographischen und geotechnischen Parametern. Des Weiteren werden einige regional bedeutende Störungszonen gequert, was enorme Auswirkungen auf den Bau und Unterhalt des Tunnels haben kann. Im Vorfeld sind ein hoher Erkundungsaufwand und eine intensive Archivrecherche erforderlich. Vor Aufnahme der Infrastrukturmaßnahme in den Bundesverkehrswegeplan arbeitete deshalb seit 2011 der Staatliche Geologische Dienst (SGD) des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Amtshilfe für das Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA) im Rahmen der Grundlagenermittlung sowie in EU-finanzierten Projekten. Nähere Angaben zu den Aktivitäten des Freistaates Sachsen können unter <http://www.nbs.sachsen.de> abgerufen werden.

1.1 Historie der Einbeziehung des Geologischen Dienstes Sachsen im NBS-Projekt

Um den zukünftig mit der geologischen Grundlagenermittlung Beauftragten der DB Netz AG den Einstieg in bisherigen umfänglichen geologischen Untersuchungen zu erleichtern, wird in der vorliegenden Schriftenreihe ein Überblick über die Gesamtheit der zwischen 2011 und 2020 stattgefundenen Untersuchungen und deren Ergebnisse gegeben.

Tabelle 1: Übersicht über die Aktivitäten des Staatlichen Geologischen Dienstes (SGD) des LfULG im Zusammenhang mit der Eisenbahnneubaustrecke Dresden – Prag.

Jahr	Aktivitäten
2011	Untersuchungsarbeiten zur Kreidestruktur Börnersdorf im Rahmen der hydrogeologischen Spezialkartierung
2012	Übergabe fachlich relevanter Informationen aus dem Bereich Geologie im Rahmen der vorbereitenden Untersuchungen zum Projekt an die Schüßler-Plan gmbH (Variantenuntersuchung) und erste Expertise zur geologischen Situation im Auftrag des SMWA
2014-2015	Mitarbeit an der EU-Studie „Planungsdienstleistungen für die Neubau-Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Dresden-Prag“ des SMWA im Rahmen eines FuE-Projektes (EUKOM-Studie); geophysikalische und geotechnische Untersuchungen sowie die Erarbeitung eines geologischen 3D-Modells in Zusammenarbeit mit der TU BAF
2016-2019	Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf im Rahmen der geologischen Grundlagenermittlung für das SMWA (in Zusammenarbeit mit der TU BAF)
2017-2020	Partner im INTERREG Va-Projekt „Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zur Entwicklung des Eisenbahnverkehrs Sachsen–Tschechien“; Erarbeitung einer grenzüberschreitenden geologischen Karte und eines geologischen 3D-Modells in Zusammenarbeit mit dem Tschechischen Geologischen Dienst (ČGS)
2019-2020	Beratende Unterstützung bei der Erstellung der Unterlagen zum Raumordnungsverfahren und der Erkundungsplanung der DB Netz AG

1.1.1 Datenrecherche und erste Expertise zur geologischen Situation (2012)

Im Rahmen der Zuarbeit fachlich relevanter Informationen aus dem Bereich Geologie für die vorbereitenden Untersuchungen durch die Schüßler-Plan IgmbH erfolgte 2012 eine erste geologische Übersichtsdarstellung für den damals betrachteten Trassenkorridor (Abbildung 2, weiß schraffiert). Dabei wurden erstmals drei Bereiche mit komplizierten geologischen Verhältnissen für den Tunnelbau ausgewiesen, in denen mit Wasserzuflüssen und wenig stabilen Gebirgsverhältnissen zu rechnen ist (Abbildung 2). Diese Bereiche wurden näher beschrieben und auf einen erhöhten Erkundungsbedarf und notwendige Untersuchungen hingewiesen.

Bereich 1: Elbtalschiefergebirge

Bereich 2: Struktur Börnersdorf

Bereich 3: Erzgebirgsabbruch (auf tschechischer Seite)

Die Expertise erfolgte auf der Grundlage von 2D-Daten (Karten und Schnitte) und regionalen Kenntnissen. Ebenfalls betrachtet wurden rohstoffgeologische Aspekte.

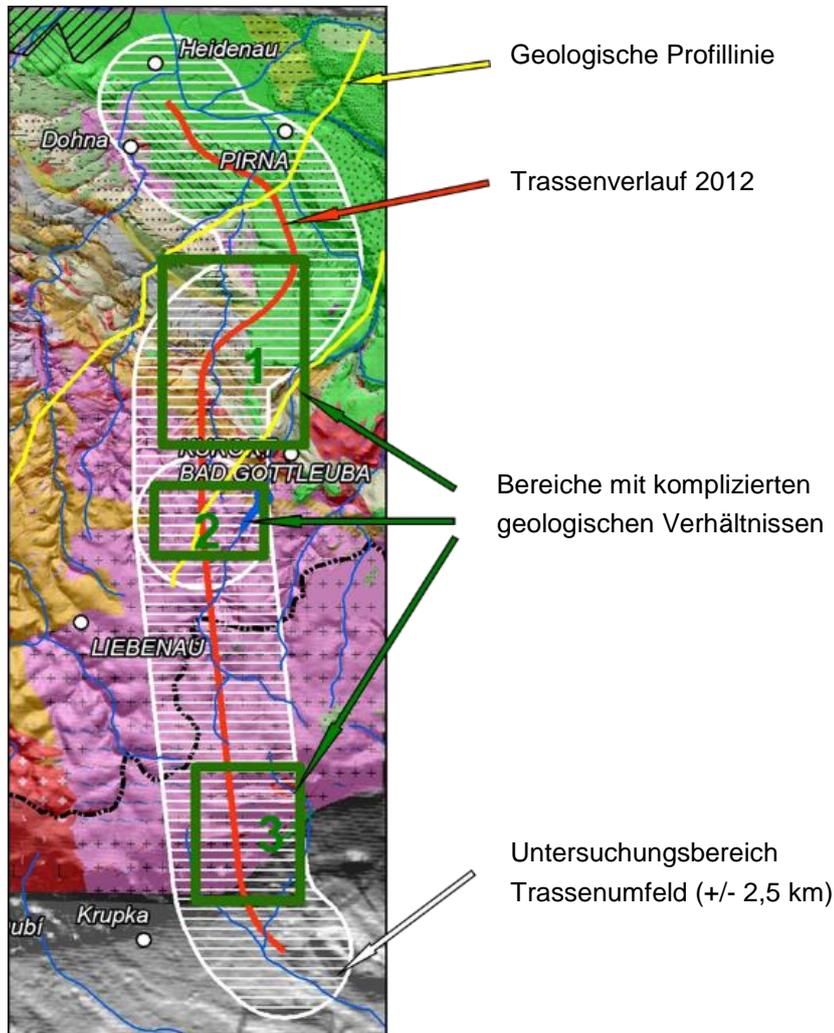


Abbildung 2: Erste Ausweisung von Bereichen mit komplizierten geologischen Verhältnissen im Verlauf der geplanten Tunneltrasse der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag (Stand 2012).

1.1.2 Geologische und geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf im Rahmen der geologischen Grundlagenermittlung für das SMWA (2011, 2014-2019)

Im Zuge der landesweiten hydrogeologischen Kartierung wurden alle verfügbaren Bohrungen bis 200 m Tiefe aufgearbeitet. Dabei wurden im Osterzgebirge zwischen den Ortschaften Bad Gottleuba und Börnersdorf drei Wismut-Bohrungen von 1966 gefunden (Abbildung 3), die mächtige kretazische Mergel und teilweise auch Sandsteine innerhalb der proterozoischen Gneise angetroffen hatten. Aus geologischen Karten waren in diesem Gebiet keine Kreidevorkommen bekannt und auch Geländebegehungen ergaben keine Hinweise auf eine Kreideverbreitung.

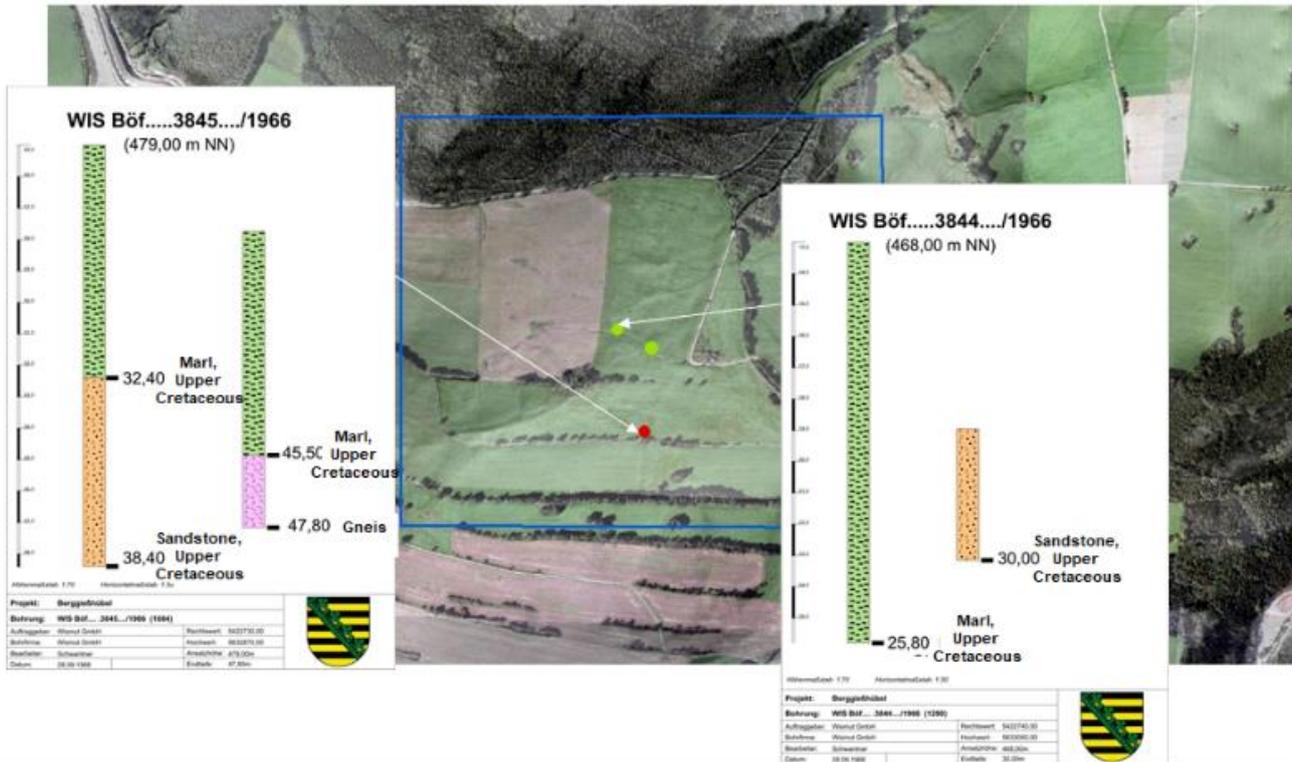


Abbildung 3: Zwei Wismut-Bohrungen von 1966, in denen kretazische Sedimente innerhalb der proterozoischen Gneise des Osterzgebirges angetroffen worden sind.

Zur Klärung der geologischen Entstehung dieser Struktur wurden seit 2011 mehrere Untersuchungsetappen mit unterschiedlichen Erkundungsmethoden veranlasst. Mit Rammkernsondierungen und verschiedenen begleitenden geophysikalischen Untersuchungen innerhalb und außerhalb der Struktur wurden neue Erkenntnisse gewonnen. Die Struktur hat einen Durchmesser von ca. 500 x 600 m und ist etwa 250-300 m tief. Sie wird durch mehrere zum Zentrum einfallende Störungen begrenzt. Diese sind mit geophysikalischen Methoden erfasst und bereits in KRENTZ, et al. (2015) ausführlich beschrieben worden. 2016 bis 2019 wurden im Rahmen der geologischen Grundlagenermittlung für das SMWA (in Zusammenarbeit mit der TU BAF) weitere tiefenseismische Untersuchungen im Umfeld der Struktur durchgeführt, um Hinweise auf deren Genese und die Lage der begleitenden Störungen zu erhalten. Ausführlich wird im Rahmen der Schriftenreihe unter Kapitel 9.2.1 auf die Struktur und die bisher durchgeführten Untersuchungen eingegangen.

1.1.3 EU-Studie „Planungsdienstleistungen für die Neubau-Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Dresden-Prag“ des SMWA (2014-2015)

Für die EU-Studie „Planungsdienstleistungen für die Neubau-Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Dresden-Prag“ des SMWA (2014-2015) wurde ein FuE-Projekt initiiert und vom SMWA über EU-Mittel finanziert. Inhalt dieser Projektarbeiten, die durch die TU Bergakademie Freiberg erfolgten, begleitet und betreut durch das LfULG, waren:

- umfangreiche geophysikalische Untersuchungen an der als geotechnisch kompliziert eingestuften Struktur Börnersdorf (Kapitel 9.2.1),
- Gefährdungen durch Massenbewegungen/unterirdische Hohlräume,
- Untersuchungen zu rohstoffgeologischen Nutzungskonflikten und materialwirtschaftliche Betrachtungen zur Nutzung bestehender Tagebaue für eine Deponierung von Massenüberschüssen,

- Literaturrecherche zu Gesteinskennwerten und erste geomechanische Laboruntersuchungen an ausgewählten Gesteinen im Korridorbereich,
- Erarbeitung eines geologischen 3D-Modells auf der Grundlage von Bohrungsdaten, geologischen Karten und Schnitten.

Durch die intensive Einbeziehung des LfULG und die permanente interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren (SMWA, Planer, LfULG, TU BAF) konnten die Ergebnisse der gesamten geowissenschaftlichen Untersuchungen sowie die Erkenntnisse aus dem geologischen 3D-Modell entlang des Trassenkorridors (Abbildung 4a) in den laufenden Planungsprozess einbezogen und die Trassenführung entsprechend der Empfehlung des Geologischen Dienstes in Lage und Höhe angepasst werden (Abbildung 4b, c). Dadurch wurde ein wertvoller Beitrag geleistet, um die Aufnahme in den Bundesverkehrswegeplan zu ermöglichen. Der Abschlussbericht des FuE-Projektes von 2015 kann auf der Internetseite der Neubaustrecke Dresden-Prag eingesehen werden: https://www.nbs.sachsen.de/download/neubaustrecke/Geophysik_und_3D_Modellierung_im_Osterzgebirge.pdf

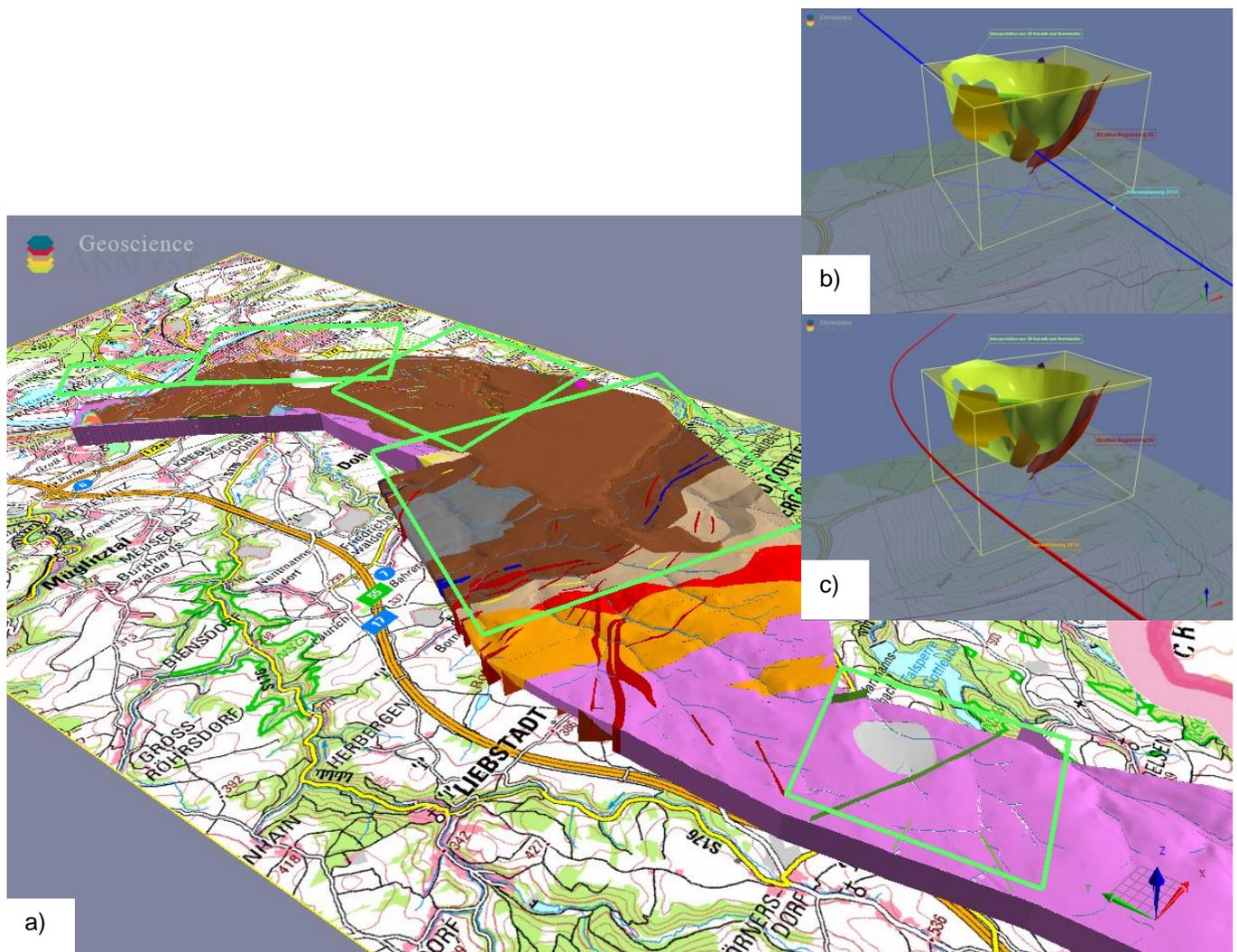


Abbildung 4: a) Geologisches 3-D-Modell im Betrachtungskorridor mit 3D-Modell der Struktur Börnersdorf. b, c) Der ehemals geplante Trassenverlauf (blaue Linie) wurde auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse des FuE-Projektes 2015 allen Beteiligten nach Westen verlegt, so dass die Struktur Börnersdorf umgangen wird (rote Linie) (KRENTZ, et al., 2015).

1.1.4 INTERREG Va-Projekt "Grenzüberschreitende Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Eisenbahnverkehrs Sachsen – Tschechiens" (2017-2020)

In Anbetracht der Interessensbekundung Sachsens und Tschechiens durch die Gründung des EVTZ (Europäischer Verbund für territoriale Zusammenarbeit) an dem Infrastrukturprojekt Eisenbahnneubaustrecke Dresden–Prag festzuhalten, wurde im Anschluss an die EU-Studie von 2014/2015 das INTERREG Va-Projekt (Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zur Entwicklung des Eisenbahnverkehrs Sachsen-Tschechien) bei der Sächsischen Aufbaubank (SAB) beantragt, an dem auch die geologischen Dienste von Sachsen und Tschechien beteiligt wurden.



Abbildung 5: Logos des INTERREG Va-Projektes.

Kooperationspartner

Im Rahmen des INTERREG Va-Projektes wurden die Themen Verkehr, Sozioökonomie und Geologie durch die fünf Projektpartner untersucht.

- LEAD-Partner: Tschechische Staatsbahn (Správa Železnic)
- Projektpartner 1: Tschechischer Geologischer Dienst (Česká Geologická Služba)
- Projektpartner 2: Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr
- Projektpartner 3: Universität Jana Evangelisty Ústí nad Labem
- Projektpartner 4: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie



Abbildung 6: Logos der Projektpartner.

Untersuchungsgebiet

Das gemeinsame Untersuchungsgebiet beschränkte sich auf den grenznahen Raum, um insbesondere geologische und tektonische Strukturen grenzüberschreitend betrachten zu können. Auf der sächsischen Seite beginnt der Betrachtungsraum südlich des Elbtalschiefergebirges, die Talsperre Bad Gottleuba einschließend und verläuft nach Querung der Grenze in südliche Richtung, den Vulkan Špičák einbeziehend, über den Erzgebirgsabbruch nach Chlumec in den Egergraben bis kurz vor Usti nad Labem.

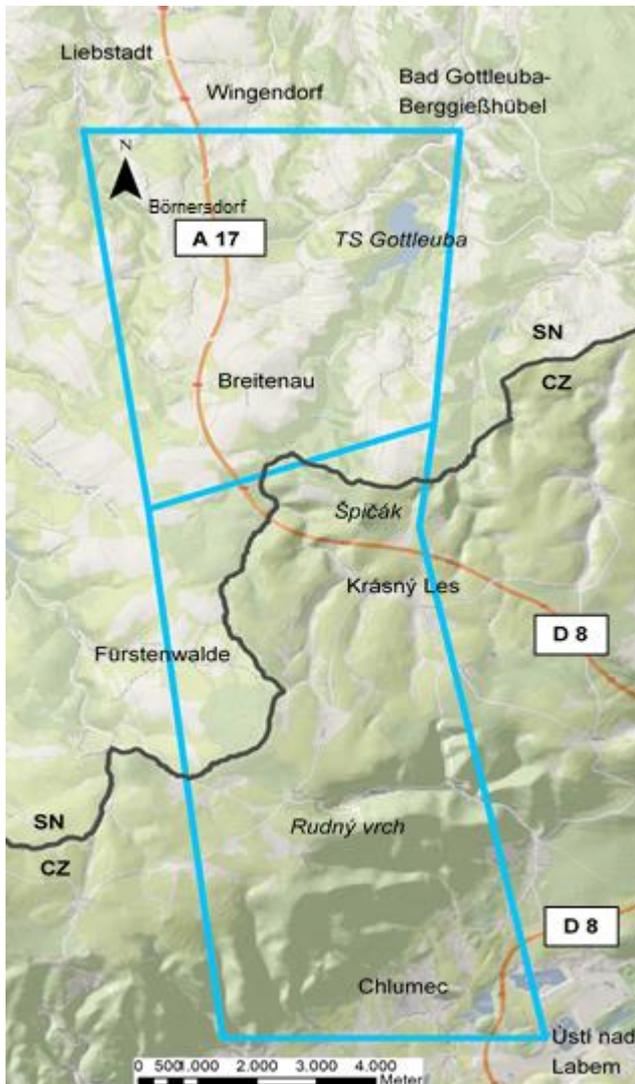


Abbildung 7: Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes.

Aufgabenstellung der Arbeitsgruppe Geologie

Zielstellung der Arbeitsgruppe Geologie war es, mittels geologischer und geophysikalischer Methoden eine Erweiterung des Kenntnisstands zur geologischen Situation zu ermöglichen, wobei der Schwerpunkt auf dem Erkennen möglicher geologischer/geotechnischer Problembereiche im Untersuchungsgebiet lag.

Durch die Kombination unterschiedlicher geophysikalischer Untersuchungsmethoden gekoppelt mit Kartierungsarbeiten sollte eine abgestimmte, vereinheitlichte Darstellung der tektonischen Situation im Grenzgebiet erreicht werden und die neuen Erkenntnisse in das auf sächsischer Seite bereits bestehende geologische 3D-Modell eingepflegt werden. Zusätzlich war dieses für das festgelegte grenzüberschreitende Untersuchungsgebiet bis zum Tunnelportal auf tschechischer Seite zu erweitern.

Die grenzübergreifende Abstimmung zum Vorgehen bei der Grundlagenermittlung sollte zu einer harmonisierten Visualisierung der Ergebnisse als Grundlage für die zukünftigen Planungen der Vorhabenträger führen.

Für die Umsetzung dieser Zielstellung waren im Projektantrag verschiedene Arbeitspakete festgeschrieben (Tabelle 2), deren zeitliche Realisierung über den Projektzeitraum von drei Jahren aufgeteilt war. Die Arbeitspakete 2 und 3 befassten sich mit den Themen Verkehr und Sozioökonomie und wurden von den anderen Projektpartnern bearbeitet.

Tabelle 2: Arbeitspakete der Arbeitsgruppe Geologie im INTERREG Va-Projekt.

Arbeitspakete	Aufgaben
Arbeitspaket 1	
Erarbeitung einer Methodik zur Vereinheitlichung der sächsisch-tschechischen Untersuchungen und Analysen	
1a	Entwicklung einer einheitlichen deutsch-tschechischen Methodik zur Datenerhebung, -analyse und -auswertung unter Berücksichtigung der Datenstruktur, sowie des Wissenstransfers zur geologischen Situation im Grenzbereich inklusive der Erarbeitung eines konzeptionellen geologischen Modells im Ergebnis der Datenerfassung und -auswertung sowie Erstellung einer grenzüberschreitenden geologischen Karte für das Untersuchungsgebiet
Arbeitspaket 4	
Analyse und Bewertung der geologischen Aspekte der Hochgeschwindigkeitsstrecke und grenzüberschreitende Betrachtung geologischer Störzonen zur Erweiterung des geologischen Kenntnisstandes im Vorhabensgebiet	
4g	Analyse potentieller Geogefahrenbereiche im Trassenuntersuchungsgebiet – tektonisch beeinflusste sowie instabile Bereiche im geologischen Untergrund, Rutschungen, ehemalige Bergbaugebiete
4h	Kenntnisstandsanalyse zur geologischen Situation sowie zur Verbreitung der Hauptgesteinsarten im Trassenkorridor der NBS
4i	Erstellung eines grenzüberschreitenden geologischen 3D-Modells für das Untersuchungsgebiet, für die Visualisierung geologischer Sachverhalte und die graphische Datenhaltung mit Augenmerk auf die Charakterisierung überregionaler, grenzüberschreitender bedeutsamer geologischer Störungszonen (z.B. Petrovice-Döbra, Krásný Les) auf der Grundlage geophysikalischer Untersuchungen und ingenieurgeologischer/hydrogeologischer Geländekartierungen tektonisch beeinflusster Bereiche
Arbeitspaket 5	
Bewertung der Chancen für die Nutzung der Projektergebnisse in der weiteren Planung	
5j	Darstellung der Nutzung der Ergebnisse im Raumordnungsverfahren, in der Grundlagenermittlung/Erkundungsplanung, im Wissenstransfer, in der Öffentlichkeitsarbeit

Diese Arbeitspakete waren mit Detailaufgaben untersetzt und in den folgenden Zeithorizonten, den sogenannten Meilensteinen, umzusetzen. Beim Meilenstein 2 ergab sich im Laufe der Bearbeitung die Möglichkeit, das Aufgabenspektrum durch die Vergabe von Masterarbeiten zu erweitern und im Zuge der Erstellung des 3D-Modells Längsschnitte für die Unterlagen des ROV für alle Trassenvarianten bereitzustellen.

Meilenstein 1 (02/2017–09/2017)

- Literatur-/Archivrecherche
- Geländearbeiten/Exkursionen mit dem Tschechischen Geologischen Dienst (ČGS)
- Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf
- Erstellung der grenzüberschreitenden geologischen Karte mit dem ČGS

Meilenstein 2 (09/2017-09/2019)

- Geophysikalische Untersuchungen an der Petrovice–Döbra Zone und im Gottliebatal
- Klippen- und Nassstellenkartierung
- Geländearbeiten/Exkursionen mit ČGS
- Aushaltung geotechnischer Problemzonen und Erstellung einer grenzüberschreitenden Karte mit Darstellung dieser Bereiche nach dem Ampelprinzip
- Erstellung von geologischen Längsprofilen im Trassenverlauf der Varianten A-G
- Erarbeitung von geologischen Querprofilen zwischen der Struktur Börnersdorf und der Staatsgrenze
- Erstellung und laufende Präzisierung des grenzüberschreitenden geologischen 3D-Modells
- Betreuung von Masterarbeiten (Abrasivität von Gneisen, Hydrogeologie)

Meilenstein 3 (10/2019–01/2020)

- Abschlussexkursion mit allen Projektpartnern
- Projektabschlusskonferenz mit anschließendem geowissenschaftlichen Fachkolloquium in Freiberg (23.01.2020)

Ergebnisse der Arbeitsgruppe (AG) Geologie

Die vorliegende Schriftenreihe enthält alle maßgeblichen Ergebnisse des SGD des LfULG aus dem INTERREG-Projekt, die ursprünglich in zwei Teilberichten (Methodik und Ergebnisse) an die SAB übergeben wurden. Die gemeinsame Kommunikation innerhalb der AG Geologie erfolgte auf Englisch. Berichte, die nur den tschechischen Teil betreffen sind teilweise auf Tschechisch, teilweise auf Deutsch oder Englisch in den Anlagen enthalten. Für die weitere Planung kann es deshalb erforderlich sein, Übersetzungen zu veranlassen.

Für einige der grenzüberschreitenden geologischen Geländearbeiten/Exkursionen wurden detaillierte Exkursionsführer erarbeitet, die teilweise auf der Internetseite des EVTZ einzusehen sind (<http://www.nbs.sachsen.de>). Auf Anfrage können diese durch den SGD zur Verfügung gestellt werden.

1.1.5 Raumordnungsverfahren (2019-2020)

Mit Aufnahme des Projektes in den vordringlichen Bedarf der Schieneninfrastrukturplanung und der Bedarfsplanungsvereinbarung zwischen der Deutschen Bahn und dem Bund vom Januar 2018 wurden die Leistungsphasen 1 und 2 des Projektes 2-045-V01 - Neubaustrecke Dresden – Prag durch die DB Netz AG im Auftrag des BMVI ausgelöst.

Im Zuge des Raumordnungsverfahrens (ROV) wurden sieben Trassenvarianten (Abbildung 8) auf ihre Vereinbarkeit mit den Zielen, Grundsätzen und sonstigen Erfordernissen der Raumordnung geprüft. Die Grundlagen für die geologischen Unterlagen zum Verfahren basieren auf den Ergebnissen des INTERREG Va-Projektes und wurden vom LfULG zur Verfügung gestellt (Kapitel 11).

Kriterien dafür sind unter anderem die Auswirkungen auf Mensch, Landschaft, Natur, Lärm, Geologie sowie Topografie. Für die Durchführung des ROV werden Einzelgutachten erstellt sowie Sachverständige, Umweltbehörden, Bürgerinitiativen und Träger öffentlicher Belange einbezogen. Die zuständige Behörde im Freistaat Sachsen ist die Landesdirektion Sachsen. Die DB Netz AG tritt als Antragstellerin und Vorhabenträgerin auf.

Im ROV erfolgt keine streckengenaue und parzellenscharfe Beurteilung. Die DB Netz AG wird auf der Grundlage der raumordnerischen Beurteilung die Vorplanung beginnen. Diese wird im Rahmen eines späteren Planfeststellungsverfahrens detailliert geprüft. Die Öffentlichkeit wird daran erneut umfassend beteiligt. Zuständige Behörde für das Planfeststellungsverfahren ist dann das Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Das ROV wird voraussichtlich 2020 abgeschlossen. Ab ca. 2025 wird mit der Behandlung des Projektes in den tschechischen und deutschen Parlamenten

gerechnet. Danach erfolgt die Erstellung der Genehmigungsplanung. Die eigentliche Bauphase beginnt nach Abschluss des Planfeststellungsverfahrens. In diesem Verfahren geht es u.a. um die Beurteilung der technischen, sozialen, ökologischen und geologisch/geotechnischen Aspekte durch den Bau und die Nutzung der geplanten Eisenbahntrasse.

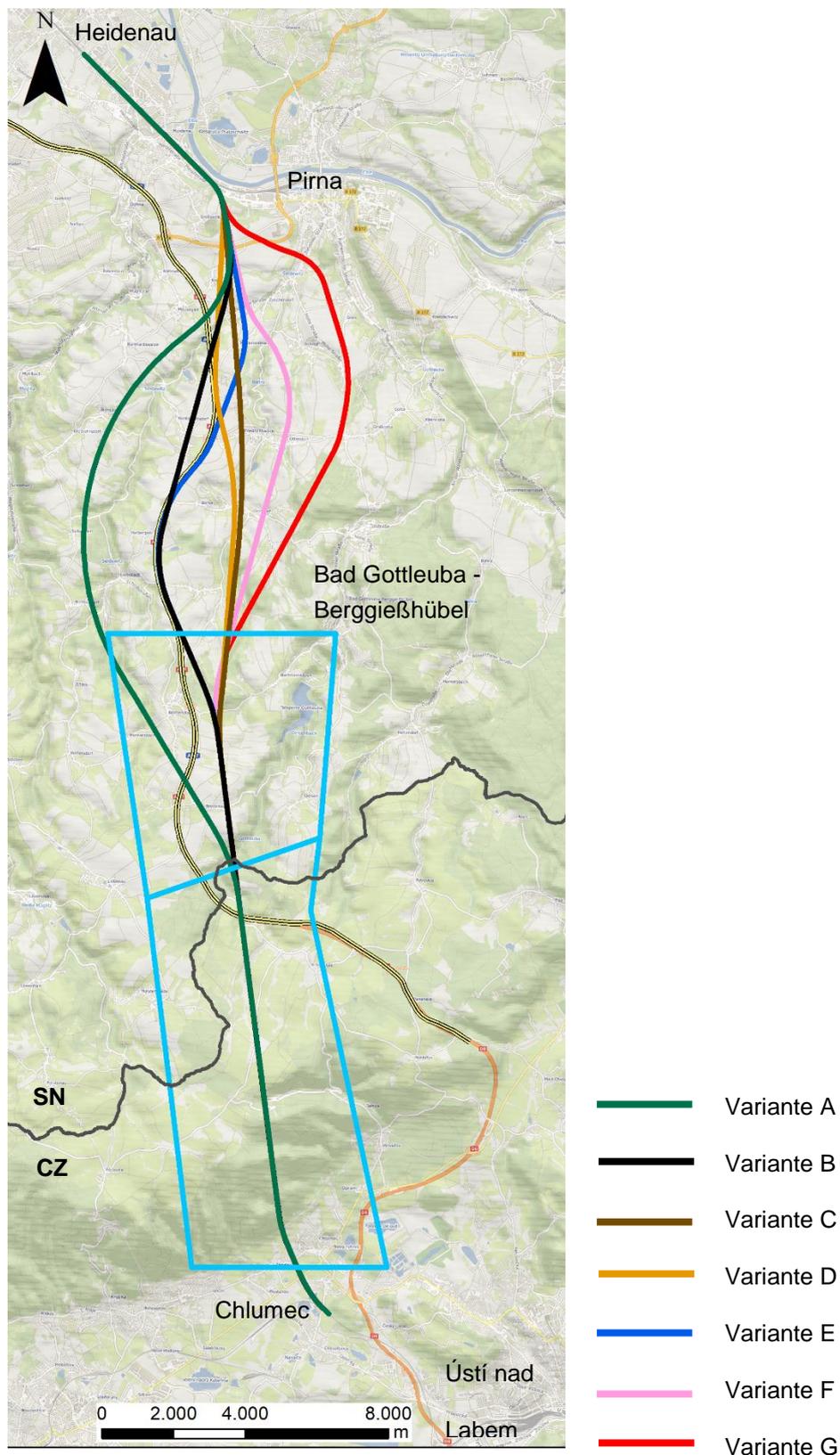


Abbildung 8: Lage des Untersuchungsgebietes des INTERREG Va-Projektes (hellblau) und der verschiedenen Trassenvarianten aus dem Raumordnungsverfahren (Stand 12/2019) von Heidenau bis Chlumec (CZ).

2 Geografie

Die Neubaustrecke Dresden-Prag verläuft annähernd Nord-Süd zwischen Heidenau (D) und Chlumec (CZ). Das Gebiet wird im Westen von der Müglitz und im Osten durch die Gottleuba begrenzt. Im Norden beginnt die Trasse im Elbtal auf ca. 118 m ü. NN. Das Gelände ist hügelig und steigt bis zum Erzgebirgskamm stetig an. Zwischen Meusegast und Zehista über- bzw. unterqueren die Trassenvarianten des Raumordnungsverfahrens die Seidewitz. Südlich der Seidewitz gibt es verschiedene aktive und auflässige Tagebaue. Die Variante G führt etwa 1,5 km westlich an der rund 390 m hohen Basalkuppe des Cottaer Spitzberges vorbei.

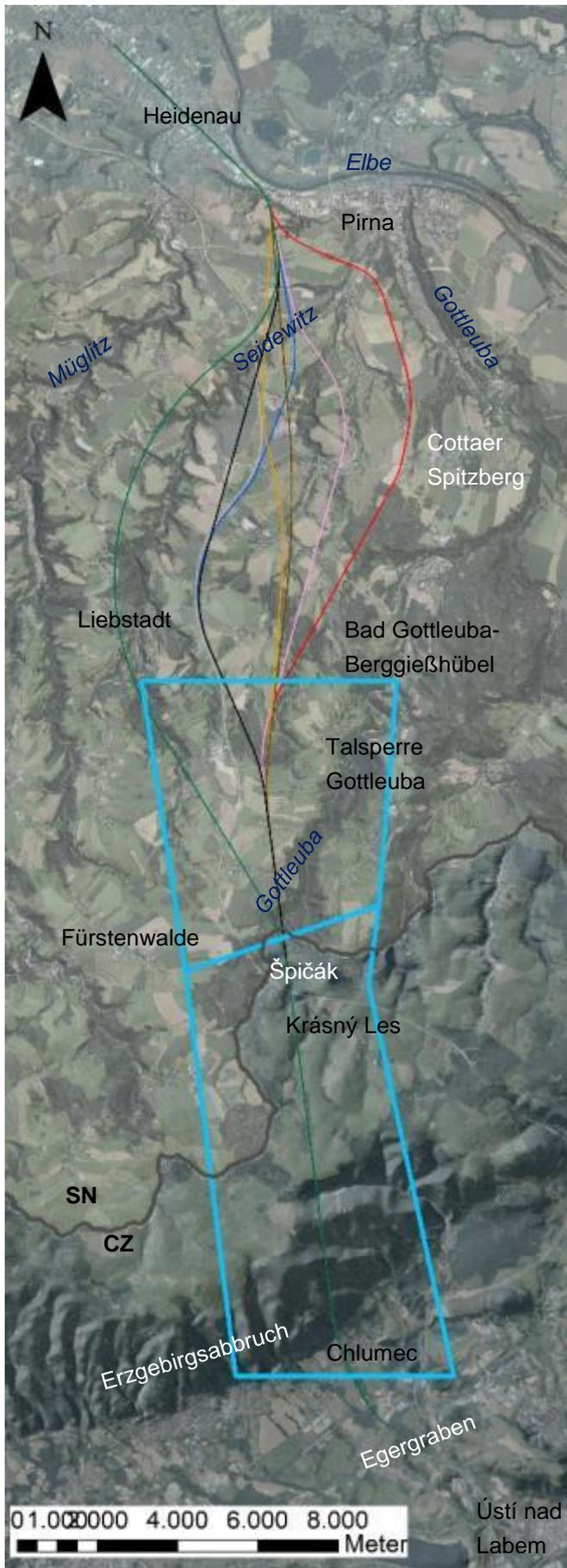
Die Untersuchungen im INTERREG Va-Projekt erfolgten ausschließlich im grenznahen Bereich der Schienenneubaustrecke Dresden-Prag. Das Gebiet wurde für vertiefende Untersuchungen ausgewählt, da auf der Grundlage der vorangegangenen Untersuchungen zwei geologisch komplizierte Strukturen detektiert wurden, die von allen sieben Trassenvarianten, die 2019 in das Raumordnungsverfahren (ROV) eingegangen sind, tangiert bzw. durchfahren werden.

Das sächsische Teilgebiet (Abbildung 9) erstreckt sich vom Kurort Bad Gottleuba bis zur Deutsch-Tschechischen Grenze südöstlich der Ortschaft Fürstenwalde über 10 km Länge. Von Börnersdorf im Westen bis Bärhau/Hellendorf im Osten hat es eine Ausdehnung von 6 km. Es wird vom Gottleubatal von SW nach NE gequert. Auf tschechischer Seite erstreckt sich das Projektgebiet über Krásný Les bis nach Chlumec.

Die Gottleuba, die sich im Projektgebiet morphologisch ins Gelände einschneidet, entspringt im Gebiet der Harthe als Zusammenfluss mehrerer Bäche, sowohl auf deutscher, als auch auf tschechischer Seite (bei Krásný Les). Der Fluss entwässert das Gebiet Richtung NNE und wird südwestlich des Kurortes Bad Gottleuba in einem etwa 13 Mio. m³ großen Talsperrenbecken gestaut.

Auf deutscher Seite stellt der Pfarrberg bei Breitenau (606 m ü. NN), westlich des Gottleubatals, die höchste Erhebung dar. Von Breitenau aus fällt das Gelände nach Norden auf ca. 400 m ü. NN bei Wingendorf ab. In Tschechien sind der Rudný vrch (796 m ü. NN), nördlich von Chlumec, und der Špičák (Sattelberg, 723 m ü. NN) bei Krásný Les an der deutsch-tschechischen Grenze die höchsten Erhebungen. Das Gelände fällt am Erzgebirgsabbruch steil nach Südosten hin ab. Die Stadt Chlumec befindet sich im Egergraben auf etwa 235 m ü. NN.

Im Egergraben liegen einige Kohleabbaugebiete.



- Variante A
- Variante B
- Variante C
- Variante D
- Variante E
- Variante F
- Variante G

Abbildung 9: Geografie im Untersuchungsgebiet mit den Varianten des Raumordnungsverfahrens (12/2019-08/2020). Blauer Rahmen = INTERREG Va-Projekt.

3 Geologie

3.1 Geologische Entwicklung

Die von Nord nach Süd verlaufende Neubaustrecke Dresden–Prag durchläuft verschiedene regionalgeologische Einheiten (Abbildung 14). 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 durchfährt sie die Schiefer, Tuffe und Diabase des **Elbtalschiefergebirges**, welches im Norden durch die Westlausitzer (Weesensteiner) Störung und im Süden durch die Mittelsächsische Störung (MSS) begrenzt wird. Bei dem Elbtalschiefergebirge handelt es sich um eine komplexe geologische Einheit, die aus vielen kleinräumig auftretenden und unterschiedlich stark deformierten Gesteinsarten besteht. Südwestlich von Bad Gottleuba ist der Turmalingranit des Elbtalschiefergebirges anstehend. Südlich der MSS verläuft die Trasse bis zum Erzgebirgsabbruch auf tschechischer Seite durch die Gneise des **Osterzgebirgskristallins**. Auf tschechischer Seite liegt das Tunnelportal der NBS in den tertiären Gesteinen des **Egergrabens**.

Das Erzgebirge ist eine nach NW geneigte asymmetrisch herausgehobene Pultscholle. Die dadurch entstandene Hochfläche wird von einigen, hauptsächlich NW-SE-streichenden Flusstälern durchzogen. Das Erzgebirge wird nach Süden durch den Erzgebirgsabbruch und nach Norden durch die Vorerzgebirgssenke begrenzt (Abbildung 10). Im Westen trennt die Flöha-Zone das Ost- und Westerbirge voneinander. Geologisch betrachtet, liegt das Untersuchungsgebiet im östlichen Teil des Osterzgebirges und ist der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone, bzw. dem metamorphen Sockel des Freiberg-Fürstenwalder Blocks des Saxothuringikums zuzuordnen (BERGMÜLLER, 1978).

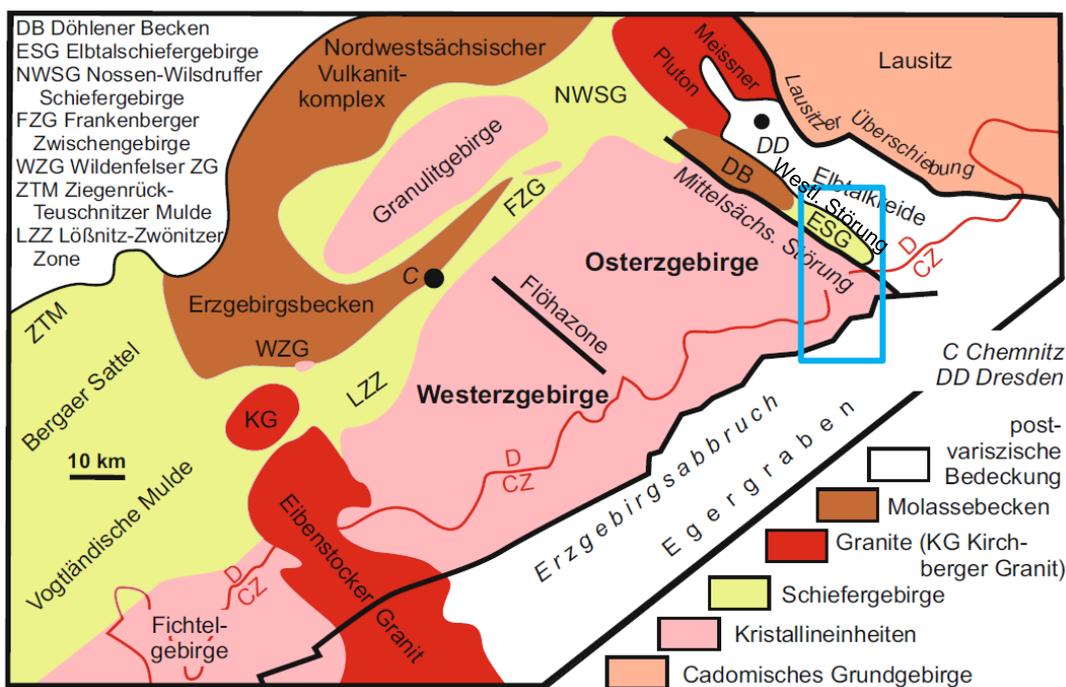


Abbildung 10: Regionalgeologische Einheiten des Erzgebirges und benachbarter Einheiten (SEBASTIAN, 2013). Der blaue Rahmen zeigt die ungefähre Lage des Trassenkorridors für die NBS Dresden-Prag.

Heute beschäftigt sich maßgeblich die Arbeitsgruppe um KRONER aus Freiberg ((KRONER & GÖRZ, 2010) (KRONER & ROMER, 2010) (KRONER, et al., 2010)) mit der komplexen geologischen Entwicklung des Saxothuringikums. Die Forschungsergebnisse sind in dem von LINNEMANN & ROMER (2010) herausgegebenen Werk enthalten und von SEBASTIAN (2013) zusammengefasst.

Die geologische Entwicklung des Untersuchungsgebietes begann im Neoproterozoikum. Mit dem Zerfall des Superkontinents Rodinia vor etwa 700 Ma kam es am Nordrand von Gondwana durch einen aktiven Inselbogen (Back-Arc) zu gebirgsbildenden Prozessen. Dadurch entstanden unter anderem Grauwacken (ca. 570 Ma) und Granodiorite (ca. 540 Ma).

Im Altpaläozoikum entstand durch Dehnungs- und Riftingprozesse am Nordrand Gondwanas unterschiedlich mächtige kontinentale Kruste. Dadurch bildeten sich ein breiter Schelfbereich. (WALTER & DORN, 1995)

Im Unterdevon (ca. 410-380 Ma) begann die Schließung des Rheischen Ozeans, da Gondwana in Richtung Laurussia driftete. Der äußere Schelfbereich Gondwanas wurde subduziert. Dies war der Beginn der variszischen Gebirgsbildung. Die Subduktion setzte sich solange fort, bis der Armorikanische Sporn, der aus nicht subduzierbarer, dicker Kruste besteht, in die Subduktionszone geriet. Dadurch sprang die Subduktionszone nach Süden hinter den Armorikanischen Sporn. Die variszische Gebirgsbildung erreichte ihren Höhepunkt vor ca. 340 Ma. In dieser Phase entstanden (Ultra-)Hochdruck-Gesteine, da kontinentale Kruste bis in Manteltiefen subduziert wurde. Die anschließende extrem schnelle Exhumierung führte zur Krustenstapelung. (KRONER & ROMER, 2013)

Durch die Krustenstapelung entstanden granitische Schmelzen. Dazu gehören die variszischen Granite und Ganggranite (u.a. Granitporphyr), sowie die Vulkanite der Osterzgebirgischen Calderen von Tharandt, Altenberg/ Teplice und des Meißner Massivs. Durch anschließende Heraushebung kam es zu Erosion des Gebirges und Sedimentation in Molassebecken.

In der Zeit des Jura und der Kreide spielte die Tektonik vor dem Hintergrund der Alpenorogenese und der Atlantiköffnung eine Rolle. Während Jura und Unterkreide gab es NE-SW gerichtete Dehnungserscheinungen. Durch die Öffnung des Südatlantiks und die Kollision der afrikanischen mit der eurasischen Platte wurde dieses Störungsmuster reaktiviert und es kam zu einer Inversionstektonik.

Während der Oberkreide lagerten sich marine Sedimente in die Nordböhmisches Kreidesenke ab. Im Bereich der Pforte zwischen der Westsudetischen Insel und der Zentraleuropäischen Insel kam es zu mergeligen und sandigen Ablagerungen. Im frühen Känozoikum wurde die eingeebnete Fläche des Erzgebirges als Pultscholle deutlich angehoben und nach Nordwesten schräggestellt. Die finale Hebung fand laut KRENTZ (mdl. Mitt.) vor rund 15 Ma statt. Durch das beginnende Rifting des Egergrabens im Oligozän mit einer N-S- und NW-SE-Dehnung kam es zu einem intensiven basischen Vulkanismus. Die känozoischen Vulkanite des Erzgebirges, wie z.B. der Berg Špičák südlich von Oelsen, und der Lausitz sind demnach deren Ausläufer.

3.2 Regionale Geologie und Hydrogeologie

Für die zukünftigen Erkundungsarbeiten an der Eisenbahnneubaustrecke wird in diesem Kapitel die Regionale Geologie von Heidenau bis zur sächsisch-tschechischen Grenze beschrieben.

3.2.1 Quartäre Lockergesteine

Die quartären Schichten werden durch hauptsächlich pleistozäne Lockergesteine unterschiedlicher Entstehung und Mächtigkeit repräsentiert (Abbildung 11). Im nördlichen Bereich bei Heidenau–Pirna sind sie am Talrand des Elbtals relativ geringmächtig, während sie auf den südlich angrenzenden Hochflächen Mächtigkeiten von bis zu 30 m erreichen. Oberflächennah stehen vor allem weichselkaltzeitliche Lössablagerungen und solifluidale Hanglehne an, die die Flusskiese der Elbe sowie elsterglaziale Schmelzwasser- und Flusskiese, Beckenbildungen und Grundmoränen überlagern. Die Mächtigkeit der holozänen Auenlehme und -kiese der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Müglitz, Gottleuba, etc.) übersteigt 10 m nicht.

Aufgrund ähnlicher Eigenschaften wurden quartäre Einheiten in den geologischen Schnitten (Anlage 1) in durchlässige, wasserleitende Lockergesteine (Grundwasserleiter) und geringdurchlässige, wasserstauende Lockergesteine (Grundwasserstauer) zusammengefasst. Eine detaillierte Unterteilung wäre aufgrund des Übersichtscharakters des Trassenschnittes, des Maßstabes und der 3D-Modellierung in diesem Stadium nicht zielführend gewesen.

Mächtige Grundwasserleiter sind beispielsweise die elsterkaltzeitlichen Müglitzschotter, die bis zu 10 m Mächtigkeit erreichen können und sowohl Richtung Elbtal nach Norden, als auch Richtung Seidewitz nach Osten entwässern. Mächtige Grundwasserstauer sind die elsterkaltzeitlichen Geschiebelehne auf der Hochfläche südlich von Heidenau.

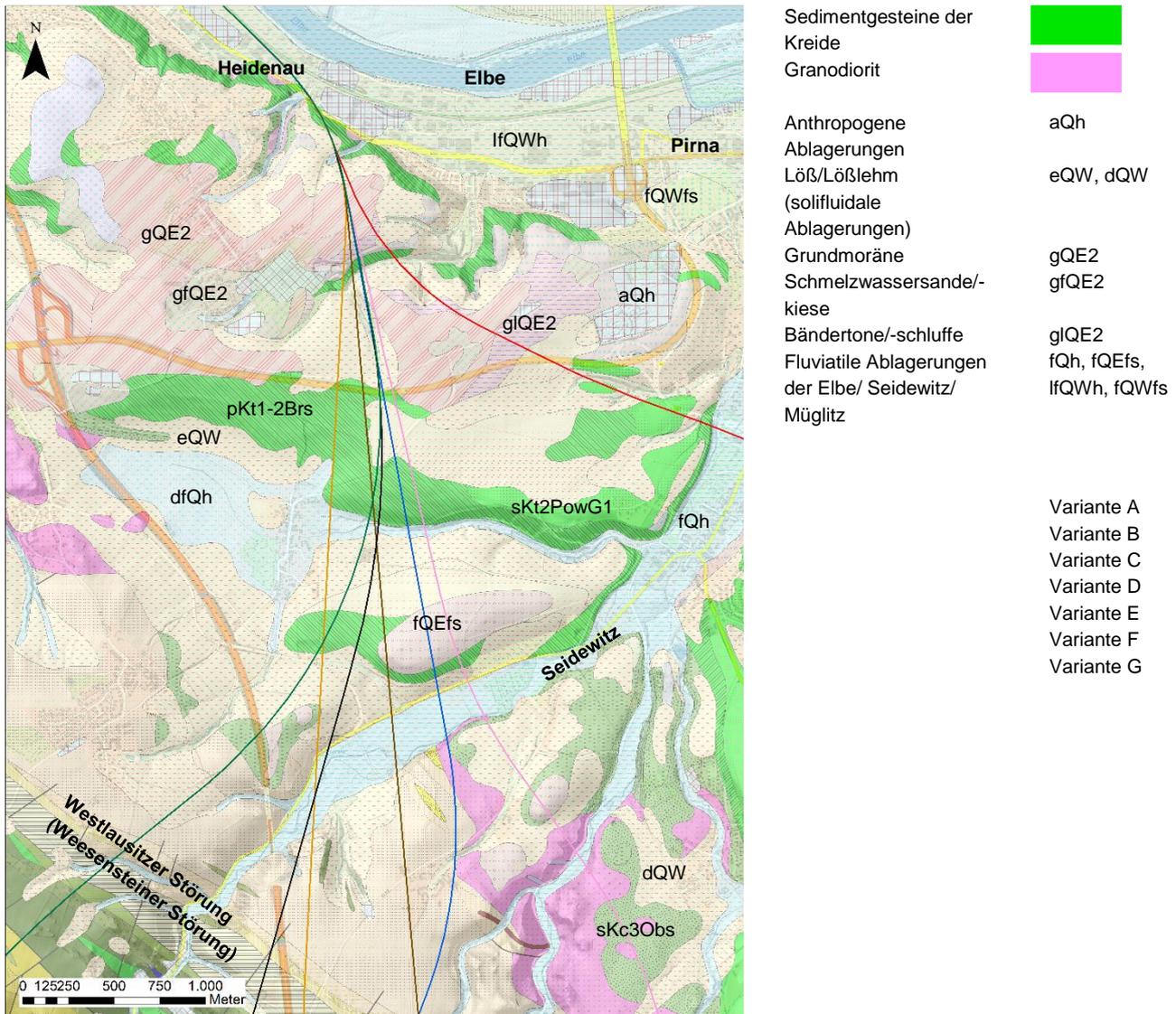


Abbildung 11: Quartäre Einheiten der dig. Geologischen Karte GK50 Blatt Pirna (KRENTZ, et al., 2008) und Trassenverläufe.

3.2.2 Kreideablagerungen

Die kretazischen Sedimente (Cenoman-Turon) im Bereich von Pirna sind durch einen starken faziellen Wechsel gekennzeichnet. Nördlich von Pirna herrscht eine mergelige Entwicklung vor (sogenannte Pläner), die nach Süden in eine sandige Fazies übergeht. (Abbildung 12, Abbildung 13). Die unterste Einheit bilden die Unterquader und plenus-Pläner der Dölzschen-Schichten. Diese werden von labiatus-Pläner bzw. -Sandstein der Briessnitz- und Schmilka-Schichten überlagert. Die obersten im Trassenverlauf aufgeschlossenen Einheiten bilden der Untere Grünsandstein und der lamarcki-Pläner der Postelwitz-Schichten. Die Kreide ist in TRÖGER (1997) detailliert beschrieben.

Am Nordhang des Seidewitztales wird der plenus-Pläner von Erosionsresten des labiatus-Pläner überlagert. Nach Osten ist mit einer abnehmenden Mächtigkeit des plenus-Pläner zu rechnen. Hier dominiert der labiatus Pläner. Am östlichen Seidewitzhang liegt der plenus-Pläner über dem Unterquadersandstein. Die diskordant auf den Granodioriten und Grauwacken aufliegenden Kreidesedimente keilen nach Süden hin aus. Die Mächtigkeit der Kreideüberdeckung entlang der Trasse reicht von teilweise wenigen Metern bis 50 m im Süden.

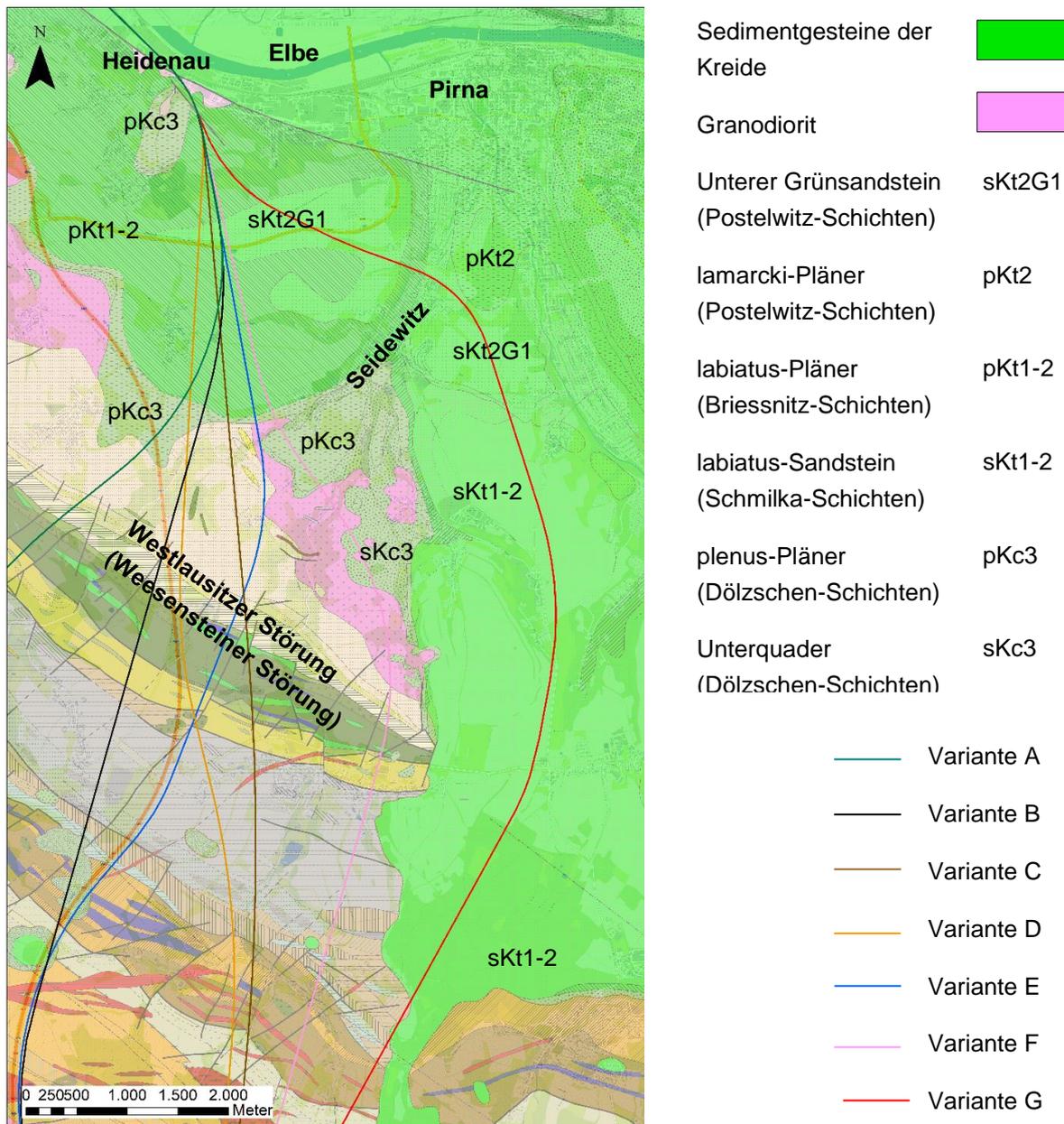
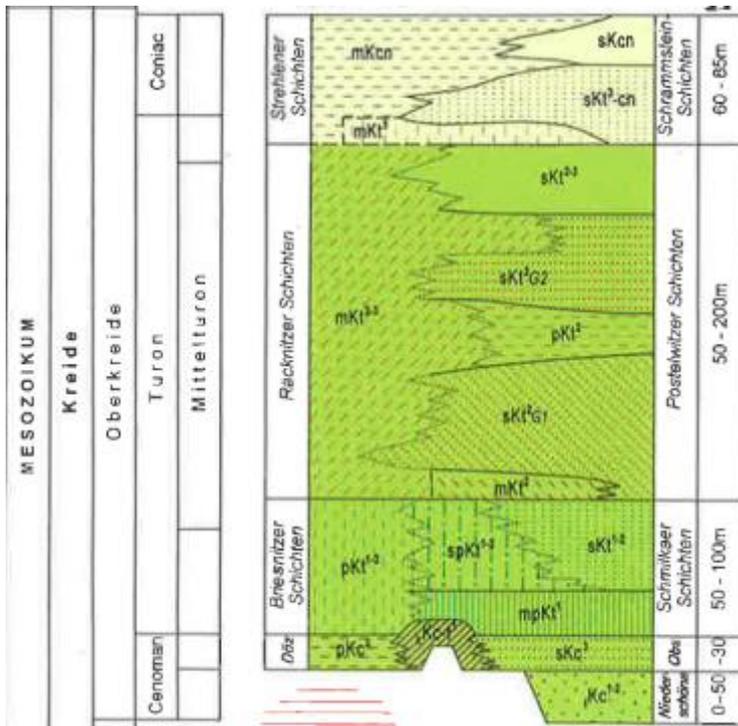


Abbildung 12 Geologischen Karte der Kreideablagerungen (KRENTZ, et al., 2008) und Trassenverläufe.



1. Grundwasserleiter
2. Grundwasserleiter
3. Grundwasserleiter
4. Grundwasserleiter

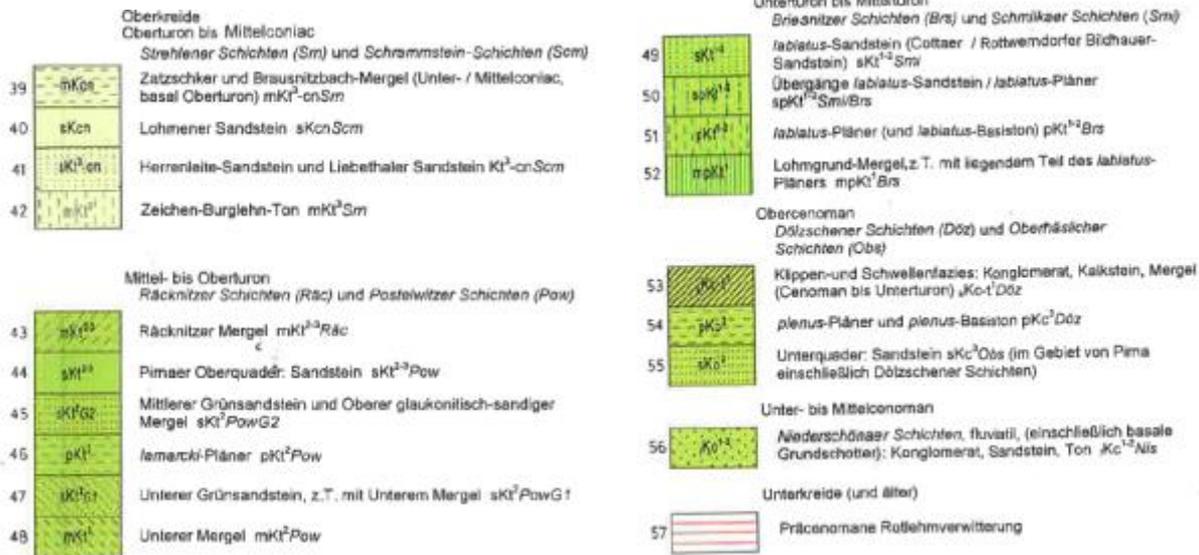


Abbildung 13: Normalprofil der Oberkreide und Grundwasserleiter (ALEXOWSKY, et al., 1996).

Der Übergang von der tonig-kalkigen Fazies im Dresdner Raum zur sandigen mit überwiegend kiesligem Bindemittel im Ostteil des Elbsandsteingebirges vollzieht sich unterschiedlich und flächenhaft zwischen Pirna und Königstein. Dadurch entsteht aus der Wechselfolge zwischen Grundwasserleitern (Sandsteinen) und Grundwassernichtleitern/Geringleitern (Pläner) ein differenzierter Stockwerksbau (Grundwasserleiter 1 - 4). Grundsätzlich sind die Sandsteine und mit deutlich eingeschränkter Wirksamkeit die Pläner in der schluffig-kalkigen Ausbildung Kluftgrundwasserleiter. Lokal poröse bis kavernöse Sandsteine besonders in den Oberhäslicher Schichten haben keinen Einfluss auf die großflächige Hydrodynamik. Der Porenraum des Sandsteines ist jedoch bei der Untersuchung von Migrationsproblemen und Speicherbetrachtungen zu berücksichtigen (Begriff der "Doppel-porosität", Kluft-Poren-Grundwasserleiter). Die mittlere Gebirgsdurchlässigkeit der Sandsteine beträgt $k_f = 0,50 \text{ E-4 m/s}$ (MIBUS, 1991). Die Gesteinsdurchlässigkeit liegt ein bis drei Zehnerpotenzen unter der Gebirgsdurchlässigkeit. Die Gebirgsdurchlässigkeit der Pläner wurde bislang durch Tests nicht ermittelt. Wegen fazieller Differenzierung ist mit einer größeren Schwankung zu rechnen (im Mittel zwischen 1 E-6 bis 1 E-8 m/s). Für den darunter folgenden Grundwasserleiter ergibt sich daraus eine entsprechende Hangendspeisung. Aus dem vorliegenden Datenmaterial ist eine stratigraphische und regionale Differenzierung der Werte nicht ableitbar. (WILKE, 1997)

Durch den Tunnelbau wären die Grundwasserleiter 2 bis 4 betroffen (Abbildung 13). Diese sind nach WILKE (1997) wie folgt charakterisiert:

- Die Postelwitz-Schichten umfassen den 2. Grundwasserleiter. Die Grundwassersohle wird vom Iamarki-Pläner gebildet, Grundwasserleiter ist der Mittlere Grünsandstein. Es wird indirekt in die Elbe entwässert. Am rechten Gottleubahang ist ein schmales Entwässerungsband über Quellen sehr geringer bis ausbleibender Schüttung.
- Unterturon und unteres Mittelturon (Schmilka-Schichten) bilden in ihrer sandigen Fazies den 3. Grundwasserleiter. Die unterturonen Sandsteine liegen konkordant auf dem hydraulisch deutlich trennenden unterturonen Pläner als Grundwassersohle. Südlich der Linie Goes ist der 3. Grundwasserleiter unbedeckt und hat hydraulische Verbindung zur Gottleuba. Der Wechsel von der kalkig-tonigen in die sandige Fazies ist westlich Pirna im Wesentlichen abgeschlossen. Dieser Übergangsbereich bildet allgemein die Westgrenze des Grundwasserleiters. Ab hier liegt er ostwärts flächendeckend vor. Die Hydrodynamik ist analog zum 4. Grundwasserleiter, wobei die Beeinflussung durch die bergbauliche Wasserhaltung kaum noch nachweisbar ist.
- Der 4., unterste Grundwasserleiter (Pirnaer Becken) wird aus den Sandsteinen der Oberhäslich- und den Dölzschen-Schichten (hauptsächlich marines Cenoman, d. h. Unterquader und untergeordnet plenus-Pläner) gebildet. Nur lokal sind Bereiche der unterlagernden Niederschöna-Schichten beteiligt. Bedingt durch die diskordante Auflagerung auf dem kristallinen Sockel und auftretender Randfazies ergeben sich größere Differenzen in der Mächtigkeit und Durchlässigkeit. Die Grundwasserneubildung erfolgt in den höhergelegenen Ausbissen. Dadurch und wegen des mächtigen unterturonen Hangendstauers ist das Grundwasser, von einem oberen schmalen Bereich abgesehen, gespannt, im Elbtal und den unteren Abschnitten der Seitentäler artesisch. Das Grundwasser besitzt keine freie Vorflut. Die Entlastung erfolgt im Bereich von Störungen in den 3. Grundwasserleiter und direkt durch Nutzung über Brunnen. Dabei zeichnet sich das Elbtal als großräumige Druckentlastungslinie ab. Deshalb ist die Grundwasserfließrichtung linkselbisch etwa NNE. Derzeit beeinflusst die bergbauliche Wasserhaltung der Grube Königstein die Hydrodynamik.

Das Grundwasser ist allgemein von mittlerer Mineralisation. Dabei ist eine Zunahme vom Speisungs- zum Entlastungsgebiet zu verzeichnen. Weiterhin wird die Mineralisation durch die Faziesdifferenzierung und durch unterschiedliche Austauschbedingungen infolge unterschiedlicher Hangendbedeckung der Grundwasserleiter bestimmt. Nach der Typisierung von SCUKAREV sind die Grundwässer vom Ca-HCO₃ Typ (Einfluss der kalkigen Bindemittel) bis zum Ca-Na-HCO₃-SO₄ Typ. Der Sulfatanteil entstammt der Pyritverwitterung. (WILKE, 1997)

3.2.3 Lausitzer Massiv

Die Granodiorite und Grauwacken in der Lausitz und der Elbezone sind die ältesten Gesteine im Untersuchungsgebiet. Sie entstanden an einem aktiven Inselbogen im Zuge der cadomischen Orogenese und bilden die Unterlage der erzgebirgischen Decken.

Am südlichen Rand des Elbtals lagern die quartären Kiese und Schotter der Elbe z.T. direkt auf dem Festgestein (Granodiorit) auf. Der obere Bereich des Granodiorits kann mitunter bis zu 10 m sandig, grusig verwittert sein und besitzt dann Lockergesteinscharakter mit grundwasserleitenden Eigenschaften. Somit handelt es sich hier um einen komplexen Grundwasserleiter, bestehend aus quartären Lockersedimenten und der sandigen Verwitterungsschicht des Granodiorits, der eine hydraulische Verbindung zwischen beiden grundwasserleitenden Schichten erwarten lässt. In einer östlich der Trassenführung gelegenen Grundwassermessstelle des Landesmessnetzes Sachsen wurde im Hochwasserjahr 2013 ein Grundwasserstand von ca. 114 m HN gemessen (Grundwasserflurabstand von 5 m), was als flurnah zu bewerten ist.

Wie oben beschrieben, lagern nach Süden hin kreidezeitliche Mergelsteine auf der Verwitterungskruste des Granodiorits auf. Diese besitzen wasserstauende Eigenschaften und werden außerhalb des Elbtals von den grundwasserleitenden Müglitzschottern (bis 10 m mächtig) überlagert.

3.2.4 Elbtalschiefergebirge

Die Gesteine des Elbtalschiefergebirges wurden während der variszischen Orogenese intensiv tektonisch beansprucht, die Deformation verteilte sich allerdings räumlich heterogen über den Gesteinskomplex. Dies führt zum Vorkommen von sehr unterschiedlichen Gesteinsarten. Hierdurch kommen Gesteine in enger Nachbarschaft vor, die unterschiedliche geologische Alter und Metamorphosegrade aufweisen. (WEBER & Thiele, 2020)

Die 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. Im NE liegen die bis max. 900 m mächtigen, kontaktmetamorphen Metabasite, Tonschiefer und Grauwacken der Bahre- und Donnerbergformation. Danach folgt eine bis zu 500 m mächtige Abfolge von unterkarbonen Konglomeraten, Grauwacken und Tonschiefern. 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. 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. Eingelagert sind ein weitaushaltender, bis zu 300 m mächtiger Chloritgneis-Horizont und Vorkommen von Turmalingranit an der Basis dieser Gruppe. Sowohl der Chloritgneis als auch der Turmalingranit sind tektonisch stark überprägt und z. T. mylonitisiert. (KRENTZ, et al., 2015)

Die Seidewitz quert das Elbtalschiefergebirge von NE nach SW nahezu senkrecht zu dessen Streichen und folgt in ihrem Verlauf wahrscheinlich einem tektonischen Störungssystem. Die Tiefenlage dieser Störungen, deren exakte Lage im Raum hinsichtlich ihres Einfallens sowie ihre geohydraulischen Eigenschaften bzgl. möglicher Wasserwegsamkeiten sind nicht bekannt. Bei der Unterquerung der Seidewitz mittels eines Tunnelbauwerkes sollte auf den Flussverlauf geachtet werden, da besonders mehrfache Richtungswechsel des Flusses gestaffelte Störungssysteme vermuten lassen, deren Tiefenwirkung nicht bekannt ist und mit geotechnischen und geohydraulischen Erschwernissen verbunden sein kann.

Die Gesteine des Elbtalschiefergebirges führen in ihren Klüften nur wenig Grundwasser. Ihre tonig-schluffig-steinige Verwitterungsdecke bewirkt einen überwiegend oberirdischen Abfluss der Niederschläge. Der hypodermische Abfluss in der Verwitterungsdecke ist gering. Die Grundwasserneubildung liegt bei $< 2 \text{ l/s km}^2$. (WILKE, 1997)

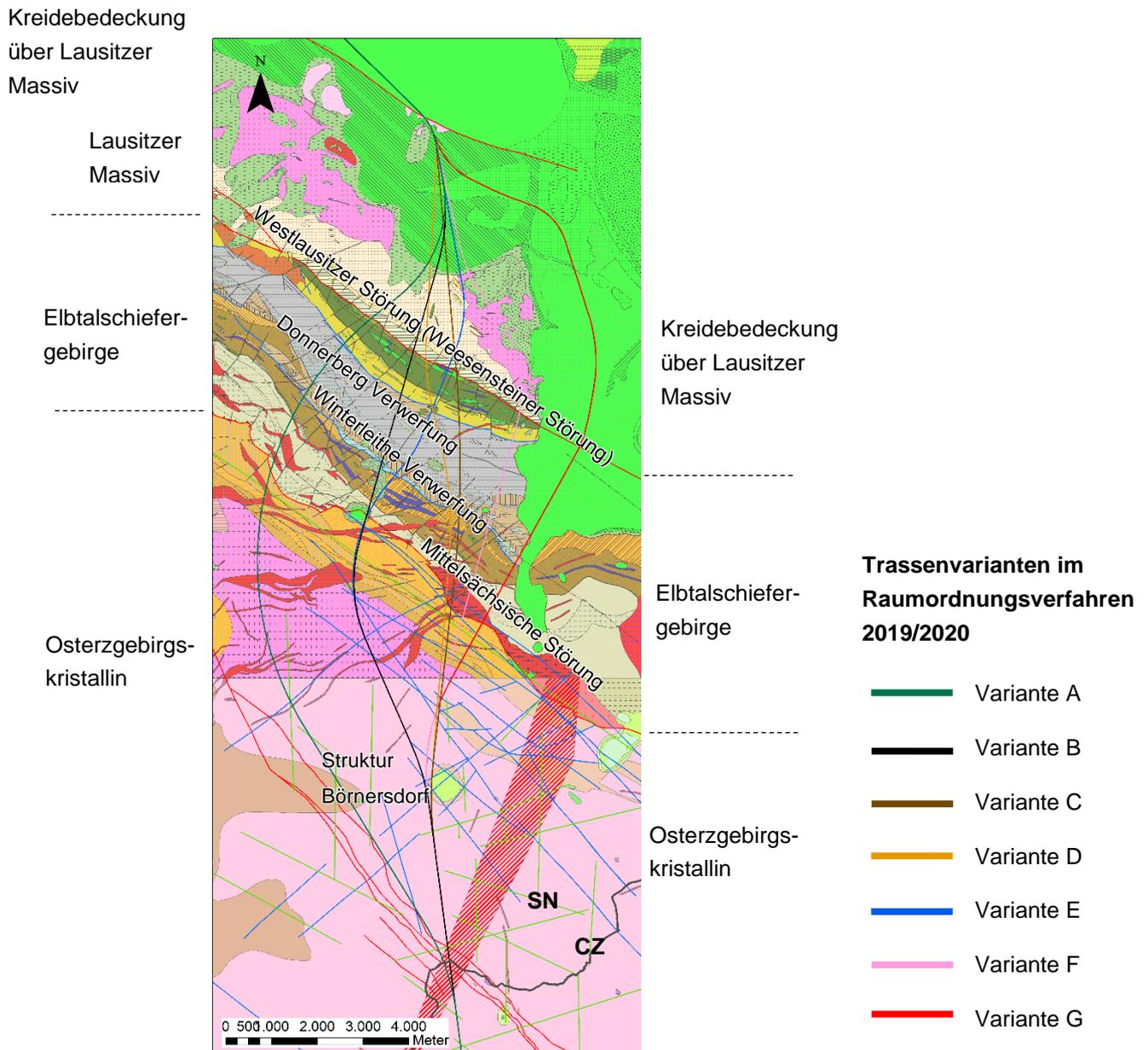


Abbildung 14: Geologische Karte GK50 Erzgebirge/Vogtland (KRENTZ, et al., 2008) und Ausschnitt der grenzüberschreitenden geologischen Karte ohne Quartär der Neubaustrecke Dresden-Prag (ČECH, et al., 2017) mit den regionalgeologischen Bezeichnungen und Störungen (rot - übergeordnet, blau - untergeordnet, grün - morphologisch).

3.2.5 Osterzgebirgskristallin

Auf deutscher Seite wird das Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes hauptsächlich aus massiven, mittelgrobkörnigen, schuppigen und kalifeldspatführenden Orthogneisen aufgebaut. Lediglich im Nordosten sind zwei bis zu 600 m breite Zonen aus feinkörnigem, häufig schiefrigem, plagioklasführendem Zweiglimmerparagneis aufgeschlossen. Die Gneisgebiete sind insbesondere im Bereich der Mittelsächsischen Störung deformiert. Die Strukturen Börnersdorf und Petrovice-Döbra liegen innerhalb des Osterzgebirgskristallins und werden in den Kapiteln 3.4 (Tektonik), 8.2.2 (Hydrogeologie) und Kapitel 9 (Geophysik) ausführlich beschrieben.

Das kristalline Osterzgebirge ist geprägt durch Störungen. Hohlräume sind ausschließlich Klüfte, die oberflächennah durch die Verwitterung geweitet oder verkarstet sind. Das Gebiet besteht hauptsächlich aus Kluffgrundwasserleitern. Grundwasserleiter können sich demnach nur in Klüften und in Senken der Verwitterungs- und Auflockerungszone ausbilden. Die Grundwasserleiter-Mächtigkeiten sind stark faziesabhängig. Die Klüfte sind in der Regel bis in eine Tiefe von 60 m unter GOK geweitet. In größeren Störungssystemen können auch vereinzelt tiefer geweitete Klüfte auftreten (> 60 m unter GOK). Die Durchlässigkeit ist stark wechselnd und richtungsabhängig. Ebenso hängt diese stark von der

Klufffüllung ab. Tonminerale oder sekundäre Minerale, wie Limonit und Calcit, können die Durchlässigkeit stark verringern. Diese nimmt aber auch mit der Tiefe, aufgrund des steigenden Gebirgsdruckes, ab. Im Allgemeinen beträgt die Durchlässigkeit (kf-Wert) der Gneise $> 7E-9$ bis $1E-7$ m/s. Stellenweise können Durchlässigkeiten von $> 1E-7$ bis $1E-5$ m/s erreicht werden. Im Untersuchungsgebiet können besonders in gestörten Bereichen höhere kf-Werte erwartet werden. (KÖHLER, 2019)

3.3 Petrographie auf sächsischer Seite

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Petrographie der auf sächsischer Seite im Trassenverlauf zu erwartenden Gesteine. Die Beschreibung der Gesteine auf der tschechischen Seite (Egergraben und Böhmisches Mittelgebirge) kann der Anlage 2 entnommen werden. Da während des INTERREG Va-Projektes nur der grenznahe Bereich kartiert worden ist, gibt es an dieser Stelle keine Beschreibung der Gesteine des Elbtalschiefergebirges, der Kreideablagerungen oder quartären Lockergesteine. In Kapitel 10.4.2 sind die Fest- und Lockergesteine unter ingenieur-geologischen/geotechnischen Gesichtspunkten beschrieben.

3.3.1 Paläogen-Neogen

Olivinbasalt, kompakt

Die känozoischen alkalischen Gesteine sind meist basaltische Gesteine. Sie bilden Laven, Gänge und Kanäle. Olivinbasalte sind aphanitisch und feinporphyrisch mit in die Gesteinsmatrix eingeschlossenen Phenokristallen von Olivin und Klinopyroxen, die aus Plagioklas, Klinopyroxen, Olivin, Magnetit, Nephelin, Glas und örtlich anteilig auch aus Amphibol, Phlogopit und Apatit bestehen.

3.3.2 Mesozoikum

Struktur Börnersdorf (Kreide)

Die Struktur Börnersdorf ist durch kretazische Mergel und teilweise auch Sandsteine innerhalb der proterozoischen Gneise gekennzeichnet. Die Entdeckung und die Besonderheiten dieser außergewöhnlichen Struktur, deren Genese noch nicht abschließend geklärt ist, sind im Kapitel 9.2.1 beschrieben.

Oberflächennah stehen graue, plastische Mergel des unteren bis mittleren Coniacs an. Zum Alter und zur Ausbildung der die Mergel unterlagernden Sandsteine liegen noch keine Erkundungsergebnisse vor. Dass es sich um Sandsteine handeln muss, geht bisher nur aus dem Geschwindigkeitsmodell der seismischen Untersuchungen hervor.

3.3.3 Paläozoikum

Turmalingranit

Der Turmalingranit bildet entlang der Mittelsächsischen Störungzone mehrere ca. 3 km lange und bis zu 1 km breite linsenförmige Körper. Das Gestein ist mittel- bis grobkörnig, nach NE hin feinkörniger und ist häufig tektonisch sehr stark beansprucht. Die Randbereiche der Gesteinskörper sind mylonitisiert. Diese Zonen haben unterschiedliche Mächtigkeiten. Die zentralen Bereiche zeigen kataklastische Gefüge (RAUCHE, 1992). Es handelt sich um glimmerfreie turmalinführende Granite aus fleischfarbenen Orthoklas, weißlichem Plagioklas und Quarz. Der Turmalingranit ist häufig zerklüftet und in diesen Bereichen stark verwittert (PIETZSCH, 1919).

Rhyolithgänge (veraltet: Quarzporphyr)

Das Elbtalschiefergebirge und das Osterzgebirgskristallin werden immer wieder von 1-10 m mächtigen Rhyolithgängen durchzogen. Im Untersuchungsgebiet sind diese vor allem im NW, am Rückhaltebecken Liebstadt, aufgeschlossen, aber auf Grund des geringen Vorkommens im INTERREG Va-Projekt nicht näher untersucht worden. Die Rhyolithe setzen sich aus einer sehr feinkörnigen bis dichten Grundmasse mit zahlreichen Einsprenglingen von Quarz und Feldspat zusammen. (PIETZSCH, 1919)

3.3.4 Altpaläozoikum-Proterozoikum

Gneise

Der größte Teil des Untersuchungsgebietes wird von Gneis gebildet. Dabei ist der Orthogneis das dominierende Gestein.

Orthogneis

Die Orthogneise sind ein mittelkörniger Metamorphit mit flasrigem, porphyroklastischem Gefüge. Sie bestehen aus Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat und Biotit. Das Gestein ist entlang der Gottleuba und im Heidenholz, an der Straße von Börnersdorf nach Hartmannsdorf, in Klippen aufgeschlossen.

Die Schieferung ändert sich im Projektgebiet mehrfach. An der Staumauer der Talsperre Gottleuba fällt sie flach nach NW-N ein, im Oberlauf der Talsperre fallen die Gneise steiler nach SW ein. Im Heidenholz steht der Orthogneis senkrecht und streicht SW-NE. Westlich der Autobahn A 17 geht aus der geologischen Karte eine flache, fast horizontale Lagerung der Gneise hervor.

Zweiglimmerparagneis

Die Zweiglimmerparagneise sind klein- bis mittelkörnige kalifeldspatfreie Biotit-Muskovitgneise mit porphyroblastischem Gefüge. Stellenweise sind geringmächtige Bereiche sehr feinkörniger bis dichter, gleichkörniger Gneise und Chloritgneise eingeschaltet. Wegen der geringen Mächtigkeit werden diese in der grenzüberschreitenden geologischen Karte und im 3D-Modell nicht separat ausgehalten. Die Zweiglimmerparagneise fallen steil nach N-NE ein.

Amphibolit

Der Amphibolit ist feinkörnig ausgebildet, manchmal mit feinkörnigem Granat. Bildet seltene Boudins in Orthogneisen.

3.4 Tektonik

Die Beschreibung der Tektonik erfolgte im Wesentlichen nach KRENTZ, et al. (2015), Beratungsprotokoll (2019) und STANEK (2016).

3.4.1 Generelles Störungsmuster

Die tektonische Entwicklung Sachsens kann nach STANEK (2016) in vier geotektonisch abgrenzbare Zeiträume gegliedert werden. Während der variszischen Orogenese bildeten sich NW-SE-streichende transregionale dextrale Blattverschiebungen aus. Zu diesen zählen die Westlausitzer und die Mittelsächsische Störung (Anlage 3).

Die paläozoisch-mesozoische Tektonik im Oberkarbon bis Jura ist geprägt durch Abschiebungen. In der Kreide kam es zur Inversion des tektonischen Spannungsfeldes. Es bildeten sich NW-streichende NE- bzw. SW-vergente Aufschiebungen, wie die Lausitzer Überschiebung, und NE-streichende sinistrale Blattverschiebungen (z.B. Borsberg-Störung) aus. Die größte, transregionale Störung der känozoischen Tektonik im Neogen bis Quartär bildet der Erzgebirgsabbruch.

Wie in den Abbildung 15 und Abbildung 16 erkennbar ist, streichen die Störungen NW-SE, SW-NE und N-S. Die NW-SE-streichenden Störungen verlaufen parallel zu den Hauptstörungen (MSS und Petrovice–Döbra Zone). Die N-S-streichenden Störungen sind vor allem aus der Morphologie erkennbar. Nach SEBASTIAN (2013) sind diese N-S-Strukturen das Ergebnis einer späten N-S-Einengung.

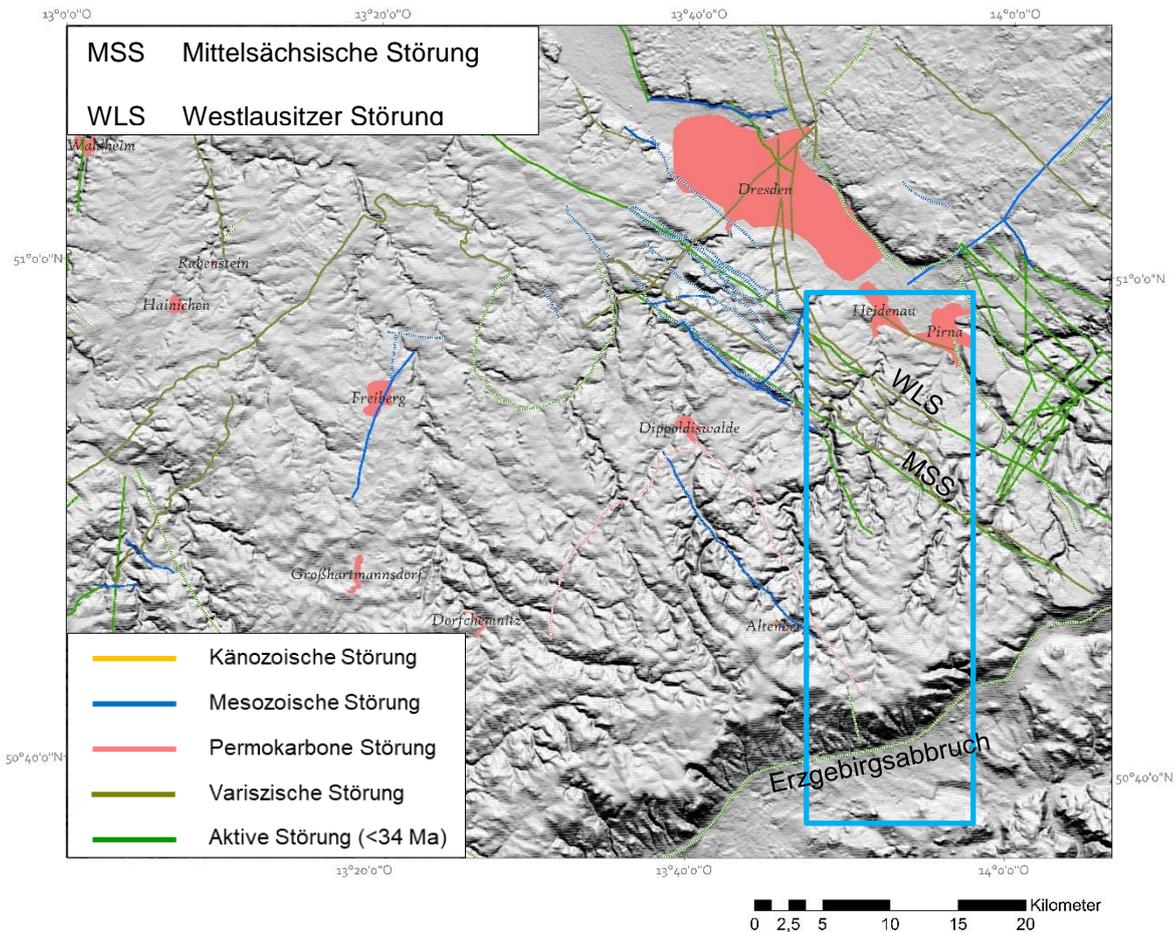


Abbildung 15: Karte der aktiven Störungen im Umfeld der Neubaustrecke Dresden-Prag. Das Untersuchungsgebiet ist mit dem blauen Rahmen markiert.

3.4.2 Regionale Bedeutung der Störungen

Nach STANEK (2016) werden die Störungen in Sachsen unterteilt in die Kategorien

- Transregional (> 100 km)
- Regional (20-100 km)
- Lokal (< 20 km)

Für die im Trassenkorridor zu querenden Störungen liegt nur für einige eine regionale Charakterisierung vor (Anlage 3). Für den Bereich der Eisenbahnneubaustrecke kann die nachfolgende Zuordnung vorgenommen werden, wobei bisher nicht alle Störungen durch STANEK (2016) charakterisiert wurden.

- Transregional: Westlausitzer Störung und Erzgebirgsabbruch
- Regional: Mittelsächsische Störung
- Lokal: Petrovice-Döbra Zone, Donnerber und Winterleithe Verwerfung, Struktur Börnersdorf

3.4.3 Hauptstörungen

Als Hauptstörungen werden in der vorliegenden Arbeit Störungen bezeichnet, die mehrere Meter breit und voraussichtlich hydraulisch wirksam sind.

Westlausitzer (Weesensteiner) Störung

Die NW-SE streichende Westlausitzer Störung bildet die Grenze zwischen den Granodioriten des Lausitzer Massivs und den altpaläozoischen Schiefen des Elbtalschiefergebirges. Es handelt sich um eine variszisch angelegte duktile Seitenverschiebung mit dextralem Bewegungssinn (STANEK, 2016), die wahrscheinlich senkrecht einfällt. Die Störungszone ist mehrere zehner bis wenige hundert Meter mächtig (KRENTZ, et al., 2015). Es können bisher keine Aussagen zur hydraulischen Wirksamkeit getroffen werden.

Mittelsächsische Störung (MSS)

Im Nordosten des Untersuchungsgebietes streicht die Mittelsächsische Störung NW-SE und besitzt ein nach NE gerichtetes Einfallen zwischen 50 bis 80° (RAUCHE, 1992). Sie bildet die Grenze zwischen dem Elbtalschiefergebirge und dem Osterzgebirgskristallin. Bei der Mittelsächsischen Störung handelt es sich um eine variszische Hochtemperatur (HT) Scherzone. Nach BANKWITZ (1968) sind Teile der MSS und deren Parallelstörungen wahrscheinlich an rezenten Bewegungen beteiligt. Im Untersuchungsgebiet sind Turmalinminerale aufgeschlossen, welche im Bereich der Mittelsächsischen Störung intrudierten. Südlich der MSS stehen die Gneise des Osterzgebirges an.

Alle bisher betrachteten Trassenvarianten/-korridore queren diese Störung je nach Verlauf in unterschiedlichen Bereichen. Die Störung ist in ihrem Verlauf nicht homogen ausgeprägt. Bereichsweise liegen nur geringe Deformationen vor, während an anderer Stelle über hunderte Meter eine intensive Entfestigung und/oder Mineralumbildung stattgefunden hat, so dass die Gebirgsstabilität im Umfeld der Störung als heterogen einzustufen ist.

Petrovice–Döbra Zone

Die Struktur Petrovice–Döbra ist eine bis zu 1000 m breite NW-SE streichende Störungszone im südwestlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, die nach seismischen Untersuchungen mit ca. 50-60° nach NE einfällt. Auf tschechischer Seite ist sie durch zahlreiche Bohrungen aufgeschlossen. Innerhalb der Struktur konnten durch geophysikalische Messungen mehrere Einzelstörungen nachgewiesen werden (Kapitel 0). Charakteristisch sind Auflockerungszonen mit lokaler Quarz-Fluorit- und Barytmineralisation. Innerhalb der brekzierten Bereiche kann von einer guten Wasserführung ausgegangen werden (siehe dazu auch Kapitel 8.2.2). Die Petrovice-Döbra Zone kann in Verbindung mit der Struktur Schlottwitz-Krasny Les gesehen werden und bildet möglicherweise deren SE- Fortsetzung (SMWA, 2008).

Gottleubatal

Das Gottleubatal ist nach aktuellem Kenntnisstand ein Störungseinflussbereich. Dabei ist bisher keine durchgehende Störungszone nachweisbar. Es handelt sich vielmehr um einen Bereich aus vielen gestaffelten Einzelstörungen unterschiedlichen Alters (Oberkreide bis Post-Eozän). Die einzelnen Störungen streichen NW-SE, N-S und E-W. Deshalb erfolgte bisher keine Zuordnung der regionalen Bedeutung.

Die N-S und E-W-streichenden Störungen sind aus der Morphologie ableitbar. Sie sind jünger, als die NW-SE-streichenden Störungen, welche meist durch geophysikalische Messungen nachgewiesen worden sind. Bis auf den Bereich der Talsperre konnten im Gottleubatal bisher an den oberflächennahen Klippen bei den Kartierungsarbeiten keine Hinweise auf dominante Störungen gefunden werden.

3.4.4 Untergeordnete Störungen

Parallel zur Mittelsächsischen Störung gibt es weitere Störungen, welche entsprechend den Kartierungsergebnissen nach Westen einfallen (Kapitel 7.2.3). Außerdem wird an der Struktur Börnersdorf eine SW-NE-streichende Störung angenommen, welche durch die Geomorphologie über die gesamte Breite des Untersuchungsgebietes verfolgt werden kann. Diese Störung verläuft parallel zum Erzgebirgsabbruch und ist wahrscheinlich im Känozoikum entstanden.

Donnerberg und Winterleithe Verwerfung

Bei den beiden Störungen handelt es sich um Hauptelemente des Elbtalschiefergebirges. Die dextralen Aufschiebungen streichen schieferungsparallel NW-SE und fallen nach NE ein (Anlage 3). Sie sind mitverantwortlich für den Schuppenbau des Elbtalschiefergebirges (KRENTZ, et al., 2015). Bisher können keine Aussagen zur hydraulischen Wirksamkeit getroffen werden.

Börnersdorf

Die tektonische Charakteristik konnte mittels indirekter Erkundungsmethoden bisher noch nicht abgeschlossen werden. Kennzeichnend für die Struktur Börnersdorf ist die Vielzahl begleitender Störungen, die maßgeblich NNW - SSE und SW - NE streichen. Eine tektonische Analyse auf der Grundlage der umfangreichen geophysikalischen Untersuchungen ist in Kapitel 9.2.1 enthalten. Eine hydrogeologische Charakterisierung der Struktur ist im Kapitel 8.2.2 erfolgt.

3.4.5 Morphologische Lineamente

Die morphologischen Lineamente gehen aus der Analyse des Digitalen Geländemodells und von Luftbildern hervor. Es handelt sich um Taleinschnitte, die sich vermutlich entlang jüngerer Störungen gebildet haben. Die morphologischen Lineamente sind jedoch nicht durch Geländekartierungen oder geophysikalische Untersuchungen belegt. Daher können auch keine weiteren Aussagen über deren Charakter getroffen werden.

Die geomorphologische Analyse erfolgte bisher nur im Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes.

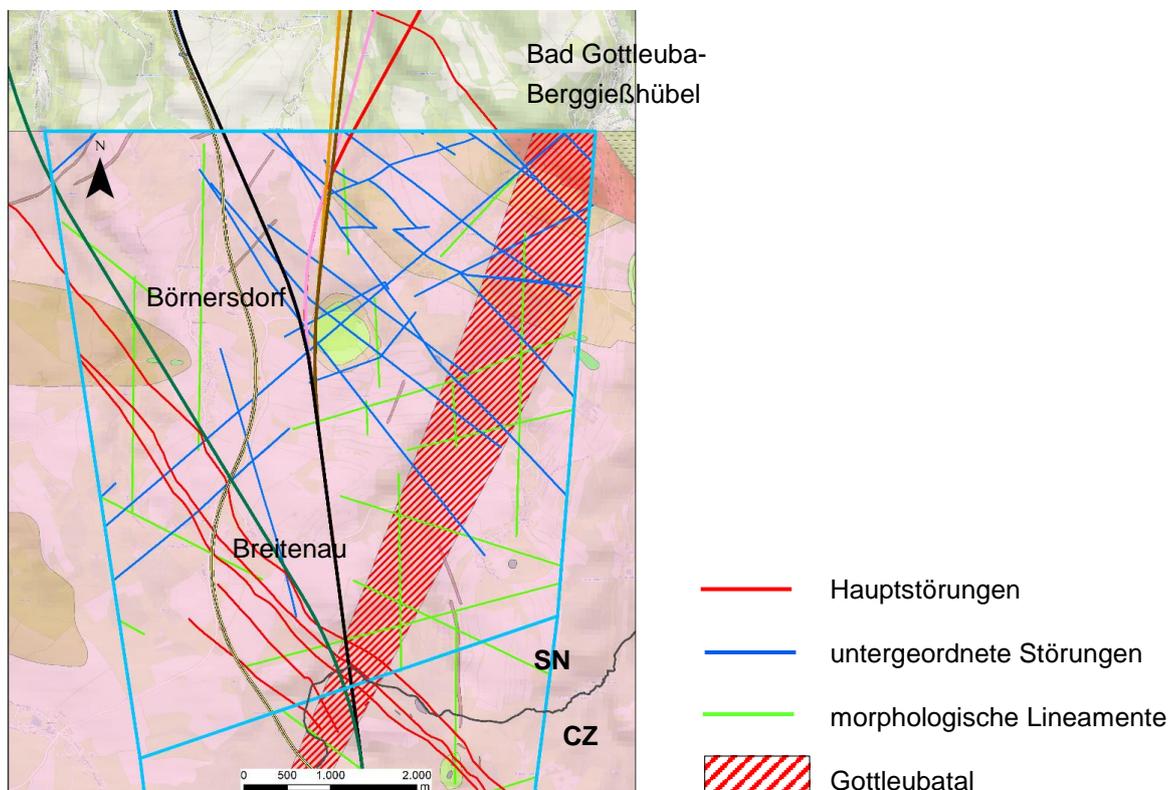
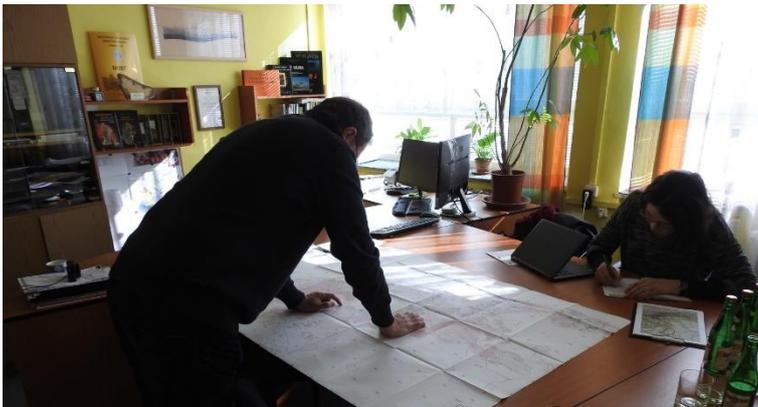


Abbildung 16: Störungen im Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes (blauer Rahmen).

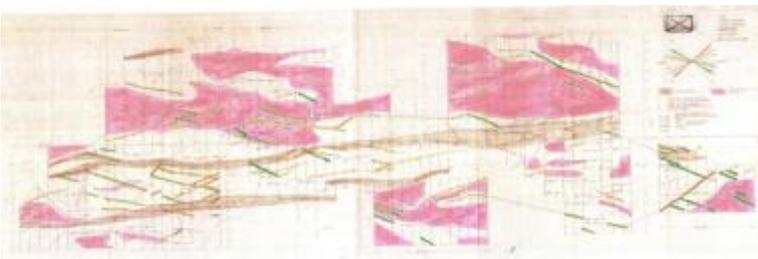
4 Literaturrecherche

Im Rahmen des INTERREG Va-Projektes wurde gemäß Arbeitspaket 1 und Meilenstein 1 eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Die Auswahl der gesichteten Unterlagen beruht auf einer intensiven Datenakquise, deren Ergebnisse in einer Übersichtstabelle (Anlage 4) zusammengefasst und bewertet wurden. In der Tabelle finden sich u.a. Angaben zur Verfügbarkeit, zum Fundort, zur Archivbenennung und eine Charakterisierung nach maßgeblichen geologischen Inhalten anhand von Kurzbezeichnungen zum schnelleren Wiederfinden sowie eine Wichtung nach Schwerpunktthemen. Die erarbeitete Übersicht stellt für die folgende Erkundungsplanung- und Auswertung eine solide Grundlage an Archivmaterialien dar, die im Zuge der künftig zu erstellenden geotechnischen Berichte berücksichtigt werden sollte. Bei den recherchierten Unterlagen handelt es sich um Gutachten, Berichte, Kartenmaterial, studentische Abschlussarbeiten und publizierte Literatur. Sie stammen aus der Bibliothek der TU Bergakademie Freiberg sowie aus der Bibliothek und dem geologischen Archiv des LfULG am Standort Freiberg. Die Gutachten zur Talsperre Gottleuba liegen bei der LTV. Die Daten zu raumordnerischen Nutzungskonflikten waren bereits im Rahmen des FuE-Projektes sowie des Raumordnungsverfahrens erhoben, analysiert und graphisch dargestellt worden (KRENTZ, et al., 2015).



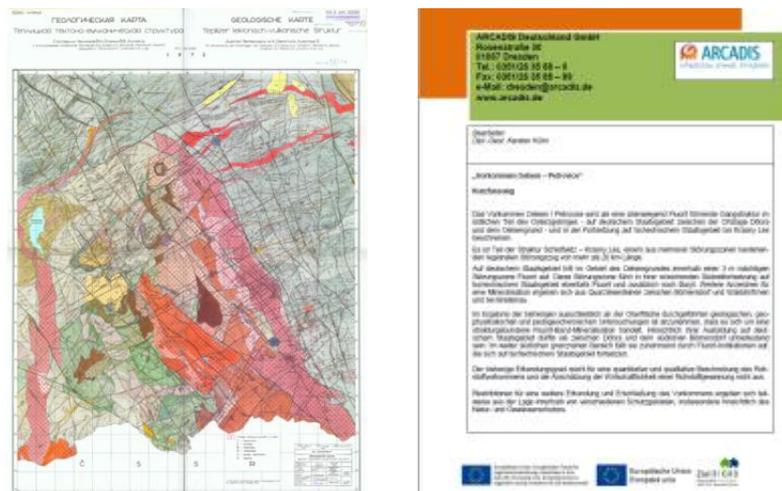
Beratung

Foto: LfULG, Sabine Kulikov



Geoelektrikprofil

Petrovice Döbra (1978)



Links: geologische Karte (1973)

Rechts: Gutachten zum Vorkommen Petrovice-Oelsen

Abbildung 17: Literaturrecherche

5 Graphisches Datenmanagement mit ArcGIS

Das graphische Datenmanagement mittels Geoinformationssystem (GIS) ist für die Verarbeitung von 1D- und 2D-Daten hervorragend geeignet, um Inhalte thematisch zu strukturieren. Das erfolgt über sogenannte Gruppenlayer (Abbildung 18 links). Graphische Daten, die zu einer Themengruppe gehören, können auf diese Weise geordnet werden und je nach Bearbeitungserfordernis separat sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden. Dadurch wird eine Anpassung der Informationsdichte möglich und eine Überfrachtung hinsichtlich der sichtbaren Inhalte vermieden.

Durch Kombination von graphischen Daten verschiedener Themenkomplexe können Zusammenhänge oder auch Nutzungskonflikte sichtbar gemacht werden. Ein hervorragendes Werkzeug ist dabei die Transparentfunktion bei sich überlagernden Daten (Abbildung 18 rechts). Komfortabel ist auch das Erzeugen neuer georeferenzierter Daten durch einfache Umwandlung von Zeichnungen oder Markierungen in Vektordaten (Shapefile). Auf diese Weise können die Punkt-, Linien- und Flächendaten angepasst werden, sobald neue Erkenntnisse vorliegen. Unterschiedliche Wissensstände können separat abgespeichert und abgelegt werden, sodass auch eine nachvollziehbare Projekthistorie ermöglicht wird. So z. B. für die Entwicklung der Erkenntnisse zu Störungsverläufen oder Risikobereichen, die mit fortlaufendem Projektfortschritt angepasst wurden.

Für alle Phasen des NBS-Projektes wurden die relevanten Geodaten (Vektor- und Rasterdaten) mit einem Geoinformationssystem (Esri ArcGIS Version 10.5.1) verarbeitet und verwaltet. Dazu gehören sowohl Geoinformationen zur Geologie, Hydrogeologie, Morphologie, Tektonik und Karten aus vorangegangenen Projekten und Untersuchungen sowie aus Archivberichten. Zusätzlich können fortlaufend neue Informationen eingepflegt und berücksichtigt werden, sodass das GIS-Projekt immer auf dem neuesten Kenntnisstand ist.

Da es sich um ein grenzüberschreitendes Projekt handelt, wurde ein internationales Koordinatensystem für Mitteleuropa - ETRS 1989 – UTM, Zone 33N (WKID: 25833) ausgewählt. Karten, die in anderen Koordinatensystemen vorlagen, mussten transformiert werden. Die Auswahl des Höhensystems war etwas schwieriger, da sich das deutsche System DHHN2016 auf die Ostsee/Nordsee bezieht, das tschechische Höhensystem jedoch auf das Mittelmeer. Daher waren Transformationen/Umrechnungen notwendig, um eklatante Abweichungen in den Höhen und Verzerrungen im digitalen Höhenmodell zu vermeiden.

Es sind folgende Daten im Vektor- und Rasterformat in das GIS-Projekt eingeflossen:

- Digitale Geländemodelle,
- Topographische Karten, Datendienste (WMS-Server),
- Geologische Karten,
- Tektonische Karten,
- Hydrogeologische Karten,
- Rohstoffgeologische Karten,
- Bohrungsdaten,
- Geophysikalische Ergebnisse (Profile, Messwerte),
- Trassenverläufe,
- Luftbilder.

Auch Daten aus der Raumordnung wie Schutzgebiete und Gebiete mit eingeschränkter Nutzbarkeit (Altlasten und Hohlraumgebiete) können im Datenmanagement mitberücksichtigt und sichtbar gemacht werden.

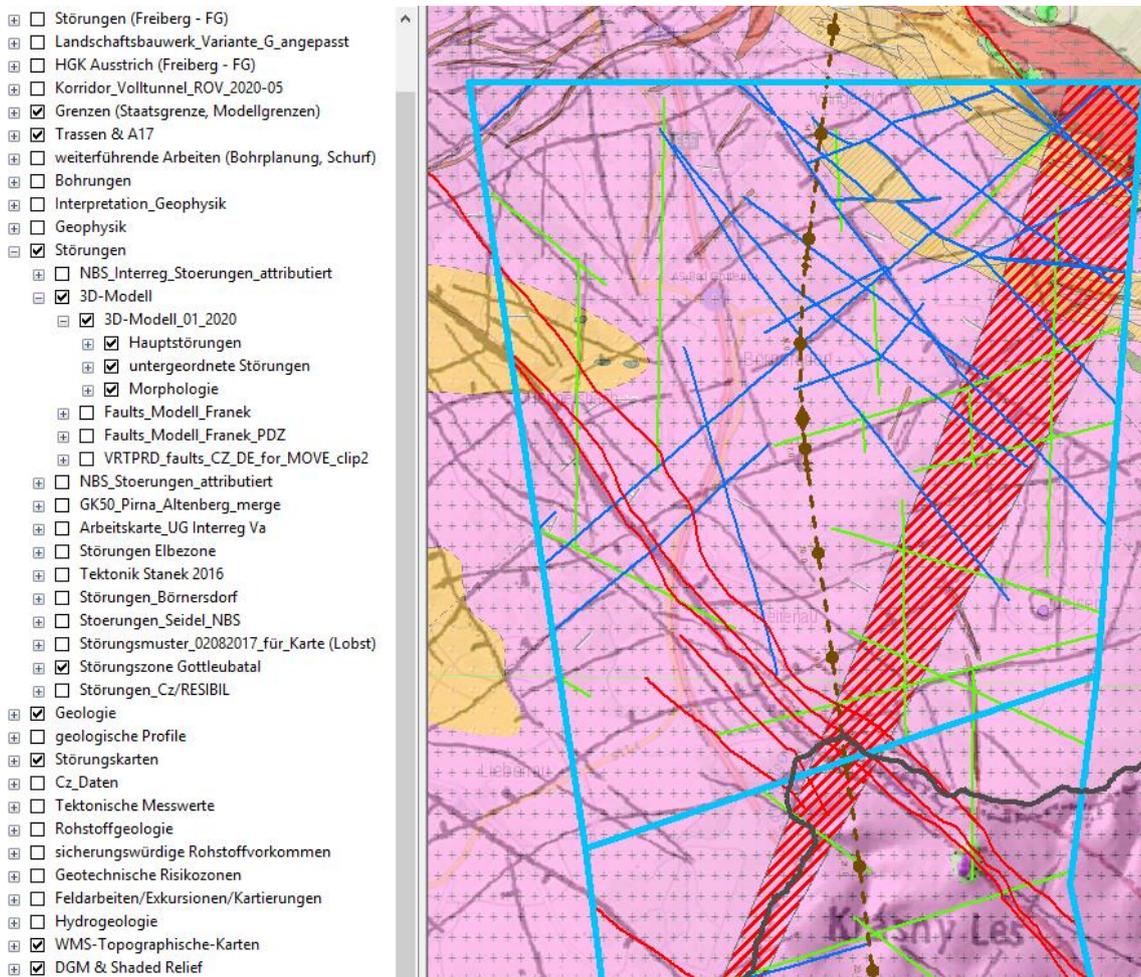


Abbildung 18: Vorteile des graphischen Datenmanagements mittels GIS-Software. Links: Ordnen nach Themengruppen und separate Aktivierung der einzelnen Layer. Rechts: Überlagerung von Daten durch Transparenzfunktion (hier: DGM, Topografie, geologische Karte, gescannte und georeferenzierte Störungskarte von (KUSCHKA, 1994), digitalisierte Störungen und eine Trassenvariante).

Wichtige Arbeitsgrundlage war die Datenhaltung mit GIS vor allem für die:

- Darstellung/Auswertung/Interpretation/Strukturierung und Archivierung der im Projekt erzielten Ergebnisse,
- Verifizierung von Störungsverläufen,
- Erstellung der geologischen Längsprofile entlang der Trassenverläufe,
- Erarbeitung der grenzüberschreitenden geologischen Karte sowie der Karte der geologischen/geotechnischen Problemzonen,
- Grundlage zur Erstellung des geologischen 3D-Modells.

6 Grenzüberschreitende geologische Karte

Die Erstellung der grenzüberschreitenden geologischen Karte war Ziel des Meilensteins 1 des INTERREG Va-Projektes (2017-2020).

6.1 Methodik

Zielstellung der grenzüberschreitenden geologischen Karte

Die erarbeitete geologische Karte stellt die Grundlage für das gemeinsame 3D-Modell dar. Für die sächsische Seite existierte bereits ein 3D-Modell entlang des in den Verkehrswegeplan eingereichten Korridors der Variante G. Ergebnis der gemeinsamen Arbeit sollte daher ein grenzübergreifendes 3D-Modell für den gesamten Tunnelbereich sein.

Herangehen an die Kartenerstellung

In vielen gemeinsamen Treffen der deutschen und tschechischen Geologen sowie auf der Grundlage von Geländebegehungen erfolgte eine Abstimmung:

- zu den Karteninhalten und zum Detaillierungsgrad,
- zur Charakterisierung der Gesteinseinheiten nach Stratigraphie, Petrographie und Lithologie auf der Grundlage eines Abgleiches der Generallegenden beider geologischer Dienste,
- zur Harmonisierung der Stratigraphie der kreidezeitlichen Gesteine,
- zur Benennung der Gesteinseinheiten in beiden Sprachen,
- zur Strukturierung der darzustellenden Inhalte,
- zu den Geometrien der darzustellenden Flächen,
- zum Verlauf und der Darstellung der tektonischen Strukturen und deren Charakterisierung.

Mittels graphischem Datenmanagement über ein GIS-Projekt erfolgte die Zusammenstellung der verfügbaren Daten. Durch Digitalisierung der in den Archiven beider geologischen Dienste vorhandenen Kartenunterlagen wurde eine Vielzahl geologischer Wissensstände aus unterschiedlichen Zeiträumen zusammengetragen. Basis für die Geometrien der gemeinsamen Karte waren auf deutscher Seite die GK 25, GK 50 dig. (Abbildung 19) sowie Archivkartenunterlagen (Abbildung 20) unterschiedlicher Maßstäbe und Kartierzeiträume, wodurch Abweichungen in der Flächengenauigkeit bedingt waren. Weitere geologische Grundlagen waren kartierungsseitig nicht erfasste Flächen, wie die Struktur Börnersdorf sowie geophysikalische Archivdaten. Auf der Grundlage der Größe des Untersuchungsgebietes und der geplanten darzustellenden Inhalte wurde der Kartenmaßstab von 1 : 50.000 festgelegt.

Das GIS-Projekt wurde anfänglich beim ČGS geführt, der auch für die Erstellung der Druckversion der Karte verantwortlich war.

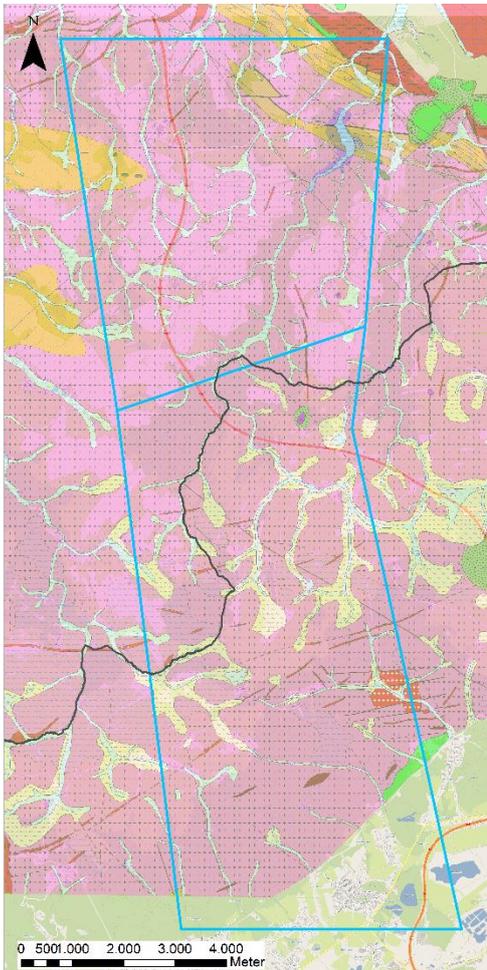


Abbildung 19: Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes vor der geologischen Karte im Maßstab 1 : 50.000 (GK50 Erzgebirge/Vogtland) (Stand 2008) (KRENTZ, et al., 2008).

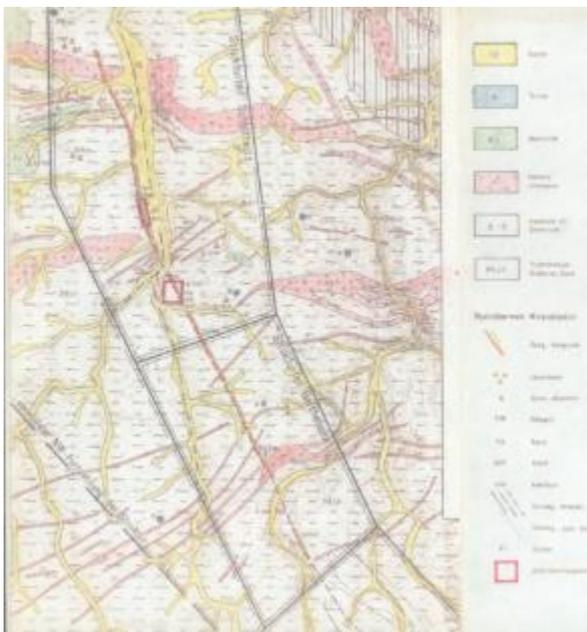


Abbildung 20: Archivunterlagen der geologischen Dienste von Sachsen.

Geländearbeiten und Abstimmungen

In Auswertung der Kartenunterlagen sowie auf der Grundlage mehrerer gemeinsamer Geländebegehungen (Abbildung 21) wurden der voraussichtliche Verlauf der lithologischen Grenzen festgelegt und die lithostratigraphische Abfolge definiert, welche die Grundlage für die Erstellung der gemeinsamen, vereinheitlichten Kartenlegende darstellen. Nur in der vergleichenden Betrachtung der Gesteinstypen und –varietäten beiderseits der Grenze war es möglich, Entscheidungen hinsichtlich der Vereinfachung und Zusammenfassung zu treffen.



Foto: LfULG, Sabine Kulikov

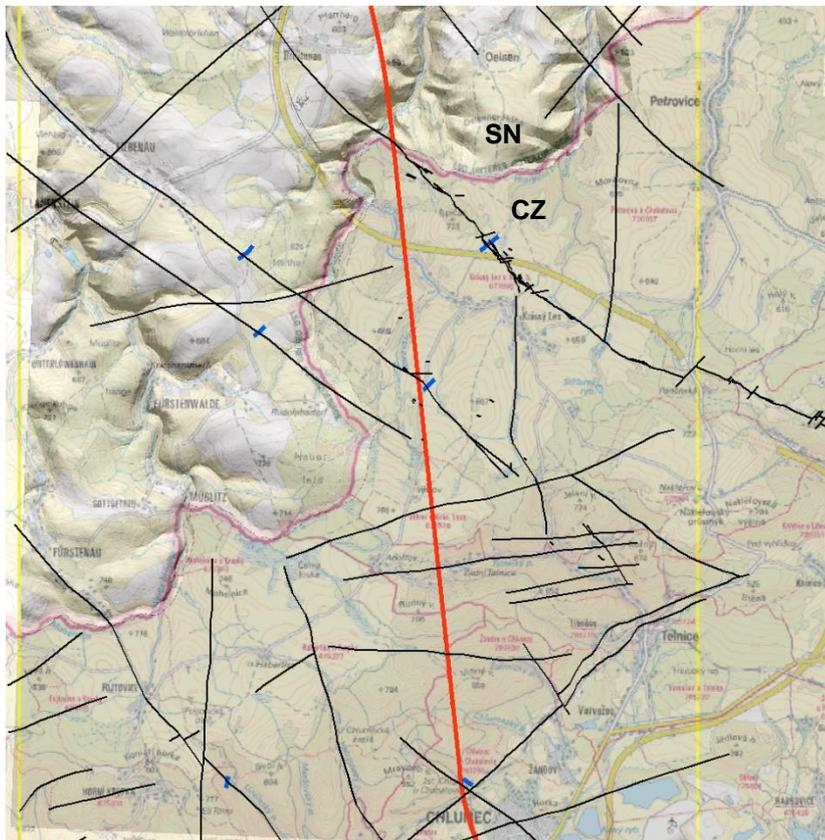
Abbildung 21: Geländebegehung der deutschen und tschechischen Geologen zur Harmonisierung der Geologie im Untersuchungsgebiet.

Tektonische Strukturen

Ein Aufgabenschwerpunkt war die Auswahl der darzustellenden Störungen, wobei der Fokus insbesondere auf grenzübergreifenden Strukturen regionaler bzw. transregionaler Bedeutung/Ausprägung lag. Unter Zuhilfenahme des digitalen Geländemodells erfolgte eine gemeinsame Analyse der geomorphologischen Situation. Dadurch konnten Untersuchungsbereiche festgelegt werden, in denen eine Störungsdetektion mittels geophysikalischer Untersuchungen erforderlich schien, um die Klärung grenzüberschreitender Störungsverläufe zu ermöglichen.

Geophysikalische Untersuchungen (Goelektrik)

Die Untersuchungen erfolgten mittels geoelektrischer Messungen. Die Entscheidung über die Lage der jeweiligen Messprofile wurde häufig kurzfristig nach Bedarf bei Indizien aus dem Kartenmaterial und der geomorphologischen Analyse sowie in Auswertung vorhergehender Messergebnisse getroffen. Gemessen wurde an insgesamt sechs Profilen, davon zwei auf deutscher und vier auf tschechischer Seite (Abbildung 22). Es existiert eine Dokumentation und Auswertung dieser Geländearbeiten (Meilensteinbericht Q2 2017).



- Störungen
- Geoelektrisches Messprofil
- Trasse

Abbildung 22: Untersuchungsprogramm für die geoelektrischen Messungen zur Validierung vermuteter Störungsmuster.

Festlegungen zum Detaillierungsgrad

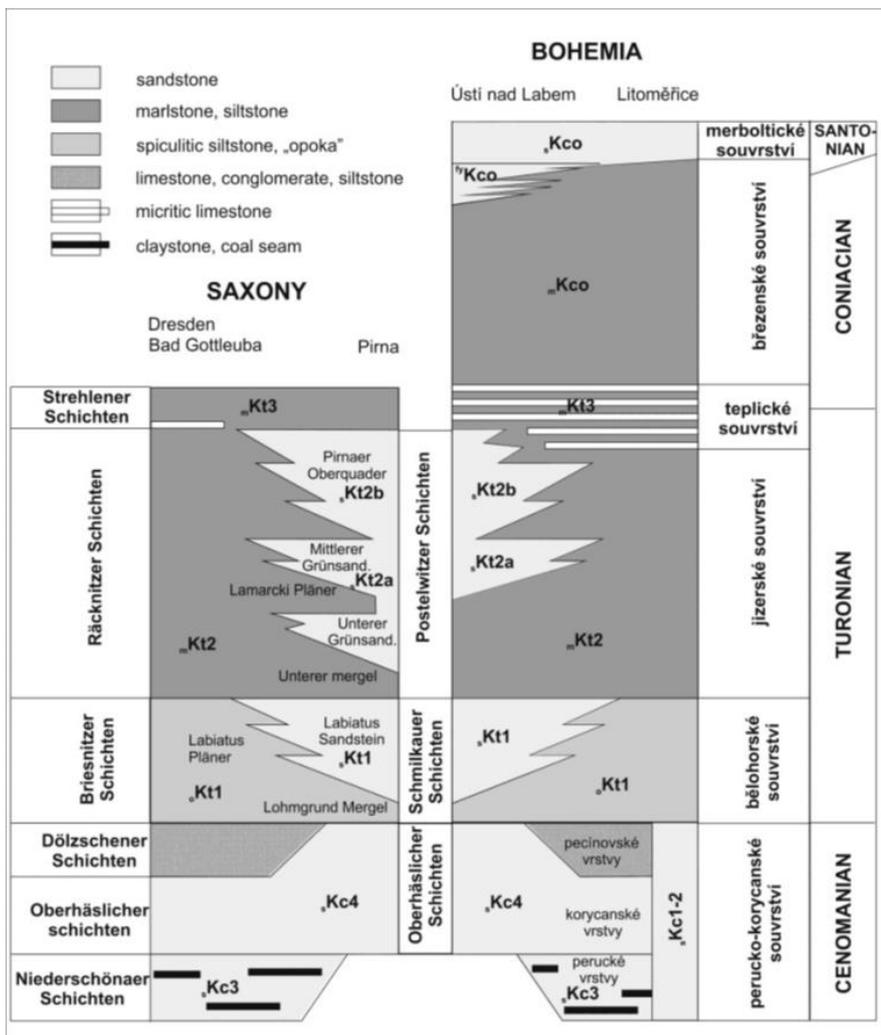
Da die Größe des Bearbeitungsgebietes eine Detailgenauigkeit nicht ermöglichte, wurde eine Vereinfachung hinsichtlich der Erarbeitung der lithostratigraphischen Abfolge, der Abgrenzung sowie Benennung und Beschreibung der einzelnen Gesteinskörper/-einheiten vorgenommen. Das heißt, dass Gesteine mit ähnlichen geotechnischen/ geomechanischen und hydraulischen Eigenschaften zu einer lithostratigraphischen Einheit zusammengefasst wurden. Dadurch konnte die Darstellung in der Karte vereinfacht und auf eine zu detaillierte Ausweisung von Gesteinsvarietäten verzichtet werden. So wurden beispielsweise kleinere linsenförmige Vorkommen, die keine Bedeutung für die weiteren ingenieurgeologischen Projektarbeiten haben, vernachlässigt bzw. zusammengefasst. Außerdem wurden lokal komplizierte lithologische Grenzen angepasst.

In einem ersten Schritt wurde sich den Gesteinen des Osterzgebirgskristallins gewidmet, das aus verschiedenen Gneisvarietäten aufgebaut ist und auf tschechischer Seite auch Vorkommen von Metagranodiorit aufweist (Kapitel 3). Die altpaläozoischen-proterozoischen Gesteine dominieren im Tunnelverlauf des Untersuchungsgebietes. In Auswertung der wissenschaftlichen Arbeit von THIELE (2019) zur Abrasivität der Gneise konnte abgeleitet werden, dass eine Zusammenfassung der lithologischen Einheit der Gneise aufgrund ähnlicher Eigenschaften möglich ist. Denkbar wäre unter Zuhilfenahme des GIS-Projektes eine neue Darstellungsebene speziell zum Thema Abrasivität zu schaffen, die dann die Grundlage für eine neue Kartendarstellung liefert.

Die Einigung auf eine Kreidestratigraphie basiert auf Ergebnissen vorheriger grenzüberschreitender Projekte. Der Entwurf für eine harmonisierte Stratigraphie und Legende kam maßgeblich von den tschechischen Kollegen und bildete die Basis für die vereinfachte, zusammengefasste Darstellung der kreidezeitlichen Sedimentgesteine (Abbildung 23) und deren Beschreibung.

Die Gesteine des Neogens sind im Untersuchungsgebiet nur auf tschechischer Seite verbreitet. Für diese bedurfte es nur einer Einigung hinsichtlich der Benennung. Die deutsche Bezeichnung ist auf der Karte allerdings nicht korrekt, wie sich im Nachhinein herausstellte, da es sich nur um eine Übersetzung, aber keine stratigraphische Zuordnung handelt. Eine Korrektur erfolgte mit Projektabschluss in der Tabelle zur Legende (Anlage 2).

Auch zu den känozoischen Gesteinen erfolgten Abstimmungen, wobei nur die Gesteinseinheiten im Untersuchungsgebiet des INTERREG Va-Projektes betrachtet wurden. Die eiszeitlichen Bildungen auf sächsischer Seite fanden in der gemeinsamen Legende keine Berücksichtigung. Sie sind aber unter Kapitel 3.2 und 10.4.2 ausführlich beschrieben.



Grafik: ČGS, Stanislav Čech

Abbildung 23: Harmonisierung der Kreidestratigraphie.

Fortwährende Abstimmungen und Datenaustausch

Während der Treffen und unter Einbeziehung verschiedener Fachexperten erfolgte ein permanenter Austausch aktueller Geometrien (Flächen und Linien) und die Übersetzung der lithostratigraphischen Einheiten in Anlehnung an nationale Benennungen. Bei diesen Treffen wurde auch das Kartenlayout gestaltet (Abbildung 24).

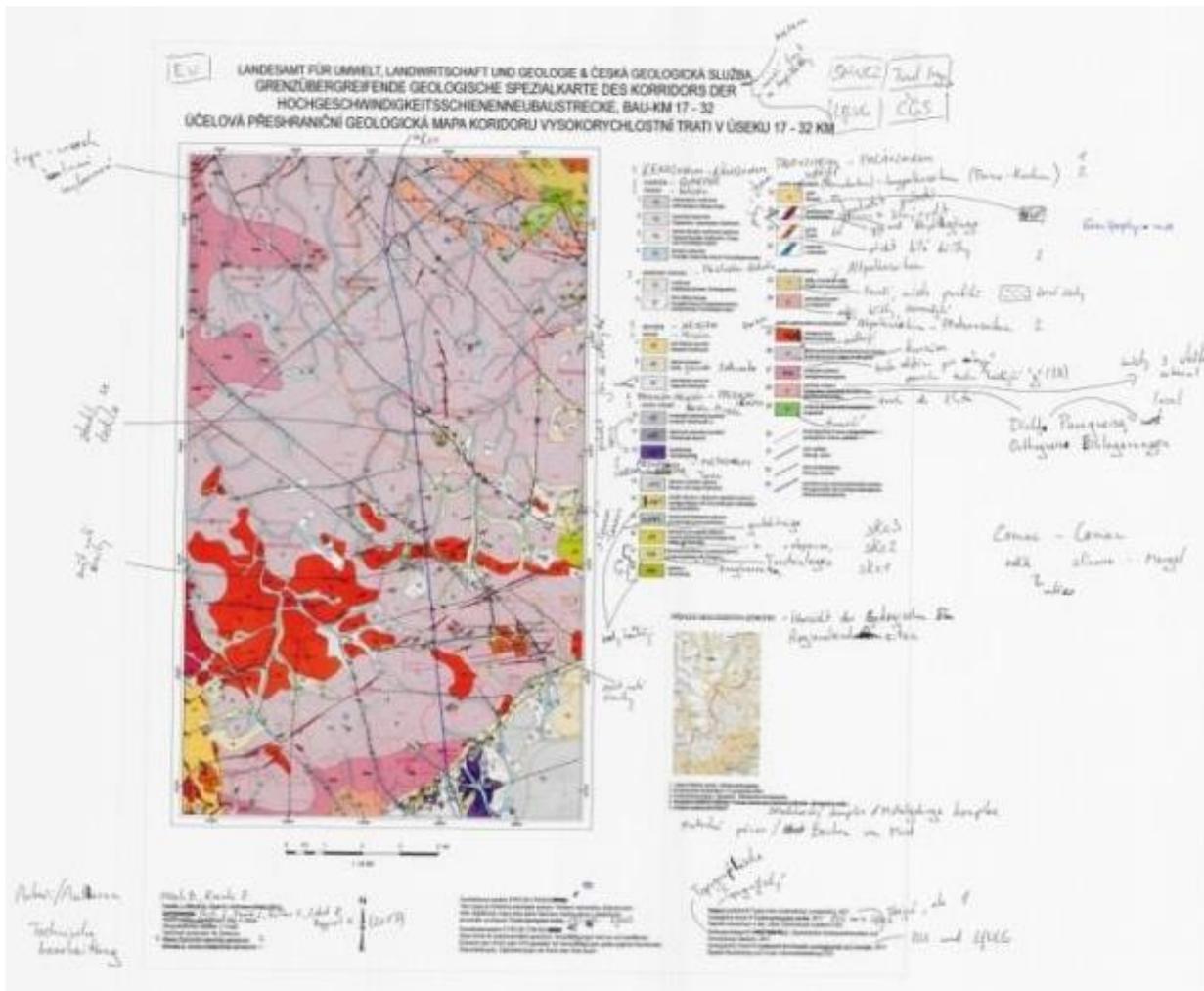


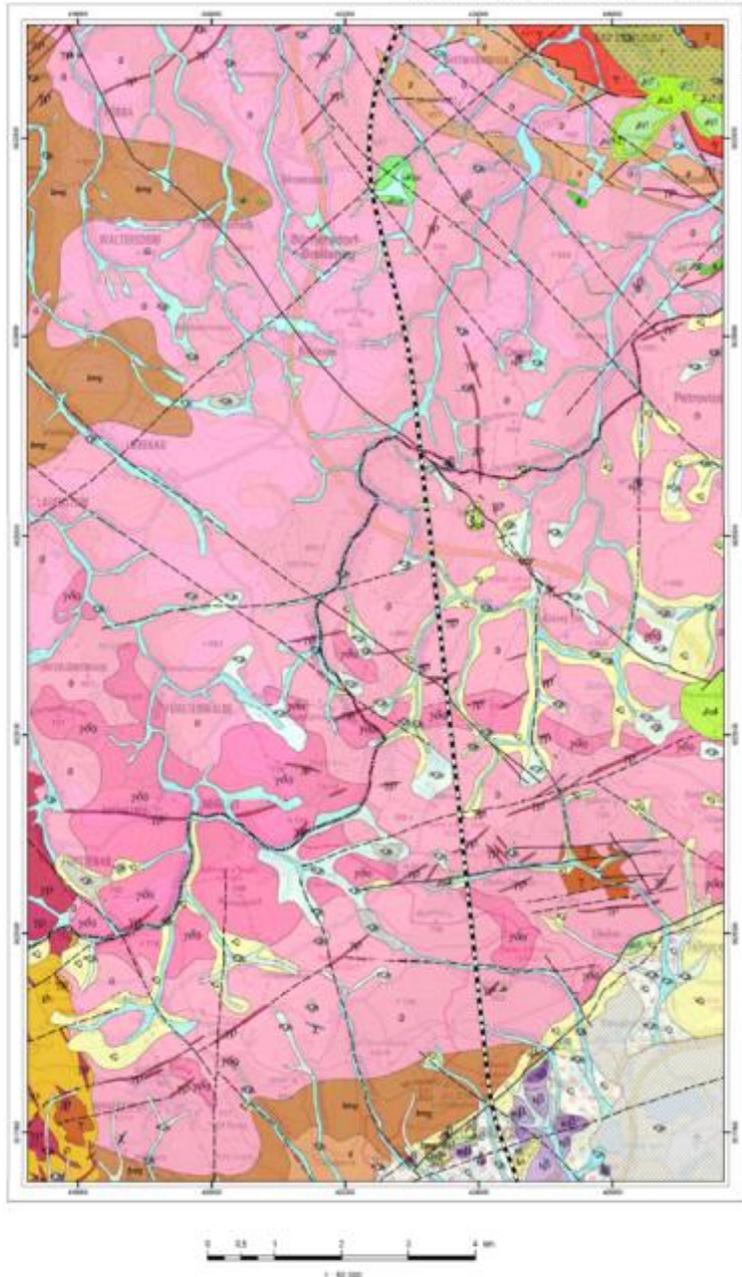
Abbildung 24: Erster Entwurf der grenzüberschreitenden geologischen Karte im Maßstab 1 : 50.000 (Arbeitsgruppe Geologie des INTERREG Va-Projektes).

6.2 Ergebnis

Die vereinfachte geologische Karte mit einheitlicher zweisprachiger lithostratigraphischer Legende im Maßstab 1 : 50.000 enthält Angaben zu den einzelnen Gesteinsarten, die entlang des vorgeschlagenen Verlaufs des Trassenkorridors und seiner Umgebung auftreten (Anlage 5).

Erstmalig erfolgten eine Darstellung der Kreidestruktur von Börnersdorf und eine deutliche Erweiterung der Angaben zu tektonischen Strukturen gegenüber der ursprünglich in der GK 50 dargestellten Störungssituation (Abbildung 25). So sind alle durch die umfangreiche Datenrecherche, geomorphologische Geländeanalyse und Geophysik ermittelten Störungen eingezeichnet, darunter auch der Verlauf der Petrovice-Döbra Zone. Jedoch waren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der grenzüberschreitenden geologischen Karte die Mächtigkeit und Komplexität der Petrovice-Döbra Zone noch nicht bekannt, so dass diese nur als Einzelstörung in der Karte abgebildet ist. Im weiteren Projektverlauf kamen durch die Auswertung der geophysikalischen Untersuchungen bis zu vier Parallelstörungen hinzu (Kapitel 9), die in das geologische 3D-Modell mit einfließen.

Die erarbeitete Legende enthält Angaben zum Alter, zur zeitlichen Abfolge sowie zur Entstehung der Gesteine.



- | | |
|--|---|
| <p>KENOZOIKUM / KÁNOZOZIUM
KUARTÉRY / QUARTÄRE</p> <p>1 Q1 čtvrťácký sediment
Holocéan / Holozän</p> <p>2 Q2 čtvrťácký sediment
Dřívější / jüngeres Substrat</p> <p>3 Q3 čtvrťácký sediment
starší / älteres Substrat (starší / ältere Phase des Holozänen)</p> <p>4 Q4 čtvrťácký sediment
Třetice / Tertiäre (starší / ältere Phase des Holozänen)</p> <p>pleistocén / Pleistozän / Pleistocén-Pleistozän</p> <p>5 Q5 starší čtvrťácký sediment
Substrat / Substrat</p> <p>6 Q6 starší čtvrťácký sediment
Třetice / Tertiäre (starší / ältere Phase des Holozänen)</p> <p>NEOGEN / NEOGEN
neogén / Miozén</p> <p>7 N1 starší neogén / Miozén
Pangaea / Pangaea</p> <p>8 N2 starší neogén / Miozén
Třetice / Tertiäre</p> <p>PALEOGEN-NEOGEN / PALEOGEN-NEOGEN
eocén-miocén / Eozän-Miozän</p> <p>9 PE1 starší paleogén-Neogén / Miozén
Třetice / Tertiäre</p> <p>10 PE2 starší paleogén-Neogén / Miozén
Třetice / Tertiäre</p> <p>11 PE3 starší paleogén-Neogén / Miozén
Třetice / Tertiäre</p> <p>MEZOZOIKUM / MESOZOZIUM
KŘÍDA / KREIDE</p> <p>12 J1 křída / Kreide
sádky / Sagen</p> <p>13 J2 křída / Kreide
sádky / Sagen</p> <p>14 J3 křída / Kreide
sádky / Sagen</p> <p>15 J4 křída / Kreide
sádky / Sagen</p> <p>devonit / Devonit</p> <p>16 D1 devonit / Devonit
sádky / Sagen</p> <p>17 D2 devonit / Devonit
sádky / Sagen</p> <p>18 D3 devonit / Devonit
sádky / Sagen</p> | <p>PALEOZOIKUM / PALÄOZOZIUM
EVROPSKÉ PALEOZOZIUM (PERMOKARBON)
/ JUNGPALEOZOZIUM (PERMO-KARBON)</p> <p>19 Z perm / Perm</p> <p>20 P1 perm / Perm</p> <p>21 P2 perm / Perm</p> <p>22 P3 perm / Perm</p> <p>SPORNÉ PALEOZOZIUM / ALTALÄOZOZIUM</p> <p>23 S1 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Miozén / Miozän</p> <p>24 S2 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>SPORNÉ PALEOZOZIUM-PROTĚROZOZIUM
/ ALTALÄOZOZIUM-PROTĚROZOZIUM</p> <p>25 PT1 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Miozén / Miozän</p> <p>26 PT2 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>27 PT3 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>28 PT4 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>29 PT5 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>30 PT6 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>31 PT7 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>32 PT8 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> <p>33 PT9 sporné paleozoikum / Altaläozoikum
Třetice / Tertiäre</p> |
|--|---|



Autoři / Autoren: Čech Š., Franěk J., Mlčoch B., Křentz O., Kulíkov S., Lobel R., Rappich V.
 Technická zpracování / Technische Bearbeitung: Jan Kouřil

Číslo mapy: 1:50 000
 Tato mapa je chráněna autorským právem. Každé zkopírování, přeložení nebo jakékoli jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv. Každá jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv. Každá jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv.

Koordinátní systém: ETRS 89 / UTM 32Q
 Tato mapa je chráněna autorským právem. Každé zkopírování, přeložení nebo jakékoli jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv. Každá jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv. Každá jiná opatření, která nejsou povolena, jsou považována za porušení autorských práv.

Topografická podoba © Česká úřadová zeměměřičská a katastrální úřad, 2017
 Digitální zpracování © ČGS a LfULG, 2017
 Digitální zpracování © ČGS a LfULG, 2017

Topografická kartografická podoba © Česká úřadová zeměměřičská a katastrální úřad, 2017
 Digitální zpracování © ČGS a LfULG, 2017
 Digitální zpracování © ČGS a LfULG, 2017

Abbildung 25: Endfertigung der grenzüberschreitenden geologischen Karte des Untersuchungsgebietes (Stand 2017). Die Karte ist zweisprachig (tschechisch/deutsch) (ČECH, et al., 2017).

Fehlerbetrachtung und Ausblick

Durch den permanenten Erkenntniszuwachs über die gesamte Projektlaufzeit wurden immer wieder Veränderungen an den Geometrien der tektonischen Strukturen (Störungen) erforderlich, was dazu führte, dass die Druckversion der Karte aus dem Jahr 2017 (Ende des 1. Meilensteins) zum Abschluss des Projektes bereits wieder veraltet war und einer Aktualisierung hinsichtlich der Anzahl und Geometrien der Störungsverläufe, des Trassenkorridors und auch der Darstellung der Struktur Börnersdorf bedarf. Außerdem wäre die Struktur Petrovice-Döbra zu erweitern.

Bedingt durch den Projektzeitplan war dieser Meilenstein bereits sechs Monate nach Projektbeginn im September 2017 abzuschließen, wodurch ein hoher Zeitdruck für die Erstellung der Karten und aller damit verbundenen Arbeiten bestand. Es war festgelegt, dass die Karte einmalig als Druckversion zu erstellen war. Änderungen, die sich aus dem Erkenntnisfortschritt während der Projektlaufzeit ergeben haben, sind nur digital erfasst, in der Druckversion jedoch nicht dargestellt. Dadurch bedingt sind Fehler und Ungenauigkeiten in der Druckversion enthalten. Bereits im August 2017 lag die erste Version der Karte vor, die von der Druckerei des ČGS umgesetzt wurde.

Die strukturierte graphische Datenhaltung über das GIS-Projekt ermöglicht eine ständige Aktualisierung der Karteninhalte, die an den jeweiligen Erkundungsfortschritt angepasst werden können (siehe dazu auch Kapitel 5). Dadurch ist es möglich, bei Bedarf zukünftig eine aktualisierte, dem jeweiligen Erkenntnisstand angepasste Karte als Druckversion zu erzeugen.

Aktualisierungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Legende im Vorfeld der Erarbeitung eines baugelogischen bzw. Baugrundmodells für das Bauvorhaben. Hierfür bedarf es weiterer Abstimmungen zwischen den geologischen Diensten beider Länder auf der Grundlage der geltenden nationalen und europäischen Normen für die Erarbeitung eines Dokumentationsschlüssels unter Bezugnahme auf die Ingenieurgeologischen Einheiten, die noch nicht abschließend harmonisiert werden konnten.

7 Kartierung

Ziel der Kartierungsarbeiten, die im Rahmen des INTERREG Va-Projektes im Meilenstein 2 erfolgten, war die Aufnahme der geologischen, hydrogeologischen und tektonischen Situation im Untersuchungsgebiet zur Analyse potentieller Gefahrenbereiche im Trassenverlauf.

7.1 Gebietsauswahl/Vorgehensweise

Das Kartiergebiet entspricht dem im Projektantrag ausgewiesenen Untersuchungsgebiet zwischen Liebstadt, Bad Gottleuba-Berggießhübel, Oelsen und Liebenau (Abbildung 26). Die Kartierungspunkte orientieren sich an den in der geologischen Karte M 1 : 25.000, Blatt Berggießhübel eingezeichneten Klippen, welche vor allem im Gottleubatal und im Bahretal zu finden sind. Neben der Gesteinsansprache wurden auch die wichtigsten tektonischen Strukturen (Foliation, Lineation, Klüfte, Störungen) aufgenommen und beschrieben. Für die Beschreibung der hydrogeologischen Situation wurden Nassstellen an Hand von Quellaustritten und Zeigerpflanzen kartiert. Die Kartierungsarbeiten erfolgten im Juli und August 2018 nach langer Trockenheit.

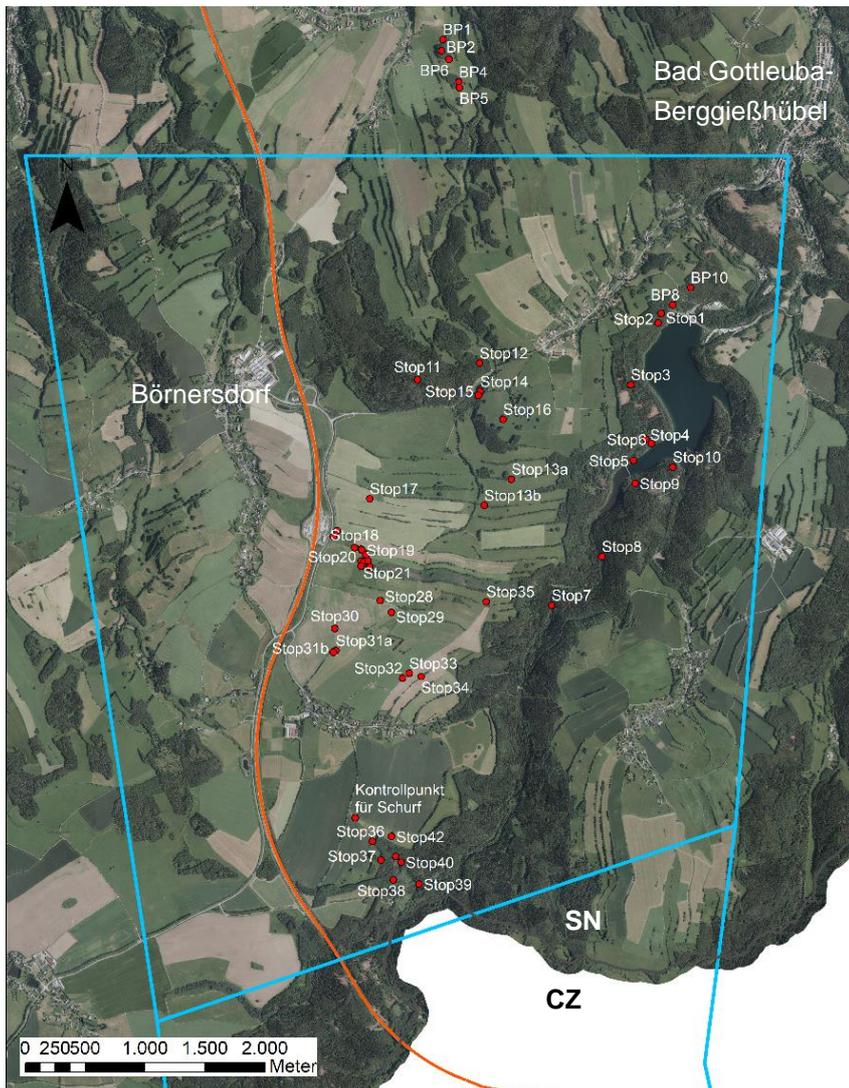


Abbildung 26: Lage der Kartierungspunkte (rot). Der blaue Rahmen bildet die Grenzen des Untersuchungsgebietes.

Zur Sicherstellung einer einheitlichen Dokumentation der einzelnen Aufschlusspunkte wurde ein Protokoll entwickelt, das folgende Informationen enthält:

- Lokalität (geographische Lage, GPS-Koordinaten),
- Beschreibung der Aufschlussituation,
- geologische Bezeichnung nach 3 Kartengrundlagen (GK25 Blatt 102 Berggießhübel, GK50 dig. Blatt L5148 Pirna/L5149 Altenberg, grenzüberschreitende geologische Karte NBS),
- Gesteinsansprache (Mineralbestand, Gefüge),
- Messwerte (Klüfte, Foliation, Lineation, Störungen),
- Interpretation,
- Aufnahme von Nassstellen,
- Vegetation,
- Fotodokumentation.

7.2 Ergebnisse

Die Messergebnisse der Kartierung sind in Anlage 6 und 7 aufgeführt.

Es wurde größtenteils (Ortho-) Gneis kartiert (Abbildung 27). Lokal treten auch andere Gesteine auf, wie Rhyolith (Stop 23) oder Grauwacke (Stop 9).

Besonderheiten konnten an Stop 4 und BP 7 aufgenommen werden. Der Aufschluss an Stop 4 zeigt SC-Strukturen (Abbildung 28). Die Schieferungsflächen (S) sind durch Scherbahnen (C) deformiert und/oder versetzt worden. Der Schersinn ist sinistral. Demnach erfolgte die Bewegung nach links (nach Westen). Am Punkt BP 7 konnten Scherbänder im Orthogneis beobachtet werden, welche eine dextrale Bewegung nach E anzeigen (Abbildung 29). (THIELE, 2019)

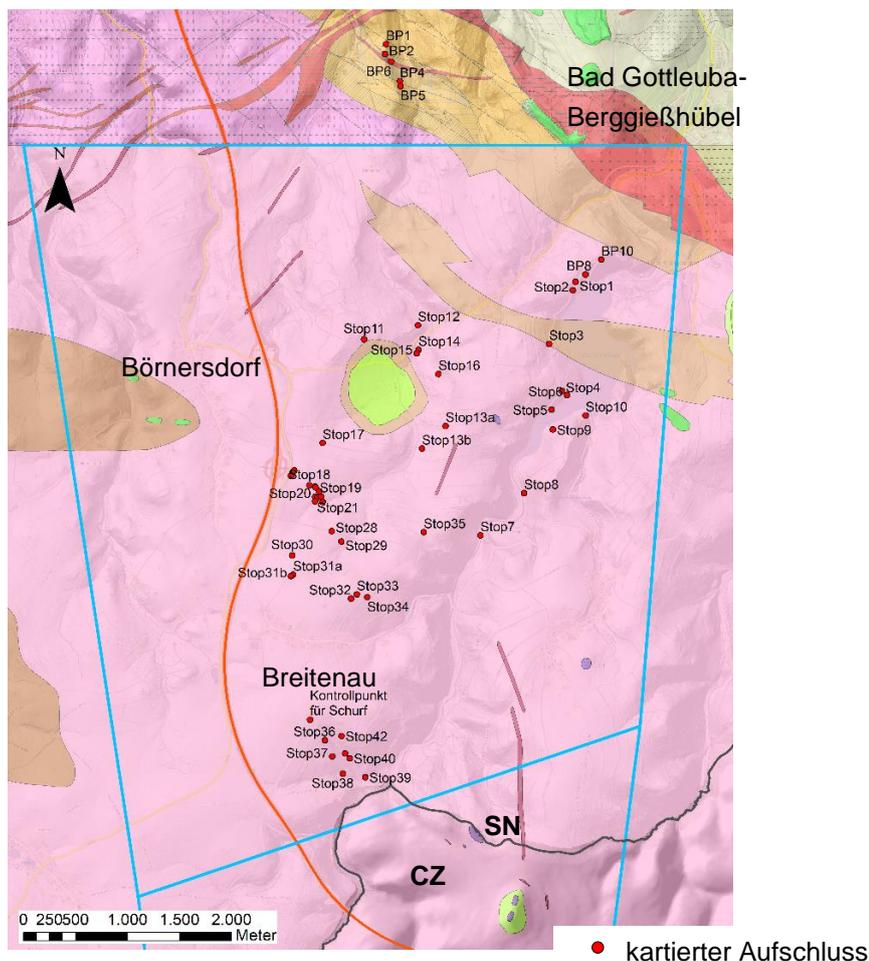
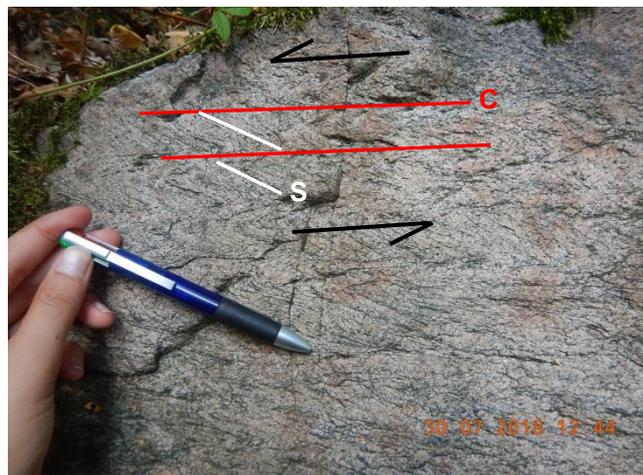


Abbildung 27: Übersichtskarte der Kartierungspunkte im Untersuchungsgebiet (blauer Rahmen). Die Symbolisierung der geologischen Einheiten der grenzüberschreitenden geologischen Karte weicht teilweise von der GK 50 ab.



Fotos: LfULG, Elisabeth Seidel

Abbildung 28: Aufschluss Stop 4 am Westufer der Talsperre Gottleuba (siehe Abbildung 27). Die Scherbahnen zeigen einen sinistralen Bewegungssinn an.

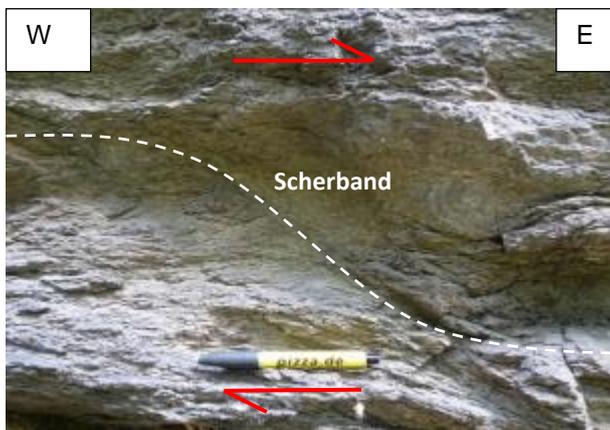
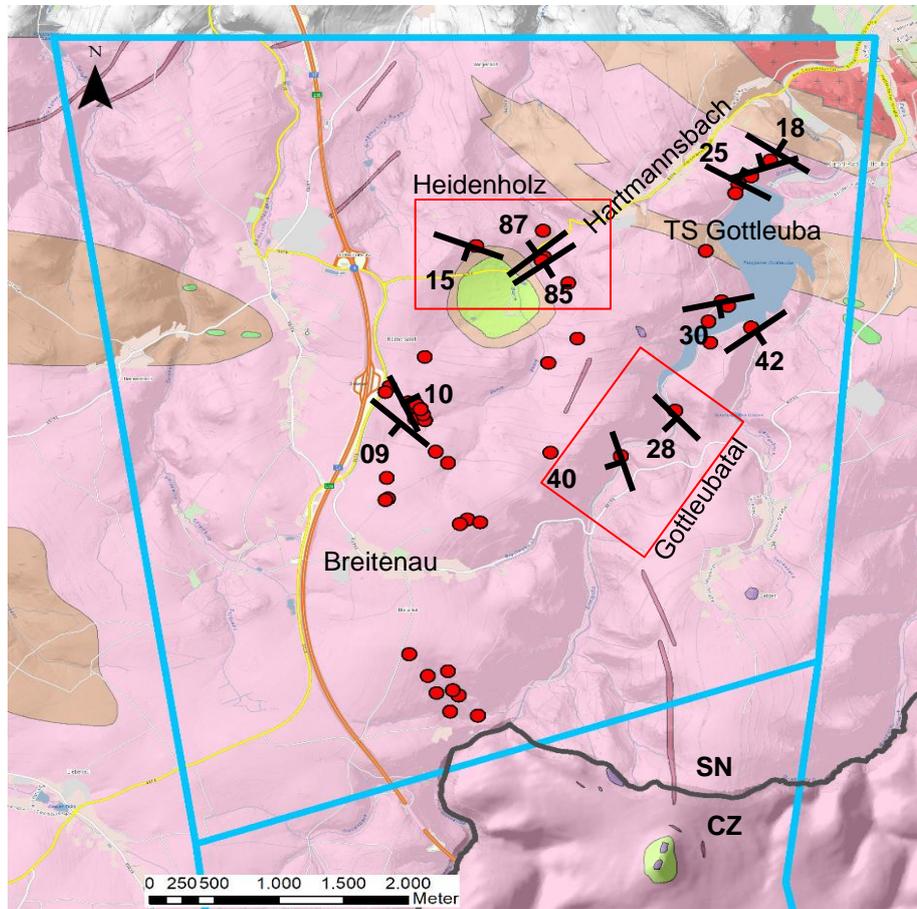


Foto: Lisa Thiele

Abbildung 29: Aufschluss BP 7 an der Staumauer der Talsperre Gottleuba (siehe Abbildung 27). Die Scherbänder im Gneis zeigen einen dextralen Bewegungssinn an. (THIELE, 2019)

7.2.1 Foliation

Die Gneise liegen im Allgemeinen relativ flach (Abbildung 30). Nördlich der Staumauer der Talsperre Gottleuba fällt die Foliation mit ca. 20° nach NW bis NE ein. Südlich von Hartmannsbach fällt die Foliation Richtung Süden ein (SW bis SE). Im Heidenholz nördlich der Struktur Börnersdorf steht die Foliation sehr steil. Nördlich der Ortschaft Breitenau ist die Foliation der Gneise fast horizontal.



● kartierter Aufschluss
(Legende)

Abbildung 30: Ausrichtung der gemessenen Foliationen mit Fallwinkel.

Es gibt zwei unterschiedliche Arten von Lineationen. Mineralstreckungslineare entstehen durch die Streckung von ursprünglich meist runden Mineralen oder Mineralaggregaten während der Deformation. Sie fallen im Projektgebiet überwiegend nach E ein (Abbildung 31). Die anderen im Kartiergebiet eingemessenen Lineationen sind störungsgebunden. Es handelt sich um Strömungen oder Harnische, die während der Bewegung zweier gegenläufiger Gesteinsblöcke entstehen. Diese Lineare zeigen die Bewegung in westlicher Richtung an (Abbildung 31).

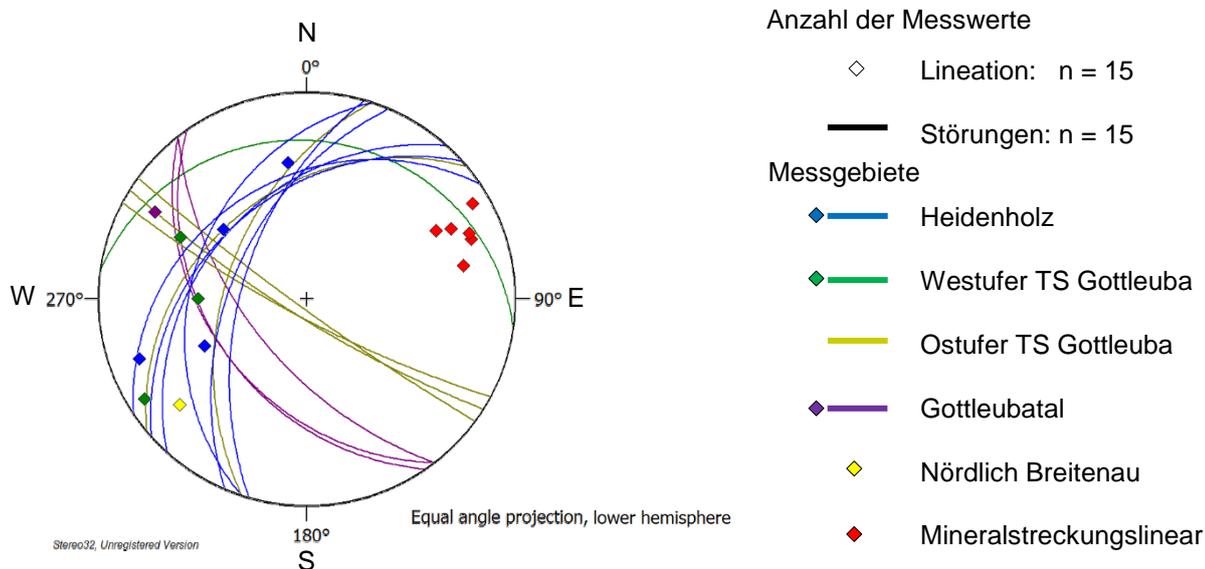


Abbildung 31: Stereographische Projektion der Lineation (Rauten) und Störungen (Linien). Mineralstreckungslineare (n = 15) – rot; störungsgebundene Lineare (n = 15) – auf Störungsflächen überwiegend nach W einfallend.

7.2.2 Klüfte

Die Ergebnisse der Kluftrmessungen zeigen, dass das Hauptklufsystem genauso streicht, wie die Hauptstörungen (Mittelsächsische Störung, Petrovice–Döbra Zone), nämlich NW-SE (Abbildung 32).

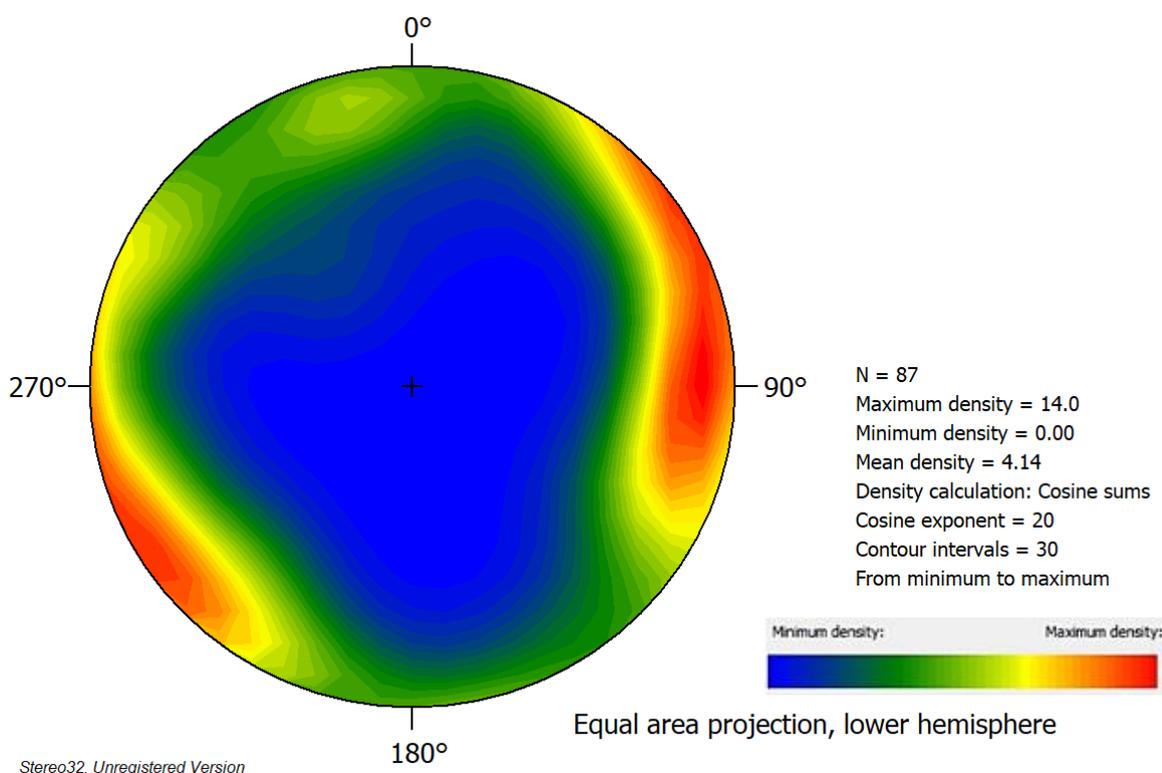


Abbildung 32: Dichteverteilung aller im Untersuchungsgebiet eingemessener Klüfte (Flächenpole). rot = Maximum; blau = Minimum. Anzahl der gemessenen Werte: n = 87.

Regional gibt es einige Unterschiede (Abbildung 33):

Im Gottleubatal dominiert die SW-NE-Streichrichtung, dieselbe Richtung, in der sich das Tal ausgebildet hat. Im Bereich der Talsperre Gottleuba gibt es zwei Kluftrichtungen, die nahezu senkrecht zueinander stehen: N-S-streichend und

WSW-ENE-streichend. Letztere sind parallel zum Gottleubatal. Im Heidenholz dominiert die NW-SE-Richtung. Diese ist parallel zur Mittelsächsischen Störung und zur Petrovice-Döbra Zone. Untergeordnet treten WNW-ESE-streichende und SSW-NNE-streichende Klüfte auf. Am Eisengrund bei Börnersdorf konnten ebenfalls NW-SE-streichende Klüfte gemessen werden. Außerdem gibt es einige SW-NE-streichende Klüfte.

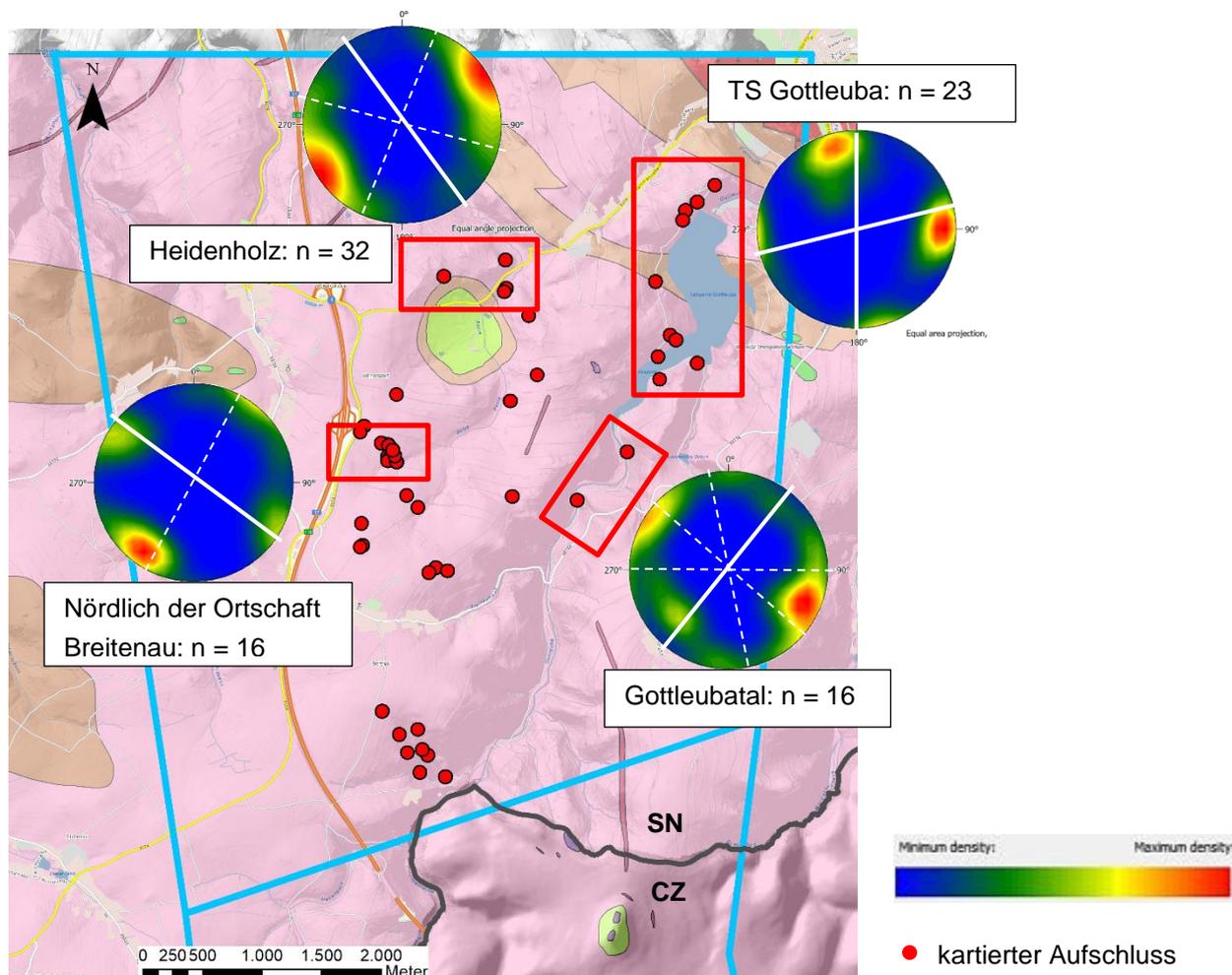


Abbildung 33: Darstellung der Kluffverteilung (Flächenpole) in den einzelnen Messgebieten. Weiße Linien = Streichrichtung. Die dominante Richtung ist durchgezogen, die untergeordnete Richtung ist gestrichelt. Roter Kasten = Aufschlüsse, an denen Kluffflächen gemessen wurden. n = 87 Messwerte an 17 Aufschlüssen.

7.2.3 Störungen

Es konnten bei der Kartierung nur in vier Bereichen Störungen gemessen werden. Darunter zählen:

- das Heidenholz (nördlich der Struktur Börnersdorf)
- das Westufer der Talsperre Gottleuba
- das Ostufer der Talsperre Gottleuba
- das Gottleubatal

Die Messwerte bestätigen die in der geologischen Karte (Abbildung 34) dargestellten bekannten Störungen. In allen Bereichen ist das generelle Störungsmuster erkennbar. Die Störungen streichen größtenteils NW-SE und SW-NE (Abbildung 35, Abbildung 34). Das Einfallen beträgt ca. 40° mit Ausnahme der Störungen am Stop 4 (15°) und am Stop 10 (~85°) am südlichen Ende der Talsperre Gottleuba. Die eingemessenen Störungen fallen in westliche Richtung ein (NW, WNW, SW).

Die aus der morphologischen Analyse abgeleiteten N-S streichenden Störungen konnten durch die Kartierung nicht bestätigt werden. Allerdings wurden, wie man der Abbildung 34 (grüne Linien) entnehmen kann, auch keine Klippen in

unmittelbarer Nähe solcher vermuteten Störungen kartiert. Um Aussagen über die jungen morphologischen Lineamente treffen zu können, müssen weitere Untersuchungen (Kartierung, Geophysik) durchgeführt werden.

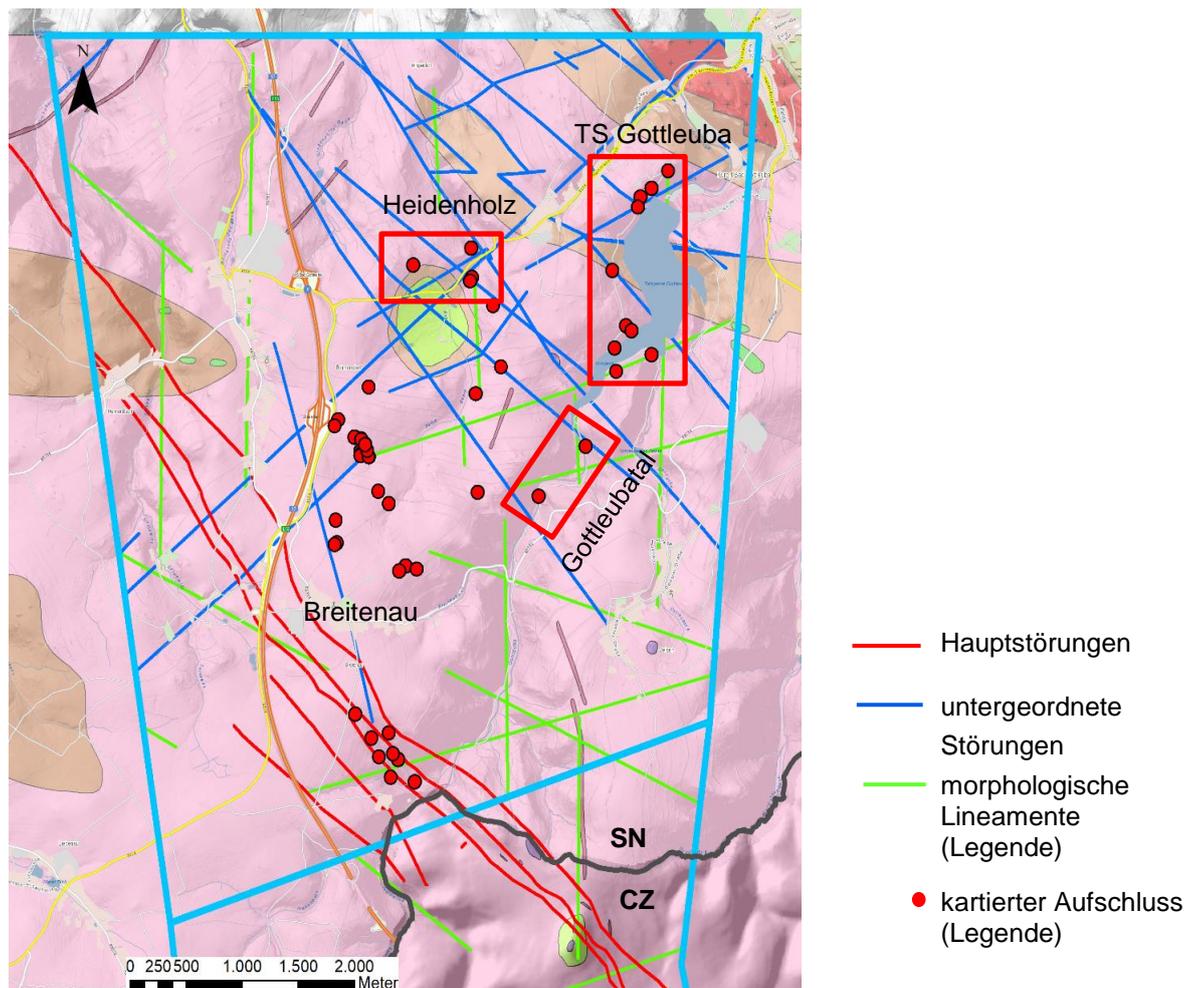


Abbildung 34: Darstellung aller im Untersuchungsgebiet bekannten Störungen in der geologischen Karte. rot – Hauptstörungen, blau – untergeordnete Störungen, grün – morphologische Lineamente.

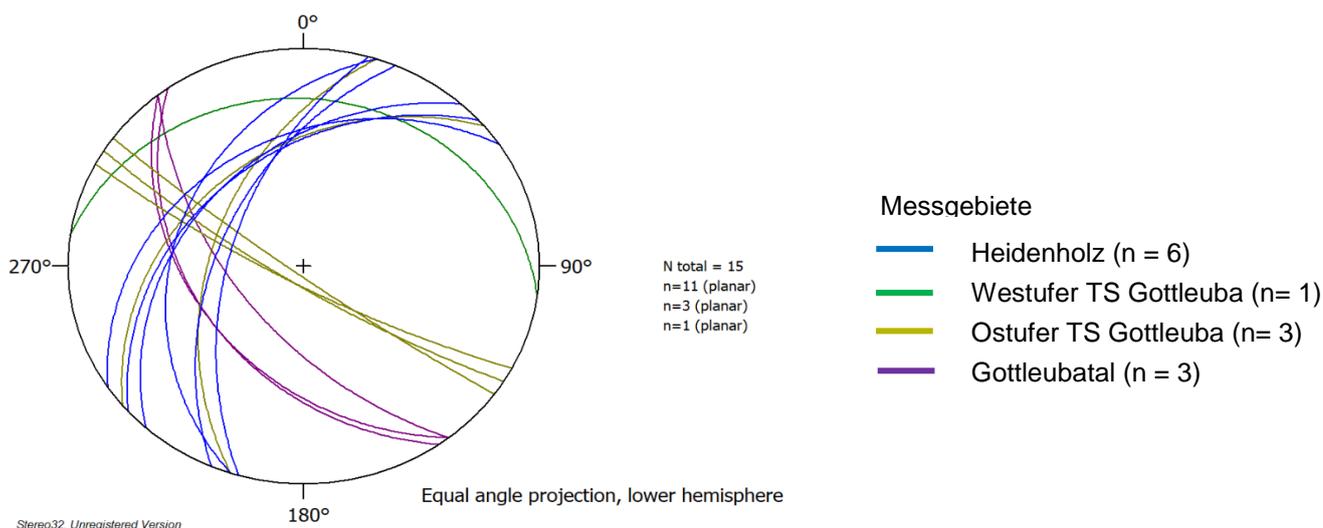


Abbildung 35: Winkeltreue Projektion von Störungsflächen. Es gibt zwei dominante Streichrichtungen, die nahezu senkrecht zueinander stehen: NW-SE und SW-NE. Anzahl der gemessenen Werte: n = 15.

8 Hydrogeologische Untersuchungen

8.1 Methodik

Die Erfassung der hydrogeologischen Situation des Untersuchungsgebietes erfolgte durch Feld- und Laborarbeiten im Zuge einer Masterarbeit an der TU Bergakademie Freiberg (KÖHLER, 2019). Die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen in Tschechien sind in der Anlage 8 zusammengefasst. Eine Nassstellenkartierung erfolgte nur in dem sächsischen Teilgebiet des INTERREG Va-Projektes.

Die Kartierung der Feucht- und Quellstellen erfolgte visuell. Dabei spielt die Vegetation eine wichtige Rolle. Spezielle Pflanzen, welche feuchte bis nasse Standorte bevorzugen, können Hinweise auf Nassstellen sein. Darunter zählen u.a. Binsengewächse, Schilf, Seggen und ein erhöhter und saftigerer Grasbewuchs. Suhlen, welche insbesondere durch Rot- und Schwarzwild genutzt werden, sind im bewaldeten Bereich wichtige Indikatoren für Nassstellen.

Die Wasserproben stammen aus Fließgewässern (Abbildung 36). Dafür wurden an jedem Messpunkt drei Proben genommen. Für die Anionen- und Kationenbestimmung wurden zwei gefilterte Proben in 10-ml-Behältern kühl und lichtgeschützt aufbewahrt und für die Bestimmung der Kationenkonzentration zusätzlich mit wenigen Tropfen 30%iger Salpetersäure angesäuert. Zur Bestimmung des TOC-Gehaltes (gesamtorganischer Kohlenstoff) wurden 25 ml Behälter genutzt. Durchflussmessungen waren aufgrund der anhaltenden Trockenheit im Sommer 2019 nicht möglich.

Feldarbeit

Vor Ort wurden erste und wichtige Eigenschaften der Wässer bestimmt, insbesondere Parameter, die sich bei längerer Lagerung verändern können, wodurch die ursprünglichen Eigenschaften der Gewässer verfälscht werden. Dazu zählen Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Trübe, Redoxpotential, Karbonat- und Gesamthärte, sowie der Chloridgehalt.

Die Ermittlung von Leitfähigkeit, Temperatur, pH und Redoxpotential erfolgte mittels HQ40d Multimeter der Firma HACH. Die Trübe wurde mittels „2100Q IS“ der Firma HACH bestimmt und in NTU angegeben. Karbonathärte, Gesamthärte und der Chloridgehalt wurden mit titrimetrischen Schnelltests der Firma MERCK untersucht.

Laborarbeit

Für die Bestimmung von Anionen und Kationen kam die Ionenaustauschchromatographie zur Anwendung. Diese Methode beruht auf der Verteilung eines Stoffes zwischen einer mobilen und einer stationären Phase (JENSEN, 2013).

Dabei werden Anionen und Kationen in Verbindung mit Leitfähigkeitsdetektoren an der stationären Phase getrennt. Die Trennung erfolgt grundsätzlich nach Größe und Ladung der Ionen. Um die Nachweisempfindlichkeit deutlich zu erhöhen, wurden chemische Suppressoren eingesetzt (KLAMERTH, 2017). Es wurden die Retentionszeit und die Signalstärke (hier: Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$) gemessen. Daraus konnten die Peakfläche und die Konzentration des jeweiligen Ions berechnet werden.

Der Eisengehalt wurde photometrisch mithilfe eines tragbaren Colorimeters „DR/890“ der Firma HACH untersucht. Die Bestimmung basiert auf dem Lambert-Beerschen Gesetz, welches die Abschwächung der Intensität einer Strahlung beim Durchgang durch ein Medium mit absorbierender Substanz beschreibt.

Um den TOC zu bestimmen, wurden die Gewässerproben mithilfe des Analysesystems „Multi N/C 2100“ untersucht. Die Analyse beruht auf der thermischen Oxidation der im Wasser vorhandenen Kohlenstoffverbindungen und der spektrometrischen Untersuchung des entstandenen CO_2 .

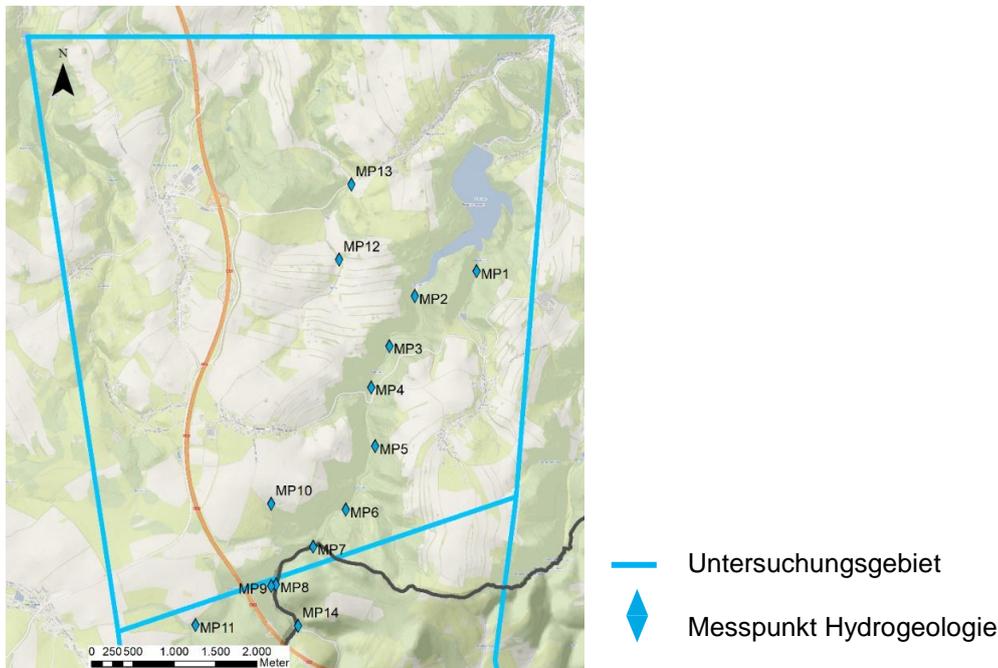


Abbildung 36: Messpunkte (blaue Rauten) der hydrogeologischen Kartierung.

8.2 Ergebnisse

8.2.1 Nassstellenkartierung und hydrochemisches Monitoring

Die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen sind aus KÖHLER (2019) entnommen.

Das Einzugsgebiet der Talsperre Gottleuba hat eine Größe von ca. 35 km², wovon rund 16 km² auf tschechischem Gebiet liegen. Hydrogeologisch befindet sich das Gebiet im Bereich der metamorphen Gesteine des Osterzgebirges. Diese zählen zu den Kluftgrundwasserleitern. Aufgrund der kompakten fein- bis mittelkörnigen Struktur der Zweiglimmerpara- und der Biotitorthogneise sind die Gesteine Grundwasserhemmer. Eine Wasserführung ist deshalb nur in offenen Klüften und Störungen, sowie in der Verwitterungszone möglich.

Damit ist ein direkter Zusammenhang zwischen offenen Wasseraustritten (Quellen) und verdeckten Wasseraustritten (Nassstellen) einerseits und tektonischen Bruchstrukturen andererseits gegeben. Eine genaue Kartierung der Nassstellen ermöglicht demnach eine Karte des mutmaßlichen Störungsnetzes der oberflächlich hydraulisch wirksamen Störungen.

Bei der Nassstellenkartierung gab es an einigen Stellen Hinweise auf Wasseraustritte (Abbildung 37). Im Quellgebiet des Bahrebaches können Feuchtwiesen beobachtet werden (Abbildung 38a). Flussabwärts an der Straße zwischen Börnersdorf und Hartmannsbach befindet sich ein sumpfiges Gebiet. Südlich von Breitenau liegen in morphologischen Senken temporäre Bachläufe.

Zur Zeit der Kartierung im August 2018 waren diese Zuflüsse zur Gottleuba beinahe trocken (Abbildung 38b). Um die gefundenen Nassstellen hinsichtlich ihrer Sicherheit und Relevanz zu überprüfen, wurde 2019 eine Masterarbeit zu dem Thema "Erstellung eines Hydrogeologischen Modells im Umfeld des Trassenkorridors des Erzgebirgsbasistunnels der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag" vergeben. Bei den Feldarbeiten im Zuge dieser Masterarbeit konnten im Juli 2019 die Nassstellen aus dem Vorjahr bestätigt und weitere Nassstellen im Gebiet zwischen der Struktur Börnersdorf und der Ortschaft Breitenau ergänzt werden. Der Bewuchs der Aufschlüsse mit Flechten und Moosen in der Nähe von Klüften spricht ebenfalls für eine temporäre Wasserführung. Dies kann z.B. in der Nähe der Staumauer der Talsperre Gottleuba beobachtet werden (Abbildung 38c). Ein weiterer Hinweis auf die Wasserführung des Untergrundes sind Drainagen zum Entwässern der Wiesen und Felder.

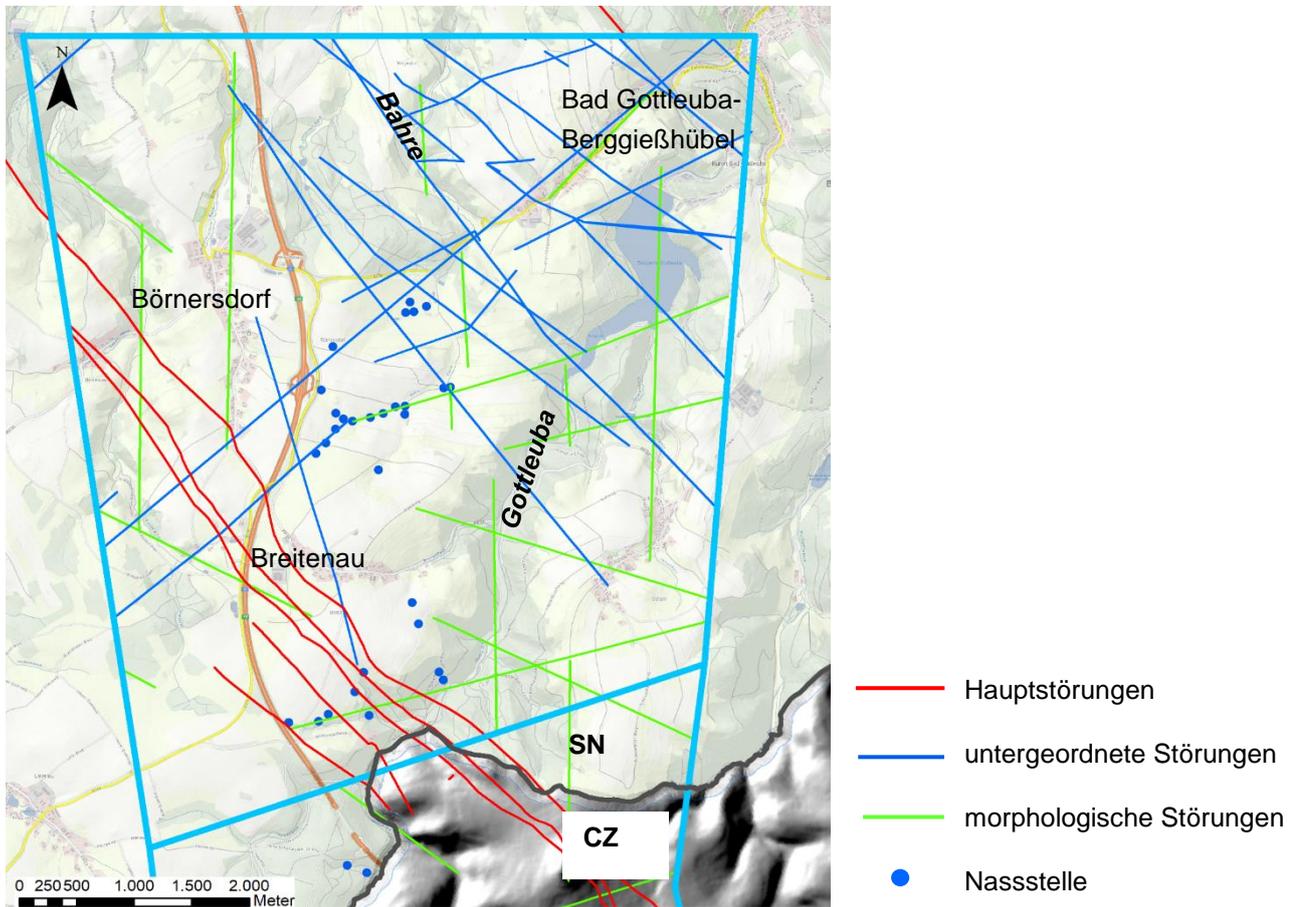
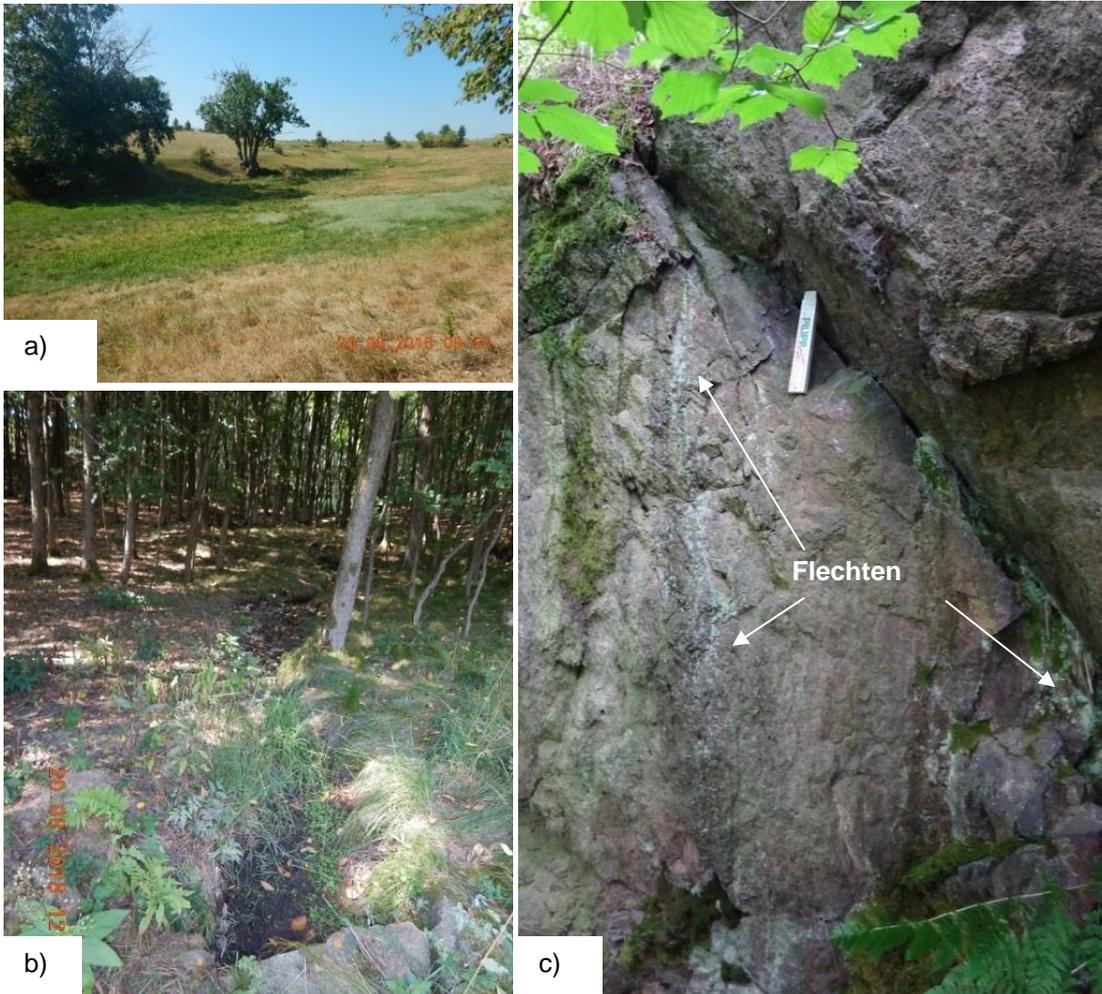


Abbildung 37: Übersichtskarte der kartierten Feucht- und Quellgebiete und Störungen im Untersuchungsgebiet. Datengrundlage: KÖHLER (2019) und PETERS (2019).



Fotos a/b: LfULG, Elisabeth Seidel; Foto c: Lisa Thiele

Abbildung 38: a) Nassstelle am Stop 22 nördlich der Ortschaft Breitenau. b) Bachlauf Stop 38 südlich von Breitenau. c) Flechten und Moos am Aufschluss BP 7 an der Staumauer der Talsperre Gottleuba (THIELE, 2019).

Das anfallende Regenwasser sammelt sich in der oberflächigen Auflockerungs- und Zersatzzone, welche nur wenige Dezimeter bis mehrere Meter mächtig ist. Stellenweise werden jedoch Mächtigkeiten von bis zu 9 m erreicht. Die Zersatzzone des Gneises besteht aus drei Schichten, in denen das Wasser zirkulieren kann. Unmittelbar über dem Anstehenden ist der Gneis in Blöcke aufgelöst. Diese Zone geht in körnigen Grus und danach in mit Gesteinsfragmenten durchzogenen Verwitterungslehm über. Zum Teil gibt es noch eine geringmächtige humose Bodenschicht. Im Bereich des Flusses Gottleuba besteht die Auflockerungszone aus schluffigen Sanden und Schotter. In der Verwitterungszone sowie in den quartären Sedimenten fließt ein Großteil des Sickerwassers lateral und zeitlich verzögert als hypodermischer Abfluss in die Gottleuba oder deren Vorflutern.

In Bereichen von Mulden und Vorflutern kann neben dem Zwischenabfluss auch oberflächennahes Grundwasser vorhanden sein, welches beim Übergang in die von Auelehmen überlagerten groben, aber lehmigen Schotter der Bäche mit dem Bachwasser in enge hydraulische Beziehung tritt.

Aufgrund der anhaltenden Trockenheit in den Sommermonaten der Trockenjahre 2018 und 2019 sind die Durchflüsse der meisten Vorfluter im deutschen Untersuchungsgebiet kaum messbar. Lediglich der Fluss „Gottleuba“ führt in solchen Zeiten noch geringe Mengen Wasser. Durchflüsse von 40 l/s und weniger sind die Folgen. So wurde am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ am 28.06.2019 ein Durchfluss von 16 l/s gemessen (LTV, 2019). Der mittlere Gesamtabfluss des hydrologischen Jahres 2017/2018 (01.11.2017-31.10.2018) am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ beträgt 280 l/s (Abbildung 39, Abbildung 40).

Unterstützt werden die Beobachtungen durch den ermittelten Auslaufkoeffizienten für das Jahr 2018. Der Auslaufkoeffizient gibt Auskunft über das Retentions- und Speichervermögen des Einzugsgebietes. Ist dieser hoch, so weist der daraus resultierende kleinere nutzbare Hohlraumanteil auf ein geringes Retentions- und Speichervermögen hin.

Der ermittelte Auslaufkoeffizient von $\alpha = 0,091 \text{ [d}^{-1}\text{]}$ ist sehr hoch. Je höher der Wert ist, desto geringer ist das Speichervermögen der Gesteine. Eine lange Verweildauer des infiltrierten Wassers ist daher nicht möglich.

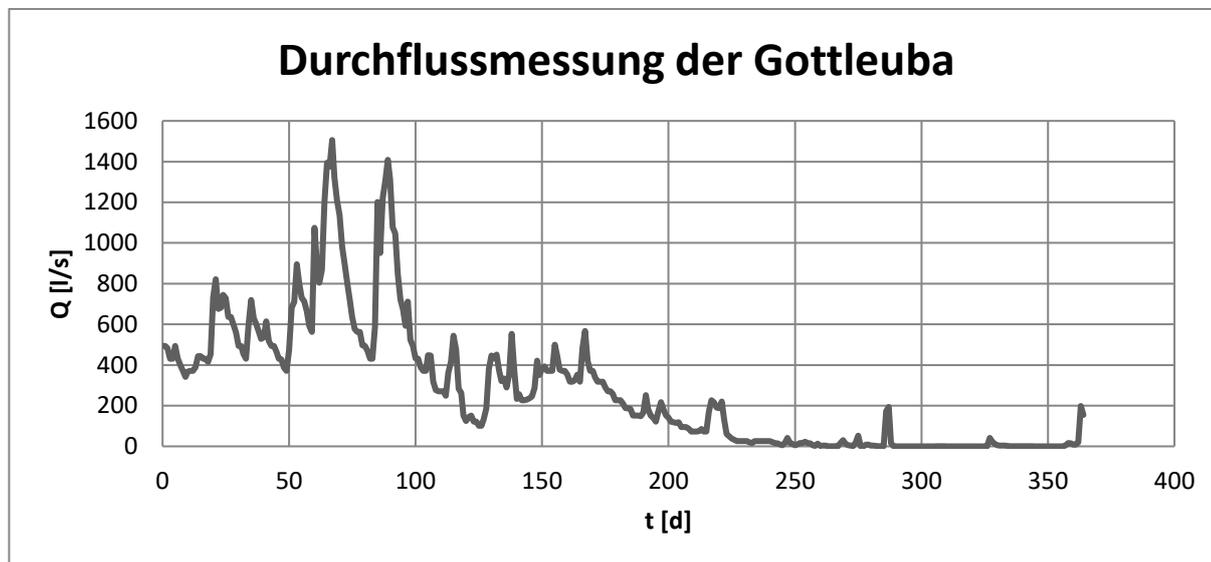


Abbildung 39: Durchflussmessung der Gottleuba am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ für das hydrologische Jahr 2017/2018. Daten: (LTV, 2019).

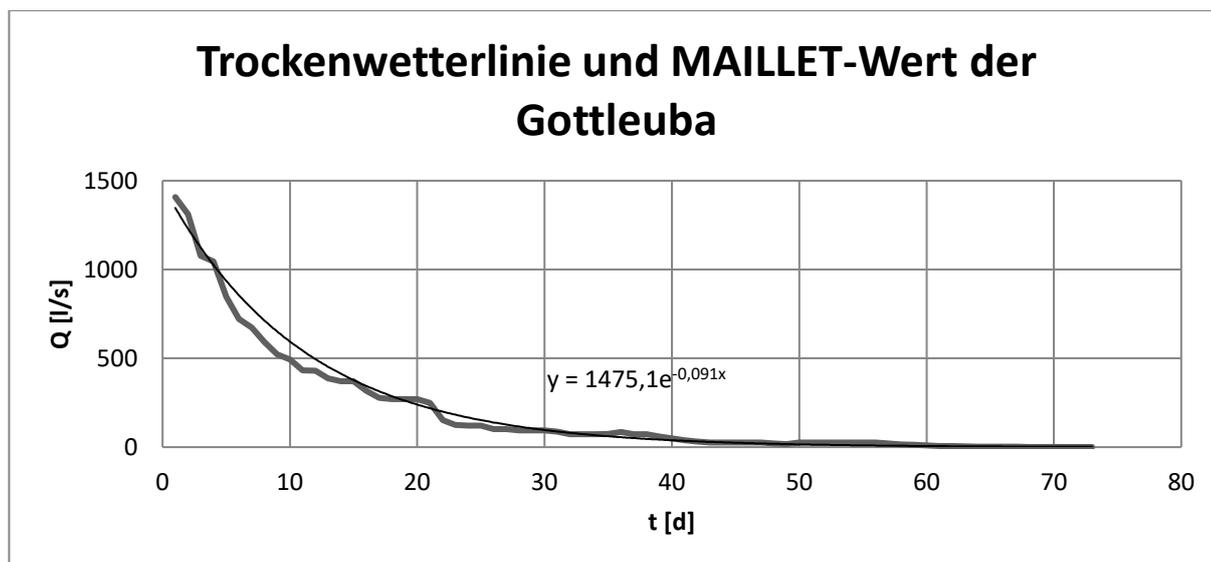


Abbildung 40: Trockenwetterlinie und MAILLET-Wert der Gottleuba am Zuflusspegel „TS Gottleuba 1“ für das hydrologische Jahr 2017/2018. Daten: (LTV, 2019).

Hydrochemische Messungen der Oberflächengewässer, insbesondere der Gottleuba und des Nasenbaches, weisen auf geringmineralisierte weiche Grundwässer hin. Die elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 150 und $220 \mu\text{S}/\text{cm}$ unterstreichen die Messergebnisse. Einflüsse durch tiefere und stärker mineralisierte Kluffundwässer konnten nicht nachgewiesen werden. Die hydrochemischen Messwerte können der Anlage 9 entnommen werden.

Dem hydrogeochemischen Monitoring sollte in nachfolgenden Untersuchungsetappen eine größere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Tabelle 3: Auslaufkoeffizienten nach (RICHTER & LILLICH, 1975) und (HÖLTING & COLDEWEY, 2013)

Geologie	Auslaufkoeffizient α [d-1]
Para-/Orthogneise Einzugsgebiet Gottleuba	0,096
klüftige Kalke	0,0025 bis 0,05
wenig geklüftete Sandsteine	0,001 bis 0,0024
verkarstete Zechsteinkalke	0,00124

Die Wasserführung der tektonischen Trennflächen hängt stark von deren Beschaffenheit ab. So können Störungen oberflächennah wirksam sein, aber mit steigender Tiefe geschlossen werden, wodurch sich die Durchlässigkeit stark verringert. Ursache ist der lithostatische Druck. Ebenfalls kann sich die Durchlässigkeit durch sekundäre Minerale-/Mineralgemische, wie Quarz, Calcit, Limonit oder Störungsletten stark verringern. Besonders beim Bau der Talsperre Gottleuba wurden in den aufgeschlossenen Klüften an der linkseitigen Störungszone sekundäre Minerale gefunden.

Die potentielle Wirksamkeit ausgewählter Störungen ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Festlegung der hydraulischen Eigenschaften aller Störungen ist zum derzeitigen Standpunkt noch nicht möglich.

Tabelle 4: Mögliche Interpretation zur Wasserführung ausgewählter Störungen im Untersuchungsgebiet

Bezeichnung	Streichen	Wasserführung/Wirksamkeit/Anmerkungen
Mittelsächsische Störung	NW-SE	teilweise wirksam
Struktur Börnersdorf	NW-SE; NE-SW; N-S	Mergel sind Grundwassergeringleiter/Grundwasserstauer, begrenzende Störungen können hydraulisch wirksam sein
Störungseinflussbereich Gottleubatal	SW-NE; N-S; W-E	mögliche Wirksamkeit
Petrovice-Döbra-Zone	NW-SE	wirksam
Linksseitige Störungszone Talsperre Gottleuba	NE-SW	wirksam

8.2.2 Betrachtungen zur Wasserwegsamkeit bekannter Störungszonen

Struktur Börnersdorf

Aufgrund der Morphologie besitzt die Senke um die Struktur Börnersdorf oberflächlich eine Trichterfunktion. Anfallendes Sickerwasser sammelt sich in diesem Bereich und fließt weiter in die Bahre. Die Struktur wird von verlagerten lehmigen Verwitterungsprodukten des Gneises überlagert. Die darunterliegenden Mergel sind sehr schwach durchlässig bis nahezu völlig wasserundurchlässig. Ihre stauende Funktion zeigt sich in oberflächigen Feuchtstellen wieder. Labor-messungen der Oberflächenwässer lassen einen eventuellen Einfluss der Mergel erkennen. Die gemessenen Gesamt- und Karbonathärten der Bahre sind im Vergleich zur Gottleuba leicht erhöht (Anlage 9). Eine hydraulische Wirksamkeit der strukturbegrenzenden Störungen ist anzunehmen, wodurch die darunterliegenden Sandsteine wassergesättigt sein können.

Struktur Petrovice-Döbra

Niederschlags und Oberflächenwässer versickern über den Verwitterungshorizont in die Gangstruktur und in das Kluftsystem des Nebengesteins. Einheitlich ausgebildete durchgängige Grundwasserleiter sind nicht vorhanden, jedoch ist eine Wasserführung bis in mehrere hundert Meter unter GOK anzunehmen. Nach den bei BERGMÜLLER (1978) aufgeführten Ergebnissen sollen im Rahmen hydrochemischer Untersuchungen anomale Fluorgehalte im Wasser nachgewiesen worden sein. Neuste Laboruntersuchungen von KÖHLER (2019) und die dauerhaften hydrochemischen Untersuchungen der LTV im Bereich der Talsperre können jedoch keine anomalen Fluorgehalte nachweisen. Die oberflächennahe Wirksamkeit einzelner Störungen ist anhand von Nassstellen nachgewiesen. Das Vorkommen liegt im bergmännisch unverritzten Gebirge. Es besteht keine Wasserhaltung.

Störungseinflussbereich Gottleubatal

Der Störungseinflussbereich Gottleubatal ist gleichzeitig der Bereich des Flusslaufes der Gottleuba. Aufgrund des vermuteten Strike-Slip-Störungstypes muss angenommen werden, dass die Störungen ein Mosaik bilden. Die einzelnen Abschnitte werden in zwei Kategorien unterteilt. SW-NE und W-E verlaufende Störungen sind in der Regel wasserundurchlässig. Von den N-S-Störungen hingegen wird eine gute Durchlässigkeit angenommen. Die Strike-Slip-Störung begünstigt eine senkrechte Wasserführung. Vergleichbare Störungen im Seidewitz- und Weißeritztal haben Kluftweiten bis zu 10 cm. Eine ähnliche Wasserführung im Freiburger Raum führt jedoch zur schnellen Versinterung. Die Störungen im Gottleubatal werden von Auelehmen über groben, aber lehmigen Schottern überdeckt. Hydrochemische Untersuchungen entlang des Gewässers weisen auf keine Einflüsse durch tiefere Kluftgrundwässer hin.

Mittelsächsische Störung

Die Mittelsächsische Störung besitzt in Bereichen der Hochtemperatur-Mylonite eine schlechte Durchlässigkeit. Jedoch können in Auflockerungszonen höhere Durchlässigkeiten erreicht werden. Eine hydraulische Wirksamkeit der Störung sollte deshalb nicht ausgeschlossen werden.

9 Geophysik

9.1 Methodik

Die geophysikalischen Untersuchungen wurden in mehreren Etappen durch die TU Bergakademie Freiberg (TU BAF), den tschechischen Geologischen Dienst (ČGS), die TU Berlin, und Geophysik GGD Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste m.b.H. (Geophysik GGD Leipzig) durchgeführt.

Abriss zu den verwendeten geophysikalischen Messverfahren

In den folgenden Tabellen (Tabelle 5 bis Tabelle 10) sind die geophysikalischen Messverfahren hinsichtlich ihrer Methodik, Erkundungsziel, Messaufwand, Kombinierbarkeit und mehr beschrieben.

Tabelle 5: Kurzbeschreibung der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Kurzbeschreibung des Verfahrens
<p>Seismik</p>	<p>Für seismische Untersuchungen werden Erschütterungen, welche von einer künstlichen Quelle (z.B. Hammer) angeregt werden, durch hochempfindliche Sensoren (Geophone) aufgezeichnet. Aus der Messung von Laufzeitunterschieden des Wellenfeldes vom Schusspunkt zu verschiedenen Empfängern können Rückschlüsse auf die Verteilung von seismischen Geschwindigkeiten im Untergrund gezogen werden. Grundsätzlich wird in Refraktionsseismik und Reflexionsseismik unterschieden. Es ist möglich und zum Teil üblich beide Verfahren mit ein und derselben Versuchsanordnung zu messen.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Abbildung 41: Links: Vibroseis Fahrzeug der TU Bergakademie Freiberg (BUSKE & BÜTTNER, 2019). Rechts: Auslage der Geophone (BUSKE, et al., 2014).</p>
<p>Reflexionsseismik</p>	<p>Die Reflexionsseismik untersucht Teile des durch die Geophone aufgezeichneten Wellenfeldes, welche im Untergrund an Grenzflächen reflektiert wurden. Aus der Messung der Laufzeit, welche das Wellenfeld von der Quelle zum Reflektor und zurück zum Empfänger an der Oberfläche benötigt, kann die Tiefenlage des Reflektors bestimmt werden. Die angewendeten Verfahren ähneln dem von Schiffen bekannten Echolot. Je genauer die Geschwindigkeitsverteilung im Untergrund bekannt ist, desto genauer kann der Reflektor lokalisiert werden.</p>
<p>Refraktionsseismik</p>	<p>Durch das „Snelliussche Brechungsgesetz“ wird auch die Brechung (Refraktion) seismischer Wellen beschrieben. Aus dieser Gesetzmäßigkeit, kann abgeleitet werden, dass seismische Wellen, bei zunehmender seismischer Geschwindigkeit mit zunehmender Tiefe zurück an die Oberfläche gebrochen werden. Die Laufzeit dieser sogenannten Tauchwellen kann für eine Geschwindigkeitstomografie genutzt werden, um die Geschwindigkeitsstrukturen im Untergrund aufzulösen. Diese Informationen sind wiederum für die Reflexionsseismik wichtig.</p>

<p>Gravimetrie</p>	<p>Massen ziehen sich immer gegenseitig an. Die Kraft/Schwereanziehung, welche dabei wirkt, ist proportional zur Masse der beiden Körper und deren Abstand. Ist die Masse eines Prüfkörpers genau bekannt, kann über die Messung der „Schwere“ dieses Prüfkörpers die Masse des anderen anziehenden Körpers bestimmt werden. Dieses Messprinzip wird in sogenannten Gravimetern verwirklicht. Mit diesen Messgeräten kann die Anziehungskraft auf einen Prüfkörper mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden. Da die Entfernungsabhängigkeit im Gravitationsgesetz nicht linear, sondern quadratisch ist, ist es möglich trotz der dominierenden „Hintergrundanziehung“ der Erde kleinräumige lokale Dichte- /Massedifferenzen zu messen.</p>
<p>Geomagnetik</p>	<p>Verschiedene Minerale (z.B. Magnetit) sind magnetisch wirksam. Diese Minerale sind sehr unterschiedlich in der Erdkruste verteilt und ein charakteristisches Merkmal für einige Gesteinstypen. Diese magnetische Wirkung führt zu lokalen Veränderungen des Erdmagnetfeldes. Im täglichen Leben sind diese Veränderungen nicht relevant, können aber sehr gut gemessen werden. Dadurch können z.B. basaltische Gesteine im Untergrund sehr gut kartiert werden.</p>
<p>Geoelektrik – Elektrische Widerstands Tomografie (ERT)</p>	<p>Der elektrische Widerstand des Untergrundes kann durch eine sogenannte Vierpunktanordnung bestimmt werden. Dazu wird an zwei Stromelektroden (A und B) ein schwacher Strom in den Untergrund eingespeist. Dadurch bildet sich im Untergrund ein von Untergrundeigenschaften abhängiges Potentialfeld aus. An zwei weiteren Elektroden (M und N) wird eine Potentialdifferenz bestimmt. Wie groß diese Differenz ist, hängt vom Untergrund ab. Verschiedene Anordnungen und Abstände der Elektroden ermöglichen es Rückschlüsse auf Materialeigenschaften in verschiedenen Tiefenlagen zu ziehen. Durch die Verwendung einer computergesteuerten Multielektrodenanordnung (z.B. 100 Elektroden) ist es möglich schnell viele dieser Kombinationen zu messen. Dazu werden die Elektroden in festgelegtem Abstand in den Boden eingesteckt und anschließend je nach aktuell gewünschter Konfiguration vier Elektroden gleichzeitig gemessen.</p> <div data-bbox="408 1010 935 1473" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="954 1010 1393 1473" data-label="Image"> </div> <p>s: LfULG, Sabine Kulikov</p> <p>Abbildung 42: Elektroden-Auslage für die Geoelektrik-Messung.</p>

Tabelle 6: Erkundungsziel der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Erkundungsziele
Seismik	Eigenschaften der Verteilung von seismischen Geschwindigkeiten des Untergrundes
Reflexionsseismik	Strukturabbildung: Scharfe abrupte Kontraste der akustischen Impedanz, z.B. durch Gesteinswechsel (Granit/Sandstein) oder an Störungen (durch Brekzien) und Klüften (Wasser) hervorgerufen
Refraktionsseismik	Bestimmung der flächenhaften/volumetrischen Verteilung seismischer Geschwindigkeiten im Untergrund
Gravimetrie	Dichteunterschiede des Untergrundes, z.B. Gneis (sehr kompakt, dicht, „schwer“) gegen Sandstein (porös, weniger dicht, „leichter“)
Geomagnetik	Lokalisierung von magnetisch wirksamen Gesteinsmassen mit hohem Anteil an Eisenmineralen wie Magnetit z.B. verdeckte Metabasite
Geoelektrik	Bestimmung der Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund. Feuchte und tonhaltige Erden, Brekzien und Kluffüllungen sind deutlich leitfähiger als kompakte Gesteinsmassen

Tabelle 7: Tiefenwirkung der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Tiefenwirkung
Seismik	Von 0 m bis 35 km je nach Anwendungsfall und Verfahren. Abhängig von der Länge der Auslage (mehr ist besser), der Anregungsenergie (mehr ist besser).
Reflexionsseismik	Richtwerte für Kristallin: Hammerschlag < 200 m, Fallgewicht (400 kg) < 2 km, Vibroseismik < 3,5 km
Refraktionsseismik	Zusätzliche starke Abhängigkeit vom Geschwindigkeitsgradienten im Untergrund. Je schneller die Geschwindigkeit mit der Tiefe zunimmt (großer Gradient), desto schlechter die Tiefenwirkung. Richtwerte f. Kristallin: Hammerschlag < 30 m, Fallgewicht < 300 m, Vibroseismik < 500 m (min. 3 km Auslage)
Gravimetrie	Äquipotenzialprinzip: Kleine oberflächennahe Störungen können genauso gut gemessen werden wie große tiefe Störungen.
Geomagnetik	2-5 m, stark abhängig von der Objektgröße
Geoelektrik	Eindringtiefe in homogenen Halbraum 1/6 bis 1/5 der Auslagenlänge.

Tabelle 8: Messaufwand der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Messaufwand (MA) / Auswertungsaufwand (AA)
Seismik	MA: hoch (Tage bis Wochen)
Reflexionsseismik	AA: sehr hoch (Wochen bis Monate je nach Auswertungsverfahren)
Refraktionsseismik	AA: normal (Tage)
Gravimetrie	MA: gering (Tag(e)) AA: normal (Tage)
Geomagnetik	MA: gering, AA: gering
Geoelektrik	MA: normal (Tag(e)) AA: normal (Tag(e))

Tabelle 9: Auflösungsvermögen und Unsicherheiten der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Auflösungsvermögen und Unsicherheiten
Seismik	Auflösungsvermögen abhängig von der angeregten Wellenlänge und Tiefe.
Re- flexions- seismik	Zwei Reflektoren müssen weiter als die Wellenlänge des Signals voneinander entfernt sein, um abgebildet werden zu können, z.B. 50 m bei 100 Hz Signal und 5.000 m/s Gesteinsgeschwindigkeit. Unsicherheit der Lage des Reflektors skaliert linear mit dem Fehler des Geschwindigkeitsmodells. 5 % Fehler Geschwindigkeit = 5 % Verschiebung in der Tiefenlage. Bei 1 km Tiefe = 50 m. Reflektorneigung kann zu flach sein, wenn der Reflektor nicht senkrecht geschnitten wird. Keine Aussage zum Streichen aus einem 2D-Profil möglich.
Re- fraktions- seismik	Die kleinste auflösbare Struktur an der Oberfläche entspricht dem Abstand der Geophone. Tiefenauflösung hängt wesentlich von der Verteilung und Anzahl der Schusspunkte ab (mehr ist besser, gleichmäßig verteilt ist besser). Auflösung mit der Tiefe nimmt meist ab, da die maximale Eindringtiefe nur von weit entfernten Schuss-Empfänger-Abständen beleuchtet werden kann. Deshalb stehen wenige Messwerte für die Inversion zur Verfügung. Sind ausreichend Schüsse vorhanden und wurde das Modell anhand der Strahlüberdeckung beschnitten, sind die Ergebnisse sehr verlässlich.
Gravi- metrie	Profillänge und Messpunktabstand definieren die horizontale und vertikale Auflösung. Wurde eine Anomalie vollständig gemessen (Anomaliewert wieder auf 0 abgesunken) sind gute Aussagen über die Natur einer Störung möglich. Breite der Anomalie gibt Aufschluss über die Tiefenlänge. Keine definitive Aussage über Größe und Stärke der Anomalie möglich. Eine kleine sehr starke Störung erzielt exakt die gleiche Anomalie (Messsignal) wie eine große schwache Störung (Äquipotentialprinzip).
Geo- magnetik	Lage der Anomalie kann genau kartiert werden.
Geo- elektrik	Das Auflösungsvermögen nimmt exponentiell mit der Tiefe ab. Die kleinste auflösbare Einheit entspricht dem Elektrodenabstand. Kleine, starke, tiefe Störungen „verschmieren“ in der Abbildung. Horizontales und vertikales Auflösungsvermögen abhängig von der verwendeten Messanordnung. Für die Auswertung der 2D-Geoelektrik (Standard) wird eine „unendlich“ ausgedehnte 2D Struktur (z.B. Störung) angenommen. Deshalb ist das Verfahren empfindlich gegenüber 3D-Strukturen (z.B. Fluss parallel zum Messprofil).

Tabelle 10: Kombinierbarkeit der geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Kombinierbarkeit mit anderen Methoden und sinnvolle Anwendungsszenarien
Allgemein	Mehr Kombinationen sind immer besser. Wirtschaftlicher Mehraufwand im Verhältnis zum Erkenntnisgewinn aber nicht in jedem Fall gewährleistet.
Seismik	Mittel der Wahl zur Kartierung von Strukturen (scharfe Gesteinsgrenzen, Störungen, etc.)
Re- flexions- seismik	Bildet Strukturen auch in großer Tiefe scharf ab. Auflösungsprobleme an der Oberfläche. Kombination mit Geoelektrik für „Oberflächenanschluss“ sehr sinnvoll. Geoelektrik kann Aufschluss über Wassersättigung einer seismisch kartierten Störung geben.
Re- fraktions- seismik	Sollte immer Grundlage für die Reflexionsseismik darstellen. Je besser das Geschwindigkeitsmodell, desto besser die Tiefenlokalisierung. Gute Synergien mit Geoelektrik, z.B. eine langsame (aufgelockerte) Zone mit guter Leitfähigkeit enthält Wasser. Ist die Zone schlecht leitfähig, ist kein Wasser vorhanden.
Gravi- metrie	Hilfreich zur genaueren Bestimmung vieler geologischer Strukturen. Durch die Dichtebestimmung können zum Teil Materialien ausgeschlossen werden. z.B. haben Tonstein und Sandstein fast identische seismische Geschwindigkeiten, aber signifikant unterschiedliche Dichten. Kostengünstige Methode um große Strukturen für spätere Detailerkundung zu detektieren.
Geo- magnetik	Kann eisenmineralhaltige Vulkanite wie Basalt exzellent detektieren und z.B. von Rhyolith differenzieren. Sollte in jedem Gebiet mit potenziellen Vulkaniten eingesetzt werden. Kann in Kombination mit Gravimetrie dazu dienen, tektonische Strukturen (Becken) von vulkanischen Strukturen (z.B. Maaren) zu unterscheiden.
Geo- elektrik	Universalwerkzeug zur Detektion von oberflächennahen Fluiden. Ideal zur oberflächennahen Detektion von Störungen, da die Methode sehr empfindlich auf eventuelle Störungswässer ist. Entsprechend starke Synergien in Kombination mit Seismik.

Chronologie der geophysikalischen Untersuchungen

Im Rahmen der Grundlagenermittlung zur Streckenführung der Neubaustrecke Dresden-Prag wurden zwischen 2011 und 2019 umfangreiche geophysikalische Untersuchungen in vier Etappen durchgeführt (Abbildung 43). Die Zielstellung und verwendete Methoden der einzelnen Etappen sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Ausführliche Beschreibungen der Messkampagnen können dem jeweiligen Ergebnisbericht entnommen werden.

Tabelle 11: Geophysikalische Untersuchungsmethoden zwischen 2011 und 2019 im Trassenkorridor der geplanten Neubaustrecke Dresden-Prag.

Untersuchungs-etappe	Lokalität	Methode	Ziel	Quelle
2011	Börnersdorf „innerhalb der Struktur“	Reflexions- und Refraktionsseismik mit Fallgewicht und "SISSY"	Abbildung der vermuteten Beckenstruktur	(HORNA, et al., 2011)
2014-2017	Börnersdorf „außerhalb der Struktur“	Geoelektrik, Gravimetrie, Magnetik, Seismik, 3D-Seismik	erweiterte Untersuchungen im Umfeld der Struktur, Schlussfolgerungen zur Entstehung der Struktur; Bestimmung der Tiefe und Randflächen der Struktur	(BUSKE, et al., 2014), (BUSKE, et al., 2017)
2017-2018	Petrovice-Döbra, Gottleubatal	Geoelektrik, Reflexions- und Refraktionsseismik mit Fallgewicht und "SISSY"	Erkundung Struktur Petrovice-Döbra; Detektion von Störungen im Gottleubatal;	(BAUER & HENNING, 2018), ČGS (Anlage 10), (SIEMEGAP, et al., 2018)
	Zwischenbereich Börnersdorf – Petrovice-Döbra	Seismik	Verbindung zwischen der Struktur Börnersdorf und der Petrovice-Döbra Zone	(BUSKE, et al., 2018)
2019	Zwischenbereich Börnersdorf – Petrovice-Döbra	Seismik mit Vibroseis-Fahrzeug	Verbindung zwischen der Struktur Börnersdorf und der Petrovice-Döbra Zone; Breite der Petrovice-Döbra Zone	(BUSKE & BÜTTNER, 2019)

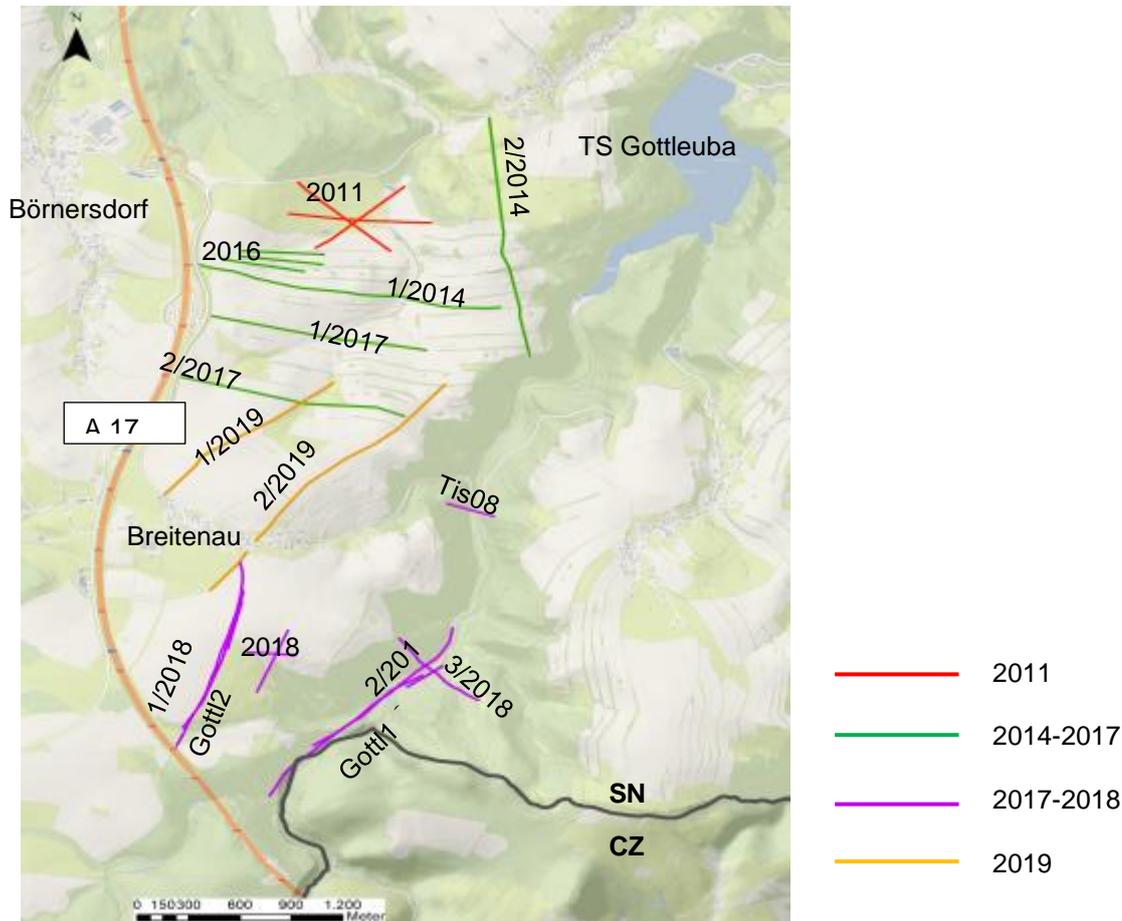


Abbildung 43: Lage der geophysikalischen Messprofile der vier Untersuchungsetappen.

9.2 Ergebnisse

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse aller geophysikalischen Untersuchungsetappen im Trassenkorridor der NBS seit 2011 zusammengefasst, um einen Gesamtüberblick vor allem für eine spätere Weiternutzung der Untersuchungsergebnisse zu erhalten. In Abbildung 43 ist die Lage der Messprofile eingezeichnet. Die Ergebnisse zu den ersten beiden Untersuchungsetappen im Umfeld der Struktur Bärnersdorf sind dem Abschlussbericht zur EUKOM-Studie (KRENTZ, et al., 2015) entnommen. Die Ergebnisse der Geoelektrik-Messprofile auf tschechischer Seite sind in englischer Sprache im Anlage 10 enthalten.

9.2.1 Struktur Bärnersdorf

Wie bereits in Kapitel 1.1.2 beschrieben, hat die Struktur, durch Kleinrammbohrungen und geophysikalische Untersuchungen belegt, einen Durchmesser von ca. 500 x 600 m und ist etwa 250-300 m tief. Sie wird durch mehrere zum Zentrum einfallende Störungen begrenzt. Es handelt sich um NW-SE, NE-SW sowie N-S-streichende Störungen, die sich im Bereich Bärnersdorf kreuzen. Die Struktur ist mit grauen, plastischen Mergeln verfüllt.

Die Mergel wurden paläontologisch untersucht. Es wurden Foraminiferen des unteren bis mittleren Coniacs gefunden. In unmittelbarer Nähe zur Struktur liegen Sandsteine des Cenomans und Unterturon auf den Proterozoischen Gneisen. Da die Mergel von Bärnersdorf jünger sind, als die Sandsteine, müssten sie auf den Sandsteinen aufliegen (Abbildung 44). Betrachtet man jedoch die topografische Lage der Mergel, so liegen sie unterhalb der Sandsteine. Das bedeutet bei der Struktur Bärnersdorf handelt es sich um eine kleinräumige Einbruchstruktur.

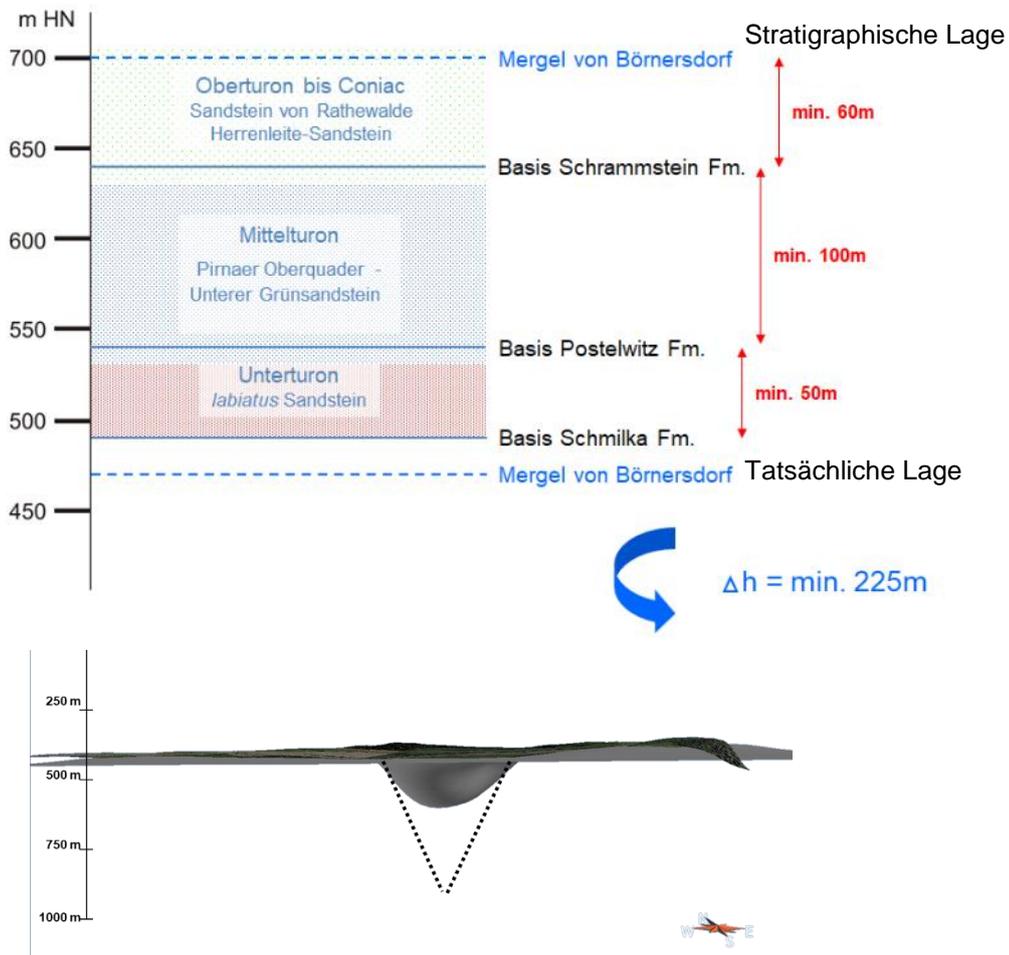


Abbildung 44: Stratigraphie der Kreidesedimente der Struktur Bärnersdorf oben: Stratigraphische Abfolge mit der tatsächlichen Lage der Mergel von Bärnersdorf ca. 225 m unterhalb der stratigraphischen Lage (ca. 700 m HN). Unten: Modellierte Grenzen der Struktur Bärnersdorf mit trichterförmiger Einbruchstruktur, da die Mergel von Bärnersdorf auf ca. 500 m HN liegen.

Innerhalb der Struktur

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungsetappe sowie der 3D-Modellierung wurden bereits in KRENTZ, et al. (2015) eingehend diskutiert. Dabei wurde eine Struktur identifiziert, die annähernd rund und mit relativ steil einfallenden Grenzflächen in allen bis dato abgeleiteten geophysikalischen Ergebnissen erschien (HORNA, et al., 2011). Die Neuberechnungen der regionalen und lokalen Bouguer-Anomalie gaben Hinweise auf eine mehr eckige Form der Anomalie, was auf eine Störungsbegrenzung hinweisen würde (Abbildung 45).

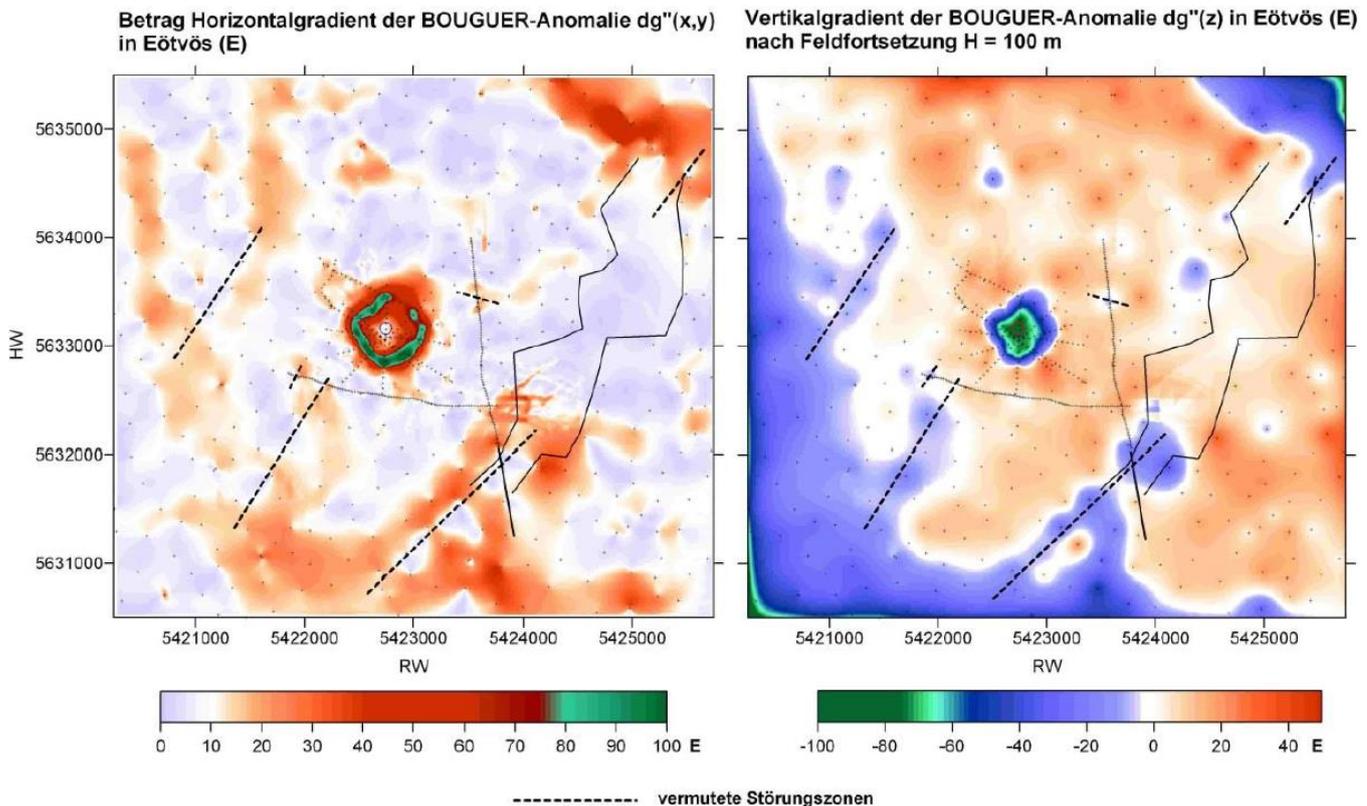


Abbildung 45: Horizontalgradient (links) und Vertikalgradient (rechts) der regionalen Bouguer-Anomalie (KRENTZ, et al., 2015).

Insbesondere im nordwestlichen und südwestlichen Teil erscheinen die Grenzflächen nicht rund, sondern als zwei separate, annähernd gerade Teilflächen, die in einem zur Struktur hin gewandten Innenwinkel von ca. $90^\circ - 100^\circ$ zueinander stehen (Abbildung 45 links).

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. 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.

Aus dem so erhaltenen 3D-Seismik-Cube wurde bereits eine erste geometrische 3D-Interpretation angefertigt, 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. Dieses 3D-Modell konnte dazu genutzt werden, eine Empfehlung über die Verlegung der Trassenführung herauszugeben, sodass die Struktur Börnersdorf nun umfahren wird (Abbildung 46).

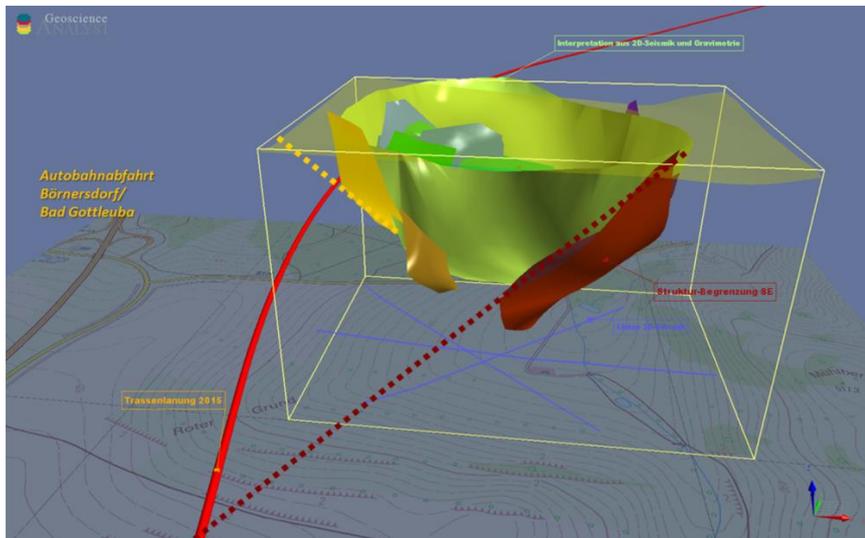


Abbildung 46: 3D-Modell der Struktur Börnersdorf im Ergebnis der geophysikalischen Untersuchungen zwischen 2011 und 2014 mit Darstellung markanter Störungen und der Empfehlung für die geänderte Streckenführung, die westlich um die Struktur herumführt (rot) (KRENTZ, et al., 2015).

Außerhalb der Struktur

Die zur Erkennung von markanten Störungszonen in unmittelbarer Umgebung der Struktur Börnersdorf durchgeführten geophysikalischen Arbeiten lieferten Daten, die direkte Hinweise auf regionale Störungszonen gaben. Insbesondere die vergleichende Interpretation der Gravimetrie- und Geoelektrik-Daten sowie der entsprechend hochauflösenden Form mit großer Tiefenreichweite der Seismik-Daten erbrachte übereinstimmende Ergebnisse. So ist für das Ost-West verlaufende **Profil 1/2014** (Abbildung 43) neben der oberflächennahen Störungzone ($x = 350$ 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 (Abbildung 47). 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 nur extrapoliert werden kann, da die Profile auf der östlichen Seite der Autobahn liegen.

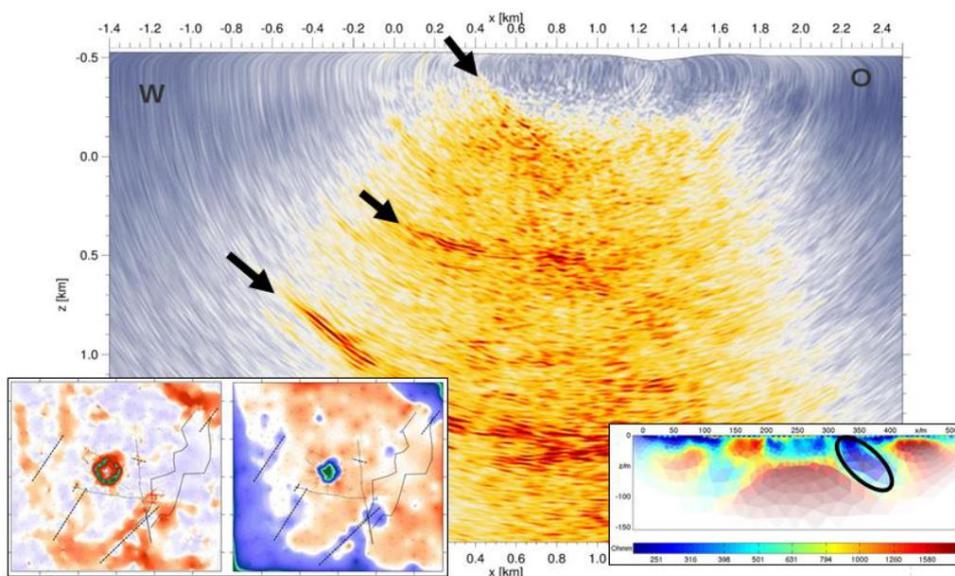


Abbildung 47: Interpretation der Daten des E-W verlaufenden Profils (KRENTZ, et al., 2015).

Die Bouguer-Anomalie-Übersichtskarte (Abbildung 45) zeigt in diesem potenziellen Ausbissbereich eine SW-NE verlaufende, längliche negative Anomalie, die mit der angenommenen Streichrichtung dieses Reflektors und seines potenziellen Oberflächenausbisses korreliert werden könnte.

Genesemodelle

Die Genese der Struktur ist noch ungeklärt. Sowohl die Entstehung durch ein Pull-apart Becken (HORNA, et al., 2011) als auch durch ein Maar (HORNA, et al., 2015) kommen in Betracht.

Die Struktur Börnersdorf befindet sich in der Verlängerung der Karsdorfer Störung südwestlich von Kreischa (Abbildung 48). Diese Störung versetzt die Kreide gegen das Proterozoikum um bis zu 300 m. Sie wird außerdem von jüngeren NE-SW-streichenden Störungen versetzt. Dadurch könnte sich ein kleinräumiges pull-apart-Becken (Abbildung 49 a, b) gebildet haben. Auch die Bildung durch synthetische oder antithetische Abschiebung (Abbildung 49 c, d) im Zuge der Hebung des Erzgebirges, wäre eine mögliche Theorie. Jedoch ist es schwierig die Tiefe von mind. 250 m auf so kleinem Raum (500 x 600 m) durch Tektonik zu erzeugen.

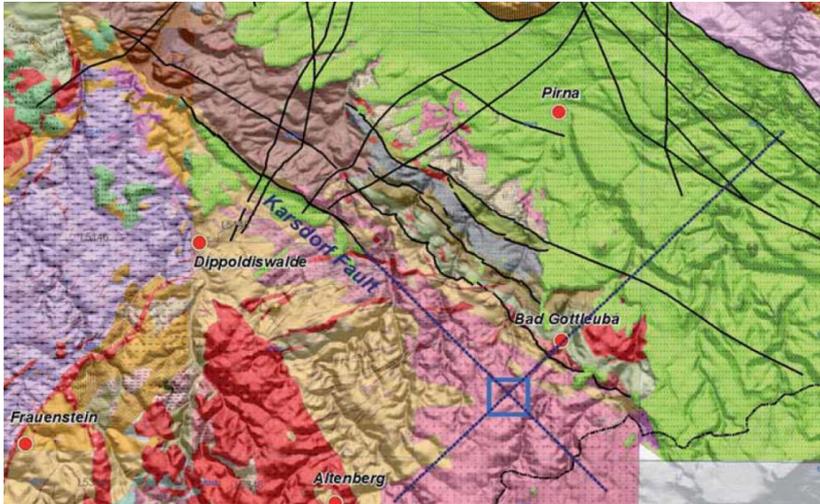


Abbildung 48: Lage der Struktur Börnersdorf (blaues Rechteck) in der Verlängerung der Karsdorfer Störung. (HORNA, et al., 2015)

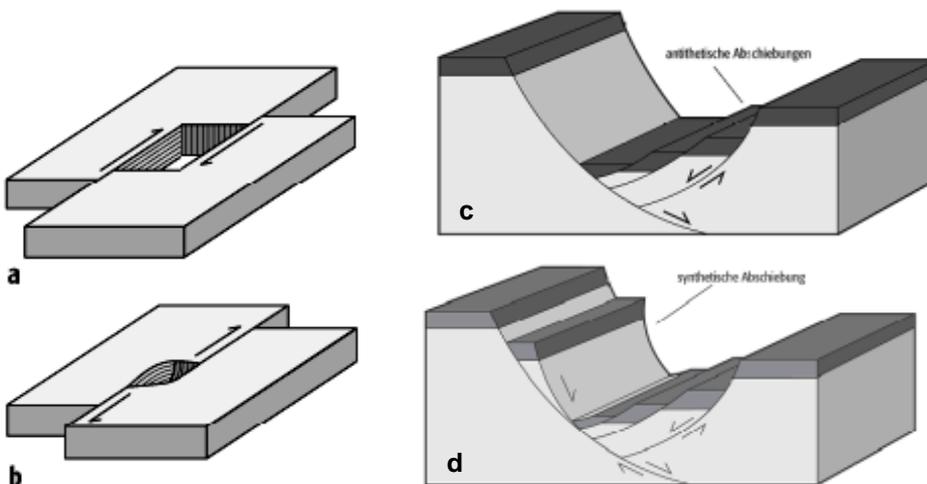


Abbildung 49: Schematische Darstellung der tektonischen Bildung durch (a, b) ein pull-apart-Becken, (c) antithetische Abschiebung und (d) synthetische Abschiebung. (GeoDZ.com, 2020)

Daher wird auch eine vulkanische Entstehung der Kreidestruktur in Betracht gezogen. Die nahezu runde Geometrie der Struktur, die durch steil zum Zentrum hin einfallende Störungen begrenzt wird, spricht für die Entstehung durch ein Maar. Außerdem liegt das Schwereminimum deckungsgleich mit dem Maximum der Geomagnetik, was auf einen Intrusionskörper unterhalb der Kreidesedimente in einer Tiefe von ca. 225 m hindeutet. In Sachsen sind einige Maare bekannt (z.B. bei Gutttau in der Lausitz). Ein Maar entsteht im terrestrischen Bereich, wenn das aufsteigende Magma mit dem Grundwasser in Kontakt gerät. Die schlagartige Abkühlung des Magmas führt zu einer thermo-hydraulischen Explosion, wodurch ein Krater entsteht (Abbildung 50). Dieser Krater wird anschließend über einen längeren Zeitraum mit Sedimenten verfüllt. Bei den Sedimenten in der Struktur Börnersdorf handelt es sich um homogene, feinkörnige marine Sedimente, was für ein Maar jedoch untypisch ist.

Beide Entstehungsmodelle der Struktur sind mit Unsicherheiten behaftet und bedürfen weiterer Untersuchungen.

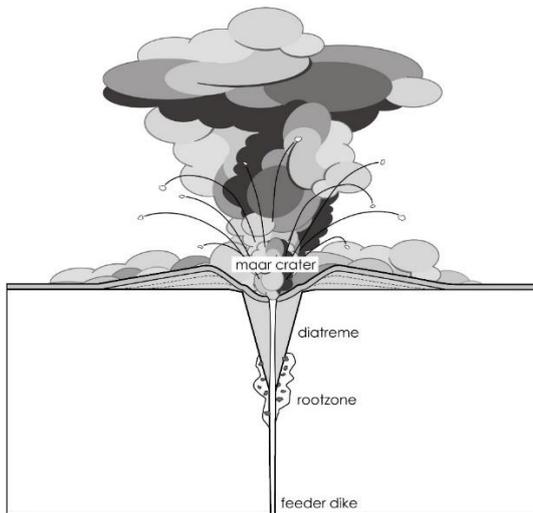


Abbildung 50: Schematischer Aufbau eines Maar Diatremes (SUHR, et al., 2006).

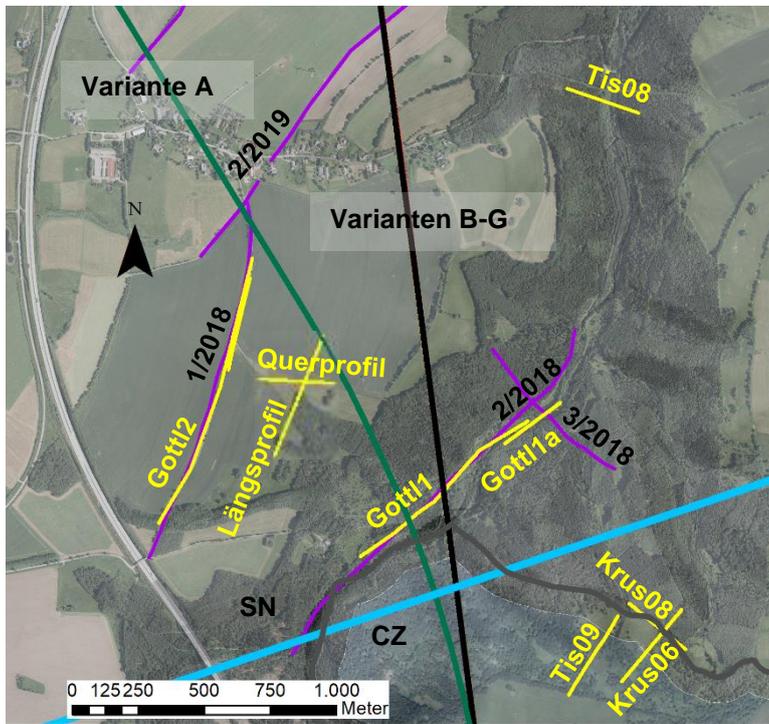
Petrovice-Döbra und Gottleubatal

Südlich der Ortschaft Breitenau wurden seismische Untersuchungen durch die Firma Geophysik GGD Leipzig sowie geoelektrische Messungen durch die TU Berlin und den Tschechischen Geologischen Dienst durchgeführt, um den Charakter der Störungszone Petrovice-Döbra besser einschätzen zu können. Die Lage der seismischen und geoelektrischen Profile südlich von Breitenau kann der Abbildung 51 entnommen werden.

Profil **1/2018** verlief entlang des Postmeilenweges südlich von Breitenau über eine Länge von 1.435 m. Profil **2/2018** wurde entlang des Gottleubatal auf einer Länge von 1.735 m vermessen und Profil **3/2018** mit einer Länge von 704 m kreuzte das Gottleubatal (sowie Profil 2/2018) an der Brücke auf Höhe des Holzplatzes, ca. 1,2 km südlich der Straßenbrücke Breitenau–Oelsen.

Als seismische Quelle wurde ein Fallgewicht EWG III (9,8 kJ) bzw. eine Treibkartusche „Sissy“ verwendet. Der Anregungsabstand lag bei 10 m bzw. 8 m (Profil 3/2018) und der Messpunktabstand bei 5 m bzw. 4 m (Profil 3/2018) (BAUER & HENNING, 2018). Der Teufenbereich des Zielhorizontes lag wiederum bei 300-500 m.

An allen drei Profilen wurden refraktionsseismische Messungen zur Ermittlung der Laufzeiten der seismischen Wellen, Tauchwellentomographie zur Ermittlung einer detaillierten und kontinuierlichen Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten im oberflächennahen Bereich sowie reflexionsseismische Untersuchungen zur strukturellen Darstellung der geologischen Verhältnisse durchgeführt. Danach erfolgte die Migration der Daten, um eine Tiefenaussage zu erhalten.



1/2018	Seismik	GGD Leipzig
2/2018	Seismik	GGD Leipzig
3/2018	Seismik	GGD Leipzig
2/2019	Seismik	TU BAF
Gottl1	Geoelektrik	ČGS
Gottl1a	Geoelektrik	ČGS
Gottl2	Geoelektrik	ČGS
Längsprofil, Querprofil	Geoelektrik, Seismik	TU Berlin
Tis08	Geoelektrik	ČGS
Tis09	Geoelektrik	ČGS
Krus06	Geoelektrik	ČGS
Krus08	Geoelektrik	ČGS

Abbildung 51: Lage der seismischen Profile (violett) von 2018 südlich von Breitenau und Gottliebatal sowie der geoelektrischen Profile (gelb) zur Erfassung der Störungszone Petrovice Döbra.

Im **Profil 1/2018** sind im reflexionsseismischen Bild deutlich mehrere nach NE einfallende Strukturen bis in eine Tiefe von ca. 300 m erkennbar, die an den Schusspunkten 1.300-1.350, 1.450 und 1.600-1.650 scheinbar ausstreichen (Abbildung 52). Diese Reflexionen entsprechen wahrscheinlich Einzelstörungen der Störungszone Petrovice-Döbra, die auf einer Strecke von fast 1.000 m an der Oberfläche nachzuweisen sind. Diese Ergebnisse korrespondieren gut mit den geoelektrischen Messungen von 1978 (BERGMÜLLER, 1978). Ebenso weist die Tauchwellentomographie am Schusspunkt 1.290-1.350 auf eine Zone mit relativ niedrigen Geschwindigkeiten hin (grüner Bereich beim gelben Pfeil), was die Annahme einer Störung unterstützt.

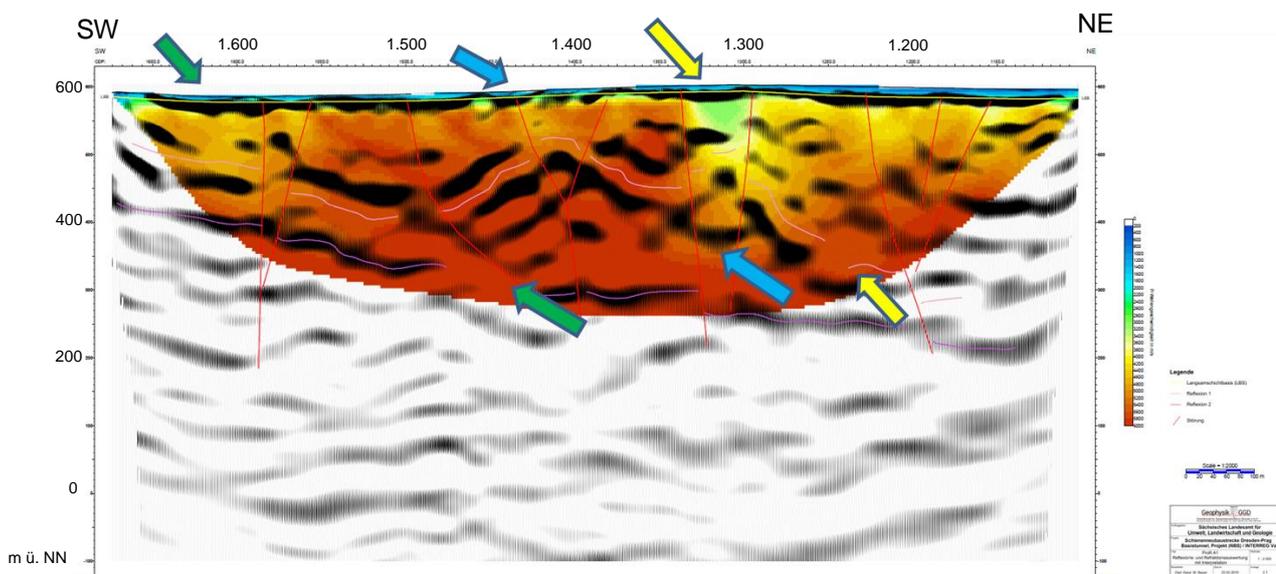


Abbildung 52: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 1/2018. Die Pfeile kennzeichnen die angenommenen Störungsbereiche. Die farbigen Bereiche stellen die Ergebnisse der Tomographie dar (BAUER & HENNING, 2018).

Im **Profil 2/2018** sind vergleichbare Strukturen wie im Profil 1/2018 zu erkennen. Am markantesten ist die Störung am Schusspunkt 4.500 (gelber Pfeil), die wahrscheinlich die NE-Begrenzung der Störungszone Petrovice-Döbra bildet und mit der Störung aus Profil 1/2018 korreliert (Abbildung 52, Abbildung 53). Sie ist hier bis in eine Tiefe von 500 m verfolgbar. Eine weitere deutliche Reflexion ist am Schusspunkt 4.300 erkennbar (blauer Pfeil). Bemerkenswert ist die kesselförmige Reflexionsdarstellung zwischen Schusspunkt 4.700 und 4.800 (roter Pfeil). Es ist genau der Bereich, in dem das Profil 3/2018 kreuzt.

Genauso wie im Profil 1/2018 weist die Tauchwellentomographie im Bereich der Störungszone auf geringere Geschwindigkeiten in Oberflächennähe (grüne Flächen) und damit auf Auflockerungszonen hin.

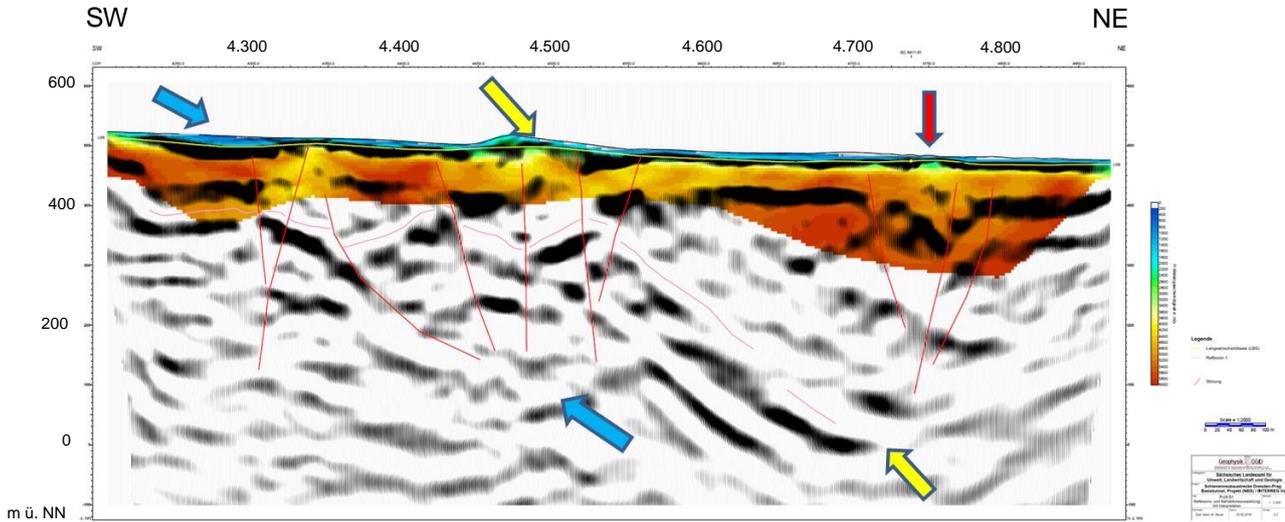


Abbildung 53: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 2/2018. Die Pfeile kennzeichnen die angenommenen Störungsbereiche. Interessant ist die schüsselartige Struktur im Kreuzungsbereich mit Profil 3/2018 (roter Pfeil). (BAUER & HENNING, 2018)

Das **Profil 3/2018** kreuzt das Gottleubatal auf Höhe des Holzplatzes in NW-SE-Richtung. Die Anregung im Bereich der steilen Hänge des Gottleubatals erfolgte mit der Treibkartusche „Sissy“. Ziel war es, Aussagen zum möglichen Störungscharakter des Gottleubatals zu erhalten.

Es zeichnen sich wieder schüsselförmige Reflexionen mit sich kreuzenden Unterbrechungen ab, vergleichbar mit dem Bild in Profil 2/2018 (Abbildung 54). Es ist wahrscheinlich, dass es sich um einen Störungsbereich handelt, der derzeit jedoch nicht näher charakterisiert werden kann. Es kann sich sowohl um die Gottleubatal Störung als auch eine jüngere Querstörung handeln.

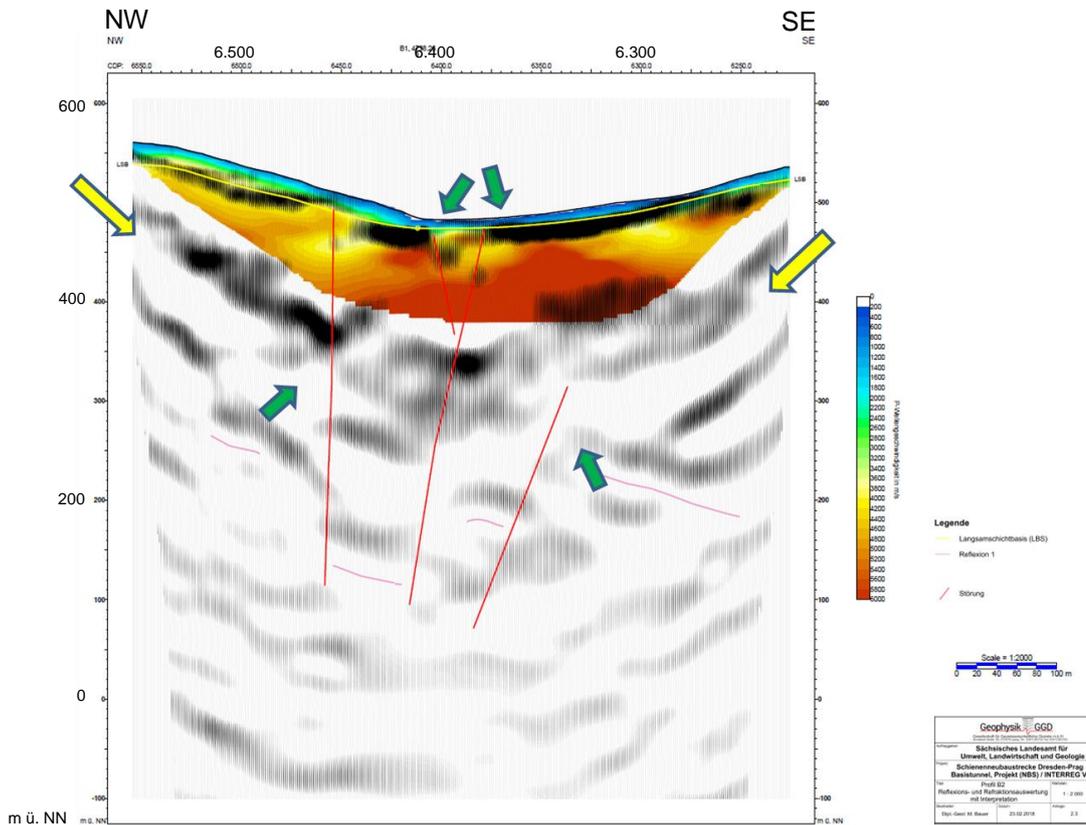


Abbildung 54: Reflexions- und Refraktionsauswertung des Profils 3/2018. Die Pfeile kennzeichnen die angenommenen Störungsbereiche. Interessant ist die analoge schüsselartige Struktur wie in Profil 2/2018. (BAUER & HENNING, 2018)

Die seismischen Untersuchungen wurden durch geoelektrische Messungen unterstützt, die durch den Tschechischen Geologischen Dienst (ČGS) im April, Mai und Juli 2018 durchgeführt wurden (vgl. Abbildung 51).

Das Profil Gottl1 mit einer Länge von 835 m wurde im April 2018 im Gottleubatal entlang des Seismischen Profils 2/2019 geschossen (Abbildung 55). Die Teufenreichweite beträgt 50-60 m. Es zeigt deutliche Maxima (braun) mit hohem Widerstand, die als Festgestein gedeutet und geradlinige Minima (blau) mit geringem Widerstand, die als Auflockerungszone (bzw. Störung) interpretiert werden. Die Minima entsprechen auch den im Gelände erwarteten Ausstrichbereichen der Störung Petrovice-Döbra. In Abbildung 56 ist sehr gut die Übereinstimmung mit den Reflexionen aus dem seismischen Profil zu erkennen.

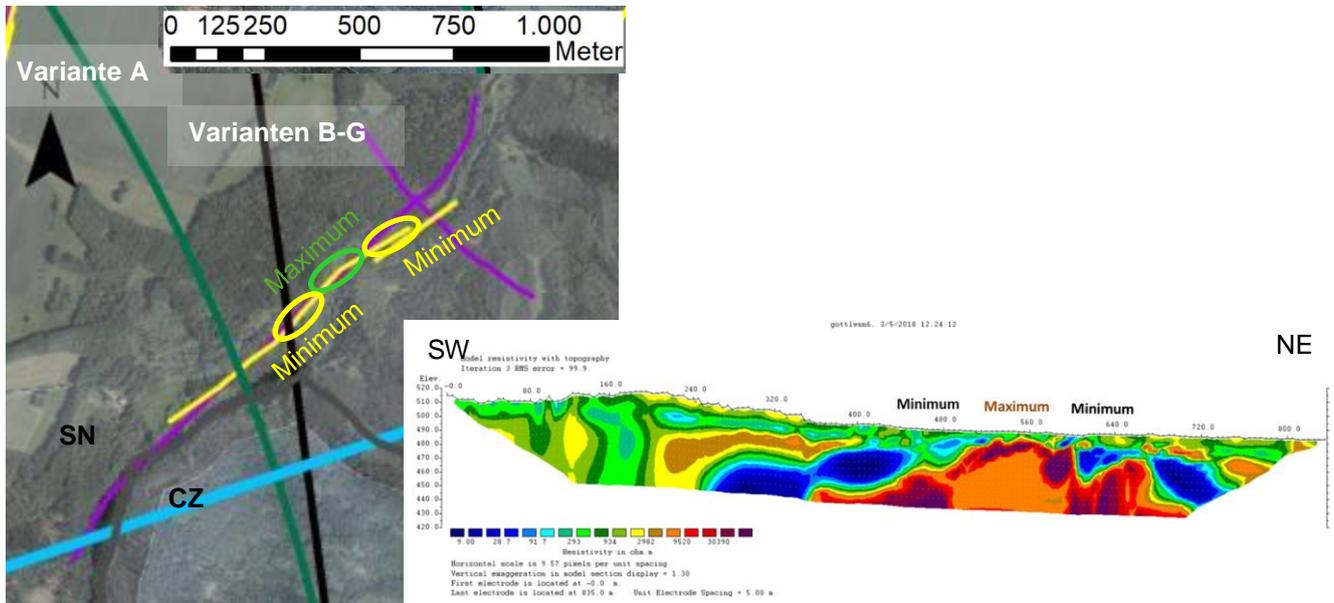


Abbildung 55: Links: Lage des Profils Gottl1 im Gottleubatal entlang des Seismischen Profils 2/2019 mit Kennzeichnung der Minima und Maxima. Rechts: Geoelektrisches Profil Gottl1 (gelb) nach der Wenner-Schlumberger-Methode mit deutlichen Maxima (grün) und Minima (gelb).

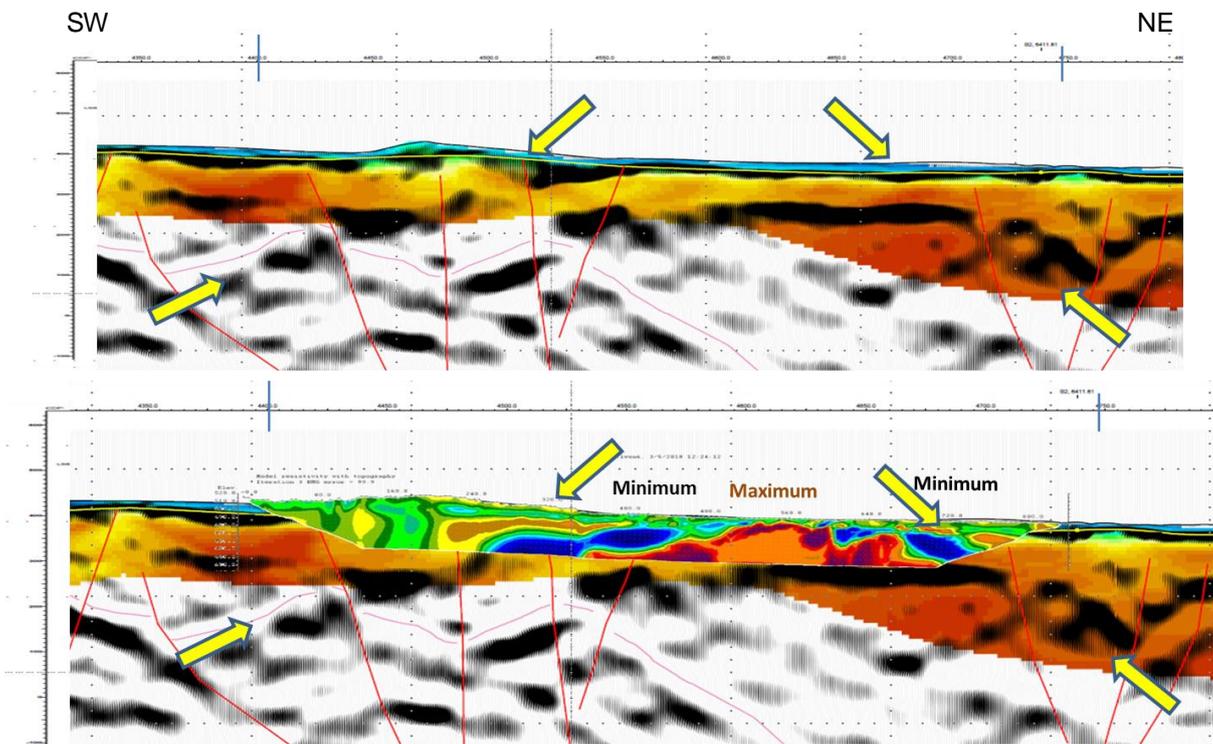


Abbildung 56: Vergleich der geoelektrischen Messungen Profil Gottl1 mit dem seismischen Profil 2/2019 (BAUER & HENNING, 2018).

Das Profil Gottl1 wurde im Bereich des Kreuzungspunktes mit dem Seismik-Profil 3/2018 durch das ERT Profil Gottl1a verlängert. Es bestätigt nachdrücklich den Ausstrich einer nördlichen Auflockerungszone des Profils Gottl 1 (blau), die im Profil Gottl 1a zwischen Profilpunkt 150-180 an der Oberfläche ausstreicht (Abbildung 57). Der abgeleitete Einfallswinkel nach NE ist abhängig von dem Winkel, in dem die Auflockerungszone das Profil schneidet und kann somit auch steiler ausfallen.

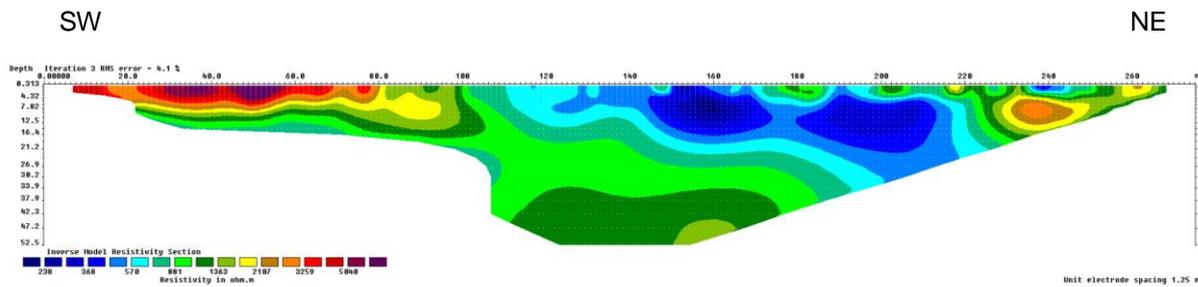


Abbildung 57: Geoelektrisches Profil Gottl1a nach der Wenner-Schlumberger-Methode als Verlängerung des Profils Gottl 1. Deutlich erkennbar ist die nach NE abtauchende Auflockerungszone (blau).

Etwa 1.000 m nördlich des Profils Gottl 1a wurde im April 2018 im Gottleubatal das ERT-**Profil Tis 08** auf einer Länge von 275 m senkrecht zum Verlauf des Gottleubatals nach der Wenner-Schlumberger und Dipol-Dipol Methode vermessen. Hinweise auf Störungen gibt es zwischen den Profilverpunkten 45-60 m und 190-210 m (Abbildung 58). Allerdings waren die Messbedingungen auf Grund der steilen Hanglage, der Trockenheit und der teilweise geringen Bodenbedeckung nicht optimal, so dass weitere Messungen erforderlich wären. Interessant ist jedoch, dass die Hinweise auf Störungen an den Talhängen sich durchaus mit den Anzeichen aus dem seismischen Profil 3/2018 (Abbildung 54) decken.

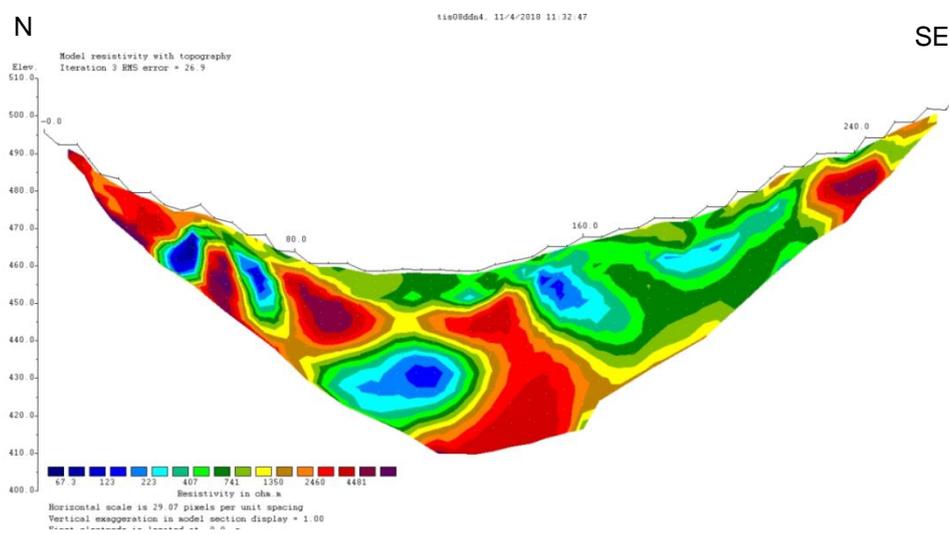


Abbildung 58: Geoelektrisches Profil Tis08 nach der Wenner-Schlumberger-Methode im Gottleubatal. Hinweise auf potentielle Störungen befinden sich besonders an den Hängen.

Das ERT-**Profil Gottl 2** wurde südlich der Ortschaft Breitenau auf dem Postmeilenweg parallel zum seismischen Profil 1/2018 mit der Wenner-Schlumberger Methode vermessen. Es hat eine Länge von 1.075 m. Bis zum Profilverpunkt 400 m wurden zwei Minima bei 110-160 m und 260–390 m nachgewiesen, die auf Störungszonen zurückgeführt werden könnten (Abbildung 59). Diese Störungszonen würden auch mit den in der Seismik nachgewiesenen Störungen korrespondieren. Allerdings zeigen die restlichen Daten von Profilverpunkt 400–1.070 m auf Grund der Trockenheit und dem steinigen Boden einen großen Fehler und sind daher nicht interpretierbar.

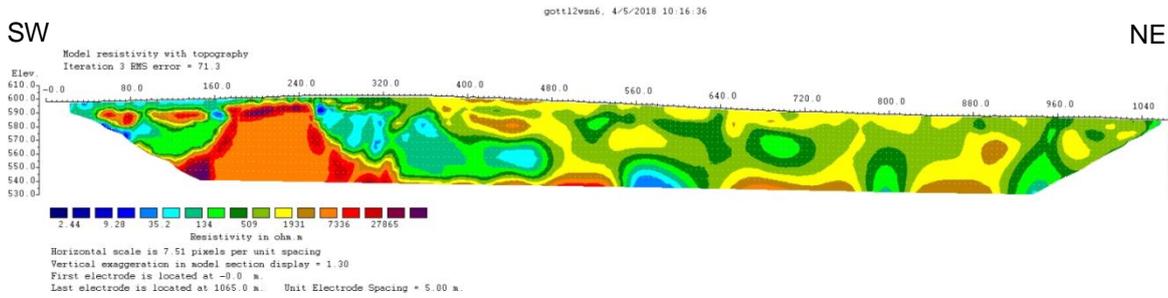
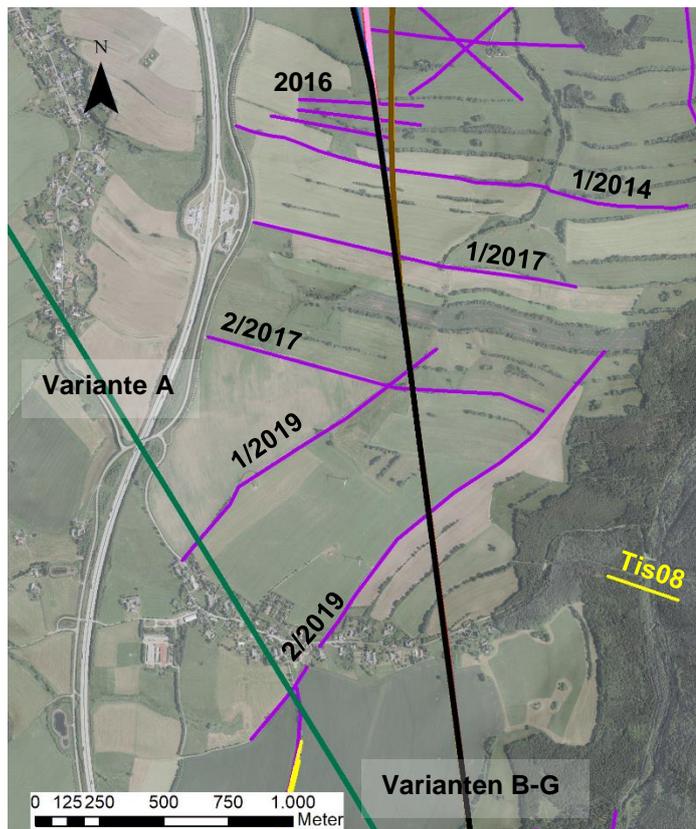


Abbildung 59: Geoelektrisches Profil Gottl 2 nach der Wenner-Schlumberger-Methode südlich von Breitenau. Auf Grund schlechter Messbedingungen sind die Daten zwischen Profilmeter 400-1.070 m nicht interpretierbar.

9.2.2 Bereich zwischen der Struktur Börnersdorf und Petrovice-Döbra

Die Lage der seismischen Profile südlich der Struktur Börnersdorf ist in Abbildung 60 verzeichnet.



1/2014	Seismik	TU BAF
2016	Seismik	TU BAF
1/2017	Seismik	TU BAF
2/2017	Seismik	TU BAF
1/2019	Seismik	TU BAF
2/2019	Seismik	TU BAF
Tis08	Geoelektrik	ČGS

Abbildung 60: Lage der seismischen Profile zwischen der Struktur Börnersdorf und der Ortschaft Breitenau im Bereich des ursprünglich geplanten Zwischenangriffs. Die Profile 1/2019 und 2/2019 stellen die Verbindung zur Struktur Petrovice-Döbra dar.

Auf dem **Profil 1/2014** konnten mehrere Störungszonen detektiert werden. Für das geplante Tunnelprojekt ist eine Störung (S1), die bis zum Oberflächenausbiss bei ca. Profilmeter 350 kartiert werden konnte, von besonderem Interesse (Abbildung 61). Zwei weitere Störung (S2, S3) streichen etwa am Schusspunkt 0 im Bereich der Autobahn und ca. 400 m westlich des Schusspunktes 0 an der Oberfläche aus (BUSKE, et al., 2017).

Diese Hinweise auf Störungen konnten in den Profilen 3, 4 und 5 der Messkampagne von 2016 prinzipiell bestätigt werden (BUSKE, et al., 2017).

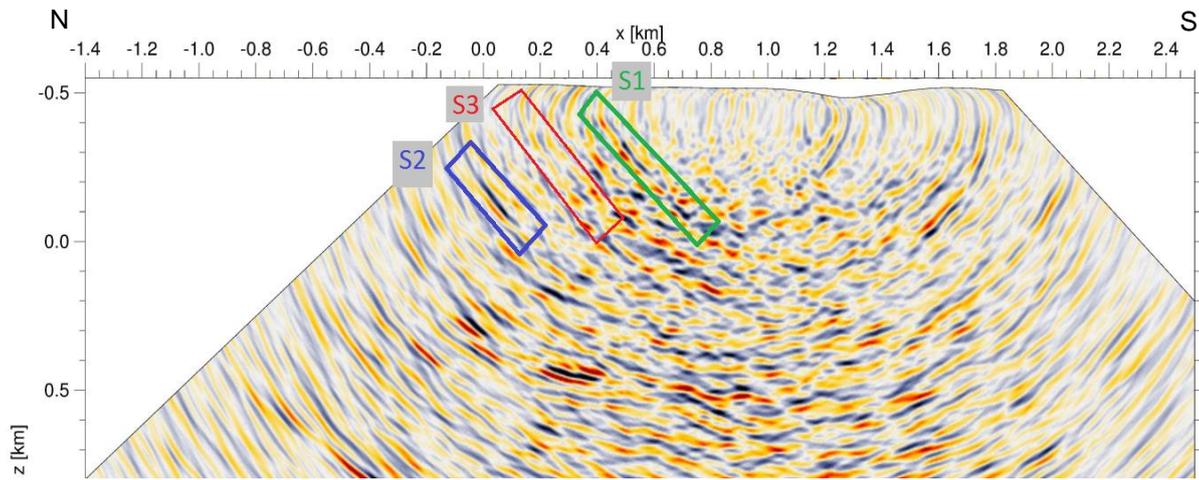


Abbildung 61: Ergebnis der Fresnel- Volumen-Tiefenmigration für Profil 1/2014; Störung S1 in grün, Störung S2 in blau und S3 in Rot dargestellt (BUSKE, et al., 2017).

In den **Profilen 1/2017** und **2/2017** wurde versucht, diese Störungen zu verifizieren. Jedoch beeinflussten die Witterungsverhältnisse (Wind, Regen) die Messergebnisse negativ, so dass nur undeutliche Störungssignale abgeleitet werden konnten. Daher wurde versucht, über die Geschwindigkeitsmodelle Hinweise auf Störungen abzuleiten. In beiden Profilen konnten bei Profilmeter 200-300 m und 650-850 m Geschwindigkeitsanomalien festgestellt werden, auf die auch ein Sprung der Ersteinsatzzeiten in den Seismogramm-Sektionen hinweist (Abbildung 62) und die auch in der Morphologie sichtbar sind (Abbildung 63) (BUSKE, et al., 2018).

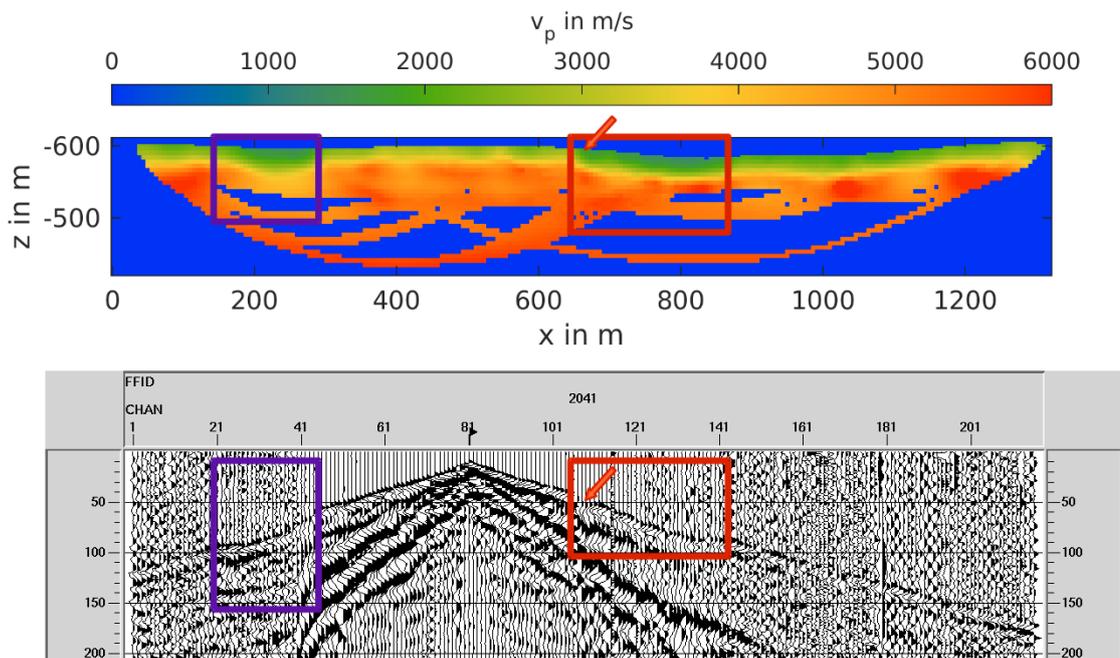


Abbildung 62: Geschwindigkeitsmodell (oben) und Seismogrammsektion an Schusspunkt 2041 für Profil 2/2017 mit der Kennzeichnung potentieller Störungszonen (BUSKE, et al., 2018).

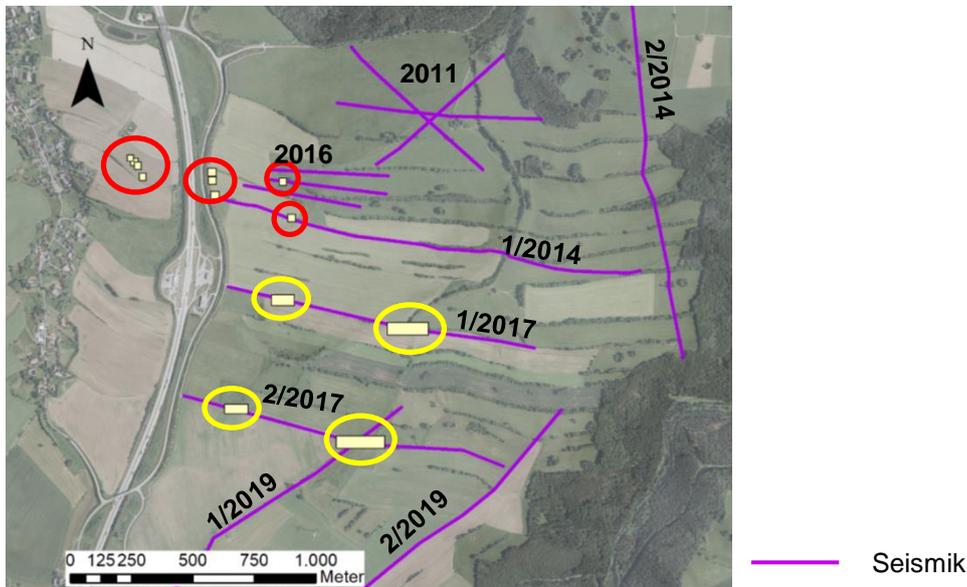


Abbildung 63: Ausstrichbereiche der Störungszonen aus den seismischen Profilen (violett) von 2014 und 2016 (rot) sowie den seismischen und gravimetrischen Messungen von 2017 (gelb).

Zusätzlich zu den seismischen Profilen wurden während der Messkampagne 2016 auch gravimetrische Profile vermessen, um Hinweise auf mögliche Störungszonen oder Auflockerungsbereiche zu erhalten (Abbildung 64). Zur Strukturerkundung der Kreidemulde dienten 8 Profile (P1 – P8), während zum Nachweis von Randstörungen weitere 6 Profile (L0, L0a, L1, L2, L4, L5) vermessen wurden. Dabei kam das Gravimeter Autograv CG-5 zum Einsatz. Der Punktabstand betrug auf allen Profilen 20 m (BUSKE, et al., 2017).

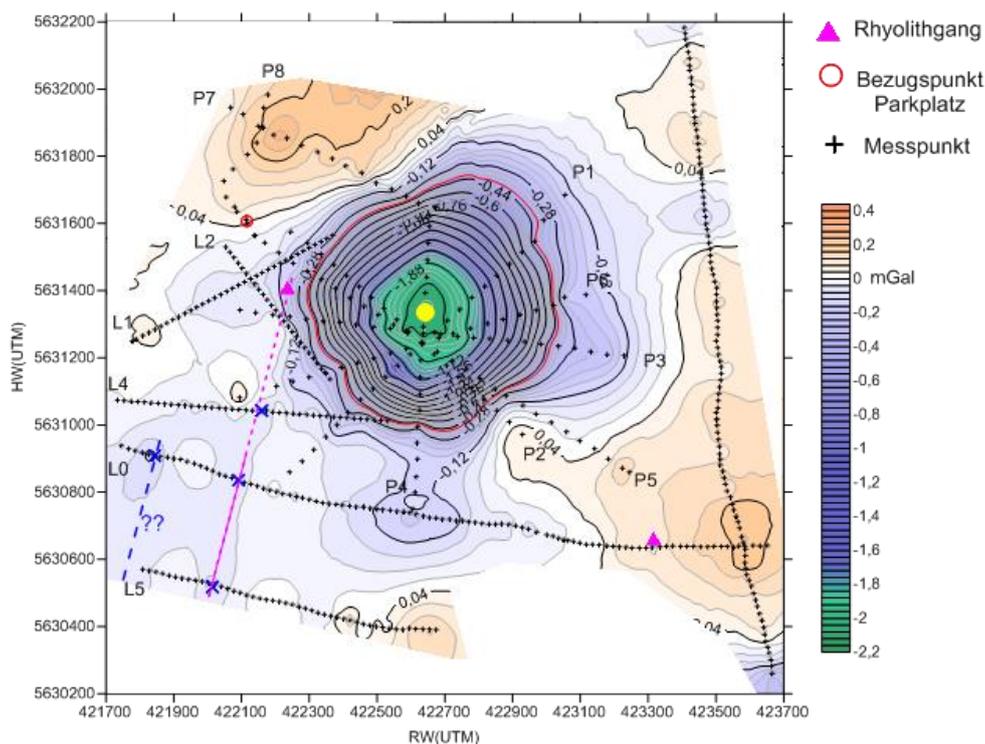


Abbildung 64: Isolinienkarte der Bouguer-Anomalie (Abstand: 0.05 mGal), die Lage der Messprofile und Interpretation (BUSKE, et al., 2017).

Das **Profil L0** verläuft etwa 200 m südlich der Kreidemulde von der Autobahn bis zur Talsperre Gottleuba. Dargestellt ist nur der westliche Teil bis nach dem Taleinschnitt (Abbildung 65). Am Profilanfang wurden zwei Anomalien im Lokal-feld bei $x = 90$ m und $x = 340$ m detektiert. Ihre Amplituden von $-(0,09-0,13)$ mGal sind gering und die Breite der Anomalien beträgt etwa 100 m.

Tiefreichende Störungszonen sind unwahrscheinlich, vielmehr werden hier oberflächennahe Massendefizite vermutet. Das Minimum von $x = 720\text{-}1.040\text{ m}$ westlich des Taleinschnittes ist breiter und besitzt eine Amplitude von $-0,15\text{ mGal}$.

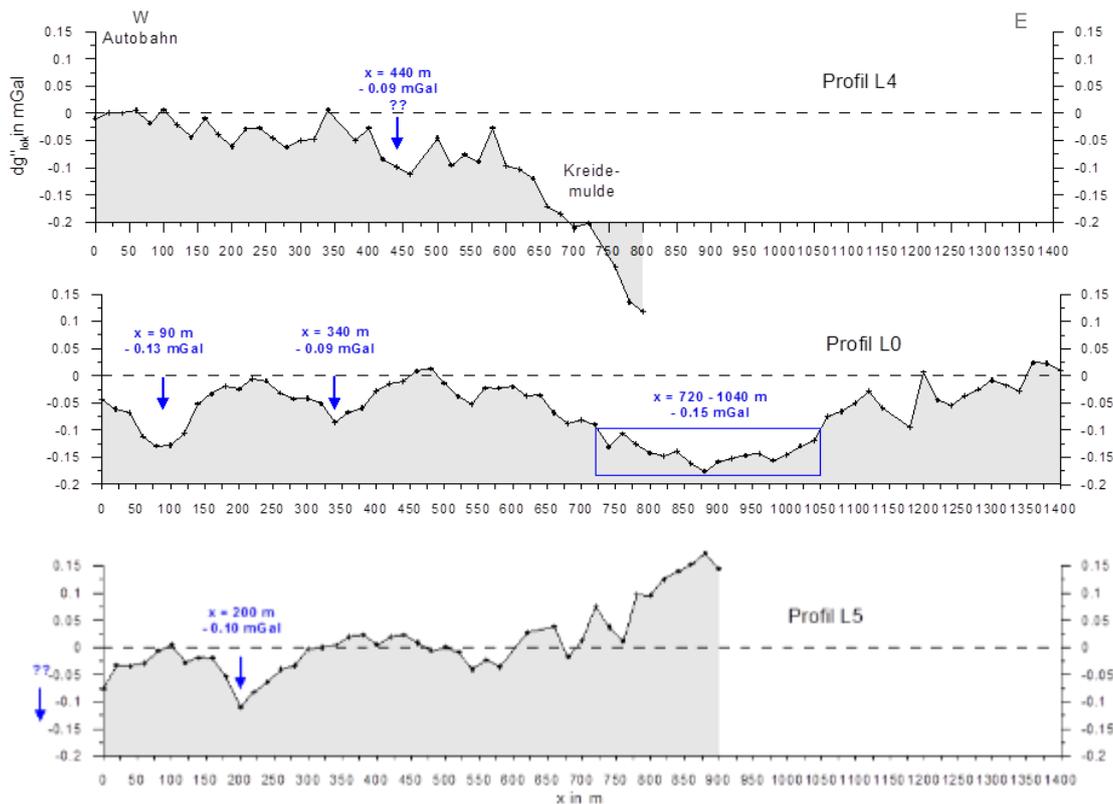


Abbildung 65: W-E Profile L5, L0 und L4 mit Angabe der Anomaliebereiche (BUSKE, et al., 2017).

Die Profile L1 (SW-NE) und L2 (NW-SE) liegen im unmittelbaren Randbereich der Kreidestruktur, deren Wirkung den gravimetrischen Profilverlauf dominiert. Hinweise auf lokale Randstörungen sind deshalb nicht ableitbar. Bemerkenswert in beiden Profilverläufen ist das Absinken des Lokalfeldes der Bouguer-Anomalie (L1: $x = 120\text{ m}$, L2: $x = 100\text{ m}$), bevor die Wirkung der Kreide zu einem starken Abfall führt (Abbildung 66). Ursache könnte ein oberflächennah gestörter Gneis sein, der saumförmig um die Kreidemulde bei ihrer Bildung entstanden ist (BUSKE, et al., 2017).

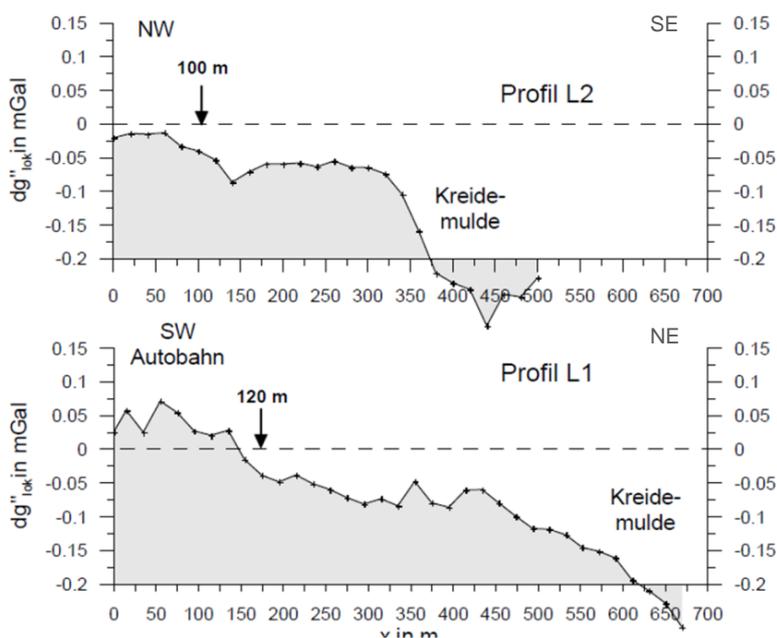


Abbildung 66: Profil L1 (SW-NE) und Profil L2 (NW-SE) mit Angabe der Auflockerungsbereiche im Umfeld der Struktur Börnersdorf (BUSKE, et al., 2017).

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus der 4. Etappe der seismischen Untersuchung der Struktur Petrovice-Döbra der TU Bergakademie Freiberg beschrieben.

Im Zeitraum 11.-15.3.2019 wurden zwei seismische Profile mit einer Länge von ca. 1,4 km und 2 km durch die TU Bergakademie Freiberg vermessen. Diese wurden so platziert, dass sie möglichst orthogonal zu den damals vermuteten E-W streichenden Störungen verliefen:

1. Profil im Westen (Profil1/2019/ Eisengrund), Länge ca. 1.400 m, SW nach NE verlaufend
2. Profil im Osten (Profil2/2019/ Alter Mühlsteig), Länge ca. 1.400 m nördlich Breitenau sowie 500 m südlich von Breitenau, SW nach NE verlaufend

Als seismische Quelle wurde das Vibroseis-Fahrzeug der TU Bergakademie Freiberg genutzt. Es hat eine Masse von 32 t und eine Peak-Force von 267 kN. Der Quellpunktabstand betrug 10-20 m und der Geophonabstand 5 m.

Im **Profil 1/2019** erkennt man deutlich mehrere steil nach NE einfallende Reflektoren (Abbildung 67). Der mit roten Pfeilen markierte Reflektor schneidet die Profilauslage ca. 100-200 m jenseits des SW Ende des Profils und würde somit dort einen Oberflächenausbiss haben. Die weiteren mit blauen und grünen Pfeilen markierten Reflektoren stellen in der Summe mehrere sub-parallele Reflektoren mit ähnlichem Einfallswinkel in der migrierten Sektion dar. Darüber hinaus erscheint ein weiterer steil einfallender Reflektor (gelber Pfeil) bei $x = 300$ m.

Für die Interpretation wurde das Untergrundmodell für die Migration bewusst nach SW über die Geophonauslage hinaus vergrößert, um mögliche steil einfallende Reflektoren auch noch ausreichend gut in ihrer Tiefenerstreckung abbilden zu können (Abbildung 67).

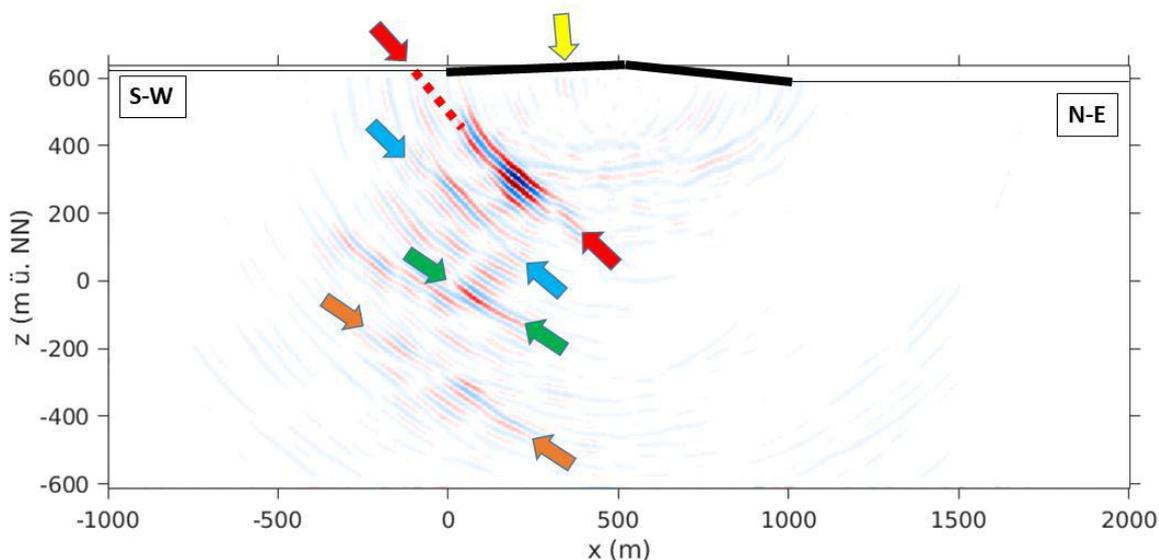


Abbildung 67: Kohärenzbasierte Fresnel-Volumen-Tiefenmigration für Profil 1/2019 (konstante Migrationsgeschwindigkeit 5 km/s). Die schwarze Linie entlang des oberen Modellrandes markiert die Geophonauslage. Die farbigen Pfeile markieren deutliche Reflexionen, die Störungszonen zugeordnet werden können (BUSKE & BÜTTNER, 2019).

In analoger Weise wurde das **Profil 2/2019** bearbeitet. Das Ergebnis der kohärenzbasierten Fresnel-Volumen-Migration unter Verwendung aller entlang dieses Profils akquirierten Daten ist in Abbildung 68 zu sehen. Die Geophonauslage erstreckt sich hier von $x = 0$ (Position des am weitesten SW gelegenen Geophons) bis ca. $x = 1.400$ m (Position des am weitesten NE gelegenen Geophons) einschließlich einer Lücke im Profil innerhalb der Ortschaft Breitenau. Auch hier wurde das Untergrundmodell für die Migration bewusst nach SW über die Geophonauslage hinaus vergrößert.

Man erkennt auch hier deutlich einen sehr markanten steil nach NE einfallenden Reflektor, welcher der in Abbildung 68 mit roten Pfeilen markierten Reflexion entspricht, die die Profilauslage ca. 200-300 m jenseits des SW Endes des Profils schneidet und somit dort einen Oberflächenausbiss hat. Darüber hinaus erscheint ein weiterer steil einfallender Reflektor (gelber Pfeil) bei $x = 300$ m.

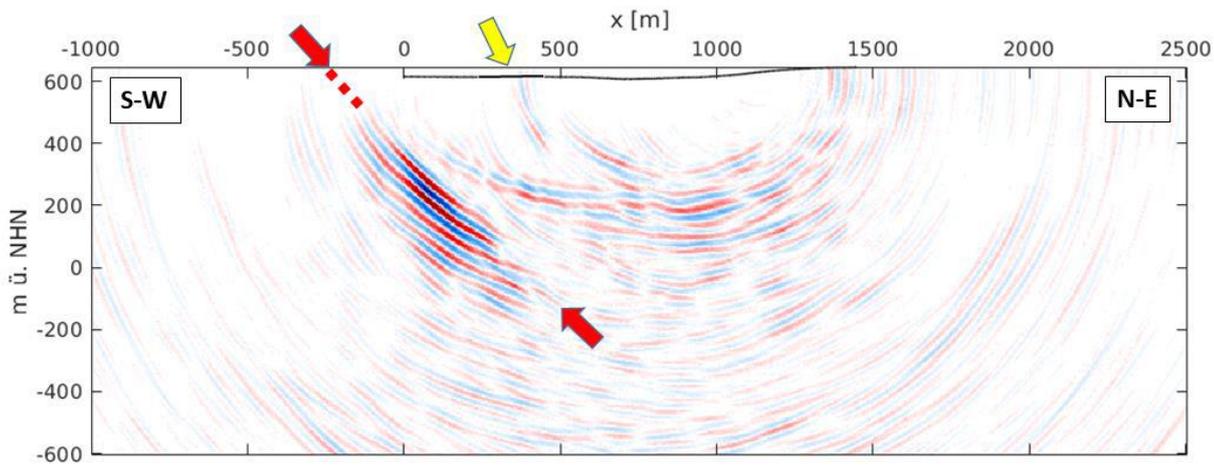


Abbildung 68: Kohärenzbasierte Fresnel-Volumen-Tiefenmigration für Profil 2/2019 (konstante Migrationsgeschwindigkeit 5 km/s). Die schwarze Linie entlang des oberen Modellrandes markiert die Geophonauslage. Die farbigen Pfeile markieren deutliche Reflexionen, die Störungszonen zugeordnet werden können und wahrscheinlich mit den Zonen in Profil1/2019 korrelieren (BUSKE & BÜTTNER, 2019).

In beiden Profilen, 1/2019 und 2/2019, konnte ein sehr markanter nach NE einfallender Reflektor abgebildet werden, dessen Oberflächenausbiss bei linearer Extrapolation zur Erdoberfläche etwa 100-200 m (1/2019) bzw. 200-300 m (2/2019) jenseits des jeweiligen SW Ende des Profils liegt (Abbildung 69). Es lässt sich nicht eindeutig sagen, ob es sich bei den beiden Reflektoren um jeweils die gleiche Störung als Ursache der Reflexion handelt. Ein struktureologischer Zusammenhang zwischen beiden Reflektoren ist aber aufgrund ihrer Größe, ihres Einfallens und ihrer Ausprägung sehr wahrscheinlich und weist bei direkter linearer Verbindung auf eine sehr gut ausgeprägte NNW-SSE verlaufende Störungszone hin.

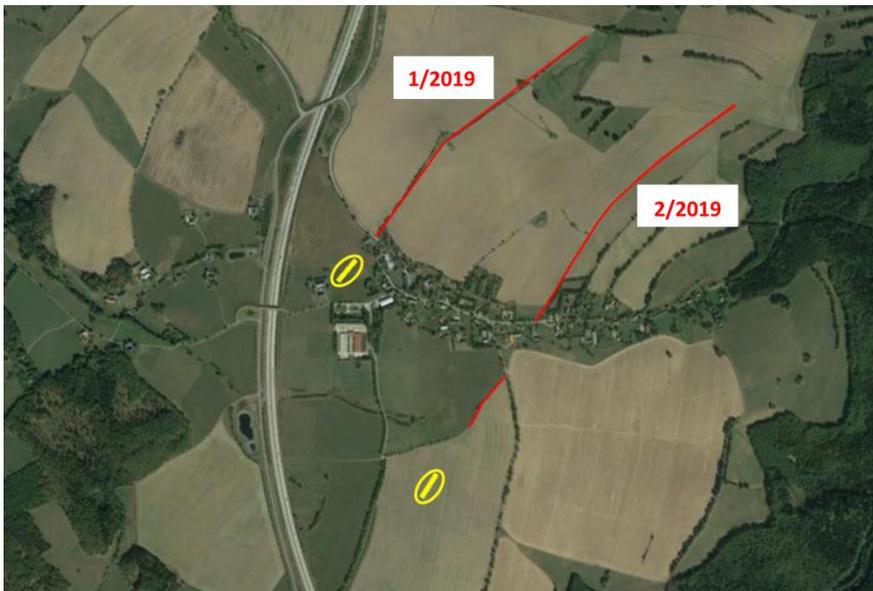


Abbildung 69: Übersicht über die Lage der beiden Profile bei der Ortschaft Breitenau sowie die potentiellen Bereiche der Oberflächenausbisse der beiden markantesten Reflektoren in den jeweiligen Profilen (gelbe Ellipsen) (BUSKE & BÜTTNER, 2019).

9.2.3 Zusammenfassende Auswertung der Geophysik

Die geophysikalischen Untersuchungen des INTERREG Va-Projektes konzentrierten sich auf die Abgrenzung der Störungszone Petrovice-Döbra und auf die potentielle Gottliebatal Störungszone. Obwohl die Auswertung von fünf seismischen Profilen sowie vier geoelektrischen Profilen zahlreiche Hinweise ergab, können die Störungen jedoch nicht immer eindeutig miteinander korreliert werden, da seismische Daten in der Tiefe erhoben und zur Erdoberfläche extrapoliert werden.

In den in der Störungszone Petrovice-Döbra gemessenen Profilen waren ähnliche Reflektoren zu sehen, welche aber durch einen geometrischen Sprung versetzt wurden. Fallwinkel und Streichen der Scherkörper sind nur lokal bekannt und können variieren. Die Ergebnisse der neuesten geophysikalischen Untersuchungen zeigen, dass das Einfallen der PDZ auf sächsischer Seite flacher ist, als bisher angenommen. Auf tschechischer Seite sind aus Bohrungen jedoch 70°Einfallen bekannt. Außerdem können Störungskörper als diskrete Linsen ausgebildet sein.

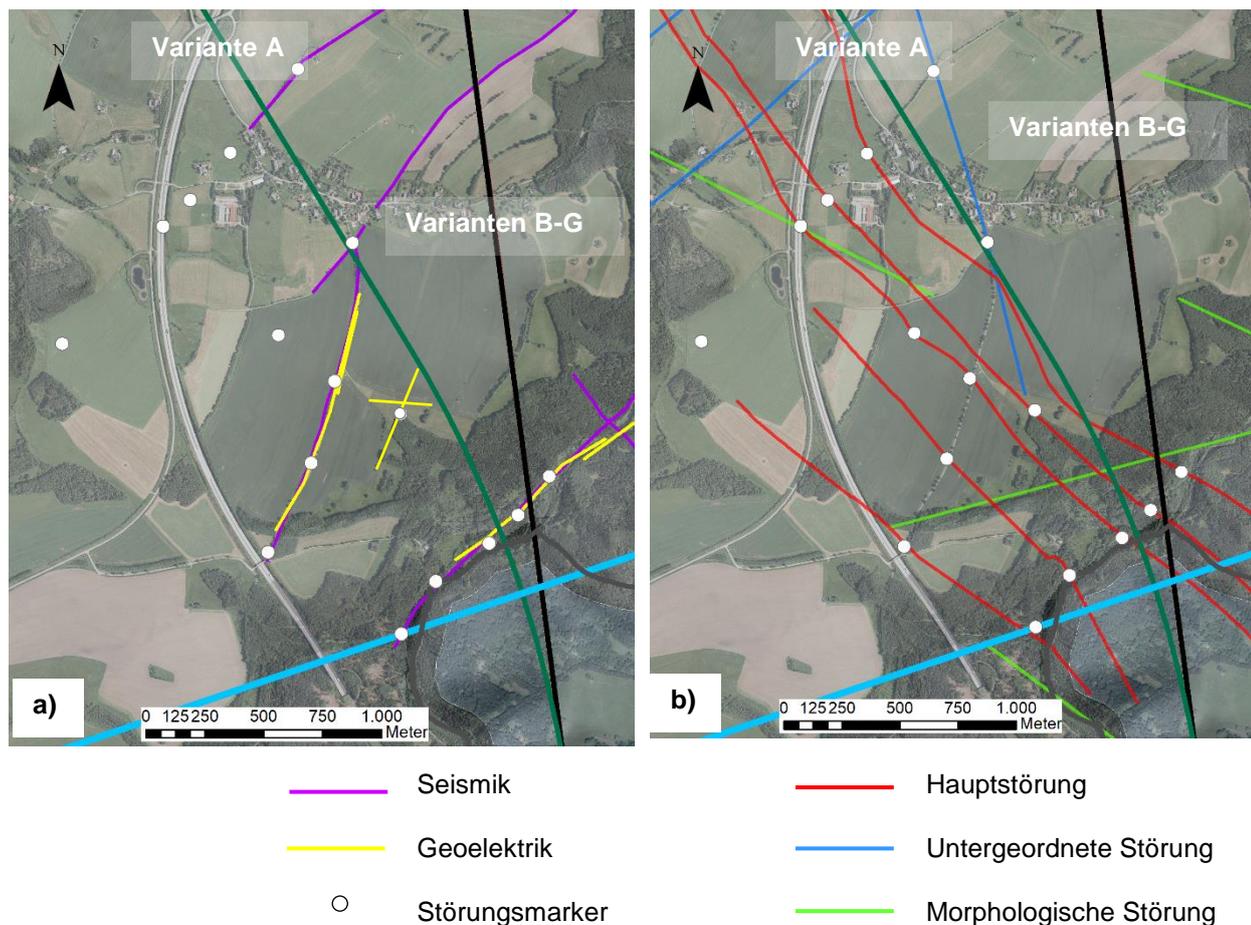


Abbildung 70: a) Störungsindikatoren aller geoelektrischen und seismischen Profile im Bereich der Störungszone Petrovice-Döbra (weiße Punkte). b) modellierte Einzelstörungen der Petrovice-Döbra Zone (rote Linien).

Es wurden mehrere Störungen nachgewiesen, die aber derzeit nicht sicher miteinander verbunden werden können. Ein möglicher Verlauf der einzelnen Störungen ist in Abbildung 70b dargestellt. Die Störungsmarker aus der Geophysik wurden so miteinander verbunden, dass die Einzelstörungen dem NW-SE-Streichen der Petrovice-Döbra Zone folgen. Außerdem wurden bei dieser Interpretation die Geoelektrik-Daten von 1978 (BERGMÜLLER, 1978) mitberücksichtigt. Sobald der endgültige Trassenverlauf feststeht, sollten weitere seismische Untersuchungen durchgeführt werden, die die vorliegenden Profile miteinander verbinden.

10 Geotechnische Risikofaktoren

Die Beurteilung von Geogefahrenbereichen war eine Aufgabe des Meilensteins 2 des INTERREG Va-Projektes. Als Geogefahren waren dabei maßgeblich seismische Aktivitäten und instabile Böschungsverhältnisse (z.B. Hangkriechen, Rutschungen), vornehmlich durch die Kollegen des ČGS, zu bearbeiten. Das betraf insbesondere das südliche Tunnelportal am Fuße des Erzgebirgsabbruchs wegen den dort beobachteten ausgedehnten Rutschungen sowie der Nähe zu ehemaligen Kohleabbaugebieten.

Da für den Tunnelbau der möglichst reibungslose, schadensfreie Vortrieb und die Kenntnis geotechnischer Parameter zur Kalkulation und zur Wahl der Vortriebsmethode und des Ausbaus von entscheidender Bedeutung sind, wurde sich auf der sächsischen Seite in der Grundlagenermittlung auf die Analyse und Ausweisung von geotechnischen Problem-bereichen fokussiert. Das bezog sich zum einen auf die Detektion von Störungen und zum anderen auf die Analyse der zu durchfahrenden Gebirgsbereiche/regionalgeologischen Einheiten hinsichtlich ihrer Gebirgsintegrität und aus geo-mechanischer Sicht zu erwartender Probleme.

Vor dem Hintergrund des vorzubereitenden Raumordnungsverfahrens, kam der Erstellung einer Karte der geo-technischen Problemzonen eine besondere planerische Bedeutung zu.

Zusätzlich wurde dem wichtigen Kostenfaktor der Gesteinsabrasivität eine Forschungsarbeit gewidmet.

10.1 Störungen als Risikobereiche für die Gebirgsstabilität

Bedeutung von Störungen

Aus geomechanischer Sicht sind Störungszonen Bereiche, die häufig von Instabilitäten des Gebirges begleitet werden. Im Vorfeld der geomechanischen Untersuchung kommt deren Erkundung deshalb ein besonderer Stellenwert zu. Die Beurteilung von Störungen ist schwierig, da sie als Mehrphasensystem betrachtet werden können, das sich aus unterschiedlichen Gesteinen, Trennflächensystemen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen zusammensetzt. Hinzu-kommt, dass die Eigenschaften diskontinuierlich richtungs-, zeit- und raumabhängig sind. Ausführlich wird auf die Besonderheiten der Gebirgseigenschaften im Zusammenhang mit Störungen und Diskontinuitäten unter anderem im Leitfaden zur Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel eingegangen (ÖGG, 2017).

Erkundung tektonischer Strukturen

Die Erkundung erfolgt in mehreren Stufen.

Begonnen wird in der Regel mit einer Spezialekartierung, in die auch Ergebnisse aus der Fernerkundung und Luftbild-analyse (LIDAR-Scan) sowie die Auswertung der Geländemorphologie anhand digitaler Geländemodelle (DGM) mit einfließen. In einer nächsten Stufe folgen indirekte Erkundungen mittels Geophysik und gasochemischem und Grund-wasser-Monitoring. Eine erhöhte Gasführung bzw. Mineralisation des Grundwassers ist häufig ein Indiz für tiefgreifende Störungszonen (PRINZ & STRAUß, 2018).

Diesem Ansatz folgend wurde auch in der Grundlagenermittlung zur Schienenneubaustrecke aufbauend auf historischen und aktuellen Untersuchungen zur Tektonik (Kapitel 3.4 sowie Anlage 3) vorgegangen, wobei das Hauptaugenmerk auf regionalen und transregionalen Strukturen lag.

Fernerkundung/Luftbildanalyse/Auswertung der Geländemorphologie

Fernerkundungsdaten wurden im Rahmen der projektbezogenen Untersuchungen bisher nur in geringem Maß einbezogen. Untersuchungsgegenstand waren hauptsächlich die Auswertung der Geländemorphologie (Karten und DGM) und vorhandener Orthofotos in Kombination mit geologischen Karten verschiedener Kartierungszeiträume.

Erkundung mittels Geophysik

Für die Erkundung wurden bereits vorhandene Archivunterlagen (geophysikalische Karten, frühere geophysikalische Erkundungen) genutzt. Durch die Kombination verschiedener geophysikalischer Erkundungsmethoden wurde eine hohe Datendichte erzeugt. Außerdem konnten die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren validiert werden (siehe Kapitel 9).

Erkundung mittels Geländekartierung

Im Untersuchungsgebiet wurden eine Klippenkartierung im Umfeld der Struktur Börnersdorf, im Gottleubatal sowie im Bereich der Talsperre Gottleuba (siehe Kapitel 7) und Nasstellenkartierungen in den Jahren 2018 und 2019 (siehe Kapitel 8) durchgeführt.

Monitoring

Im Rahmen einer Masterarbeit von KÖHLER (2019) wurden erste Ergebnisse eines hydrochemischen Monitorings erhoben (siehe Kapitel 8). Hinweise für die Relevanz eines gasochemischen Monitorings ergeben sich anhand der Wuchsformen der Bäume im Umfeld des Špičák auf tschechischer Seite (Abbildung 71). Wegen Anzeichen für eine erhöhte Mineralisation des Verwitterungsbodens durch auffällige Rotfärbung (Randbereich der Störungszone Petrovice –Döbra im Gottleubatal) wird geochemisches Bodenmonitoring empfohlen.



Foto: LfULG, Sabine Kulikov

Abbildung 71: Ungewöhnliche Wuchsform von Bäumen im Umfeld des Špičák.

Charakterisierung von Störungen

Die Charakterisierung der bekannten Störungen gemäß Abbildung 72 erfolgte bisher nur für transregionale und einige regionale Störungen im Untersuchungsgebiet (Anlage 3).

Die anderen Störungen sind im Zuge der nachfolgenden Erkundungsarbeiten und einer geologisch-geotechnischen Risikoanalyse zu charakterisieren.

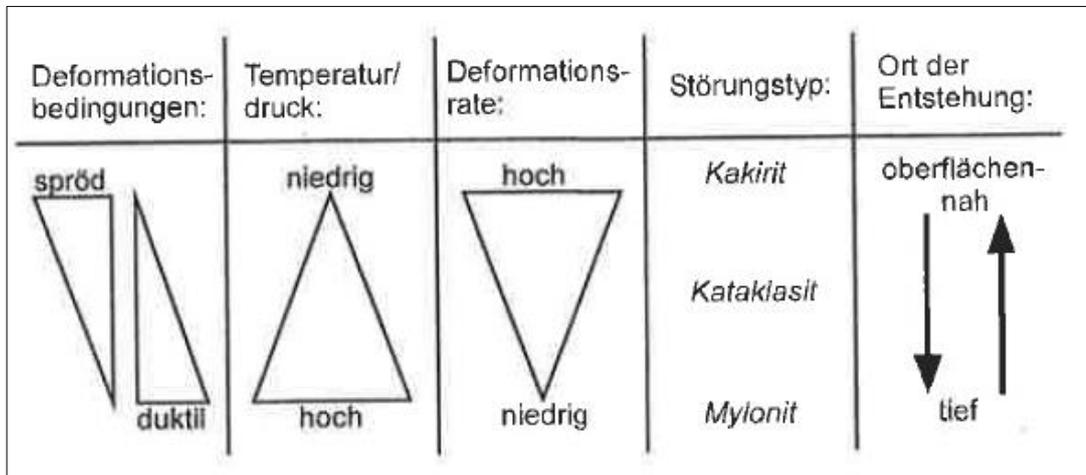


Abbildung 72: Schematische Beziehungen zwischen den Deformationsbedingungen und der Bezeichnung der Störungszonen nach Schneider (PRINZ & STRAUß, 2018)

Prinzipiell kann sich die Ausprägung der Störungszonen auf kurze Entfernungen ändern. Teilweise spalten sich Störungszonen auch in mehrere Bewegungsbahnen auf. Vermutungen diesbezüglich bestehen bspw. bei der Struktur Petrovice-Döbra. Außerdem wurde beobachtet, dass Störungszonen häufig von unterschiedlich breiten Randzonen mit Gebirgszerlegung begleitet werden. In Kapitel 3.4 wurde das generelle Störungsmuster im Vorhabensgebiet der geplanten Baumaßnahme beschrieben und unter Kapitel 10.1 wurde dargestellt, mit welchen Methoden bisher bei der Erkundung der tektonischen Strukturen vorgegangen wurde. Kapitel 7 bis 9 gehen detailliert auf die Ergebnisse aus Kartierung, hydrogeologischen und geophysikalischen Untersuchungen ein, in denen sich ausführlich den Strukturen Börnersdorf und Petrovice-Döbra gewidmet wird. Zur Erkundung der transregionalen Störungen, die das Elbtalschiefergebirge begleiten, sind in der Vorplanung weitere indirekte und auch direkte Erkundungen vorgesehen. Im Juni 2020 wurde mit den ersten direkten Erkundungsbohrungen durch die DB Netz AG begonnen, die sich speziell auch der Charakterisierung dieser Störungszonen widmen.

Zum besseren Verständnis des Aufbaus einer mineralisierten Störungszone soll dieser hier an einer schematischen Darstellung (Abbildung 73, Tabelle 12) veranschaulicht werden.

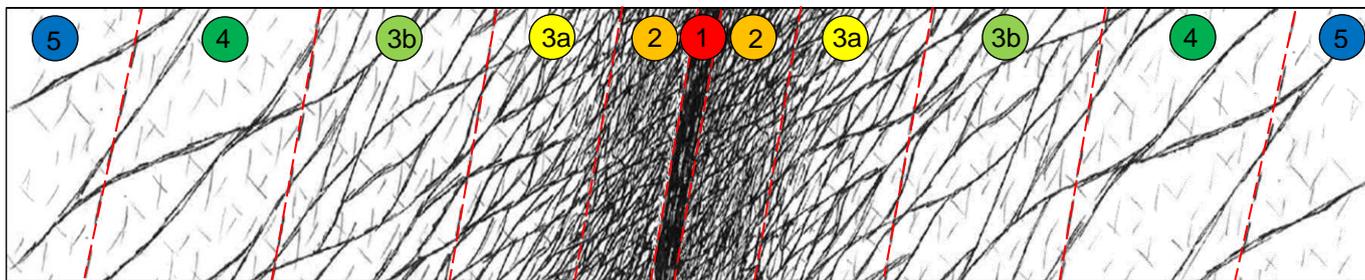


Abbildung 73: Schematischer Schnitt durch eine Störungszone (nach (KUSCHKA, 1994)).

Tabelle 12: Merkmale einer mineralisierten Störungszone (nach (KUSCHKA, 1994))

		1 	2 	3a 	3b 	4 	5 
Deformationszone		(Störungs-) Lettenzone	Schermylonitzone	Bereich der Feinstzerscherung	Bereich der feinen bis mittelgroben Zerscherung	Grobzerscherungszone mit Klüftung	Klüftungszone
Deformationsart		plastisch	plastisch	plastisch	plastisch und spröde	plastisch und spröde	spröde
Deformationsintensität	im Nebengestein	totale Deformation und Gesteinsumwandlung zu zähplastischer Tonsubstanz	Übergang von lettiger zu körniger oder scherlamellenartiger, schiefer-tonartiger Konsistenz	totale Feinstzerscherung, Lamellen im Linsenmantel, Brekziierung bzw. sandige Zerreibung im Linsen-kern	wie bei 3a, nur größer, Linsenkerne fester	Linsenmäntel störungsartig, dünn, feine Scherlamellen, Linsenkerne groß, grobklüftig	enge bis weite Klüftung, einzelne Scherflächen
	im Quarz- und Fluoritgang	Feinsand, mit Tonmineralen verknüpfet	meist sandig zerrrieben	grobgrusig bis feinklüftig	engklüftig, einzelne lettige Scherflächen	wie 3b, aber weitere Abstände der Deformation	klüftig, einzelne Kleinstörungen
	im Baryt-gang	Feinsand, mit Tonmineralen verknüpfet	mittelkörnig-sandig mit Lettenbelegen	grobgrusig bis feinklüftig	engklüftig, einzelne lettige Scherflächen	ähnlich 3b, größere Scherlinsen erkennbar	klüftig, einzelne Kleinstörungen
Struktur der Deformationskörper		angedeutete flache Scherlinsen oder -lamellen, feinkörnig bis linsig-flaserig	angedeutete bis ausgeprägte Scherlinsen, fein- bis grobkörnig, brekziös bis feinlinsig-flaserig	gewellte flache bis dickbauchige Scherlinsen, linsig-flaserige Textur	wellige flache bis dickbauchige Scherlinsen, typische Linsentextur	wellige oder unregelmäßige flache bis bauchige angedeutete Linsen	klotzartige, unregelmäßige Klüftkörper, zuweilen angedeutete Scherlinsen
Größenordnung der Deformationskörper		mm-Bereich	mm-Bereich	mm- bis cm-Bereich	mm- bis m-Bereich	m- bis 10m-Bereich	m- bis 100m-Bereich
Zusätzliche hydrothermale Übergänge		hydrothermal zersetzt, von 1 bis 3b abnehmende Entfestigung, gebleicht und/oder gerötet		kaum bis stark zersetzt		unbeeinflusst	
Deformationszonenbreite		1 mm bis 10 cm	1 cm bis 1 m	10 cm bis 10 m	1 m bis 30 m	10 m bis 50 m	Übergang zur regionalen Klüftung
Aufgeprägtes gesteinsmechanisches Verhalten		wie Ton	tonartig, tonigbröckelig bis weich-schiefrig	wie milder turbulentzerglittener Schiefer	tonschiefer- bis phyllitartig	phyllitartig und fest	Verhalten entsprechend unverändertem Ausgangsgestein, kaum spezifisch aufgeprägtes Verhalten
Durchlässigkeitsbeiwert Kf in m/s (KUSCHKA & HAHN, 1996)		$1 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2} \dots 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-6}$	

10.2 Analyse potentieller Geogefahrenbereiche bzw. geotechnischer Problemzonen im Untersuchungsgebiet

Für die Ausweisung potentieller Geogefahrenbereiche bzw. geotechnischer Problemzonen wurde sich hauptsächlich auf der Detektion von Störungen sowie auf vorhandene geologische/geotechnische Daten und indirekte Untersuchungen gestützt. Für einen bestmöglichen Erkenntnisgewinn wurde stufenweise vorgegangen und verschiedene Untersuchungsmethoden miteinander kombiniert.

10.2.1 Erstellung einer Karte der geotechnischen Problemzonen/Risikobereiche

Unterlagen, Herangehen und Fehlerquellen

In einem ersten Schritt erfolgte die Recherche nach vorhandenen Kartendaten, die Hinweise auf tektonische Strukturen enthielten. Diese Unterlagen wurden ausgewertet, gescannt, georeferenziert und in das angelegte GIS-Projekt eingefügt, um eine kombinierte Visualisierung und Auswertung der unterschiedlichen Daten zu ermöglichen.

Aufgrund der Verwendung von Unterlagen unterschiedlichen Alters und Maßstabes ergaben sich Abweichungen in der Lagegenauigkeit, die erst bei der gleichzeitigen Visualisierung der übereinandergelegten Dokumente deutlich wurden (Abbildung 74). Ursache für die Ungenauigkeiten bei der Projektion können zum einen die unterschiedlichen Koordinatensysteme sein, auf denen diese basieren, zum anderen sind als Fehlerquellen Verzerrungen durch das Scannen und Georeferenzieren und nicht zuletzt der Bearbeiter als der subjektive Faktor Mensch zu benennen.

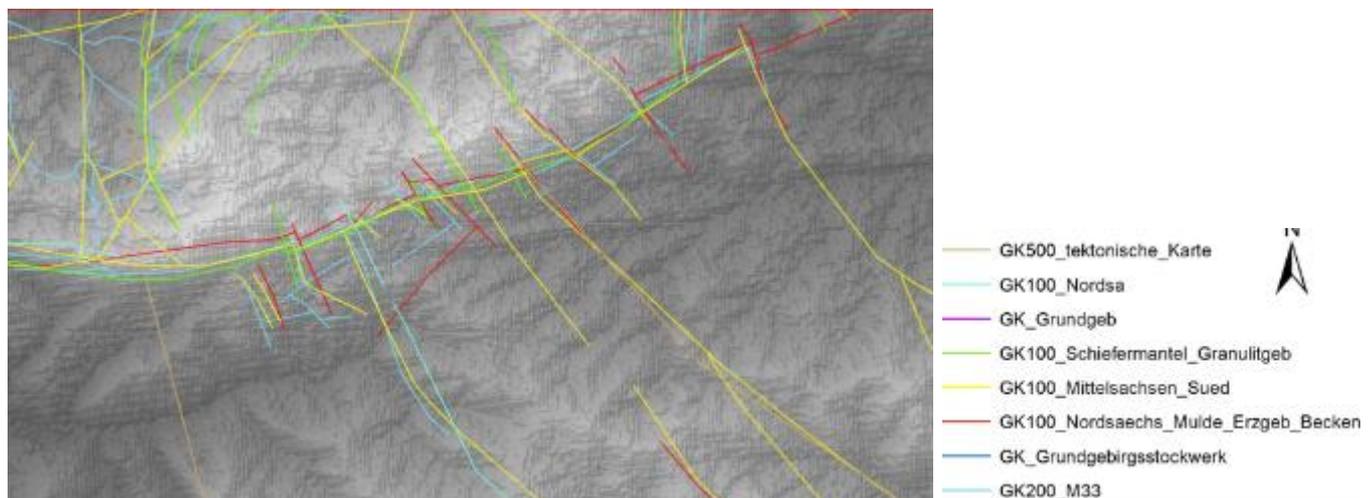


Abbildung 74: Verlauf von Störungszonen aus unterschiedlichen Kartenwerken mit verschiedenem Alter, Maßstab und Lagebezugssystem am Beispiel des Sächsischen Granulitgebirges (KRONER & MÜLLER, 2018).

Nach einer ersten Auswertung der nationalen Unterlagen bei den geologischen Diensten in Sachsen und Tschechien wurde in einem weiteren Schritt in Zusammenarbeit mit den tschechischen Kollegen geprüft, wo bekannte grenzüberschreitende tektonische Strukturen vorhanden waren und, sofern Störungen an der Grenze endeten, eine Verlängerung über die Grenze hinaus anhand von Hinweisen aus der Geländemorphologie abgeleitet.

Vorläufige Risikobetrachtung anhand tektonischer Strukturen

Auf der Grundlage der Charakterisierung der Störungen gemäß Anlage 3 und unter Berücksichtigung des Kenntnisstandes zu bisher wenig bekannten Strukturen erfolgte die erste Wichtung eines angenommenen geotechnischen Risikos.

Besonders im Fokus standen die Bereiche des Untersuchungsgebietes zwischen der Mittelsächsischen Störung und der Grenze zu Tschechien durch die Konzentration der betrachteten Trassenvarianten ab Börnersdorf auf einen Korridor. Durch die Vielzahl an Daten und Ergebnissen der fortschreitenden Literatur- und Archivauswertung sowie durch den ständigen Erkenntnisgewinn auf der Grundlage der interdisziplinären Untersuchungen, war eine konti-

nuierliche Evaluierung und Anpassung an die aktuelle Datenlage möglich (Abbildung 75). Eine besondere Rolle spielten dabei die Erkenntnisse aus der Geophysik (Kapitel 9).

Im Zuge der Datenrecherche zur Tektonik, wurde auch die Neotektonik mit einbezogen, um abschätzen zu können, inwiefern neotektonische Aktivitäten (Bewegungsvorgänge im Gebirge) eine Gefahr für die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit und Stabilität des geplanten Bauwerkes sein können. Zur Thematik aktiver Störungszonen wurde durch STANEK (2016) für ganz Sachsen eine Charakterisierung der bekannten großen Störungen erarbeitet, deren Ergebnisse in den vorliegenden Bericht mit eingeflossen sind (Kapitel 3.4).

Graphische Datenhaltung und Fortschreibung der Karte

Die Visualisierung der Problemzonen erfolgte mittels Flächen (Polygonen) im GIS, die in einem Layer abgelegt und über eine Attributtabelle mit Eigenschaften versehen wurden, so dass jederzeit für Dritte die Informationen zu den Flächen abrufbar sind. Um die Ausweisung der Problemzonen nachzuvollziehen, wurden die unterschiedlichen Arbeitsstände, die sich aus dem laufenden Projekt- und Erkenntnisfortschritt ergaben (z. B. aus Geländekartierung und Geophysik), archiviert. Sie können jederzeit in einem GIS-Projekt dargestellt werden. Die Geometrien der Flächen sind für eine Fortschreibung einzeln bearbeitbar und können entsprechend des laufenden Erkenntnisfortschrittes angepasst werden.

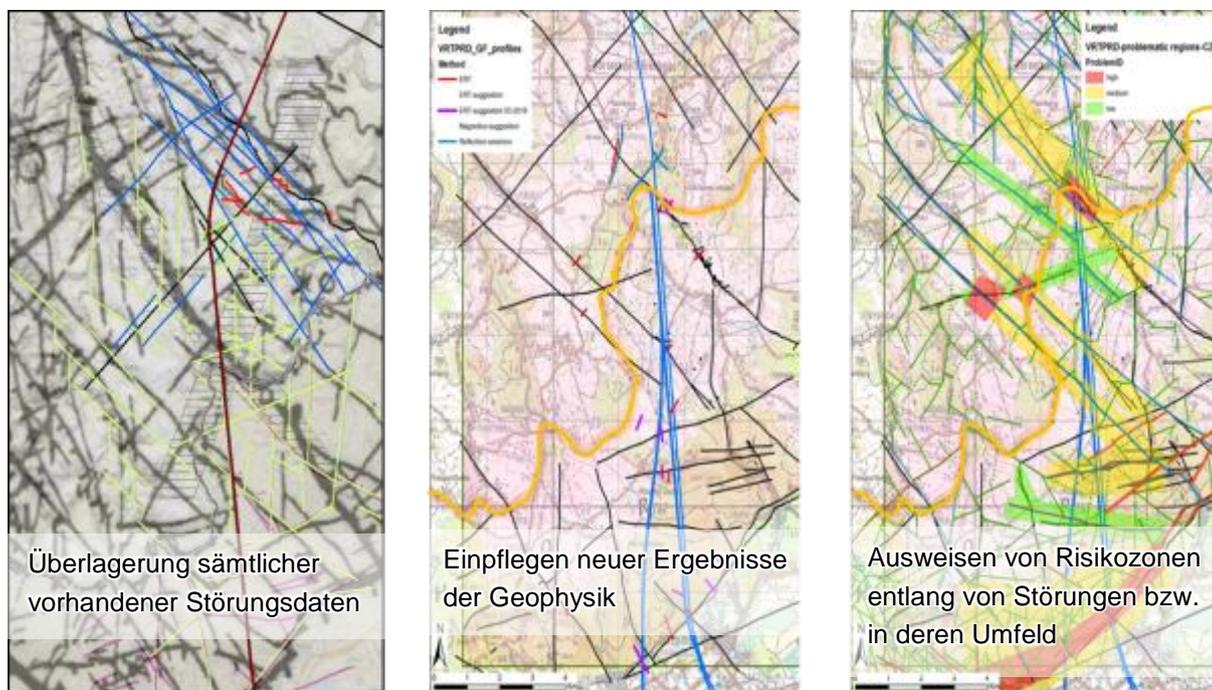


Abbildung 75: Herangehen an die Ausweisung von geotechnischen Problemzonen.

10.2.2 Charakterisierung der geotechnischen Problemzonen

Für die Erstellung der Karte war es notwendig, die drei Risikokategorien (grün, gelb, rot) näher zu qualifizieren, um eine sachliche und räumliche Zuordnung zu ermöglichen. Daher wurde im Hinblick auf das Raumordnungsverfahren und die dafür notwendige geologisch/geotechnische Beurteilung der zu erwartende geotechnische Aufwand die folgende Kategorisierungsgrundlage gewählt:

-  erhöhter geotechnischer Aufwand
-  stark erhöhter geotechnischer Aufwand
-  geotechnischer Risikobereich

Der geotechnische Risikobereich (rot) lässt dabei sehr komplexe geologische, hydrogeologische und geotechnische Verhältnisse erwarten, z.B. Störungskreuze, und soll auf einen sehr hohen Erkundungsbedarf für die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes hinweisen. Die anderen beiden Kategorien sind dementsprechend abgestuft zu betrachten.

10.2.3 Auswahl der Risikobereiche

Ausweisung von Störungseinflussbereichen

Aufgrund der oben beschriebenen Ungenauigkeiten aus der Verarbeitung von Archivunterlagen konnten Störungsverläufe nicht immer eindeutig festgelegt werden. Mitunter lagen nach der Digitalisierung verschiedener Karten mehrere Linien parallel nebeneinander. Daher wurden anstelle linearer Strukturen flächige Störungseinflussbereiche (Puffer) ausgehalten (Abbildung 76). Auf diese Weise wurden Bereiche mit mehreren nachgewiesenen Störungen intuitiv zu einer Zone zusammengefasst. Die Störungseinflussbereiche wurden für die zeichnerische Generierung der geotechnischen Problembereiche mit einbezogen.

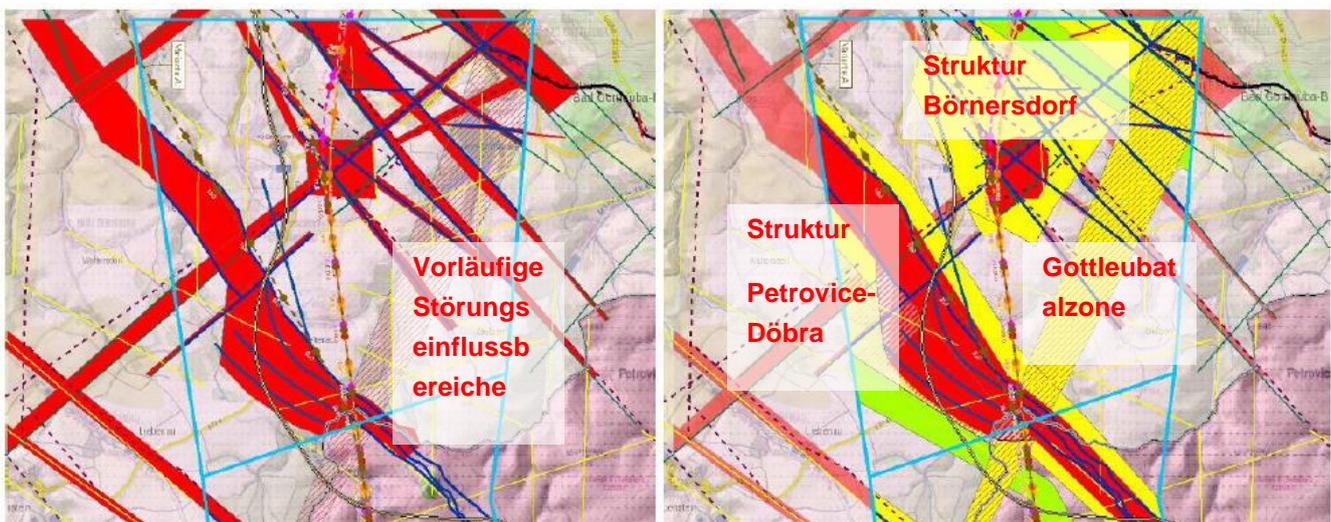


Abbildung 76: Evaluierung der Daten und Geometrien der Ampelkarte der geotechnischen Problemzonen im sächsischen INTERREG Va-Untersuchungsgebiet.

Regionalgeologische Einheiten (RE) als geotechnische Problembereiche

Neben den Störungen und den Störungseinflussbereichen wurden auch die regionalgeologischen Einheiten in die Risikobetrachtung einbezogen. Das betraf anfänglich nur das INTERREG-Untersuchungsgebiet und das angrenzende Elbtalschiefergebirge und wurde später, im Zuge der Bereitstellung von Unterlagen für das ROV, wie unter 10.2.4 beschrieben, auf den gesamten Trassenverlauf ausgeweitet.

Grundlage für die Risikobewertung war die Auswertung vorhandener Angaben zu den geotechnischen Eigenschaften (Kapitel 10.4) der zu durchfahrenden Gebirgsbereiche/regionalgeologischen Einheiten hinsichtlich ihrer Gebirgsintegrität und aus geomechanischer Sicht zu erwartender Probleme.

Ausgehend von der unter Kapitel 3.2 beschriebenen Komplexität wurde auch das Elbtalschiefergebirge als geotechnische Problemzone grün (erhöhter geotechnischer Aufwand) eingestuft. Die Entscheidung wurde auf Grund der folgenden Merkmale getroffen:

- kleinräumig (teilweise im Meterbereich) wechselnde Gesteinsabfolgen im Streichen der RE mit teilweise sehr stark differierenden geotechnischen/geomechanischen Eigenschaften unmittelbar benachbart anstehender Mitglieder
- unterschiedlicher Metamorphosegrad und tektonische Beanspruchung/Überprägung der einzelnen lithostratigraphischen Gesteinseinheiten
- unregelmäßig vorkommende linsenartige Einschlüsse lokal auftretender karstanfälliger Gesteine (Kalke)
- starke Gestörtheit der gesamten regionalgeologischen Einheit infolge einer Vielzahl von Störungen (teils transregional) parallel und senkrecht zum Streichen des Elbtalschiefergebirges
- Rohstoffabbauflächen

Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Geotechnischen Aufwandes war auch die Nähe zu den Rohstoffvorranggebieten und bergrechtlich genehmigten Abbaubereichen. Für Abbaubetriebe, die hinsichtlich genehmigter Abbaufläche und Tiefenlage im unmittelbaren Einflussbereich der Tunneltrassen lagen, wurde die Kategorie rot (geotechnischer Risikobereich) festgelegt.

Bruchzonen und rutschungsgefährdete Bereiche

Dieses Auswahlkriterium lag nur auf der tschechischen Seite für den Erzgebirgsabbruch vor. Aufgrund von Indizien auf instabile Hangböschungen (Vermutung von Hangkriechen), die durch geophysikalische Untersuchungen belegt wurden sowie Hangrutschungen im Zusammenhang mit dem Kohleabbau im Böhmischem Becken erfolgte eine Einstufung in die Kategorie rot (geotechnischer Risikobereich).

10.2.4 Fortschreibung der Risikofaktoren und der Kategorisierung der geotechnischen Problemzonen

Die Auswahl der Risikofaktoren und-bereiche wurde im Projektverlauf fortlaufend angepasst und im Rahmen der Zuarbeit zum Raumordnungsverfahren auf das gesamte Verfahrensgebiet mit allen sieben zu betrachtenden Varianten ausgeweitet. Grundlage für die Risikobetrachtung außerhalb des INTERREG Va-Gebietes waren das geologische 3D-Modell der Variante G sowie verschiedene geologische Karten (siehe Kapitel 11) und Detailschnitte des Quartärs zwischen Heidenau und dem Seidewitztal, die für die Konstruktion der geologischen Längsschnitte entlang der sieben Trassen verwendet wurden. Eine wesentliche Grundlage bildeten auch die Höhenpläne der Trassenvarianten des Raumordnungsverfahrens, um beurteilen zu können, welche Gesteinseinheiten in welcher Tiefe durchfahren werden und welche Konsequenzen sich aus geotechnischer Sicht daraus ergeben können.

Eine detaillierte Beschreibung der jeweiligen geologischen Situation, Bau-km bezogen entlang der Trasse kann in Anlage 1.9 eingesehen werden.

Da die Trassenverläufe zwischen Heidenau und der Seidewitz ähnlich sind, wird die geologische Situation hier verallgemeinernd beschrieben und die Gründe für die Einstufung in die Risikokategorien erläutert.

Der genannte Bereich ist gekennzeichnet durch eine Hochfläche aus quartären Lockergesteinen über unterlagerndem Festgestein (Sedimentgesteine und Granodiorit). Bei Heidenau grenzen die Trassenkorridore an das ausgewiesene Überschwemmungsgebiet der Elbe, was im Hochwasserfall der Elbe stark erhöhte Grundwasserstände, verbunden mit einem möglichen Rück- und Einstau in grundwasserleitende Horizonte, zur Folge haben kann. Inwieweit sich dadurch Beeinträchtigungen der geotechnischen Eigenschaften der Locker- und Festgesteine mit nachteiligen Auswirkungen auf das zukünftige Bauwerk ergeben, muss durch geologisch/hydro-geologische Erkundungsmaßnahmen (Durchführung von Erkundungsbohrungen, Errichten von Grundwasser-messstellen) geklärt werden. Aufgrund dieser Tatsache sowie teilweise offener Bauweise, geringer Tunnelüberdeckung und einem Tunnelverlauf im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein bei zu erwartender Grundwasserführung wurden Bereiche dieser Regionalgeologischen Einheit als potentielle geotechnische Problemzonen in die Kategorien gelb (stark erhöhter geotechnischer Aufwand) sowie teilweise rot (geotechnischer Risikobereich) eingestuft.

Es besteht ein hoher geologischer bzw. geophysikalischer Erkundungsbedarf zur Klärung der offenen Fragen im Korridorbereich sowie die Notwendigkeit der Erstellung eines hydrogeologischen Modells, um Beeinträchtigungen des Barockgartens Großsedlitz zu vermeiden.

In Auswertung der geophysikalischen Untersuchungsergebnisse und deren Implementierung in das GIS-Projekt ergab sich die Notwendigkeit, weitere Risikokategorien einzuführen, um eine bessere Erkundungsplanung zu ermöglichen.

So wurden zwei zusätzlichen Kategorie für Bereiche eingeführt, in denen die Vermutung besteht, dass die jeweils höhere Kategorie zu erwarten ist, bisher aber noch keine oder ungenügende Kenntnisse vorliegen. Das betrifft insbesondere das westliche Umfeld der Struktur Petrovice-Döbra (Abbildung 77) sowie die Regionalgeologische Einheit Elbtalschiefergebirge.

- geotechnischer Risikobereich
- geotechnischer Risikobereich (vermutet)
- stark erhöhter geotechnischer Aufwand
- stark erhöhter geotechnischer Aufwand (vermutet)
- erhöhter geotechnischer Aufwand

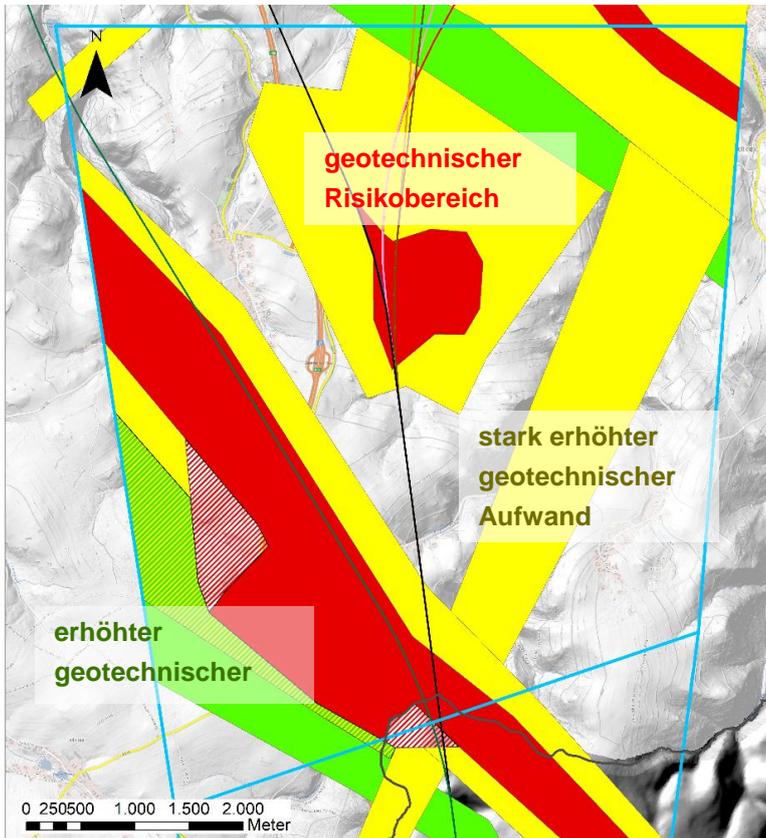


Abbildung 77: Detailausschnitt der Karte der geotechnischen Problemzonen im Bereich der Strukturen Bärnersdorf und Petrovice-Döbra.

Im Rahmen ergänzender Beurteilungen zum ROV sowie der fachlichen Begleitung der Erkundungsplanung wurde es erforderlich, sich eingehender mit den sehr komplexen geologischen Verhältnissen des Elbtalschiefergebirges zu befassen, so dass eine deutlich detailliertere Beschreibung (Kapitel 3.2.4) gegenüber früheren Darstellungen erarbeitet werden konnte. Aufgrund der dabei gewonnenen Erkenntnisse und wegen des bisher noch unzureichenden Kenntnisstandes zu den geomechanischen Eigenschaften des Elbtalschiefergebirges erfolgte eine Neubetrachtung des Risikos. Die erneute Abschätzung der sich für die Erkundung und Auffahrung eines Tunnels möglicherweise ergebenden geotechnischen Aufwendungen, insbesondere im Hinblick auf die Vielzahl der begleitenden Störungen, veranlasste eine Umstufung in die Kategorie "stark erhöhter geotechnischer Aufwand (vermutet)". (Abbildung 78).

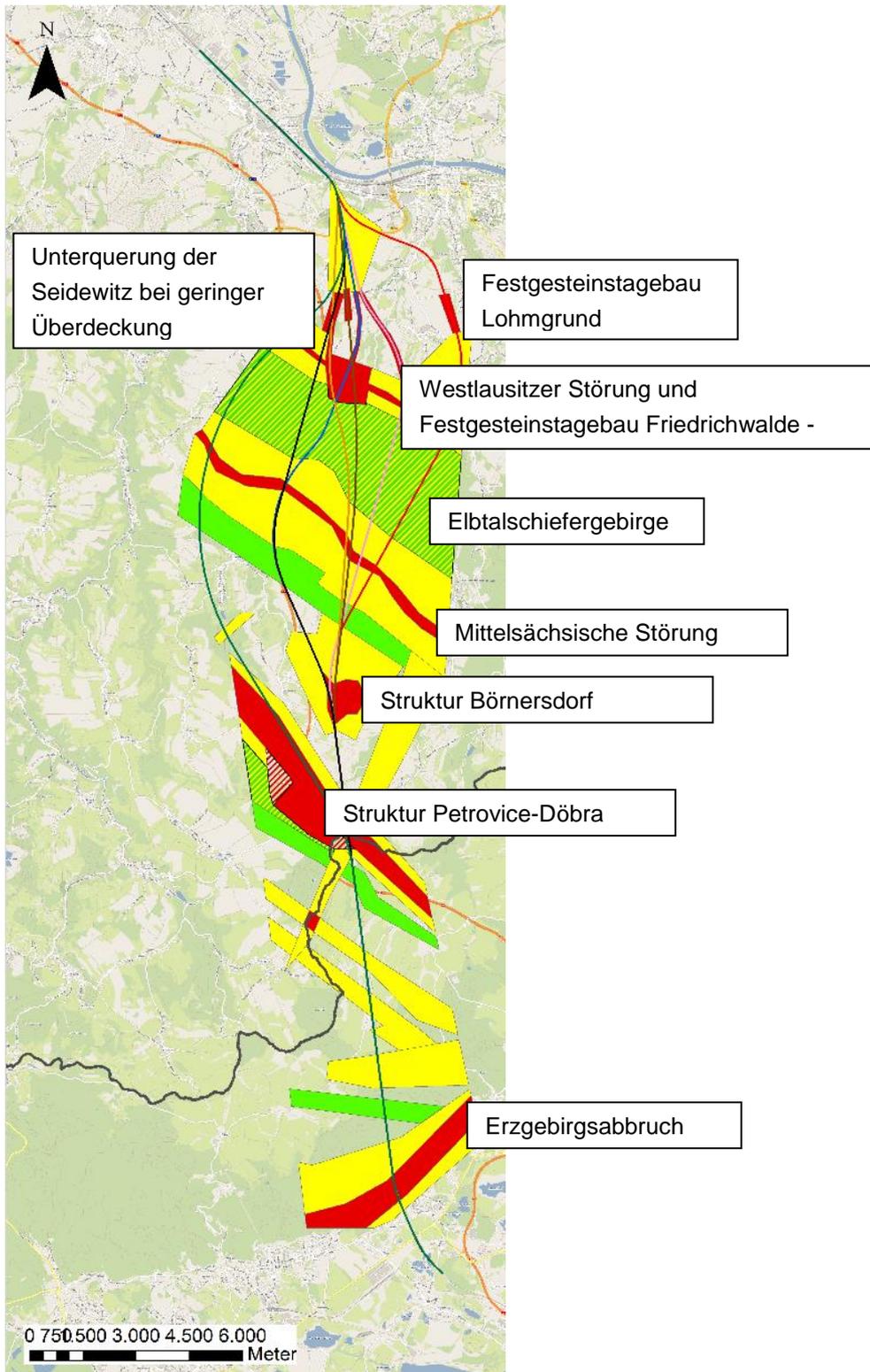


Abbildung 78: Ampelkarte der geotechnischen Problemzonen über den gesamten Verlauf der Trasse von Heidenau bis Chlumec (CZ).

10.3 Anisotropie der Abrasivität und Petrographie von Gneisen

Im Rahmen der Masterarbeit "Anisotropie der Abrasivität und Petrographie von Gneisen im Umfeld des geplanten Erzgebirgsbasistunnels der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden – Prag" an der TU Bergakademie Freiberg in Zusammenarbeit mit dem LfULG (THIELE, 2019) wurden drei Gneisvarietäten im Umfeld der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden–Prag auf ihre Abrasivität hin untersucht. Die Abrasivität ist ein wichtiges Maß für den Werkzeugverschleiß. An den Aufschlüssen BP 1-6 im Bahretal bei Wingendorf und BP 7-10 an der Talsperre Gottleuba (Abbildung 79) wurden für jede der drei anstehenden Gneisvarietäten (Paragneis, Dichter Gneis und Orthogneis) jeweils drei Proben genommen, welche in Würfel mit 7 cm Kantenlänge gesägt worden sind. Die Würfelflächen sollten dabei im Idealfall den drei struktureologischen Raumebenen xy, yz und xz entsprechen (Abbildung 80). Bei der xy-Ebene handelt es sich um die Foliationsfläche. Geht man von einer ursprünglich kugelige Form der Minerale aus, wurden diese bei der Deformation in x-Richtung am stärksten gelängt. Im Gegensatz dazu fand in z-Richtung eine Stauchung statt.

Abweichungen von den idealen Schnittebenen sind möglich, da das Mineralstreckungslinear auf den Lesesteinproben nicht immer deutlich erkennbar war. Anschließend wurden in allen drei Raumebenen Abrasivitätsversuche mit einem Cerchar-Gerät (Abbildung 81) durchgeführt.

Bei dem Versuch ritzt ein angespitzter Stahlstift (Rockwell-Härte HRC 54-56 (KÄSLING & THURO, 2010)) mit einer Kraft von 70 N über eine Strecke von 10 mm über die Oberfläche einer Festgesteinsprobe. Dabei entsteht sowohl auf der Gesteinsoberfläche als auch am Prüfstift ein Materialabrieb. Der Materialabtrag am Prüfstift wird ausgemessen und in den Cerchar-Abrasivitätsindex (CAI) umgerechnet. Die Ritzversuche erfolgten senkrecht zur Foliation und Lineation (Abbildung 80b).

Zusätzlich wurden Dünnschliffe unter dem Polarisationsmikroskop auf ihren Mineralbestand und das Gefüge untersucht. Auch diese Untersuchungen fanden in den drei struktureologischen Raumebenen statt.

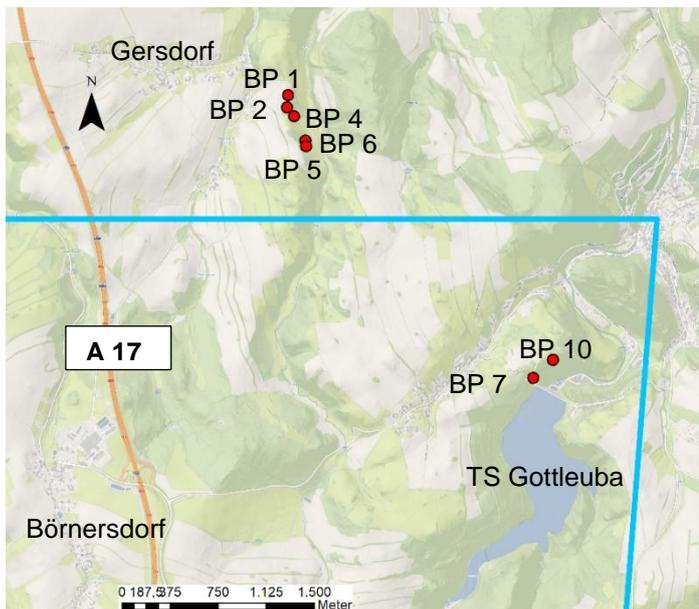
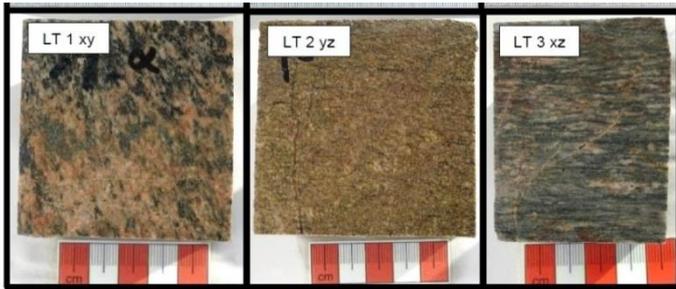
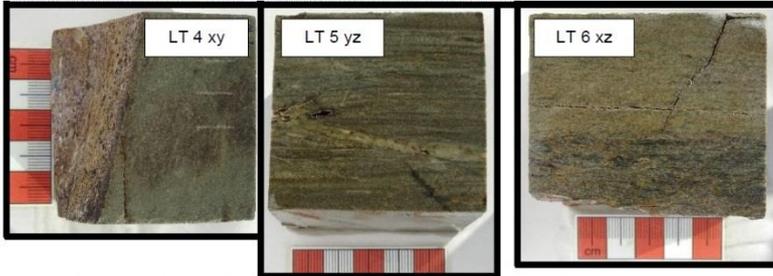


Abbildung 79: Übersichtskarte der Aufschlusspunkte BP 1 - BP 10 (rot).

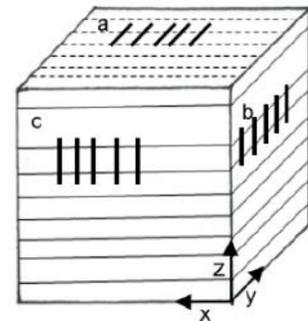
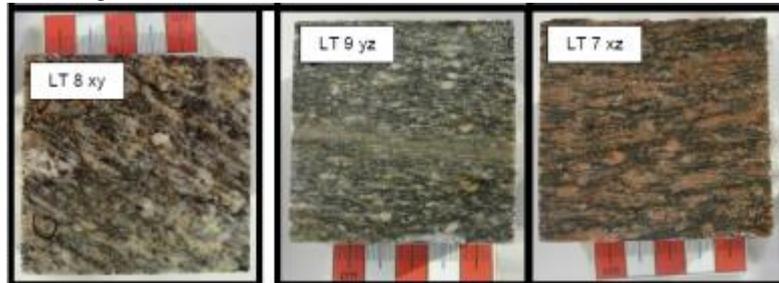
Paragneis



Dichter Gneis



Orthogneis



Fotos: Lisa Thiele

Abbildung 80: a) Probenwürfel. Die xy-Ebene ist die Foliationsebene, auf welcher man die Mineralstreckungslineare erkennen kann. b) Skizze der Probenwürfel. Die Würfelkanten sind parallel zur Foliation (durchgezogenen Linien) und zum Mineralstreckungslinear (gestrichelte Linie). Die Ritzversuche erfolgten senkrecht zur Foliation und Lineation.



Verändert nach (TU BERGAKADEMIE FREIBERG, Stand 2019)

Abbildung 81: Cerchar-Gerät an der TU Bergakademie Freiberg.

Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen sind in THIELE (2019) ausführlich beschrieben.

Die ermittelten Cerchar-Abrasivitätswerte (CAI) für die drei untersuchten Gneisvarietäten Orthogneis, Paragneis und Dichter Gneis variieren zwischen 2,0 und 5,0 (Anlage 11). Die Gneise sind somit als mittel bis extrem hoch abrasiv einzustufen. Dem Diagramm (Abbildung 82) kann entnommen werden, dass der Dichte Gneis geringere CAI-Werte hat als die Para- und Orthogneise. Insgesamt konnte keine eindeutige Richtungsabhängigkeit festgestellt werden.

Die Simulation des Tunnelvortriebes durch die Cerchar-Abrasivitätsversuche an den Probenwürfeln in drei Richtungen zeigte, dass die Raumlage der Gneise bei der Planung des Trassenverlaufs in Hinblick auf den Werkzeugverschleiß nicht berücksichtigt werden muss, da die Abrasivität in allen drei Richtungen gleich hoch ist.

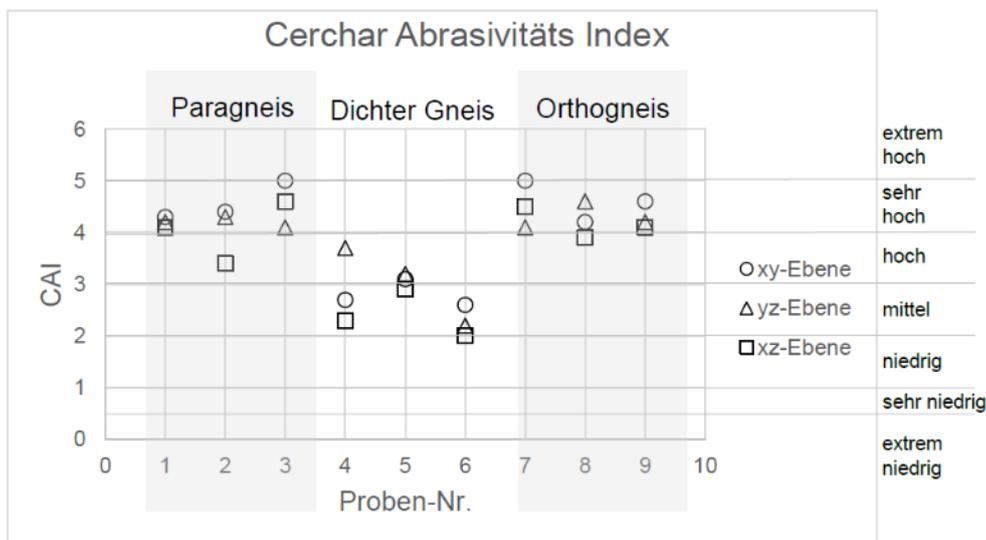


Abbildung 82: Ergebnisse der Cerchar-Abrasivitätsversuche. Klassifizierung nach (KÄSLING & PLINNINGER, 2016).

Um den Zusammenhang zwischen der richtungsgebundenen Petrographie und der Abrasivität herzustellen, wurden der Quarzgehalt, die Korngröße der Rekristallite und die Anzahl der Wechsel von Glimmerlagen zu Quarz-Feldspatlagen in allen drei Raumlagen ermittelt.

Die Untersuchungen zeigten, dass der Quarzgehalt und die Korngröße der Rekristallite keinen Einfluss auf den Cerchar-Abrasivitätsindex haben. Die Abrasivität ist jedoch von der Anzahl der Lagenwechsel und der Mächtigkeit der einzelnen Lagen beeinflusst (Abbildung 83). Der Dichte Gneis hat viele Lagenwechsel, weil die einzelnen Lagen sehr dünn sind. Dagegen kommen im Orthogneis mächtige Lagen und deutlich weniger Wechsel von weichen Glimmerlagen zu harten Quarz-Feldspatlagen vor. Es wird angenommen, dass der größte Werkzeugverschleiß beim Auftreffen auf eine harte Lage entsteht. Bei den Dichten Gneisen sind die weichen Glimmerlagen jedoch so schmal, dass der Prüfstift darüber hinweggleiten kann (Abbildung 83, 1b). In den Para- und Orthogneisen sind die Glimmerlagen hingegen mächtig genug, sodass der Prüfstift in diese eindringt (Abbildung 83, 2b & c). Im weiteren Versuchsverlauf trifft er gegen die harten Quarz- und Feldspatkörner und verschleißt stark. Deshalb sind Gesteine mit einer engständigen Foliation weniger abrasiv als solche mit einem weiteren Abstand der Foliationsflächen.

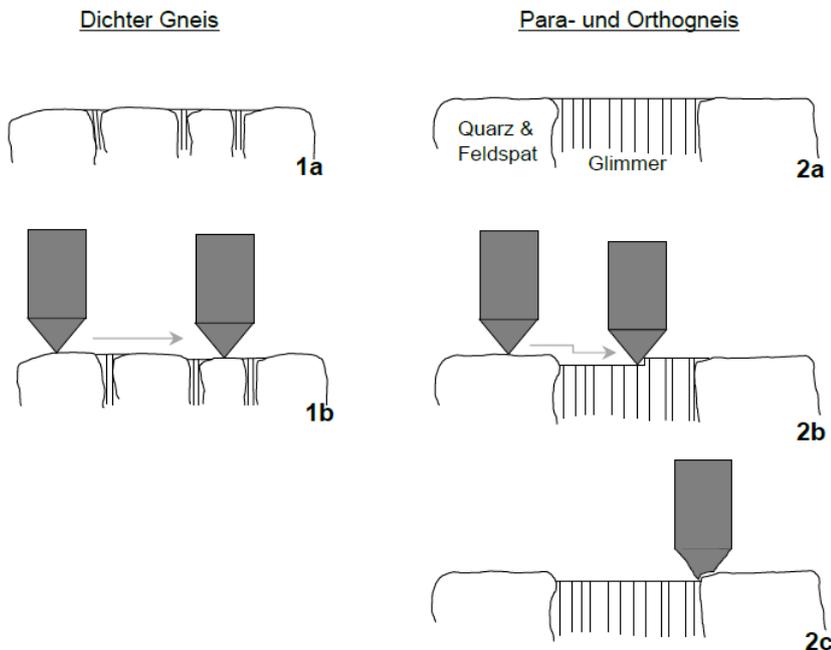


Abbildung 83: 1a) Ausgangssituation Dichter Gneis. 1b) Der Stift gleitet über die schmalen Glimmerlagen hinweg, ohne einzutauchen. Rechts: 2a) Ausgangssituation Para- und Orthogneis. 2b) Der Prüfstift sinkt in die weichere Glimmerlage ein. 2c) Anschließend trifft er auf die Kante der härteren Quarz-Feldspatlage. Dort scheint der größte Verschleiß zu entstehen. (THIELE, 2019)

10.4 Ingenieurgeologische Charakteristik der Gesteine im Untersuchungsgebiet

Die ingenieurgeologischen Verhältnisse von Gesteinen werden maßgeblich von den lithologischen/petrografischen, den regionaltektonischen und hydrogeologischen Verhältnissen sowie ihrem Verwitterungsverhalten geprägt. Bei der ingenieurgeologischen Beschreibung wurde zwischen Fest- und Lockergesteinen unterschieden. Gesteine mit ähnlichen ingenieurgeologischen Eigenschaften wurden dabei zu Einheiten zusammengefasst und beschrieben. Auf der Grundlage von Eigenschaftsbetrachtungen hinsichtlich Homogenität oder Ähnlichkeit in der lithologischen Zusammensetzung und Genese ist es möglich eine lithologisch-genetische sowie eigenschaftsbasierte Klassifikation vorzunehmen.

Bei der Beschreibung der potentiellen Baugrundsichten werden in der geotechnischen Praxis Normen verwendet, um für die Angaben zu den Gesteinseigenschaften eine Vergleichbarkeit in der Klassifizierung/Charakterisierung zu ermöglichen. Dazu zählen unterschiedliche nationale und europäische Normen (SN EN, SN EN ISO / DIN EN ISO u. a.). Manche nationalen Normen haben europäische Äquivalente, andere nicht.

Bei der nachfolgenden Beschreibung der geotechnischen Eigenschaften der Gesteine wird sich auf diese bestehenden Normen bezogen.

10.4.1 Übersicht der ingenieurgeologischen/geotechnischen Klassifizierung

Wie unter Kapitel 6.2 beschrieben, konnte in der Kürze der Zeit für die Erstellung der grenzüberschreitenden geologischen Karte bisher keine abschließende Harmonisierung der Einteilung nach Eigenschaften für die ingenieurgeologische Ansprache zwischen beiden geologischen Diensten erfolgen. Das ist im Rahmen einer nachfolgenden Zusammenarbeit vorzunehmen. Eine Einigung hinsichtlich der Benennung in der Legende erfolgte vorrangig nach genetischen Aspekten bzw. nach dem Sprachgebrauch des Partnerlandes, in dem die jeweiligen ingenieurgeologischen Einheiten vordergründig auftreten (z. B. sfQh = splachy = Abschwemmböden). In der Tabelle enthalten sind daher nur Ingenieurgeologische Einheiten, die in der Kartenlegende aus Kapitel 6 enthalten sind. Die ingenieurgeologische Beschreibung von Gesteinen außerhalb des gemeinsamen Bearbeitungsgebietes geht auf die GK 25 Blatt Pirna, Dresden-Ost, sowie Freital zurück (z. B. für die eiszeitlichen Ablagerungen).

Für die tschechische Seite ist die Einteilung in Anlage 12 enthalten.

Die in Tabelle 13 vorgenommene Einteilung enthält eine orientierende Zuordnung der in der gemeinsamen geologischen Karte enthaltenen Locker- und Festgesteine nach DIN EN ISO 14688-1 und DIN 18196 (Lockergesteine) und

DIN EN ISO 14689-1 (Festgesteine) wobei die Lockergesteine einiger lithostratigraphischer Einheiten auch mehreren Kategorien zuordenbar sind (siehe Kapitel 10.4.2).

Tabelle 13: Ingenieurgeologische Einheiten deutscher Nomenklatur

Ingenieurgeologischen Einheiten				Geologische Benennung laut Karte
Gesteinsart	In Deutschland			
Festgesteine	Magmatite (Erstarrungsgesteine)	MA	Einheit der verwitterungsbeständigen Festgesteine	21  ρ ryolit Rhyolith
				25  γδG metagranodiorit Meta-Granodiorit
				24  γ turmalinický granit Turmalingranit
	Metamorphite (Umwandlungsgesteine)	ME/QU	Einheit der verwitterungsbeständigen Festgesteine	23  f fylity a kvarcitický fylit Phyllit und Quarzphyllit
				26  G Biotit-muskovitická draselnožlivoá ortorula Biotit-Muskovit K-Feldspat-Orthogneis
				27  bmg dvojslídna pararula Zweigliederparagneis
				28  g pararula, masivní, místy s vložkami ortorul Paragneis, dicht, local Orthogneis Einlagerungen
				29  A amfibolit (krušnohorské krystalikum) Amphibolit
	Sedimentite (Ablagerungsgesteine)	SF / KA	Einheit der verwitterungsempfindlichen Festgesteine (veränderlich feste Ton- und Schluffsteine)	12  mKco slinovce Mergel
13  mKt3 slinovce a jílovité vápence Mergel und tonige Kalksteine				
14  mKt2 písčité slinovce s vložkami vápnitých pískovců sandiger Mergel mit Einschaltungen kalkhaltige Quarzsandsteine				
SG		Einheit der verwitterungsbeständigen Festgesteine (Sandsteine und Konglomerate)	15  sKt1 hrubozrné křemenné písčivce grobkörnige Quarzsandsteine	
			16  sKc4 křemenné až vápnité písčivce Quarzsandsteine mit kieseligen bis kalkigen Bindemittel	
			17  sKc3 písčivce Sandsteine	
			18  sKc1-2 křemenné písčivce s polohami jílovců Konglomeraten Quarzsandsteine mit Tonsteinlagen	
Lockergesteine	Grobkörnige Böden (mit geringem Feinkornanteil)	GE/GW SE/SW	Einheit der pleistozänen sandig-kiesigen Fluss-sedimente (Terrassen)	6  říční štěrky (terasy) Fluviatile Kiese (Terrassen); sandig-kiesige Flussablagerungen
	Gemischtkörnige bis feinkörnige Böden	GU/GU*S U/SU* TL/UL TM/UM	Einheit der alluvialen Sedimente der kleinen Täler	4  Qh fluvialní sedimenty Fluviatile Sedimente (Auen-/Flussablagerungen)
			Einheit der deluvial-fluviativen Sedimente	3  sQh deluvio-fluvialní sedimenty (splachy) Deluvial-fluviatile Sedimente (Hang- und Flussablagerungen)
	Feinkörnige bis bindig gemischtkörnige Böden	TL/UL TM/UM GT*/ST* GU*/SU*	Einheit der solifluidalen Sedimente (Hangab-lagerungen)	5  sQ svahoviny Solifluktsionsdecken (Gehängelehm)
	Organogene Ablagerungen	OH	Einheit der organischen Sedimente	2  oQh organické sedimenty Organische / organogene Sedimente
	Anthropogene Ablagerungen	A	Auffüllungen	1  aQh antropogenní sedimenty Anthropogene Ablagerungen

10.4.2 Beschreibung der ingenieurgeologischen Einheiten auf sächsischer Seite

Je nach Aufgabenstellung sind für spezifische Vorhaben/Bauaufgaben auch weitere Klassifikationen (z. B. Ausweisung von Homogenbereichen zur Ausschreibung nach VOB/C) heranzuziehen, die zielgerichtet Ähnlichkeiten von Eigenschaften und Verhaltensmerkmale bei der Bildung von Klassen berücksichtigen.

Festgesteine

Festgesteine sind durch einen festen Kornverband infolge primärer Kornbindung oder durch Verkittung mittels eines Bindemittels charakterisiert. Zu dieser Gruppe zählen in der Geotechnik sämtliche Magmatite, Metamorphite und Sedimentite.

Die ingenieurgeologischen Verhältnisse der Festgesteine werden sehr stark von der Ausbildung des Trennflächeninventars (Schichtflächen und Klüfte sowie deren Abstand und Orientierung) und des Verwitterungsverhaltens (Festigkeit, Härte, Kornbindung, Petrographie) bestimmt. Hierzu liegen häufig nur punktuelle Daten aus erfolgten Erkundungen vor, die keine flächenhafte Interpretation ermöglichen. Insbesondere der Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein kann aufgrund der verschiedenen die Verwitterung beeinflussenden Faktoren nicht pauschal beschrieben werden. Kennzeichnend ist für diesen Bereich, dass das Festgestein mit zunehmender Verwitterung in ein Lockergestein übergeht, wobei die Festigkeit ab- und die Setzungsempfindlichkeit zunimmt. Schematische Verwitterungsprofile für unterschiedliche Gesteinsarten sind unter Berücksichtigung der Verwitterungsstufen W0 bis W5 in HEITFELD (1985) dargestellt und beschrieben.

Die Festgesteine lassen sich aufgrund ihres Mineralbestandes, der Art der Kornbindung, des Kornbindemittels, der Entstehung, der tektonischen Beanspruchung sowie des Verhaltens gegenüber Wasser in verwitterungsbeständige und verwitterungsempfindliche Festgesteine unterscheiden (KLENGEL & WAGENBRETH, 1989). Innerhalb der verwitterungsempfindlichen Festgesteine können die veränderlich festen Gesteine als Sondergruppe betrachtet werden.

Verwitterungsbeständige Festgesteine

Diese Gruppe, deren Vertreter hauptsächlich Magmatite, hochmetamorphe Gesteine sowie Sedimentite mit vorrangig silikatischem Bindemittel sind, zeichnet sich durch eine primäre Kornbindung (Verwachsung), ein beständiges Bindemittel (z. B. silikatisch), einen beständigen Kornverband innerhalb menschlicher Zeiträume sowie eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Verwitterungsagenzien und Frost aus. Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit sind gering, die einaxiale Druckfestigkeit ist hoch. (fest bis extrem fest nach IAEG-Empfehlung).

Die Recherche, Aufbereitung und Zusammenfassung der wesentlichen geomechanischen Eigenschaften der im Umfeld der Trasse vorkommenden Gesteine erfolgte in einer wissenschaftlichen Arbeit der TU Bergakademie durch GAMBKE (2015). Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in Anlage 13 einzusehen.

Im frischen bis schwach verwitterten Zustand stellen die Gesteine dieser Gruppe einen gut bis sehr gut tragfähigen Baugrund dar. Sie sind frostunveränderlich und Setzungen/Setzungsdifferenzen sind zu vernachlässigen.

Die autochthon und allochthon anstehenden Verwitterungsprodukte weisen meist eine grob- bis gemischtkörnige Kornmatrix, bei fortgeschrittener Mineralumbildung in Abhängigkeit vom Ausgangsmineralbestand teilweise auch eine gemischt- bis feinkörnige Matrix (Granodiorit, Granit, Gneise, Grauwacke) auf.

Zu den Gesteinen dieser Gruppe sind im Bereich der Trassenkorridore folgende zu nennen:

- **Magmatite (MA):** Biotitgranodiorit und Zweiglimmergranodiorit (Metatexite), Turmalingranit, „Basalt“, „Diabas“ sowie Ganggesteine (hauptsächlich Rhyolith, Granitporphyr)
- **Metamorphite (ME / QU):** Metagrauwacke, Metabasite, Paragneise, Orthogneise; Amphibolith, Hornfels, Phyllit
- **Sedimentite (SG):** Konglomerate, Sandsteine

Für sehr gute geomechanische Eigenschaften der Festgesteine im Trassenverlauf werden an dieser Stelle die kristallinen Schiefer, Hornfelse und Basalte/Metabasite genannt, die auch als Baurohstoffe abgebaut werden. Außerdem sind die Metagrauwacken zu nennen, welche aufgrund ihres pelitischen Ursprungs, hohen Alters und der metamorphen Überprägung eine hohe Festigkeit aufweisen.

Die Phyllite werden mitunter bei niedrigem Metamorphosegrad und hoher tektonischer Beanspruchung auch den verwitterungsempfindlichen Gesteinen zugeordnet.

Eine teilweise tiefgründige Verwitterung kann häufig entlang von Störungszonen mit erhöhter Wasserführung oder tektonisch stark beanspruchten Bereichen sowie aufgrund entwicklungsgeologisch bedingter Zeiten mit intensiver Verwitterung (warmes, feuchtes Klima) beobachtet werden.

Die Gesteins- und Gebirgsfestigkeit ist allerdings kein Garant für die Standsicherheit einer Böschung. Letztere wird in entscheidendem Maße durch das Trennflächengefüge, den Habitus der Klüftwandungen, die Klüftfüllungen und ihre Wasserführung bestimmt. An steilen Felshängen und -böschungen muss bei ungünstigen Bedingungen insbesondere im Winterhalbjahr oder bei Hanganschnitten mit Steinschlag und mitunter mit Felsstürzen gerechnet werden.

Verwitterungsempfindliche Festgesteine

Die Gesteine dieser Gruppe, zu denen hauptsächlich Sedimentite und schwachmetamorphe Gesteine zählen, sind durch eine schwache Kornbindung, ein unbeständiges Bindemittel, den atmosphärisch bedingten Verlust des Kornzusammenhaltes in kurzer Zeit (Tage/Monate) sowie die daraus folgende irreversible Umwandlung in Lockergesteine gekennzeichnet. Die Porosität und die Wasseraufnahmefähigkeit sind gegenüber den verwitterungsbeständigen Festgesteinen deutlich erhöht, während die einaxiale Druckfestigkeit sehr stark verringert ist. Dabei ist eine klare Abhängigkeit zwischen zunehmender Porosität/Wasseraufnahmefähigkeit und abnehmender Druckfestigkeit erkennbar.

Die autochthon und allochthon anstehenden Verwitterungsprodukte weisen meist eine gemischtkörnige Kornmatrix und bei fortgeschrittener Mineralumbildung eine weitgehend feinkörnige Matrix (Ton- und Schluffsteine, Tonschiefer, Mergel) auf.

Im Bearbeitungsgebiet zählen hierzu:

- **Magmatite (MA):** Tuffe, Tuffite, Hyaloklastite (nur auf tschechischer Seite)
- **Metamorphite (ME):** Tonschiefer
- **Sedimentite (SF / KA):** Schluff- und Tonsteine, Schiefertone, Pelite, alle kreidezeitlichen Mergel, Pläner (Ton-/ Schluffsteine) und Sandsteine, die nicht unter den verwitterungsbeständigen Gesteinen genannt sind

Eine Sonderstellung unter den verwitterungsempfindlichen Gesteinen nehmen die veränderlich festen Gesteine ein. Diese frostveränderlichen Festgesteine weisen in frischem Zustand eine mäßige bis feste Gesteinsdruckfestigkeit (IAEG-Empfehlung) auf, verwittern der Atmosphäre ausgesetzt jedoch innerhalb von Wochen bis Monaten zu einem tonig-schluffigen Gesteinsschutt. Infolge höherer Porosität, Wasseraufnahme und des Vorhandenseins reaktivierbarer Tonminerale verwittern sie dann schnell zu einem schluffigen Ton, wobei bei erhöhten Anteilen an quellfähigen Tonmineralen Quell- und Schrumpfverformungen auftreten können.

Die Besonderheit bei den Kreidesedimenten des Turons besteht in der Wechselfolge von Mergeln und Sandsteinen, die kleinlagig wechseln können. Oberhalb ausgedehnter Sandsteinschichten bilden sich häufig Schichtquellen, die zu weitreichender lateraler Zersetzung des Festgesteins bzw. Umwandlung in ein Lockergestein führen können. Bei der Anlage von Böschungen in derartigen Schichtenfolgen können solcherart zersetzte und aufgeweichte Schichtenhorizonte potentielle Gleitflächen und damit komplizierte Baugrundverhältnisse darstellen.

Auf tschechischer Seite sind besonders die sehr wasserempfindlichen Hyaloklastite zu nennen, die bei Wassersättigung zum Fließen neigen und einen besonderen geotechnischen Problembereich darstellen. Sie wurden im tschechischen Bericht für den LEAD-Partner (Mai 2020, Anlage 9) eingehend beschrieben.

Kennwertdaten zu den Festgesteinen

Für die Literaturrecherche wurden von GAMBKE (2015) drei aussagekräftige Werke ausgewählt. Die Ergebnisse der Recherche sind in Anlage 13 detailliert tabellarisch aufgelistet.

Lockergesteine

Lockergesteine weisen im Gegensatz zu den Festgesteinen keinen Gebirgsverband auf. Sie bestehen aus einer Vielzahl von Teilchen, die sich vorwiegend punktförmig berühren und je nach Bildungsbedingungen eine einheitlich oder auch differenziert (unterschiedliche Korngrößen) gepackte Masse darstellen. Diese verhält sich nur bei allseitig wirkendem Druck wie ein Körper und wird in ihren Eigenschaften durch die zwischen den Körnern befindlichen gasförmigen und flüssigen Phasen beeinflusst.

Für die Klassifizierung der Lockergesteine existieren in Abhängigkeit von der geplanten Anwendung verschiedene Normen. Gemäß DIN 4022 stellen die Korngröße und das plastische Verhalten eines Bodens das Einteilungskriterium für die Benennung einer Bodenart dar. Einen Schritt weiter geht die DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke), die die Lockergesteine auf der Grundlage der DIN EN ISO 14688- 1- 2011 in Bodengruppen zusammenfasst, die unter baubetrieblichen Gesichtspunkten ausgewählt wurden und an die Erfordernisse des Erdbaus angepasst sind. Da die DIN 18196 als Grundlage für eine Reihe weiterer eigenschaftsbezogener Zuordnungen dient, wurde sie als Kriterium für die Einteilung der auf Blatt Dresden-Ost im Baueinflussbereich vorkommenden Lockergesteine gewählt. Die Zuordnung zu den einzelnen Bodengruppen beruht dabei auf den Beschreibungen der Lockergesteine, örtlichen Erfahrungen und, soweit vorhanden, auf der Auswertung von Korngrößenanalysen. Eine genaue Zuordnung ist nur durch eine Korngrößenanalyse (DIN 18123) bzw. eine Bestimmung der Konsistenzgrenzen (DIN 18122-1) möglich.

Die nachfolgenden Beschreibungen basieren auf Erfahrungen und sind verallgemeinerte Angaben, die keine Baugrunduntersuchung ersetzen können.

Grobkörnige Böden

Die grobkörnigen Böden zählen zu den rolligen, nicht bindigen, nicht frostempfindlichen Böden und stellen im Allgemeinen einen gut tragfähigen, gering zusammendrückbaren Baugrund dar. Dieser Gruppe können auf der Grundlage vorhandener Kornverteilungen bzw. ihrer Ablagerungsbedingungen Sedimente unterschiedlicher Entstehungsart und -zeit zugewiesen werden.

Dieser Gruppe werden beispielsweise die pleistozänen sandig-kiesigen Flussniederterrassen der Elsterkaltzeit und der Saalekaltzeit zugeordnet.

Entstehungsbedingt sind mitunter allerdings deutlich mehr als 5 % Feinkornanteil enthalten, sodass bereichsweise eine Zuordnung in die Gruppe der gemischtkörnigen Böden erfolgen muss, wofür dann konkret Korngrößenanalysen durchgeführt werden müssen.

Gemischtkörnige Böden

Die gemischtkörnigen Böden werden je nach ihrem Feinkornanteil und den plastischen Eigenschaften in bindige und nicht bindige Böden unterteilt. In Abhängigkeit vom Feinkornanteil sind sie mittel- bis stark frostempfindlich (F2–F3) sowie wasserempfindlich. Bindige gemischtkörnige Böden neigen bei Wasserzutritt infolge Konsistenzänderung zum Aufweichen, was zu Tragfähigkeitsverlusten und erhöhten Aufwendungen für die Baugrundverbesserung führt.

Die Standsicherheit von Böschungen ist sehr differenziert zu betrachten. Sie hängt wesentlich von den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen, der Standzeit und von möglichen Feinkorneinlagerungen ab.

Den gemischtkörnigen bindigen Böden sind auch die glazigenen Bildungen der Grundmoräne (Geschiebelehm) zuzuordnen, die südlich von Heidenau angetroffen werden, oft jedoch von Schmelzwassersanden oder Löss/Lösslehm bzw. Solifluktionsbildungen überdeckt sind, wie beispielsweise in den Schnitten der GK 25 Blatt Pirna deutlich wird. Der Geschiebelehm kann als „stark sandiger, kiesiger bis schwach kiesiger Schluff, häufig auch als stark schluffig bis toniger, kiesiger Sand“ beschrieben werden.

Die Zusammensetzung kann in vertikaler und horizontaler Richtung teilweise rasch wechseln. Mitunter überwiegen auch die Eigenschaften eines feinkörnigen Bodens, sodass der Geschiebelehm dann als leicht- bis mittelplastischer Ton einzustufen ist. Allgemein besitzt er aufgrund seiner Kornzusammensetzung und der eiszeitlichen Vorkonsolidierung eine mittlere bis gute Tragfähigkeit mit geringem Setzungspotenzial.

Ebenfalls zu den gemischtkörnigen bindigen Böden gehören die Wander-/ bzw. Hangschuttdecken, die genetisch zu den Solifluktionsbildungen zu zählen sind. Sie bestehen meist aus den gering transportierten Bruchstücken der sie unterlagernden Festgesteine und treten entweder direkt über dem anstehenden Festgestein bzw. dessen autochthonen Verwitterungs- oder Zersatzbildungen oberflächennah auf oder werden von Gehängelehm überlagert. Vornehmlich sind diese Verwitterungsprodukte bis zur Korngröße von Kiesen, Sanden und Steinen zerfallen und können je nach Lössbeeinflussung und Verwitterungsgrad wechselnde feinkörnige Anteile (z. B. „verlehmteter Hangschutt“) aufweisen. Grobklastische Schuttdecken sind aufgrund ihres geringeren Feinkornanteils im Allgemeinen als günstiger Baugrund mit guter Tragfähigkeit und hoher Belastbarkeit zu charakterisieren. Ihre Frostempfindlichkeit richtet sich nach dem Feinkornanteil. Temporär können sie Wasser führen, wobei die Wasserführung in Abhängigkeit von der Jahreszeit und den Niederschlägen starken Schwankungen unterliegt.

Die deluvial-fluviatilen Sedimente der kleinen Täler sind häufig sandig-kiesig und oberflächennah schluffig ausgebildet oder enthalten dünne sandig-kiesige Lagen sowie humose Anteile. Aufgrund der ablagerungsbedingten Inhomogenität und Wassersättigung sind sie häufig nur gering tragfähig und stellen einen ungünstigen Baugrund dar.

Feinkörnige Böden

Als feinkörnige Böden werden jene Lockergesteine bezeichnet, deren Ton- und Schluffanteil > 40 % und damit eigenschaftsbestimmend ist. Zur Bestimmung geotechnischer Eigenschaften werden für diese Böden nicht die Kornverteilung (DIN 18123), sondern die Konsistenzgrenzen (DIN 18122-1) verwendet. Kennzeichnend für alle feinkörnigen Böden ist ihre Wasser- und Witterungsempfindlichkeit. Sie sind frostempfindlich (F3) und bei Wasserzutritt aufweichungsgefährdet, weshalb der Sohl- und Planumbereich von Bauwerken und Trassen immer geschützt und entwässert werden muss. In der Regel sind diese Böden stark zusammendrückbar und es muss beim Aufbringen von Lasten mit großen, ungleichmäßigen und ggf. langanhaltenden Setzungen und Setzungsunterschieden gerechnet werden. Häufig (in Abhängigkeit von der Bauaufgabe) ist keine ausreichende Tragfähigkeit vorhanden, sodass entsprechende Maßnahmen notwendig werden.

Bei den fluviatilen Auen sedimenten ist der Auenlehm als feinkörniger Boden zu nennen, der im Wesentlichen als sandiger Schluff, mitunter als toniger Schluff ausgebildet ist. Mitunter können die Auenlehme aufgrund eines hohen Sandanteils auch den gemischtkörnigen bindigen Böden zugeordnet werden. Dazu sind immer die entsprechenden geomechanischen Laboruntersuchungen durchzuführen.

Die Auenlehme überlagern im Allgemeinen unmittelbar die sandig-kiesigen Fluss- und Bachablagerungen oder Schotterterrassen. Sie liegen häufig im Einflussbereich des Grundwassers und im Hochwasserüberflutungsbereich, sodass die Konsistenz von weich bis halbfest schwankt. Es muss deshalb mit großen Setzungen und Setzungsunterschieden gerechnet werden. Der Auenlehm bildet einen flächenhaft ausgebildeten Grundwasserhemmer/-geringleiter, der, sofern ungestörte Verhältnisse vorliegen, gespannte Grundwasserverhältnisse bedingen kann. Durch die intensive Bebauung der Haupttäler wurde der Auenlehm teilweise ausgeräumt bzw. ersetzt, sodass er stellenweise nur noch reliktsch vorhanden ist. Aufgrund der schlechten Tragfähigkeit ist er als Baugrund oftmals nicht bzw. nur sehr eingeschränkt geeignet, weshalb er bei Gründungen fast immer durchteuft oder durch andere geeignete Erdstoffe ersetzt werden muss.

Lösslehm wird den Solifluktionsbildungen zugeordnet, da er meist umgelagert wurde und sich oft nicht zweifelsfrei von den Hanglehmen/Gehängelehmen unterscheiden lässt. Bei diesen lössbasierten Solifluktionsböden handelt es sich um meist schwach feinsandige, z. T. tonige Schluffe mit geringer Plastizität. Die ebenfalls zu den Solifluktionsbildung zählenden Gehängelehme sind häufig an Hängen im Umfeld von Taleinschnitten verbreitet. Sie unterscheiden sich je nach Ausgangsmaterial (Verwitterungsprodukte der Festgesteine, Lösslehme etc.), Hangneigung und Komplexität der Umlagerungsprozesse in ihrer Zusammensetzung und Schichtung. Die Übergänge zwischen gemischt- und feinkörnigen Ausprägungen sind fließend, so dass ohne Laborversuch hier keine klare Grenze gezogen werden kann. Ablagerungsbedingt treten teilweise hangparallele Feinschichtungen von feinkörnigen und gemischtkörnigen Bodenarten auf, die in Verbindung mit einer temporären Wasserführung bzw. Wassersättigung vorgegebene Gleitflächen darstellen können. Zum Liegenden erfolgt häufig ein Übergang in gröberklastische Schuttdecken (Solifluktions- oder

Hangschutt). Bodenmechanisch handelt es sich bei den Gehängelehmen meist um stark schluffige Sande/Kiese und sandige, tonige Schluffe. Diese Lockergesteine besitzen im Regelfall eine hohe Frost- und Wasserempfindlichkeit, sodass sie bei Wasserzutritt schnell aufweichen und Tragfähigkeitsverluste zu verzeichnen sind. Sie stellen nur mäßig belastbaren Baugrund dar und sind stark erosionsgefährdet. Rutschungsgefahren bestehen bei steilen, tiefen Ein- oder Anschnitten. Für Baustandorte in Hanglagen ergeben sich häufig auch ungleiche tal- und hangseitige Baugrundverhältnisse. Bei setzungsempfindlichen Bauwerken ist deshalb auf einen einheitlichen Baugrund zu achten.

Autochthone Verwitterungsbildungen

Bei diesen Zersatz- und Verwitterungshorizonten der Festgesteine handelt es sich um Lockersedimente, bei denen der innere mineralische Zusammenhang des Festgesteins noch vorhanden ist, durch fortgeschrittene Verwitterungsprozesse signifikante Festgesteinseigenschaften jedoch verloren gingen und die bereits Lockergesteinscharakter tragen. In der Karte werden die autochthonen Verwitterungsbildungen nicht separat ausgehalten und den entsprechenden Festgesteinen zugeordnet. In Abhängigkeit von Ausgangsgestein und Verwitterungsprozess können unter bodenmechanischen Aspekten feinkörnige, gemischtkörnige oder grobkörnige Böden untergliedert werden. Für die geotechnische Beurteilung ist jedoch zu berücksichtigen, dass neben den allgemeinen bodenmechanischen Eigenschaften der Lockergesteine auch das Trennflächengefüge des ursprünglichen Festgesteins erhebliche Relevanz besitzt. So können Kluft-, Schicht- und Schieferungsflächen vorgegebene Gleitflächen darstellen und der Verwitterungsgrad im Bereich von Trennflächen fortgeschrittener sein.

Anthropogene Veränderungsbereiche

Veränderungen der natürlichen Geländeoberfläche durch anthropogene Ablagerungen (Auffüllungen, Aufschüttungen/ Aufhaldungen) treten im Bereich von Heidenau, südwestlich des Kohlberges im Schützengrund und häufig im bebauten Bereich der Flusstäler und ihrer Nebenflüsse auf. Nähere Auskünfte über Altablagerungen können über das Sächsische Altlastenkataster (SALKA) beim LfULG oder den Unteren Abfallbehörden der Landkreise eingeholt werden. Darin enthalten sind neben Größe und Erkundungsstatus Angaben zum Deponieinventar und soweit vorhanden zur Art und zum Grad der Kontamination.

Die genannten anthropogen veränderten Gebiete setzen sich zumeist heterogen aus unterschiedlichen Materialien zusammen, weshalb die Angabe von allgemein kennzeichnenden bodenmechanischen Eigenschaften nicht sinnvoll ist. Werden Baumaßnahmen im Bereich anthropogener Auffüllungen geplant, ist in jedem Fall die Untere Abfallbehörde einzubeziehen. In der Regel sind für Auffüllungen, unabhängig von der Einbautechnologie und vom Inventar (Material und Art der Kontamination) erhöhte Aufwendung für die Entsorgung oder für besondere Gründungsmaßnahmen (Bodenaustausch, Tiefergründung, Intensivverdichtung) notwendig. Baugrunduntersuchungen mit umfangreicher Recherche sind bei einer geplanten Bebauung anthropogener Veränderungsbereiche unerlässlich.

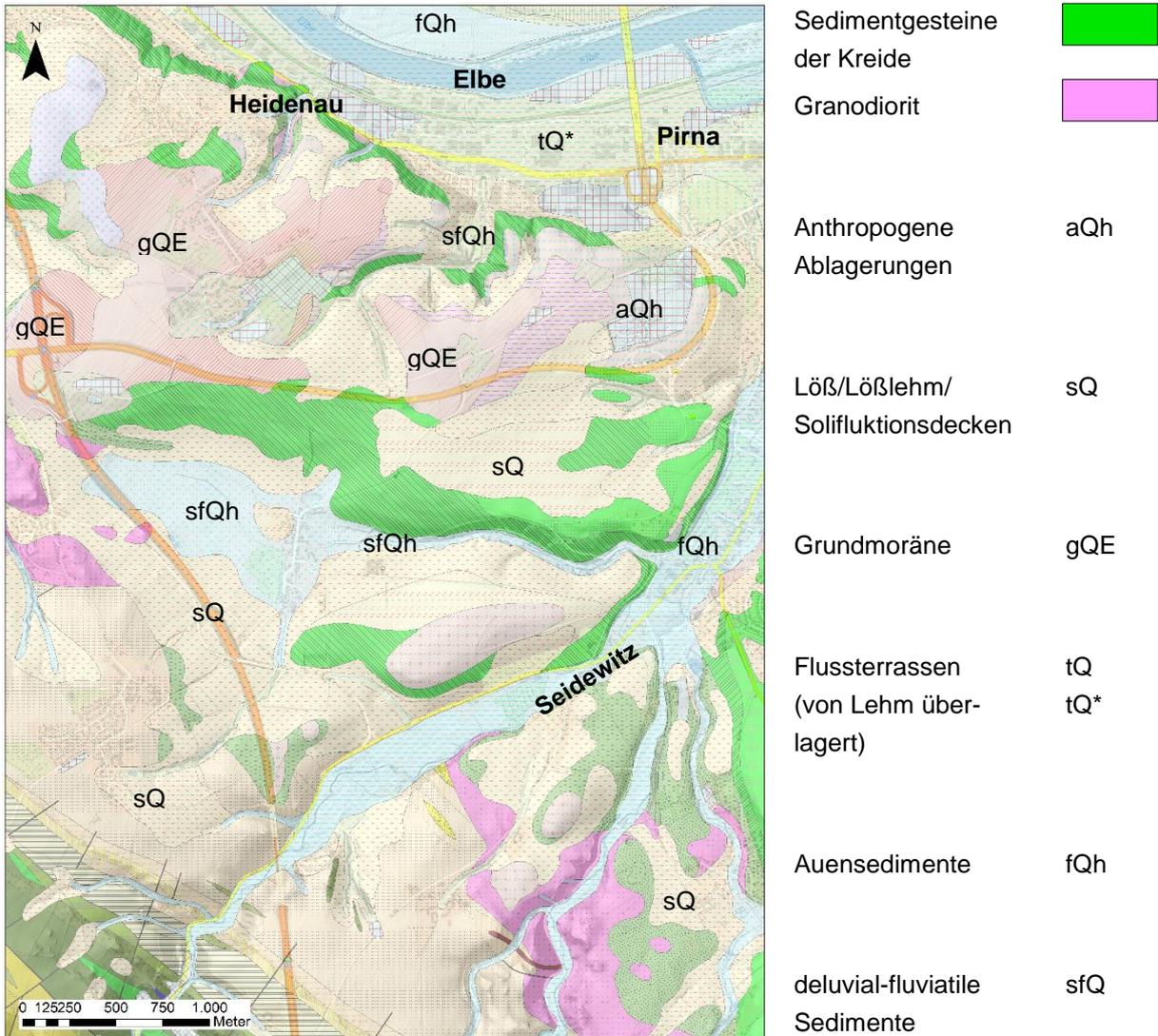


Abbildung 84: Verteilung der Lockergesteine. Die Übersichtskarte enthält vereinfachte Legendenangaben aus der grenzübergreifenden geologischen Karte auf der Grundlage der GK 25 Pirna unter Berücksichtigung einer Zuordnung zu den ingenieurgeologischen Einheiten mit Ausnahme der glazigenen Ablagerungen, die sich an der Legende der GK 25 Pirna orientieren.

11 Geologische Trassenbänder

Es wurden sechs geologische Längsschnitte entlang der Trassenverläufe Variante A-F auf Basis der geologischen Karten und Kartierungsergebnisse angefertigt. Das bestehende Profil der Variante G wurde inhaltlich überarbeitet und auf die gleiche Weise wie die anderen Schnitte neu erzeugt. Die Profilschnitte sowie deren Legende sind in Anlage 1 enthalten. Die geologischen Längsschnitte dienen zusammen mit einem jeweiligen Erläuterungstext als Anlage im Raumordnungsverfahren zur Ausweisung des Trassenkorridors. Außerdem wurden sie für das geologische 3D-Modell verwendet.

Bei der Erstellung der geologischen Längsschnitte sind folgende Unterlagen eingeflossen:

- Lagepläne der Trassenvarianten A-G (KREBS+KIEFER INGENIEURE GMBH, 2019) (Stand: 07.2019)
- Höhenpläne der Trassenvarianten A-G im horizontalen und vertikalen Maßstab 1 : 10.000 (KREBS+KIEFER INGENIEURE GMBH, 2019) (Stand: 07.2019)
- Digitales Geländemodell (DGM)
- geologische Karten: L5148 Pirna, L5348 Altenberg, grenzüberschreitende geologische Karte NBS
- geologischer Schnitt Variante DB5 (Stand: 11.2015) – jetzt Variante G
- Bohrdaten
- Strukturgeologische Daten/Kartierungsergebnisse
- Störungsverläufe aus geophysikalischen Untersuchungen
- Karte der Störungseinflussbereiche
- Karte der geotechnischen Risikobereiche
- Tabelle Bauwerke + Geologie (Anlage 14)
- Bericht zum Projekt „Kenntnisstandsanalyse zum tektonischen Bau von Sachsen“ (STANEK, 2016)

Jedes Profil enthält die folgenden Informationen:

- Länge (Startpunkt bis Landesgrenze)
- Geländeoberkante
- Trassenkilometrierung
- horizontalen und vertikalen Maßstab 1 : 10.000
- Höhenlage der Trasse
- Geologische Einheiten
- Störungen
- Regionalgeologische und geotektonische Einheiten
- Geotechnische Risikobereiche
- Geländeeinschnitte über mehrere Kilometer

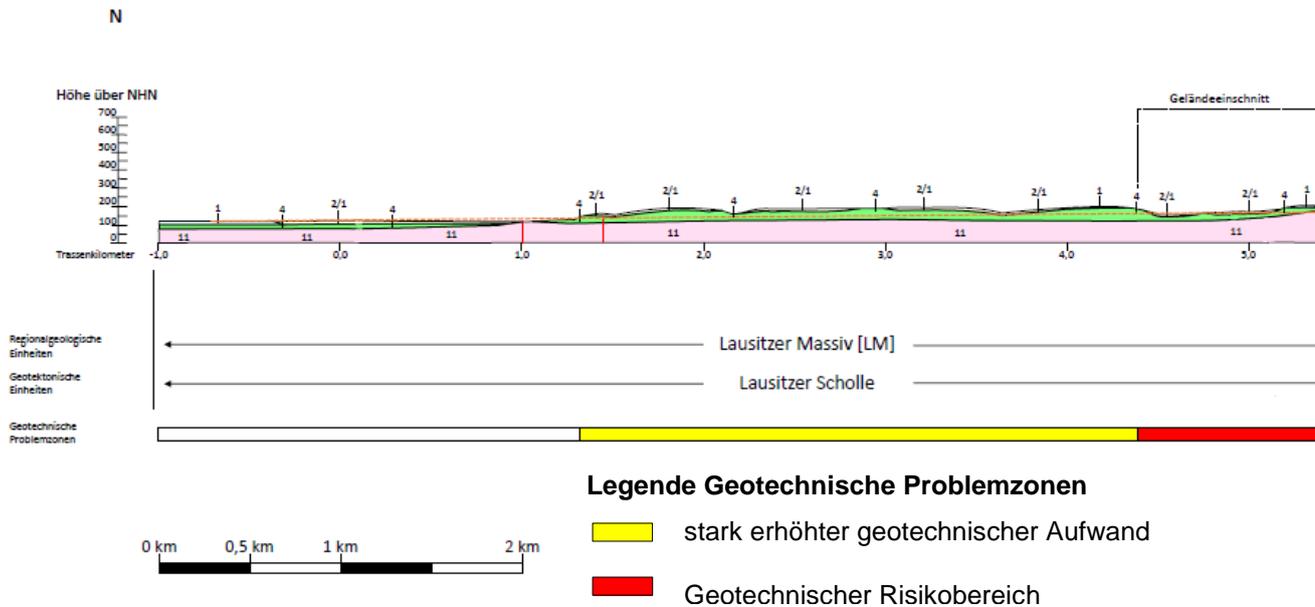


Abbildung 85: Ausschnitt des geologischen Längsschnittes Variante F.

Die geologischen Einheiten wurden mittels PowerPoint als Polygone in den Höhenplan von Krebs+Kiefer gezeichnet. Das Einfallen basiert auf strukturgeologischen Messwerten. Sind keine Daten vorhanden, wurden die Gesteinsgrenzen und Störungen vertikal eingezeichnet. Da aufgrund fehlender Bohrungsdaten keine genauen Aussagen für die Tiefe getroffen werden können, wurden die Flächen bis auf 0 m über NHN linear extrapoliert.

Die Struktur Börnersdorf und die dazugehörigen Randstörungen wurden bei allen Längsschnitten um ca. 300 m auf die Profillinie projiziert (Abbildung 86, Abbildung 87). Alle Trassenvarianten führen jedoch an der Struktur Börnersdorf vorbei.

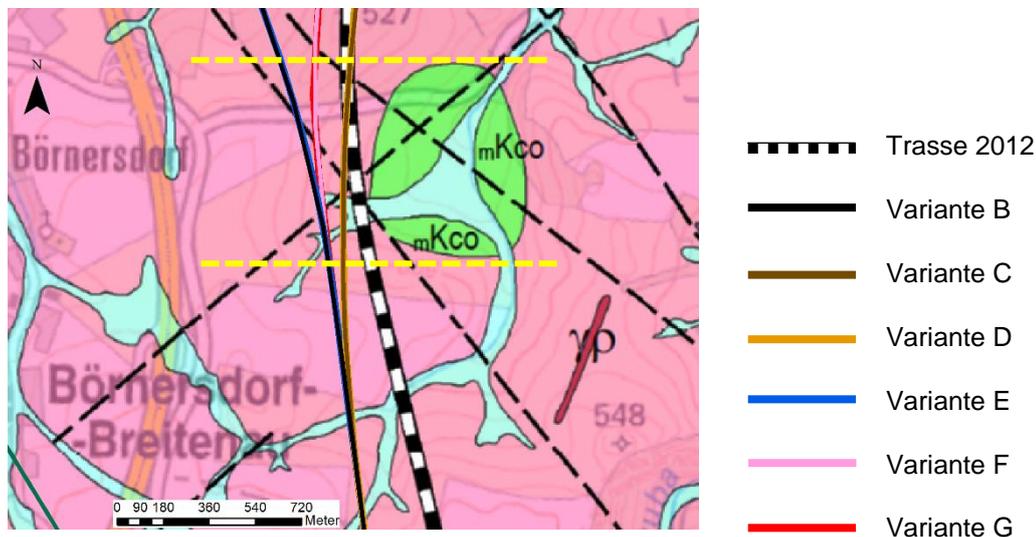
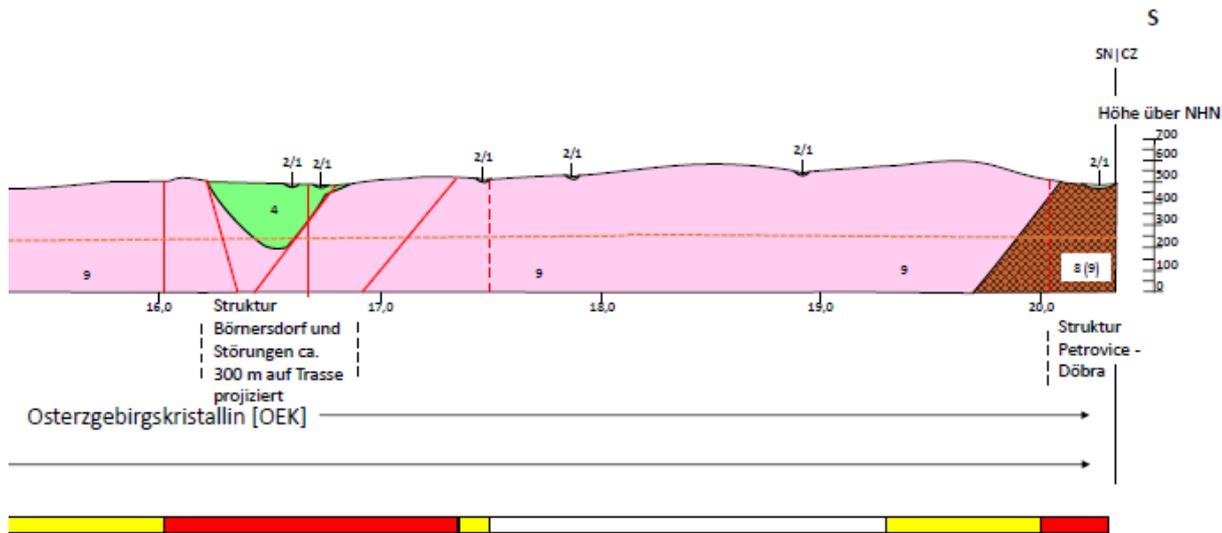


Abbildung 86: Struktur Börnersdorf. Der Bereich zwischen den gelben, gestrichelten Linien wurde auf die Trasse projiziert. Die Kartengrundlage bildet die grenzüberschreitende geologische Karte (ČECH, et al., 2017)



Legende Geotechnische Problemzonen

- stark erhöhter geotechnischer Aufwand
- Geotechnischer Risikobereich

Abbildung 87: Projektion der Struktur Börnersdorf am Beispiel der Variante F.

Die geologischen Längsprofile sind lediglich Modelle und keine detailgetreue Abbildung der geologischen Verhältnisse im Untergrund. Sie basieren auf verfügbaren Kartendaten, Messwerten an der Oberfläche und der Interpretation geophysikalischer Messmethoden. Die Werte wurden linear in die Tiefe extrapoliert. Bohrungsdaten spielen nur eine untergeordnete Rolle, da im Trassenverlauf nur wenige Bohrung mit ausreichender Tiefe vorhanden sind. Die meisten Bohrungen im Umfeld der Trassenverläufe sind nur oberflächennah. Weitere Ungenauigkeiten sind durch den Maßstab und die Randbedingungen der Software bedingt. So sind Schichtmächtigkeiten < 50 m kaum darstellbar. Linien von 1 mm Breite (z.B. Störungen) würden in der Realität 10 m entsprechen.

12 3D-Modellierung

12.1 Einleitung

Ziel des Modells ist die einheitliche Visualisierung der Geologie und Störungen unter der Oberfläche in Korrelation mit den geplanten Eisenbahnrouen.

Der größte Teil der modellierten Flächen befindet sich in den kristallinen Gesteinen des Erzgebirges, die zur saxothüringischen Einheit gehören (Abbildung 88). Das modellierte Gebiet ist in einen tschechischen und einen deutschen Teil untergliedert. Beide wurden getrennt modelliert und am Ende zusammengeführt. Auf deutscher Seite wurde das bereits bestehende 3D-Modell von 2015 erweitert. Die aktuelle Ausdehnung basiert auf den verschiedenen alternativen Routen der geplanten Hochgeschwindigkeitsstrecke, wie sie von der tschechischen und der deutschen Eisenbahnverwaltungsorganisation festgelegt wurden. Die genaue Lage und Ausdehnung des Modelliergebietes wurde nach folgenden zu erfüllenden Kriterien, entschieden:

- Die geplante Eisenbahnstrecke befindet sich ungefähr in der Mitte.
- Das Modelliergebiet deckt wichtige Teile der interessierenden Gesteinsmassive ab, einschließlich deren Kontakte mit den umgebenden Gesteinen.

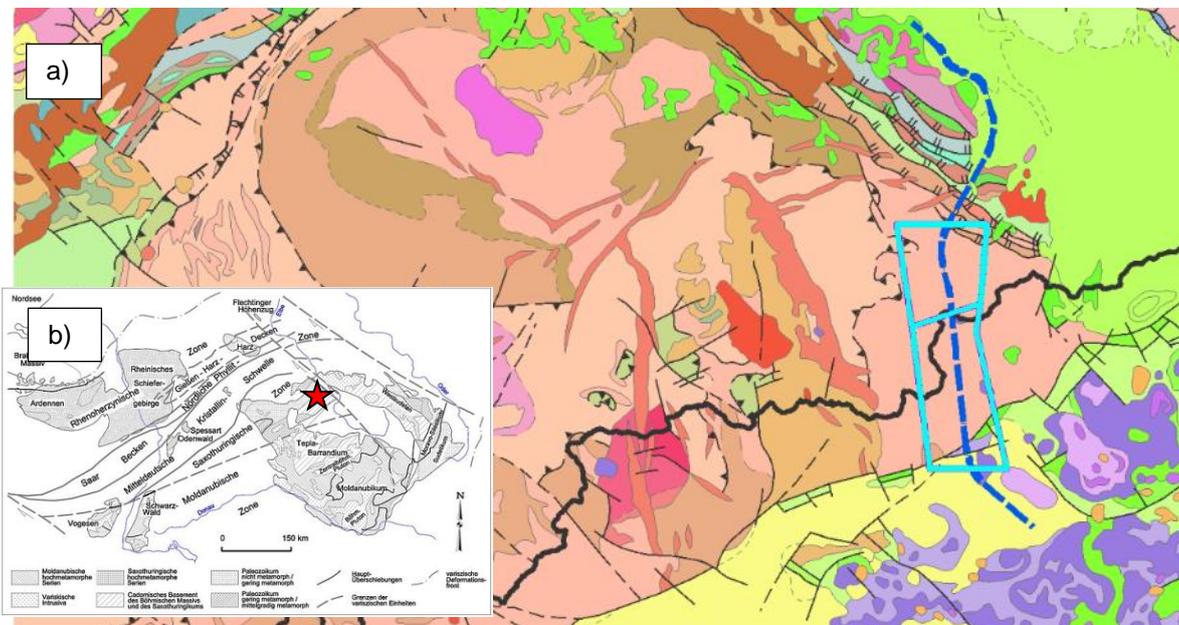


Abbildung 88: a) Lage und Ausdehnung des 3D-strukturellen - geologischen Modells (hellblau) und der entsprechenden Route der geplanten Eisenbahnstrecke (blau) auf der geologischen Karte der Tschechischen Republik 1 : 500.000 (CGS, 2007). Legende: gelb - tertiäre Sedimente, Violett - Vulkane, grün - mesozoische Sedimente, rot - magmatische Gesteine, rosa - kristalline Gesteine Osterzgebirge. b) Darstellung der Ausdehnung der saxothüringischen Einheit innerhalb Deutschlands einschließlich der Lage (roter Stern) des Modellgebiets (modifiziert nach (WALTER & DORN, 1995)).

12.2 Einheiten und Strukturen des 3D Modells

Das modellierte Gebiet besteht hauptsächlich aus variszischem kristallinem Grundgebirge, welches im südlichen Teil von kreidezeitlichen Sedimenten bedeckt ist, die wiederum von tertiären (hauptsächlich oligozänen) vulkanischen Ablagerungen und Sedimenten des Most-Beckens überlagert sind.

Das Most-Becken entwickelte sich zusammen mit anderen Becken im Krušné hory/Erzgebirge-Becken als Teil des nordöstlichen Ohře/Eger-Graben vom späten Oligozän bis zum mittleren Miozän. Die geologische Entwicklung ist detailliert beschrieben in RAJCHL, et al. (2008) und RAJCHL, et al. (2009).

Aufgrund der großen Bedeutung von Störungen für ein Tunnelbauprojekt wurden alle signifikanten Störungen, die in Archivmaterialien und/oder durch neue Felduntersuchungen aufgezeigt wurden, im geologischen 3D-Modell ausgehalten. Darüber hinaus zeigt das 3D-Modell auch Gebiete mit höheren geotechnischen Risiken auf, welche für weitere geplante Untersuchungen; die Auswahl der Bahntrasse und am Ende für den Tunnelbau, relevant sind.

12.3 Daten und Datenaufbereitung

Das Modell wurde auf Grundlage folgender Daten erstellt:

■ Standardisierte geologische Legende

Die für die Modellierung verwendete geologische Legende wurde nach Abstimmung mit tschechischen und deutschen Experten der Quartärgeologie, der Tertiärsedimentologie und der Kristallingeologie der gesamten Region erstellt. Die lithostratigraphischen Einheiten wurden zunächst in der Anfangsphase des Projekts auf der Grundlage regionaler geologischer Kenntnisse sowie petrographischer und stratigraphischer Argumente vorgeschlagen. Bei der Zusammenstellung und Neuinterpretation aller verfügbaren geowissenschaftlichen Daten stellte sich heraus, dass nicht alle vorgeschlagenen Einheiten in der gesamten modellierten Region auf Grund unzureichender Datengrundlagen eindeutig unterschieden werden können. Aus diesem Grund wurden nicht alle geplanten Einheiten in der endgültigen gemeinsamen geologischen Karte und im geologischen 3D-Modell verwendet. Insgesamt besteht das Modell aus 22 lithostratigraphischen Einheiten.

- **Einheitliche digitale geologische Karte des Bereichs des 3D-Modells (vgl. Kapitel 6)**
Zur Erstellung des geologischen 3D-Modells wurde die kompilierte digitale geologische Karte verwendet.

- **Bohrlochdaten**
Im tschechischen Teil des Modells wurden Bohrlochdaten entsprechend der Dichte der Bohrlöcher und ihrer Tiefe (> 2 m) ausgewählt. Die geologischen Profile der Bohrlöcher wurden gemäß den lithostratigraphischen Modelleinheiten mit einer Mindestmächtigkeit von 2 m neu klassifiziert. Schichten mit geringerer Mächtigkeit wurden mit einer geeigneten benachbarten Einheit zusammengeführt. Im deutschen Teil des Modells wurden Bohrlöcher entlang der neu erstellten geologischen Quer- und Längsschnitte ausgewählt und ebenfalls in die lithostratigraphischen Modelleinheiten umklassifiziert.

- **Geologische Profile**
Die vorhandenen archivierten und neu erstellten vertikalen geologischen Schnitte wurden in Form von Rasterbildern verwendet. Im deutschen Teil wurden vier archivierte und neun neu erstellte geologische Profile (vgl. Kapitel 11) zur Verbesserung des geologischen Modells genutzt. Sie wurden während der Modellierung berücksichtigt, um das Modell in Bereichen, in denen weniger Bohrlochdaten verfügbar waren, zu optimieren.

- **Archivierte geophysikalische Daten**
Zur Bestätigung und Verbesserung der Lage der Struktur Börnersdorf sowie zur besseren Bestimmung der Mächtigkeit und Orientierung der Erzgebirgs- und Petrovice–Döbra- Störungszone wurden lokale gravimetrische, geomagnetische, geoelektrische, DEMP (Dipol-Elektromagnetische Profile) und seismische Profile verwendet. Diese Daten wurden zur Korrektur des Störungsnetzwerkes in bestimmten Bereichen des 3D-Modells verwendet.

- **Neu gemessene geophysikalische Daten**
In Fällen, in denen keine geophysikalischen Profile verfügbar waren, die Störungsindikatoren jedoch genauer spezifiziert werden mussten, wurden im Rahmen dieses Projekts neue geophysikalische Arbeiten durchgeführt (Kapitel 9). Diese neuen geophysikalischen Profile wurden in Form von Rasterbildern in die Modellierungssoftware importiert. Diese Daten wurden verwendet, um die Position und die Orientierung der aufgezeigten Störungen, insbesondere der Störungszone Petrovice-Döbra, zu spezifizieren.

- **Strukturgeologische Daten**
Für das geologische 3D-Modell war es erforderlich, archivierte strukturgeologische Daten von Karten tabellarisch zu digitalisieren. Die resultierende Tabelle wurde in die 3D-Modellierungssoftware importiert. Die einzelnen Messungen wurden in Bezug auf ihre angegebene Orientierung (Fallrichtung/Fallwinkel) visualisiert und für den Bau metamorpher Gesteinsmassen verwendet. Die archivierten strukturgeologischen Daten umfassten hauptsächlich Foliationsflächen. Neue strukturgeologische Daten, die während der Feldarbeiten gewonnen wurden, wurden zur Validierung der archivierten strukturgeologischen Daten und zur Erstellung des Modells verwendet.

- **Störungsnetzwerk**
Alle Störungen wurden in Bezug auf ihre Streichrichtung gruppiert, da diese vermutlich auf einen genetischen und geometrischen Zusammenhang hinweist. Zusätzlich wurden die Störungen in Hauptstörungen (rot), untergeordnete Störungen (blau) und morphologische Lineamente (grün) unterteilt. Insgesamt wurden 34 Störungen im tschechischen Teil und 46 Störungen im sächsischen Teil des 3D-Modells modelliert. Des Weiteren wurden Störungszonen definiert, was Zonen mit einem erhöhten Auftreten von Störungen innerhalb einer geringen Distanz sind. Im Modell unterscheiden wir die Erzgebirgs-, die Petrovice–Döbra- und die Gottliebatal-Störungszonen. Diese Bereiche sind von höchster Bedeutung für das Tunnelbauprojekt. Im nördlichen Teil des modellierten Gebiets stammen die Störungsdaten aus geologischen Karten (z.B. L5148 Pirna, L5149 Freiberg), aus geophysikalischen Untersuchungen, Beobachtungen / Kartierungsergebnissen und der einheitlichen geologischen Karte des Untersuchungsgebietes.

■ Geotechnische Problemzonen

Für die Darstellung der geotechnischen Problemzonen wurden die Geometrien und Risikokategorien aus der unter Kapitel 10.2 beschriebenen Karte der geotechnischen Problemzonen übernommen und in die Tiefe extrapoliert. Für die Störungseinflussbereiche geben sie deren vermutete Ausdehnung an.

Alle oben beschriebenen Daten wurden in die 3D-Software als:

- Shapefile-Format (.shp) für Linien und Polygone,
- Geo-TIFF-Dateiformat,
- JPEG-Format für Rasterbilder (insbesondere gescannte geologische und geophysikalische vertikale Profile,
- strukturiertes TXT-Dateiformat für Bohrlochdaten (Bohrlochpositionen und -profile),
- strukturgeologische Daten (Foliationen etc.)

importiert.

12.4 Modellerte Objekte und Modellierungsmethoden

Für den 3D-Modellbau wurde vom Tschechischen Geologischen Dienst (ČGS) die Software MOVE verwendet, das LfULG verwendete GoCAD für die 3D-Modellierung. Die Modellierungssoftware MOVE (MidlandValey) nutzt hauptsächlich eine lineare Interpolationsmethode, während GoCAD (Emerson) die Methode der Discrete Smooth Interpolation (DSI) verwendet. Technisch gesehen besteht das geologische 3D-Modell aus vermaschten Netzen, d.h. TINs (Triangulated Irregular Network), die zwei Arten von geologischen Objekten darstellen - lithostratigraphische Grenzen und Störungsflächen. Die Oberseite des Modells stellt das DGM-Raster mit einer Auflösung von 15 x 15 m dar, basierend auf 5G LIDAR-Daten. Die Seiten des Modells wurden vertikal modelliert und die Basis des Modells wurde in einer Tiefe von 0 m erstellt.

Die 3D-Modellkonstruktion basierte auf der digitalen Verarbeitung und Interpretation der verfügbaren geologischen Daten, einschließlich der folgenden Elemente: geologische Karten in verschiedenen Maßstäben, interpretierte geophysikalische Karten und Profile, Bohrlochdaten, vertikale geologische Schnitte, strukturgeologische Daten zur Foliationsorientierung und Orientierung von Störungsflächen.

12.5 Modellierungsregeln

Während des gesamten Modellierungsprozesses wurde eine allgemeine geologische Regel für lithologische Grenzen angewendet: Jüngere lithostratigraphische Einheiten kreuzen ältere Einheiten. Was die Störungen anbelangt, so konnten die übergreifenden Beziehungen aufgrund der wiederholten Reaktivierung einzelner Störungspopulationen in der langen Geschichte der spröden Tektonik in diesem Gebiet – von der spätvariszischen Zeit (ca. 340 Ma) über das Mesozoikum bis zum Känozoikum – nicht angewendet werden. Das Störungsnetzwerk wurde durch Extrapolation der Kartenspur der Störung gemäß des für jede Störung angenommenen Fallwertes in die Tiefe modelliert. Das modellierte Störungsnetzwerk wurde dann als Begrenzung beim Modellieren benachbarter lithologischer Körper verwendet. Die Modellierung geologischer Körper erfolgte nach drei prinzipiell unterschiedlichen Ansätzen:

1. Tertiäre Vulkanschlote wurden als subvertikale lokalisierte zylindrische Strukturen modelliert, die alle anderen Gesteine durchdringen.
2. Kreide- und Tertiärsedimente sowie Vulkanoklasten des Mostbeckens wurden in MOVE und auch in ArcMap unter Verwendung von Tiefeninformationen aus neu interpretierten Bohrlöchern und oberflächigen Ausstrichen der entsprechenden Einheiten als subhorizontale Oberflächen modelliert.
3. Kristalline Einheiten stellen lithologisch monotone, schwach bis stark deformierte Orthogneis-Einheiten, Paragneis-Einheiten und Granit-Intrusionen dar. Die Grenzen dieser geologischen Körper wurden manuell und individuell modelliert, basierend auf einer Expertenbewertung der geologischen Position und strukturgeologischen Daten aus der Umgebung jedes Körpers. Unter Berücksichtigung dessen wurde der nördliche Teil des Modells an die Grenzen der geologischen Einheiten des 3D-Modells von 2015 angepasst.

12.6 Modellannahmen

Aufgrund unzureichend flächendeckender Datendichte mussten mehrere Annahmen getroffen werden, um den tieferen Untergrund des Modells fertigzustellen. Zuerst wurden Störungen gruppiert und jeder Gruppe ein konstanter Fallwinkel zugeordnet, basierend auf einem bekannten Fallwinkel einer Störung in der Gruppe oder durch Schätzung des Fallwinkels basierend auf einer regionalen wichtigen Störung mit derselben Fallrichtung in der Nähe des modellierten Bereichs. Wenn keine dieser Schätzungen möglich war, wurde die Störungsfläche als vertikal modelliert. Danach wurden kleine Körper aus metamorphen Gesteinen (z.B. Amphibolite) als Linsen modelliert, wobei die größte Ausdehnung an der Erdoberfläche liegt und nach unten hin kleiner wird. Die Gänge von porphyrischen Granitgesteinen wurden als vertikale Extrusion ihrer Oberflächenausdehnung bis zur Modellbasis modelliert.

12.7 Präsentation und Validierung der Modellierungsergebnisse

Das resultierende 3D-Modell ist in Abbildung 89 dargestellt, einschließlich aller für seine Konstruktion verwendeten räumlichen Daten. Das Modell des tschechischen Teils des Gebiets wurde in MOVE erstellt und anschließend mit dem Modell des deutschen Teils des in GOCAD erstellten Pilotgebiets zusammengeführt. Die resultierenden TINs werden für technische Zwecke im Zusammenhang mit der Konstruktion des Hochgeschwindigkeits-Eisenbahntunnels sowie für die Webpräsentation des Modells für ein breites Publikum verwendet. Zu diesem Zweck werden beide Arten von Objekten verwendet, die das Modell bilden – die Grenzen der lithostratigrafischen Einheiten und die Störungsflächen.

Die Validierung des Modells kann mithilfe von technischen Arbeiten wie Bohrungen, geophysikalischen Untersuchungen und Explorationen oder einer detaillierten geologischen Kartierung wesentlicher Bereiche des modellierten Projektgebiets erfolgen. Wenn die neu erfassten Daten nicht mehr in das aktuelle Modell passen, muss es angepasst werden.

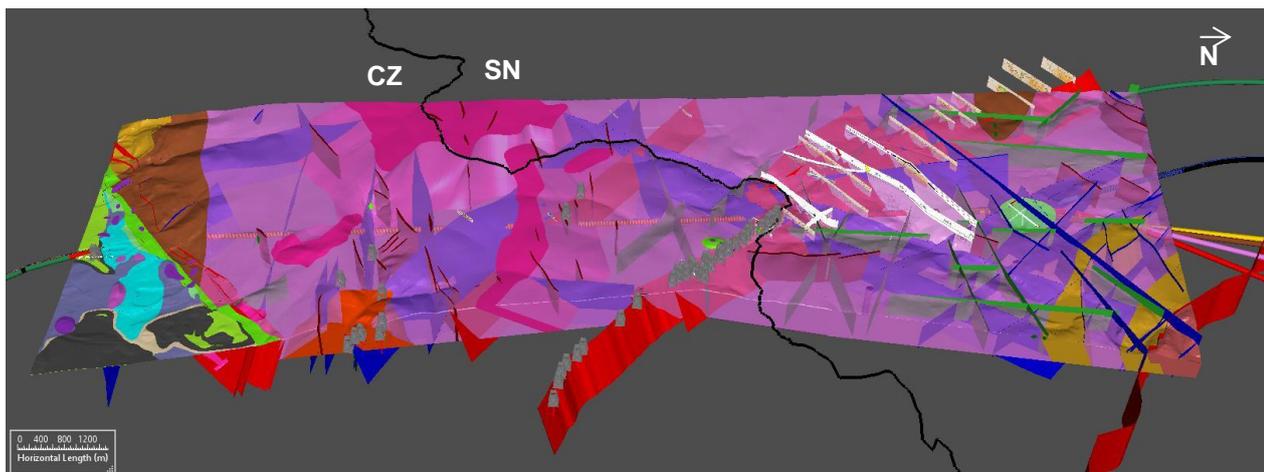


Abbildung 89: Strukturgeologisches 3D-Modell der Gesteinsumgebung in der Nähe der geplanten Erzbergstunnelvarianten (Stand 2020).

12.8 Modellunsicherheiten

Geologische 3D-Modelle werden häufig aus mehrdeutigen und unsicheren Daten erstellt, die während der Datenerfassung und -interpretation einer Fehlerfortpflanzung unterliegen. Darüber hinaus sind die Daten häufig nicht flächendeckend und heterogen vorhanden, so dass der Modellierer eine modellbasierte Interpretation für das Untersuchungsgebiet annimmt, z.B. die Annahme eines bestimmten tektonischen Regimes oder Verformungsstils. Abgesehen von kleinen Modellen der Bergbauindustrie werden diese Unsicherheiten häufig weder bewertet noch den Anwendern und Interessenträgern gezeigt, da es derzeit noch keinen standardisierten und veröffentlichten Ansatz gibt, um die Unsicherheiten für solche komplexen und groß angelegten Fälle zu quantifizieren.

Eine mögliche Visualisierung der Unsicherheiten von 3D Modellen und den darin verwendeten Daten wurde an den modellierten Störungen der Struktur Börnersdorf vollzogen, da hier eine hohe Datendichte vorhanden ist. Die Abbildung 90 links zeigt die hohe Datendichte der Struktur Börnersdorf mit ihren vermuteten Störungen (rote Flächen) und geologischen Horizonten (triangulierte Flächen) im Untergrund. Die hohe Datendichte wurde verwendet um die

Zuverlässigkeit der modellierten Störungen mittels einer kategoriellen Klassifikation darzustellen. Die Eingangsdaten wurden hierzu gewichtet und anschließend in numerische Kategorien eingeteilt. Das Endergebnis sind farbkodierte Voxel (3D Volumenkörper), die die Aussagekraft der Daten bzw. die Datenzuverlässigkeit widerspiegeln (vgl. Abbildung 90 rechts). So entsprechen rote Voxel, Daten mit einer hohen Zuverlässigkeit/Sicherheit wogegen blaue Voxel, Daten mit einer geringen Zuverlässigkeit widerspiegeln.

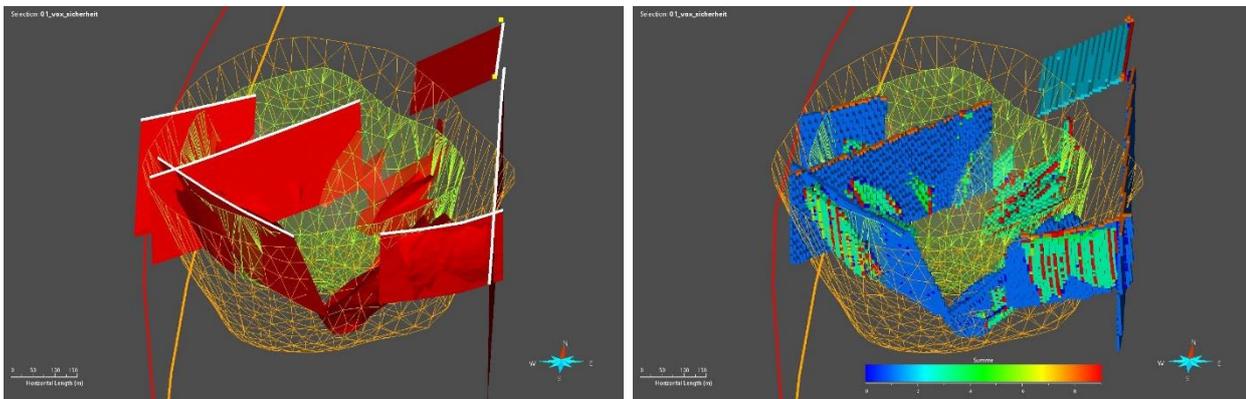


Abbildung 90: Links: Modellierte Störungen (rote Flächen) der Struktur Börnersdorf, inklusive der verwendeten Eingangsdaten (Weiße Linien: Verläufe von Störungen aus geologischen Karten, gelbe Punkte: strukturgeologische Messpunkte). Rechts: Farbcodierte Voxel-Darstellung (3D Volumenkörper) der Störungen der Struktur Börnersdorf. Farbcode spiegelt die gewichteten Eingangsdaten wieder; Rot bedeutet hohe Zuverlässigkeit/Sicherheit, Blau bedeutet geringe Zuverlässigkeit/ Sicherheit der Daten. In beiden Abbildungen sind die Trassenverläufe der Variante C (orange Linie) und G (rote Linie) dargestellt.

Im vorliegenden Fall wurden die Modellunsicherheiten durch Datenfehler, Datenmangel und der angewendeten Modellierungsmethode verursacht. Diese Datenfehler stehen im Zusammenhang mit verschiedenen Verarbeitungsmaßstäben, Projektionsfehlern und Digitalisierungsfehlern von geologischen Karten. Darüber hinaus wurden diese Karten von verschiedenen Geologen erstellt, die unterschiedliche Meinungen zur geologischen Entstehung des interessierenden Gebiets hatten.

Die Überprüfung von lithologischen Grenzen oder des Störungsnetzwerkes durch Feldbegehung bzw. Validierung durch die Ergebnisse der geplanten Erkundungsbohrungen über das gesamte modellierte Gebiet steht noch aus.

Die Ungenauigkeiten der lithologischen Modelleinheiten hängen auch mit der Ungenauigkeit des Störungsnetzwerkes zusammen. Das verwendete Störungsnetzwerk wurde als Zusammenstellung aller verfügbaren tektonischen Interpretationen und Karten erstellt. Auch hier hatten die Autoren unterschiedliche Ansichten und einen anderen Verarbeitungsmaßstab für das Störungsnetzwerk. Daher stimmen ältere strukturgeologische Karten mit aktuelleren nicht vollständig überein. Im Rahmen dieses Projekts konnten nur die Störungen der Petrovice-Döbra Zone und der Struktur Börnersdorf durch die neu realisierten geophysikalischen Profile verifiziert werden. Der Fallwinkel oder der Bewegungssinn konnte bei vielen Störungen nicht festgestellt werden.

Trotz bestehender Unsicherheiten wurden den Bohrungsdaten und der geologischen Karte die höchste Glaubwürdigkeit zugesprochen. Für das geologische 3-D-Modell werden Lageungenauigkeiten von 100 bis 150 m angenommen.

13 Ergebnisbetrachtung

Mit der internationalen Abschlusskonferenz des INTERREG Va-Projektes im Januar 2020 in Freiberg fanden die bisher von den staatlichen Geologen des LfULG im Projekt Eisenbahnneubaustrecke Dresden – Prag durchgeführten bzw. betreuten geowissenschaftlichen Untersuchungen aus unterschiedlichen Einzelprojekten ihren Abschluss. Sie sind in dieser Schriftenreihe dokumentiert.

Seit 2011 besteht eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen dem SMWA und dem LfULG bei der Unterstützung dieses Infrastrukturvorhabens von europäischer Bedeutung. Das betrifft sowohl bilaterale Aktivitäten als auch die gemeinsame Beteiligung an mehreren interdisziplinären Forschungs- und EU-Projekten sowie in Vorbereitung des Raumordnungsverfahrens.

Die Ergebnisbilanz markiert einen Meilenstein in der geowissenschaftlichen Grundlagenermittlung für das Eisenbahnprojekt auf mehreren Ebenen. Nur durch die zwischenstaatliche und interinstitutionelle Zusammenarbeit der beteiligten Akteure – geologische Dienste von Sachsen und Tschechien, Ministerien, Infrastrukturunternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen, Ingenieurbüros - sowie deren interdisziplinäres Wirken wurde es möglich, in kurzer Zeit wesentliche geologische Grundlagen zu schaffen, auf die die nachfolgenden Planungsetappen aufbauen können.

In dieser Etappe der indirekten (ohne Eingriffe in den Untergrund) Untersuchungen wurden nach intensiver methodischer Archivrecherche Schwerpunktbereiche festgelegt. Dort erfolgten vertiefte Untersuchungen, so dass durch die Kombination unterschiedlicher geophysikalischer Untersuchungsmethoden, gekoppelt mit Kartierungsarbeiten, eine abgestimmte, vereinheitlichte Darstellung der geologischen und tektonischen Situation im Grenzgebiet möglich wurde. In Auswertung der vorhandenen Daten konnte die komplexe, grenzüberschreitende Störungszone von Petrovice-Döbra näher klassifiziert und beschrieben werden. Diese bis zu 1.000 m breite Zone aus parallel verlaufenden Einzelstörungen im unmittelbaren Grenzbereich konnte als einer der zukünftigen Untersuchungsschwerpunkte ausgewiesen werden.

Das von den geologischen Diensten von Sachsen und Tschechien gemeinsam erarbeitete konzeptionelle geologische Modell, die geologische Karte des grenznahen Bereiches sowie das länderüberschreitende geologische 3D-Modell sind eine wesentliche Voraussetzung für die Visualisierung geologischer Sachverhalte und die graphische Datenhaltung.

Als Ergebnis von besonderer Bedeutung für die zukünftige Zusammenarbeit bei der Planung und Erkundung des Erzgebirgsbasistunnels ist die im Rahmen des INTERREG Va-Projektes erarbeitete Karte der geotechnischen Problem-/Risikozonen. Auf deren Grundlage konnte im laufenden Raumordnungsverfahren der Betrachtungskorridor erweitert werden und die Festlegung der ersten tiefen Erkundungsbohrungen im Rahmen der vertieften Korridor-betrachtung im Zuge der Vorplanung erfolgen.

Die bisherige geologische Grundlagenarbeit hat gezeigt, dass eine komplexe digitale graphische Datenhaltung über ein geographisches Informationssystem und ein 3D-Modell unverzichtbare Werkzeuge der Dokumentation sind, da alle Grundlagendaten und Untersuchungsergebnisse enthalten sind und fortgeschrieben werden können. Damit wurde die Basis für ein zukünftiges digitales transparentes Datenmanagement in den weiteren Planungsstufen gelegt.

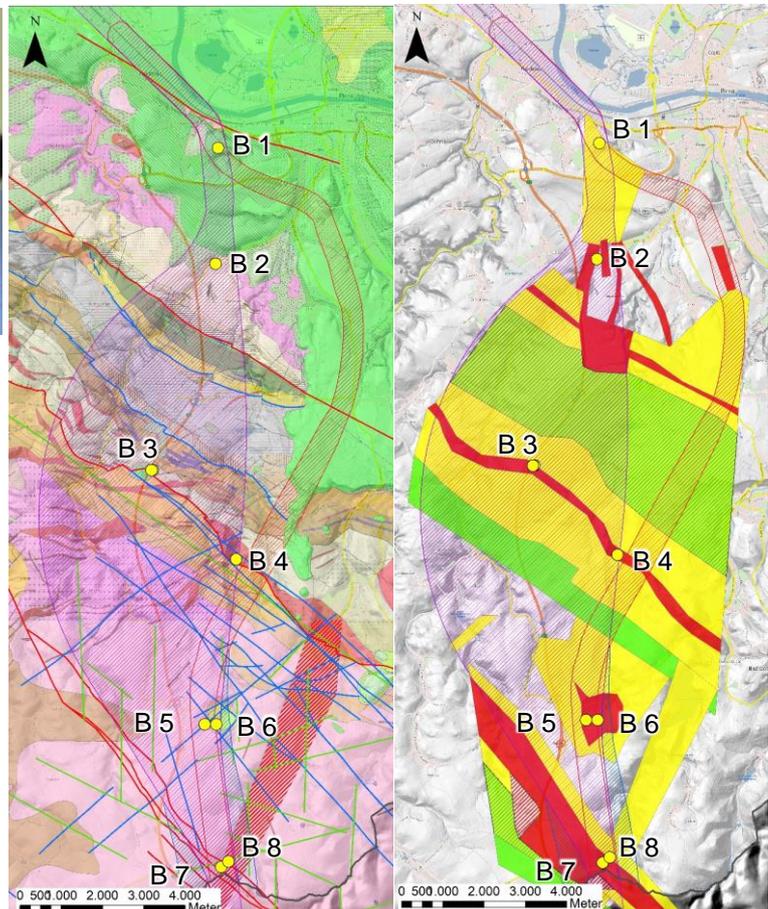
13.1 Nutzen der Arbeit des Geologischen Dienstes Sachsen für die aktuellen Planungen

Bereitstellung der geologischen Unterlagen aus dem INTERREG Va-Projekt für den aktuellen Planungsprozess (Raumordnungsverfahren, Unterlage Teil D)

Konsultation der Vorhabensträgerin Deutsche Bahn AG, die im Auftrag des Bundes das Infrastrukturobjekt plant, bei der Erkundungsplanung im Rahmen der Grundlagenermittlung → Nutzung des geologischen 3D-Modells, z.B. für die Planung der Bohransatzpunkte (Abbildung 91)



Foto: LfULG, Lisa Thiele



- Abbildung 91: Links: 3D-Workshop für die DB AG und Planungsbüros. Mitte: Geologische Karte mit Bohransatzpunkten. Rechts: Karte der geotechnischen Problemzonen mit Bohransatzpunkten.
- Graphisches Datenmanagement mittels GIS und dadurch permanente Verfügbarkeit wichtiger geologischer Grundlagen
- Mit der Präzisierung des bestehenden 3D-Modells im Trassenbereich wird ein Beitrag zur besseren digitalen Verfügbarkeit raumbezogener geologischer Daten in Sachsen geleistet
- Ampelkarte zu den geotechnischen Risikozonen, auf deren Grundlage weitere Untersuchungen geplant werden können
- Interdisziplinäre Vernetzung mit universitären Einrichtungen und Fachleuten für die Initiierung und Betreuung von planungsbegleitenden Forschungen aufgrund der diesbezüglichen Erfahrungen und Erfolge aus dem INTERREG-Projekt
- Durchführung von geologischen Exkursionen mit den Projektpartnern und der Deutschen Bahn zur Sensibilisierung für die geologischen Besonderheiten im Untersuchungsraum (Abbildung 92)



Foto: ČGS

Abbildung 92: Ehemalige Eisenbahnstrecke Lovosice - Teplice. Abschlussexkursion mit allen Projektpartnern 10/2019.

- Organisation von Fachveranstaltungen für einen Wissenstransfer auch zu anderen staatlichen Behörden (z. B. LTV für Ausweisung Trinkwasserschutzzone (TWSZ)), Geowissenschaftliche Kolloquium zu den Projektergebnissen mit Podiumsdiskussion)
- Öffentlichkeitsarbeit durch Vorträge auf nationalen und internationalen geowissenschaftlichen Fachveranstaltungen sowie die Gestaltung von Postern und Roll-ups und die Veröffentlichung von Berichten und Dokumentationen im Internet (Abbildung 93)



Foto: LfULG, Burkhard Lehmann

Abbildung 93: Abschlusskonferenz des INTERREG Va-Projektes in Freiberg 01/2020.

13.2 Ausblick

Mit Vorlage der Raumordnerischen Beurteilung, die Ergebnis des Raumordnungsverfahrens ist (<https://www.nbs.sachsen.de/15084.html>), sind die Weichen für die vertiefenden Untersuchungen im Rahmen der Vorplanung gestellt. Es werden zwei Korridore im Rahmen der geologischen Grundlagenermittlung untersucht, innerhalb derer eine Vorzugsvariante zu ermitteln ist. Die guten Erfahrungen der bisherigen intensiven Zusammenarbeit zwischen DB Netz AG und dem LfULG werden durch den Abschluss einer Absichtserklärung zur Zusammenarbeit unterstrichen.

Auch mit dem Europäischen Verbund für Territoriale Zusammenarbeit besteht seit April 2020 eine Kooperationsvereinbarung. Hauptschwerpunkt der weiteren Zusammenarbeit wird die Öffentlichkeitsarbeit und die geologische Fachbegleitung sein. Dazu sind auch weitere themenbezogene Forschungsaktivitäten mit universitären Einrichtungen geplant, wie bspw. der TU BAF, die bisher an vielen geophysikalischen und geotechnischen Untersuchungen im Umfeld der Struktur Börnersdorf beteiligt war. Es soll auch an den guten Erfahrungen bei der Vergabe von praxisbezogenen Themen für wissenschaftliche studentische Abschlussarbeiten festgehalten werden, die einen großen Nutzen für das INTERREG Va-Projekt hatten.

Die Realisierung der ersten Erkundungsbohrungen zur Ermittlung der geotechnischen, petrophysikalischen, hydrochemischen und hydraulischen Gegebenheiten des Untergrundes innerhalb der Trassenkorridore soll im Sommer 2021 abgeschlossen sein. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Charakterisierung diverser Störungszonen, welche als potentielle Risikobereiche der Bahntrasse gelten. Darunter zählen u.a. die Mittelsächsische Störung, die Struktur Börnersdorf und die Struktur Petrovice-Döbra.

Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen wird durch das LfULG empfohlen, die Zusammenarbeit mit dem tschechischen geologischen Dienst fortzusetzen. Dafür wurden Empfehlungen für weiterführende Arbeiten und Untersuchungen zusammengestellt

- Fortschreibung des GIS-Projektes und des geologischen 3D-Modells.
- Die permanente Verfügbarkeit und Laufendhaltung wichtiger geologischer Grundlagen ist notwendig für den laufenden Planungsprozess. Des Weiteren sollte die Überführung sämtlicher Geo-Daten ins Geoarchiv gewährleistet werden.
- Ausarbeitung eines einheitlichen grenzüberschreitenden Dokumentationsschlüssels zur Aufnahme von Aufschlüssen und Bohrungen.
- Dadurch kann eine kontinuierliche, widerspruchsfreie und vollständige Dokumentation von Geodaten für alle Planungsetappen auch bei Bearbeiterwechsel sichergestellt werden.
- Rasterbasierte Untersuchung und Bewertung der geotechnischen Kennwerte (Abrasivität, Trennflächengefüge, Gebirgsfestigkeit, Vortriebsrate, Durchlässigkeit, etc.) im Trassenkorridor (nach dem Vorbild des Koralmtunnels).
- Konzeptionelle Vorbereitung der 1D, 2D und 3D Geodaten auf die BIM-Fähigkeit (BIM = Building Information Modeling) für eine Übernahme in ein zukünftiges körperbasiertes geomechanisches Kennwertmodell
- Initiierung und Betreuung von Forschungsvorhaben für spezielle geowissenschaftliche Fragestellungen in geologischen/geotechnischen Problembereichen (z. B. interdisziplinäre, integrierte Detailerkundung im Elbtalschiefergebirge mit unterschiedlichen Erkundungsmethoden)
- Bohrkerndokumentation und Bohrlochgeophysik an den bereits geplanten sowie an weiteren notwendigen Erkundungsbohrungen
- Detailerkundung im Gottliebatal (strukturgeologische Kartierung, geophysikalische Erkundung)
- Fortlaufende grenzüberschreitende Erkundung der Petrovice-Döbra Zone zur Validierung der Einzelstörungen (Schurf, Erkundungsstollen, Kartierung)
- Gasochemische Untersuchungen an ausgewählten Bereichen, z.B. im Umfeld des Špičák
- Intensive Öffentlichkeitsarbeit in Zusammenarbeit mit dem EVTZ und der DB AG

14 Literaturverzeichnis

- ALEXOWSKY, W., WOLF, L. T. K., VOIGT, T. & KURZE, M., 1996. Geologische Karte des Freistaates Sachsen 1 : 25 000 Blatt 5049 Pirna. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- BANKWITZ, P., 1968. Stellungnahme zu rezenten horizontalen Krustenbewegungen und zur Geologie in einem Abschnitt der Elbelinie, s.l.:
https://www.researchgate.net/profile/Peter_Bankwitz2/publication/267511533_Stellungnahme_zu_rezenten_horizontalen_Krustenbewegungen_und_zur_Geologie_in_einem_Abschnitt_der_Elbelinie/links/54518c760cf285a067c68e32.pdf, 25.06.2019.
- BAUER, M. & HENNING, H., 2018. Geophysikalische Untersuchungen Schienenneubaustrecke Dresden-Prag Basistunnel Projekt (NBS)/ INTERREG Va Reflexions- und Refraktionsseismik, Leipzig: Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, unveröffentlichter Abschlussbericht.
- BERATUNGSPROTOKOLL, 2019. Besprechung und Wissensaustausch über ausgewählte Störungssysteme im Untersuchungsbereich NBS – Talsperre Gottleuba. Freiberg: s.n.
- BERGMÜLLER, F., 1978. Geoelektrik Gutachten Schlottwitz. Teil Döbra-Ölsengrund, Leipzig: VEB Geophysik.
- BUSKE, S. & BÜTTNER, C., 2019. Geophysikalische Untersuchungen im Umfeld der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge in Bezug auf den Trassenverlauf NBS Dresden – Prag, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichter Abschlussbericht.
- BUSKE, S. et al., 2014. Geophysikalische Untersuchungen an der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichter Forschungsbericht.
- BUSKE, S., KÄPPLER, R. & SONNABEND, L., 2017. Geophysikalische Untersuchungen im Umfeld der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge in Bezug auf den Trassenverlauf NBS Dresden – Prag, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichter Forschungsbericht.
- BUSKE, S., SEUPEL, C. & KRAMER, R., 2018. Geophysikalische Untersuchungen im Umfeld der Struktur Börnersdorf/Osterzgebirge in Bezug auf den Trassenverlauf NBS Dresden – Prag, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichter Forschungsbericht.
- ČECH, S. et al., 2017. Grenzüberschreitende Geologische Spezialkarte des Korridors der Hochgeschwindigkeitsschienenneubaustrecke, Bau-km 17-32, s.l.: Česká geologická služba (CGS) & Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- CGS, 2007. Geologische Karte der Tschechischen Republik 1:500.000, s.l.: s.n.
- GAMBKE, T., 2015. Recherche zu geomechanischen Kennwerten für die im Trassenverlauf der Neubaustrecke Dresden-Prag zu erwartenden Gesteine, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichte Studienarbeit.
- GeoDZ.com, 2020. [Online] Available at: <http://www.geodz.com/>
- HEITFELD, K.-H., 1985. Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W., 2013. Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, Berlin: Springer Spektrum. ISBN 978-3-8274-2353-5.
- HORNA, F. et al., 2015. Is the structure of Börnersdorf a maar-diatreme volcano? , Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, In: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (German Journal of Geology), 166 (2), S. 149-160. DOI: 10.1127/zdgg/2015/0019.
- HORNA, F. et al., 2011. Die Mergel von Börnersdorf (Osterzgebirge) – Stratigraphie, Tektonik und Geophysik eines verdeckten Oberkreiderelikt, Freiberg: Freiburger Forschungshefte C 540. S. 65-78.
- JENSEN, D., 2013. Grundlagen der Ionenchromatographie – Modernste Trenntechnik, s.l.: Thermo Fisher Scientific Inc. ISBN 978-3-00-044477-7.
- KÄSLING, H. & PLINNINGER, R. J., 2016. Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch, s.l.: Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V., In: Bautechnik, 93 (6), S. 409-415. DOI: 10.1002/bate.201600029.
- KÄSLING, H. & THURO, K., 2010. Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung, s.l.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik – Vorträge/ 31, S. 233-240.

- KLAMERTH, N., 2017. Vorlesungsskript Hydrogeochemie, Probennahme, Wasseranalytik II., Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlicht.
- KLENGEL, J. & WAGENBRETH, O., 1989. Ingenieurgeologie für Bauingenieure. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.
- KÖHLER, J., 2019. Erstellung eines Hydrogeologischen Modells im Umfeld des Trassenkorridors des Erzgebirgsbasistunnels der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg.
- KREBS+KIEFER INGENIEURE GMBH, 2019. Planunterlagen zur Neubaustrecke Dresden-Prag (Juli 2019 - Trassierungspläne, Höhenpläne, Querschnitte). Dresden: s.n.
- KRENTZ, O., E.A., K. & FRIEBE, A., 2008. Digitale Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland 1:50.000, Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- KRENTZ, O. et al., 2015. Geophysik und 3D-Modellierung im Osterzgebirge. Voruntersuchungen zur Neubaustrecke Dresden-Prag., Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- KRONER, U. & GÖRZ, I., 2010. Variscan assembling of the Allochthonous Domain of the Saxo-Thuringia - a tectonic model. In: U. Linnemann & R. Romer, Hrsg. Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia : from the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen . Stuttgart: Schweizerbart, pp. 271-286.
- KRONER, U. & MÜLLER, F., 2018. Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen (ARTUS) - Teil 1: Nachweis und Analyse ausgewählter tektonischer Bruchstrukturen im Granulitgebirge und ihre potentielle neotektonische Gefährdung, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Zwischenbericht.
- KRONER, U. & ROMER, R., 2010. The Saxo-Thuringian Zone - tip of the Armorican Spur and part of the Gondwana plate. In: U. Linnemann & R. Romer, Hrsg. Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia : from the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen . Stuttgart: Schweizerbart, pp. 371-394.
- KRONER, U. & ROMER, R., 2013. Two plates - Many subduction zones. The Variscan orogeny reconsidered. *Gondwana Research*, 24(1), pp. 296-329.
- KRONER, U., ROMER, R. & LINNEMANN, U., 2010. The Saxothuringian-Zone of the Variscan Orogen as part of Pangea. In: U. Linnemann & R. Romer, Hrsg. Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia : from the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen . Stuttgart: Schweizerbart, pp. 3-16.
- KUSCHKA, E., 1994. Zur Mineralisation und Minerogenie der hydrothermalen Mineralgänge des Vogtlandes, Erzgebirges und Granulitgebirges, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlichte Dissertation.
- KUSCHKA, E. & HAHN, W., 1996. Flußspatlagerstätten des SW-Vogtlandes: Schönbrunn, Bösenbrunn, Wiedersberg, Radebeul; Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Sächsisches Oberbergamt.
- LINNEMANN, U. & ROMER, R. Hrsg., 2010. Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia : from the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen. Stuttgart: Schweizerbart.
- LORENZ, W. & GWOSDZ, W., 2003. Handbuch zur geologisch-technischen Bewertung von mineralischen Baurohstoffen. Hannover: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).
- LTV, 2019. Daten, Pegel „Gottleuba, Zufluss Vorsperre Gottleuba“, Zufluss & Chemie., Pirna: unveröffentlicht.
- MIBUS, H.-P., 1991. Wassergewinnung aus der Sächs. Schweiz - Durchführbarkeitsstudie, Teil Hydrogeologie, Niederlassung Dresden: G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, unveröffentlicher Bericht.
- ÖGG, 2017. Leitfaden für die Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik.
- PESCHEL, A., 1983. Natursteine. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- PETERS, N., 2019. Untersuchung des Zusammenhangs zwischen oberflächigen Wasseraustritten und Störungszonen im Bereich Breitenau im Zuge der Neubaustrecke Dresden-Prag, Berlin: TU Berlin, unveröffentlichte Bachelorarbeit.
- PIETZSCH, K., 1919. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Sachsen im Maßstab 1:25.000, Nr. 102 Blatt Berggießhübel, Leipzig: s.n.
- PRINZ, H. & STRAUß, R., 2018. Ingenieurgeologie. 6. Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

- RAJCHL, M., ULIČNÝ, D., GRYGAR, R. & MACH, K., 2009. Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben Central Europe, s.l.: In: Basin Research 21, S. 269-294. DOI: 10.1111/j.1365-2117.2008.00393.x.
- RAJCHL, M., ULIČNÝ, D. & MACH, K., 2008. Interplay between tectonics and compaction in a rift-margin, lacustrine delta system: Miocene of the Eger Graben, Czech Republic: In: Sedimentology 55, S. 1419–1447. DOI 10.1111/j.1365-3091.2008.00951.x.
- RAUCHE, H., 1992. Spätvariszische Spannungs-und Verformungsgeschichte der Gesteine am Südwestrand der Elbezone (östliches Saxothuringikum, Varisziden), s.l.: Dissertation Universität Bochum, 65 S.
- RICHTER, W. & LILLICH, W., 1975. Abriß der Hydrogeologie, Stuttgart: Schweizerbart. ISBN 978-3-510-65063-7.
- SEBASTIAN, U., 2013. Die Geologie des Erzgebirges. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- SIEMEGAP, F., SCHRÖDER, C. A. & AGAFONOVA, T., 2018. Interdisziplinäres geotechnologisches Projekt, Berlin: TU Berlin, unveröffentlichter Bericht.
- SMWA, 2008. Neubewertung von Spat- und Erzvorkommen im Freistaat Sachsen - Steckbriefkatalog, Freiberg: s.n.
- SMWA, 2020. [Online]
Available at: <http://nbs.sachsen.de/index.html>
[Zugriff am 23 März 2020].
- STANEK, K., 2016. Kenntnisstandanalyse zum tektonischen Bau von Sachsen, Freiberg: unveröffentlichter Forschungsbericht.
- SUHR, P., GOTH, K., LORENZ, V. & SUHR, S., 2006. Long lasting subsidence and deformation in and above maar-diatreme volcanoes – a never ending story, Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, In: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 157/3, S. 491-511. DOI: 10.1127/1860-1804/2006/0157-0491.
- THIELE, L., 2019. Anisotropie der Abrasivität und Petrographie von Gneisen im Umfeld des geplanten Erzgebirgsbasistunnels der Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden – Prag, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg.
- TRÖGER, K.-A., 1997. Mesozoikum. In: LfUG, Hrsg. Erläuterungen zu Blatt 5049 Pirna. Freiberg: s.n., pp. 27-44. TU BERGAKADEMIE FREIBERG, Stand 2019. [Online]
Available at: <https://tu-freiberg.de/fakult3/gt/feme/labor/la-weit.html#Institut%20f%C3%BCr%20Geotechnik>.
[Zugriff am 12.02.2019].
- WALTER, R. & DORN, P., 1995. Geologie von Mitteleuropa. 6 Hrsg. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- WEBER, S. & Thiele, L., 2020. Internes Schreiben zum Projekt "Neubaustrecke Dresden-Prag", Freiberg: s.n.
- WILKE, W., 1997. Hydrogeologische Verhältnisse. In: LfUG, Hrsg. Erläuterungen zu Blatt 5049 Pirna. Freiberg: s.n., pp. 91-94.

Anlagenband (gesonderte Ausgabe)

Anlage 1	Geologische Längsschnitte
Anlage 1.1	Komplexlegende
Anlage 1.2	Geologischer Schnitt Variante A
Anlage 1.3	Geologischer Schnitt Variante B
Anlage 1.4	Geologischer Schnitt Variante C
Anlage 1.5	Geologischer Schnitt Variante D
Anlage 1.6	Geologischer Schnitt Variante E
Anlage 1.7	Geologischer Schnitt Variante F
Anlage 1.8	Geologischer Schnitt Variante G
Anlage 1.9	Erläuterungen der geologischen Schnitte
Anlage 2	Legende der grenzüberschreitenden geologischen Karte
Anlage 3	Störungskataster
Anlage 4	Übersichtstabelle der Literaturrecherche
Anlage 5	grenzüberschreitende geologische Karte
Anlage 6	Kartierungsprotokolle
Anlage 7	Ergebnisse der Kartierungsarbeiten
Anlage 8	Bericht des ČGS für den LEADpartner (Tschechisch)
Anlage 9	Messergebnisse Hydrogeologie/-chemie
Anlage 10	Ergebnisse der Messprofile des ČGS (Englisch)
Anlage 11	Messergebnisse Cerchar-Abrasivitätsindex
Anlage 12	Ingenieurgeologische Charakteristik in Tschechien
Anlage 13	Kennwertdaten Festgestein
Anlage 14	Übersicht der Bauwerke, Geologie und Risikozonen

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.lfulg.sachsen.de

Autoren:

Lisa Thiele, Sabine Kulikov, Gabriel Unger, Dr. Ottomar Krentz, Lutz Sonnabend,
Johannes Köhler, Elisabeth Seidel
LfULG, Abteilung Geologie
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
E-Mail: lisa.thiele@smul.sachsen.de; sabine.kulikov@smul.sachsen.de;
gabriel.unger@smul.sachsen.de
Petr Kycl, Vladislav Rapprich, Jan Franěk
Czech Geological Survey
Klárov 131/3, 118 21 Praha 1
E-Mail: petr.kycl@geology.cz

Redaktion:

Lisa Thiele, Sabine Kulikov, Gabriel Unger, Dr. Ines Görz
LfULG, Abteilung Geologie
Referat Ingenieurgeologie
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
Telefon: + 49 3731 294-1310
Telefax: + 49 3731 294-1099
E-Mail: lisa.thiele@smul.sachsen.de; sabine.kulikov@smul.sachsen.de

Abbildungen:

Titelbild: L. Thiele
Topografie (Abb. 18, 27, 30, 33, 34, 37, 76, 77, 91): GeoSN
(Abb. 7, 8, 11, 12, 16, 19, 36, 43, 78, 79, 84): OpenStreetMap
(Abb. 22): ČÚZK
Luftbilder (Abb. 9, 26, 51, 55, 60, 63, 70): GeoSN
(Abb. 9, 51, 55, 70): ČÚZK
Reliefdarstellungen (Abb. 2, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 18, 22, 27, 30, 33, 34, 36, 37, 43, 76,
77, 79, 84, 91): Daten: GeoSN & CENIA, Bearbeitung: LfULG
Geolog. Karten (Abb. 2, 11, 12, 14, 18, 19, 27, 76, 84, 91): (KRENTZ, et al.,
2008)
(Abb. 14, 16, 27, 30, 33, 34, 91): (ČECH, et al., 2017)

Redaktionsschluss:

28.08.2020

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

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

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de