

Bruchstrukturen im Sächsi- schen Granulitgebirge

Schriftenreihe, Heft 13/2022



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

M.Sc. Franz Müller, Dr. Uwe Kroner, Dr. Stefan Buske, Dr. Felix Hlousek
(alle Technische Universität Bergakademie Freiberg)

im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhalt	
Einleitung	7
1 Kennnisstand	9
1.1 Geologischer Rahmen.....	9
1.2 Zusammenfassung bruchtektonisch relevanter Datensätze.....	10
2 Erfassung des tektonischen Inventars	11
2.1 Bruchflächenkartierung.....	12
2.1.1 Zschopautal.....	12
2.1.2 Chemnitztal	15
2.1.3 Striegistal	18
2.2 Seismisches Experiment – Erlau	20
2.2.1 Durchführung des seismischen Experiments.....	21
2.2.2 Geometrie.....	21
2.2.3 Datenbearbeitung/Auswertung	22
2.2.4 Interpretation	27
3 Bruchtektonische Karte des Sächsischen Granulitgebirges	28
3.1 Erläuterungen zur Bruchtektonischen Karte.....	29
4 Petrophysikalische Charakterisierung	32
4.1 Durchführung.....	32
4.2 Resultate	33
5 Mikrostrukturelle Untersuchungen	36
6 Katalog-Bruchstrukturen	39
6.1 Granulitinterne Brüche.....	39
6.2 Granulitexterne Brüche.....	40
7 Schlussfolgerungen	42
Literaturverzeichnis	43
Anlagen	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geologische Übersichtskarte von Sachsen (GK1000 – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).....	8
Abbildung 2: Überblick des sächsischen Granulitgebirges. Dargestellt sind die Gebiete der beiden Detailkartierungen sowie die Aufschlusspunkte der Übersichtskartierung.....	11
Abbildung 3: Skizze – Ehemalige Scherflächen wurden spröd reaktiviert und mit Qz mineralisiert.	12
Abbildung 4: Geologische Karte zur Kartierung des Zschopautals bei Waldheim.	13
Abbildung 5: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Mittweida: Klüfte und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Kluffrose.....	14
Abbildung 6: Eine der ausgeprägten NW-SE orientierten Flächenscharen in der Nähe des Steinbruchs Diethensdorf.....	15
Abbildung 7: Geologische Karte zur Kartierung des Chemnitztals im Granulitgebirge.	16
Abbildung 8: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Diethensdorf: Foliation, Gänge und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Kluffrose.....	17
Abbildung 9: Plots von Strukturdaten der Granulite des Etzdorfer Steinbruchs.....	18
Abbildung 10: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Berbersdorf: Klüfte und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Kluffrose.....	19
Abbildung 11: Position des vereinbarten seismischen Profils in der Geologischen Karte und im Satellitenbild.....	20
Abbildung 12: Vibroseis-Fahrzeug mit abgesenkter Bodenplatte / Ansicht Empfängeraufbau.	21
Abbildung 13: Lage der Quell- und Empfängerpunkte im geographischen und lokalen Koordinatensystem.	22
Abbildung 14: Beispiel einer Seismogrammsektion.	23
Abbildung 15: Vergleich der Rohdaten und der prozessierten Daten.....	23
Abbildung 16: Ersteinsatzpicks für eine exemplarische Seismogrammsektion, Picks des gesamten Datensatzes als Funktion des Quell-Empfänger-Abstandes und Inversionsergebnis	24
Abbildung 17: Ergebnis der Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration als Betragsstapelung sowie phasengetreue Stapelung.....	25
Abbildung 18: 3D Ergebnis der Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration als Betragsstapelung; eine Tiefenscheibe und rechts ein Schnitt senkrecht zum Streichen des Reflektors.	25
Abbildung 19: Tiefenscheibe durch das migrierte Volumen, erzeugt für eine auf 50m reduzierte Apertur der Daten.	26
Abbildung 20: Schnitt durch das migrierte Volumen, erzeugt für eine auf 50m reduzierte Apertur der Daten.....	26
Abbildung 21: Bruchtektonische Karte des Sächsischen Granulitgebirges	28
Abbildung 22: Links: Skizze zur Orientierung der Probenzylinder für die petrophysikalischen Untersuchungen.....	33
Abbildung 23: Gesteinsdichte gegen die P-Wellengeschwindigkeit im trockenen Probenzustand für alle gemessenen Gesteinszylinder	34
Abbildung 24: Ergebnisse der Petrophysik.....	35
Abbildung 25: Dünnschliffaufnahmen ausgewählter Bruchstrukturen verschiedener Granulite.....	36
Abbildung 26: Quarz-Texturmessungen – geografisch orientiert und Flächenpole von Klüften.....	38
Abbildung 27: Vergleich des Rosendiagramms aller geomorphologischer Features.....	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Felder der Attributtabelle des Störungs-Linien-Shapefiles. Mögliche Feldeinträge in Beispielen dargestellt.	31
Tabelle 2: Proben für die petrophysikalischen Untersuchungen.	32

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
DGM	Digitales Geländemodell
E	Ost
EBSD	electron backscatter diffraction
GK	Geologische Karte
GÜK	Geologische Übersichtskarte
LfULG	Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie
N	Nord
o.ä.	oder ähnlich
S	Süd
SGM	Sächsisches Granulitmassiv
SHRIMP	Sensitive High Resolution Ion Microprobe
SPO	shape preferred orientation
TUBAF	Technische Universität Bergakademie Freiberg
tw.	teilweise
U-Pb	Uran-Blei (Datierungsmethode)
v.l.n.r.	von links nach rechts
W	West

Einleitung

Die Zunahme untergrundbezogener Bauvorhaben für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten stellt hohe Anforderungen an die Beschreibung von tektonischen Störungszonen im geologischen Untergrund um Aussagen zur Wasserführung und ingenieurgeologischen Standsicherheit ableiten zu können. Das Territorium des Freistaates Sachsen ist sowohl in der Übersicht als auch in speziellen Bereichen tektonisch gut untersucht. Allerdings liegen noch erhebliche Defizite in der bruchtektonischen Einschätzung des sogenannten Sächsischen Granulitgebirges (Sächsisches Granulitmassiv) vor. Im Jahr 2013 wurden im Rahmen des Projekts „Junge tektonische Entwicklung in Kristallingebieten Sachsens“ erste Hinweise auf junge tektonische Bewegungen aus geomorphologischen Daten abgeleitet. Ziel dieses Vorhabens ist es anhand ausgewählter Bruchstrukturen Kriterien zu erarbeiten, um eine Neubewertung des tektonischen Strukturinventars des Granulitgebirges durchführen zu können. Hierzu werden neben der klassischen tektonischen Kartierung geophysikalische, petrophysikalische und mikrostrukturelle Untersuchungen herangezogen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Identifikation und Charakterisierung junger Störungszonen. Zusätzlich stellt bei der Analyse des Bruchinventars des Granulitgebirges auch die tektonometamorphe Vorgeschichte einen wesentlichen Aspekt des Forschungsansatzes dar.

Die Ergebnisse des Projektes münden in die Darstellung einer Bruchtektonischen Karte des Sächsischen Granulitgebirges und einen Katalog der Bruchstrukturen.

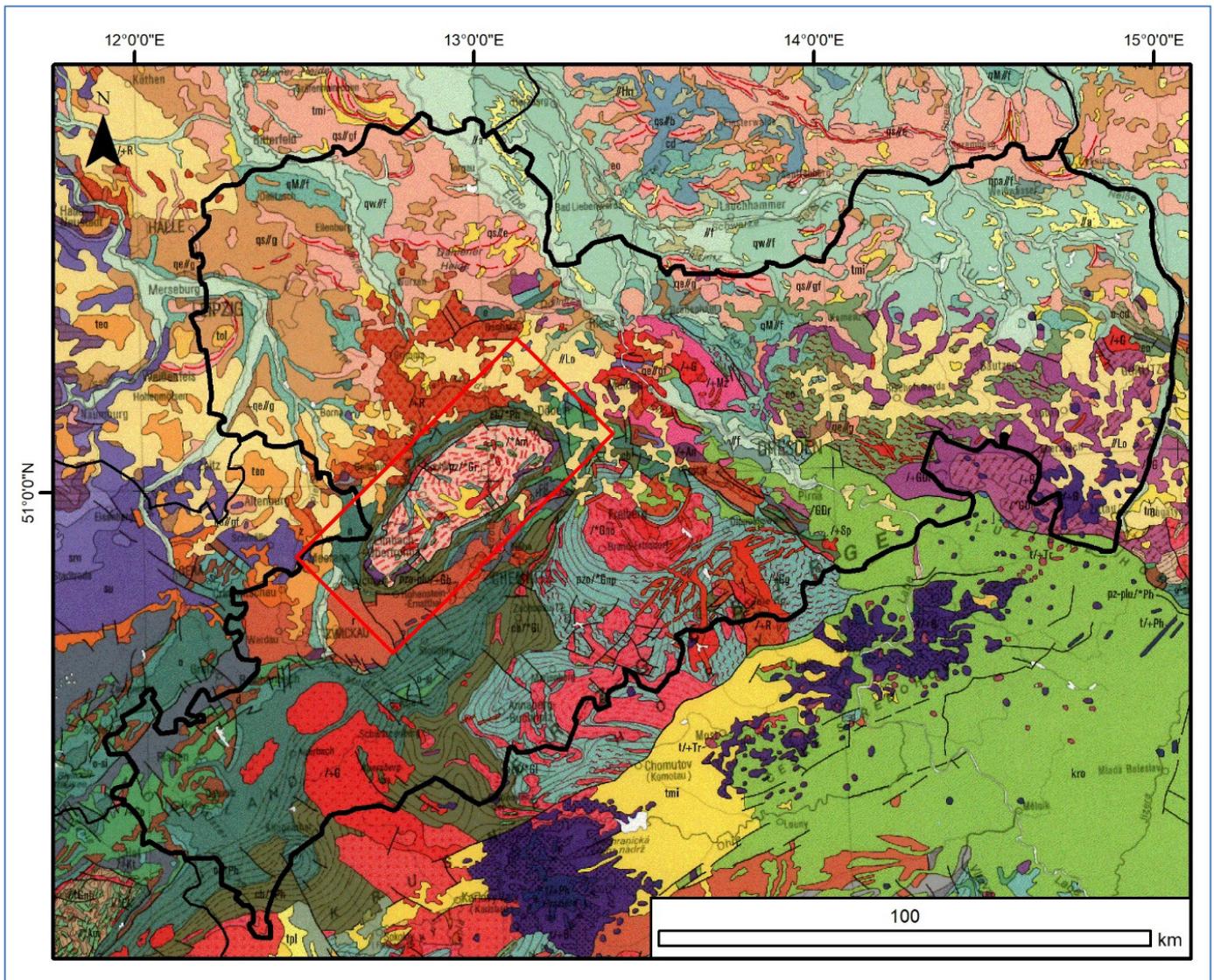


Abbildung 1: Geologische Übersichtskarte von Sachsen (GK1000 – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). Das rote Rechteck markiert den Bereich in dem das Sächsische Granulitmassiv elliptisch aufgeschlossen vorliegt.

1 Kenntnisstand

1.1 Geologischer Rahmen

Das sächsische Granulitgebirge liegt nördlich des Erzgebirges und repräsentiert eine elliptische, NE-SW ausstreichende, von Scherzonen umgebene kristalline Domstruktur (FRANKE 1993). Es kann der Allochthonen Domäne des Saxothuringikums der zentralen europäischen Varisziden zugeordnet werden. Das SGM (Sächsisches Granulitmassiv) wird begrenzt durch den Nordsächsischen Vulkanitkomplex (NW), das Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirge (NE), das Frankenberger Zwischengebirge (SE) und das Erzgebirgische Becken (SW).

Das Granulitgebirge besteht im Wesentlichen aus den namensgebenden Granuliten in welche tektonische Linsen von Metabasiten eingeschaltet sind. Der stark foliierte Granulit wird von einer Vielzahl von postkinematischen Granitgängen sowie dem Granitbatholith von Mittweida durchsetzt. Die Geochemie der Granulite spricht für magmatische Protolithen der Gesteine (WERNER 1987) und Datierungen (SHRIMP Zirkon, U-Pb Titanit) weisen auf kambro-ordovizische Protolithalter hin (KRÖNER et al. 1998, RÖTZLER et al. 2004). Die „Schieferhülle“ welche den Kerngranulit um- und überlagert wird traditionell in einen „Inneren“ und einen „Äußeren“ Schiefermantel unterteilt. Der „Innere Schiefermantel“ ist sehr heterogen aufgebaut und besteht aus stark deformierten hoch- bis niedriggradigen Metamorphiten und foliierten, synkinematischen Graniten (Berbersdorfer Granit, Lagergranite des NW Schiefermantels). Diese Gesteine gelten als ausschließlich mit dem Granulitkomplex assoziiert. Im Inneren Schiefermantel und den randlichen Granuliten ist eine Scherzonensuite im Dachbereich des Granulitkörpers konserviert, welche Top nach SE-Transport anzeigt und mit der Exhumierung des Granulits in Verbindung steht (KRONER 1995). Als „Äußerer Schiefermantel“ werden die niedriggradig metamorphisierten Sedimente im Hangenden bezeichnet, welche sich mit den angrenzenden regionalgeologischen Einheiten des Nossen-Wilsdruffer-Schiefergebirges sowie des Frankenberger Zwischengebirges korrelieren lassen. Bis auf die großflächige Bedeckung mit känozoischen Lockersedimenten fehlt eine postvariszische Bedeckung.

Dem *Locus Typicus* der Granulite, dem sächsischen Granulitgebirge, wurde bereits Ende des 18. Jahrhunderts eine geologische Sonderstellung beigemessen. LEHMANN (1884) gelang die grundlegende Charakterisierung des sächsischen Granulits als metamorphes Gestein, einschließlich dessen intensiver Deformation. Durch K.H. Scheumann erfolgten von 1924 bis 1963 erste Erkenntnisse auf dem Gebiet klassischer Petrographie. Mittlerweile obsolete lithostratigrafische Gliederungen der umliegenden Einheiten des SGM (KURZE 1966, NEUMANN & WIEFEL 1974, SCHWANDKE 1990) etablierten die Vorstellung einer jungproterozoischen Sequenz im Inneren Schiefermantel liegend zum Altpaläozoikum im äußeren Schiefermantel. Unter Ausschluss möglicher tektonischer Kontakte in der Schieferhülle wurde der Kristallinkomplex als präkambrische Abfolge erklärt.

Im Laufe der Zeit entwickelten sich zudem viele unterschiedliche Modelle zum Aufstieg der Granulite in die Oberkruste. Nach der Erkenntnis, dass es sich beim Granulit um einen metamorphen Festkörper handle, herrschte zunächst das klassische Modell eines diapirischen Uplift des Gesteinskomplexes vor (BEHR 1961, PIETZSCH 1963, WATZNAUER 1974, WATZNAUER et al. 1971). FRANKE (1993) und KRONER (1995) wendeten später das metamorphic core Konzept auf das sächsische Granulitgebirge an und sprachen sich damit für eine rein extensionale Exhumierung der Granulite aus. Die Vorstellung eines Auftreibens der Granulite gefolgt von extensionalem „abdecken“ oder lateraler Extrusion wurde in jüngerer Zeit von und RÖTZLER et al. (2004) und RÖTZLER & ROMER (2010) bevorzugt. Im Modell nach KRONER & GÖRZ (2010) wird das SGM

zunächst vertikal exhumiert und als metamorpher Dom unter anderen Einheiten der Allochthonen Domäne des Saxothuringkums hindurch lateral extrudiert.

Nach dem heutigen Forschungsstand ist die tektonometamorphe Entwicklung des Granulitgebirges Ergebnis der variszischen Gebirgsbildung und stellt sich wie folgt dar. Die Kerngranulite erfuhren ihren Metamorphosehöhepunkt bei ca. 340 Ma (z.B. QUADT 1993, KRÖNER et al. 1998) und wurden als über 1000°C heiße Gesteine (22 - 23 kbar) in obere Krustenbereiche exhumiert (RÖTZLER & ROMER 2010). Metamorphosepfade von RÖTZLER & ROMER (2001) und RÖTZLER & ROMER (2010) zeigen eine annähernd isothermale Dekompression an. Als 800°C heißer Körper erreichte der Kerngranulit die Basis der Oberkruste und induzierte in den hangenden Einheiten („Innerer Schiefermantel“) eine Hochtemperatur-Niedrigdruckmetamorphose im Sillimanitfeld. Die intensive Deformation beim Granulitaufstieg führte zur Ausbildung der Scherzonensuite im „Dach“ des Granulitkörpers und äußert sich im retrograd überprägten „Randgranulit“ und im „Inneren Schiefermantel“. Bei etwa 330 Ma war der Kristallinkomplex abgekühlt und die Hebungsrate verringerte sich stark. Spätestens im Perm erreichte der Granulit das Erosionsniveau, belegt durch Granulitgerölle in angrenzenden Beckensedimenten (PIETZSCH 1963). Daraus folgt, dass postvariszische, also spätestpaläozoische, meso- und känozoische tektonische Ereignisse ausschließlich zu bruchhafter Verformung führten. Diese äußert sich beispielsweise im Auftreten postvariszischer Vulkanitgänge und hydrothermalen Mineralisationen.

1.2 Zusammenfassung bruchtektonisch relevanter Datensätze

Im Vorfeld und in Begleitung zu den Arbeiten zur Erfassung des tektonischen Inventars im SGM wurden vor allem folgende Datensätze herangezogen:

- Geomorphologie
 - DGM 2 / DGM 10 – Schummerungsbilder (Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen)
 - Vektordatensätze geomorphologischer Lineamente im Untersuchungsgebiet (Projekt „Junge tektonische Entwicklung in Kristallingebieten Sachsens“, Arbeitsgruppe Prof. Dr. Klaus Stanek)
- Geologische und tektonische Karten
 - MOTZ (1997), TESSIN et al. (1989), SÖLLIG & RÖLLIG (1989), GK100 Nordsächsische Mulde / Erzgebirgisches Becken (1976), NEUMANN & WIEFEL (1973), BEHR et al. (1965a), BLÜHER et al. (1962)
 - Geologische Kartenblätter der eiszeitlich bedeckten Gebiete 1 : 50 000 (GK50_Eiszeit, LfULG): 2666 - Mittweida, 2667 - Meißen, 2766 – Chemnitz (ArcGIS-Geodatabase mit Shapefile, ArcGIS-Layer, dBASE-Tabelle)
- Strukturgeologische Kartierungsarbeiten
 - Bachelor-Qualifizierungsarbeiten (Betreuung Prof. Dr. Nikolaus Froitzheim, Universität Bonn 2016/2017) und Studentische Kartierungsarbeiten (Betreuung Dr. Uwe Kroner, TU Bergakademie Freiberg 1999)
 - Beiträge zur petrographischen und tektonischen Analyse des Sächsischen Granulitgebirges, Dissertation BEHR (1961)
- Seismologie
 - Erdbebenkatalog für Deutschland, LEYDECKER (2011)

2 Erfassung des tektonischen Inventars

Die Erfassung des tektonischen Inventars stützt sich vor allem auf eine ausgedehnte Kartierungskampagne sowie die zuvor durchgeführte Auswertung der bestehenden Datenbasis des Sächsischen Granulitgebirges. Die Kartierungsarbeiten setzen sich aus zwei Detailkartierungen und einer Übersichtskartierung zusammen (Abbildung 1). Die Detailkartierungen fanden im Zschopautal nördlich der Talsperre Kriebstein und im Chemnitztal statt. Relevante Störungen im Gelände wurden lokalisiert und charakterisiert. Weiterhin wurde das angetroffene Bruchinventar dokumentiert, eingemessen und in Grafiken (Schmidtsche Netze, Kluffrosen) ausgewertet. Bestandteil der Übersichtskartierung waren Arbeiten in unterschiedlichen Steinbrüchen im SGM und gezielte Feldbelege vermuteter Störungen am Aufschluss. So wurden insgesamt 62 Lokationen festgehalten und über 3800 Strukturdaten eingemessen. Ausgehend von der Bruchflächenanalyse im Gelände wurde eine Probennahme bezüglich granulitinterner Bruchstrukturen durchgeführt.

Das seismische Experiment bei Erlau deckt einen Teil des zentralen, wenig aufgeschlossenen, Bereiches im Granulitgebirge ab. Die Datensätze der Strukturmessungen und eine Fotodokumentation der Kartierungsarbeiten sind den digitalen Anlagen zu entnehmen.

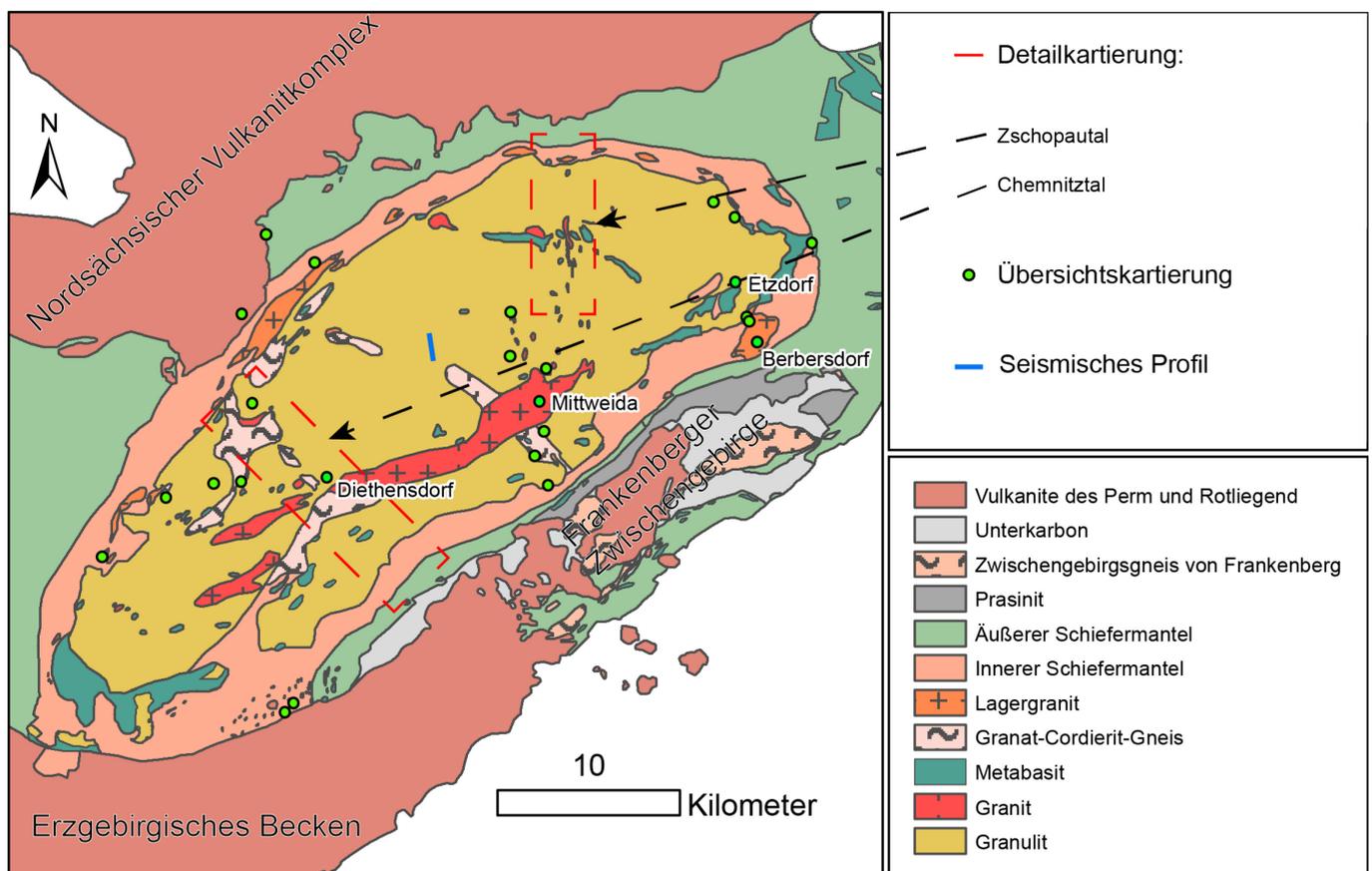


Abbildung 2: Überblick des sächsischen Granulitgebirges. Dargestellt sind die Gebiete der beiden Detailkartierungen (rot gestrichelte Rechtecke) sowie die Aufschlusspunkte der Übersichtskartierung. Diese Übersichtskartierung setzt sich aus den Großaufschlüssen (Steinbrüche) und den Lokationen der Befahrung vermuteter Störungen zusammen.

2.1 Bruchflächenkartierung

2.1.1 Zschopautal

Nördlicher Talabschnitt bei Waldheim

Das Zschopautal bei Waldheim ist durch felsische Kerngranulite und N-S-streichende Biotitgranitgänge geprägt. An der Nordgrenze des SGM gehen die Kerngranulite in subhorizontal foliierte, mylonitische Randgranulite mit hohem Biotitanteil über.

Alte spröde Strukturen („granulitinterne Brüche“) treten in Form von granitischen und pegmatitischen Gängen, granitisierten Klüften und spröd reaktivierten Scherflächen auf (Abbildung 3). An der Nordgrenze des SGM sind zudem spröd duktile bis spröde Abschiebungen zu erwarten, welche in Verbindung mit der Exhumierung des SGM stehen könnten. Über das Tal verteilt treten Streichrichtungen der Klüfte in E-W, WNW-ESE, NW-SE, NNW-SSE, N-S, NNE-SSW und NE-SW auf (Abbildung 4). Streichrichtungen von Strukturen korrelieren mit geomorphologischen Lineationen in N-S-, ENE-WSW- und NW-SE-Richtung. Die jüngsten spröden Flächen im Kartierungsgebiet sind N-S und etwa E-W orientierte, nicht mineralisierte Klufflächen. Diese sind lokal ausgebildet, engständig angelegt (in Zonen von unter 1 m Breite), subvertikal orientiert und dehnen sich weit über die Aufschlusswände aus.



Abbildung 3: Skizze - Ehemalige Scherflächen (zu sehen an Flexur der Foliation) wurden spröd reaktiviert und mit Qz mineralisiert. Aufschluss 7, Blickrichtung N.

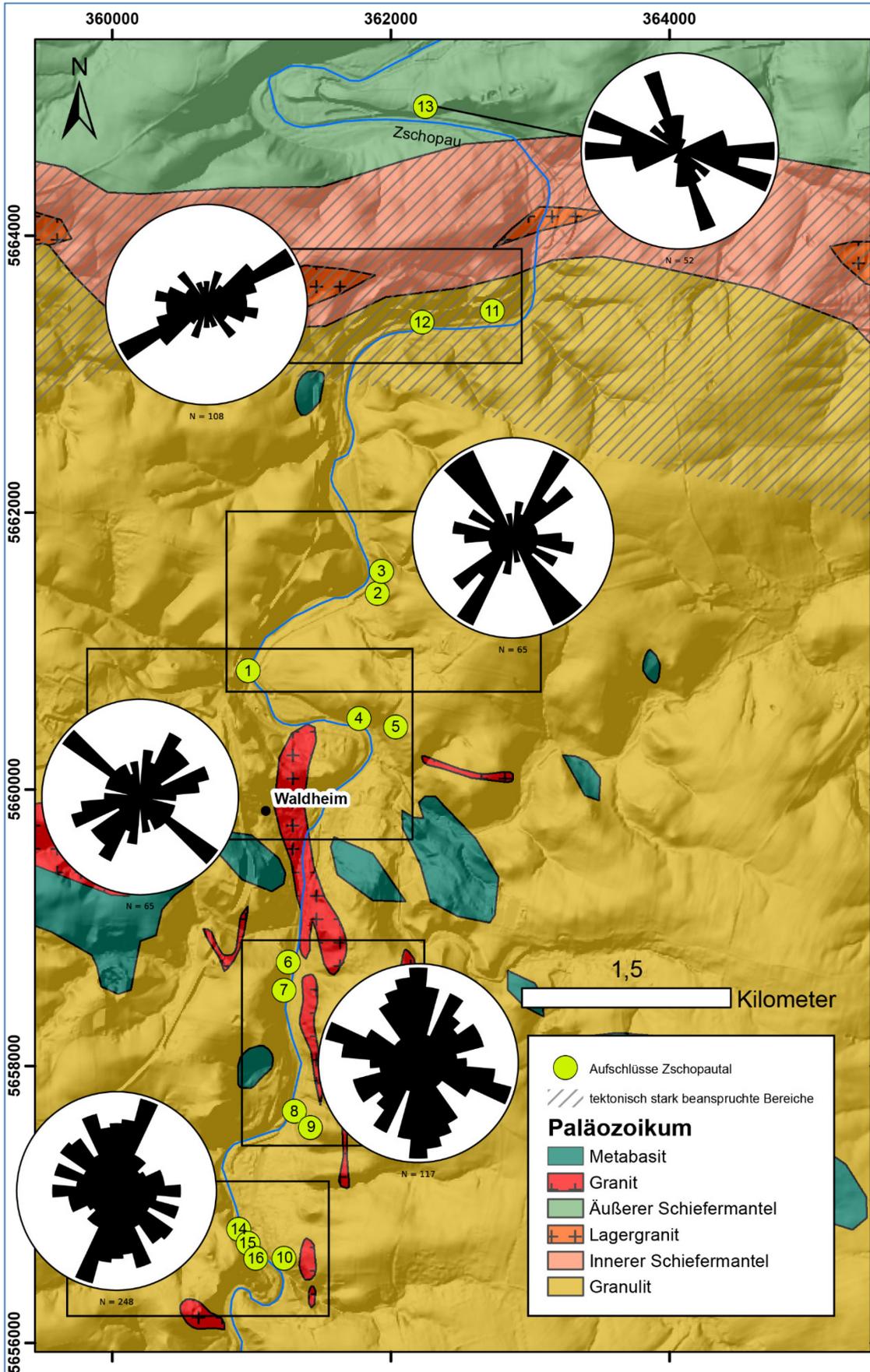


Abbildung 4: Geologische Karte zur Kartierung des Zschopautals bei Waldheim. Mit Aufschlusspunkten und gebietsweise (schwarze Rechtecke) zusammengefassten Richtungsrosen spröder Bruchflächen.

Mittweidaer Granit

Der Mittweidaer Granit ist die mächtigste postkinematische Granitintrusion im Inneren des SGM. Es handelt sich um einen homogenen, gleichkörnigen, rötlichen Granit mit annähernd orthogonalem gleichmäßigem Klufmuster.

Klufthauptorientierungen streichen WNW-ESE und N-S bis NNE-SSW. Untergeordnet treten flach gelagerte Klüfte auf, die tendenziell Richtung SE bis S einfallen. Weitere Klüfte streichen NE-SW und NW-SE. Die WNW-ESE-Flächenschar tritt lokal engständig und lang aushaltend auf. Auch sind in dieser Orientierung teilweise breite Verwitterungszonen ausgebildet, welche stark wasserführend sind. Auch die N-S-Klüfte treten teilweise sehr steil und weit aushaltend sowie wasserführend auf. Eine breitere Störung wurde NNW-SSE streichend beobachtet. Diese fällt 70° ein und bildet eine 5 bis 10 cm mächtige Lettenzone aus.

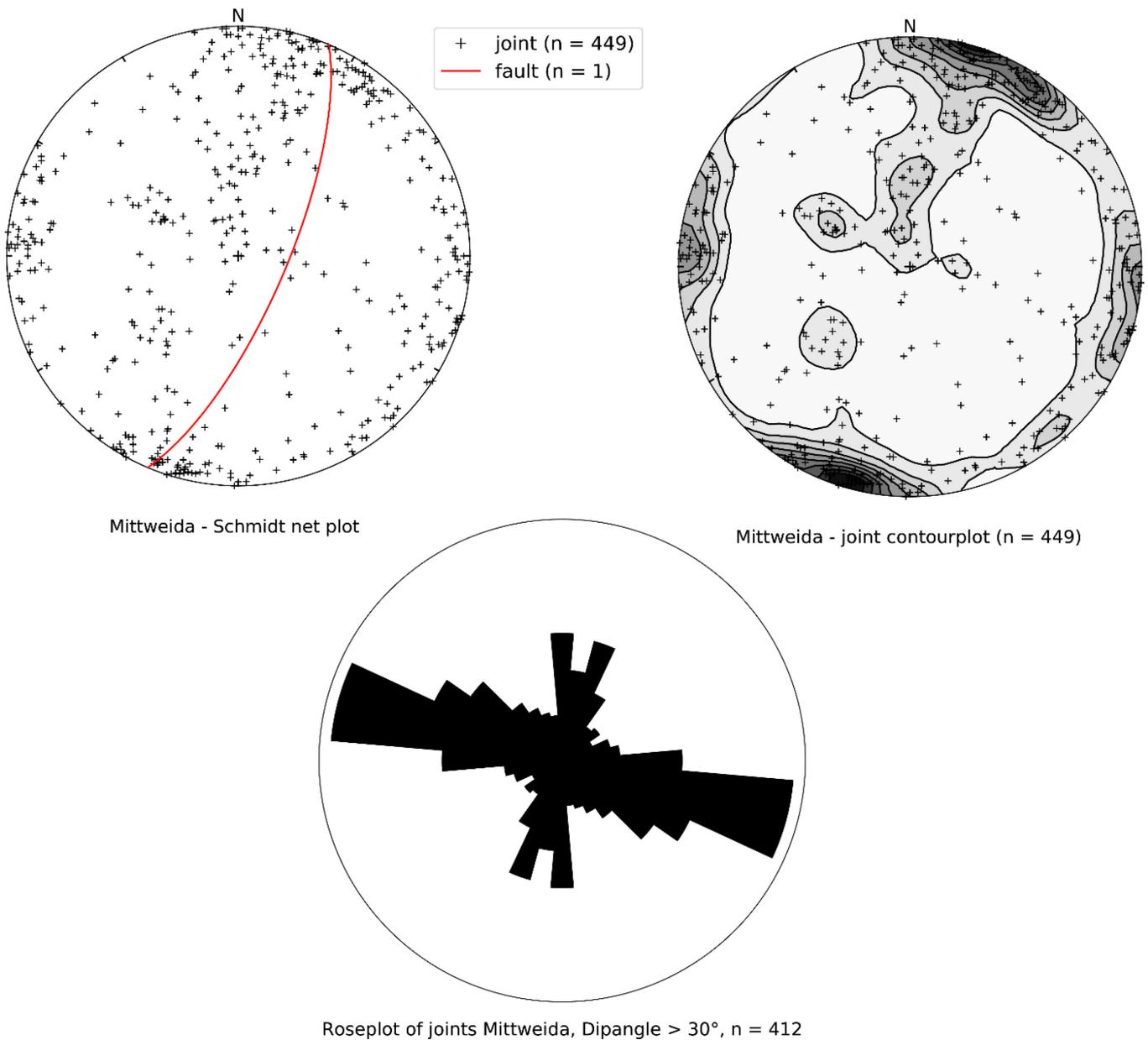


Abbildung 5: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Mittweida: Klüfte und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Kluffrose.

2.1.2 Chemnitztal

Das Chemnitztal schneidet sich in NW-SE-Richtung durch das Granulitgebirge und schließt somit Teile des Inneren Schiefermantels, der Granat-Cordieritgneise und der Rand- und Kerngranulite auf. Die häufigen Granat-Cordieritgneise und auch die Glimmerschiefer des Inneren Schiefermantels zeichnen sich durch einfache Klufmuster und große Kluftabstände aus. Granulite werden häufig in ihrer retrograd überprägten Form angetroffen, teils bis hin zu Biotitgneisen und mit stark entregelten Gefügen.

Das Strukturinventar älterer Bruchstrukturen ähnelt dem aus dem Zschopautal. Auch reaktivierte Scherflächen können häufig vorgefunden werden. Ebenso ähnlich verteilt liegen die Streichrichtungen der Klüfte in E-W, WNW-ESE, NW-SE, NNW-SSE, N-S, NNE-SSW und NE-SW vor. Die gemessenen Strukturen korrelieren lokal mit stark ausgeprägten geomorphologischen Lineationen in WNW-ESE-Richtung. In der Nähe des Steinbruch Diethensdorf (Aufschlüsse 17/18) treten in NW-SE-Orientierung breite, tektonisch stark beanspruchte und zerrüttete Zonen auf, die eine Störung in dieser Richtung entlang des Talverlaufs anzeigen. Diese Richtung lässt sich nach SE bis zum Aufschluss 13 nachverfolgen.

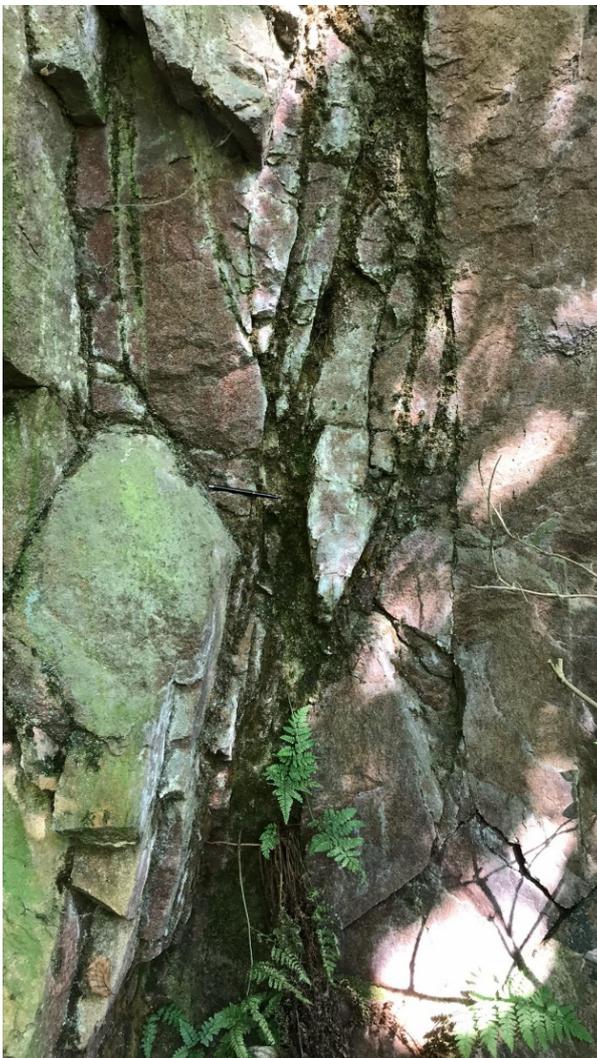


Abbildung 6: Eine der ausgeprägten NW-SE orientierten Flächenscharen in der Nähe des Steinbruchs Diethensdorf (Aufschluss 17, Blickrichtung NW). Es scheint sich um eine recht breite Störungszone mit geringem Versatz zu handeln.

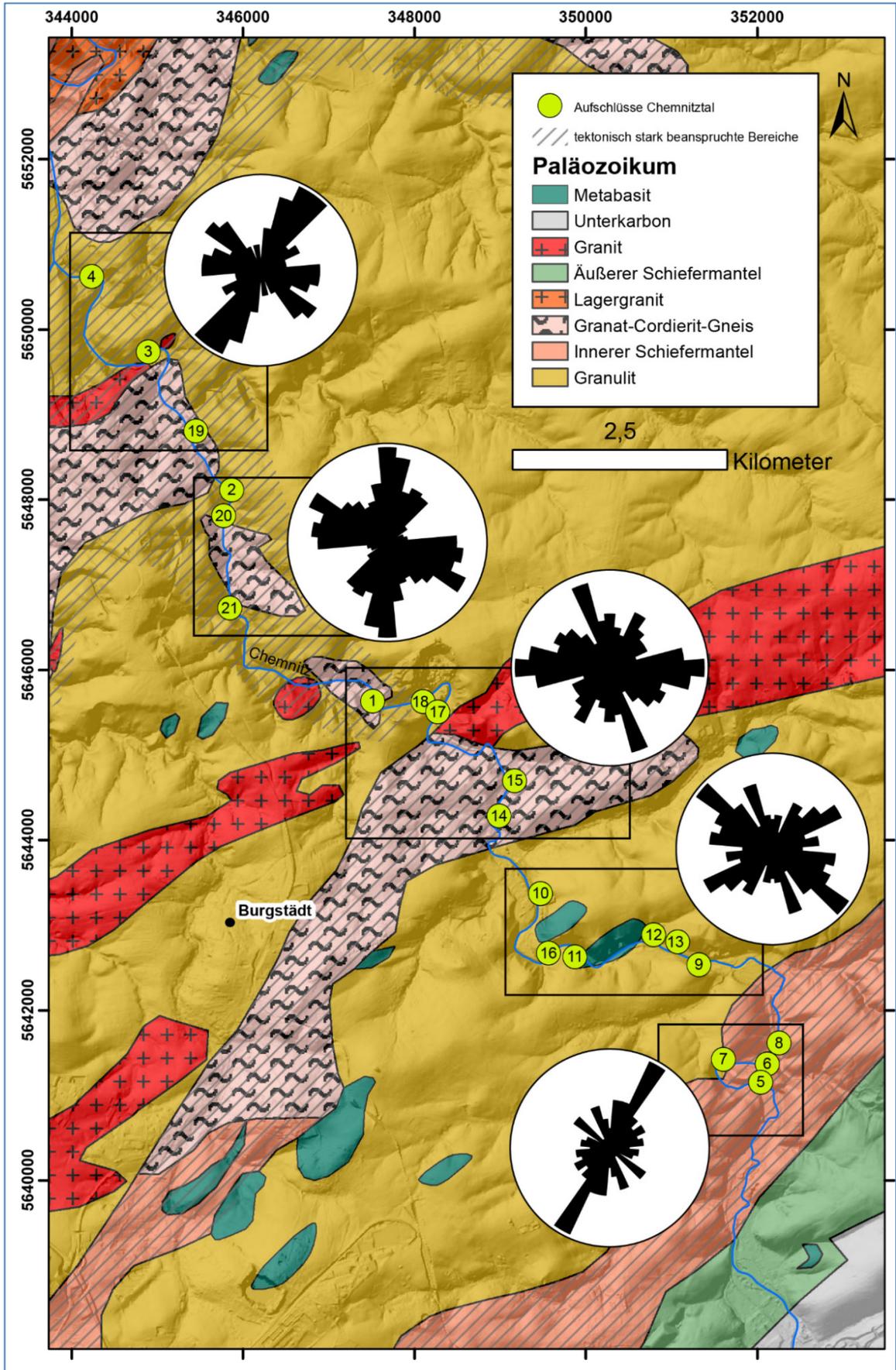
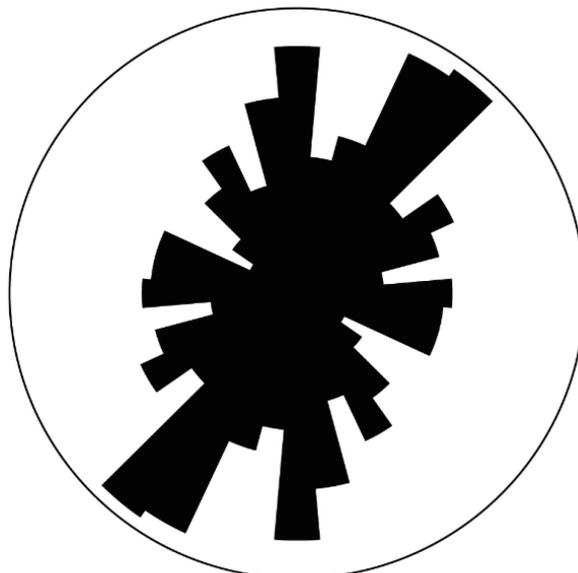
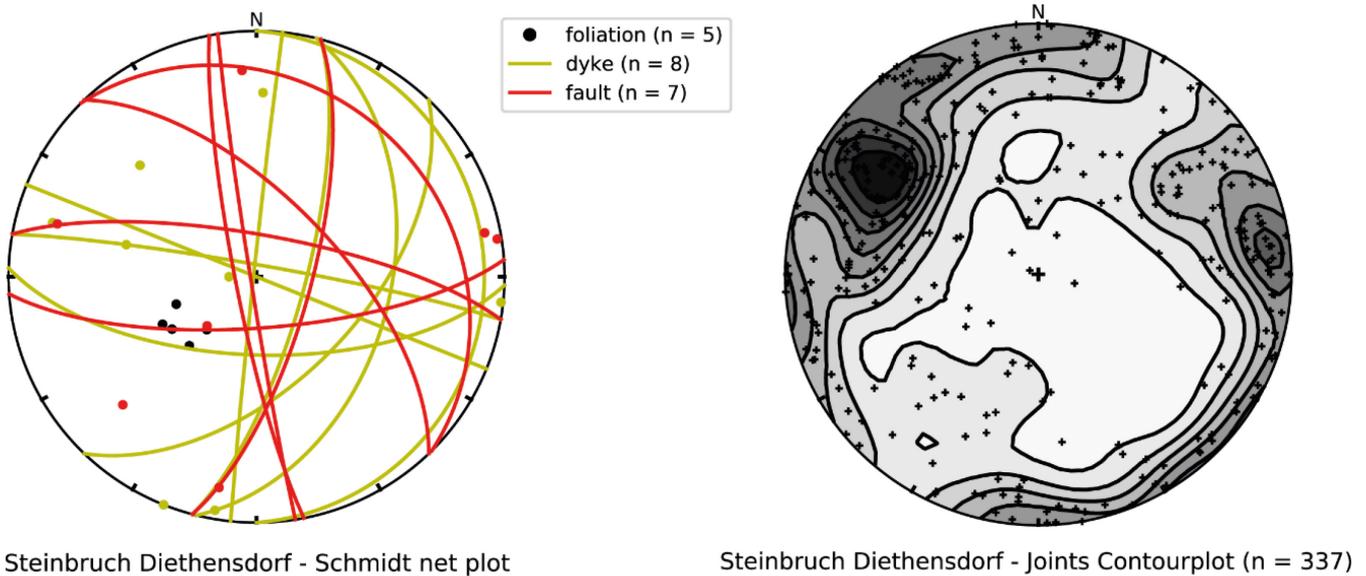


Abbildung 7: Geologische Karte zur Kartierung des Chemnitztals im Granulitgebirge. Mit Aufschlusspunkten und gebietsweise (schwarze Rechtecke) zusammengefassten Richtungsrosen spröder Bruchflächen.

Diethensdorf - Kerngranulit

Der Steinbruch Diethensdorf liegt zentral im SGM und ist der regionalgeologischen Einheit der Kerngranulite zuzuordnen. In einem mächtigen Lagenbau wechseln sich mafische und felsische Granulitdomänen ab. Dieser Lagenbau liegt im Steinbruch als offenständige Synform vor und fällt vor allem Richtung NE ein. Die Foliation des Lagenbaus wird von Granit- und Pegmatitgängen geschnitten. Teilweise gehen diese Gänge von Kluffflächen aus, teils liegen diese ohne scharfe Grenzen zum Granulit vor. Oft ist zu beobachten, dass mineralisierte Klüfte oder mächtigere Granitgänge in Form von Klüften reaktiviert werden. Die Gänge streichen mehrheitlich WNW-ESE und NNE-SSW. Störungen im Steinbruch zeigen allesamt sprödes Materialverhalten mit Bildung unverfestigter Störungsletten an. Störungsflächen sind N-S, NW-SE und E-W orientiert, wobei eine dominante Störung in Richtung N-S durch ihre Mächtigkeit heraussticht.



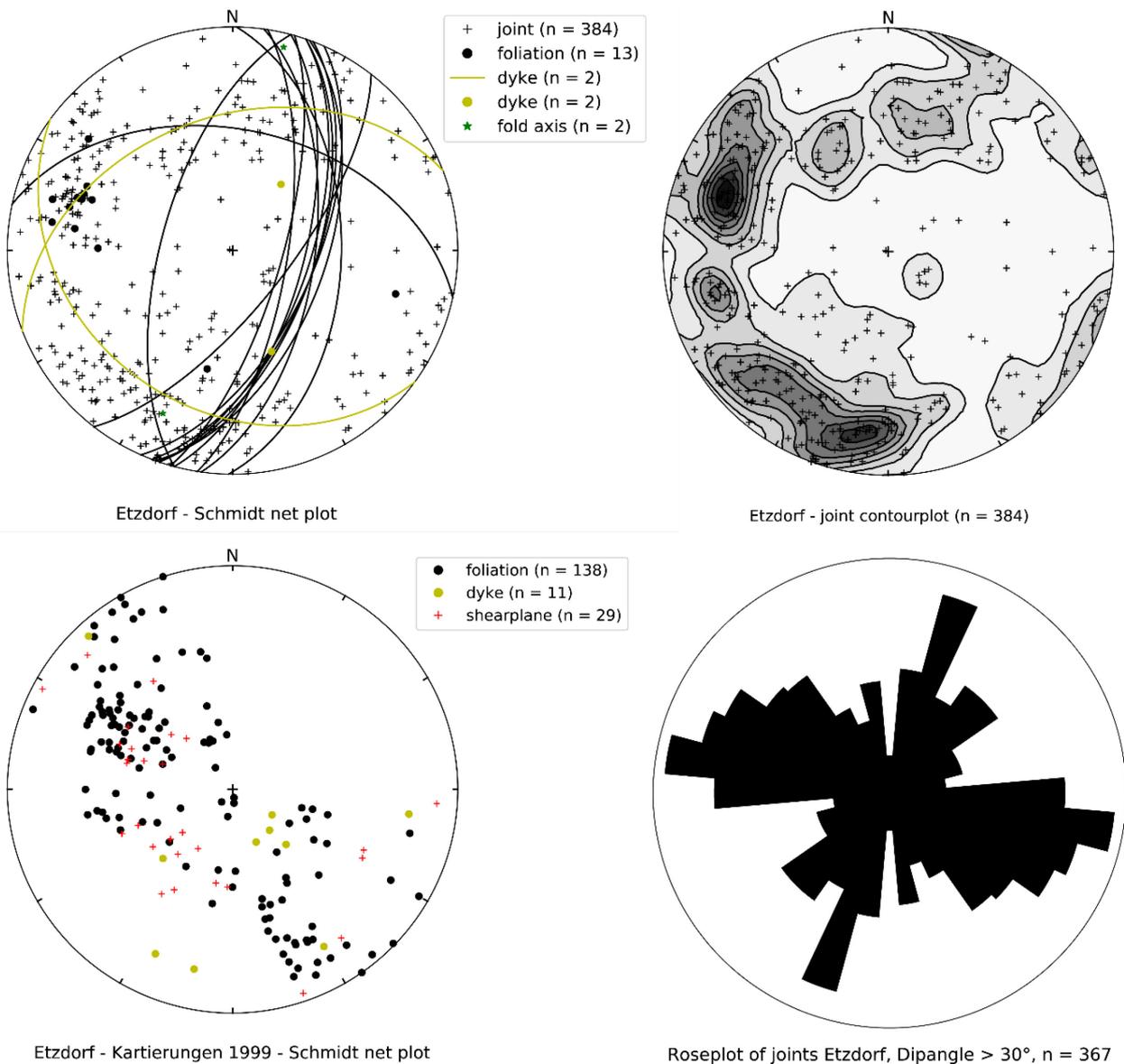
Roseplot of joints Steinbruch Diethensdorf, Dipangle > 30°, n = 326

Abbildung 8: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Diethensdorf: Foliation, Gänge und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Klufftrose.

2.1.3 Striegistal

Etzdorf – Randgranulit

Die Granulite des Steinbruchs Etzdorf gehören zu den retrograd überprägten Granuliten des Randbereiches des SGM. Biotit ist häufig und in großen Mengen auf deutlich ausgeprägten Foliationsflächen vertreten. Teilweise ist ein Übergang des Granulits zu Biotitgneisen zu beobachten. Mafische Granulitdomänen treten hingegen selten auf. Intensive duktile Deformation des Gesteins macht sich in Form von offener bis spitzwinkliger Verfaltung (NE-SW Faltenachsen) und Zerschering der Foliation bemerkbar. Granitische Gänge orientieren sich maßgeblich an präexistente Klufflächen oder Scherflächen. Auch synkinematische Granitgänge sind zu beobachten. Klüfte streichen dominant NNE-SSW und WNW-ESE bis NW-SE. Untergeordnet treten Klüfte in NE-SW- und NNW-SSE-Streichen auf.



Etzdorf - Schmidt net plot

Etzdorf - joint contourplot (n = 384)

Etzdorf - Kartierungen 1999 - Schmidt net plot

Roseplot of joints Etzdorf, Dipangle > 30°, n = 367

Abbildung 9: Plots von Strukturdaten der Granulite des Etzdorfer Steinbruchs. Oben links: Schmidtsches Netz aller gemessenen Strukturen. Unten links: Schmidtsches Netz - Plot von Strukturdaten aus studentischen Kartierungsarbeiten 1999 (Betreuer: Dr. Uwe Kroner). Oben rechts: Konturierter Plot von Klufflächenpolen. Unten rechts: Klufftrose.

Berbersdorfer Granit

Beim Steinbruch Berbersdorf handelt es sich um einen der Lagergranite am SE-Rand des sächsischen Granulitgebirges. Dieser liegt flach zwischen Gesteinen des Inneren Schiefermantels. Der Granit ist vorwiegend rötlich gefärbt und mittel- bis feinkörnig. Teils wird der Granit von jüngeren hellen Granitgängen durchzogen. Teilweise intrudieren Gänge auch in ein älteres, mineralisiertes Kluftsystem. Im Liegenden finden sich große Mengen Xenolithe von Biotit-Sillimanitschiefern, welche wahrscheinlich aus dem Inneren Schiefermantel stammen. Klüfte sind hauptsächlich NW-SE, NE-SW (mittelsteil konjugierte Scharen), und WNW-ESE streichend orientiert. Zudem treten N-S streichende Kluftflächen untergeordnet auf. Hervorzuheben sind die mächtigen NE-SW-Störungen im Granit, welche nach NW und SE einfallen. Die Störungen erreichen große Mächtigkeiten im Meter-Bereich, sind meist durch unverfestigte Letten und zerrüttete Zonen gekennzeichnet. Teilweise kommen auch verfestigte helle und dunkle Kataklasite in den Störungen vor.

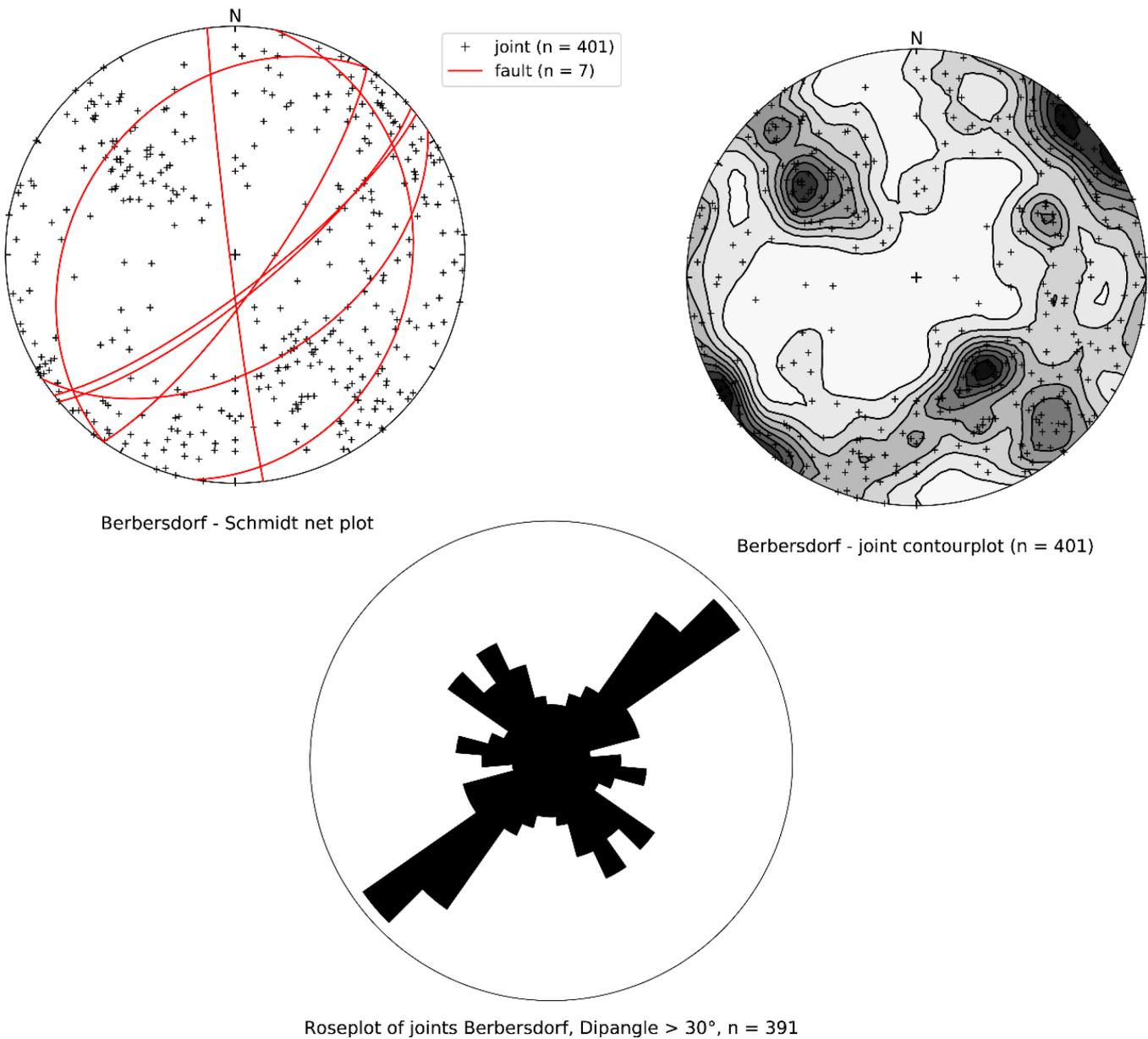


Abbildung 10: Plots eingemessener Strukturen im Steinbruch Berbersdorf: Klüfte und Störungen im Schmidtschen Netz, Klüfte im Schmidtschen Netz mit Contour-Plot, Kluftrose.

2.2 Seismisches Experiment – Erlau

Das seismische Experiment in Erlau fand im März 2019 statt. Ziel des Experiments ist der Nachweis von Störungen in der aufschlussarmen Region des zentralen Sächsischen Granulits zwischen den Flusstälern der Chemnitz und Zschopau. Eine vermutete Störung verläuft NW-SE streichend durch das Granulitmassiv (SÖLLIG & RÖLLIG 1989, TESSIN et al. 1989). Es wird angenommen, dass diese Störung verbunden mit der Exhumierung des Granulitmassivs als Abschiebung aktiviert wurde und so den tektonischen Kontakt von Granat-Cordierit-Gneis und Granulit in NW-SE-Erstreckung in der Gegend von Mittweida realisiert hat. Das seismische Experiment soll Aufschluss darüber geben, ob sich diese Störung über den lithologisch-tektonischen Kontakt dieser Gesteine durch das Granulitmassiv in Richtung NW hinaus erstreckt. Das vereinbarte 1,1 km lange seismische Profil quert die Rochlitzer Straße nordwestlich der Ortslage Erlau und erstreckt sich von NNW bis SSE (Abbildung 11).

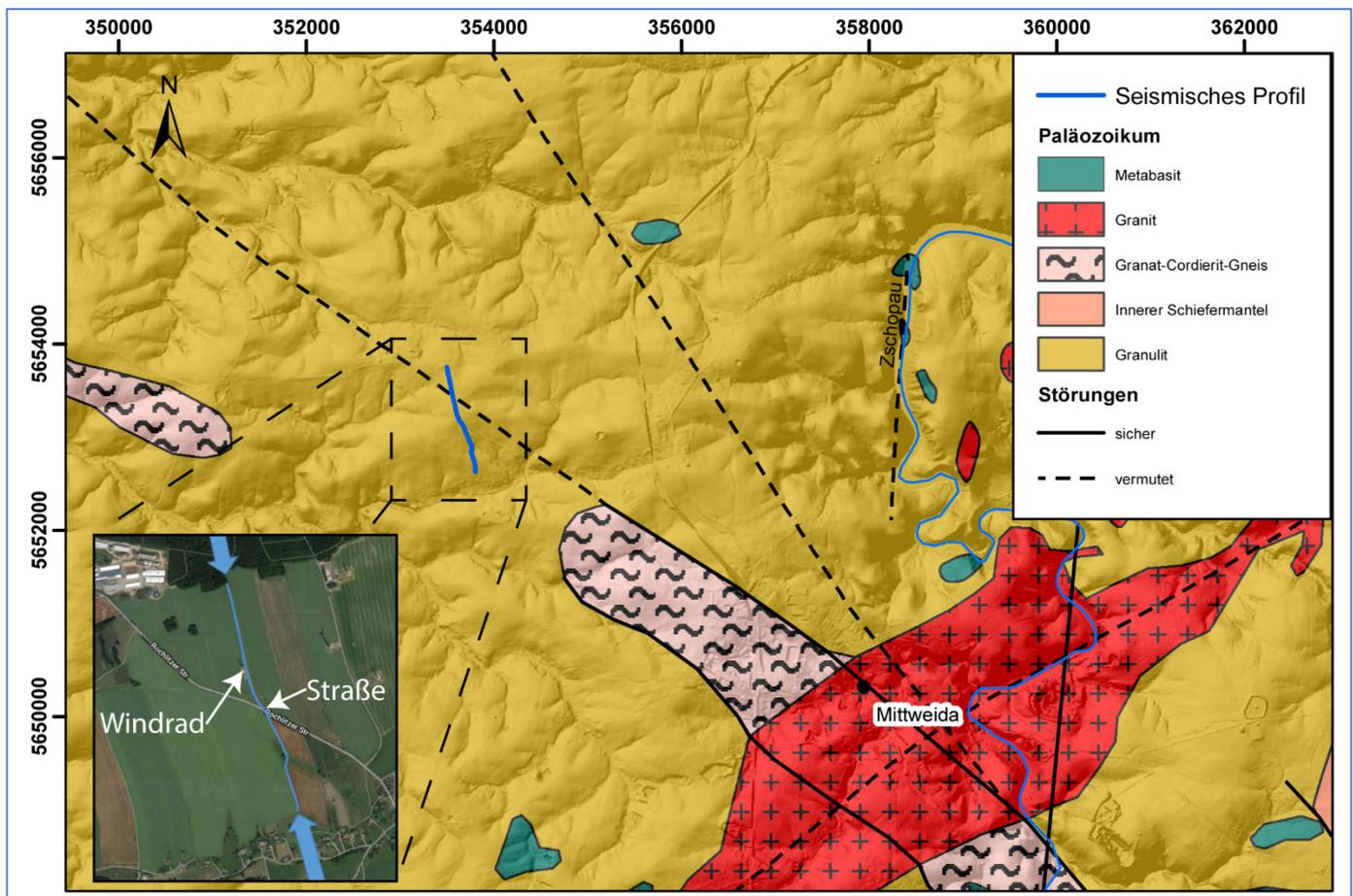


Abbildung 11: Position des vereinbarten seismischen Profils in der Geologischen Karte und im Satellitenbild (vermutete Störungen gestrichelt).

2.2.1 Durchführung des seismischen Experiments

Entlang des Profils wurden insgesamt 216 Vertikalgeophone in einem Abstand von 5 Metern platziert (Abbildung 12). Die Geophonpositionen wurden mit einem Differential-GPS System eingemessen. Als seismische Quelle fungierte das Vibroseis-Fahrzeug (32t) des Instituts für Geophysik und Geoinformatik (TU Bergakademie Freiberg). Dieses sendete mittels der Bodenplatte dreimal pro Quellpunkt ein je 12 Sekunden langes lineares Sweep-Signal mit einem Frequenzbereich von 20-120 Hz in den Untergrund. Entlang des gesamten Profils wurde an jedem Geophonpunkt auch eine Vibroseis-Anregung durchgeführt, lediglich direkt an der Landstraße, neben dem am Profil gelegenen Teich sowie im südlichen Bereich des Profils in der Nähe des Bauernhofs wurden keine Anregungen durchgeführt.



Abbildung 12: Links – Vibroseis-Fahrzeug mit abgesenkter Bodenplatte. Rechts – Ansicht Empfänger Aufbau, Blick vom Teich nach Norden in Richtung Windrad.

2.2.2 Geometrie

Abbildung 13 zeigt die Lage der Quell- und Empfängerpunkte im geographischen Koordinatensystem mit Rechts- und Hochwert sowie im lokalen Koordinatensystem, das für die Datenbearbeitung verwendet wurde. Der Koordinatenursprung des lokalen Koordinatensystems liegt bei Rechtswert 353600 m, Hochwert 5653800 m und Höhe 350 m; die x-Achse des lokalen Koordinatensystems schließt mit der Hochwertachse (Nord-Süd) einen Winkel von 165 Grad ein.

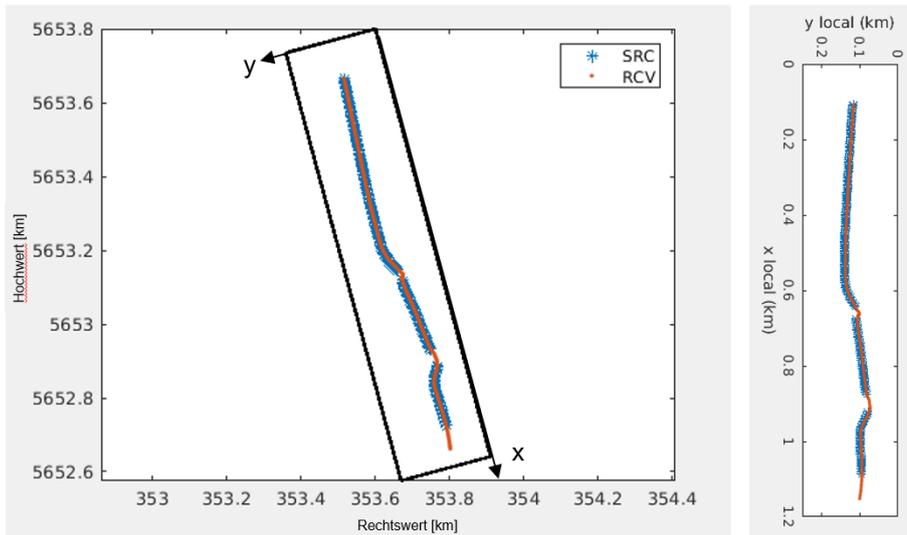


Abbildung 13: Lage der Quell- und Empfängerpunkte im geographischen (links) und lokalen (rechts) Koordinatensystem.

2.2.3 Datenbearbeitung/Auswertung

Die Datenqualität kann trotz der widrigen Wetterverhältnisse (starker Wind, Regen, ...) als sehr gut bezeichnet werden. Abbildung 14 zeigt exemplarisch eine weitgehend unbearbeitete Seismogrammsektion für eine Anregung am nordwestlichen Ende des Profils. Die direkte Welle ist über die gesamte Profilauslage klar und deutlich zu erkennen, sogar im Bereich des Windrads, das aufgrund des starken Windes während der Messung deutliche Störungen in dessen unmittelbarer Umgebung verursachte. Beim Überqueren der Straße konnten einige Geophone nicht platziert werden; diese sind hier in der Seismogrammsektion zwar mit abgebildet, beinhalten aber keine Signale und wurden deshalb auch nicht mit in die Auswertung einbezogen.

Neben der direkten Welle und den Oberflächenwellen ist bereits in diesen Rohdaten ein deutlicher Einsatz einer reflektierten Welle zu erkennen.

Die Vorbearbeitung der Daten beinhaltet zunächst die folgenden Schritte:

- Eintragen der Geometrie in die Datenheader
- Korrelation der Vibrogramme mit dem synthetischen Sweep
- Bestimmung des Zeitversatzes und Verschiebung jeder Seismogrammsektion auf einen trigger-unabhängigen einheitlichen Zeitbeginn
- Spurnormierung
- Automatic Gain Control (AGC) mit einer Fensterlänge von 150 ms
- Bandpassfilterung zwischen 40 und 70 Hz
- 50 Hz Notch Filter
- erneuter AGC mit 150 ms Fensterlänge
- linearer Top Mute, um direkte und refraktierte Wellenanteile zu entfernen

Abbildung 15 zeigt den Vergleich zwischen den Rohdaten eines Schusses und dem Ergebnis der oben beschriebenen Vorbearbeitungsschritte. Sowohl die Oberflächenwellen, als auch der Einfluss des Windrades wurden nahezu vollständig aus den Daten entfernt.

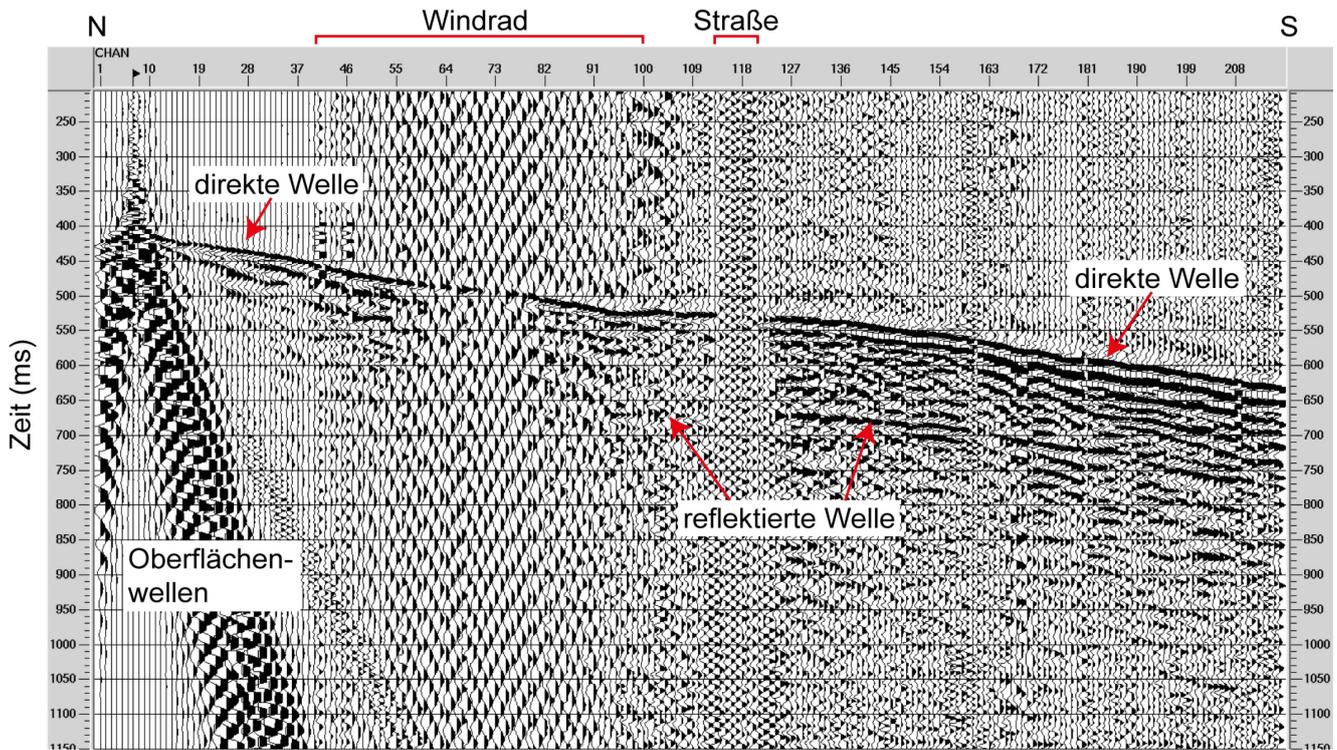


Abbildung 14: Beispiel einer Seismogrammsektion.

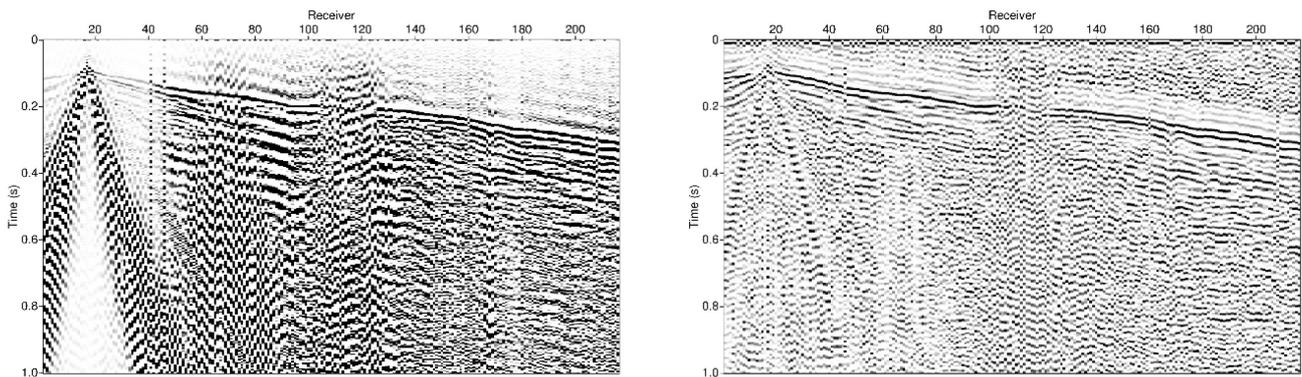


Abbildung 15: Vergleich der Rohdaten (links, mit Spurnormierung) und der prozessierten Daten (rechts).

In einem ersten Schritt wurde aus den Daten mit Hilfe einer Ersteinstatztomographie ein P-Wellengeschwindigkeitsmodell erstellt. Dazu wurden die Einsätze der direkten Welle in allen Seismogrammsektionen manuell gepickt und iterativ in ein Geschwindigkeitsmodell invertiert. Abbildung 16 zeigt die gepickten Einsätze exemplarisch für eine Seismogrammsektion (Abbildung 16, oben), die Gesamtheit der gepickten Einsätze für alle Seismogrammsektionen als Funktion des Quell-Empfänger-Abstandes (Abbildung 16, mitte) sowie das Inversionsergebnis (Abbildung 16, unten).

Im zweiten Schritt wurde eine Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration mit einer zunächst konstanten Migrationsgeschwindigkeit von 4 km/s durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abbildung 17 dargestellt. Es zeigen sich zwei sehr deutliche Reflektoren (rote Pfeile): ein leicht nach SSE einfallender Reflektor in einem Tiefenbereich von 0-200 m sowie ein scheinbar in zwei Teile mit leicht unterschiedlicher Neigung zerbrochener subhorizontaler Reflektor in einem Tiefenbereich von 1-1.2 km.

Da der vermutete Störungsverlauf nicht senkrecht zur Profilauslage verläuft, wurde das Migrationsvolumen in y-Richtung erweitert, um auch seitlich auf das Profil zurückreflektierte Energie abbilden zu können. Dabei zeigte sich, dass der nach SSE einfallende Reflektor tatsächlich noch steiler und Richtung SW einfällt (Abbildung 18).

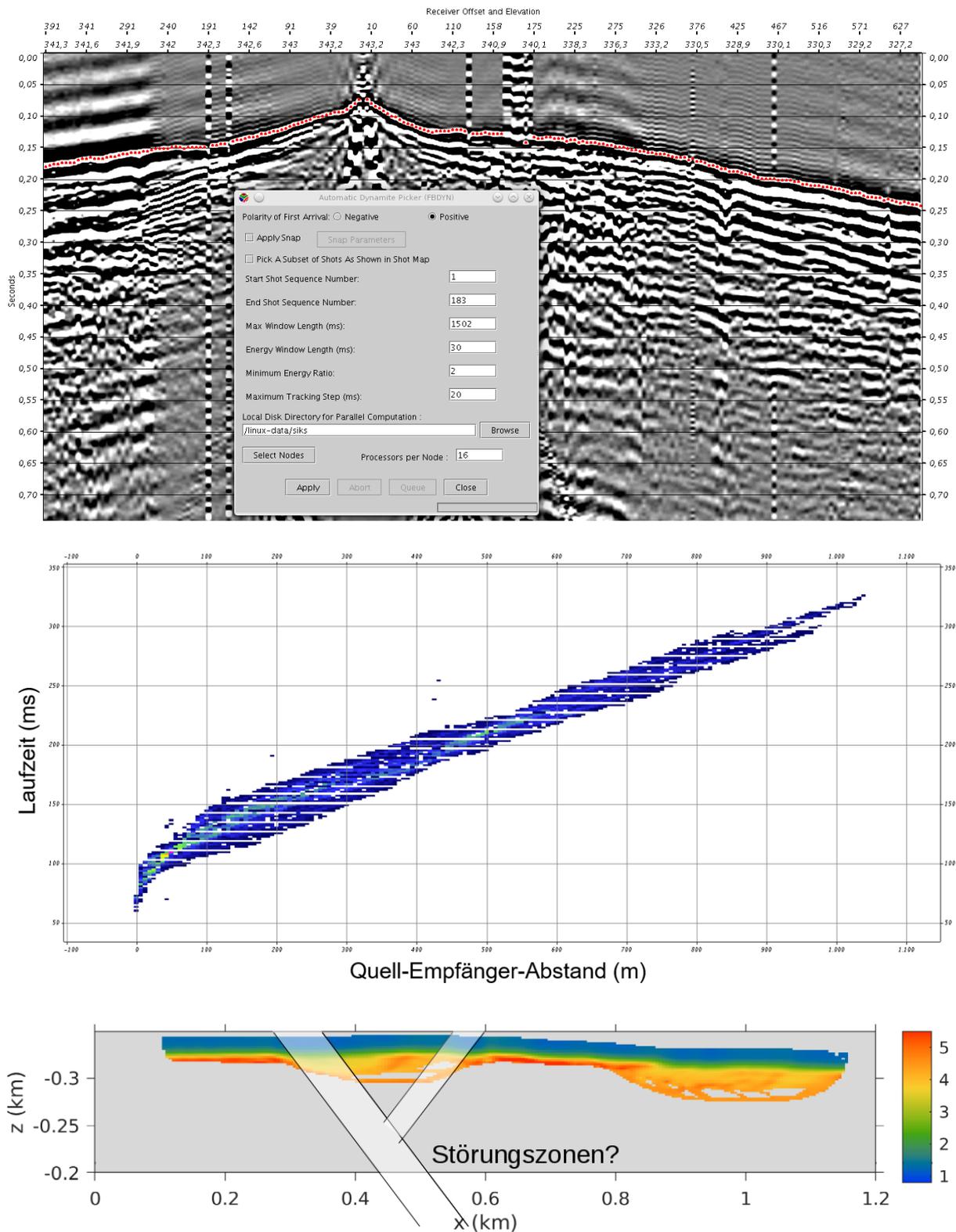


Abbildung 16: Ersteinsatzpicks (rote Punkte) für eine exemplarische Seismogrammsektion (oben), Picks des gesamten Datensatzes als Funktion des Quell-Empfänger-Abstandes (Mitte) und Inversionsergebnis (unten).

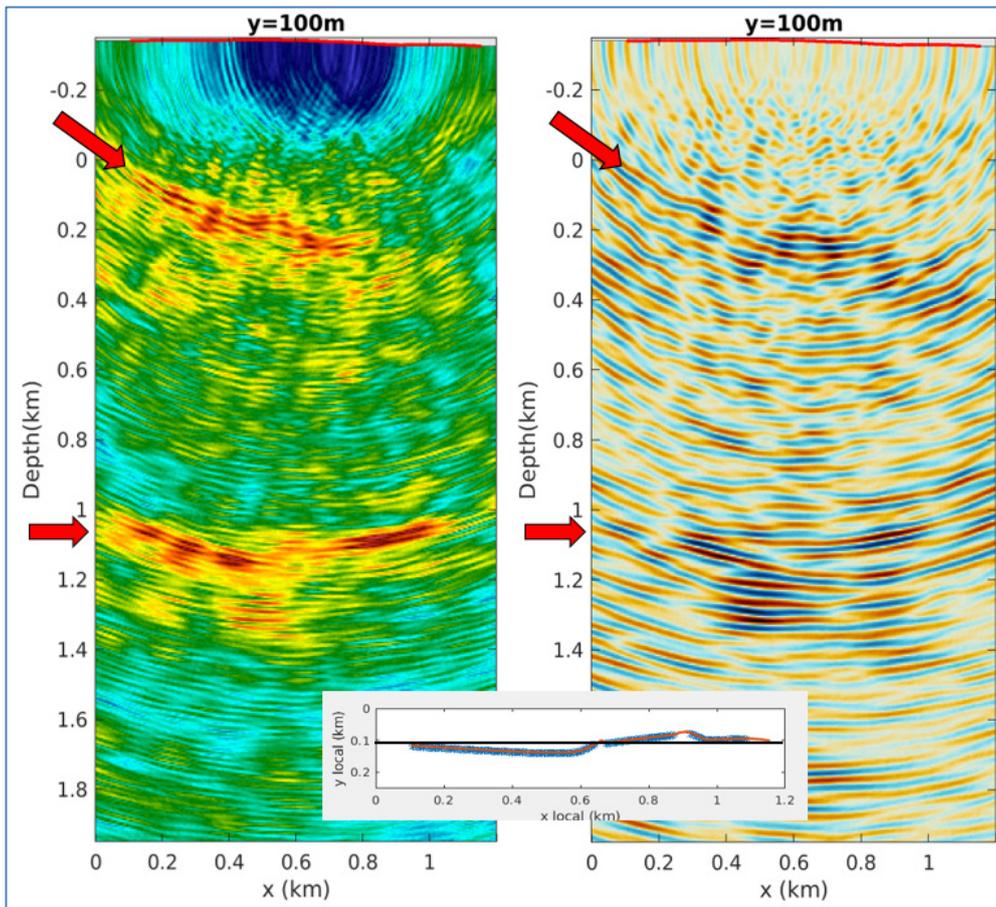


Abbildung 17: Ergebnis der Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration als Betragsstapelung (links) sowie phasengetreue Stapelung (rechts). Die Lage des Schnittes durch das 3D-Migrationsvolumen ($y=100\text{m}$) ist im Inset dargestellt. Die rote Linie an der Erdoberfläche markiert die Profilauslage.

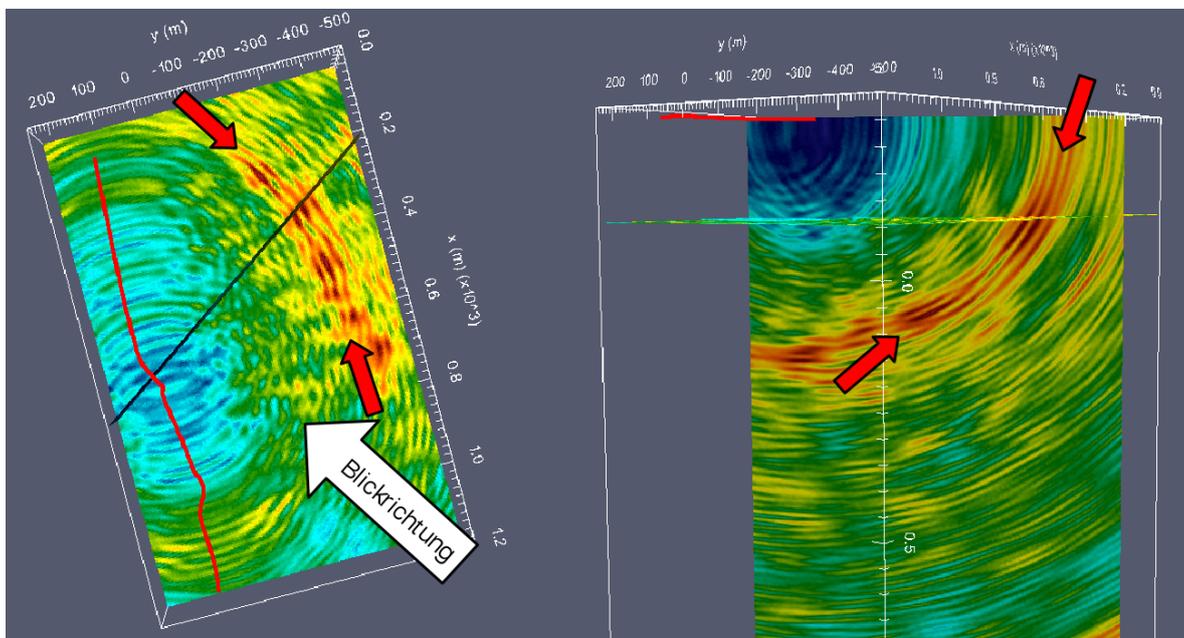


Abbildung 18: 3D Ergebnis der Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration als Betragsstapelung, links eine Tiefenscheibe (100m über NN) und rechts ein Schnitt senkrecht zum Streichen des Reflektors (rote Pfeile).

Um möglichst oberflächennahe Strukturen abbilden zu können, wurde zusätzlich die Apertur (d.h. der maximale Quell-Empfänger-Abstand) für die Migration auf 50m beschränkt und so nach der Stapelung das Migrationsabbild in Abbildung 19 erzeugt. Hier sind in der Tiefenscheibe mehrere WNW-ESE streichende Reflektorelemente zu erkennen, welche steil nach SSW einfallen (Abbildung 20).

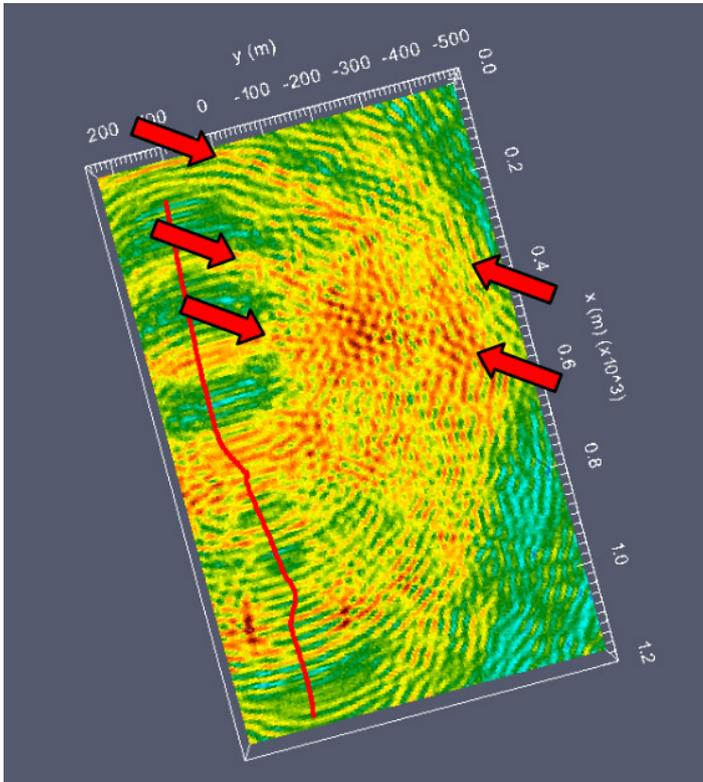


Abbildung 19: Tiefenscheibe durch das migrierte Volumen, erzeugt für eine auf 50m reduzierte Apertur der Daten.

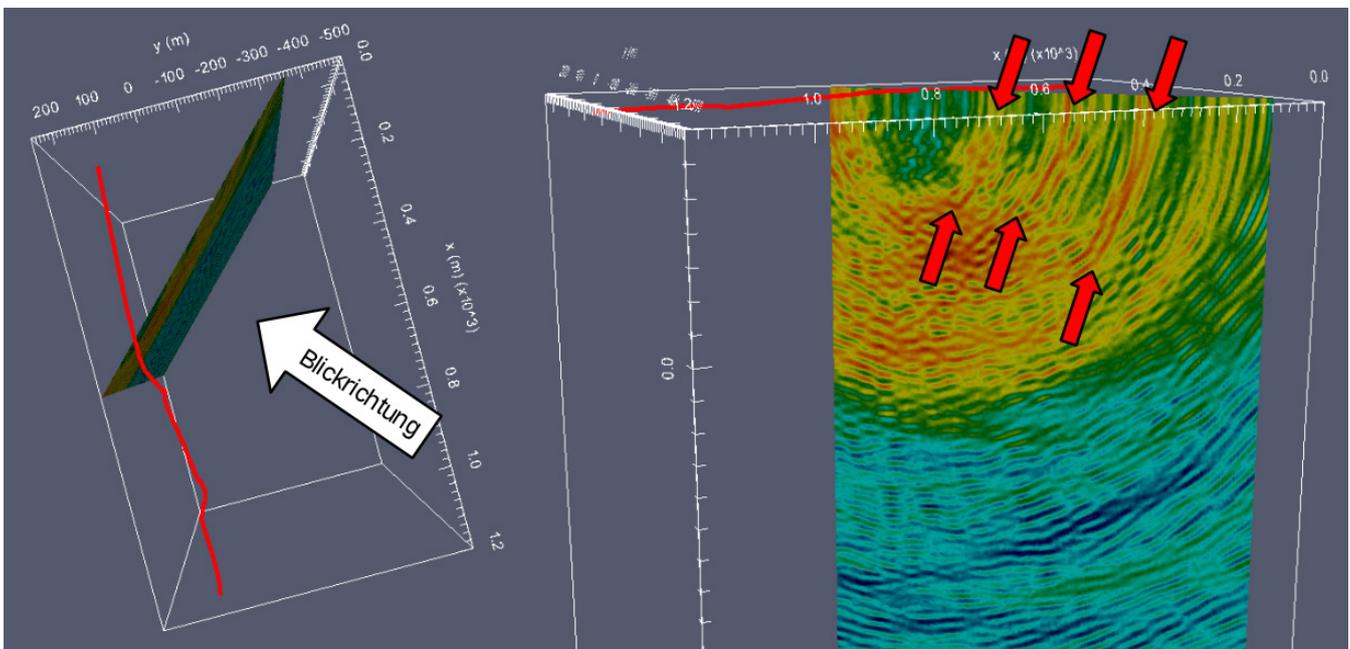


Abbildung 20: Schnitt durch das migrierte Volumen, erzeugt für eine auf 50m reduzierte Apertur der Daten. Der Tiefenschnitt liegt senkrecht zu den in Abbildung 19 erkennbaren Reflektoren.

2.2.4 Interpretation

Das P-Wellengeschwindigkeitsmodell zeigt eine geringmächtige Niedriggeschwindigkeitsschicht von etwa 30m Mächtigkeit im Untersuchungsgebiet, welche als sedimentäre Überdeckung interpretiert werden kann. Diese kann teilweise noch den Verwitterungshorizont des Grundgebirges miteinschließen. Darunter steigt die Geschwindigkeit schnell auf etwa 5000 m/s an, was für das anstehende ungestörte Grundgebirge spricht. Bei Profilmeter 250 bis 400 m (nördlicher Abschnitt des Profils) ist der Geschwindigkeitsanstieg abgeschwächt, was als oberflächennaher Ausdruck einer Störungszone in diesem Bereich interpretiert werden könnte (Abbildung 16). Dieser schwächere Geschwindigkeitsanstieg könnte durch eine mächtigere quartäre Bedeckung infolge tektonischen Versatzes der syn-/präquartären Paläooberfläche oder durch tektonischen Zersatz des Grundgebirges verursacht worden sein.

Durch die Bearbeitung der Daten im Migrationsvolumen war es möglich oberflächennahe Reflektoren, abweichend vom ursprünglichen Profil, in einem Schnitt senkrecht zu ihrem Streichen aufzulösen (Abbildung 19; Abbildung 20). Diese Reflektoren treten als subparallele, etwa WNW-ESE streichende, steil nach SSW einfallende, Schar auf. Teilweise liegen diese Reflektoren nördlich außerhalb des ursprünglichen seismischen Profils. Insgesamt können die Reflektoren mit der mächtigeren Niedriggeschwindigkeitsschicht (Geschwindigkeitsmodell) im nördlichen Bereich des Profils in Verbindung gebracht werden. In Anbetracht der homogenen Geologie im untersuchten Gebiet (Kerngranulit) ist anzunehmen, dass die steilen Reflektoren tektonische Störungen repräsentieren. Das Auftreten als Schar zeigt an, dass diese wohl als Teilstörungen einer höher geordneten Störungszone zu begreifen sind. Gegenüber der aus dem Zschopautal verlaufenden Störung im SE ist diese Störungszone bei ähnlicher Orientierung leicht verschoben. Es ist anzunehmen, dass die beobachtete Störungszone mit der NW-SE streichenden Störung des Zschopautales gekoppelt ist. Der genaue Verlauf der festgestellten Störungsflächen über das Untersuchungsgebiet des seismischen Experiments hinaus sowie deren strukturelle Relation zueinander bleibt jedoch ungewiss.

Ein subhorizontaler Reflektor im Tiefenbereich von 1,0-1,2 km stellt sich aufgrund seiner Tiefe und Lagerung als schwer interpretierbar heraus. Eine denkbare Ursache für eine solche Reflektionsfläche könnte ein lithologischer Kontakt, bspw. zu einem Metabasitkörper, sein.

3 Bruchtektonische Karte des Sächsischen Granulitgebirges

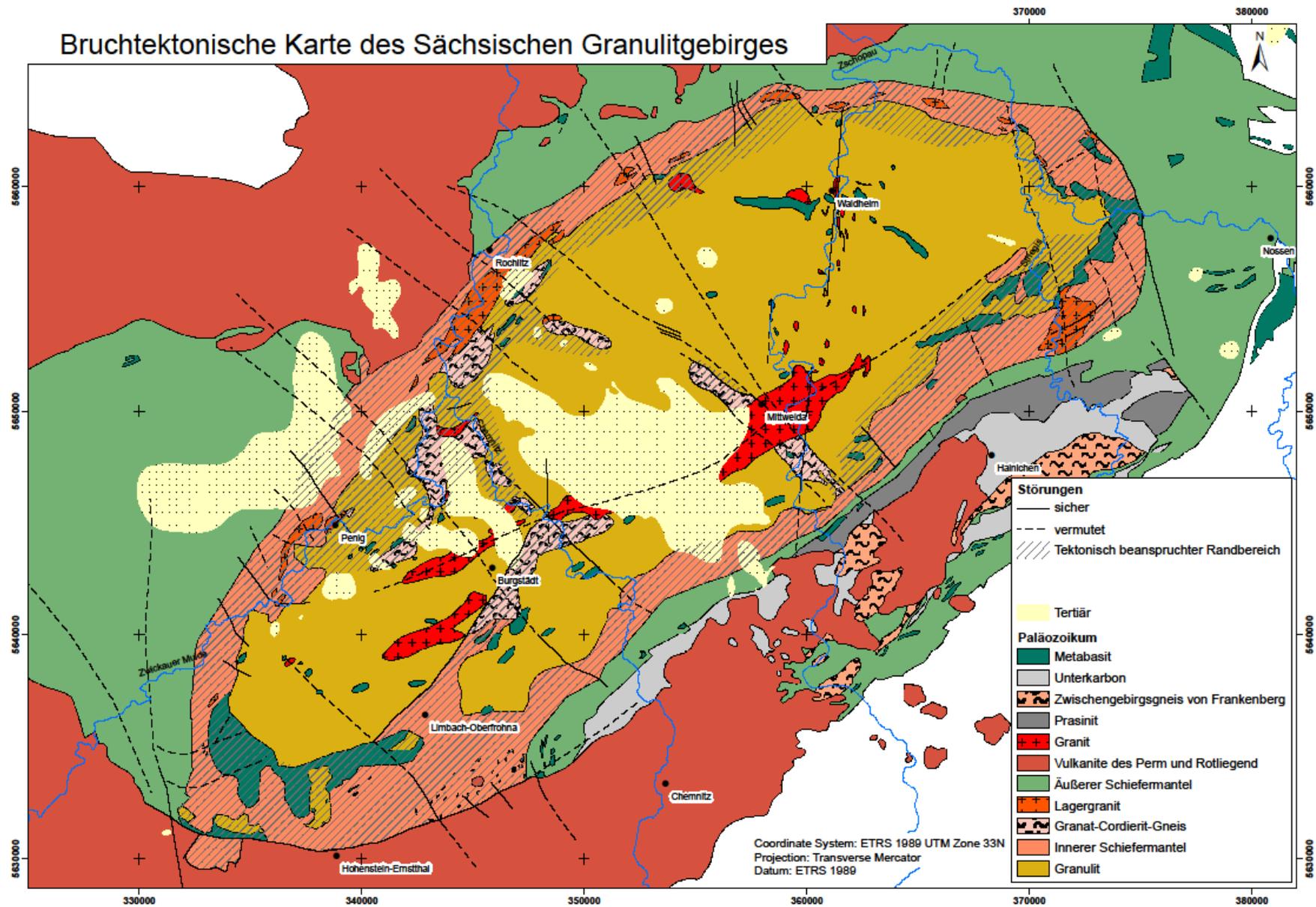


Abbildung 21: Bruchtektonische Karte des Sächsischen Granulitgebirges

3.1 Erläuterungen zur Bruchtektonischen Karte

Mittels ArcGIS wurde eine Geodatabase nebst Projekt angelegt, welche die gesammelten Daten der Bruchflächenkartierung positionsbezogen visualisieren soll. Zudem wurde aus den Erkenntnissen der Kartierungsarbeiten und der bestehenden Datenbasis eine Störungskarte des sächsischen Granulitgebirges erarbeitet. Unterstützt wird das GIS-Projekt zudem mit einer Geologischen Karte und geomorphologischen Vektor- und Rasterdaten. Die erarbeiteten Daten liegen in Form einer Geodatenbank vor.

Grundlage – Geologische Karte und Geomorphologie:

Grundlage des GIS-Projektes bildet eine geologische Karte der paläozoischen Einheiten des sächsischen Granulitgebirges und umgebender regionalgeologischer Einheiten. Im Granulitgebirge werden hierzu die Granulite, die Metabasite, Granite, Lagergranite, der innere und der äußere Schiefermantel (einschließlich Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirge) ausgehalten. Im Frankenberger Zwischengebirge kommen Prasinite, Zwischengebirgsgneise und unterkarbone Einheiten hinzu. Im angrenzenden Erzgebirgsbecken und im Nordsächsischen Vulkanitkomplex werden permische Vulkanite und Rotliegendensedimente als eine Einheit ausgehalten. Zudem sind separate Shapefiles für die tertiäre und quartäre (GK50 Eiszeit) Bedeckung vorhanden. Die geologische Karte basiert größtenteils auf der GK 100 von TESSIN et al. (1989), den GK 200 von BLÜHER et al. (1962) und BEHR et al. (1965) sowie den Kartenblättern Chemnitz, Meissen und Mittweida der GK 50 Eiszeit von Sachsen.

Geomorphologische Informationen sind in Form eines DGM 10 Schummerungsbildes und Vektorlinien von Rücken, Tälern und geomorphologischen Lineationen vertreten (Arbeitsgruppe „Tektonische Geomorphologie Sachsen“, Prof. Klaus Stanek, TUBAF).

Bruchflächenkartierung:

Die Untersuchungen der Bruchflächenkartierung werden in Form eines Punktshapefiles der einzelnen Aufschlusspunkte wiedergegeben. Das Shapefile beinhaltet Kartierungsbezeichnung, Aufschlussnummer und Kurzbeschreibung der einzelnen Aufschlüsse. Außerdem führen Hyperlinks den Nutzer zu den jeweiligen Klüftrosen und Plots im Schmidtschen Netz der jeweiligen Aufschlüsse. Die Plots liegen als mehrseitige .pdf-Dateien vor.

Zur raschen Ansicht und Bewertung der Daten wurde zudem ein weiteres Punktshapefile angelegt. Dieses soll die am Aufschluss vertretenen Bruchflächenscharen nach Streichrichtungen und Zeitraum der Aktivierung auseinanderhalten. Die Attributtabelle enthält den Namen der Kartierung, Aufschlussnummer, Streichrichtung (0-180°), Flächentyp und eine Alterseinstufung. Eine Flächenschar am Aufschluss wird jeweils durch einen Punkt repräsentiert.

Die Alterseinstufung der Flächenscharen erfolgt nach Nummer:

- 0 – postvariszische Brüche (granulitextern)
- 1 – variszische und direkt exhumierungsbezogene Brüche (granulitintern)
- 2 – geomorphologisch wirksame Brüche (granulitextern), tendenziell jünger und wasserdurchlässig

Die Granulitinternen Brüche umfassen Bruchstrukturen, welche ursächlich mit der Genese des Granulitgebirges assoziiert sind (erste Generation). Die Granulitexternen Brüche umfassen Bruchstrukturen, welche Ausdruck des großregionalen Spannungsfeldes in der Oberkruste sind (zweite Generation). Die Streichrichtungen der Flächen werden in Form einer einfachen einrotierten Linie je Flächenschar wiedergegeben. Somit ergibt sich für jeden Aufschluss das Bild einer vereinfachten Kluffrose mit Linien des Streichens für die vorhandenen Flächenscharen. Die Linien sind nach Alterseinstufung farbkodiert.

Weiterhin wurden den geomorphologischen Lineationen im GIS-Projekt nach drei verschiedenen Attribut-eigenschaften dargestellt, die sich auf die strukturelle Belegbarkeit dieser beziehen:

- 0 – kein Geländebeleg
- 1 – strukturell nachgewiesen
- 2 – nicht strukturell nachweisbar

Störungskarte

Die Ergebnisse der Datenakquisition von Etappe 1 und der Bruchflächenkartierung AP3 laufen in einem Störungsdatensatz des sächsischen Granulitgebirges zusammen. Die Vorgehensweise der Auswahl und Präzisierung der Störungen soll nun kurz erläutert werden.

Zunächst wurden Störungen, die in mehreren Karten (AP2) in ähnlicher Orientierung und Lage ausgehalten wurden, in die neue Störungskarte übernommen. Größere Störungen ohne zuzuordnenden Namen wurde ein ortsbezogener Arbeitstitel zugewiesen. In den Karten als „sicher“ charakterisierte Störungen wurden bevorzugt in den neuen Datensatz integriert. Danach erfolgte eine Präzisierung der Störungsverläufe nach geomorphologischen Aspekten (DGM 10 Schummerung und geomorphologische Lineamente) und gegebenenfalls lithologisch-tektonischen Kontakten, wie sie aus der GK 50 ersichtlich waren (z.B. Hohenstein-Ernstthaler Störung). Bei mehreren Quellen ohne weitere Anhaltspunkte wurde ein mittlerer Verlauf der Störungen gewählt. Anschließend wurde der vorläufige Störungsdatensatz mit den Ergebnissen der Bruchflächenkartierung, einschließlich der Störungsbefahrung, abgeglichen und ergänzt. Angefahrene vermutete Störungen konnten nach den strukturellen und morphologischen Belegen im Gelände teils bestätigt, teils angefochten werden. Neben dem strukturellen Beleg erfolgte, wenn möglich, eine weiterführende Charakterisierung der Störungen.

Der Hüllbereich des Granulitgebirges (Innerer Schiefermantel, Granat-Cordieritgneise, entregelte Randgranulite) ist tektonisch stark beansprucht, da mit dem Granulitauftstieg verbundene intensive duktile, spröd-duktil bis spröde Deformation in diesem Bereich stark vertreten ist. Retrogrades Mineralwachstum (z.B. Biotit bei den Randgranuliten) und die duktile Scherzonenentwicklung brachten mylonitische Foliationsflächen mit ausgeprägter Spaltbarkeit hervor. Spätere spröd-duktil bis spröde Deformation konzentriert sich auf steil konjugierte Abschiebungsbewegungen mit wahrscheinlich umlaufenden Streichen. Dieser Bereich wurde dem GIS-Projekt in Form eines Polygons als „tektonisch beanspruchter Randbereich“ hinzugefügt.

Die Attributfelder des Shapefiles der Störungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Felder der Attributtabelle des Störungs-Linien-Shapefiles. Mögliche Feldeinträge in Beispielen dargestellt.

Attributfeld	Beispiel-Einträge
Name	Hohenstein-Ernstthaler-St.
AltName (Alternativname)	Hohensteiner-St.
Sicherheit	Vermutet; sicher
Referenz	NEUMANN & WIEFEL (1973), TESSIN et al. (1989), o.ä.
Feldbeleg	Kartierung Steinbruch ... ; Zschopautal Aufschluss 22; o.ä.
Typ	Abschiebung, Aufschiebung; o.ä.
Länge (km)	12,5; 0,1 – 0,5; o.ä.
Breite (m)	800; <100; 0,5-2; o.ä.
Lagerung	vertikal/saiger; flach; 30-45° R. E; o.ä.
Eigenschaften	unverfestigte Letten; Reaktivierung eines Granitgangs; o.ä.
Alter	postvariszisch; känozoisch; o.ä.

4 Petrophysikalische Charakterisierung

An orientiert genommenen Gesteinsproben (Tabelle 2) wurden petrophysikalische Untersuchungen im petrophysikalischen Gesteinslabor des Geoforschungszentrums Potsdam durchgeführt. Bei der Probenahme wurde darauf geachtet, dass die Proben möglichst unverwittert sind. Die Proben selbst sollen typische, weit verbreitete Lithologien der zentralen Bereiche des Sächsischen Granulitmassivs repräsentieren: Kerngranulite, Randgranulite, Granite und Kerngranulite mit entregeltem Gefüge (aufgelöste Foliation). Die Untersuchungen umfassen Ultraschallmessungen zur Bestimmung seismischer Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten sowie Messungen der spezifischen elektrischen Widerstände und Porositäten.

Tabelle 2: Proben für die petrophysikalischen Untersuchungen.

Probenbezeichnung	Lithologie	Lokalität	Hauptphasen
Hart 9	Entregelter Kerngranulit	Hartmannsdorf	Quarz, Mesoperthit, Plagioklas, Granat
D03	Kerngranulit	Diethensdorf	Quarz, Mesoperthit
Hart 3	Kerngranulit	Hartmannsdorf	Quarz, Mesoperthit, Plagioklas, Granat
D04	Ganggranit	Diethensdorf	Quarz, Mesoperthit, Biotit, Chlorit
Etz3	Biotit-Granulit (Randgranulit)	Etzdorf	Quarz, Mesoperthit, Plagioklas, Biotit

4.1 Durchführung

Die Messungen wurden an je drei senkrecht orientierten Bohrkernen pro Probe durchgeführt. Diese sind 6 cm lang, 3 cm im Durchmesser und im rechtshändigen Koordinatensystem des finiten Verformungsellipsoids xyz (x – Lineation, z – senkrecht zur Foliation) gesägt. Proben ohne erkennbare Lineationen (Etz 4 – Granit, Hart 9 – entregelter Granulit) wurden in einem willkürlichen Koordinatensystem abc geschnitten. Die Endflächen der Zylinder wurden im Schleiflabor des Geoforschungszentrums planparallel geschliffen und poliert. Sämtliche Messungen wurden unter Normalbedingungen durchgeführt.

Die Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von P- und S-Wellen erfolgte mittels eines Versuchsaufbaus mit Ultraschall-Piezoschwingern (Abbildung 21). Die Probe wird zwischen zwei Schwingern benetzt mit einer Kontaktflüssigkeit in die Haltevorrichtung eingespannt. Am Oszilloskop wird der Welleneinsatz bestimmt. P-Wellen wurden an mit Wasser gesättigten und ungesättigten Proben gemessen. S-Wellen wurden an ungesättigten Proben mit polarisierten Piezoschwingern in zwei Polarisationsrichtungen gemessen. Eine Polarisationsrichtung erfasst die maximale vs während die zweite Richtung senkrecht zu dieser orientiert ist.

Der spezifische elektr. Widerstand der Zylinder wurde mittels einer 4-Punkt Elektroden Anordnung ermittelt. Die Endflächen der wassergesättigten Probenzylinder (3% NaCl) wurden in einer Haltevorrichtung zwischen die zwei Elektroden A und B eingespannt (Abbildung 22). Auf A und B wird eine Spannung angelegt; ein resultierender Spannungsabfall wird zwischen den Elektroden M und N aufgezeichnet. Aus der ermittelten Spannung, der Entfernung der Elektroden voneinander und der Querschnittsfläche der Probe wird der spezifische elektrische Widerstand berechnet. Die Porosität wurde mittels einwägen getrockneter und wasserge-

sättiger Proben ermittelt. Aus der Differenz der Probenmasse erfolgt die die Bestimmung des enthaltenen Wasservolumens und somit der Porosität. Die Bestimmung der Gesteinsdichte erfolgte archimedisch.

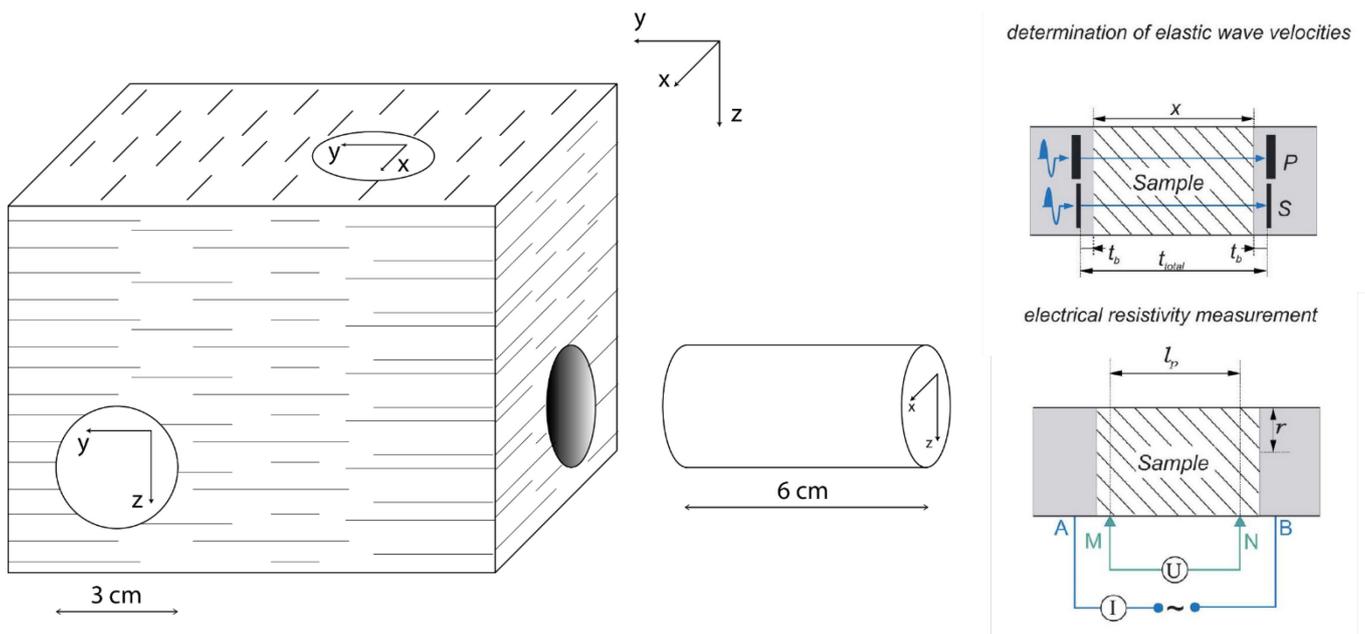


Abbildung 22: Links: Skizze zur Orientierung der Probenzylinder für die petrophysikalischen Untersuchungen. Rechts: Messaufbau für Ultraschall- und Widerstanduntersuchungen nach Kummerow & Spangenberg 2011.

4.2 Resultate

Randgranulit (Etz 3)

Der Randgranulit zeigt eine signifikante seismische Anisotropie. P-Wellengeschwindigkeiten senkrecht zur Foliation fallen deutlich geringer aus als in Kerngranuliten oder im Granit. Im Gegensatz zu der Gesamtheit der übrigen Proben stehen die P-Wellen-Geschwindigkeiten der Zylinder von Etz 3 in keinem erkennbaren Zusammenhang mit deren Dichte (Abbildung 23). Die P-Wellen-Anisotropie fällt deutlich ab im wassergesättigten Probenzustand; angezeigt durch den Anisotropie-Koeffizienten A_{vp} . Die Zylinderkerne in den Richtungen parallel zur Foliation zeigen ein deutliches *shear wave splitting*. Scherwellen, die parallel zur Foliation polarisiert sind (x;y) wandern schneller durch die Probe, was auf eine höhere Bruchdichte in dieser Orientierung hinweisen kann. Die Porosität der Probe Etz3 ist nur schwach (~0,9%) und Richtungsunabhängig vorhanden, aber dennoch deutlich stärker als in den anderen Proben ausgeprägt. Die spezifischen elektrischen Widerstände liegen teilweise weit unter denen der anderen Proben und sind ebenfalls weitestgehend Richtungsunabhängig.

Diese Probe des Randgranulits hebt sich aufgrund ihrer relativ starken elastischen Anisotropie stark von den anderen beprobten Gesteinen ab. Diese, vor allem von der Foliationsorientierung abhängige Anisotropie kann durch eingeregelter Glimmer und foliationsparallele Mikrobrüche erklärt werden.

Kerngranulit (D03, Hart3) und entregelter Kerngranulit (Hart9)

Die P-Wellengeschwindigkeiten steigen für alle Messungen der Kerngranulite und Granite etwa linear mit der Dichte an, wie die Regressionsgerade in Abbildung 23 zeigt. Zudem zeigen die P-Wellen-Messungen der Kerngranulite keine nennenswerten Geschwindigkeitsunterschiede zwischen nassem und trockenem Zustand sowohl im Vergleich von Proben als auch für die einzelnen Zylinderorientierungen miteinander an.

Die verschwindend geringen Porositäten dieser Gesteine beachtend, lässt sich schlussfolgern, dass es keine signifikante Mikrobruchdichte in den Kerngranuliten und entregelten Kerngranuliten gibt; P-Wellen-Geschwindigkeiten im Kerngranulit sind in erster Linie dichteabhängig. Dennoch tritt bei den Proben D03 und Hart3 *shear wave splitting* parallel zur Foliationsebene auf. Auch Hart 9 zeigt *shear wave splitting* in einer räumlichen Orientierung in sehr geringer Ausprägung an. Da die Gesteine gewissermaßen keine Porosität besitzen ist *shear wave splitting* entweder durch die seismische Anisotropie bevorzugt orientierter Minerale im metamorphen Gefüge oder Dichtekontraste innerhalb einer metamorphen Bänderung zu erklären. Besonders die Proben D03 und Hart 3 zeigen derartige Dichtekontraste zwischen den einzelnen Zylinderkernen (Abbildung 23).

Es lässt sich schlussfolgern, dass geregelte und entregelte Granulite dichte Gesteine darstellen, die keine signifikante Mikrobruchdichte aufweisen. Sehr geringe Porositäten und sehr große spezifische elektrische Widerstände zeigen das an. Seismische Anisotropien der S-Wellen in geregelten Granuliten hängen wahrscheinlich mit der Variation der Hauptgemengteile innerhalb der metamorphen Bänderung zusammen und sind gering ausgebildet.

Granit (D04)

Die Granitprobe verhält sich seismisch Isotrop; angezeigt sowohl durch P-Wellen- als auch durch S-Wellen-Geschwindigkeitsmessungen. Darüber hinaus ist der Granit durch eine sehr geringe Porosität und hohe spezifische elektrische Widerstände gekennzeichnet. Die ermittelten P-Wellengeschwindigkeiten gliedern sich in den linearen Zusammenhang von P-Wellengeschw. (trocken) und Dichte gemeinsam mit den gemessenen Kerngranuliten ein. Es kann geschlussfolgert werden, dass im Granit kaum mit offenständigen Mikrobüchen zu rechnen ist. Diese Beobachtung deckt sich mit mikroskopischen Untersuchungen.

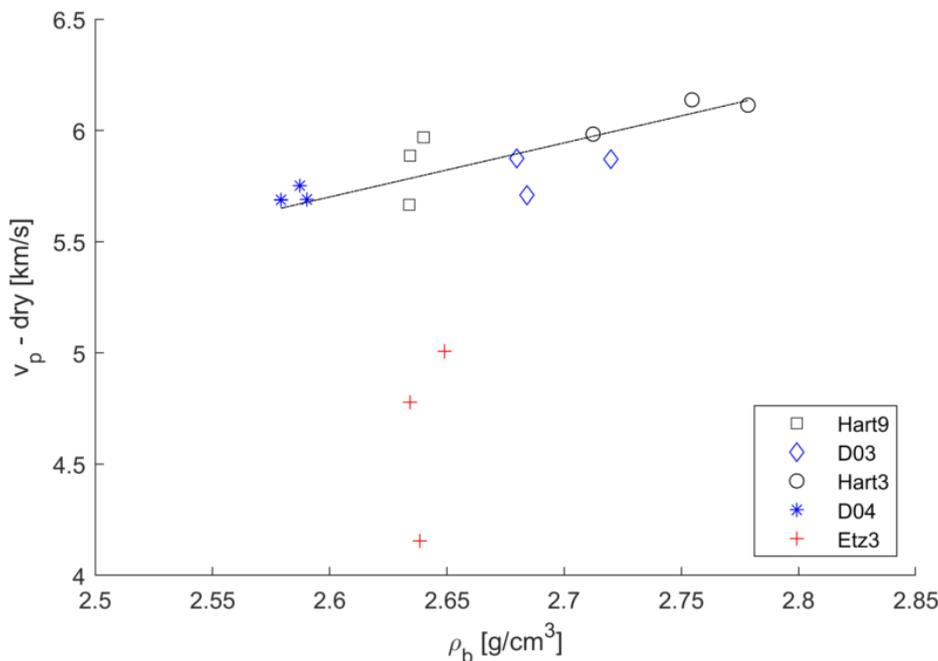


Abbildung 23: Gesteinsdichte gegen die P-Wellengeschwindigkeit im trockenen Probenzustand für alle gemessenen Gesteinszylinder (zusammengefasst nach Probenbezeichnung). Regressionsgerade für D04, Hart 3, D03 und Hart 9 schwarz gestrichelt.

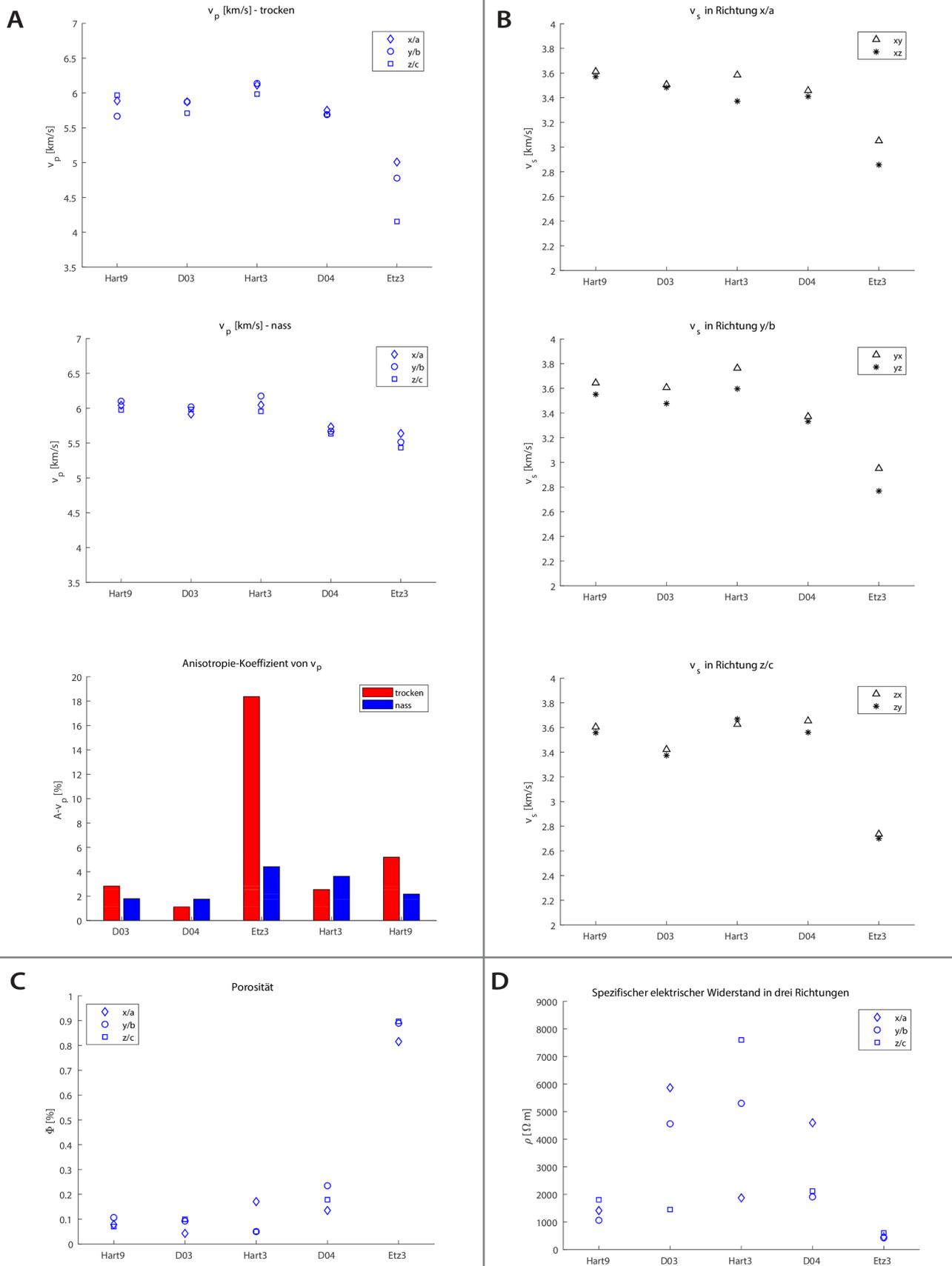


Abbildung 24: Ergebnisse der Petrophysik. A: P-Wellen; B: S-Wellen; C: Porosität; D: Spez. elektr. Widerstand.

5 Mikrostrukturelle Untersuchungen

Von orientierten Granulit- und Granitproben wurden Dünnschliffe angefertigt und polarisationsmikroskopisch untersucht. Aus Endstücken der Zylinderkerne der petrophysikalischen Untersuchungen wurden zudem Dünnschliffe in der Orientierung des runden Zylinderquerschnitts angefertigt.

Im Kerngranulit ist kein signifikantes Auftreten von offenständigen Mikrorissen in Vorzugsorientierungen erkennbar. Diese Übereinstimmung mit den Ergebnissen der petrophysikalischen Untersuchungen lässt darauf schließen, dass diese Gesteine mehrheitlich sehr impermeabel sind. Mit größerer Häufigkeit treten Quarz-verfüllte Brüche und schmale granitische Adern unterschiedlichster Größenordnungen auf. Diese Brüche sind häufig synkinematisch entstanden; angezeigt durch rekristallisierte Quarze mit hoher Subkorn-dichte innerhalb des Bruchs. Stellenweise werden diese Brüche überschert, sodass die spröde Struktur partiell duktil überprägt wird. Weiterhin treten im Kerngranulit Sillimanit und Hellglimmer verfüllte Risse und durch statische Rekristallisation verheilte Risse auf (Abbildung 25).



Abbildung 25: Dünnschliffaufnahmen ausgewählter Bruchstrukturen verschiedener Granulite.

A: Randgranulit (Etzdorf, linear polarisiert) bricht foliationsparallel.

**B: Hellglimmer verfüllter HT-Bruch wird von ausgeheiltem HT-Bruch angeschnitten;
Randgranulit (Naundorf, gekreuzt polarisiert).**

**C: HT-Brüche im Kerngranulit (Hartmannsdorf, gekreuzt polarisiert), in Quarzen ausgeheilt,
in Granaten und an Korngrenzen mit Sillimanit verfüllt.**

**D: Breiter Alterationssaum um einen ausgeheilten HT-Bruch (Randgranulit Naundorf,
....linear polarisiert).**

Oft werden diese Risse begleitet von einer breiten Alterationszone, die wahrscheinlich auf metasomatische Prozesse zurückzuführen sind. Ein Kerngranulit aus Hartmannsdorf zeigt derartige Brüche, welche in Quarzen völlig ausgeheilt und daher nicht sichtbar sind; jedoch in Form von Sillimanit-Mineralisationen an Korngrenzen und innerhalb gebrochener Granatkörner nachvollziehbar werden.

Diese werden als frühe Hochtemperatur-Risse interpretiert, die sich während der retrograden Metamorphose öffneten. Entsprechend dem Metamorphosepfad der Granulite (RÖTZLER & ROMER 2001) müssen die Sillimanit-Brüche bei mindestens $\sim 780^{\circ}\text{C}$ und $\sim 20\text{kbar}$ entstanden sein. Als Grund für dieses spröde Materialverhalten unter derart hoch temperierten Bedingungen während der Dekompression kommen hohe Verformungsraten und/oder Fluidüberdruck bei hohen Temperaturen infrage. Die HT-Mikrobrüche orientieren sich weder an Korngrenzen noch an der SPO. Es liegt daher nahe, dass deren Orientierung durch die mechanische Anisotropie der kristallografischen Vorzugsorientierung der jeweiligen Minerale des Granulits beeinflusst sein könnte. Auch im Randgranulit treten solche HT-Brüche, jedoch untergeordnet, auf. Im Gegensatz zum Kerngranulit sind Brüche im Randgranulit jedoch häufig offenständig. Dieses Bruchsystem scheint wesentlich durch die Strukturentwicklung der Abscherzone und retrogrades Mineralwachstum beeinflusst zu sein (Abbildung 25). So orientieren sich Brüche bevorzugt an foliationsparallelen Biotitlagen oder an Scherbändern. Diese Brüche erklären die beobachtete starke seismische Anisotropie und vorhandene Porosität der Randgranulite.

Zusätzlich wurde die kristallografische Vorzugsorientierung von Quarz in den Granuliten gemessen, um Zusammenhänge zwischen dieser und dem rezenten Bruchmuster untersuchen zu können. Bereits BEHR (1961) dokumentierte im Sächsischen Granulitgebirge unterschiedliche Texturgefüge. Diese Quarz-C-Achsenmessungen offenbarten vorwiegend c-Achsen-Kleinkreisregelungen im Kerngranulit und Kreuzgürtel in den randlichen Bereichen des SGM. Quarztexturen von POPP (2008) belegen den starken Einfluss junger Scherzonen am Granulitrand auf die ältere Granulit-Textur. Diese Beobachtungen können durch EBSD-Messungen bestätigt werden. Um die Ergebnisse der Texturmessungen mit den im Gelände auftretenden Bruchflächen vergleichen zu können, wurden die Quarz-Polfiguren geografisch rotiert (Abbildung 26). Es wird deutlich, dass sich besonders im Randgranulit (Etz 3) Klufflächenscharen (NE-SW-, E-W-, NW-SE-Klüfte) und lokale Maxima der Quarz-Basalflächen überschneiden. Um einen konkreten Zusammenhang zwischen Gesamtgesteinstextur und HT-Mikrobrüchen sowie der rezenten Bruchverteilung zu belegen sind jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig.

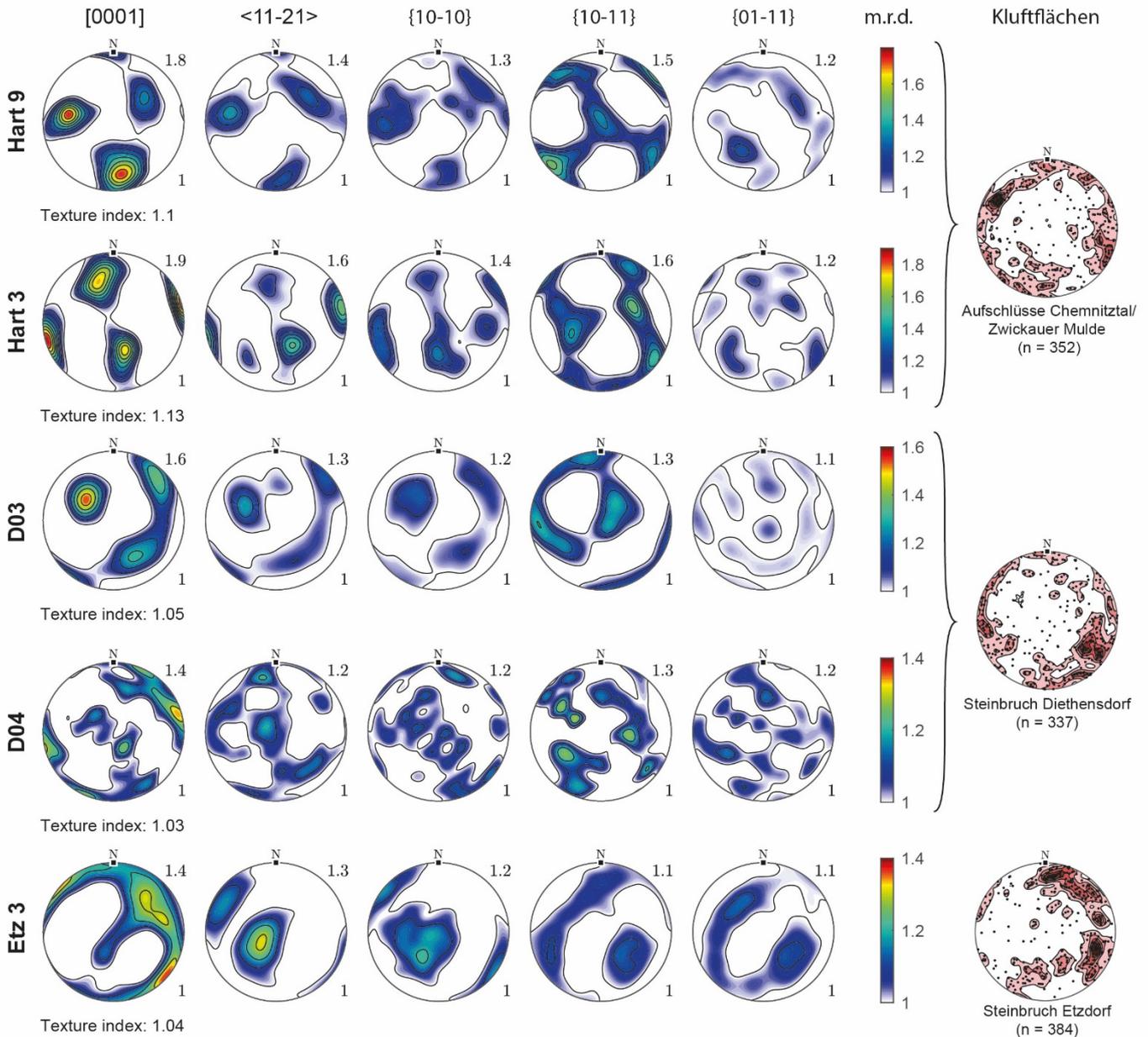


Abbildung 26: Quarz-Texturmessungen – geografisch orientiert und Flächenpole von Klüften (alle obere Hemisphäre, winkeltreue Projektion), v.l.n.r.: die Polfiguren der c-Achsen, a-Achsen, Prismenflächen, pos. und neg. Rhomboederflächen von Quarz. Konturlinien der Polfiguren in 0.1-Schritten der m.r.d. (multiples of a random density).

6 Katalog-Bruchstrukturen

6.1 Granulitinterne Brüche

Die Granulitinternen Brüche umfassen Bruchstrukturen, welche ursächlich mit der Genese des Granulitgebirges assoziiert sind (erste Generation).

HT-Mikrobrüche

Hoch-Temperaturbrüche im Granulit sind erkennbar durch schmale mit Hellglimmer oder Sillimanit verfüllte Spuren im Dünnschliff. Innerhalb von Quarzkörnern lassen sich die Brüche zumeist infolge von Rekristallisation ausgeheilt und daher nicht durchgehend sichtbar. In Feldspäten machen sich die Brüche teils durch Subkorngrenzen bemerkbar. Entsprechend dem Exhumierungspfad des Sächsischen Granulitgebirges kann geschlussfolgert werden, dass diese Brüche älter als 330 Ma sein und sich teilweise bei über 780°C gebildet haben müssen.

Metasomatische Dehnungsbrüche

Diese variszischen Dehnungsbrüche reaktivieren vor allem präexistente duktile Strukturen, wie kleinräumige Scherzonen und Scherbänder innerhalb des Kerngranulits. Bis zu zentimeterbreite Alterationssäume („Granitisation“) um die Brüche weisen auf metasomatische Prozesse hin. Brüche dieser Art sind im gesamten Kerngranulit, aber auch in entregelten randlichen Granuliten vertreten.

Syn- und postkinematische Granitgänge

Das Sächsische Granulitgebirge beinhaltet eine Vielzahl von Granitgängen unterschiedlicher Mächtigkeit und Orientierung. Die häufigsten vertretenen Streichrichtungen sind N-S, E-W und NE-SW. Im Kerngranulit auftretende Granitgänge sind zumeist postkinematische Bildungen. Häufig werden Granitkontakte später in Form von jüngeren Störungen reaktiviert. Neben dem mächtigen Granitbatholith von Mittweida, der eine große postkinematische Ruptur innerhalb des Kristallinkomplexes darstellt, steht im Zschopautal eine Vielzahl N-S streichender Granitgänge an. Im Randgranulit intrudieren Granite syn- bis postkinematisch, wobei sich Generationen unterschiedlicher Granitgänge nicht klar abgrenzen lassen. Vielmehr sind wiederkehrende Granitintrusionen und die Kinematik der Abscherzone als synchron ablaufende Prozesse zu betrachten.

Umlaufende Abschiebungen (tektonisch beanspruchter Randbereich)

Die umlaufenden Abschiebungen sind hauptsächlich im inneren Schiefermantel (einschließlich der Lagergranite), in den Granat-Cordierit-Gneisen und den Bt-reichen Randgranuliten verbreitet (tektonisch gestörter Randbereich in der Bruchtektonischen Karte). Aufgrund der ellipsoiden Geometrie des SGM kann davon ausgegangen werden, dass die Flächen vorwiegend NE-SW streichen. Diese Abschiebungen sind wahrscheinlich mit dem finalen vertikalen Aufstieg des Sächsischen Granulitgebirges auf oberkrustale Niveaus gekoppelt. Das Materialverhalten ist spröde-duktil bis spröde. Es werden teilweise präexistente Flächen reaktiviert, wie mylonitische Foliationen und andere duktile Scherzonen-assoziierte Strukturen. Charakter und Geometrie dieser Störungen ist besonders gut am synkinematischen Berbersdorfer Granit nachzuvollziehen. Dort, am SE-Rand des SGM, fallen postintrusive konjugierte Abschiebungen nach NW und SE ein. Diese sind teilweise mehrere Meter mächtig und sowohl als verfestigte Kataklasite als auch unverfestigt mehrphasig ausgeprägt. Die markanteste vertretene Störung stellt die Hohensteiner-Störung an der SW Grenze des SGM dar. Diese permische Abschiebung grenzt das SGM vom Chemnitzer Becken ab und macht sich durch eine deutliche Geländekante bemerkbar. Ein einzelnes Epizentrum geringer Magnitude aus dem Jahr 1983 liegt auf der Störung (LEYDECKER 2011). Geomorphologische Untersuchungen der Arbeitsgruppe „Tektonische Geomorphologie Sachsen“ von Prof. Klaus Stanek zeigen eine aktive Blockhebung an dieser

Störung an. Die mehrphasige strukturelle Prägung des heterogenen Randbereiches, insbesondere der Abschiebungen, bildet eine tektonische Schwächezone um den rigiden Kristallinkomplex und macht eine potentielle neotektonische Gefährdung in diesem denkbar.

Foliationsparallele Klüftung

Im Gegensatz zum Kerngranulit bilden die randlichen, retrograd überprägten Granulite (Bt-Granulit) eine ausgeprägte, offenständige, teils wasserführende Klüftung aus. Diese foliationsparallelen Brüche lassen sich makro- bis mikroskopisch nachvollziehen. Petrophysikalisch äußern sich die Brüche durch eine starke seismische Anisotropie von S- und P-Wellen sowie richtungsunabhängige relativ geringe spezifische elektrische Widerstände und eine erhöhte Porosität gegenüber den Kerngranuliten. Da die Foliation in diesem Bereich häufig verfalltet vorliegen kann, können diese Brüche steil bis flach gelagert sein. Teilweise werden diese Klüfte auch als Abschiebungen reaktiviert (Granulitaufstieg). Die foliationsparallelen Klüfte sind, wie auch die umlaufenden Abschiebungen, vor allem im tektonisch gestörten Randbereich des SGM verbreitet und können daher in ähnlichem Maße als potentiell neotektonisch reaktivierbare Flächenschar eingeschätzt werden.

6.2 Granulitexterne Brüche

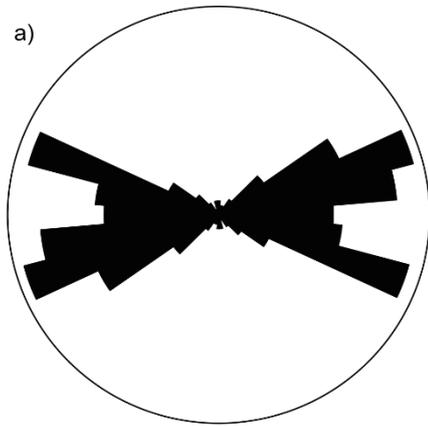
Die Granulitexternen Brüche umfassen Bruchstrukturen, welche Ausdruck des großregionalen Spannungsfeldes in der Oberkruste sind (zweite Generation). Sie stehen in keinem direkten Zusammenhang mit der Genese des Granulitgebirges.

N-S-Klüfte

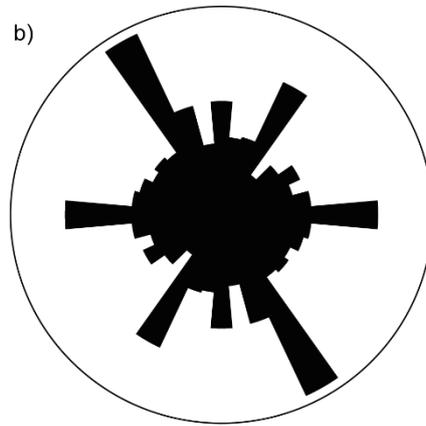
Von besonderer Bedeutung sind wasserführende, junge Klufflächen in N-S- bis NNE-SSW-Streichen. Diese sind subvertikal orientiert, zeigen keine Mineralisation, durchstoßen alle anderen Klüfte und dehnen sich weit über den Aufschluss aus. Meist treten sie lokalisiert als Schar subparalleler Flächen mit Abständen von etwa 5 bis 50 cm auf. Zudem können sie häufig mit geomorphologischen Merkmalen der näheren Umgebung in Verbindung gebracht werden. Entlang des Zschopautals treten diese Flächen gemeinsam mit schmalen Störungen vermehrt auf und lassen auf eine breite NNE-SSW-orientierte, durch Dehnung dominierte, jüngere tektonische Zone schließen (Arbeitstitel: „Waldheimer Störung“). Diese Klufttrichtung prägt die Morphologie des Zschopautales im Granulitgebirge maßgeblich, obwohl die Flächen weniger häufig auftreten als andere Klufttrichtungen. Es ist anzunehmen, dass diese nur einen sehr geringen Versatz akkumuliert hat. Diese Zone ist wahrscheinlich auf diesen Bereich des Granulitgebirges lokalisiert, da zu deren Entstehung bereits eine starke N-S-gerichtete Anisotropie durch die Verteilung N-S streichender Granitgangscharen präsent war. In Anbetracht der rezenten horizontalen Hauptspannungsrichtung in Mitteleuropa, die ebenfalls NNE-SSW orientiert ist, ist eine potentielle neotektonische, extensionale Aktivierung der Störungszone denkbar.

WNW-ESE-Klüfte

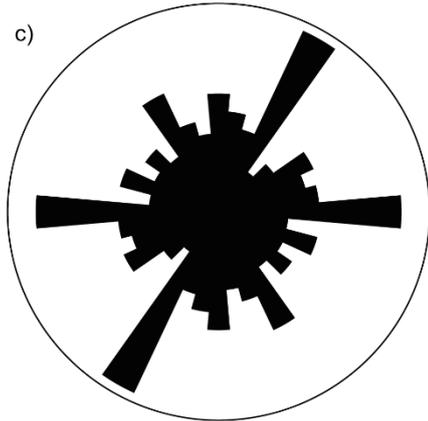
Steil einfallende, etwa WNW-ESE (tw. abweichend E-W) streichende Klüfte sind die am stärksten ausgeprägte, häufigste Klufflächenschar im gesamten Kristallinkomplex. Die Flächen können im gesamten Untersuchungsgebiet, in unterschiedlichen Lithologien, beobachtet werden. Untergeordnet treten WNW-ESE-orientierte Klüfte auch als lokalisierte Zonen engständig, lang aushaltender Flächen im Zschopau- und Chemnitztal auf. Im Vergleich mit den für das SGM erarbeiteten Geomorphologischen Lineationen (Arbeitsgruppe „Tektonische Geomorphologie Sachsen“) fällt auf, dass die WNW-ESE-Richtung die sowohl geomorphologisch als auch strukturell am stärksten vertretene Streichrichtung ist (Abbildung 27). Die bruchtektonische Kartierung konnte zeigen, dass WNW-ESE-streichende geomorphologische Lineationen häufig strukturell durch diese Dehnungsbrüche begründet werden können.



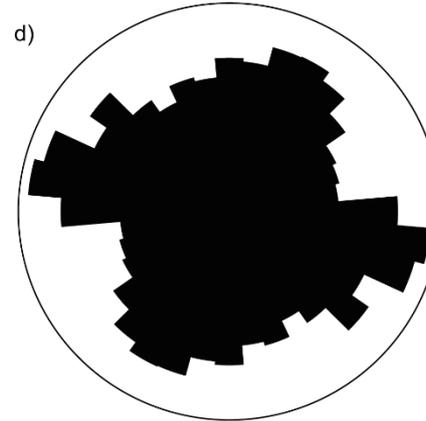
Richtungsrose - Geomorphologische Lineationen SGM,
n = 253 Liniensegmente



Richtungsrose - Täler SGM, n = 1379 Liniensegmente



Richtungsrose - Rücken SGM, n = 1509 Liniensegmente



Kluftrose Granulitgebirge, Dipangle > 40°, n = 3329

Abbildung 27: Vergleich des Rosendiagramms aller geomorphologischer Features: Lineamente (a), Täler (b), Rücken (c) (Arbeitsgruppe „Tektonische Geomorphologie Sachsen“) mit dem Rosendiagramm aller gemessenen Klüfte (>40° Einfallen) im Untersuchungsgebiet (d)

7 Schlussfolgerungen

Die im Projekt angestrebte Neubewertung des bruchtektonischen Inventars des Sächsischen Granulitgebirges konnte durch die gewählten methodischen Ansätze in Form einer bruchtektonischen Karte und eines Bruchflächenkataloges umgesetzt werden. Die Bruchtektonische Karte ist das Resultat einer umfassenden Datenakquise, einer Kartierungskampagne, eines seismischen Experiments und vorhergehenden fernerkundlichen geomorphologischen Untersuchungen. Die dargelegte Geodatenbank samt digitalen Anhängen liefert eine flächendeckende, hochaufgelöste Datenbasis zur Einschätzung spröder Strukturen im Untersuchungsgebiet. Zusammenhänge zwischen der zuvor bestehenden Datenbasis und den Ergebnissen des Projektes werden in Form einer Attributtabelle der kartierten Störungen hergestellt. Eine detaillierte Dokumentation der Strukturen einzelner Aufschlusspunkte in Form von Grafiken, Fotos und Beschreibungen gestattet die lückenlose Reproduzierbarkeit der im Gelände erhobenen Daten. Die Ergebnisse mikrostruktureller und petrophysikalischer Untersuchungen fließen wesentlich in den Katalog der Bruchstrukturen des Sächsischen Granulitgebirges ein.

Die Analyse des bruchtektonischen Strukturinventars zeigt auf, wie stark frühere, variszische Bruchgenerationen (Granulitinterne Brüche) und duktile Strukturen das rezente mechanische Verhalten innerhalb des Granulitgebirges prägen. Heute vorliegende offenständige Brüche treten in heterogener Verteilung und Häufigkeit auf. Mit der Analyse spröder Strukturen konnte eine Einschätzung zur potentiellen neotektonischen Gefährdung beider Bruchgenerationen, granulitintern wie granulitextern, erfolgen. Eine wesentliche tektonische Schwächezone stellt hierbei der Randbereich des Granulitgebirges dar. Dieser, infolge seiner Genese, lithologisch und strukturell äußerst heterogen aufgebaute Bereich weist eine hohe Dichte offenständiger Brüche und erhöhte Spaltbarkeit und Wasserführung der Gesteine auf. Umlaufende und konjugierte spätvariszische Abschiebungen sind in großer Dichte zu erwarten, auch wenn infolge der Aufschlusslage im Granulitgebirge bisher wenige direkte Nachweise erfolgt sind. Besonders hervorzuheben ist die markante, geomorphologisch wirksame „Hohensteiner Störung“ am SW-Rand des Granulitgebirges. Aber auch in den zentralen Bereichen des Granulitgebirges können tektonische Schwächezonen beschrieben werden. Entlang des Zschopautales treten etwa NNE-SSW streichende, junge, wasserführende Zonen engständiger Klufflächen verstärkt auf. Gemeinsam mit schmalen Störungen identischer Orientierung, bilden diese eine breite, weit aushaltende, von Dehnung dominierte Störungszone mit geringem Versatz. Diese Zone prägt die Morphologie des Zschopautales im Granulitgebirge maßgeblich und kann als nördliche Fortsetzung der morpho-tektonisch festgestellten Annaberg-Teplá *Fault Zone* (ANDREANI et al. 2014) interpretiert werden. Es ist wahrscheinlich, dass diese Zone bereits während der variszischen Platznahme des Granulits in der Oberkruste existent war, da eine Schar N-S-streichender Granitgänge ebenfalls in diesem Bereich verbreitet ist.

Literaturverzeichnis

- ANDREANI, L., STANEK, K., GLOAGUEN, R., KRENTZ, O., DOMÍNGUEZ-GONZÁLEZ, L. (2014): DEM-Based Analysis of Interactions between Tectonics and Landscapes in the Ore Mountains and Eger Rift (East Germany and NW Czech Republic). *Remote Sensing* 6, (9), 7971–8001.
- BEHR, H.-J. (1961): Beiträge zur petrographischen und tektonischen Analyse des sächsischen Granulitgebirges. *Freiberger Forschungshefte*, (C 119), 1–134.
- BEHR, H.-J., BLÜHER, H.-J., DOUFFET, H., EIBMANN, L., GOTTE, W., HOTH, K. (1965a): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik, Karte ohne Känozoische Bildungen, M-33-VII Karl-Marx-Stadt.
- BLÜHER, H.-J., GOTTE, W., HIRSCHMANN, G., HOTH, K., PUFF, P., HUEBSCHER, H. (1962): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik, Karte ohne Quartäre Bildungen, M-33-VIII Dresden – Chabarovive.
- FRANKE, W. (1993): The Saxonian Granulites: a metamorphic core complex? *Geol Rundsch* 82, (3), 505–515.
- GK100 (1976): Geologische Karte 1 : 100 000 Nordsächsische Mulde / Erzgebirgisches Becken, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- KRONER, U. (1995): Postkollisionale Extension am Nordrand der Böhmisches Masse – Die Exhumierung des Sächsischen Granulitgebirges, Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, Leipzig. 1. Aufl., 114 S.
- KRONER, U., GÖRZ, I. (2010): Variscan assembling of the Allochthonous Domain. In: Linnemann, U., Hrsg., *Pre-mesozoic geology of Saxo-Thuringia. From the cadomian active margin to the variscan orogen*, Schweizerbart, Stuttgart.
- KRÖNER, A., JAECKEL, P., REISCHMANN, T., KRONER, U. (1998): Further evidence for an early Carboniferous (~340 Ma) age of high-grade metamorphism in the Saxonian granulite complex. *Geol Rundsch* 86, (4), 751.
- KUMMEROW, J., SPANGENBERG, E. (2011): Experimental evaluation of the impact of the interactions of CO₂ -SO₂, brine, and reservoir rock on petrophysical properties: A case study from the Ketzin test site, Germany. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12, (5), n/a-n/a.
- KURZE, M. (1966): Die tektonisch-fazielle Entwicklung im Nordostteil des zentralsächsischen Lineaments. *Freiberger Forschungshefte*, (C 201), 5–40.
- LEHMANN, J. (1884): Untersuchungen über die Entstehung der altkrystallinen Schiefergesteine mit besonderer Bezugnahme auf das sächsische Granulitgebirge, Erzgebirge und Bairisch-Böhmische Grenzgebirge., Bonn.
- Leydecker, G. (2011): Erdbebenkatalog für Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2008, Schweizerbart, Stuttgart, 198 Seiten.
- MOTZ, H. (1997): Nordwestumrandung des Granulitgebirges – Geologische Karte des Grundgebirgsstockwerkes.
- NEUMANN, W., WIEFEL, H. (1973): Metallogenie Präkambrium, Teilgebiet Schiefermantel Granulitgebirge, Übersichtskarte, Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW der DDR, Institutsteil Berlin und VEB Geologische Forschung und Erkundung, Jena, Freiberg.
- NEUMANN, W., WIEFEL, H. (1974): Der Schiefermantel des sächsischen Granulitgebirges, lithostratigraphisch-lithofaziell gegliedert. *Zschr. geol. Wiss.* 6/12, 1409–1438.
- Pietzsch, K. (1963): *Geologie von Sachsen*, Dtsch. Verl. Wiss., Berlin.
- Popp, M. (2008): Auswertung von SKAT - Neutronen - Flugzeitspektren mit MTEX und Texturanalyse und Mikrogefügeuntersuchung von Hochdruck-/ Hochtemperaturgesteinen der böhmischen Masse. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg.

- QUADT, A. VON (1993): The Saxonian Granulite Massif: new aspects from geochronological studies. *Geol Rundsch* 82, (3), 516–530.
- RÖTZLER, J., ROMER, R. (2001): P–T–t Evolution of Ultrahigh-Temperature Granulites from the Saxon Granulite Massif, Germany. Part I: Petrology. *Journal of Petrology* 42, (11), 1995–2013.
- RÖTZLER, J., ROMER, R. (2010): The Saxon Granulite Massif: a key area for the geodynamic evolution of Variscan central Europe. In: Linnemann, U., Hrsg., *Pre-mesozoic geology of Saxo-Thuringia. From the cadomian active margin to the variscan orogen*, Schweizerbart, Stuttgart, 233–252.
- RÖTZLER, J., ROMER, R., BUDZINSKI, H., OBERHÄNSLI, R. (2004): Ultrahigh-temperature high-pressure granulites from Tirschheim, Saxon Granulite Massif, Germany: P-T-t path and geotectonic implications. *Eur.J.Mineral.* 16, (6), 917–937.
- SCHWANDKE, E. (1990): *Geologisch-strukturelle Entwicklung des sächsischen Granulitmassivs und angrenzender Grundgebirgseinheiten.*
- SÖLLIG, A., RÖLLIG, G. (1989): *Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik – Tektonische Karte 1:500.000*, Zentrales Geologisches Institut Berlin.
- TESSIN, R., SCHWANDKE, E., LÄCHELT, H., KAMPE, A. (1989): *Geologische Karte ohne Känozoikum. Einschätzung Rohstoffführung Grundgebirgseinheiten Südteil DDR – Mittelsachsen*, Berlin.
- WATZNAUER, A. (1974): Beitrag zur Frage des zeitlichen Ablaufes der Granulitgenese (Sächsisches Granulitgebirge). *Krystalinikum* 10, 181–192.
- WATZNAUER, A., BEHR, H.-J., MATHE, G. (1971): *Die Granulite Sachsens. Freiburger Forschungshefte, (C 268)*, 91–111.
- WERNER, C.-D. (1987): Saxonian Granulites: a contribution to the geochemical diagnosis of original rocks in high-metamorphic complexes. *Gerl. Beitr. Geophys.*, (96), 271–290.

Anlagen

1. ArcMap-Projekt und Geodatabase: „Bruchtektonische Karte des Sächsischen Granulitgebirges“
2. Fotodokumentation – Bruchtektonische Kartierung
3. Datentabelle Petrophysik (.xlsx)
4. Grafiken – Schmidtsche Netze
5. Rasterkarten - Datenakquise

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:

M.Sc. Franz Müller,

Dr. Uwe Kroner,

Dr. Stefan Buske,

Dr. Felix Hlousek

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Humboldt-Bau

Bernhard-v.-Cotta-Straße 2, 09599 Freiberg

Redaktion:

Dr. Sebastian Weber

LfULG, Abteilung Geologie

Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg

Telefon: +49 3731 294-1223

Redaktionsschluss:

31.10.2020

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