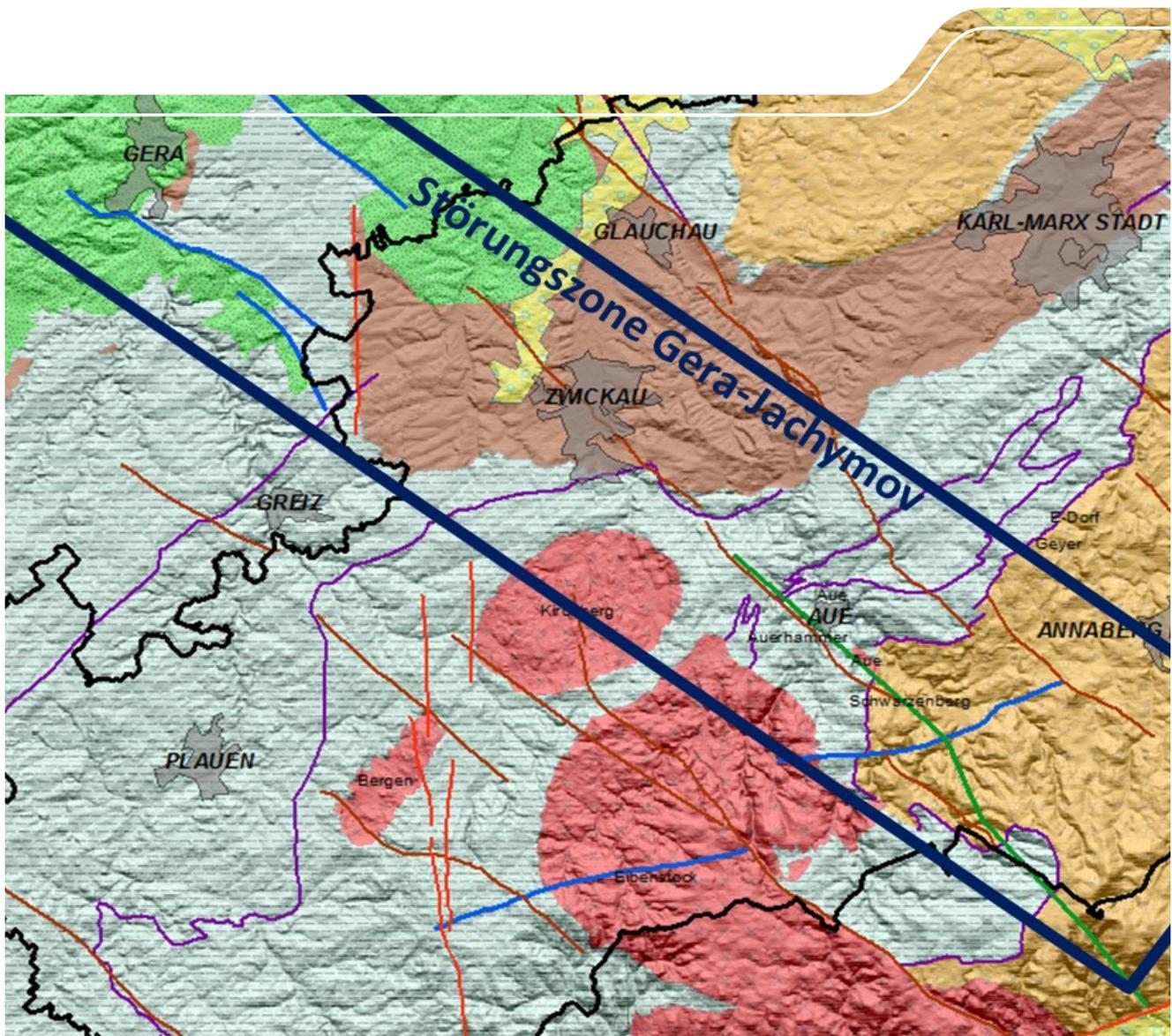


# Artus 3 – Tektonische Analyse der Gera-Jáchymov-Zone

Schriftenreihe, Heft 7/2024



# Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen (ARTUS) – Teil 3: Regionale tektonische Analyse der Gera-Jáchymov-Zone im Westerzgebirge und ihre potentielle neotektonische Gefährdung

M.Sc. Franz Müller; Dr. rer. nat. Uwe Kroner, Dr. rer. nat. Felix Hlousek, Prof. Dr. Stefan Buske, M.Sc. Franz Vogel  
(Technische Universität Bergakademie Freiberg)

im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Projektverlauf</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>GIS-Projekt: "Bruchtektonik im Gebiet der Gera-Jáchymov-Zone"</b> .....	<b>10</b>
3.1	Strukturierung & Eigenschaften des GIS-Projektes .....	10
3.1.1	Eingangsdaten "Tektonik" .....	10
3.1.2	Störungen (Polylinien Feature).....	11
3.1.3	Geologie (Polygon Features) .....	13
3.1.4	Weitere Features .....	14
3.2	Störungskarte der Gera-Jáchymov-Zone.....	15
<b>4</b>	<b>Das geologische &amp; tektonische Inventar der Gera-Jáchymov Störungszone im Überblick</b> .....	<b>16</b>
4.1	Teilgebiet Westerzgebirge.....	16
4.1.1	Hauptelemente .....	18
4.2	Teilgebiet Erzgebirge-Becken .....	20
4.2.1	Hauptelemente .....	20
4.3	Teilgebiet Thüringisch-Sächsisches- Schiefergebirge.....	21
4.3.1	Hauptelemente .....	21
<b>5</b>	<b>Detailstudien - Westerzgebirge</b> .....	<b>23</b>
5.1	Seismische Messungen im Raum Langenweißbach .....	23
5.1.1	Einleitung.....	23
5.1.2	Messkonfiguration .....	23
5.1.3	Datenauswertung .....	25
5.1.4	Ersteinsatzlaufzeittomographie .....	25
5.1.5	Seismische Abbildung .....	27
5.2	Tektonisches 3D-Modell der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda .....	29
5.2.1	Geologischer Überblick .....	29
5.2.1.1	Metamorphe Rahmengesteine.....	29
5.2.1.2	Magmatite.....	29
5.2.1.3	Störungsnetzwerk.....	30
5.2.1.4	Mineralisationszyklus .....	32
5.2.2	3D Geomodellierung .....	34
5.2.2.1	Methodik .....	34
5.2.2.2	Datengrundlage.....	36
5.2.2.3	Festlegung geologischer Einheiten .....	37
5.2.2.4	Festlegung des Modellbereiches .....	38
5.2.2.5	Datenaufbereitung.....	40
5.2.2.6	Modellierung.....	42
5.2.2.6.1	Störungsnetzwerk.....	44
5.2.2.6.2	Lamprophyrgänge .....	47
5.2.2.6.3	Fertigstellung des 3D-Modells.....	47
5.2.2.7	Resultate .....	48
5.2.2.8	Strukturelle Charakteristik der Zone von Gera-Jáchymov im Bereich der Lagerstätte Niederschlema - Alberoda .....	49
5.2.2.9	Kombination des vorliegenden strukturgeologischen 3D-Modells mit 3D-Seismikabbildungen geophysikalischer Messungen .....	50

5.2.2.10	Entstehung und relative Altersabfolge der bruchtektonischen Strukturen der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda .....	52
5.2.2.11	Regionalgeologische und tektonische Einordnung des vorliegenden 3D-Modells in die Gera-Jáchymov Störungszone .....	54
5.2.2.12	Metallogenetischer und geodynamischer Rahmen und Bedeutung der Gera- Jáchymov Störungszone für die Lagerstätte Niederschlema-Alberoda .....	57
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der tektonischen Entwicklung der Gera-Jáchymov-Zone.....</b>	<b>60</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>62</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>68</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geologische Übersichtskarte (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 1993) mit Markierung des Projektgebietes (rot gestrichelt).....	9
Abbildung 2: Störungskarte der Gera-Jáchymov-Zone.....	15
Abbildung 3: Geometrie der Gera-Jáchymov Störungszone im Erzgebirge aus den reprozessierten, WNW-ESE streichenden, reflektionsseismischen Profilen MVE-90 (Stephan et al. 2015).....	16
Abbildung 4: Geologischer Schnitt von SW nach NE (Schreiter et al. 2015, modifiziert nach Wallner et al. 2009). ....	18
Abbildung 5: Straßenaufschluss in Erla (Schwarzenberg).....	19
Abbildung 6: E-W-Profil durch die Steinkohlelagerstätte Zwickau (Herfurth et al. 1983). Oberkarbon in gelb, Rotliegend im Hangenden weiß .....	20
Abbildung 7: Geologische Karte des Ronneburger Horsts (Gatzweiler et al. 1997 nach betrieblichen Unterlagen der SDAG Wismut).....	22
Abbildung 8 Vibroseis-Fahrzeug der Firma Geofizyka Toruń .....	23
Abbildung 9: Lage der Quellpositionen (rote Sterne) und Empfängerpositionen (gelbe Dreiecke) im Untersuchungsgebiet .....	24
Abbildung 10: Repräsentatives Datenbeispiel an Quellposition 9 .....	25
Abbildung 11: Exemplarische Einzelschussektion mit gesetzten Laufzeitpicks (rot) (oben) sowie Vergleich der gepickten Laufzeiten (rot) mit den aus dem invertierten Modell berechneten Laufzeiten (blau) (unten; beide Laufzeiten wurden um 100 ms nach oben verschoben, um einen besseren visuellen Vergleich zueinander und zum Ersteinsatz zu ermöglichen).....	26
Abbildung 12: Invertiertes Geschwindigkeitsmodell (oben) und Strahlüberdeckung (unten) .....	26
Abbildung 13: Teilabbild des Roten Kamms im Untersuchungsgebiet. Dieses Abbild basiert auf einem Teil der 3D Daten aus dem Projekt "Seismik im Kristallin Sachsen" (Hlousek et al. 2015) .....	27
Abbildung 14: Ergebnis der Kirchhoff pre-stack Tiefenmigration für die neu akquirierten Daten. ....	28
Abbildung 15: Interpretation des in Abbildung 14 gezeigten Ergebnisses.....	28
Abbildung 16: Vorgehensweise bei der Erstellung des 3D-Modells. Abbildung modifiziert nach Steinborn (2008).....	35
Abbildung 17: a) Grundriss der Sohle 540. In b) als Ausschnitt von a) ist der Kreuzungsbereich der Störungen „Schwerin“, „Union“ und „Nordwest-Störung“ dargestellt (SDAG Wismut 1990) .....	37
Abbildung 18: Geologische und topografische Position der Modellbox. Die ETRS89 UTM 33N-Koordinaten der Eckpunkte P1, P2, P3 und P4 sind in Tabelle 5 festgehalten .....	39
Abbildung 19: Point Set des DGMs im Bereich der Modellbox.....	40
Abbildung 20: Orientierung und Lage der Profilrisse im Bereich der Modellbox .....	40
Abbildung 21: Orientierung und Lage der Grundrisse im Bereich der Modellbox.....	41
Abbildung 22: Vektordatensatz aus Sohlengrundrissen und Profilschnitten des Auer Granits .....	41
Abbildung 23: Vorgehensweise der 3D-Modellierung mittels "Structure and Stratigraphy Workflow".....	43
Abbildung 24: Die durch den Workflow generierte triangulierte Fläche der Störung „Beryll“ .....	44
Abbildung 25: Schema zum Verschnitt der Begrenzungsflächen des LZZ-Komplexes im Bereich Niederschlema. ....	48
Abbildung 26: Das 3D-Modell der Lagerstätte Niederschlema - Alberoda. ....	49
Abbildung 27: a)Geographische Lage des seismischen 3D-Abbildungswürfels und b) räumliche Lage des 3D-Modells im 3D-Abbildungswürfel (Hloušek et al. 2015) .....	50
Abbildung 28: Seismisches Profil „Inline 67“ des 3D-Abbildungswürfels (Hloušek et al. 2015). ....	51
Abbildung 29: Seismisches Profil „Inline 94“ des 3D-Abbildungswürfels (Hloušek et al. 2015). ....	51
Abbildung 30: Zeitliche Relation zwischen E-W streichenden und NW-SE streichenden Störungen nach Roscher (1962). ....	53
Abbildung 31: Regionalgeologische Stellung der Gera-Jáchymov Störungszone und die Verteilung der westerzgebirgischen Sn-, Ag- und U-Lagerstätten (Seifert et al. 1996). ....	54

Abbildung 32: Geologischer Grundriss der Sohle +300 m der Lagerstätte Tellerhäuser (Schuppan und Hiller 2012) .....	55
Abbildung 33: Geologisches Profil durch die Lagerstätte Tellerhäuser (Schuppan und Hiller 2012) .....	56
Abbildung 34: Übersichtskarte der mesozoischen Entwicklung des Tethys-Zentralatlantik-Karibik Riftsystem (Burisch-Hassel 2021) nach (Schettino und Turco 2011).....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Attributfelder des Polylinien-Shapefiles "Störungen" .....	12
Tabelle 2: Attributtabelle des Polygon-Shapefiles "Geologie o. Känozoikum" .....	13
Tabelle 3: Flächenshare des Störungsnetzwerkes mit ihrer Charakteristik und einer Auswahl an Strukturen des Lagerstättendistriktes Schlema-Alberoda nach Hiller und Schuppan (2008). .....	31
Tabelle 4: Auswahl der Störungen, welche im 3D-Modell dargestellt werden .....	38
Tabelle 5: ETRS89 UTM 33N-Koordinaten der Eckpunkte der Modellbox .....	39
Tabelle 6: Parameteranpassungen der Störungsflächen im "Structure and Stratigraphy Workflow" .....	45
Tabelle 7: Parameteranpassungen der Störungsflächen im "Structure and Stratigraphy Workflow" .....	46
Tabelle 8: Parameteranpassungen der Lamprophyrlflächen im Workflow "Structure and Stratigraphy" .....	47

## Abkürzungsverzeichnis

TUBAF	Technische Universität Bergakademie Freiberg
AP	Arbeitspaket
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LZZ	Lößnitz-Zwönitzer-Zone
GJZ	Gera-Jáchymov-Zone
GIS	Geografisches Informationssystem
GK	Geologische Karte
ASGZ	Aue Schwarzenberg Granite Zone
AFT	Apatit-Fission-Track-Datierungsmethode
DSI	Discrete Smooth Interpolation

# 1 Projektverlauf

**08/2020:** Vertragsunterzeichnung und Projektstart

**09/2020:** 1. Projekttreffen (LfULG): Anlaufberatung zum Projektstart.

**12/2020:** Abgabe 1. Zwischenbericht (Etappe 1)

**02/2021:** Besprechung mit Wismut GmbH (Hartenstein) zur Projektkooperation (A. Hiller, M. Slomke).

**03/2021:** 2. Projekttreffen (Web-Konferenz): Vorstellung des Projektfortschritts und Festlegung des Modellgebiets des geologischen 3D-Modells

**06/2021:** Reconnaissance Geländeeinsatz zur Planung des Seismischen Experiments (Prof. Stefan Buske).

**06/2022:** Vorstellung des geologischen 3D-Modells der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda bei der Wismut GmbH (A. Hiller, M. Slomke).

**04/2023:** seismische Messungen im Raum Langenweißbach (Westerzgebirge)

**09/2023:** Abgabe Abschlussbericht / Projektende

## 2 Einleitung

Die "Gera-Jáchymov-Zone" stellt eine komplex aufgebaute, NW-SE streichende Störungszone im Saxothuringikum dar (Abbildung 1). Diese Zone erstreckt sich vom Thüringer Becken im Nordwesten bis zum Egergraben im Südosten und ist vorwiegend durch unterschiedliche, generell NW-SE-streichende Störungssegmente charakterisiert. Prominentestes Merkmal dieser Zone ist das Vorkommen bedeutender Uranmineralisationen, welche sowohl im metamorphen Erzgebirge als auch im angrenzenden Schiefergebirge auftreten und einen NW-SE orientierten Lagerstättendistrikt abbilden. Zudem kennzeichnen Steinkohlelagerstätten im Raum Zwickau/Oelsnitz und Sn/Wo-Lagerstätten im Erzgebirge die Bedeutung dieser Struktur in Westsachsen. Aufgrund des intensiven Bergbaus sind einzelne Bereiche des Untersuchungsgebietes der Gera-Jáchymov-Zone geologisch und strukturgeologisch ausgezeichnet dokumentiert. Dennoch existiert bisher keine Gesamtcharakteristik zum strukturellen Bau und der Entwicklung dieses prägenden Krustensegments.

Prinzipiell kann die Gera-Jáchymov-Zone in zwei Segmente unterteilt werden. Im Erzgebirge Segment wird das kristalline Grundgebirge von den Störungen durchsetzt; die dazu in Beziehung stehenden hydrothermalen U-Vererzungen bildeten die Grundlage für den Uran-Bergbau in Sachsen. Demgegenüber sind die schwach metamorphen Schiefergebirgssequenzen, vor allem im Bereich der silurischen Schwarzschiefer großvolumig vererzt (Typ Ronneburg) und supergene Lagerstätten, welche im Mesozoikum partiell tektonisch überprägt wurden, spielen eine bedeutende Rolle.

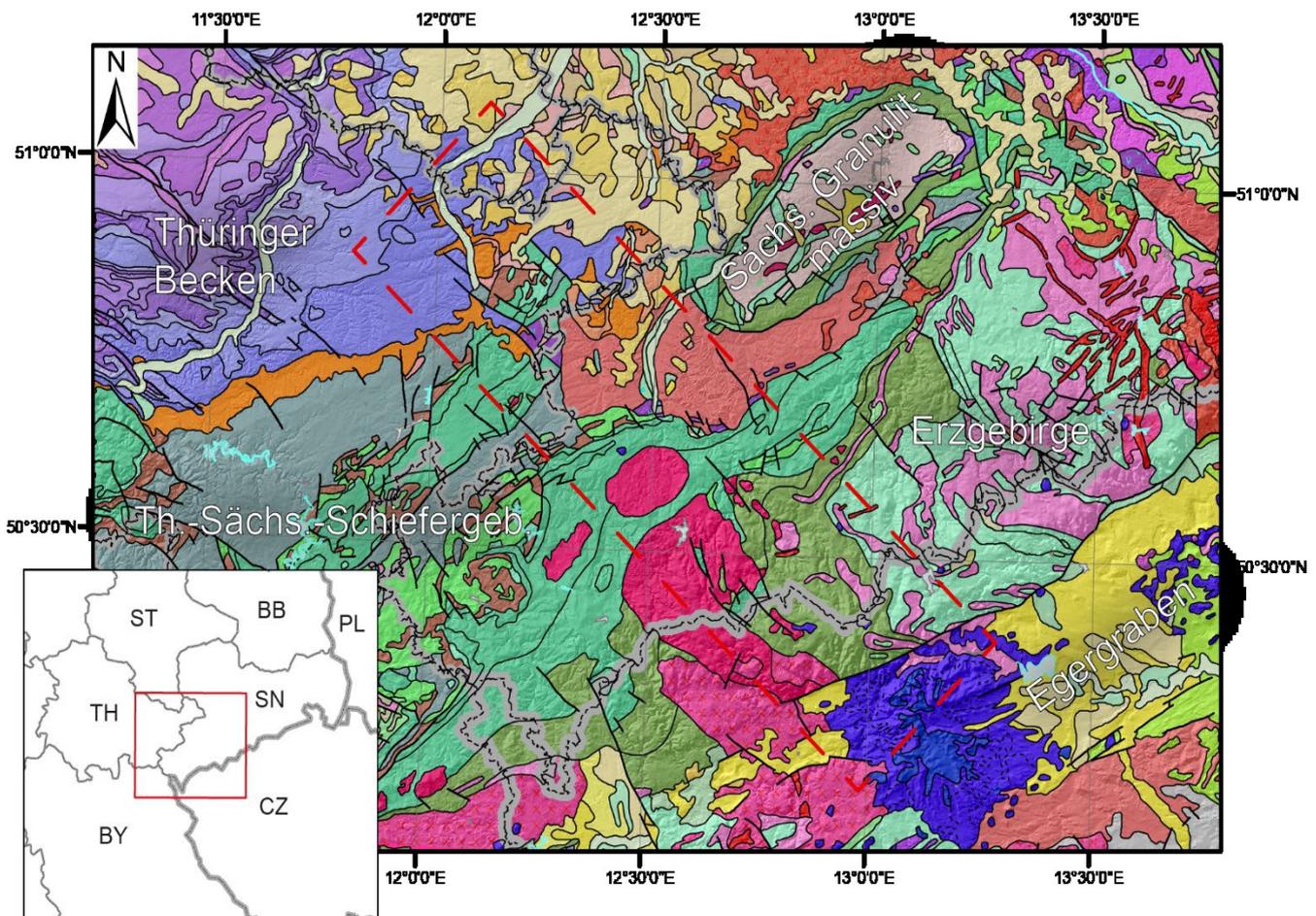


Abbildung 1: Geologische Übersichtskarte (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 1993) mit Markierung des Projektgebietes (rot gestrichelt)

# 3 GIS-Projekt: "Bruchtektonik im Gebiet der Gera-Jáchymov-Zone"

Das GIS-Projekt stellt sowohl Ausgangsdaten als auch Ergebnisse des Projektes zusammenfassend dar. Das Projekt bezieht sich auf das Koordinatenreferenzsystem ETRS 1989 UTM-Zone 33N (EPSG-Code: 25833). Angegebene Dateiformate stellen die Standardformate der ESRI ArcGIS Umgebung dar (.shp, .gdb, ...). Das GIS-Projekt deckt das NW-SE erstreckte Projektgebiet ab und dehnt sich somit von N- nach S vom Südrand des Thüringer Beckens bis zum Egergraben aus. Von Westen nach Osten erstreckt es sich von der äußeren Grenze des Eibenstocker Granits bis zum Sächsischen Granulitgebirge. Im folgenden Kapitel wird der Aufbau und die Inhalte des GIS-Projektes näher beschrieben. Das GIS-Projekt selbst ist Teil des digitalen Anhangs.

## 3.1 Strukturierung & Eigenschaften des GIS-Projektes

### 3.1.1 Eingangsdaten "Tektonik"

Die folgenden geologisch-tektonischen Datensätze fließen in die GIS-gestützte Lokalisierung und Beschreibung tektonischer Störungen der Feature-Klasse "Störungen" ein (siehe 3.1.2). Diese Publikationen sind teilweise in das beschriebene GIS-Projekt integriert (georeferenzierte Rasterdaten oder Vektordaten als ESRI-Shapefile). Andere Datensätze flossen indirekt, in Form von Störungsbeschreibungen, in das Ergebnis ein (vertikale Profilschnitte, 3D-Daten, Beschreibungen in Berichtsform, ...).

**Rasterkarten mit Maßstab <1:100.000 (.tif, georeferenziert und projiziert in UTM 33U ETRS 89) sowie zugehörige Profillinien (Linien-Shapefile) und Profile (.tif)**

- GK25 Sachsen
- GK25 Thüringen
- Detailkarten, Schnitte und Risse der Bergbau-Teilgebiete (relevante Bergbauunterlagen und wissenschaftliche Publikationen)
- Ronneburg/Culmitzsch (Bondarenko et al. 1984; Malysev, V. I. et al. 1974; Gatzweiler et al. 1997)
- Pöhla, Globenstein, Tellerhäuser, Hämmerlein (Welitschkin und Jurtaikin 1975; Wlassow et al. 1975; Hösel 2002; Schuppan und Hiller 2012)
- Niederschlema-Alberoda & Schneeberg-Oberschlema (Hiller und Schuppan 2008; SDAG Wismut 1978)
- Jáchymov (Ondrus et al. 2003; Štemprok et al. 2012)
- Zwickau, Oelsnitz (Hoth 2009)
- Vektorisierte Störungsverläufe aller Karten mit Maßstab > 1:100.000 (Linien-Shapefile)
- Geologische Übersichtskarte von Thüringen 1994
- GK 200 Deutschland: Bellenberg (2001), Sennholz (1999), Hammerschmidt und Zitzmann (1981)
- GK 100 Deutschland: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1993)
- Geologische Karte der Tschechischen Republik: Cháb et al. (2007)
- GK100 Erzgebirge: Eilers et al. (1995), Mineralische Rohstoffe: Hösel et al. (1995)
- GK400 Sachsen: Hoth et al. (1994), Hoth et al. (1995)
- GK200 Thüringen: Schröder et al. (2002)
- GK500 DDR: Sokolowski (1977)

## Geophysikalische Profile (z.B. MVE-90 Seismik)

- Seismischer Würfel Schneeberg
- Seismik MVE-90, reprozessiert (Behr et al. 1994)

## 3D-Modelle

- Pöhla-Tellerhäuser-Erzfeld (Erzgebirge): Achtziger-Zupančič et al. (2016)
- Vorerzgebirgssenke: Steinborn (2008)
- Erzgebirge: Stephan et al. (2015)

## 3.1.2 Störungen (Polylinien Feature)

Kernergebnis des GIS-Projektes stellt das Polylinien-Shapefile "Störungen" dar. Das Shapefile baut auf dem Störungs-Shapefile des GIS-Projektes "Störungsdatenbank Sachsen" des LfULG auf (Krentz und Görz 2020). Es erfasst die Störungen der Projektregion der Gera-Jáchymov-Zone mit einer Pufferregion von 1 km. Dabei orientiert sich die Attributtabelle an der Datenstruktur des LfULG (siehe Tabelle 1). Der Fokus der Störungsidentifikation liegt auf endogenen spät- bis postvariszischen spröden Deformationsstrukturen, deren Nachweis größtenteils aus Bergbauunterlagen erfolgt ist. Aus diesem Grund führt das Störungsshapefile keine variszischen Deckengrenzen sowie geomorphologische Lineamente. Die übergeordneten variszischen Deckengrenzen ergeben sich aus den strukturellen Kristallineinheiten (Rötzler und Plessen 2010) des Polygon-Shapefiles „Präkänozoische Geologie“. Als erster Schritt der Bearbeitung erfolgte zunächst die Anpassung von bereits erfassten Störungsverläufen nach verlässlichen, detaillierten Quellen (GK25, Grubenrisse, etc.) und geomorphologischen Gesichtspunkten (DGM hillshade). Im darauffolgenden Schritt erfolgte die Ergänzung von Störungssegmenten von relevanter regionaler und lokaler Verbreitung. Diese Störungsverläufe wurden auf Grundlage der bereits vektorisierten Störungsverläufe großmaßstäblicher Karten und der individuellen Betrachtung von Detailregionen (z. B. Geologische Karten im Maßstab 1:25.000, Bergbaudaten, 3D-Modelle, Geomorphologische Indikationen aus dem DGM,...) generiert. Zuletzt erfolgte die Ergänzung von Störungseigenschaften in die Attributtabelle aus verfügbaren Quellen wie z. B. geologischen und bergbaulichen Berichten, geologischen Profilen und geophysikalischen Experimenten.

### Domänenwerte für Störungseigenschaften

Zur einheitlichen Beschreibung von Störungseigenschaften wurden folgende Domänenwerte, nach Nummern (short) kodiert (coded Domain values), in der Geodatabase angelegt (siehe auch Krentz und Görz 2020):

- **Alter:** unbestimmt (0), Spaetmesozoische Struktur (350), quartaere seismologisch nachgewiesene Struktur (110), quartaere geomorphologisch nachgewiesene Struktur (120), spaetkretazisch-neogen reaktivierte Struktur (220), Variszische Struktur (900), post-Variszische Struktur (800), neogene Struktur (210), permokarbone Struktur (600), quartaere Struktur (130), Prae-variszische Struktur (1000), kaenozoische Struktur (300), oberpalaeozoisch-mittemesozoische Struktur (500)
- **Streichen:** umlaufend (400), N-S (0), NE-SW (45), E-W (90), NW-SE (315)
- **Richtung:** N (0), NE (45), E (90) SE (135), S (180), SW (225), W (270), NW (315), unbestimmt (0)
- **Fallwinkel:** flach (15), mittel (45), steil (75), vertikal (90), unbestimmt (105)
- **Versatzart:** unbestimmt (0), Abschiebung (20), Aufschiebung (30), sinistrale Transformstörung (40), dextrale Transformstörung (50), Dehnung (10), Schrägaufschiebung (60), Schrägabschiebung (70)
- **Groesse:** transregional (100), regional (10), lokal (1)
- **Materialverhalten:** unbestimmt (0), duktil (200), variabel (400), spröd (100), spröd-duktil (300)
- **Sicherheit:** nicht verifiziert (0), Lageungenauigkeiten (200), Lage verifiziert (100), Lage und Kinematik verifiziert (110), geophysikalisch nachgewiesen (400), Kartendaten sicher (310), Kartendaten unsicher (320)

**Tabelle 1: Attributfelder des Polylinien-Shapefiles "Störungen"**

Feldname	Datentyp	Beschreibung
Name	String	Störungsname
Synonym	String	Alternativer Störungsname
Segment	Short	ID-Nr. für einzelne Segmentlinien v. Störungen
Verbreitung	Short, codierter Domainwert "Groesse"	Größenordnung: "lokal", "regional", "transregional"
Streichrichtung	Short, codierter Domainwert "Streichen"	Geografische Richtung des mittleren Streichens in 45°-Schritten: z. B. NE-SW, NW-SE, ...
Fallrichtung	Short, codierter Domainwert "Richtung"	Geografische Richtung des Einfallens in 45°-Schritten: z. B. "N", "NW", ...
Fallwinkel	Short, codierter Domainwert "Fallwinkel"	Grobe Unterteilung des Einfallwinkels: z. B. "steil", "mittel", "flach", "vertikal", "unbestimmt"
Versatzart	Short, codierter Domainwert "Versatzart"	Bewegungssinn d. Störung: z. B. "Abschiebung" od. "sinistrale Transformstörung"
Versatzrichtung	Short, codierter Domainwert "Richtung"	Geografische Richtung des Versatzes d. Hangenden in 45°-Schritten: z. B. "N", "NW", ...
Versatz_min	Double	Mindestbetrag des Versatzes in Metern
Versatz_max	Double (Meter)	Maximalbetrag des Versatzes in Metern
Alter_von	Short, codierter Domainwert "Alter"	Geologischer Zeitrahmen der frühesten Aktivierung: z. B. "Quartäre Struktur" od. "Variszische Struktur".
Alter_bis	Short, codierter Domainwert "Alter"	Geologischer Zeitrahmen der jüngsten Aktivierung: z. B. "Quartäre Struktur" od. "Variszische Struktur".
Einheit_von	String	Stratigrafische Abgrenzung im Liegenden
Einheit_bis	String	Stratigrafische Abgrenzung im Hangenden
Materialverhalten	Short, codierter Domainwert "Materialverhalten"	Unterscheidung "spröd" - "spröd-duktil" - "duktil"
Aufschluss	String	Beschreibung d. Aufschlusses: z.B. "Tiefbau" od. "Bohrung"
Quelle	String	Literaturnachweis: Autor (Jahr)
Stoerungszone	String	Zuordnung zu regionaler Störungsschar
Datenlieferant	String	Name des Bearbeiters
Zuverlässigkeit	Short, codierter Domainwert "Sicherheit"	Bewertung und Charakterisierung des Störungsnachweises: z. B. "Lage verifiziert"
Beschreibung	String	Freie weitere Beschreibung
Methodik	String	Spezifizierung der Nachweismethode
Belege	String	Spezifizierung geologischer Evidenzen für Störung
Hydwirksamkeit	String	Einschätzung zur Wasserführung
Mineralisation	String	Beschreibung einer möglichen Mineralisation

### 3.1.3 Geologie (Polygon Features)

In Form von zwei Polygon-Shapefiles wird die prinzipielle geologische Gliederung der Region grobmaßstäblich wiedergegeben. Es wird die Lage und Verbreitung folgender geologischer Einheiten beschrieben:

- Paläogene/Neogene fluviatile und limnische Sedimente, zusammengefasst
- Mesozoisches Deckgebirge nach lithostratigrafischen Gruppen
- Variszische Granite, geochemisch nach Förster et al. (1999)
- Allochthone Kristallineinheiten des Erzgebirge-Fichtelgebirge-Komplex, strukturell unterteilt nach Rötzler und Plessen (2010), zusätzlich die allochthonen "Zwischengebirge" und das Sächsische Granulitmassiv
- Tektonische Domänen des Schiefergebirges nach (Kroner et al. 2007)

Ein Shapefile ("Geologie ohne Känozoikum") umfasst vorwiegend Präkänozoische Einheiten: das Grundgebirge, paläozoische und mesozoische Deckgebirge sowie känozoische Vulkanite (Tabelle 2). Das separate Shapefile "Paläogen/Neogen" umfasst fluviatile und limnische Sedimente des Tertiärs ohne weitere Unterteilung

**Tabelle 2: Attributtabelle des Polygon-Shapefiles "Geologie o. Känozoikum"**

Geologische Einheit	Untereinheit
Känozoischer Vulkanismus	Basaltoid - intrusiv
	Basaltoid - effusiv
Paläozoisches-Mesozoisches Deckgebirge	Buntsandstein
	Zechstein
	Permische Vulkanite
	Oberes Rotliegendes (Mülsen Fm.)
	Unteres Rotliegendes
Granite (Karbon)	HF-HP Typ Eibenstock
	LFbt-Typ Kirchberg
	LFtm-Typ Bergen
Autochthone Einheiten (Schiefergebirge)	/
Wrench-and-Thrust-Zone (Schiefergebirge)	/
Allochthone Einheiten	Oberes Allochthon (Zwischengebirge)
	Phyllit-Einheit
	Metasedimente Fichtelgebirge
	Glimmerschiefer-Eklogit-Einheit
	Gneiskomplex Erzgebirge
	Gneisdom?!?!)
	Sächsisches Granulitmassiv (Schiefermantel)
	Sächsisches Granulitmassiv (Granulit)

### 3.1.4 Weitere Features

#### Topografie & Geomorphologie:

- Stadtzentren mit mehr als 10.000 Einwohnern (Punkt)
- Bundes- & Landesgrenzen (Linien)
- Begrenzung des Projektgebietes (Polygon)
- Digitales Geländemodell und Hillshade-Darstellungen (Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN); Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation)

#### Metallogenie/Lagerstätten

- Bergbaureviere Westerzgebirge (Polygone): Hösel et al. (1995)
- Gangmineralisationen Westerzgebirge (Linien): Hösel et al. (1995)

#### Eingangsdaten

- Digitalisierte Störungsverläufe (Linien)
- Geologische/Seismische Profilverläufe (Linien)

## 3.2 Störungskarte der Gera-Jáchymov-Zone

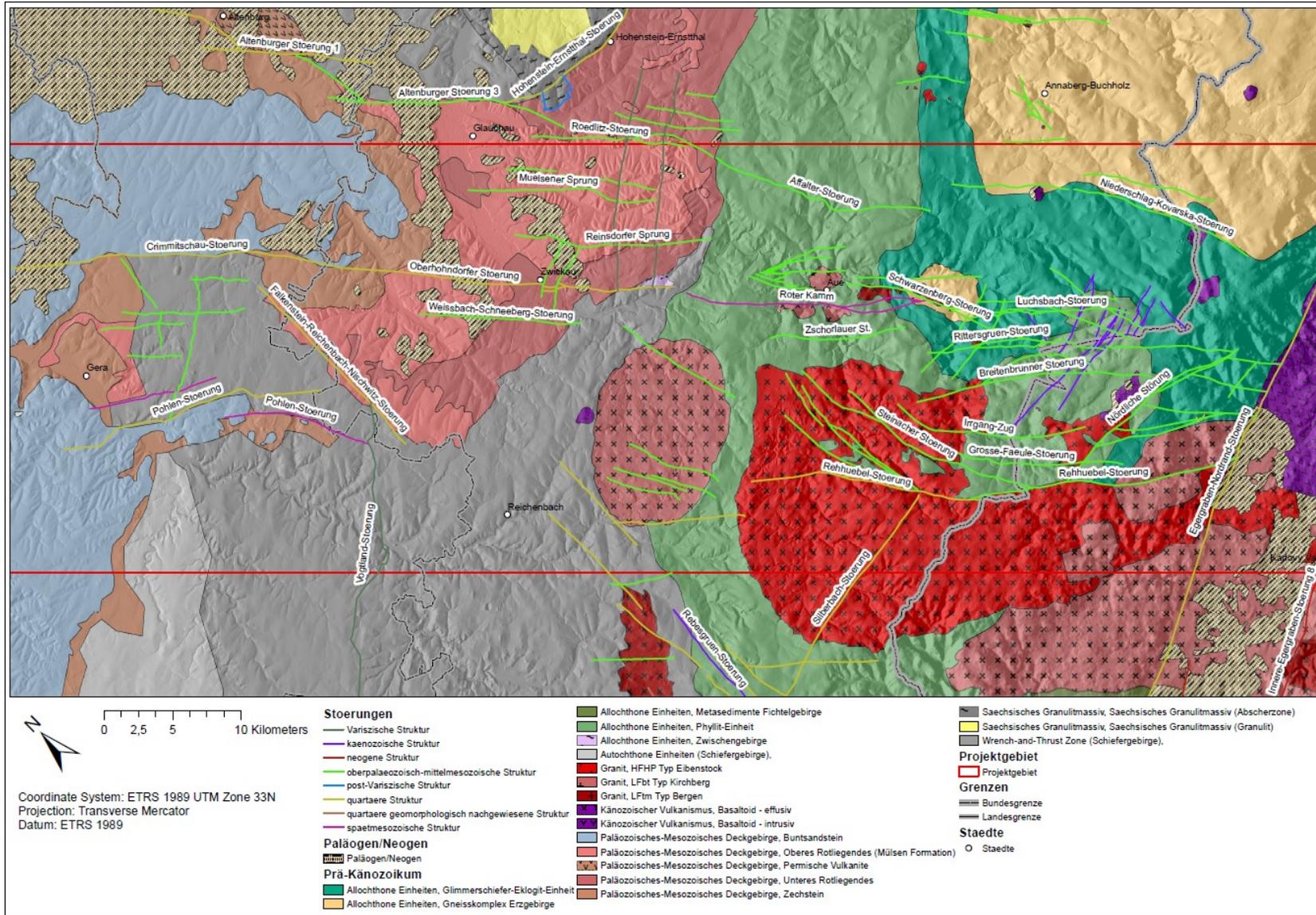


Abbildung 2: Störungskarte der Gera-Jáchymov-Zone

# 4 Das geologische & tektonische Inventar der Gera-Jáchymov Störungszone im Überblick

## 4.1 Teilgebiet Westerzgebirge

Das Teilgebiet Westerzgebirge umfasst vorwiegend die Lithologien des Erzgebirgischen Gneiskomplexes (Schwarzenberger Kuppel), die Glimmerschiefer und Phyllite des Westerzgebirges sowie den Eibenstocker Granitbatolith und kleine Granitintrusionen bei Aue und Schwarzenberg (auch ASGZ - Aue Schwarzenberg Granite Zone). Die Platznahme der variszischen metamorphen Einheiten des Erzgebirges in die Oberkruste erfolgte bis etwa 333 Ma (Hallas et al. 2021). Die übergeordnete Geometrie der Gera-Jáchymov-Zone im Erzgebirge wird aus den tiefenseismischen Profilen der Kampagne MVE-90 deutlich (Behr et al. 1994), wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Sie fällt also übergeordnet in Richtung NE ein und hat eine listrische Geometrie, welche bis in mittelkrustale Tiefen reicht. Hervorzuheben sind die spätvariszischen, oberkarbonen Granite, die die GJZ im Erzgebirge schneidet. Es werden folgende drei Granittypen in der Region unterschieden (Förster et al. 1999; Förster und Romer 2010):

- "Typ Kirchberg": F-arme Biotit-Granite von Kirchberg, Aue, Gleesberg und Nejdeč (ca. 325-320 Ma)
- "Typ Bergen": F-arme Zweiglimmer-Granite von Schwarzenberg und Lauter (325-320 Ma)
- "Typ Eibenstock": F-reiche, Phosphor-reiche, Li-Glimmer-Granite von Eibenstock und Tellerhäuser/ Horni blatná (317-310 Ma)

Sowohl die östliche Flanke des Eibenstock/Nejdeč-Batholiths als auch die Ausbisse der kleinen Intrusionen der ASGZ folgen NW-SE orientierten Bruchstrukturen und weisen somit auf eine spätvariszische Zeitlichkeit frühester Störungsaktivierungen hin. Es ist wahrscheinlich, dass diese NW-SE streichenden kristallinen Anisotropien initiale Aufstiegswege voluminöser Granitschmelzen im Oberkarbon dargestellt haben.

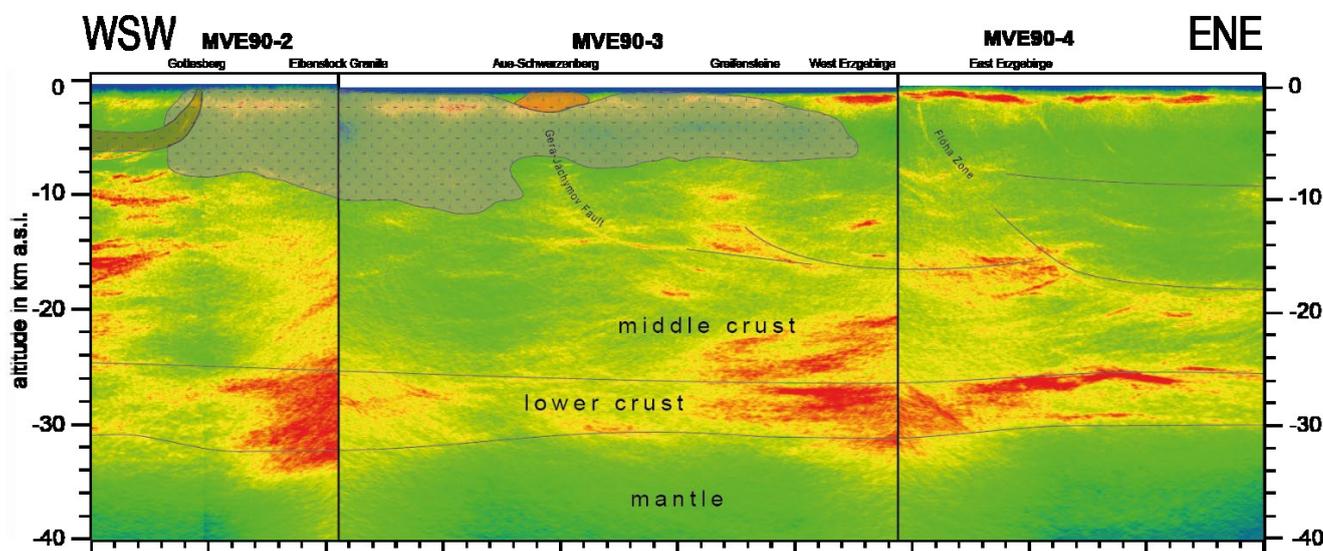


Abbildung 3: Geometrie der Gera-Jáchymov Störungszone im Erzgebirge aus den reprozessierten, WNW-ESE streichenden, reflektionsseismischen Profilen MVE-90 (Stephan et al. 2015). Das Profil schneidet die Gera-Jáchymov-Zone südlich der Gneiskuppel von Schwarzenberg

Die Granite der GJZ stellen zudem eine Hauptquelle für die zahlreichen umgebenden U- und Sn/W(Mo)-Lagerstätten dar. Sn/W-Vererzungen sind an Gänge, Greisen oder Skarne gebunden und stammen aus abgeschiedenen angereicherten Fluiden spätmagmatischer Granitschmelzen und deren Nebengesteinen (z.B. Lefebvre et al. 2019). Diese Hochtemperatur-Mineralisationen stehen in direkten zeitlichen und genetischen Zusammenhang mit der Intrusion

der Granite. Uranmineralisationen bilden sich durch die Lösung und Mobilisierung von Uran aus kristallisierten Graniten durch meteorische und Formationswässer (z. B. Förster et al. 2009). Diese Uranmineralisationen finden sich vorwiegend in lokalisierten, steil stehenden hydrothermalen Gangvererzungen nahe der Granitkörper. Die Verteilung und Orientierung der initialen hydrothermalen U-Gangvererzungen in der Umgebung der Granitkörper wird durch die variszischen Störungsstrukturen der Gera-Jáchymov-Zone gesteuert. Reaktivierungen von Störungssegmenten vom Perm bis in die Kreide beeinflussen unterschiedliche endogene und exogene Prozesse, die zur mehrphasigen Mobilisierung und Mineralisation von Uran führen (Romer und Cuney 2018).

Es können folgende Altersgruppen der postvariszischen hydrothermalen (mittel- bis tieftemperierten) Mineralisationen auf dem Gebiet der GJZ, absolut & relativzeitlich, unterschieden werden (siehe Romer et al. 2010, Paragenesen und Abkürzungen nach Baumann et al. 2000):

- ~280-270 Ma: primäre Uranvererzungen der U-Quarz-Calcit-Hämatit-Assoziation ("qu") wie z.B. die Quarz-Calcit-Pechblende-Gänge der "kku-Formation" (siehe Hiller und Schuppan 2008), Quarzgänge (Quarz-Sulfid-Assoziation - "qsf")
- jünger als ~190 Ma (Romer et al. 2010): Gänge der Fluorit-Quarz-Assoziation ("flq") & remobilisierte Uranmineralisationen (z. B. Dolomit-Pechblende-Gänge der "mgu-Formation")
- Hämatit-Baryt-Assoziation ("hmbs") - jünger als "flq" (Baumann et al. 2000)
- ~120 Ma: Gänge der Bi-Co-Ni-As-Ag(U)-Assoziation ("BiCoNi"), auch als Karbonat-Sulfarsenid-Assoziation ("krsfas") & Quarz-Arsenid-Assoziation ("qas") zusammengefasst, mit sekundärer Uranvererzung.
- Quarz-Fe-Mn-Assoziation ("qlmmn") - ins Neogen eingeordnet nach Kuschka (2002).

Das Inventar dieser postvariszischen hydrothermalen Gänge der Gera-Jáchymov-Zone steht in Beziehung zur überregionalen Tektonik des Perms bis in das Känozoikum. Die Orientierung und das bevorzugte Auftreten hydrothermalen Gänge entlang regionaler Bruchstrukturen weist auf deren strukturelle Kontrolle durch die Aktivierung tieferreichender Störungszonen hin (z. B. Kuschka 2002; Baumann et al. 2000). So kommt es bis in das Känozoikum zur mehrfachen dehnungsbetonten Aktivierung von Störungssegmenten der Gera-Jáchymov-Zone, welche jeweils mit relativ geringen Versatzbeträgen assoziiert sind. Im Zuge der Ausbildung des Egergrabens und der Hebung des Erzgebirges im Känozoikum wird die GJZ entlang der ENE-WSW streichenden Egergraben-Nordrand-Störung (alternativ "Krusne-Hory-Störung") abgeschnitten. Der mit den Rifting-Prozessen verbundene Intraplattenmagmatismus äußert sich besonders stark in der südöstlichen Verlängerung der GJZ. Wahrscheinlich wird auch die Intrusion des Doupovske Hory Volcanic Complex (DHVC) durch die krustale Anisotropie der GJZ strukturell gesteuert. Die Egergrabennordrandstörung, wie auch weitere parallel verlaufende reaktivierte Störungssegmente, ist auch rezent seismisch aktiv und geomorphologisch wirksam. Weitere rezente Seismizität in der direkten Umgebung der GJZ wird zumeist als eine Folgeerscheinung des stillgelegten intensiven Bergbaus gedeutet (Hassani et al. 2018)

## 4.1.1 Hauptelemente

### Rittersgrüner/Plavno-Störung

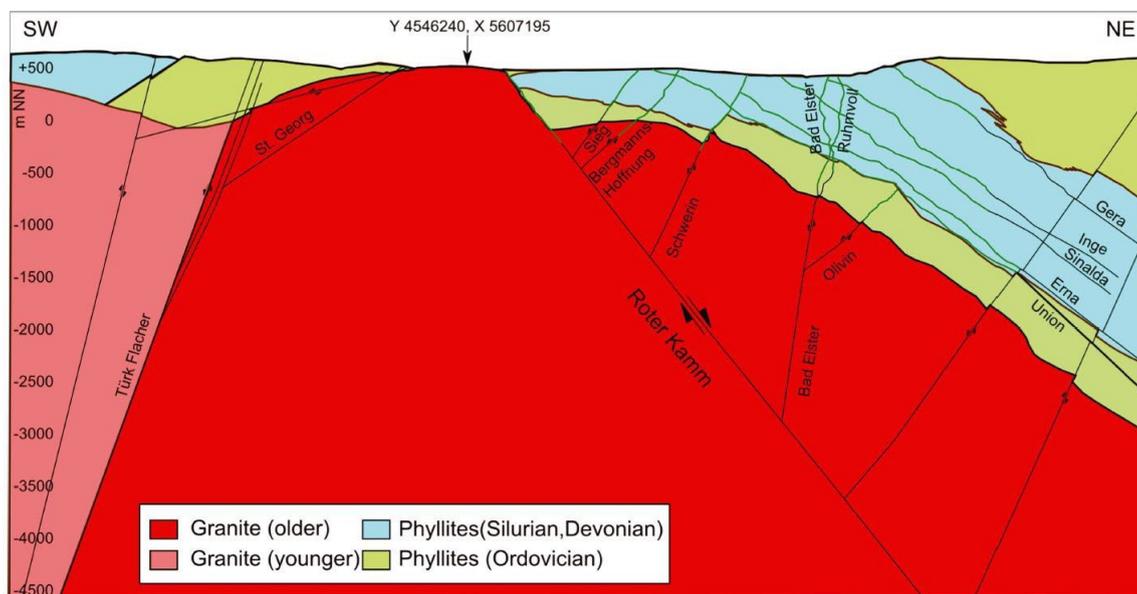
Die NW-SE streichende und nach SW einfallende Abschiebung "Rittersgrüner Störung" findet in der Tschechischen Republik ihre Fortsetzung mit dem Namen "Plavno". Der SW-Block ist auf deutscher Seite etwa 100-150 Meter abgesunken (Schuppan und Hiller 2012). Sie begrenzt den Lagerstättenbereich von Tellerhäuser-Hämmerlein im SW und Jáchymov im NE. In beiden Lagerstättengebieten kontrolliert die Störung maßgeblich die Struktur der Lagerstättenrelevanten mehrphasigen hydrothermalen Gangmineralisationen. Es ist entsprechend eine Aktivität der Störung bis ins späte Mesozoikum anzunehmen.

### Zentralstörung (Revier Jáchymov)

Es handelt sich um die dominante NW-SE streichende Störungsschar an der Ostflanke des Eibenstocker Granits im Bergbaurevier Jáchymov (siehe Štemprok et al. 2012). Sie versetzt den Granitkontakt mit einer abschiebenden Bewegungsrichtung.

### Roter Kamm

Der NW-SE streichende Rote Kamm (**Abbildung 4**) ist das bedeutsamste Segment der Gera-Jáchymov-Zone im Erzgebirge. Die Störung fällt in Richtung NE ein mit einem Fallwinkel, der im Gebiet der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda 50-70° beträgt (Hiller und Schuppan 2008). Die Störung bildet eine breite Kataklysezone aus und versetzt den Glesberger Granit mit abschiebender Bewegungsrichtung (etwa 500 m Versatz). In Abschnitten treten Barytmineralisationen und oxidische Eisenerze auf (Hiller und Schuppan 2008). Kogenetisch mit dieser Störung existiert eine Schar antithetischer Störungselemente ("Sieg", "Bergmanns Hoffnung", "Schwerin", "Ruhmvoll") unweit nordöstlich der Störung (SDAG Wismut 1978). Eine umfassende 3D-seismische Messkampagne aus dem Jahr 2012 bildet diese Störung mit einem scharfen, aber schwachen Reflektionsbild sowie negativer Impedanz ab, was zeigt, dass die Störung in der Tiefe offene Bruchnetzwerke beinhaltet (Lüschen et al. 2015; Hloušek et al. 2015; Schreiter et al. 2015). Die exakte horizontale Ausdehnung der Störung in NW-licher und SE-licher Richtung ist aufgrund der schwierigen Aufschlussituation nicht gesichert. Die Störung ist Bestandteil des geologischen 3D-Modells von Görne (2010).



**Abbildung 4: Geologischer Schnitt von SW nach NE (Schreiter et al. 2015, modifiziert nach Wallner et al. 2009). Der steilste Rote Kamm bildet die dominierende, abschiebende Struktur in der Gegend um Aue-Schlema**

### **Rehhübel-Störung & Eibenstocker Störung (auch "Eibenstock-Rehübel-Störung")**

Die NW-SE-streichende Rehübel Störung und die etwa N-S streichende abzweigende Eibenstock-Störung ziehen sich fast gänzlich durch den Eibenstock-Granit-Batholith und prägen maßgeblich dessen rezenten Oberflächenanschnitt. Gemeinsam bilden sie eine bogenförmige Struktur aus. Das reflektionsseismische Profil MV90-3 weist auf eine tiefgreifende NE einfallende listrische Geometrie hin, die einen störungsgebundenen Block an der NE Flanke des Eibenstocker Granits absenkt. Möglicherweise handelt es sich dabei um die NE einfallende Rehübel-Störung. Die Segmente der Eibenstock Störung hingegen haben ein entgegengesetztes Einfallen in Richtung W; könnten also eine konjugierte Störung darstellen. Beide Störungen sind besonders charakterisiert durch eine Konzentration von Gangmineralisationen der Fluorit-Quarz-Assoziation (F,Fe) und Quarz/Hornstein-Assoziation (Mn, Fe) (Hösel et al. 1995), was eine Störungsaktivität bis in das Mesozoikum (< 190 Ma) belegt.

### **Schwarzenberger Störung**

Die Schwarzenberger Störung zieht sich durch die Schwarzenberger Gneiskuppel mit einem NW-SE bis NNW-SSE orientierten Streichen. Es handelt sich in erster Linie um eine spröde Überschiebungsstruktur mit einem Einfallen nach SW. Die Störung begrenzt die NE-Flanke des Lauterer Granits und die SW Flanke des südlicher gelegenen Schwarzenberger Granits. NNW-SSE streichende Mikrogranit-Gänge an einem Straßenaufschluss korrelieren in Lage und Orientierung mit dem Störungsverlauf und weisen auf eine oberkarbone, extensionale Aktivierung dieser Störung hin (Abbildung 5). Der südliche Teil der Störung im Revier Pöhla-Tellerhäuser-Hämmerlein wird vom 3D-Modell Achtziger-Zupančič et al. (2016) abgedeckt. Die Störung ist teilweise mineralisiert durch Gänge der Fluorit-Quarz-Assoziation (Hösel et al. 1995), was auf eine mesozoische Reaktivierung hinweist.



**Abbildung 5: Straßenaufschluss in Erla (Schwarzenberg). NNW-SSE streichende, steil einfallende Mikrogranit-Gänge kreuzen Augengneise. Lage und Orientierung der Gänge korreliert mit der Schwarzenberger Störung. Blickrichtung NNW**

## 4.2 Teilgebiet Erzgebirge-Becken

Das Teilgebiet umfasst den westlichen Teil des Erzgebirgischen Beckens (alternativ auch "Chemnitz-Becken" oder "Vorerzgebirgssenke"). Das Basement dieses Beckens bilden vorwiegend die Allochthonen bis Par-Autochthonen variszischen Schiefergebirgseinheiten der sogenannten "Wrench-and-Thrust-Zone" (Kroner et al. 2007), einer heterogen deformierten tektonischen Domäne des Saxothuringikums. Im Liegenden des Beckens sind Relikte lokaler spätvariszischer Molassebecken erhalten (Schneider und Romer 2010). Im Schnittbereich der NW-SE streichenden Segmente der GJZ und dem NE-SW erstreckten Detachment des Erzgebirges ("Zentralsächsisches Lineament") bildet sich das Zwickau-Becken. Dessen initialer Ablagerungsraum erstreckt sich entlang eines N-S-gerichteten Grabens (Steinborn 2008). Die Steinkohlelagerstätte von Zwickau ist an dieses oberkarbone Becken gebunden (Abbildung 6). Im Verlauf seiner Entwicklung erstreckt sich das Becken zunehmend in NE-SW-licher Orientierung (Hoth 2009). Nach einer ausgedehnten Sedimentationslücke, reorganisiert im Perm einsetzende Dehnungstektonik, und die damit einhergehende Reaktivierung älterer Störungen, das Erzgebirge-Becken grundlegend. Sedimente des Unteren Rotliegend überlagern die Erosionsrelikte des Oberkarbons und das variszische Basement diskordant. Das mächtige Becken besteht vor allem aus alluvialen red beds und Vulkaniten und wird in vier Formationen unterteilt (Fischer 1991). Nach dem Perm tragen reaktivierte NW-SE-streichende Störungen, wie der Rödlitzer Sprung, der Reinsdorfer Sprung und die Oberhohndorfer Hauptverwerfung, zur Ausbildung eines Systems von Abschiebungen und Gräben bei. Letztere steuert so bspw. wesentlich die Verbreitungen von Sedimenten des Zechsteins und Buntsandsteins. Ausdruck rezenter Störungsaktivität ist das Auftreten von Schwarmbeben entlang der Oberhohndorfer Störung bei Werdau.

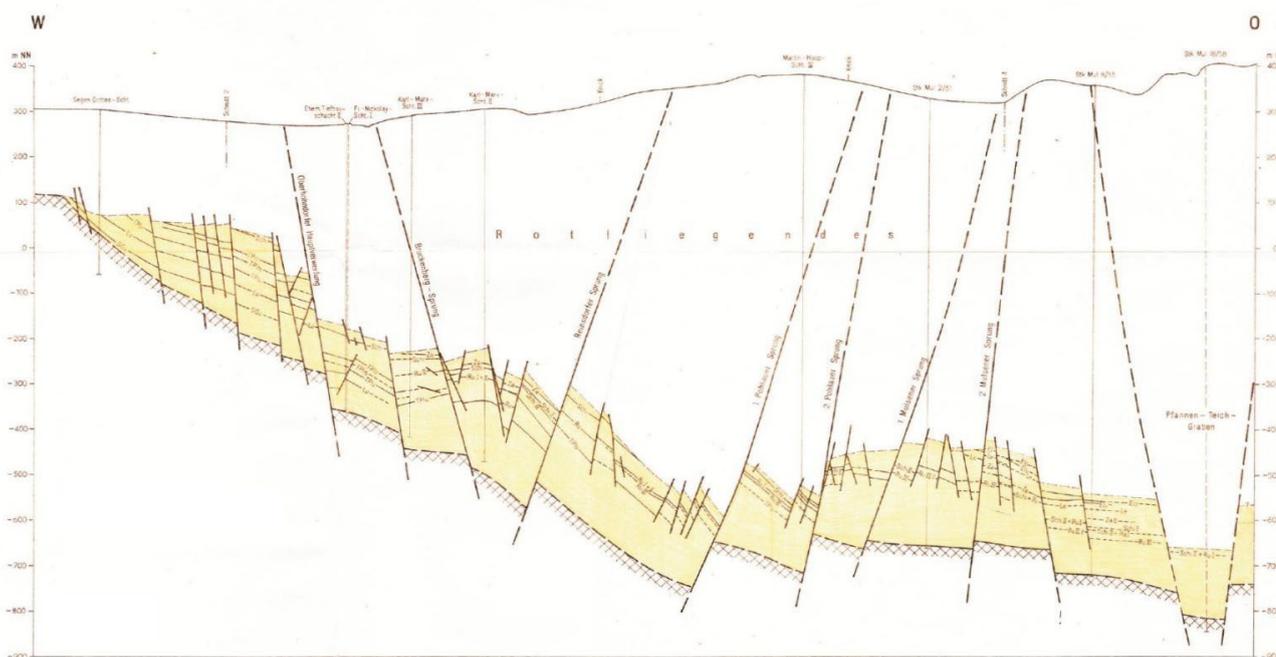


Abbildung 6: E-W-Profil durch die Steinkohlelagerstätte Zwickau (Herfurth et al. 1983). Oberkarbon in gelb, Rotliegend im Hangenden weiß

### 4.2.1 Hauptelemente

#### Oberhohndorfer Hauptstörung (Crimmitschau Störung)

Die Störung stellt die dominierende spröde Bruchstruktur im Rotliegend-Becken dar. Sie kann als Verlängerung der Crimmitschauer Störung im NW gedeutet werden. Sie streicht NW-SE und fällt in Richtung NE ein. Die Verbreitung des Zechsteins und Buntsandsteins im Erzgebirgischen Becken ist wesentlich durch diese Störung kontrolliert, was auf eine Aktivität der Störung im oberen Perm hinweist. Die Störung ist rezent seismisch aktiv mit einer dichten Häufung von Epizentren bei Werdau, nordöstlich von Zwickau (Sonnabend 2019).

## Reinsdorfer Störung

Die Abschiebung streicht ebenfalls NW-SE, fällt aber nach SW ein. Teilweise wird auch diese Störung als Verlängerung der Crimmitschauer Störung im NW interpretiert.

# 4.3 Teilgebiet Thüringisch-Sächsisches- Schiefergebirge

Ein Großteil des Teilgebietes der GJZ im Thüring.-Sächs.-Schiefergebirge umfasst den sogenannten "Ronneburger Horst" (Abbildung 7). Die größte Flächenverbreitung umfasst die Lithologien der paläozoischen Schelfsedimente (Thüringische Faziesreihe, vorwiegend Tonschiefer und Schwarzschiefer, mächtige mafische Intrusionen des Oberdevons) mit anchimetamorpher Überprägung. Diese werden, mit tektonischem Kontakt, überlagert von Unterkarbenen synorogenen Sedimenten. Im tektonischen Kontakt (NE und SW) sowie im sedimentären Kontakt (NW und SE) umgeben die Mesozoischen Sedimente des Thüringer und Erzgebirge Beckens den Ronneburger Horst. Die Schiefergebirgseinheiten der "Wrench-and-Thrust-Zone" zeichnen sich durch polyphase variszische Deformation aus. Die großmaßstäbliche strukturelle Architektur entspricht einem spätvariszischen SE- vergentem Faltenüberschiebungsbau, welcher unter Umständen zuvor in frühvariszische SW-gerichtete Deckentektonik einbezogen wurde (Russe 1995). Die Decollements konzentrieren sich oft auf die geringmächtigen silurischen Schwarzschiefer als Abscherhorizonte. Interne sedimentäre Strukturen sind durch die geringgradige Verformung größtenteils erhalten geblieben. Es gibt zudem Hinweise auf die prä- bis frühvariszische Aktivierung NE- SW streichender, steiler Störungen (z. B. Lichtenberg-Stolzenberger-Störung), in die oberdevonische Diabasgänge intrudieren (Lange et al. 1999). Das Gebiet ist aufgrund des flächendeckenden Uranbergbaus (Ronneburg, Culmitzsch, Neumark) sehr gut geologisch dokumentiert. Die Uran-Lagerstätten innerhalb des Ronneburger Horsts sind räumlich an den Unteren Graptolithenschiefer und dessen angrenzende Lithologien (Lederschiefer, Diabase, etc.) gebunden. Es handelt sich um supergene, oberflächennahe Vererzungen unterhalb von Oxidationszonen (Bolonin und Gradovsky 2012). Neben der Stratigrafie und der Tiefe der Oxidationszone kontrollieren Störungen und Klüfte wesentlich die Lage, Ausmaße und Form der Erzkörper (Lange und Freyhoff 1991). Erste Uranmineralisationen im Perm werden gesteuert durch intensive Verwitterung (Rotliegend) sowie die Aktivierung von Störungen und die damit einhergehenden Fluidwegsamkeiten (Bolonin und Gradovsky 2012). Die mehrfache Remobilisierung von Uran nach dem Perm wird ebenfalls durch eine Kombination endogener und exogener Prozesse kontrolliert: Erosion, Klima, und die Reaktivierung von Störungszonen (Romer und Cuney 2018). Aufschiebungsbewegungen im Rahmen der mitteleuropäischen Beckeninversionstektonik ab der Oberkreide (Kley und Voigt 2008) lassen sich an mehreren Störungen beobachten; speziell die den Ronneburger Horst begrenzenden Störungen: der Crimmitschauer Störung und Pohlener Störung. Beide Störungen können nicht von dem im NW angrenzenden Störungen, der Finne- und Kyffhäuser-Störung, abgegrenzt werden. Rezente Seismizität trifft besonders in der Umgebung von Gera in unmittelbarer Nähe zu den Segmenten der Pohlener Störung auf. Das Teilgebiet befindet sich im Kreuzungsbereich mit der rezent aktiven Leipzig-Regensburg-Zone (z.B. Sonnabend 2019).

## 4.3.1 Hauptelemente

### Pohlener Störung

Die nach NE einfallende Störungszone besteht aus mehreren winkelig versetzten Störungselementen, welche etwa NW-SE streichen. Diese Störungsgeometrie könnte mit einer dextral-transpressiven spätvariszischen Aktivierung (NNW-SSE-Einengung) in Verbindung stehen. Lange et al. (1999) bezeichnet die Störung in erster Linie als Überschiebung. An der Pohlener Störung ist eine Halbgraben-Struktur ausgebildet ("Wünschendorfer Becken"), welche wahrscheinlich von Perm bis ins Mesozoikum angelegt wurde und den Ronneburger Horst von der Berga Antiform trennt. Die Störung hat ein junges AFT-Hebungsalter von 87 Ma (Eynatten et al. 2021), welches mit der Beckeninversionstektonik ab der Oberkreide korreliert. Sie ist rezent seismisch aktiv, mit einer deutlichen Häufung von Epizentren entlang eines Störungssegments südlich von Gera (Sonnabend 2019).

### Crimmitschauer Störungszone

Die Störungszone begrenzt die Schiefergebirgseinheiten des Ronneburger Horstes zum Mesozoikum der Zeitz-Schmöllner-Mulde. Sie streicht NW-SE und fällt in Richtung NE ein. Die bergmännisch aufgeschlossene Zone ist bis zu 23 m mächtig und zumeist stark alteriert (Lange et al. 1999). Eine junge Aktivierung der Störung geht mit Aufschiebungsbewegungen um mindestens 150 Meter in Richtung NE einher (Gatzweiler et al. 1997) und kann wahrscheinlich mit Beckeninversionstektonik in Verbindung gebracht werden. Im direkten streichenden Kontakt wird die Störung durch die Kyffhäuser-Störung (NW) und Oberhohndorfer-Störung (SE) fortgesetzt. Rezente seismische Aktivität in Verbindung mit dieser Störung wurde von Sonnabend (2019) festgestellt.

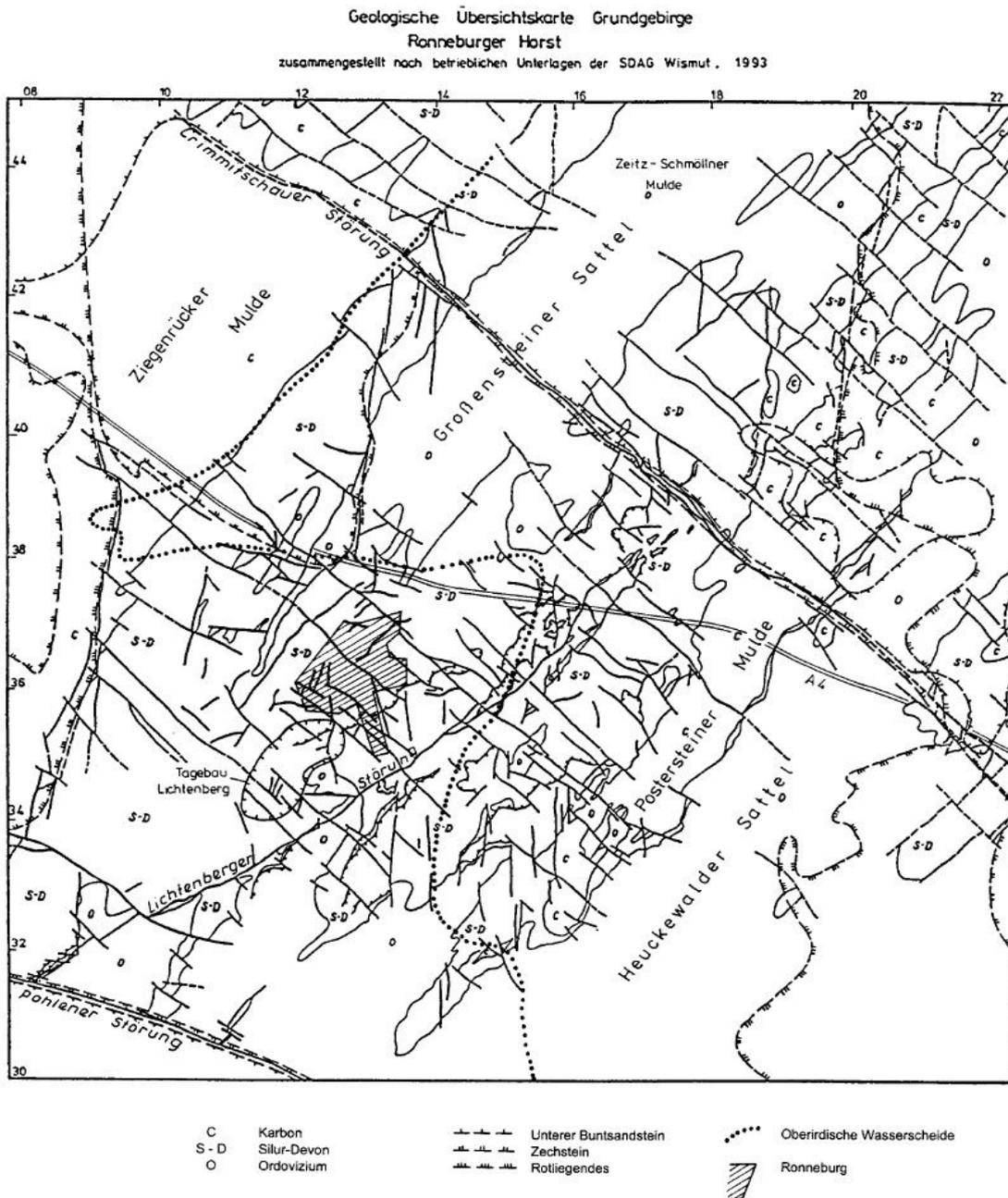


Abbildung 7: Geologische Karte des Ronneburger Horsts (Gatzweiler et al. 1997 nach betrieblichen Unterlagen der SDAG Wismut)

# 5 Detailstudien - Westerzgebirge

## 5.1 Seismische Messungen im Raum Langenweißbach

### 5.1.1 Einleitung

Vom 17.-19.4.2023 wurden im Raum Langenweißbach (Westerzgebirge) seismische Messungen durchgeführt, um die oberflächennahe Struktur der nach Nordosten einfallenden Störungszone "Roter Kamm" sowie der dort potentiell vorhandenen nach Südwesten einfallenden konjugierten Störungen abzubilden. Beide Störungszone sind durch die im Jahr 2012 akquirierte 3D-Seismik im Großraum Schneeberg grob bekannt, ihr genauer Verlauf und insbesondere ihre oberflächennahe Ausprägung waren jedoch aufgrund der großen Quell- und Empfängerabstände bei der 3D-Seismik von 2012, deren primäre Zieltiefe damals ca. 5km betrug, nicht auflösbar. Aus Teildatensätzen der 3D-Seismik war aber ersichtlich, dass der Rote Kamm insbesondere im Bereich Langenweißbach als starker Reflektor in Tiefen von ca. 2-4 km auftritt. Dieses Auftreten sollte mit der nun hier durchgeführten Messung insbesondere für den oberflächennahen Bereich näher untersucht werden. Die Messung selbst war als Machbarkeitsstudie angelegt, bei der neben der Realisierbarkeit und der Qualität (Ankopplungsbedingungen) von verschiedenen Quell- und Empfängerpositionen auch deren Nutzen für die seismische Abbildung der Störungszone näher untersucht werden sollte.

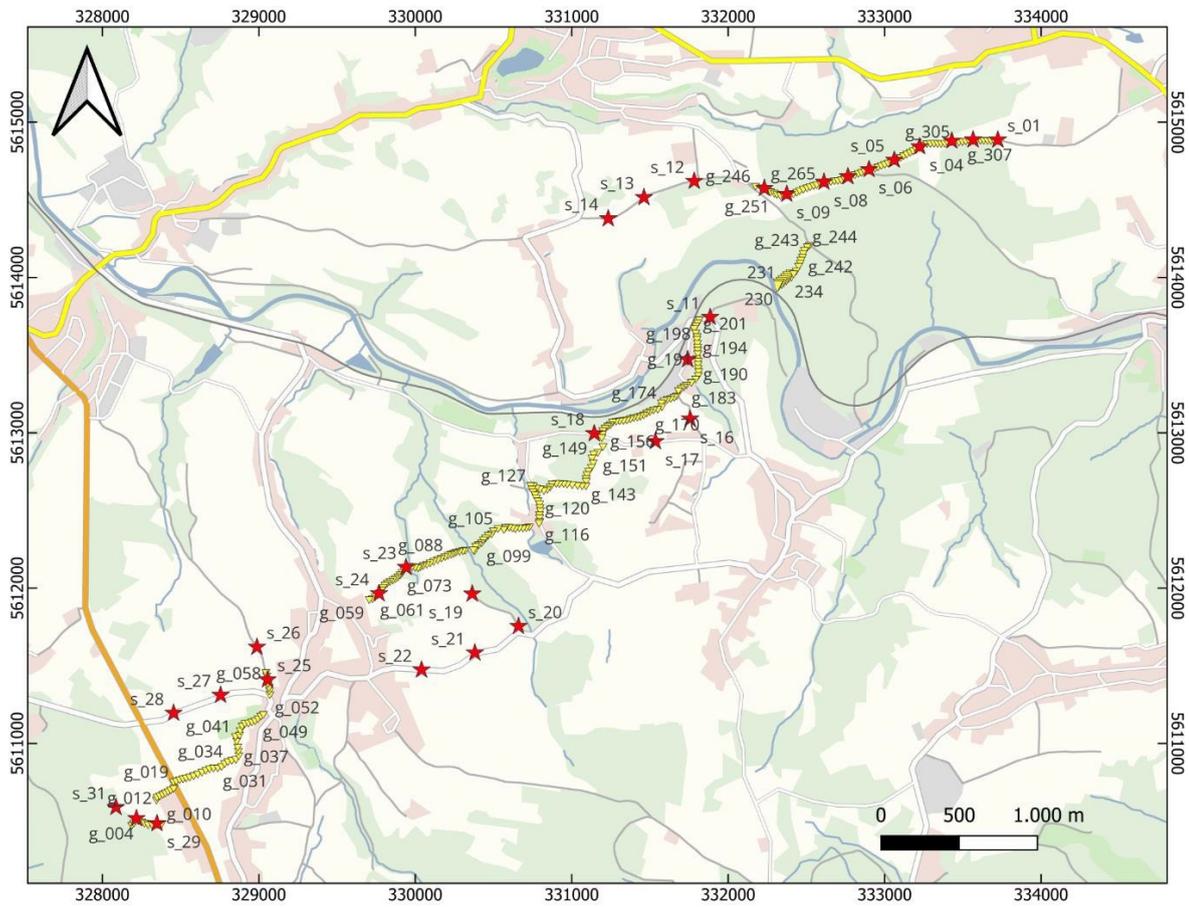
### 5.1.2 Messkonfiguration

Als seismische Quelle kam ein 22-Tonnen Vibroseis-Fahrzeug der Firma Geofizyka Toruń zum Einsatz (Abbildung 8), als Empfänger dienten 317 autonom registrierende Vertikalkomponenten-Geophone vom Typ Inova Quantum (4.5 Hz), von denen aufgrund der Topographie und der Geländebedingungen vor Ort insgesamt 291 eingesetzt werden konnten



**Abbildung 8** Vibroseis-Fahrzeug der Firma Geofizyka Toruń

Die Lage der Quell- und Empfängerpositionen ist in Abbildung 9 dargestellt. Neben den 291 Empfängerpositionen (gelbe Dreiecke in Abbildung 9) wurden 31 Quellpositionen für das Vibroseis-Fahrzeug realisiert (rote Sterne in Abbildung 9). An jeder Quellposition wurden ca. 5 Sweeps mit einem Frequenzband von 10-120 Hz (inkl. 250ms taper am Anfang und Ende), 30 s Länge, und 70 % peak force angeregt. Eine Liste mit den Parametern jedes einzelnen Sweeps befindet sich im Anhang (fieldbook.pdf) zusammen mit einer Liste der Koordinaten der Quell- und Empfängerpositionen (quell+empfaenger-koordinaten.txt), die im Feld mit Hilfe eines Differential-GPS-Systems bestimmt wurden.



**Abbildung 9: Lage der Quellpositionen (rote Sterne) und Empfängerpositionen (gelbe Dreiecke) im Untersuchungsgebiet**

### 5.1.3 Datenauswertung

Die Qualität der gewonnenen Daten ist überwiegend gut. Die Ankopplungsbedingungen von Quelle und Empfängern variiert in verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebietes zum Teil sehr stark, so dass der Ersteinsatz in bestimmten Teilbereichen der Profilauslage nicht überall gleich gut sichtbar ist. Dies liegt wohl zum großen Teil an dem sehr oberflächennahen Aufbau des Untergrundes im Bereich der entsprechenden Empfänger.

Abbildung 10 zeigt ein repräsentatives Datenbeispiel an der Quellposition 9 (alle Sweeps an dieser Quellposition wurden vertikal gestapelt). Die Ersteinsätze (blauer Pfeil) sind über große Teile der Auslage deutlich zu erkennen. Oberflächenwellen (oranger Pfeil) sowie der Luftschall (gelbe Pfeile) sind ebenfalls deutlich sichtbar. In der Datenbearbeitung wurde versucht, diese Wellen möglichst zu unterdrücken, sowie Rauschen in den Daten (durch z.B. vorbeifahrende Autos, Windräder, Industrie, Wind, etc.) zu minimieren.

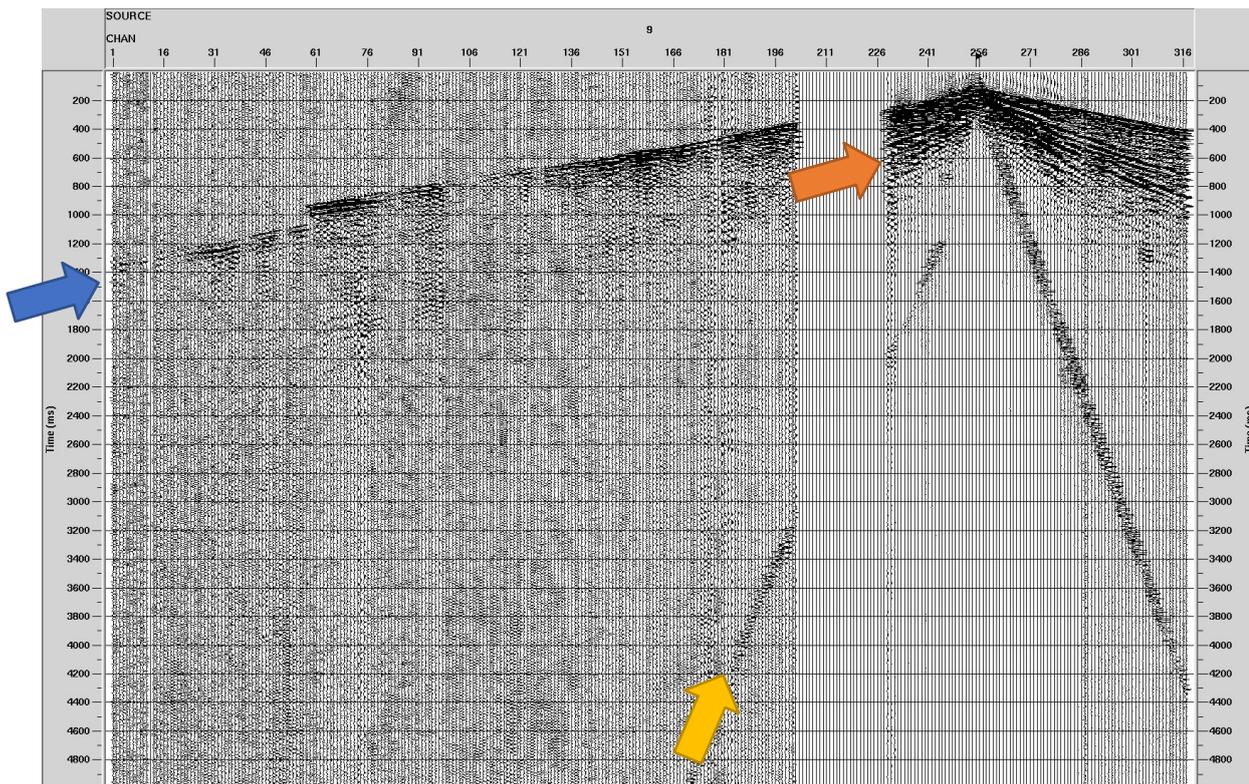


Abbildung 10: Repräsentatives Datenbeispiel an Quellposition 9

Die seismischen Rohdaten liegen in korrelierter aber ansonsten unbearbeiteter Form dem Bericht im Anhang als Datei seismic\_data\_langenweissbach2023.sgy bei.

### 5.1.4 Ersteinsatzlaufzeittomographie

Als erster Schritt wurde eine Abbildung 11 (oben) zeigt exemplarisch eine Einzelschusssektion mit den gesetzten Laufzeitpicks (rot), sowie in Abbildung 11 (unten) den Vergleich der gepickten Laufzeiten (rot) mit den aus dem invertierten Modell berechneten Laufzeiten (blau). Die Übereinstimmung der Laufzeiten ist sehr gut, so dass das berechnete Geschwindigkeitsmodell als sehr verlässlich angesehen werden kann. Letzteres ist in Abbildung 12 zusammen mit der Strahlüberdeckung dargestellt. Neben einer geringmächtigen relativ langsamen Überdeckung zeigt der Großteil des Modells bereits im oberflächennahen Bereich sehr hohe Geschwindigkeiten (4-6 km/s), was in Übereinstimmung mit der generellen geologischen Situation im Untersuchungsgebiet ist.

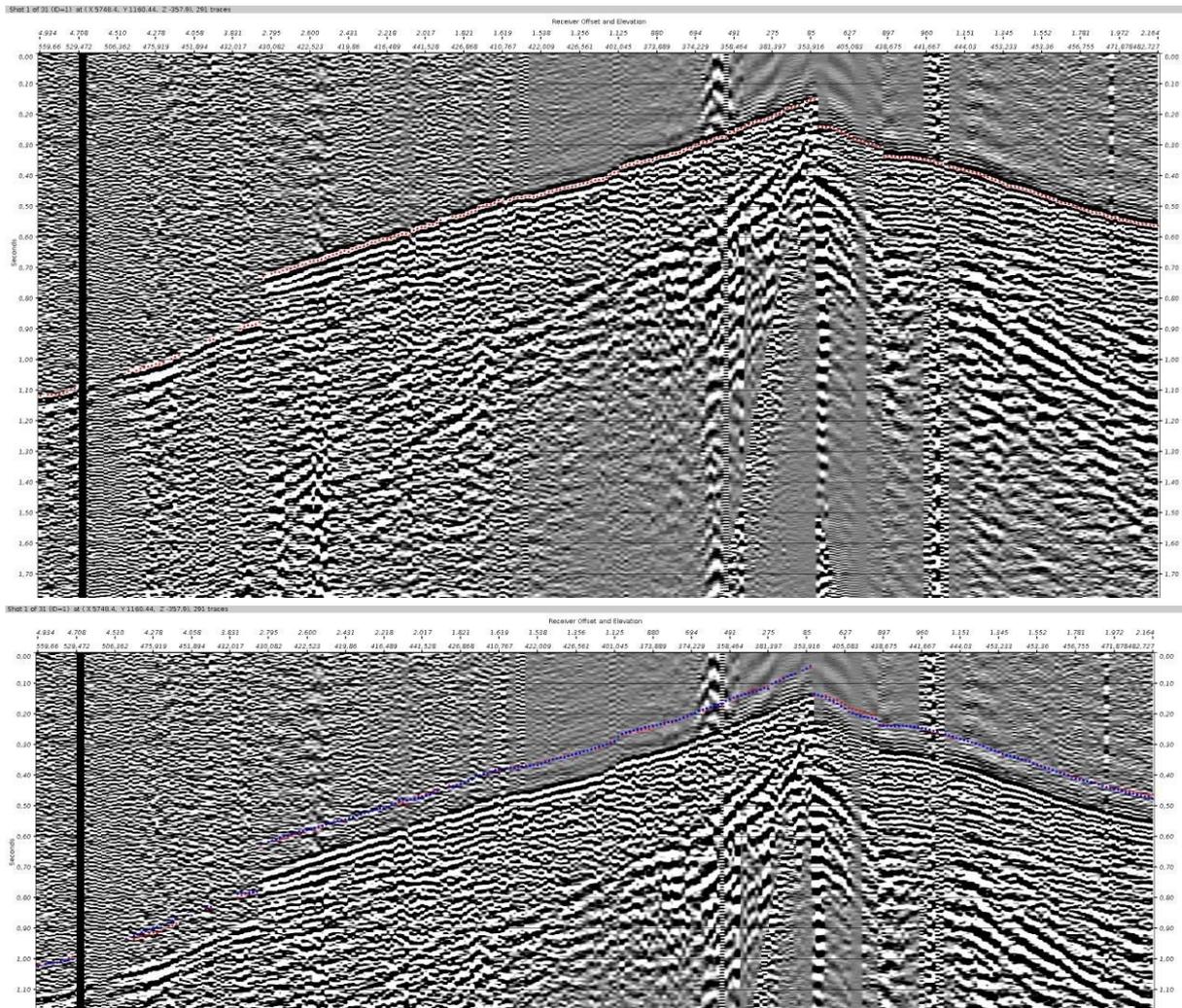


Abbildung 11: Exemplarische Einzelschussection mit gesetzten Laufzeitpicks (rot) (oben) sowie Vergleich der gepickten Laufzeiten (rot) mit den aus dem invertierten Modell berechneten Laufzeiten (blau) (unten; beide Laufzeiten wurden um 100 ms nach oben verschoben, um einen besseren visuellen Vergleich zueinander und zum Ersteinsatz zu ermöglichen)

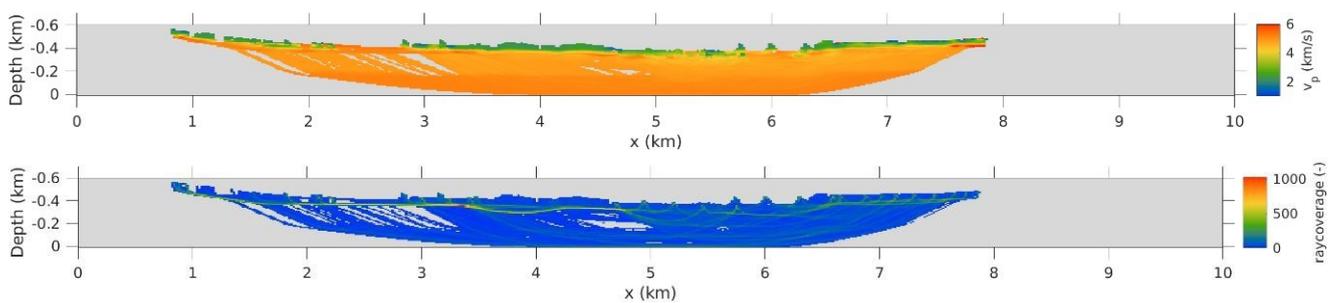
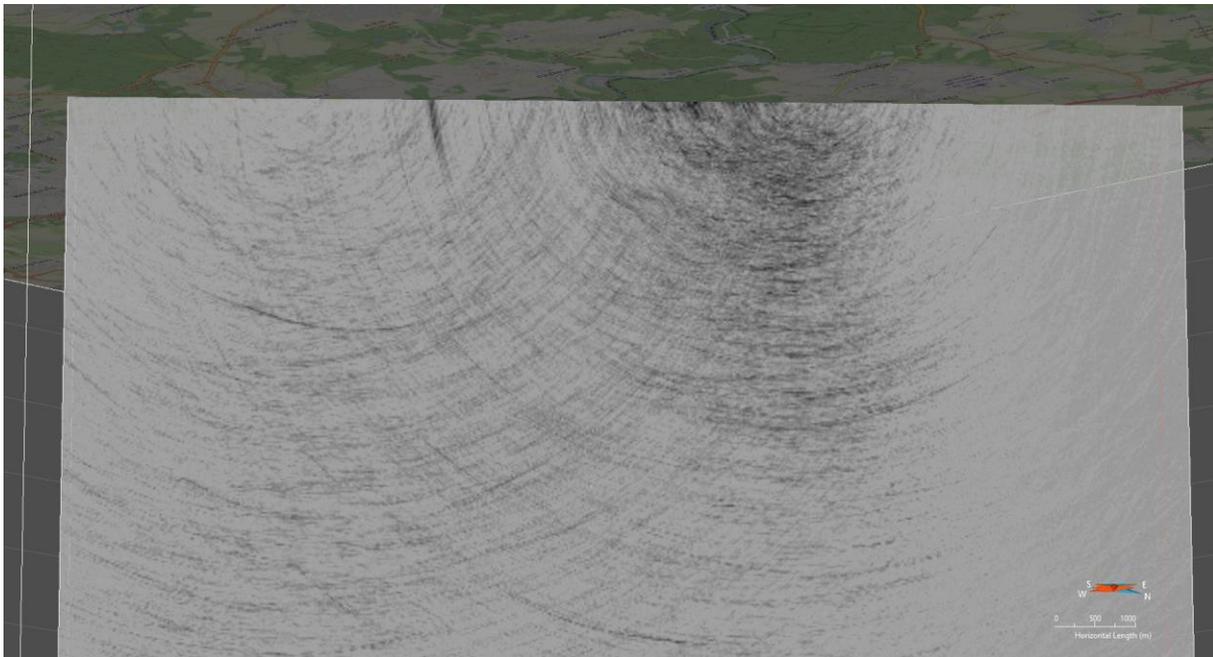


Abbildung 12: Invertiertes Geschwindigkeitsmodell (oben) und Strahlüberdeckung (unten)

## 5.1.5 Seismische Abbildung

Aus den 3D Seismik Daten von 2012 ist bekannt, dass im Bereich des Untersuchungsgebietes in einem Teil des Datensatzes vermutlich eine direkte Reflexion vom Roten Kamm existiert (siehe Abbildung 13, Hlousek et al. 2015). Für das in Abbildung 13 gezeigte Migrationsergebnis wurden nur wenige Schüsse des gesamten Datensatzes aber die 3D-Auslage der Empfänger aus dem 3D-Datensatz verwendet.



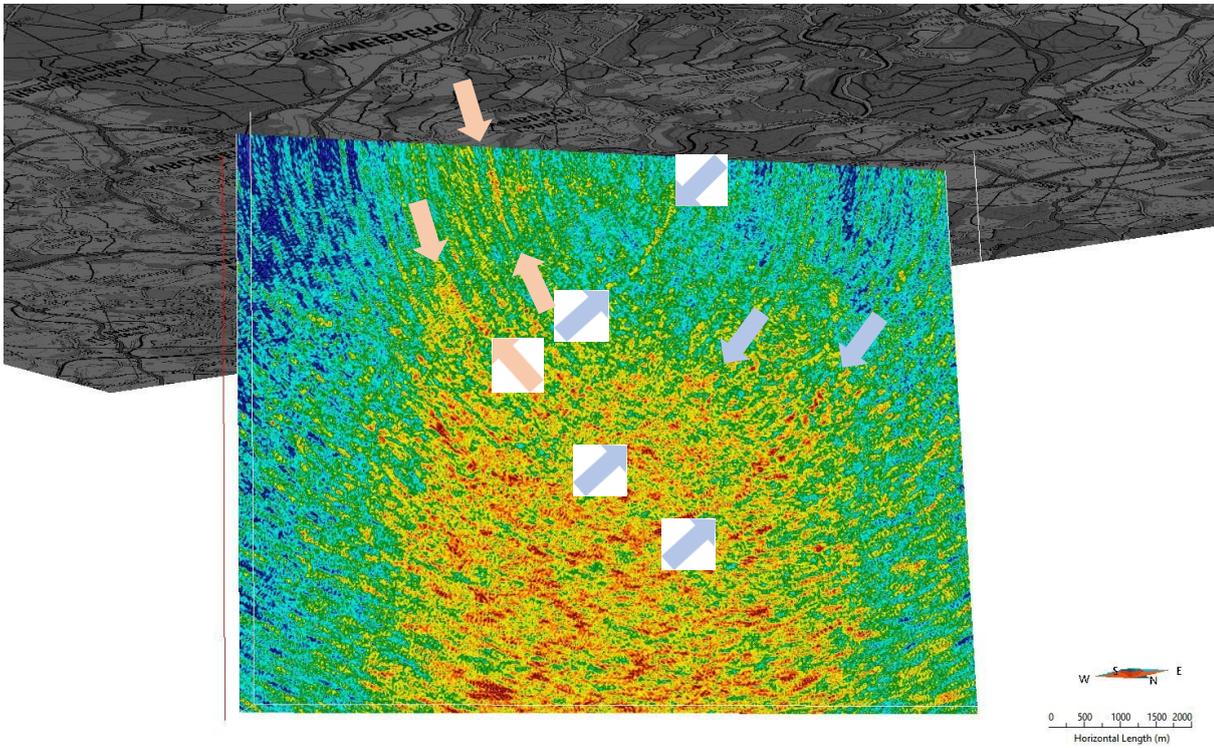
**Abbildung 13: Teilabbild des Roten Kamms im Untersuchungsgebiet. Dieses Abbild basiert auf einem Teil der 3D Daten aus dem Projekt "Seismik im Kristallin Sachsen" (Hlousek et al. 2015)**

Die hier nun neu akquirierten Daten wurden in vergleichbarer Weise wie die 3D Daten bearbeitet. Dies umfasste die folgenden Preprozessing-Schritte:

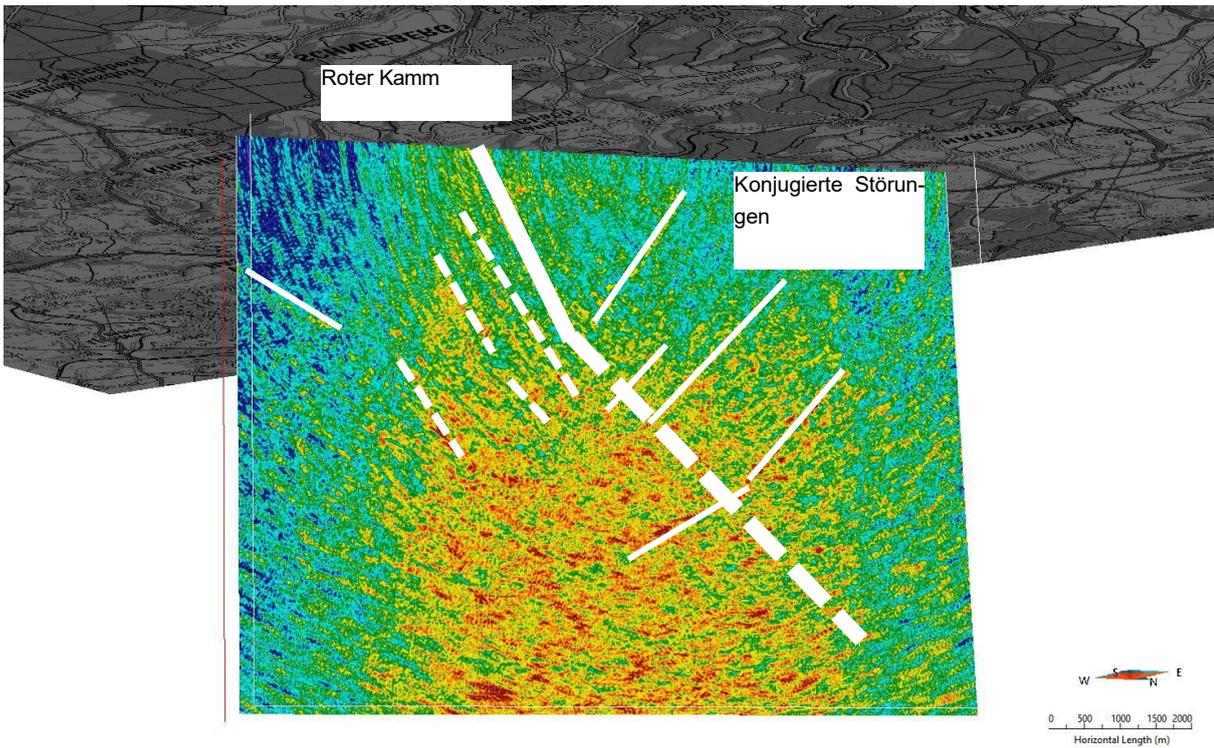
■ Spurnormierung	RMS
■ Spectral Shaping	Whiten
■ Bandpass Filter	12 – 120 Hz
■ Notch Filter	50 Hz
■ AGC	500 ms
■ Top Mute	Manuell gepickt

Anschließend wurde mittels pre-stack Tiefenmigration ein Tiefenabbild erstellt. Abbildung 14 zeigt das Ergebnis der Kirchhoff pre-stack Tiefenmigration für eine konstante Migrationsgeschwindigkeit von 6000 m/s. Obwohl nur vergleichsweise wenige Schüsse und Empfänger verwendet wurden, sind Ansätze einiger Reflektoren deutlich zu erkennen. Dabei handelt es sich um sehr steil nach Nordwesten einfallende Reflektoren (rote Pfeile in Abbildung 14) sowie Richtung Südwesten etwas flacher einfallende Reflektoren (blaue Pfeile Abbildung 14). Erstere können als Teil des Roten Kamms, bzw. der Störungszone um den Roten Kamm interpretiert werden. Sowohl ihre Lage als auch die Einfallrichtung stimmen gut mit dem Abbild aus den Daten von 2012 überein. Die nach Südwesten einfallenden Reflektoren hingegen können als Teil der "konjugierten Störungszone" interpretiert werden.

Abbildung 14 zeigt eine erste einfache Interpretation des neu gewonnenen seismischen Abbildes. Das Ergebnis liegt im SEG-Y Datenformat mit gesetzten Geometrie-Headern dem Bericht als Anhang A4 bei und kann direkt in SKUA-GOCAD importiert werden (Datei kh\_rms\_w1\_6k\_02\_offset1000.sgy).



**Abbildung 14: Ergebnis der Kirchhoff pre-stack Tiefenmigration für die neu akquirierten Daten. Die Pfeile markieren sichtbare Reflektoren im seismischen Abbild**



**Abbildung 15: Interpretation des in Abbildung 14 gezeigten Ergebnisses**

## 5.2 Tektonisches 3D-Modell der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde ein strukturgeologisches 3D-Modell der Uranlagerstätte Schlema-Alberoda angefertigt. Der folgende Abschnitt erläutert die methodische Entwicklung des Modells und die Resultate der 3D-Modellierung. So kann das strukturgeologische Inventar der Lagerstätte anschaulich wiedergegeben und charakterisiert werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem komplexen Störungsnetzwerk, welches durch die größten 27 bruchtektonischen Strukturen der Lagerstätte repräsentiert wird. Komplettiert wird das Modell durch die Darstellung der Lößnitz-Zwönitzer-Mulde, des Granitplutons, sowie von Lamprophyrgängen.

Für dieses Projekt lieferte das Geologische Archiv der Wismut GmbH einen umfangreichen Datensatz. Mittels des Programms ArcGIS der Firma ESRI wurde dieser Datensatz georeferenziert und ein digitales Geländemodell erstellt. Anschließend wurden mit Paradigm 18 SKUA-GOCAD ausgewählte geologische Strukturen vektorisiert und mit dem "Structure and Stratigraphy Workflow", sowie dem DSI-Algorithmus als Flächen dargestellt.

### 5.2.1 Geologischer Überblick

#### 5.2.1.1 Metamorphe Rahmengesteine

Die Uranlagerstätte Schlema-Alberoda zählt weltweit zu den bedeutsamsten Gangerzlagerstätten. Sie wurde 1946 von sowjetischen Geologen entdeckt und bis 1991 durch die SDAG Wismut nahezu vollständig erschöpft. Dabei wurden ca. 80.000 t Uran gewonnen. Die Lagerstätte ist im Westerzgebirge lokalisiert und ist Teil der sächsisch-thüringischen Uranprovinz. Sie erstreckt sich vom Auer Stadtteil Alberoda im Nordosten über Bad Schlema bis zum Roten Kamm im Südwesten. Im Südosten begrenzt das Massiv des Auer Granits die Lagerstätte. Der Distrikt ist an den Kreuzungsbereich der Gera-Jáchymov-Störungszone und der Lößnitz-Zwönitzer-Mulde gebunden. Umgeben wird die Lößnitz-Zwönitzer-Mulde von hellen Phylliten der Erzgebirgsnordrandzone. Diese LP-LT-Phyllite mit frühpaläozoischem Alter (Linnemann et al., 2010) sind im Exokontakt des variszischen Granits kontaktmetamorph überprägt. Die Gesteine der Lößnitz-Zwönitzer-Mulde sind tektonisch stark beansprucht und zeichnen sich durch intensive petrografische Wechsel aus. Dieser Komplex beinhaltet dunkle Phyllite, Kiesel- und Alaunschiefer, sowie metamorph überprägte Diabase. Nähere stratigraphische Einordnungen der Ausgangssedimente sind aufgrund der intensiven regional- und kontaktmetamorphen Beanspruchung nicht möglich. In der Literatur (z. B. Hiller und Schuppan 2008) werden die Gesteine der Lößnitz-Zwönitzer-Mulde in das obere Ordovizium bis Devon eingeordnet. Das beruht auf regionalen Vergleichen mit dem thüringisch-vogtländischen Raum. Lediglich die Kiesel- und Alaunschiefer konnten biostratigraphisch durch Graptholitenfunde eindeutig dem Silur zugeordnet werden.

#### 5.2.1.2 Magmatite

##### Auer Granit

Der Auer Granit befindet sich in der Aue-Schwarzenberg Granitzone und zeigt sich an der Tagesoberfläche durch die Ausbisse des Auer und des Gleesberger Massivs. Der einst einheitliche Körper wurde durch Abschiebungsbewegungen am Roten Kamm oberflächennah getrennt. Der Pluton gehört zur geochemischen Gruppe der Fluorarmen Biotitgranite und wird als I-(S)-Typ-Granit klassifiziert (Förster et al. 1998; Förster et al. 1999). Es kann ein namurisches Intrusionsalter von  $328,6 \pm 2,0$  Ma bestätigt werden (Tichomirova und Leonhardt 2010). Die Schmelzmigration fand vermutlich entlang des Roten Kamms statt, wo er anschließend als Lakkolith platznahm (Stephan et al. 2018). Petrografisch zeichnet er sich intern durch textuelle und geochemische Unterschiede aus, welche auf eine mehrstufige Entstehungsgeschichte durch Subintrusionen zurückzuführen ist. Die früh geformten mittel- bis grobkörnigen Granite sind am weitesten verbreitet und charakterisieren sich durch große Orthoklas-Einsprenglinge in einer Grundmasse aus Quarz (30-35 %), Oligoklas (30-35 %), Mikroklin (20-25 %) und Biotit (5-10 %) (Hiller und Schuppan 2008).

## Lamprophyrgänge

Die lamprophyrischen Intrusionen des Erzgebirges werden nach Seifert (2008) in drei Gruppen eingeordnet, welche sich in Petrographie, Geochemie und relativen Altersbeziehungen unterscheiden. Im Lagerstättenrevier Schlema-Alberoda kommen mit den Biotit- und Chloritkersantiten Vertreter der zweiten Lamprophyr Gang Gruppe vor. Petrochemisch konnte nachgewiesen werden, dass sie in Folge von intensiver Krustendehnung intrudierten. Sie bestehen aus angereichertem Mantelmaterial und sind kaum durch Bestandteile der Kruste kontaminiert.

Die Biotitkersantite sind überwiegend in N-S bis NE-SW streichenden Gängen, welche flach nach Westen einfallen, zu finden. Sie erreichen Mächtigkeiten von bis zu 30 m und sind im Streichen 2 bis 2,5 km zu verfolgen. Petrografisch sind sie durch eine feinkörnige Grundmasse aus Plagioklas, Biotit und Chlorit mit Einsprenglingen von Biotit, Plagioklas und Pyroxen gekennzeichnet (Hiller und Schuppan 2008). Die Biotit- kersantite gehören zur älteren Lamprophyrgruppe der Lagerstätte. Ihre Gänge werden von Chloritkersantiten und Apliten geschnitten. Die Aufschlussverhältnisse in der Lagerstätte weisen darauf hin, dass sie vor dem Auer Granit intrudierten (Wallner et al. 2009; Seifert 2008).

Die Chloritkersantite liegen größtenteils hydrothermal überprägt in der Lagerstätte vor. Sie sind jünger als die Verwitterungsprodukte des Granits (q-Formation) und ordnen sich chronologisch vor den Mineralisationen der kb-Formationen ein (Ačejev und Harlass 1968). Die Kersantite zeichnen sich ebenfalls durch eine porphyrische Struktur aus. Die feinkörnige, grünlich-braune bis rotbraune Matrix aus serizitierten Plagioklas, Quarz, Epidot, Chlorit, Hämatit und Calcit ist mit Chlorit- und Quarzeinsprenglingen versehen. Die bis zu 3 m mächtigen Gänge streichen NE gerichtet und fallen steil nach NW ein. In Niederschlema nutzen die Lamprophyre auf 1 bis 1,5 km Länge die Wegsamkeiten der großen E-W streichenden Störungen, wie „Gera“ und „Union“ (Hiller und Schuppan 2008).

### 5.2.1.3 Störungsnetzwerk

Der Lagerstättendistrikt Schlema-Alberoda ist durch ein dichtes Netz bruchtektonischer Strukturen gekennzeichnet. Nach Hiller und Schuppan (2008) lassen sich fünf Störungsscharen unterscheiden, die jeweils durch räumliche Lage und Orientierung sowie nach Besonderheiten der Entwicklung gekennzeichnet sind (Tabelle 3). Sie werden allesamt durch großangelegte Störungen repräsentiert und zeigen Merkmale, die darauf hindeuten, dass sie vor der Intrusion des spätvariszischen Granits angelegt wurden (Wallner et al. 2009). Nach Entstehung des Gangsystems der Lagerstätte erfolgte eine intensive und mehrmalige Reaktivierung, wodurch verschiedene und komplizierte strukturelle Verhältnisse zwischen den Störungen geschaffen wurden. Deshalb kann eine relative Altersabfolge der Strukturen nicht abgeleitet werden. Die Vertreter der Störungsschare verwerfen sich gegenseitig und prägen das komplexe strukturelle geologische Bild der Lagerstätte.

**Tabelle 3: Flächenschar des Störungsnetzwerkes mit ihrer Charakteristik und einer Auswahl an Strukturen des Lagerstättendistriktes Schlema-Alberoda nach Hiller und Schuppan (2008). Störungen mit einer Erstreckung über mindestens drei Sohlen wurden von den Geologen und Bergleuten der SDAG Wismut benannt. Sie tragen Bezeichnungen u.a. von Frauennamen, Mineralen, Städten, Flüssen und Zigarettenmarken**

Störungsschar	Streichen	Fallen	Vertreter
NW-SE streichend	310-320°	50-70° SW 50-60° NE 90°	Beryll, Kosmos, Schwerin, Saphir, Olivin, Ferrit, Araqui
E-W streichend	220-280°	45-65° N	Erna 1, Erna 2, Gera, Inge, Nordwest-Störung, Elbe, Union, Egon
WNW-ESE streichend	275-305°	70-90° NE/SW	Bad Elster, Natascha, Valentina, Bozen, Jatu, Sophie
NE-SW streichend	30-60°	50-85°	Dynamo, Zentralstörung
NNW-SSE streichend	330-350° (Ausnahmen bis 10°)	60-75°	Brillant, Cubanit, Plauen, Kassiterit, Zink, Tokio, Hämatit

Die Gruppe der NW-SE streichenden Störungen steht im Kontext der Gera-Jáchymov-Zone. Die Schar ist in der Lagerstätte am weitesten verbreitet und führt den Großteil der hydrothermalen Uranerzgänge (Hiller und Schuppan 2008). Die Störung „Ruhmvoll“ sticht mit seinen bis zu 6 m mächtigen Mineralisationen hervor. In der Lagerstätte spielt der Rote Kamm eine bedeutende strukturelle Rolle. An ihm sind NW-SE streichende Strukturen wie beispielsweise „Sieg“, „Bergmanns Hoffnung“, „Schwerin“, „Ruhmvoll“, usw. assoziiert. Die konjugierten Störungen weisen einen antithetischen Verlauf mit einem Fallen in SW Richtung auf. Die Dichte des Gangnetzes und großflächige Störungen nehmen mit Entfernung vom Roten Kamm Richtung NE ab. Die Mächtigkeit der konjugierten Störungen beträgt durchschnittlich 10 m und kann in Granitnähe lokal auch 40 bis 60 m betragen. An den Großstrukturen sind in der Nähe zum Pluton auf bis zu 500 m Länge max. 100 m mächtige Granitapophysen eingetragen. Die NW-SE streichenden Störungen können als (Schräg-) Abschiebungen charakterisiert werden. Alle Strukturen führen tektonisch überprägtes Material. Im Liegenden der Störungsflächen sind häufig Mylonite und im Hangenden mehrphasige Mineralisationen mit Nebengesteinsbrekzien anstehend. Die Großstrukturen versetzen neben den Lithologien sämtliche Lamprophyrgänge, E-W und NE-SW streichende Störungen. Jedoch kontrolliert die E-W streichende Störung „Union“ ebenfalls zahlreiche großflächige NW-SE streichende Störungen wie „Seim“, „Kosmos“ oder „Leucit 2“ (Hiller und Schuppan 2008).

Die Schar der E-W-streichenden Störungen sind an die LZZ gebunden. Ihre Vertreter verlaufen konkordant oder im spitzen Winkel zu Schieferungsflächen der Metamorphite. Die bruchtektonischen Strukturen sind fast ausschließlich nur in der produktiven Serie entwickelt. Die Störungen mit den Bezeichnungen „Union“ und „Gera“ bilden dabei annähernd die S- und N-Begrenzung der LZZ. Die großflächig angelegten Strukturen, die von Störungen kleinerer Ordnung begleitet werden, wurden vermutlich bei der Verfaltung des LZZ-Komplexes angelegt und fungierten als Scherflächen. Sie zeichnen sich intern häufig durch mehrere tektonischen Gleitbahnen mit deutlichen Harnischen und Strömungen aus, an denen vertikale und laterale Auf- sowie Abschiebungen stattfanden. Im Oberschlemaer Raum liefen diese Blockbewegungen nicht so intensiv ab. Hier ist mit der „Nordwest-Störung“ nur ein Vertreter der großen Hauptstrukturen zu finden. Typisch für die bis zu 10 m mächtigen Gänge sind ausgewalzte graphitische Substanzen im Bereich kohlenstoffreicher Schiefer, an denen umfangreiche Uranerzausfällungen stattfanden. Die E-W streichenden Störungen fungierten, ähnlich wie die „Schwebenden“ in der Lagerstätte Annaberg-Buchholz, als Erzbarrieren (Hiller und Schuppan 2008) und werden deshalb auch als „Zonen“ bezeichnet. Im Auer Granit ist die Störungsschar bis auf „Union“ nicht nachgewiesen. Im Allgemeinen werden die E-W streichenden Gänge von Milchquarz dominiert. In Niederschlema führen sie teilweise auch Chloritkersantite (Hiller und Schuppan 2008). In den Hauptstrukturen sind hydrothermale Mineralisationen sämtlicher Formationen entwickelt.

Die WNW-ESE streichenden Störungen sind im Lagerstättenrevier ebenfalls weitverbreitet. Sie treten häufig in den oberen Lagerstättenbereichen auf und sind bis auf den Bereich in unmittelbarer Nähe zum Roten Kamm überall im Lagerstättenrevier vertreten (Hiller und Schuppan 2008). „Bad Elster“ gilt als die markanteste Störung der Flächenschar und ist mit 3,5 km Streichen sowie 1 km Fallen von großer Bedeutung. Sie bildet einen 0,5 bis 5 m mächtigen Gang und versetzt sämtliche E-W streichende Störungen um 25 bis 30 m. NW-SE streichende Störungen werden ebenfalls kontrolliert, wobei Kontaktverhältnisse zu „Schwerin“ und „Ruhmvoll“ struktureologisch nicht aufgeschlossen sind. Kleinere WNW-ESE streichende Störungen werden wiederum von E-W und NW-SE streichenden Strukturen abgeschnitten. Vertreter des WNW-ESE streichenden Systems führen Uranmineralisationen sämtlicher Formationen mit zerscherten oder brekziierten Nebengestein. Vererzungen treten im SW der Lagerstätte, in Granitnähe, vermehrt auf. Allgemein zeichnet sich die Störungsgruppe kinematisch durch Schrägabschiebungen aus. Biotitkernantitgänge sind an Kontakten zu angrenzenden WNW-ESE streichenden Strukturen aufgetrümert und schwanken in diesem Kreuzungsbereichen stark in ihren Mächtigkeiten. Dies spricht für eine frühe Anlage dieser Störungsschar. Außerdem haben sich auch untergeordnet Aplite in WNW-ESE streichenden Gängen gebildet (Hiller und Schuppan 2008).

Die NE-SW streichende Störungsschar ist vorrangig im Oberschlemaer Revier anzutreffen. Hierbei sind sie als „echte Morgengänge“ von den E-W streichenden Störungen zu unterscheiden, welche im SW der Lagerstätte durch den Verlauf der LZZ ebenfalls annähernd eine NE-SW Ausrichtung einnehmen. In den hellen Phylliten sind die Gänge prägnant ausgebildet. In der produktiven Serie werden sie durch angrenzende E-W streichende Störungen größtenteils aufgetrümert und treten weniger deutlich auf. Vertreter des NE-SW orientierten Systems erstrecken sich bis über Hunderte Meter und schwanken in ihren Mächtigkeiten von 0,1 bis 1,5 m. Die größeren Störungen werden von mittleren und kleineren konjugierten Gängen begleitet. Sie führen Lettenmaterial und stark deformiertes Nebengestein. Weiterhin sind Chloritkernantitfüllungen und monomineralischer hydrothermaler Quarz typisch. NE-SW streichende Gänge werden in der Regel von sämtlichen anderen Störungsscharen geschnitten. Größere Strukturen wie „Dynamo“ und „Zentralstörung“ können aber auch NW-SE, NNW-SSE und WNW-ESE streichende Strukturen um einige Meter verwerfen. Dabei handelt es sich stets um Abschiebungen. Aufgrund der fehlenden Uranspezialisierung kamen den Vertretern der NE-SW streichenden Schar bei der Erkundung der Lagerstätte eine untergeordnete Rolle zu (Hiller und Schuppan 2008).

Die NNW-SSE streichende Störungsschar ist in der Lagerstätte schwach vertreten und konzentriert sich auf den tieferen Sohlen. Vertreter erreichen streichende und fallende Erstreckungen von 500 bis 1000 m. Der Internbau ähnelt dem, des NW-SE orientierten bruchtektonischen Systems. Die größeren Strukturen sind als Gleitbahnen für Auf- wie Abschiebungen mit zerscherten und brekziierten Nebengestein angelegt. Dazu führen sie noch Aplite, Biotitkernantite und Quarz-Karbonat-Mineralisationen. Im Auer Granitmassiv ist das Störungssystem ebenfalls nachgewiesen. In diesen Bereichen können zentimetermächtige Granitbrekzien und Letten (fault gouge) angesprochen werden. Im Allgemeinen können NNW-SSE streichenden Gänge Mächtigkeiten von 2 m erreichen. In der produktiven Serie werden sie von NW-SE und E-W streichenden Strukturen versetzt oder begrenzt. Größere Störungen wie „Cubanit“, können allerdings auch NW-SE streichende Strukturen kleinerer Größenordnung versetzen (Hiller und Schuppan 2008).

#### **5.2.1.4 Mineralisationszyklus**

Die Lagerstätte Schlema-Alberoda zeichnet sich wie viele weitere Distrikte in der GJZ durch eine wirtschaftlich bedeutsame Führung von hydrothermalen Uranmineralisationen aus. Das Uran dieser Lagerstätten stammt ursprünglich aus organisch-reichen Metasedimenten, insbesondere silurischen Schwarzschiefern. Die Uran Anreicherung in diesen Lithologien ist auf die hirnantische Vereisung vor 460 bis 430 Ma zurückzuführen. Hierbei trug glaziale Erosion tiefgründig kontinentales Gestein ab, das bereits stark an Uran ausgelaugt war. Dies brachte unverwitterte, Uranreiche Gesteine an die Erdoberfläche. Das anschließende Abschmelzen des Eisschildes verursachte einen Anstieg des Meeresspiegels und eine Überschwemmung des kontinentalen Schelfes. Unter anoxischen Bedingungen wurden Sedimente abgelagert die reich an organischem Material waren. Hierdurch entstanden die charakteristischen Schwarzschiefer, die an redox-sensitiven Elementen wie Uran angereicherten sind, das durch post-glaziale Erosion vom Kontinent freigesetzt wurde (Romer und Cuney 2018). Im Falle der Lagerstätte Schlema-Alberoda handelt es

sich dabei konkret um die kohlenstoffreichen Metasedimente der Lößnitz-Zwönitzer-Zone (LZZ), insbesondere der silurischen Kiesel- und Alaunschiefer. In der spätvariszischen Phase wurden diese organisch- und uranreichen Gesteine durch die granitische Intrusion teilweise aufgeschmolzen, wobei auch der Pluton selbst mit Uran angereichert wurde. Im Perm sorgte die tektonische Reaktivierung der variszisch angelegten Gera-Jáchymov Störungszone für die Migration von Fluiden, welche Uran aus dem Granit und der Lößnitz-Zwönitzer-Zone auslaugten (Förster et al. 2009; Romer und Cuney 2018). Diese wurden im bruchtektonischen System der Lagerstätte als hydrothermale Mineralisationen, bevorzugt im granitnahen Raum ausgeschieden. Durch spätere mesozoische geodynamische Prozesse, wie der Öffnung der Tethys und des Nordatlantiks wurde die GJZ erneut reaktiviert und es erfolgte eine Umverteilung der Uranmineralisierung innerhalb der Lagerstätte. In spätmesozoischen Prozessen wurden außerdem weitere Elemente aus den silurischen Schwarzschiefern gelaugt. Dafür sprechen die Vorkommen von Bi, Cu und Ni mit gediegen Ag und As in jüngeren Paragenesen (Romer und Cuney 2018).

Die hydrothermalen Gangmineralisationen offenbaren die spätpaläozoische bis känozoische Vergangenheit der Lagerstätte Schlema-Alberoda. Durch u.a. erzmikroskopische, geochemische und isotopengeochemische Untersuchungen können absolute Altersdaten der Mineralisationen gesichert werden. Für die folgenden Gangbeschreibungen wird die Nomenklatur der SDAG Wismut übernommen, welche die wichtigsten Paragenesen der Hydrothermalen der Lagerstätten und deren Abfolge von den ältesten zu den jüngsten Bildungen berücksichtigt.

### **q-Formation**

Die älteste Formation der Lagerstätte stellen Quarzmineralisationen dar. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf den Kontakthof des granitischen Plutons in der Glimmerfelszone. Sie sind genetisch an den spätvariszischen Granit gebunden und Produkte des Vergreisungsprozesses. Häufig ist in den Gängen monomineralischer milchig-weißer bis hellgrauer Fettquarz ausgebildet. Vereinzelt tritt der Quarz auch in Gesellschaft von Feldspat, Turmalin, Muskovit, Fluorit, Chlorit und Calcit auf. Außerdem wurden die Erzminerale Scheelit, Wolframit, Molybdänit und lokal auch Kassiterit (Lipp und Schröder 1990) festgestellt, deren Konzentrationen jedoch keine wirtschaftliche Nutzung zulassen. Die q-Formation ist in jeder Störungsschar vertreten, hauptsächlich aber in NE-SW streichenden Störungen (Baumann et al. 2000).

### **kb-Formation**

Die Quarz-Polymetallsulfid-Formation spielt im Distrikt eine untergeordnete Rolle. Die Paragenesen dieser Assoziation treten analog zum Schneeberger Lagerstättenraum auf und unterliegen einer Altersabfolge. Zu den ältesten Ausscheidungen gehört die Quarz-Arsenopyrit-, gefolgt von der Quarz-Pyrit-, der Chalkopyrit-Sphalerit-, der Tennantit-Bornit- und der jüngeren Sphalerit-Galenit-Folge (Nepočatyň et al. 1990; Herrmann et al. 1995). Die kb-Formation ist u. a. in NW-SE streichenden Störungen bis zu 1 m und in E-W streichenden Gängen bis zu 3 m mächtig vertreten. Sie bilden größtenteils selbständige Gänge und Trümer. In Oberschlema führen die NE-SW streichenden Strukturen reinen Milchquarz der kb-Formation (Hiller und Schuppan 2008).

### **kku-Formation**

Bei der kku-Formation handelt es sich um Assoziationen von Quarz-Pechblende-Kalzit. Diese stellen die primären Ablagerungen des Uranstadiums der Lagerstätte dar. Die Pechblenden sind auf ein Alter von 271-278 Ma datiert (Förster 1996; Förster und Haack 1995). Die Mineralisationen der kku-Formation weisen in den Gängen einen symmetrisch-zonalen Aufbau auf. Gewöhnlich ist an den Saalbändern Quarz zu finden und im Zentrum grobkörniger Kalzit. Pechblende ist auf Quarz, Kalzit und Fluorit aufgewachsen und bildet typische massige, krustenförmig verwachsene, sphärolithische Aggregate, welche häufig kataklasiert vorkommen. Die kku-Vererzungen sind in NW-SE, WNW-ESE, NNW-SSE und E-W streichenden Strukturen ausgebildet. Teilweise sind sie als selbständige Gänge im Teil Oberschlema anzutreffen. In Niederschlema ist diese Formation oft nur reliktsch vertreten, da eine intensive Verdrängung durch jüngere Abfolgen stattfand (Hiller und Schuppan 2008).

### **mgu-Formation**

Hauptaugenmerk der wirtschaftlichen Nutzung der Lagerstätte lag auf der Karbonat- Sulfantimonid-Formation. Die Assoziation ist für die metasomatische Überprägung der kku-Gänge verantwortlich. Dies führte zu einer Dolomitisierung des Kalzits und zu einer teilweisen Auflösung und Umlagerung der primären Uranvererzungen. Die Dolomitgänge erreichen Mächtigkeiten von 20 cm bis 3-4 m und sind auf mehrere hundert Meter Erstreckung ausgehalten, wobei sie stets Relikte der kku-Mineralisationen führen. Das Alter der sekundären Pechblenden wurde jurasisch auf ca. 190Ma bestimmt (Förster 1996; Linnemann und Romer 2004). Die Pechblenden sind häufig mit Sulfiden wie Chalkopyrit und Tennantit sowie dem Selenid Clausthalit assoziiert. Zu den älteren Bildungen der Formation gehören dunkelviolette bis schwarze Fluorite. Der Dolomit wurde während der Mineralisation fortlaufend ausgeschieden, wobei der Eisengehalt stetig zunahm. Die Einlagerung von Hämatit-Lepidokroit lassen ihn von blassrosa bis dunkelbraun erscheinen (Hiller und Schuppan 2008).

### **Ag-Bi-Co-Ni-As-U-Formation**

Typisch für die Formation ist das Auftreten von gediegen Wismut und Silber, welche von Ni-Cu-Fe-Arseniden überwachsen sind. Als Gangart fungieren Karbonate verschiedener Zusammensetzungen (Kreissl et al. 2018; Burisch et al. 2017). Die Ag-Bi- Co-Ni-As-U-Formation spielt im Lagerstättendistrikt eine eher untergeordnete Rolle. Hauptsächlich überprägen sie die Mineralisationen der kku- und mgu-Formation und bilden eng begrenzte Linsen. Neben Karbonaten können auch Baryt und Quarz die vorherrschende Gangart sein. Die Baryt-Arsenid-Folge ist hiervon die älteste Bildung und auf den oberen Sohlen im Gebiet Niederschlema vertreten. Danach folgen Quarz- Arsenid-Mineralisationen, welche in Oberschlema im granitnahen Raum auf Großstrukturen wie den Roten Kamm, „Schwerin“, „Sieg“ und „Bad Elster“ konzentriert sind. Am weitesten verbreitet sind Assoziationen des Karbonat-Arsenid-Stadiums mit weißen, chemisch variablen Dolomit-Ankerit. Die auftretenden Erzminerale zeigen ebenfalls eine räumliche Abhängigkeit. Granitfern treten häufiger gediegene Elemente wie Silber und Arsen mit Nickelarseniden auf. In der Nähe des Granits kommen vor allem gediegen Wismut und kobaltreiche Arsenide vor. An Gangkreuzen und teleskopierten Gangbereichen sind außerdem Einlagerungen von Pechblende und Coffinit zu beobachten. Ein radiologisches Alter der Mineralisationen konnte auf ca. 120 Ma ermittelt werden (Förster 1996; Guilcher et al. 2021).

### **AgS-Formation**

Die Kalzit-Silber-Folge ist relativ selten im Lagerstättenrevier. Die Gänge führen aber lokal auch bedeutsame Ag-Vererzungen wie gediegen Silber und Proustit.

### **e-Formation**

Die Quarz-Eisen-Mangan-Oxid-Assoziation stellt die jüngste Formation des hydrothermalen Mineralisationszyklus in der Lagerstätte dar. Dabei handelt es sich um ziegelroten Quarz, welcher mit Hämatit und lokal auch jüngeren Manganerzen auftritt. Aufgrund der problematischen Abgrenzung zu Oxidationsbildungen, ist die Formation nur in einigen komplex mineralisierten Gängen im Revier Oberschlema beschrieben (Hiller und Schuppan 2008).

## **5.2.2 3D Geomodellierung**

### **5.2.2.1 Methodik**

Für die strukturgeologische Analyse der Lagerstätte Schlema-Alberoda wird auf die Methode der 3D-Geomodellierung zurückgegriffen (Mallet et al. 1989; Ait Ettajer und Mallet 1994). Dieses Werkzeug dient dem Verständnis komplexer geologischer Sachverhalte. Analoge Daten werden dabei als dreidimensionales Abbild zugänglich gemacht und Eigenschaften, welche räumliche Bezugspunkte erfordern wie beispielsweise Lage, Orientierung, Topologie oder Geometrie können dem Betrachter unmittelbar dargelegt werden. Darüber hinaus lassen sich so zweidimensionalen Daten (Karten und Profile) sowie bisherige Forschungsarbeiten zum strukturgeologischen Bau der Lagerstätte verifizieren. Außerdem kann der erstellte Datensatz weiterführenden Projekten wie beispielsweise der geothermischen Reservoircharakterisierung des Bergbaudistriktes dienen und durch weitere Informationen ergänzt werden. Unter Anwendung dieser Methode soll im Rahmen dieser Abhandlung das strukturgeologische Inventar der Lagerstätte Schlema-Alberoda in einem 3D-Modell abgebildet, anhand von 2D-Darstellungen beschrieben und anschließend ausgewertet werden. Der Fokus liegt auf dem komplex entwickelten Störungsnetzwerk, welches anhand einer

Auswahl großangelegter Vertreter repräsentiert werden soll. Insbesondere strukturelle Charakteristika des Roten Kamms und der konjugierten NW-SE streichenden Störungen sollen im 3D-Modell erfasst werden, da sie im Kontext zur Gera-Jáchymov-Zone stehen. Des Weiteren werden noch der Auer Granit, die Lößnitz-Zwönitzer-Zone und Lamprophyrgänge abgebildet. Der Arbeitsablauf (Abbildung 16), vom analogen Datensatz bis zum strukturellen 3D-Modell kann in drei grundlegende Schritte unterteilt werden: i) Arbeitsvorbereitung; ii) Datenaufbereitung; iii) Modellierung.

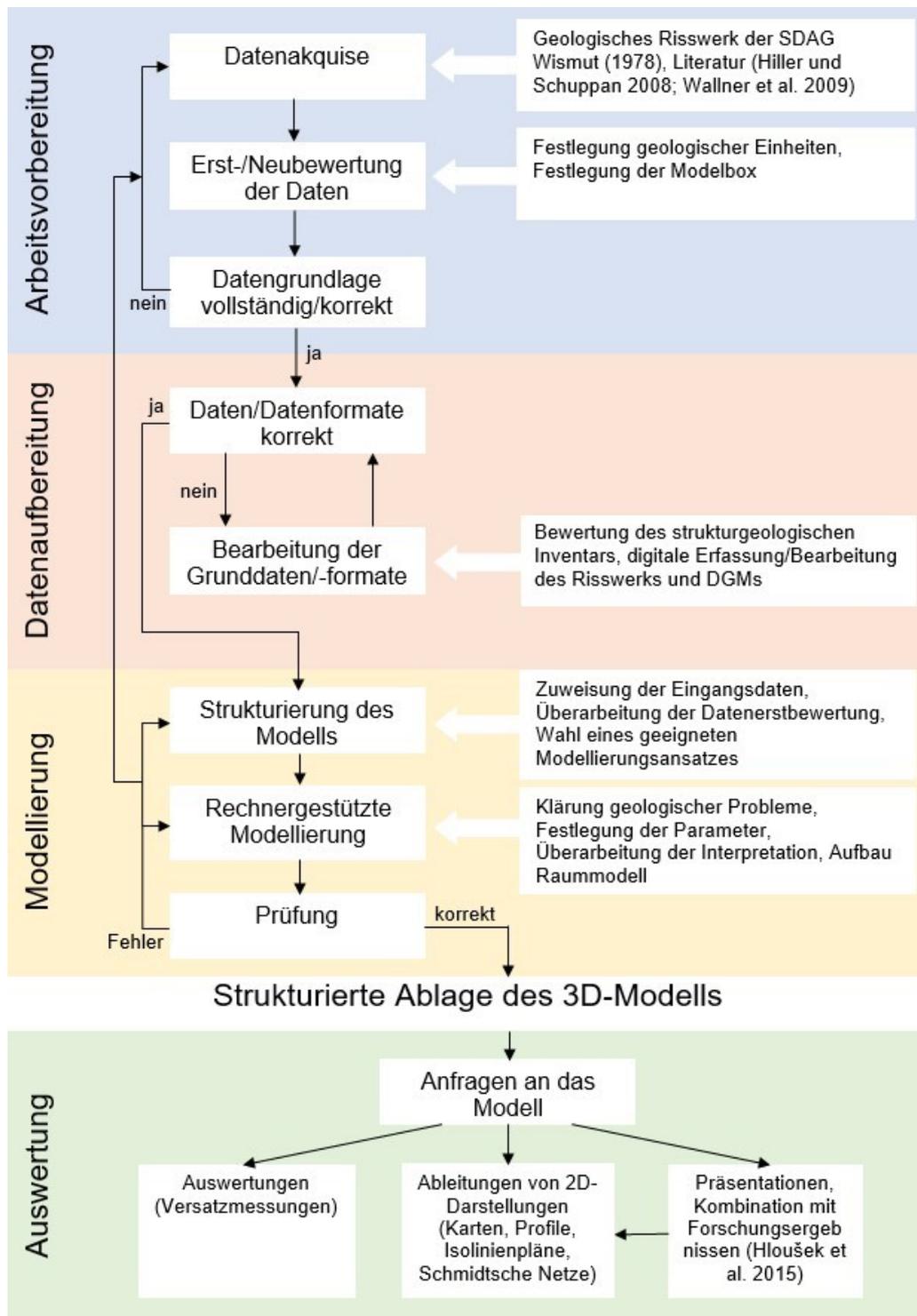


Abbildung 16: Vorgehensweise bei der Erstellung des 3D-Modells. Abbildung modifiziert nach Steinborn (2008).

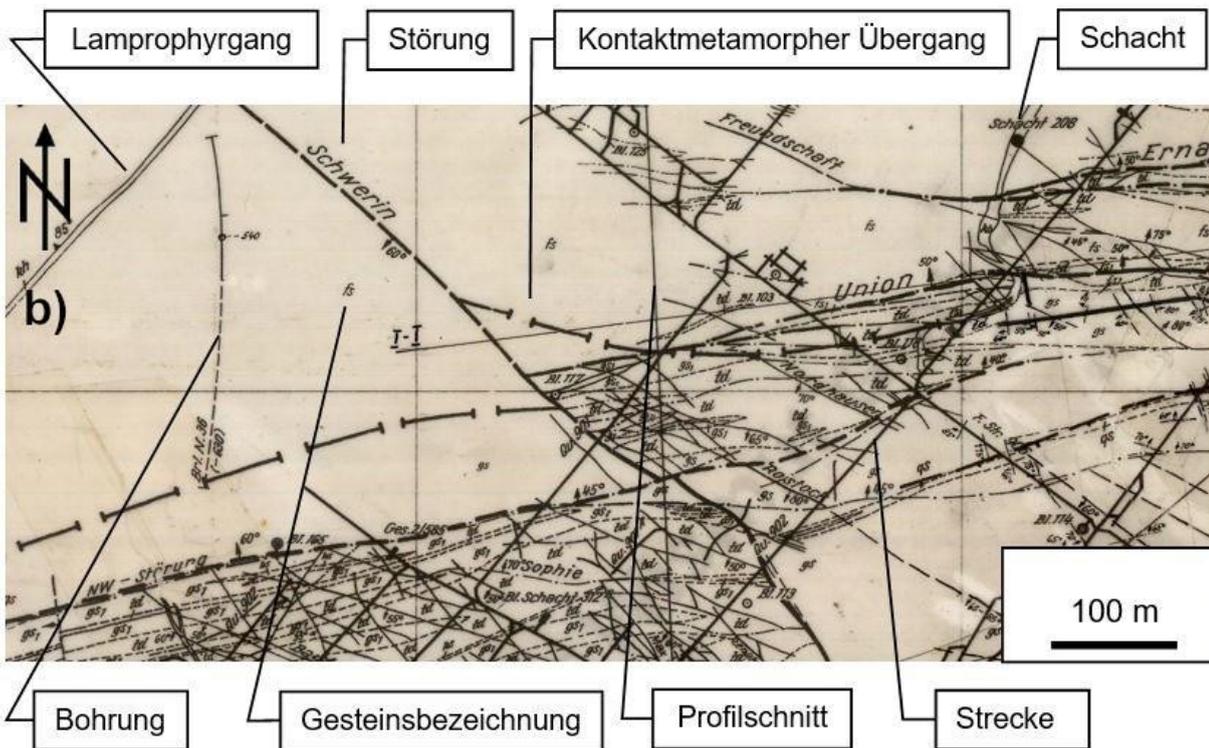
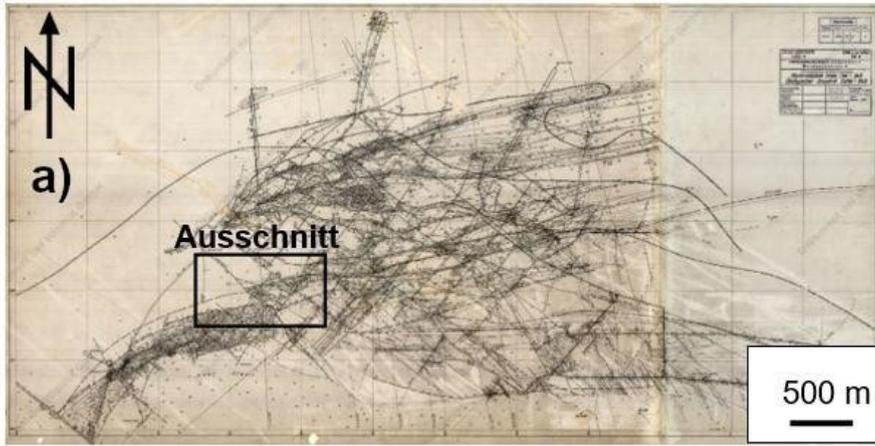
### 5.2.2.2 Datengrundlage

Die Arbeitsvorbereitung und Datenaufbereitung spielen eine entscheidende Rolle für die Qualität des 3D-Modells. Die Eingangsdaten und Zwischenergebnisse werden stets kritisch auf Plausibilität und mögliche Widersprüche geprüft, um die Güte des 3D-Modells sicherzustellen. Eventuelle geometrische Unstimmigkeiten können fortlaufend durch Berücksichtigung von Literaturdaten und geologischen Kenntnissen gelöst werden (Steinborn 2008).

Die Datenakquise umfasst die Wahl eines geeigneten Datensatzes, welche den Ansprüchen und Fragestellungen an das 3D-Modell gerecht werden. Bei der Sichtung der Daten erfolgt die Auswahl und Festlegung der darzustellenden Objekte. Außerdem werden Grenzen des 3D-Modell definiert. Die Bearbeitung erfolgt im Bezugssystem ETRS89 UTM 33N. Durch die umfassenden Bergbau- und Explorationsarbeiten der SDAG Wismut ist der Lagerstättendistrikt geologisch hervorragend erschlossen. Zusammen mit anderen bergmännischen Untersuchungen wurden sehr detaillierte markscheiderische Ausarbeitungen des Reviers angefertigt.

Für das vorliegende 3D-Modell wird der Kartensatz SDAG Wismut (1978): Betriebliche Unterlagen. Wismut GmbH, Geologisches Archiv, R-25001-R25061. Geologische Grundrisse und Schnitte der Lagerstätte Schlema-Alberoda im Maßstab 1:5000 gewählt. Dieser umfasst: 38 Sohlengrundrisse; 8 Profilschnitte; 2 Querprofile; 1 Schrägprofil; 1 Geländeoberflächenkarte.

In diesen Risswerken (z.B. Abbildung 17) sind neben der Geologie auch der Grubenbau und Bohrungen abgebildet. Zu den geologischen Einheiten gehören: Brüche und Störungen mit Namensbezeichnung und Fallwinkel, Gesteinstypen, Lamprophyr-, Quarz-, Aplit- und Karbonatgänge sowie kontaktmetamorphe Übergänge in sauren (Hornfels- und Fruchtschieferzonen) und basischen Gesteinen (Pyroxen-Epidot-, Aktinolith-Epidot-, Chlorit-Epidot-Zonen). Gesteinsgrenzen und Gänge sind als gestrichelte und durchgezogene Linien dargestellt. Zu beachten ist, dass gestrichelte Linien Vermutungen und Interpretationen repräsentieren, während durchgezogene Linien Bereiche markieren, in dem diese Strukturen untertage an Strecken und Schächten aufgeschlossen oder durch Bohrungen genaustens lokalisiert werden konnten.



**Abbildung 17: a) Grundriss der Sohle 540. In b) als Ausschnitt von a) ist der Kreuzungsbereich der Störungen „Schwerin“, „Union“ und „Nordwest-Störung“ dargestellt (SDAG Wismut 1990)**

### 5.2.2.3 Festlegung geologischer Einheiten

Aus dem umfangreichen Datensatz können Objekte bestimmt werden, welche die strukturellen geologischen Verhältnisse der Lagerstätte Schlema-Alberoda anschaulich wiedergeben. Bei der Auswahl handelt es sich um: i) den Auer Granit; ii) den Schieferkomplex der Lößnitz-Zwönitz-Zone; iii) die jeweils drei großflächigsten Vertreter der Biotit- und Chloritkersantigänge und iv) das Störungsnetzwerk.

Der Fokus der 3D-Modellierung liegt auf dem Störungsnetzwerk. Dieses wird in Form von 27 bruchtektonischen Strukturen repräsentiert. Die Auswahl wurde anhand der vertikalen Erstreckung getroffen. Dabei sollen die jeweiligen Störungssysteme nach (Hiller und Schuppan 2008) durch ihre zwei größten Vertreter repräsentiert werden. Die restlichen 17 Großstrukturen werden unabhängig ihrer Angehörigkeit zu einer Schar ausgewählt. Es wird festgelegt, dass sie die Anforderung einer vertikalen Erstreckung von min. 600 m erfüllen. Die Störungen, welche im 3D-Modell als Flächen dargestellt werden sind in Tabelle 4 festgehalten.

**Tabelle 4: Auswahl der Störungen, welche im 3D-Modell dargestellt werden**

Störungssystem	Vertreter im 3D-Modell
NW-SE streichend	Bergmanns Hoffnung, Beryll, Dürre Henne, Kosmos, Leucit 2, Ruhmvoll, Ruhmvoll-Irtytsch, Bitterfeld-Ruhmvoll, Schwerin, Seim, Sieg, Roter Kamm
E-W streichend	Erna, Gera, Inge, Nordwest-Störung, Sinaida, Union
WNW-ESE streichend	Bad Elster, Natascha, Valentina
NE-SW streichend	Dynamo, Zentralstörung
NNW-SSE streichend	Brillant, Cubanit, Gold, Affalter

#### **5.2.2.4 Festlegung des Modellbereiches**

Der Modellbereich wird mittels einer Modellbox dargestellt. Sie gibt das Volumen des geologischen 3D-Modells wieder und wird in der Modellierungssoftware als Voxet-Objekt beschrieben. Die Modellbox soll als Quader dargestellt werden. Dafür werden drei Achsen und ihr Ursprung manuell definiert, welche sich an den Eingangsdaten orientieren. Es sollen alle festgelegten geologischen Strukturen des gut erkundeten Bereiches des Lagerstättenreviers vollständig erfasst werden. Die untere Begrenzung der Z-Achse ist an die letzte Sohle des Kartenwerkes gebunden. Diese ist 1800 m unter der Markus-Semmler-Sohle lokalisiert. Die obere Begrenzung wird so gewählt, dass sie sich ca. 100 m über dem höchsten Punkt der Geländeoberfläche befindet. Die Modellbox (Abbildung 18) besitzt somit folgende Ausmaße: 6841 m × 4221 m × 2220 m.

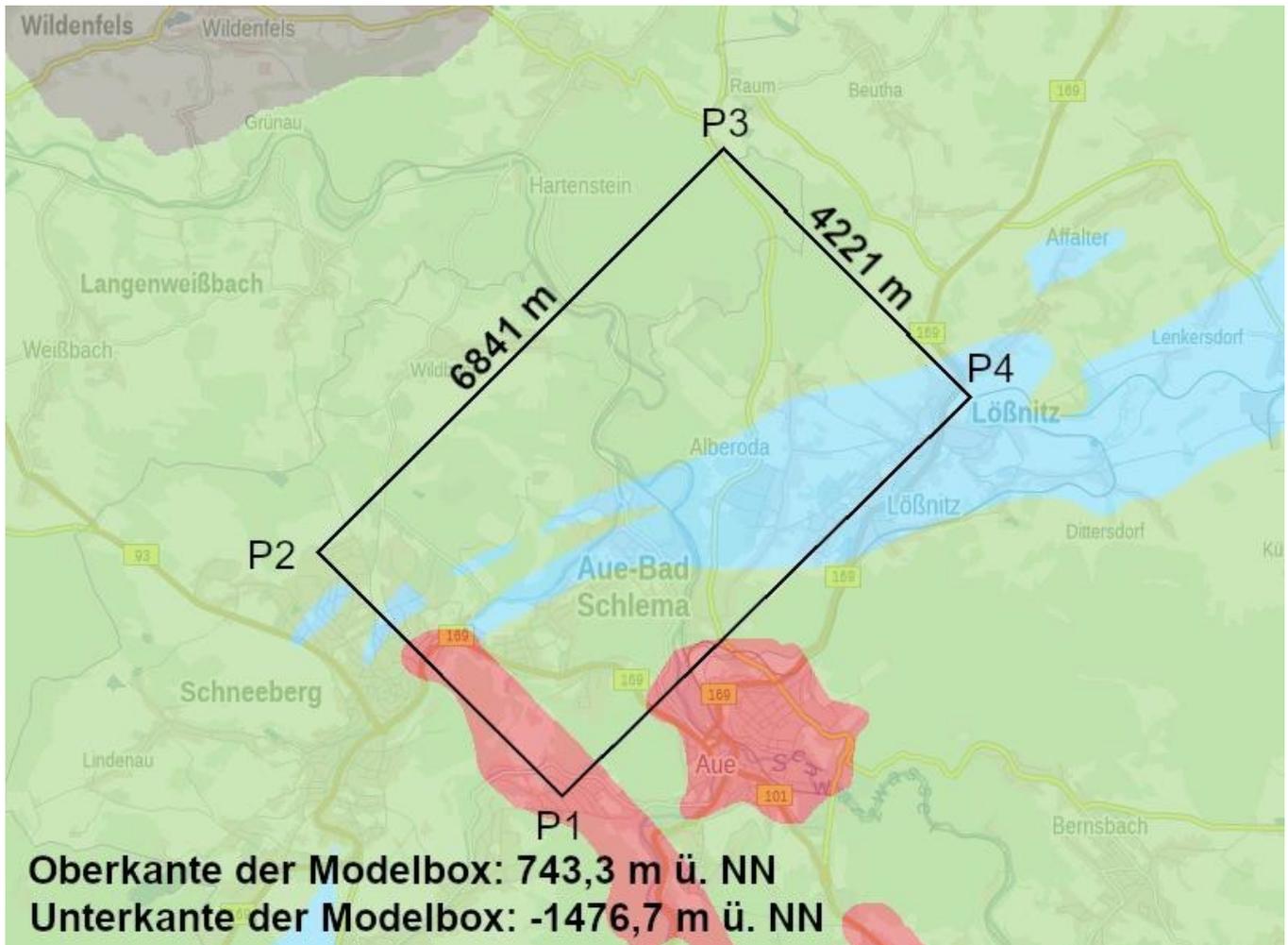


Abbildung 18: Geologische und topografische Position der Modellbox. Die ETRS89 UTM 33N-Koordinaten der Eckpunkte P1, P2, P3 und P4 sind in Tabelle 5 festgehalten

Tabelle 5: ETRS89 UTM 33N-Koordinaten der Eckpunkte der Modellbox

Eckpunkt	Ostwert	Nordwert
P1	335.330	5.605.970
P2	332.360	5.608.970
P3	337.223	5.613.780
P4	340.192	5.610.780

### 5.2.2.5 Datenaufbereitung

Für die Bearbeitung in einem 3D-Modellierungsprogramm muss der Datensatz in ein geeignetes Format gebracht werden. Die grundlegenden Schritte der Datenaufbereitung umfassen die Digitalisierung und Georeferenzierung des Risswerkes sowie die Vektorisierung und Strukturierung der festgelegten geologischen Objekte.

Der erste Schritt der Datenaufbereitung umfasst das Scannen der Karten. Diese werden anschließend als .tif-Datei abgespeichert. Nach der digitalen Erfassung können die Risse im Bezugssystem ETRS89 UTM 33N anhand der Koordinatenangaben an den Kartenrändern georeferenziert werden. Außerdem soll dem 3D-Modell ein digitales Geländemodell (DGM) hinzugefügt werden. Dieses liegt als regelmäßiges Gitter mit einer Maschenweite von 20 m vor und wird vom Landesamt für Vermessung Sachsen bereitgestellt. Dazu werden im GIS-Programm die XYZ-Koordinaten des DGMs in eine Punktshapefile umgewandelt.

Der nächste Schritt wird im 3D-Modellierungsprogramm SKUA-GOCAD vollzogen. Die geologischen Risse werden als Voxets und das DGM als PointSet importiert (Abbildung 19; Abbildung 20; Abbildung 21).

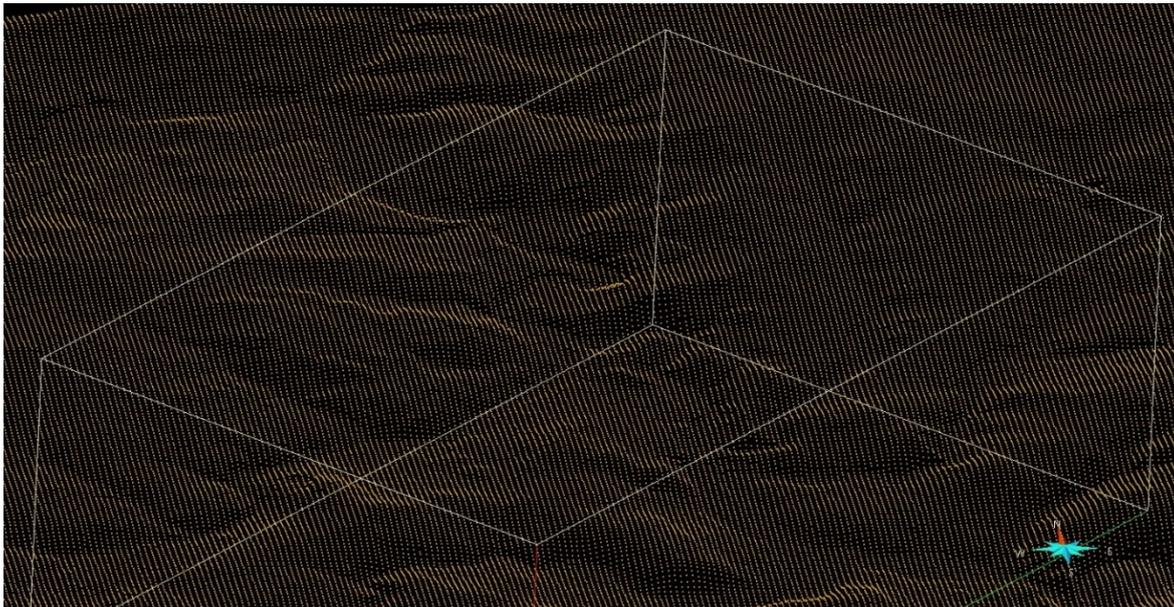


Abbildung 19: Point Set des DGMs im Bereich der Modellbox

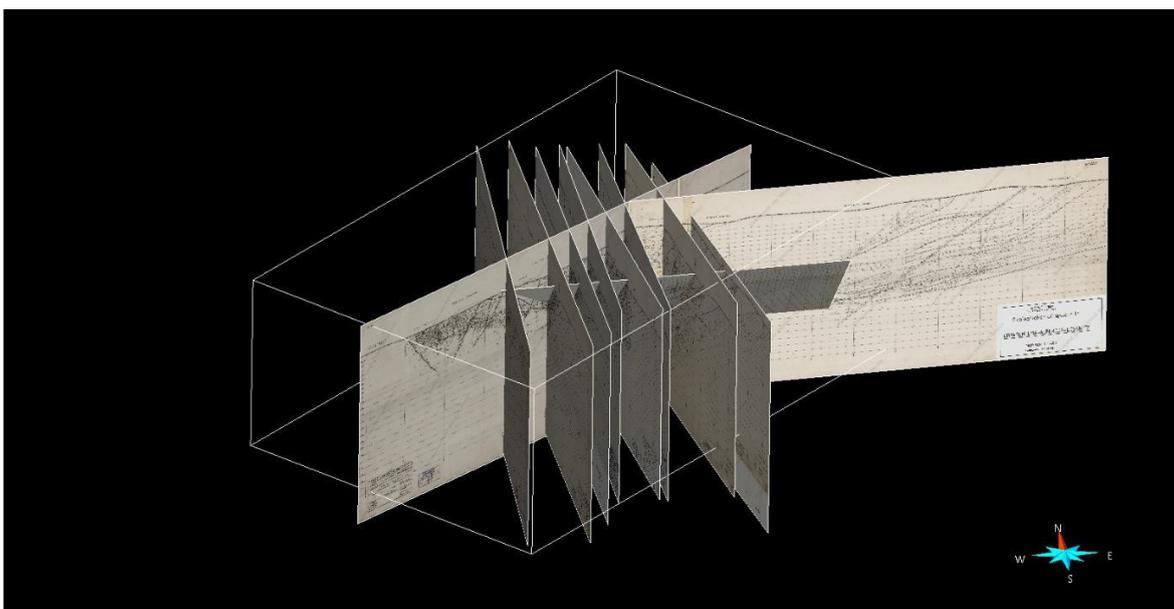
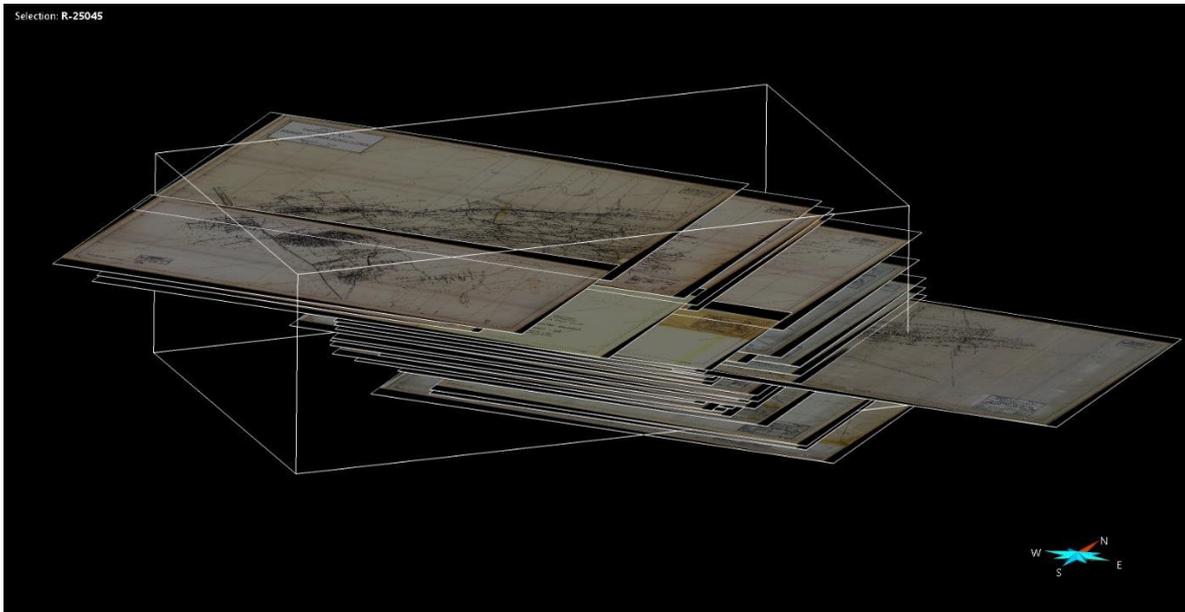
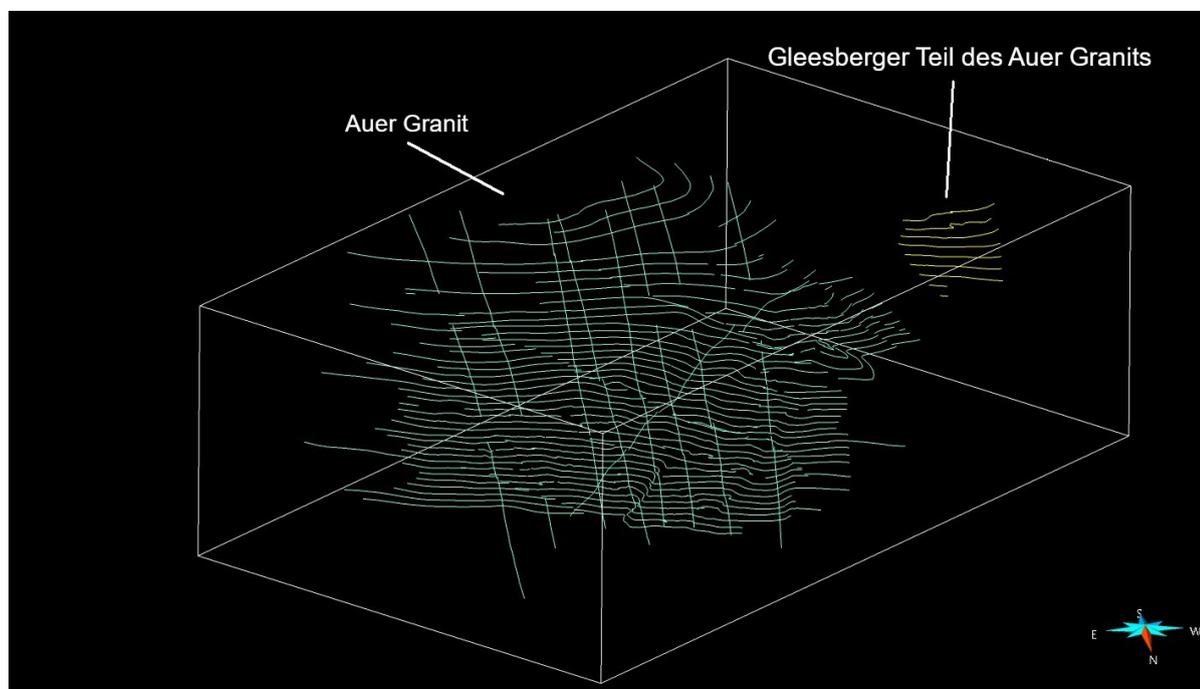


Abbildung 20: Orientierung und Lage der Profilrisse im Bereich der Modellbox



**Abbildung 21: Orientierung und Lage der Grundrisse im Bereich der Modellbox**

Bei der vektoruellen Erfassung geologischer Objekte werden Curves der festgelegten Strukturen manuell erstellt. Diese eignen sich, um lithologische Kontakte und Störungen per Mausclick auf den Grundrissen und Profilen nachzuzeichnen. Bei den Störungen stellt der Rote Kamm eine Besonderheit dar. Ihm wird aufgrund seiner hohen Mächtigkeit von 20 m bis 100 m (Hiller und Schuppan 2008) eine NE- und SW- Begrenzung digitalisiert. Die Lößnitz-Zwönitzer-Zone stellt einen Körper dar, welcher sich in Oberschlema in zwei Strukturen aufteilt. Im 3D-Modell soll sie vereinfacht mit vier Grenzflächen dargestellt werden. Verschuppungen und Linsen in den Randbereichen werden ignoriert. Das Ergebnis ist ein Vektordatensatz der Strukturen, welcher aus Curves der Profile und Grundrisse aufgebaut ist (Abbildung 22).



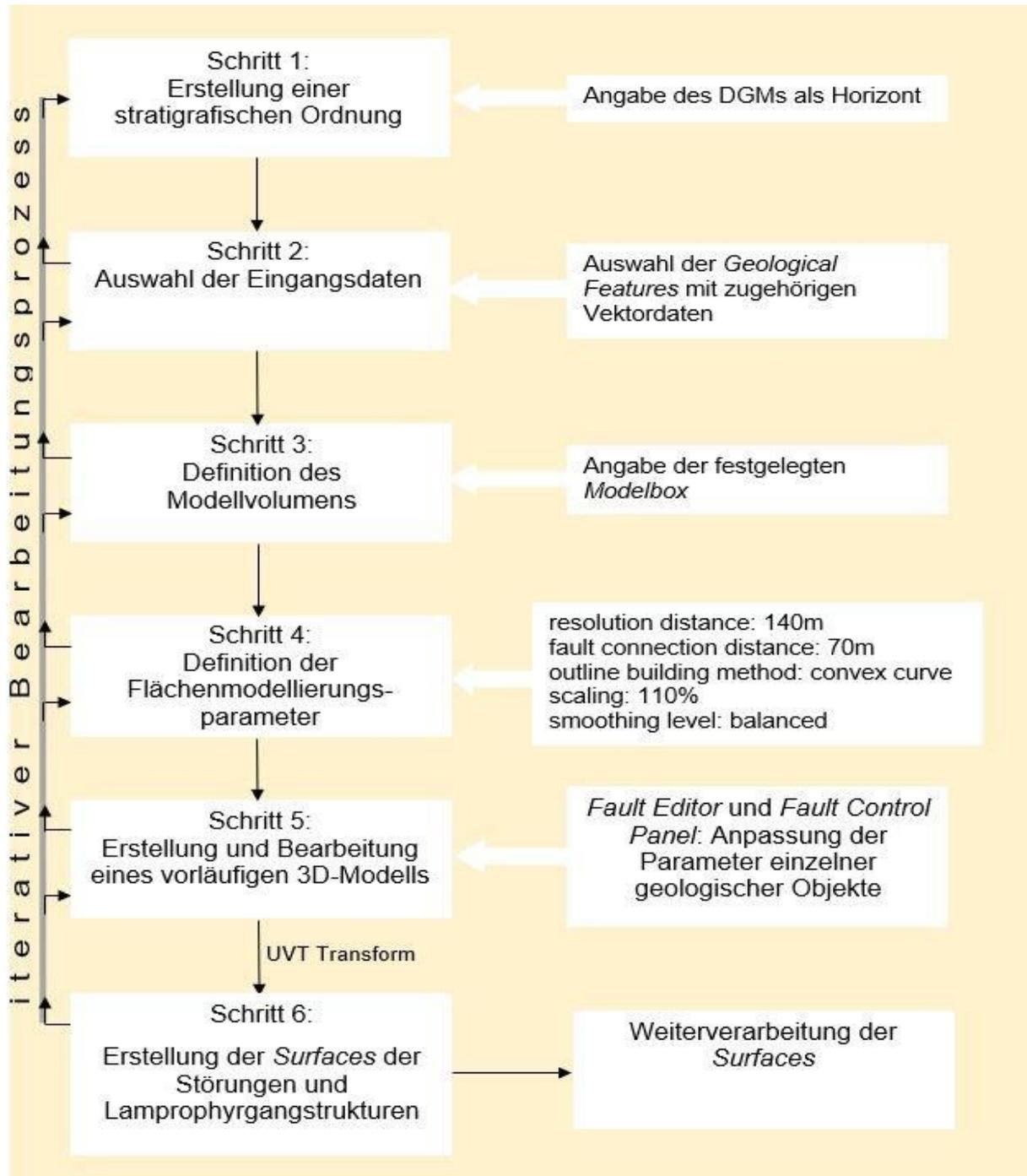
**Abbildung 22: Vektordatensatz aus Sohlgrundrissen und Profilschnitten des Auer Granits**

Für spätere Bearbeitungsprozesse mit SKUA-GOCAD werden "Geological Features" bestimmt. Brüche und Störungen werden den "Faults", lithologische Kontakte den "Intrusive Boundaries" zugeordnet. Im jeweiligen Register wird die Namensbezeichnung der Struktur eingegeben und anschließend werden die zugehörigen Vektordaten der Störung bzw. der Lithologie zugeordnet.

#### **5.2.2.6 Modellierung**

Bei der Geomodellierung handelt es sich um eine mathematisch-informatische Methode. Sie dient der Darstellung und Untersuchung geologischer Einheiten im Untergrund. Es werden Daten einem bestimmten geologischen Objekt zugeordnet, um dieses als triangulierte Fläche und Grenzfläche darzustellen, die sogenannte "Surface". Hervorzuheben ist, dass für das vorliegende 3D-Modell keinerlei Volumina modelliert werden. Die "Surfaces" geben die Topologie, Geometrie und weitere Eigenschaften der geologischen Objekte wieder (Mallet 2002). Für die 3D-Modellierung wird das Paradigm 18 SKUA-GOCAD Softwarepaket verwendet. Das Programm stellt verschiedene Ansätze zur Modellerstellung bereit.

Für das vorliegende 3D-Modell wird zum einen der in GOCAD implementierte DSI-Algorithmus (GOCAD Foundation Modeling) verwendet (Mallet 2002) und zum anderen der von der Programmiererweiterung SKUA bereitgestellte "Structure and Stratigraphy Workflow (Paradigm 2011)". Dieser nutzt den Algorithmus UVT Transform. Durch die Abwägung der Vor- und Nachteile der jeweiligen Ansätze wird die Wahl des geeigneten Algorithmus für die geologischen Objekte separat entschieden. Für die Modellierung der Störungen (ohne den Roten Kamm) und der Lamprophyrgangstrukturen eignet sich der Workflow "Structure and Stratigraphy" hervorragend. Workflows sind strukturierte halbautomatische Routinen, die es ermöglichen, Modelle in vordefinierten Schritten zu erstellen. Diese Art der Modellierung ist komfortabel und zeitsparend. Der Workflow hat auch weitere Vorteile gegenüber dem Flächenmodellierungsansatz des GOCAD DSI-Algorithmus. So besteht das 3D-Modell immer aus konsistenten Flächen. Es verhindert mögliche Reliquien von Flächen, nach beispielsweise einem Verschnitt mit anderen geologischen Objekten. Des Weiteren kann das 3D-Modell dynamisch bearbeitet und aktualisiert werden (Paradigm 2011). Um lange Rechenzeiten und Komplikationen zwischen dem Störungsnetzwerk und Lamprophyrgängen zu vermeiden, wurden die Strukturtypen separat voneinander in zwei Projekten bearbeitet. Die vordefinierten Schritte und Parameter sind dabei identisch (Abbildung 23). Versätze der bruchtektonischen Strukturen untereinander, können aufgrund der Komplexität des Gangnetzes, welche sich in den Eingangsdaten widerspiegelt, bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden.



**Abbildung 23: Vorgehensweise der 3D-Modellierung mittels "Structure and Stratigraphy Workflow". Während der Anwendung ist es möglich Ergebnisse der verschiedenen Schritte dynamisch zu bearbeiten bzw. zwischen den Schritten hin- und herzuspringen**

In Schritt 4 (Abbildung 23) werden die Flächenmodellierungsparameter der Flächen einheitlich bestimmt. Die Werte dafür werden vom Workflow vorgeschlagen und gelten zunächst für alle geologischen Objekte.

#### **Resolution distance**

Das Auflösungsvermögen setzt sich aus areal und vertical resolution distance zusammen. Hier wird der Abstand zwischen den Knotenpunkten der triangulierten Flächen bestimmt. Eine niedrige resolution distance verursacht eine bessere Anpassung der Eingangsdaten an die Surface, führt aber auch zu langen Rechenzeiten des PCs. Der vom Workflow vorgeschlagenen Wert von 140 m wird dafür übernommen.

### Fault connection distance

Die fault connection distance bzw. die Verbindungsdistanz zwischen den Störungen wird auf 70 m definiert.

### Outline building method

Des Weiteren wird mit der outline building method die Form der Fläche bestimmt. Es wurde "convex curve" gewählt. Die Kontur umgibt im gleichmäßigen Abstand die Eingangsdaten in Form eines Polygons.

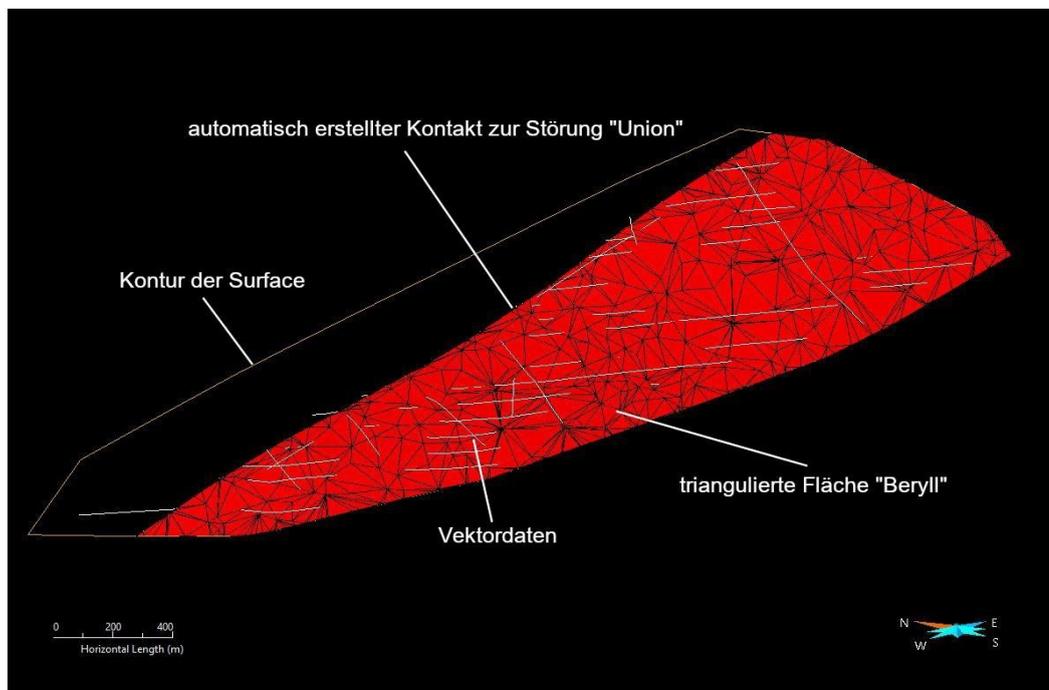
### Scaling

Der Umriss dieses Polygons wird mit einer 110 %igen Skalierung extrapoliert.

### Smoothing level

Das smoothing level beschreibt den Anpassungsgrad der Eingangsdaten an die Fläche. Dieser ist ausgeglichen und entspricht dem vom Workflow vorgeschlagenen Wert.

Während des iterativen Bearbeitungsprozesses werden die obengenannten Parameter für jede einzelne geologische Struktur (Abbildung 24) bei Bedarf in Schritt 5 (Abbildung 23) manuell angepasst. Im SKUA Workflow werden dafür Werkzeuge im "Fault Editor" und "Fault Control Panel" bereitgestellt. Es wird außerdem auf Literaturangaben zurückgegriffen, welche die Störungen näher charakterisieren. Mit dem "Fault Editor" und dem "Fault Control Panel" können zudem weitere Kontaktverhältnisse, horizontale und vertikale Erstreckung und die Geometrie der Flächen manuell konfiguriert werden.



**Abbildung 24:** Die durch den Workflow generierte triangulierte Fläche der Störung „Beryll“

#### 5.2.2.6.1 Störungsnetzwerk

Die Parameteranpassungen, welche in Schritt 5 der Modellierung (siehe Abbildung 23) mit dem Workflow getätigt werden, sind für jede Störung separat festgehalten (Tabelle 6 und Tabelle 7). In diesem Schritt können auch Beziehungen der Störungen untereinander bestimmt werden, indem Flächen andere Flächen begrenzen bzw. abschneiden. Dazu werden die Eingangsdaten (Risse und Curves) erneut betrachtet. Dabei ergeben sich im kleinen Maßstab komplexe Verhältnisse. So versetzt bspw. die Struktur „Ruhmvoll“ sämtliche E-W streichende Störungen auf einigen Grundrissen. Auf anderen Rissen wird sie wiederum von „Sinaida“ oder „Inge“ versetzt. In diesem und in weiteren Fällen werden die Verhältnisse der Störungen untereinander ignoriert und die Strukturen als zusammenhängende Surfaces modelliert. In diesem Zusammenhang bilden die modellierten Flächen nicht 1:1 die Eingangsdaten ab. Es

muss festgehalten werden, dass diese Daten aufgrund mitunter unzureichender Aufschlussverhältnisse auch teilweise Vermutungen und Interpretationen darstellen.

Einige Beziehungen unter den Störungsscharen, welche abgebildet werden können, da ein überwiegender Teil der Eingangsdaten diese Verhältnisse vermuten lassen, sind:

**i) Sämtliche E-W streichende Störungen, welche an der Fläche des NW-SE streichenden Gangs „Schwerin“ abgeschnitten werden.** An „Schwerin“ offenbaren die Vektordaten, dass „Erna“, „Inge“, „Sinaida“ und „Gera“ in überwiegenden Fällen von ihr verworfen bzw. begrenzt werden. Die W-Fortsetzung der genannten E-W streichenden Strukturen ist aufgrund fehlender Uranspezialisierung dieser Gänge nicht aufgeschlossen. Nur auf wenigen Grundrissen ist ein weiterer vermuteter Verlauf dieser E-W streichenden Gängen verzeichnet. Bei der „Nordwest- Störung“ könnte es sich um die Fortsetzung von „Union“ im Lagerstättenteil Oberschlema handeln (Hiller und Schuppan 2008). Die Eingangsdaten zeigen, dass ein Versatz der ursprünglich zusammenhängenden E-W streichenden Struktur an „Schwerin“ besteht. In einigen Fällen erstreckt sich die „Nordwest- Störung“ und „Union“ auch über die Störung „Schwerin“ hinaus und versetzt sie. Da diese Verhältnisse nicht über alle Grundrisse dargestellt sind, wird dies bei der Flächenmodellierung nicht berücksichtigt.

**ii) Einige NW-SE und NNW-SSE streichende Gänge, welche von der E-W streichende Struktur „Union“ kontrolliert werden.** Die NW-SE streichenden Gänge „Kosmos“, „Beryll“, „Kosmos“, „Seim“, „Leucit 2“ sowie die NNW-SSE streichenden Strukturen „Gold 1“, „Brillant“ und „Cubanit“ werden von der Störung „Union“ begrenzt bzw. verworfen. Die NW-Fortsetzungen der NW-SE und NNW-SSE streichenden Störungen können im dichten Gangnetz in der LZZ auf den Grundrissen nicht zugeordnet werden, weshalb die Eingangsdaten auf den SE der Störung „Union“ beschränkt sind. Bei der Störung „Dürre Henne“ könnte es sich um den NW-Teil von „Leucit 2“ handeln (Hiller und Schuppan 2008).

**iii) Sämtliche Störungen, welche am Roten Kamm abgeschnitten werden.** Die Surfaces der Störungen „Bergmanns Hoffnung“, „Sieg“, „Schwerin“, „Nordwest- Störung“, „Dynamo“ und „Zentralstörung“ weisen Kontakte mit der NE-Fläche des Roten Kamms (erstellt mittels DSI-Algorithmus) auf, an denen sie versetzt werden (Hloušek et al. 2015; Hiller und Schuppan 2008). Das Zusammenführen dieser Flächen und der Verschnitt erfolgte manuell (z.B. Abbildung 25).

**Tabelle 6: Parameteranpassungen der Störungsflächen im "Structure and Stratigraphy Workflow"**

Störung	Outline building method	outline	scaling	Begrenzende Störung	Zusatzinformationen (Hiller und Schuppan 2008; Wallner et al. 2009)	Bearbeitungsschritte
Schwerin	convex curve	Keine Editierung	300 %	Keine	8 km streichende Erstreckung; im Kartenwerk werden überwiegend sämtliche E-W streichenden Störungen von ihr abgeschnitten bzw. versetzt	Von Sohle 120-300 spaltet sich Schwerin in einem begrenzten Bereich linsenförmig auf. Deshalb wird für die NE-Begrenzung eine eigenständige Surface erstellt (Abb. 29); da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Störung handelt, welche lithologische Grenzflächen versetzt, wird Schwerin bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert; sie schneidet alle E-W streichenden Störungen ab.
Erna	convex curve	Bis kurz vor Granitkontakt verkürzt	500 %	Union, Schwerin	6 km streichende und min. 2 km fallende Erstreckung; kein Nachweis im Granit	Da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Störung handelt, wird sie bis an die Modellgrenzen extrapoliert; die outline wird so verändert, dass ein Kontakt mit dem Granitgrenzfläche vermieden wird; Sie geht oberflächennah in die Struktur Union über und wird an ihr abgeschnitten.
Inge	convex curve	Bis kurz vor Granitkontakt verkürzt	500 %	Schwerin	6 km streichende und min. 2 km fallende Erstreckung, kein Nachweis im Granit	Da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Störung handelt, wird sie bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert; die outline wird so verändert, dass ein Kontakt mit der Granitgrenzfläche vermieden wird.
Sinaida	convex curve	Bis kurz vor Granitkontakt verkürzt	500 %	Schwerin	6 km streichende und min. 2 km fallende Erstreckung, kein Nachweis im Granit	Da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Störung handelt wird sie bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert; die outline wird so verändert, dass ein Kontakt mit der Granitgrenzfläche vermieden wird.
Gera	convex curve	Bis kurz vor Granitkontakt verkürzt	500 %	Schwerin	6 km streichende und min. 2 km fallende Erstreckung, kein Nachweis im Granit	Da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Störung handelt wird sie bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert; die outline wird so verändert, dass ein Kontakt mit der Granitgrenzfläche vermieden wird.
Nordwest-Störung	convex curve	Keine Editierung	500 %	Schwerin	Fortsetzung der Störung Union	Da es sich um eine mächtige und aushaltende Struktur handelt, welche die Fortsetzung von Union darstellt, wurde sie extrapoliert.
Union	convex curve	Keine Editierung	500 %	Schwerin	6 km streichende und min. 2 km fallende Erstreckung, Nachweis im Granit	Union schneidet zahlreiche NW-SE streichende Störungen ab; da es sich um eine mächtige und aushaltende Struktur handelt, wurde sie bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert.
Sieg	convex curve	Keine Editierung	500 %	Keine	Großstruktur	Da es sich um eine mächtige sowie aushaltende Struktur handelt, welche lithologische Grenzflächen versetzt, wurde sie bis an die Modellgrenzen zu extrapoliert.

**Tabelle 7: Parameteranpassungen der Störungsflächen im "Structure and Stratigraphy Workflow"**

Störung	Outline building method	outline	scaling	Begrenzende Störung	Zusatzinformationen (Hiller und Schuppan 2008; Wallner et al. 2009)	Bearbeitungsschritte
Bergmanns Hoffnung	extend a-long dip	Keine Editierung	distance 800	Keine	Streichende Erstreckung von 2-3 km	Da sie nur eine begrenzte streichende Erstreckung aufweist, wurde <i>extend along dip</i> angewandt, um die Struktur nur im Fallen zu extrapolieren. Dadurch kann ein Versatz an lithologischen Grenzflächen hergestellt werden.
Ruhmvoll	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	keine		Neubewertung der Eingangsdaten: auf Grundrissen und Profilen sind teilweise die Bezeichnungen Araqui, Irtysch, Bitterfeld für Ruhmvoll zu finden. Die <i>Curve</i> -Daten von Ruhmvoll und Araqui werden zusammengefasst; da die Störung die Granitgrenzfläche versetzt wird die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Irtysch-Ruhmvoll	extend a-long azimuth	Keine Editierung	distance 300	Ruhmvoll		s. Ruhmvoll. Im NW von Union spaltet sich Ruhmvoll in Araqui und Irtysch auf. Es wurde entschieden, Irtysch einer eigenen Fläche zuzuordnen. Mit <i>extend along azimuth</i> konnte die Fläche ausschließlich im Streichen erweitert werden, um einen Kontakt zu Ruhmvoll herzustellen und eine horizontale Extrapolation zu vermeiden.
Bitterfeld-Ruhmvoll	extend a-long dip	Keine Editierung	distance 800	Ruhmvoll		s. Ruhmvoll. Anhand verschiedener Fallrichtungen und -winkel der Vektordaten werden Ruhmvoll und Bitterfeld als eigenständige Flächen modelliert; Um einen Kontakt zu Ruhmvoll herzustellen wurde <i>extend along dip</i> angewendet, da die Vektordaten eine begrenzte streichende Erstreckung vermuten lassen.
Dynamo	convex curve	Erweiterung bis zum Roten Kamm	110 %	Keine		Da die Störung an den Roten Kamm grenzt wird die <i>outline</i> an diese Struktur verlängert
Zentralstörung	convex curve	Erweiterung bis zum Roten Kamm	110 %	Dynamo		Die Zentralstörung geht oberflächennah in Dynamo über und wird an ihr abgeschnitten; da die Störung an den Roten Kamm grenzt, wird die <i>outline</i> zu dieser Struktur verlängert.
Valentina	convex curve	Keine Editierung	110 %	Keine		Keine iterative Bearbeitung
Natascha	convex curve	Keine Editierung	110 %	Keine		Keine iterative Bearbeitung
Affalter	convex curve	Keine Editierung	110 %	Keine		Keine iterative Bearbeitung

Störung	Outline building method	outline	scaling	Begrenzende Störung	Zusatzinformationen (Hiller und Schuppan 2008; Wallner et al. 2009)	Bearbeitungsschritte
Kosmos	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt, wird die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Leucit 2	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt, wird die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Beryll	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt, wird die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Seim	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt wird, die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Gold 1	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt wird, die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Cubanit	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt wird, die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Brillant	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit	110 %	Union		Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt wird, die <i>outline</i> in den Pluton verlängert.
Dürre Henne	convex curve	Erweiterung bis Union	110 %	Union	Fortsetzung der Störung Leucit 2	Da die Störung die Fortsetzung von Leucit 2 darstellt, wird die <i>outline</i> bis Union verlängert
Bad Elster	convex curve	Verlängerung um ca. 200 m in den Granit; Verlängerung über die vertikalen Modellgrenzen hinaus	110 %	Keine	3,5 km streichende Erstreckung, 1 km fallende Erstreckung	Da die Störung die Grenzfläche des Granits versetzt und eine große streichende Erstreckung aufweist, wird die <i>outline</i> in den Pluton und über die seitlichen Grenzen der Modelbox verlängert.

### 5.2.2.6.2 Lamprophyrgänge

Die Bearbeitung der Lamprophyrgänge (Tabelle 8) erfolgt analog zum Störungsnetzwerk. Da der Aufstieg der Lamprophyre entlang des Roten Kamms erfolgte, werden sie bis zu seiner NE-Fläche extrapoliert. Biotitkersantite werden aufgrund der Aufschlussverhältnisse in der Lagerstätte Schlema - Alberoda (Hiller und Schuppan 2008; Seifert 2008) in späteren Bearbeitungsschritten an der Grenzfläche des Granits abgeschnitten.

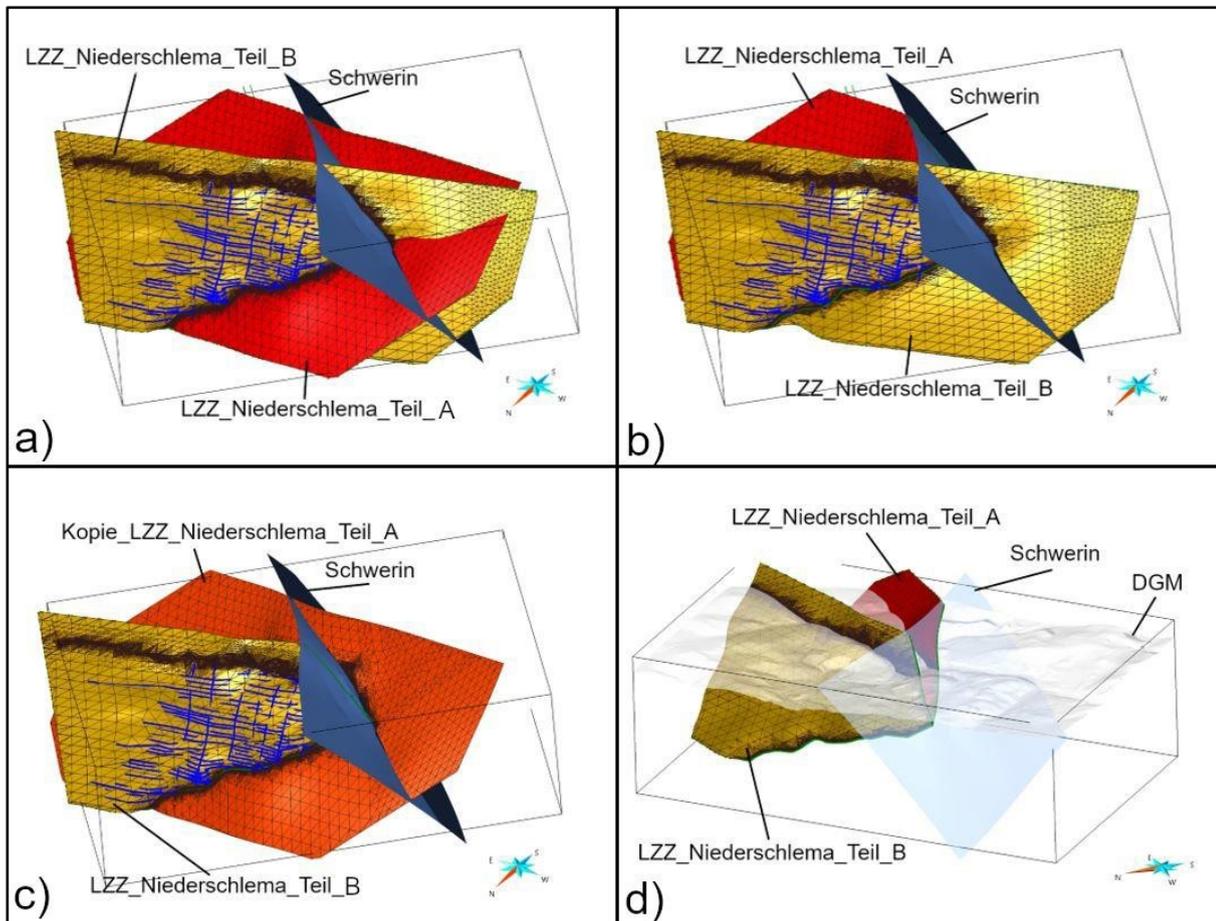
**Tabelle 8: Parameteranpassungen der Lamprophyrfächen im Workflow "Structure and Stratigraphy"**

Lamprophyrgang	Outline building method	outline	scaling	Begrenzende Struktur	Bearbeitungsschritte
Chloritkersantit 1	convex curve	Verlängerung zum Roten Kamm	110 %	Keine	Da der Aufstieg der Lamprophyre entlang des Roten Kamms erfolgte, werden die Chloritkersantite und Biotitkersantite vertikal bis an diese Störung verlängert; der Chloritkersantit 3 geht in Chloritkersantit 2 über und wird von ihm abgeschnitten.
Chloritkersantit 2	convex curve	Verlängerung zum Roten Kamm	110 %	Keine	
Chloritkersantit 3	convex curve	Keine Editierung	110 %	Chloritkersantit 2	
Biotitkersantit 1	convex curve	Verlängerung zum Roten Kamm	110 %	Keine	
Biotitkersantit 2	convex curve	Verlängerung zum Roten Kamm	110 %	Keine	
Biotitkersantit 3	convex curve	Verlängerung zum Roten Kamm	110 %	Keine	

### 5.2.2.6.3 Fertigstellung des 3D-Modells

Der letzte Schritt der 3D-Modellierung ist die Zusammenführung der Flächen aus den verschiedenen Modellierungsansätzen und der finale Verschnitt der geologischen Objekte untereinander. Es soll ein konsistentes 3D-Modell im Bereich der Modellbox geschaffen werden, welches die geologischen Verhältnisse der Lagerstätte in Form der ausgewählten Strukturen so authentisch wie möglich wiedergibt. Beim Prozess des Verschnitts wird mit dem Tool Cut by Surfaces gearbeitet. Dabei kommen die Beautify-Werkzeuge: Beautify Triangles for Equilaterality und Simplify All Surface Borders zum Einsatz, um saubere Anschnittverhältnisse zu erzeugen. Zu diesem Zweck wird vor dem Verschnitt die Triangulation im Bereich des Verschnitts an der gewünschten Fläche manuell verfeinert.

Diese Reihenfolge wird eingehalten: i) Verschnitt der DGM-Surface an den Grenzflächen des Granits, der Lößnitz-Zwönitzer-Zone, des Roten Kamms und der Modellbox, um den geologischen Objekten eine zugehörige Surface der Geländeoberfläche hinzuzufügen. ii) Verschnitt des Granits und der Lößnitz-Zwönitzer-Zone an den Störungen. iii) Verschnitt der Strukturen „Sieg“, „Bergmanns Hoffnung“, „Schwerin“, „Dynamo“, „Nordwest-Störung“ und „Zentralstörung“ an der NE-Fläche des Roten Kamms. iv) Verschnitt der Biotitkersantite am Roten Kamm sowie an der Grenzfläche des Granits, da diese Lamprophyrgruppe im Auer Massiv nicht nachgewiesen ist (Hiller und Schuppan 2008; Seifert 2008). v) Verschnitt der Chloritkersantite am Roten Kamm. vi) Verschnitt aller Flächen am DGM.



**Abbildung 25: Schema zum Verschnitt der Begrenzungsflächen des LZZ-Komplexes im Bereich Niederschlema. In Schritt a) wird eine Kopie der Fläche LZZ\_Niederschlema\_Teil\_A erstellt. b) Anschließend wird LZZ\_Niederschlema\_Teil\_A an LZZ\_Niederschlema\_Teil\_B und „Schwerin“ verschnitten. Die Surface Kopie\_LZZ\_Niederschlema\_Teil\_A wird in Schritt c) für den Verschnitt der Fläche LZZ\_Niederschlema\_Teil\_B an ihr verwendet und anschließend verworfen. In d) ist der fertige Teilbereich der LZZ abgebildet, welcher in nachfolgenden Bearbeitungsschritten mit weiteren LZZ-Grenzflächen analog zusammengeführt wird**

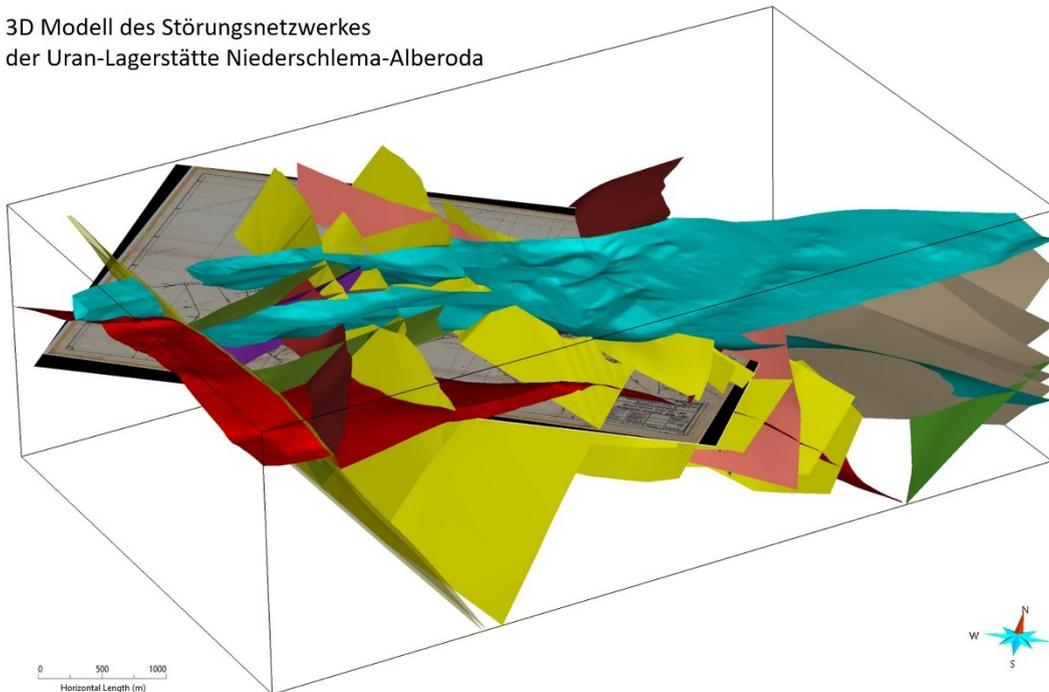
### 5.2.2.7 Resultate

Mit Hilfe eines detailreichen und umfangreichen Risswerkes konnte ein qualitativ hochwertiges 3D-Abbild des strukturellen Inventars des Lagerstättendistriktes Schlema-Alberoda angefertigt werden (Abbildung 26). Das 3D-Modell (als Skua-GoCAD Projektfile) sowie Abbildungen ausgewählter Strukturen sind im Anhang zum 3D-Modell zu finden.

Das 3D-Modell umfasst **i)** ein Störungsnetzwerk mit einer Auswahl von 27 Strukturen; **ii)** drei Biotit- und drei Chloritkersantigänge; **iii)** die Grenzfläche des Auer Granits mit Versätzen; **iv)** die Grenzfläche der Lößnitz-Zwönitzer-Zone mit Versätzen und **v)** die Geländeoberfläche.

Die Resultate werden als Profile, Karten, Schmidt'sche Netze, Isolinienpläne und 2D-Abbildungen der Surfaces festgehalten. GOCAD stellt dafür verschiedene Analysewerkzeuge bereit. Die Funktion Stereonet eignet sich zur Erstellung von Schmidt'schen Netzen sowie der Ermittlung von Streich- und Fallwerten der modellierten Flächen. Profile können mit "Digitize Cross Section" manuell per Mausclick durch das 3D-Modell gezogen werden. Mit dieser Funktion lassen sich außerdem Versatzmessungen der lithologischen Grenzflächen an Störungen durchführen. Aus den 2D-Darstellungen können strukturelle Eigenschaften und Besonderheiten der modellierten Objekte beschrieben und ausgewertet werden. Um die Eigenschaft der Gera-Jáchymov Störungszone als bedeutende tektonische Struktur näher zu erörtern, wird das 3D-Modell der Lagerstätte Schlema-Alberoda regional-geologisch und tektonisch in die gesamte GJZ eingeordnet sowie der metallogenetische und geodynamische Rahmen betrachtet.

3D Modell des Störungsnetzwerkes  
der Uran-Lagerstätte Niederschlema-Alberoda



**Abbildung 26: Das 3D-Modell der Lagerstätte Niederschlema - Alberoda. In dieser Ansicht sind die modellierten Störungen und geologischen Horizonte sichtbar. Zusätzlich ist ein Grubenriss eingeblendet, welcher exemplarisch für die zugrundeliegende Datenbasis steht**

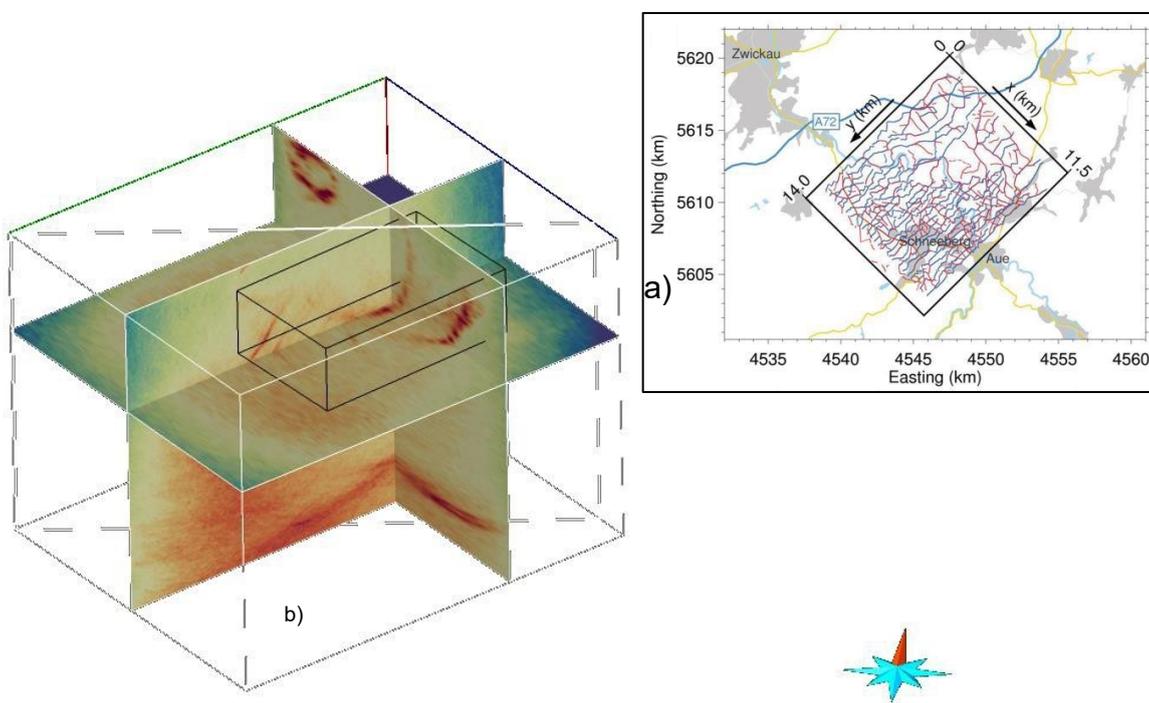
#### **5.2.2.8 Strukturelle Charakteristik der Zone von Gera-Jáchymov im Bereich der Lagerstätte Niederschlema - Alberoda**

Mit dem vorliegenden 3D-Modell können Lage und Orientierung der geologischen Strukturen der Lagerstätte Schlema-Alberoda dargestellt und ermittelt werden. Das Störungsnetzwerk sowie die lithologischen Einheiten werden als Flächen bzw. Grenzflächen repräsentiert, deren räumliche Orientierung im Schmidt'schen Netz projiziert werden kann. Daraus lässt sich die Systematisierung der Störungen in fünf Scharen nach Hiller und Schuppan (2008) anhand deren räumlichen Orientierung bestätigen, welche NE-SW, NW-SE, NNW-SSE, WNW-ESE und E-W streichende Flächenschar umfasst. Die Gruppen sind durch weitere strukturelle Eigenschaften gekennzeichnet, welche im 3D-Modell zur Geltung kommen. Die NW-SE orientierten Flächen spiegeln die Gera-Jáchymov Störungszone als Extensionssystem im Bereich der Lagerstätte in Form einer Grabenstruktur wider. Im 3D-Modell ist die Kinematik durch die Modellierung von Versätzen an Grenzflächen des Granits und der Lößnitz-Zwönitzer-Zone entlang dieser Schar dargestellt. Der nach NE einfallende Rote Kamm stellt die Hauptabschiebung dar, an dem die Grenzfläche des Granits im Durchschnitt um ca. 440 m versetzt wird. Konjugierte NW-SE orientierten Störungen wie „Bergmanns Hoffnung“, „Sieg“, „Schwerin“, „Ruhmvoll“ und „Leucit 2“ zeigen einen antithetischen Verlauf zum Roten Kamm und weisen geringere Abschiebungsbeträge der lithologischen Grenzflächen von ca. 40 bis 150 m auf. Des Weiteren ist im 3D-Modell die räumliche Bindung und der subparallele Verlauf der E-W streichenden bruchtektonischen Strukturen zu Grenzflächen der Lößnitz-Zwönitzer-Zone ersichtlich, was sich u.a. in nahezu übereinstimmenden Streich- und Fallwerten in den Lagerstättenteilen Niederschlema und Oberschlema äußert. Die Lamprophyrgänge werden durch jeweils drei Biotit- und Chloritkersanitgänge im 3D-Modell repräsentiert. Die Biotitkersanitite sind an NNW- SSE streichende Strukturen gebunden und fallen flach nach Westen ein. Hingegen sind die Chloritkersanitite in der Nähe des Roten Kamms in NE-SW orientierten Gängen und in Niederschlema in den Hauptstrukturen der E-W streichenden Störungen wie „Gera“, „Erna“ oder „Union“ ausgebildet.

### 5.2.2.9 Kombination des vorliegenden strukturgeologischen 3D-Modells mit 3D-Seismikabbildungen geophysikalischer Messungen

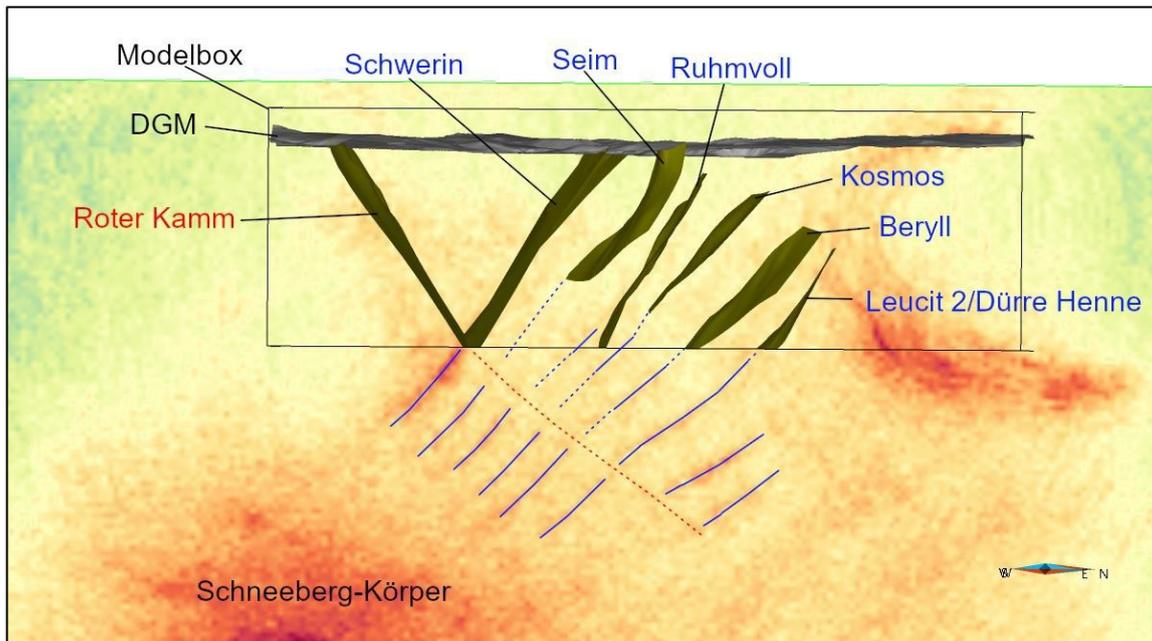
Das vorliegende 3D-Modell gibt den Krustenabschnitt von der Tagesoberfläche bis in eine Tiefe von ca. 1,8 km wieder. Um ein noch umfangreicheres Gesamtbild des strukturgeologischen Untergrundes der Lagerstätte zu erhalten, kann das 3D-Modell mit Resultaten seismischer Messungen kombiniert werden. Eine großangelegte Messkampagne fand 2012 im Rahmen eines Projektes zur geothermischen Reservoircharakterisierung in einem Areal von 11,5×14 km im Vorzugsgebiet Aue statt (Hloušek et al. 2015). Ergebnis dieser Arbeiten ist ein 3D-Abbildungswürfel auf dem seismische Geschwindigkeitsinformationen bis in eine Tiefe von 10 km dargestellt sind. Dieser Würfel setzt sich aus sogenannten Voxeln (Volume Pixel) zusammen und kann, wie in Abbildung 27a gezeigt mittels zweidimensionaler Profilschnitte erkundet werden.

Die 3D Modelle, also der "Seismikwürfel von Schneeberg" und das geologische Modell der Uran-Lagerstätte von Niederschlema-Alberoda ergänzen sich hervorragend (Abbildung 28), da die seismischen Profile im Bereich des Grubenbaus der Lagerstätte aufgrund der bergbaulichen Gewinnungstätigkeiten nur undeutliche oder gar keine Reflexionssignale der bruchtektonischen Strukturen aufzeigen.

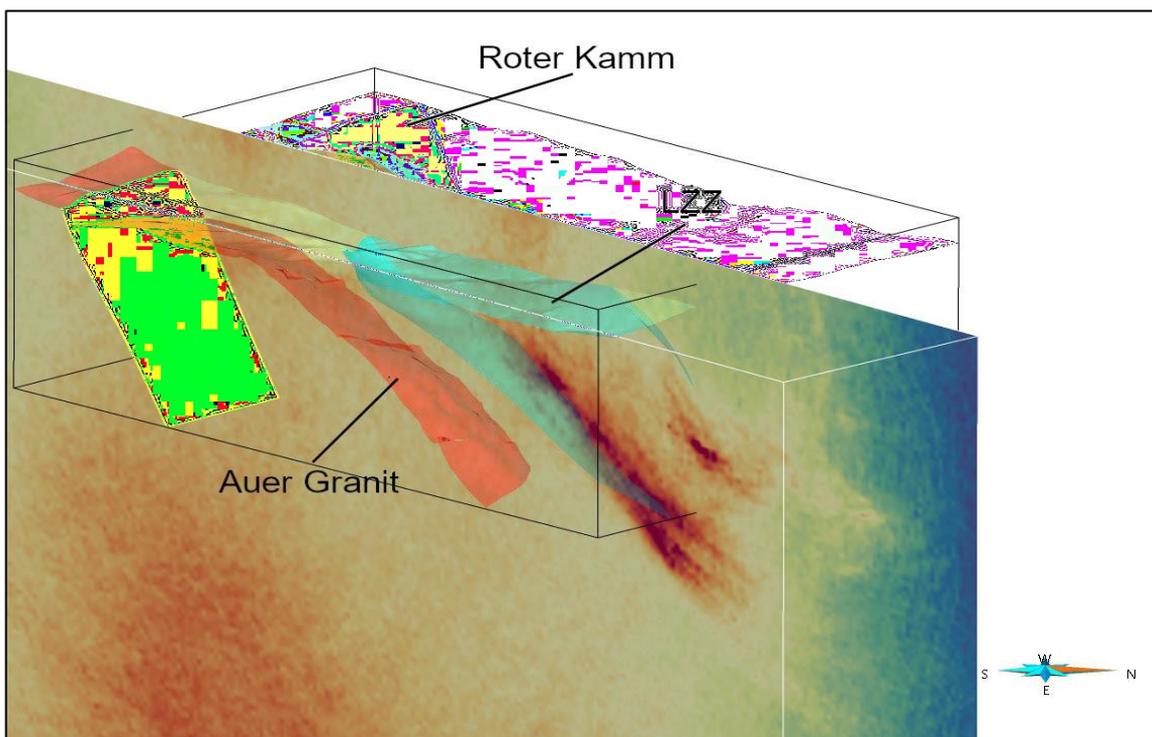


**Abbildung 27: a) Geographische Lage des seismischen 3D-Abbildungswürfels und b) räumliche Lage des 3D-Modells im 3D-Abbildungswürfel (Hloušek et al. 2015)**

Als scharfe und markante Reflektoren treten die konjugierten NW-SE streichenden Störungen in einer Tiefe von 2 bis 4 km auf. Diese können den Flächen aus dem 3D-Modell zugeordnet werden. Die deutlichen Reflexionssignale könnten durch die Mineralisierung der Strukturen in diesen Bereichen ihre Ursache haben. Der Rote Abbildung 29 unterscheidet sich grundlegend in seinen seismischen Eigenschaften, was auf eine hohe "Kluftporosität" schließen lässt. Anhand der Verwerfungen von konjugierten Störungen, die durch eine Abschiebung charakterisiert sind, kann ein Verlauf in die Tiefe abgeleitet werden (Hloušek et al. 2015).



**Abbildung 28: Seismisches Profil „Inline 67“ des 3D-Abbildungswürfels (Hloušek et al. 2015). Die Flächen der konjugierten Störungen können markanten Reflektoren (blau) des seismischen Profils zugeordnet werden**



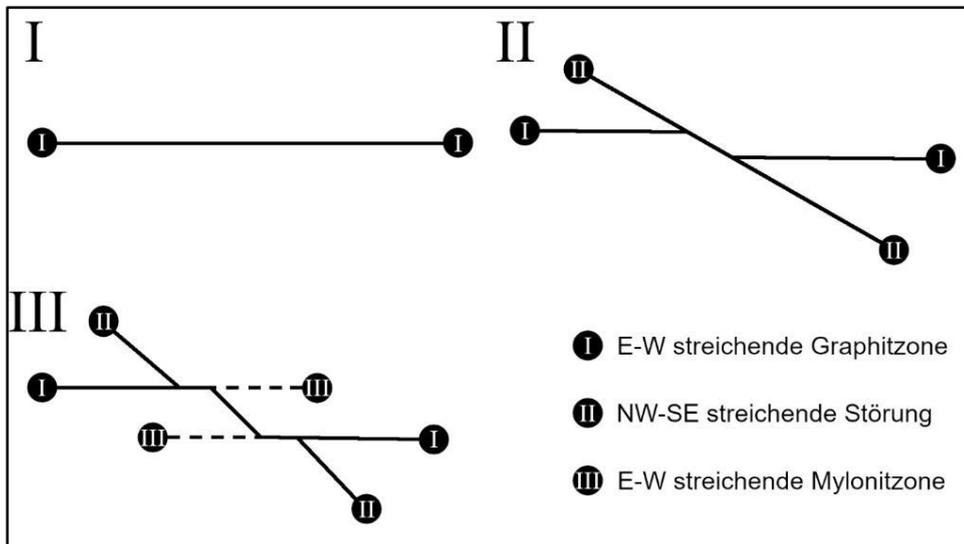
**Abbildung 29: Seismisches Profil „Inline 94“ des 3D-Abbildungswürfels (Hloušek et al. 2015). Die im 3D-Modell dargestellten Grenzflächen der Lösnitz-Zwönitzer-Zone (LZZ) können deutlichen Reflektoren zugeordnet werden**

Neben den NW-SE streichenden Strukturen kann die Lösnitz-Zwönitzer-Zone im 3D-Abbildungswürfel identifiziert werden (Abbildung 29). Die modellierten Grenzflächen stimmen in Lage und Orientierung mit den Reflexionen auf den seismischen Profilen überein. In einer Tiefe von 4 bis 7 km ist ein weiterer hoch reflektiver Bereich mit interner Strukturierung zu erkennen. Dieser Bereich wird als Schneeberg-Körper bezeichnet und befindet sich innerhalb des Auer Granits oder an dessen Unterkante. Er stellt eine in der Geologie bisher unbekannte Struktur dar (Hloušek et al. 2015).

### 5.2.2.10 Entstehung und relative Altersabfolge der bruchtektonischen Strukturen der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda

Rückschlüsse zum minimalen Alter des Störungsnetzwerkes finden sich in den Gangfüllungen und strukturellen Besonderheiten. Hierbei ist ein prägranitisches Alter für alle fünf Störungsscharen wahrscheinlich, da in ihren Vertretern die Mineralisationen der q-Formation, also Vergreisungsprodukte des Granits ausgebildet sind (Hiller und Schuppan 2008; Wallner et al. 2009). Des Weiteren deutet die Führung von Biotitkernantiten auf die frühe Anlage der NNW-SSE und WNW-ESE streichenden Störungen. Sie sind teilweise auch in den E-W und NE-SW streichenden Störungen zu finden (Hiller und Schuppan 2008). Ein prägranitisches Alter dieser Lamprophyre wird aufgrund der Aufschlussverhältnisse in der Lagerstätte angenommen (Hiller und Schuppan 2008; Seifert 2008; Ačejev und Harlass 1968). Die E-W streichenden bruchtektonischen Strukturen stehen möglicherweise mit der Anlage und Faltung der Lößnitz-Zwönitzer-Zone im Zusammenhang (Hiller und Schuppan 2008; Roscher 1962; Wallner et al. 2009; Petschat 1967). Die Störungsschar ist räumlich an die E-W streichende LZZ gebunden und ihre Vertreter verlaufen konkordant oder im spitzen Winkel zu Schieferungsflächen bzw. parallel/subparallel zu duktilen tektonischen Kontakten. Für die frühzeitige Bildung der NW-SE streichenden Störungen spricht, dass entlang des Roten Kamms die Migration von magmatischen Schmelzen erfolgte (Stephan et al. 2018; Seifert 2008; Romer und Cuney 2018; Staude et al. 2009). In den Großstrukturen der konjugierten Störungen sind u.a. auch mächtige Granitapophysen ausgebildet (Hiller und Schuppan 2008). Mit Hilfe der seismischen Profile des 3D-Abbildungswürfels (siehe oben) können die Kontaktverhältnisse zu konjugierten NW-SE streichenden Störungen offengelegt werden. Es ist ein Versatz der antithetischen Strukturen am Roten Kamm zu erkennen. Somit kann spekuliert werden, dass die konjugierten Störungen älter als der Rote Kamm sind. Möglich wäre auch eine gleichzeitige Anlage dieser Strukturen. Durch jüngere Nachbewegungen am Roten Kamm könnte anschließend die Verwerfung zustande gekommen sein.

Nach Anlage des Gangsystems der Lagerstätte erfolgte eine intensive und mehrmalige Reaktivierung, wodurch verschiedene strukturelle Verhältnisse zwischen den Störungen geschaffen wurden, in denen sich Vertreter der Störungsschare gegenseitig komplex verwerfen. In zahlreichen Berichten und Generalvorratsberechnungen der SDAG Wismut (D'akonov et al. 1954; Eleckaa et al. 1956; Matušin et al. 1981; Matušin 1975; Smekalov et al. 1960) spiegelt sich wider, dass Kreuzungsbereiche bzw. Kontakte der Störungen zueinander nicht in dem erforderlichen Maße durch strukturegologische Aufschlüsse offengelegt sind, dass für den gesamten Lagerstättenraum Gesetzmäßigkeiten formuliert werden können. Dafür beispielhaft hat Roscher (1962) einen Versuch der Einordnung von relativen Bewegungsabfolgen der E-W streichenden Störungsschar und NW-SE streichenden Strukturen unternommen (Abbildung 30). Er erkannte, dass E-W streichende Störungen von jüngeren NW-SE orientierten Gängen verworfen werden. Nachbewegungen auf den E-W streichenden Störungen benutzen größtenteils die alten Strukturen und setzen sich in zahlreichen Fällen über diese hinaus fort und bilden Störungen mit ausgeprägten Lettenbesatz (fault gouge). Die NW-SE streichenden Hydrothermalgänge werden dadurch beachtlich zerstückelt und verworfen. Roscher (1962) sieht diese Entwicklungen im gesamten Lagerstättenraum, legt aber nicht dar, in welchen konkreten Fällen er diese Strukturverhältnisse beobachtet. Möglicherweise trifft dies auf den Kreuzungsbereich der Störungen „Union“, „Schwerin“ und „Nordwest-Störung“ zu.



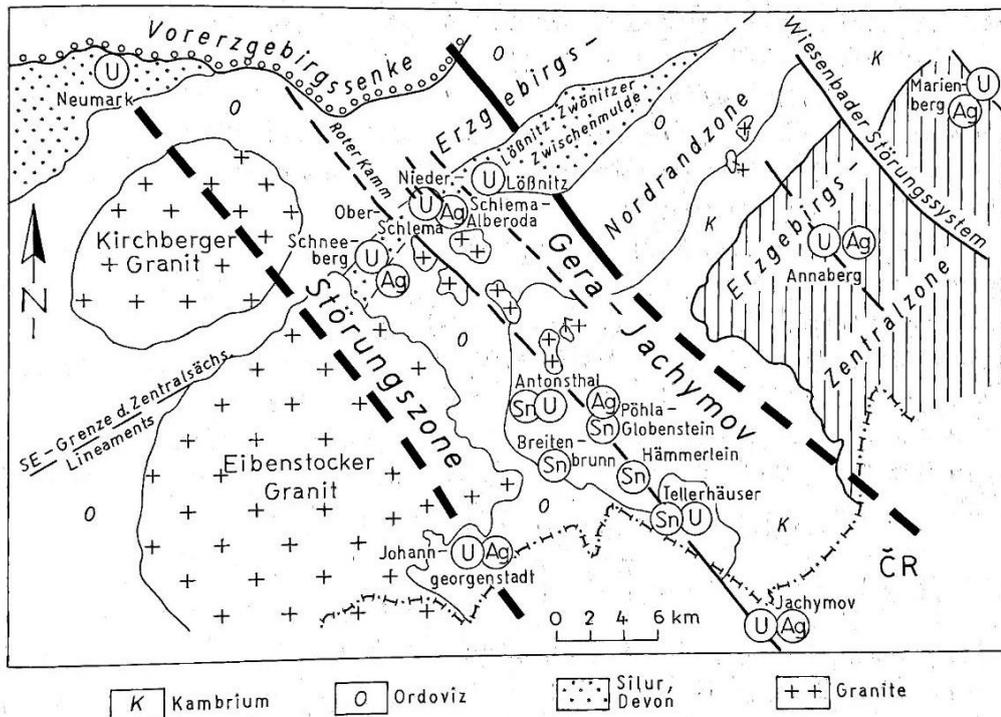
**Abbildung 30: Zeitliche Relation zwischen E-W streichenden und NW-SE streichenden Störungen nach Roscher (1962). In I) entsteht die E-W streichende Störung, welche in kohlenstoffreichen Schiefen an ihren Flächen Graphit auswalzt. Diese wird in II) von einer NW-SE streichenden Störung versetzt. Anschließend III) wird die alte Störungsfläche erneut aktiviert und versetzt den NW-SE orientierten Gang. An den Fortsetzungen der E-W streichenden Störungen kann Roscher die Bildung von Störungsletten (fault gouge) beobachten**

Im vorliegenden 3D-Modell werden Verhältnisse zwischen Störungen aufgrund der Komplexität des Gangnetzwerkes vorwiegend ignoriert. Einige Beziehungen zwischen den Scharen werden jedoch dargestellt, weil ein überwiegender Teil der Eingangsdaten diese vermuten lassen (siehe oben). So werden sämtliche E-W streichende Störungen an der Fläche des NW-SE streichenden Struktur „Schwerin“ abgeschnitten. Weiterhin werden einige NW-SE und NNW-SSE streichende Gänge von der E-W streichenden Struktur „Union“ kontrolliert. Sämtliche Störungen werden am Roten Kamm abgeschnitten.

Im kleineren Maßstab sind die strukturellen Verhältnisse zwischen den Störungen jedoch weitaus komplexer als im 3D-Modell dargestellt, weshalb auch keine konkrete Rekonstruktion der bruchtektonischen Entwicklung der Lagerstätte zulässig ist. Im 3D-Modell wird aber grob verdeutlicht, dass E-W und NW-SE streichende Strukturen sich gegenseitig verwerfen und der Rote Kamm sämtliche Störungen kontrolliert. Auch die Betrachtung der räumlichen Verteilung von hydrothermalen Mineralisationen im Störungsnetzwerk bringt dahingehend nur begrenzt Erkenntnisse. Den Störungsflächen des vorliegenden 3D-Modells können keine bestimmten Formationen des hydrothermalen Mineralisationszyklus zugeordnet werden, da nahezu alle hydrothermalen Formationen in allen Gangscharen ausgebildet sind. Ausnahmen bilden die NE-SW streichende Störungen, da in ihnen vornehmlich Quarzmineralisationen der q-Formation und kb-Formation sowie Chloritkersantite ausgebildet sind (Wallner et al. 2009). Ausscheidungen der kku- und mgu-Formation sind nur unmittelbar in Kreuzungsbereichen zu Strukturen anderer Störungsschare anzutreffen (Hiller und Schuppan 2008). Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die wirtschaftlich uninteressanten NE-SW streichenden Gänge während des Uranstadiums und späteren hydrothermalen Remobilisation vermutlich nicht reaktiviert worden sind.

### 5.2.2.11 Regionalgeologische und tektonische Einordnung des vorliegenden 3D-Modells in die Gera-Jáchymov Störungszone

In der Gera-Jáchymov Störungszone befinden sich in Regionen südöstlich und nordwestlich der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda weitere wirtschaftlich wichtige Bergbaudistrikte. Diese sind ebenfalls an markante NW-SE streichende Störungssegmente gebunden, welche mit dem Roten Kamm und den konjugierten Strukturen verglichen werden können. Im Verlauf der Gera-Jáchymov Störungszone ergeben sich hinsichtlich kinematischer und geometrischer Eigenschaften des strukturellen Baus jedoch Unterschiede.



**Abbildung 31: Regionalgeologische Stellung der Gera-Jáchymov Störungszone und die Verteilung der west-erzgebirgischen Sn-, Ag- und U-Lagerstätten (Seifert et al. 1996).**

#### Komplexlagerstätte Hämmerlein-Tellerhäuser

Zwischen den west-erzgebirgischen Städten Schwarzenberg und Oberwiesenthal befindet sich eine Komplexlagerstätte, welche sich aus der Sn-Lagerstätte Hämmerlein und der Sn-U-Lagerstätte Tellerhäuser zusammensetzt. Der SE-Teil (Tellerhäuser) befindet sich in der MP-LT Granat-Phyllit-Einheit, während der NW-Teil (Hämmerlein) im Übergangsbereich dieser und der HP-LT Glimmerschiefer-Eklogit-Einheit liegt. Die Metamorphite werden vom Eibenstocker Granit unterlagert und durchdrungen. Die Bruchtektonik der Lagerstätte wird, wie im Distrikt Niederschlema-Alberoda von NW-SE streichenden Störungen dominiert, welche im Kontext der GJZ stehen. Die Rittersgrüner-Störung gilt als tektonische Hauptstruktur (Schuppen und Hiller 2012). Sie verläuft an der SW-Grenze des Bergbaudistriktes und ist nur in Hämmerlein aufgeschlossen, wo sie eine Mächtigkeit von 20-30 m aufweist. An dieser Stelle streicht die Struktur mit 305 bis 320° und fällt mit 70 bis 80° nach SW ein. Die Störung lässt sich im SE bis über die tschechische Grenze hinaus verfolgen. Hier konnte ihr eine Mächtigkeit von 20 bis 100 m und ein Abschiebungsbetrag von 200 bis 300 m nachgewiesen werden. Somit kann die Rittersgrüner-Störung mit dem Roten Kamm verglichen werden. Beide Strukturen unterscheiden sich jedoch in ihrer Fallrichtung und so ergibt hinsichtlich der Störungsgeometrie jeweils ein unterschiedliches bruchtektonisches Bild der Lagerstätten. In Hämmerlein-Tellerhäuser verlaufen konjugierte NW-SE streichende Strukturen größtenteils synthetisch zur Rittersgrüner-Störung mit einem 125 bis 150° Streichen und einem Fallen von >45°. Der Zentralteil der Lagerstätte Tellerhäuser stellt einen nach NW divergierenden keilförmigen Staffelbruch dar, der durch die Strukturen „Gang Luchsbach“ im SW und „Schildbach“ im NE begrenzt wird (Schuppen und Hiller 2012). Die synthetischen NW-SE Störungen sind wie die konjugierten





### **5.2.2.12 Metallogenetischer und geodynamischer Rahmen und Bedeutung der Gera- Jáchymov Störungszone für die Lagerstätte Niederschlema-Alberoda**

Die Bildung eines hydrothermalen Systems ist nie als lokales und isoliertes Phänomen zu betrachten. Die Metallogenie dieser Lagerstätten steht in einem großen geodynamischen Zusammenhang (Burisch-Hassel 2021; McCuaig et al. 2010; Kuschka 2002; Linnemann und Romer 2010). Dieser wird nachfolgend zusammengefasst, um ein Bild zu vermitteln, welche Spannungsregime Einfluss auf die Lagerstätte Niederschlema-Alberoda nahmen und für die Aktivierung der Gera-Jáchymov Tiefenstörung sorgten, welche die episodische Zufuhr hydrothermalen Fluides steuerte (Romer und Cuney 2018). Mit der Entwicklung des Verständnisses zur metallogenetischen Evolution Mitteleuropas haben sich tektonische Großereignisse herauskristallisiert, welche das variszische Grundgebirge entscheidend geprägt haben und für den Reichtum hydrothermalen Systeme u.a. im Erzgebirge, im Schwarzwald, im französischen Zentralmassiv und im iberischen Massiv verantwortlich sind (Guilcher et al. 2021; Burisch et al. 2019b). Über die einzelnen Provinzen hinweg weisen die verschiedenen Lagerstättentypen (Greisen-, Skarn-, epithermale, BiCoNi- und Fluorit-Baryt-Lagerstätten) bestimmte Merkmale auf, welche charakteristisch für jedes Stadium innerhalb der geotektonischen Entwicklung Mitteleuropas sind (Bauer et al. 2019; Walter et al. 2016; Korges et al. 2019; Guilcher et al. 2021). Bei den drei metallogenetischen Perioden handelt es sich um spätpaläozoische, mesozoische und känozoische hydrothermale Systeme (Burisch-Hassel 2021).

#### **Spätpaläozoische hydrothermale Systeme**

Die Phase umfasst den Zeitraum von der Konsolidierung der variszischen Kruste bis zur postorogenen Sprödverformung während des Permischen Rifting. Der Beginn der spätpaläozoischen hydrothermalen Aktivität erfolgte weniger als 5 Ma nach dem regionalen metamorphen Höhepunkt und ist magmatisch geprägt (Reinhardt et al. 2022). Dabei entstanden u.a. die wirtschaftlich wichtigen Sn-W-(Mo)-Mineralisationen im Erzgebirge, welche mit der Vergreisung der spätvariszischen Granite assoziiert sind. Die anschließende vor ca. 296 bis 258 Ma stattfindende und ganz Mittel- und Westeuropa betreffende permische Extensionstektonik führte nicht nur zu Grabenstrukturen und der Anlage großräumiger Sedimentbecken wie der Norddeutsch-Polnischen Senke, sondern auch zur Bildung bedeutsamer hydrothermalen Lagerstätten. Einen Höhepunkt stellt der Zeitraum  $270 \pm 15$  Ma dar, welcher die wichtigste Periode der Uranmetallurgie des variszischen Europas darstellt (Cathelineau et al. 1990; Respaut et al. 1991; Romer und Cuney 2018). Die mit 271-278 Ma datierenden primären Pechblendes (kku-Formation) der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda (Förster 1996; Förster und Haack 1995) können diesem geotektonischen Event zugeordnet werden. Das Uran stammt ursprünglich aus den silurischen Schwarzschiefern der Lößnitz-Zwönitzer-Zone und wurde nach der granitischen Intrusion durch die Aufschmelzung dieses Komplexes auch im Pluton angereichert (Romer und Cuney 2018). Die entscheidenden Mechanismen sind anschließend auf die Reaktivierung der GJZ zurückzuführen. Dadurch findet eine Exhumierung und Dekompression von Gesteinen in tiefen und mittleren Krustenebenen statt. Da sich Gestein und Flüssigkeit unterschiedlich stark ausdehnen, gerät die Porenflüssigkeit unter Überdruck. Um diesen auszugleichen, werden erhebliche Mengen an Fluiden ausgestoßen, welche entlang von tieferreichenden Störungen migrieren (Staudte et al. 2009) und das auslaugbare Uran aus den Nebengesteinen aufnehmen können. Dieses wurde an geochemischen Barrieren und durch den Einfluss meteorischer Fluide im Störungsnetzwerk ausgefällt.

#### **Mesozoische hydrothermale Gänge**

Das Mesozoikum ist vom weiteren Zerfall Pangäa gekennzeichnet. Burisch et al. (2022) sehen im kontinentalen Maßstab, vom Nordrand Afrikas über ganz Europa hinweg, eine systematische räumliche und zeitliche Beziehung zwischen den mesozoischen hydrothermalen Erzbildungen. Verantwortlich dafür ist das Riftsystem Tethys-Zentralatlantik-Karibik, eine Struktur, die quer durch den Superkontinent verlief (van Hinsbergen et al. 2020). Die erhobenen geochronologischen Daten offenbaren, dass das maximale Alter der extensionskorrelierten Gangmineralisationen jünger mit zunehmendem Abstand zur ursprünglichen Riftachse wird. Dadurch kann angenommen werden, dass sich das dadurch verursachte Spannungsfeld kontinuierlich von S nach N ausgebreitet hat. Vor 230-240 Ma begann das Rifting dieser Megastruktur im Mittelmeerraum entlang des E-W gerichteten Atlasgrabens (Laville et al. 2004). Die resultierende Krustendehnung und hydrothermale Aktivität betraf vornehmlich Nordafrika und Südeurasien. Mit der Ausbreitung des Spannungsfeldes nach N begann im unteren Jura die Öffnung des Zentralatlantiks, welche

darüber hinaus das Rifting der alpinen Tethys auslöste (Ziegler und Dèzes 2006). Im oberen Jura setzte eine sukzessive Drehung von Laurussia um 8° im Uhrzeigersinn ein (durch die Öffnung des Nordatlantiks), was zu einer Zunahme der tektonischen Aktivität in Gebieten führte, welche sich weiter entfernt zum Riftursprung befanden (Ziegler 1990). Der Höhepunkt der intensiven Krustendehnungen und -senkungen ist in Mittel- und Westeuropa im Zeitraum 180-110 Ma angesiedelt. Hierbei fand die Remobilisation der primären Uranvererzungen und eine Umverteilung der Mineralisationen in der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda statt, die zur weiteren Anreicherung führte (Rommer und Cuney 2018). Die Mineralisationen der mgu- und Bi-Co-Ni-U-Ag-Formation der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda können mit diesen geotektonischen Ereignissen assoziiert werden (Förster 1996; Guilcher et al. 2021).

### **Känozoische hydrothermale Mineralisation**

Vor ca. 85 Ma endete die weitverbreitete hydrothermale Aktivität, welche an extensive Bewegungen gekoppelt war. In der Oberkreide setzte mit der alpinen Orogenese die Inversionstektonik ein und bestimmte das Spannungsfeld Europas. Dabei wurden vornehmlich NW-SE-streichenden Störungen, welche in den Epochen zuvor durch extensive Vorgänge geprägt wurden, als Aufschiebungen reaktiviert (bspw. Lausitzer Überschiebung). In diesem Zeitraum kam es zu einer letzten Fluidzufuhr niedrigtemperierter Hydrothermen. In Niederschlema-Alberoda fand eine erneute känozoische Uran-Remobilisation zwischen 30-7 Ma statt (Förster und Haack 1995; Schuppan et al. 1994).

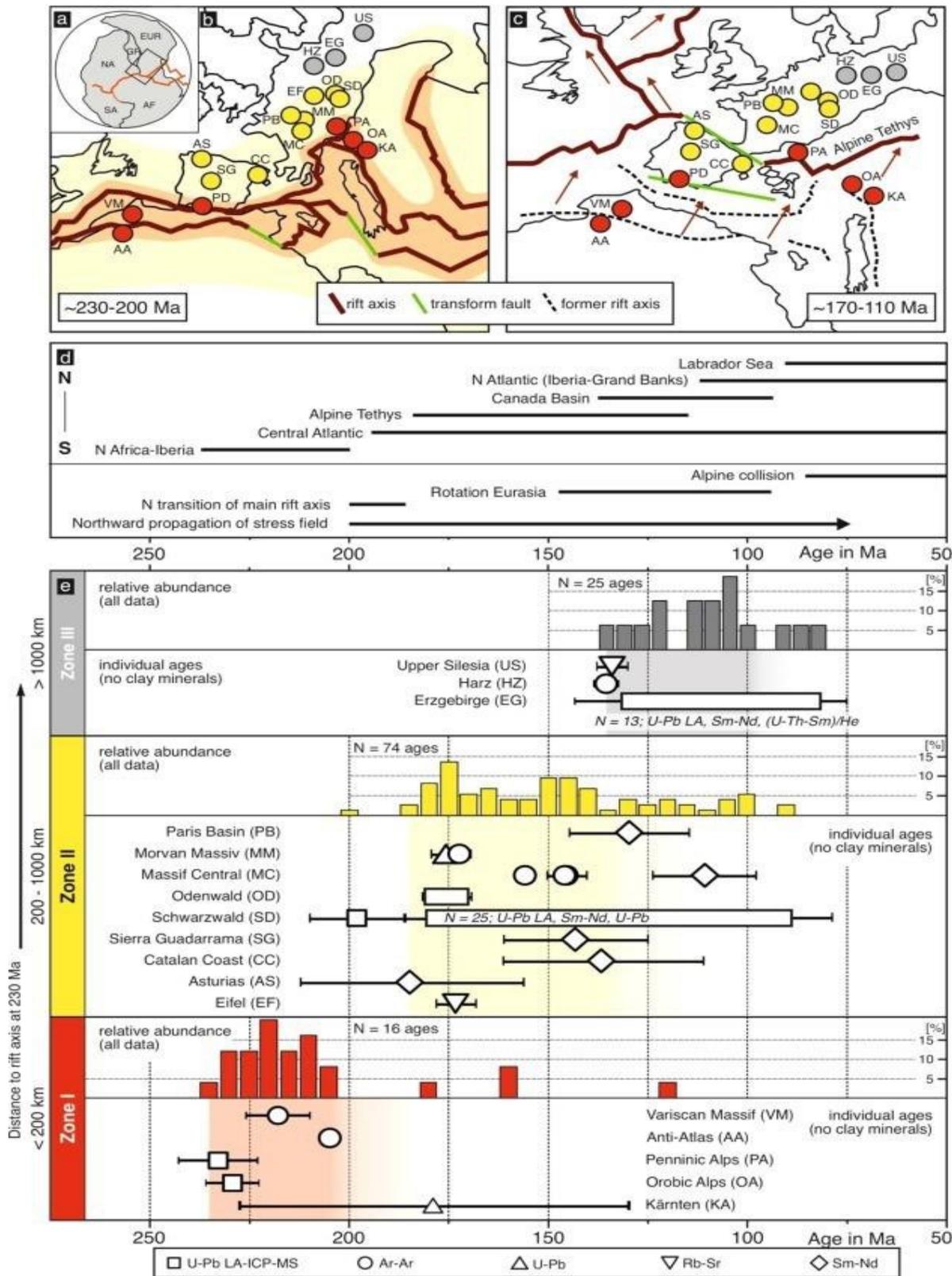


Abbildung 34: Übersichtskarte der mesozoischen Entwicklung des Tethys-Zentralatlantik-Karibik Riftsystem (Burisch-Hassel 2021) nach (Schettino und Turco 2011). Bei b) 230-190 Ma und c) 170-110 Ma. Orte mit verfügbaren geochronologischen Daten sind als Kreise dargestellt. Der Farbcode gibt den Abstand der Lagerstätten zur ursprünglichen Riftzone an und umfasst: e) eine Einteilung in drei Zonen (rot=proximal, gelb=mittel, grau=distal), d) Zusammenfassung der geochronologischen Daten und der wichtigsten tektonischen Ereignisse, die mit dem Auseinanderbrechen Pangäas zusammenhängt.

# 6 Zusammenfassung der tektonischen Entwicklung der Gera-Jáchymov-Zone

Die Zone von Gera Jáchymov stellt eine segmentierte, generell NW-SE streichende Störungszone dar, welche mit der räumlichen Anordnung von bedeutenden Uranmineralisationen assoziiert ist. Generell kann diese Zone in zwei Segmente unterteilt werden. Der südöstliche Abschnitt von "Gera-Jáchymov" ist durch Störungen gekennzeichnet, welche das variszische Kristallin, also hoch- bis mittelgradig metamorphisierte Lithologien des Erzgebirges durchsetzen. Dazu im Gegensatz deformieren die Störungen im NW-Segment niedriggradige Metasedimente des Thüringisch - Vogtländischen Schiefergebirges.

Das hier vorgestellte Projekt "ARTUS 3" konzentrierte sich auf das Erzgebirge - Segment und hier speziell auf die Bruchtektonik im Bereich des "Roten Kammes" bei Hartenstein. Durch den detailreichen und umfangreichen Datensatz, welcher uns von der Wismut GmbH zur Verfügung gestellt wurde, konnte ein sehr genaues dreidimensionales Abbild des Störungsvolumens des Lagerstättendistriktes Niederschlema-Alberoda angefertigt werden. Damit wird es möglich, reale geologischen Strukturen mit den Ergebnissen der 3D-Seismik (Hloušek et al. 2015) zu vergleichen, was nachfolgend zu einem detaillierten Störungsbild eines Gesteinsvolumens dieser Region führte.

Im Rahmen des Projektes wurden seismische Untersuchungen durchgeführt. Die seismische Messung hat gezeigt, dass es möglich ist, Teile der oberflächennahen Struktur des Störungssystems um den Roten Kamm sowie der konjugierten Störungen abzubilden. Trotz der geringen Anzahl an Quellpositionen und ihrer räumlich relativ weit verteilten Lage sowie der für dieses Gesamtgebiet und die Profillage relativ geringen Anzahl an Empfängerpositionen lässt sich erahnen, dass das Störungssystem insbesondere im oberflächennahen Bereich des Untersuchungsgebietes sehr komplex ist und aus einer Vielzahl von einzelnen Störungsästen besteht. Darüber hinaus ist die Struktur des Störungssystems wohl nicht ausschließlich an eine einzige Streichrichtung gebunden, sondern besitzt eine komplexe dreidimensionale Komponente. Die Komplexität des Störungssystems konnte ebenfalls mittels des erstellten geologischen 3D-Modells der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda abgebildet werden. Darüber hinaus konnte demonstriert werden, dass die Störungsarchitektur des geologischen 3D-Modells nahezu 1:1 mit der räumlichen Verteilung der Anisotropiefächen der 3D-Seismik korreliert.

Unsere Ergebnisse bestätigen nicht die traditionelle Sichtweise, wonach der Gesamtbereich der Gera-Jáchymov-Zone eine durchgreifende Störungszone abbildet. Schon aus der präsentierten Störungskarte der Zone von Gera-Jáchymov kann abgeleitet werden, dass, im Gegensatz zum NW-Segment, die Bruchstruktur des Erzgebirges ein komplexes Störungsvolumen darstellt, wobei die Linie "Jáchymov - Bad Schlema" mit der prominenten Störung des "Roten Kammes" die nordöstliche Begrenzung repräsentiert. Im Südwesten wird das Störungsvolumen von der prinzipiell nach NE-einfallenden Eibenstock - Rehhübel Störung begrenzt, welche durch ein NW-SE Streichen gekennzeichnet ist, welches zum Nordrand des Erzgebirges in eine N-S Richtung umbiegt. Obwohl die genaue Charakterisierung des gesamten Störungsvolumens des Erzgebirges noch aussteht, ist der Unterschied zum einfach aufgebauten NW-Segment der Gera-Jáchymov-Zone offensichtlich, welches durch die südwestliche Pohlen Störung und die nordöstliche Crimmitschau - Oberhohndorfer Störung charakterisiert ist. Im Übergangsbereich beider Segmente findet sich bisher kein geologischer Hinweis, der eine strukturelle Korrelation der Pohlener Störung des Schiefergebirges mit der Rehhübelstörung des Erzgebirges rechtfertigt.

Der Grund für die signifikanten Unterschiede der beiden Segmente begründet sich im Nebeneinander zweier unterschiedlicher variszischer Domänen. Während das NW-Segment mit der "Wrench-and-Thrust-Zone" (WTZ) die schwach metamorphe südliche Begrenzung der Autochthonen Domäne des Saxothuringikums repräsentiert (Gliederung nach Kroner et al., 2007), repräsentiert das Erzgebirge einen wesentlichen Teil der "Allochthonen Domäne" (sensu Kroner et al., 2007). Die variszische Gebirgsbildung führte hier zu einer tiefen Versenkung, durchgreifender Deformation und abschließender Exhumierung des Erzgebirges in die Oberkruste. Da dieser Prozess im Finalstadium mit erheblicher Sprödeformation verbunden war, ist ein Großteil der zu beobachtenden Störungen initial an

spätvariszische Tektonik gekoppelt. Diese Tektonik fehlt weitestgehend im NW-Segment der Gera-Jáchymov-Zone. Obwohl eine vergleichende tektonische Analyse der Uranlagerstätten der gesamten Gera-Jáchymov-Zone noch aussteht, zeichnet sich auch hier eine Zweiteilung deutlich ab. Insbesondere das Auftreten supergener Lagerstätten im NW-Segment zeigt hier die Bedeutung exogener lagerstättenbildender Prozesse. Daher kann die räumliche Anordnung genetisch und zeitlich unterschiedlicher Uranlagerstätten nicht als belastbares Argument für die Existenz einer durchgehenden und tiefreichenden Gera-Jáchymov Störungszone herangezogen werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse sprechen eher für ein komplexes Störungsvolumen im Bereich des Erzgebirges gegenüber einer recht einfachen Störungsarchitektur im NW-Segment von „Zone von Gera-Jáchymov“.

Die Komplexität des Störungsvolumens des W-Erzgebirges ist bisher nur in Ansätzen klar. Die Ergebnisse von ARTUS 3 offenbaren, dass nur eine dreidimensionale Betrachtung der Bruchstruktur des W-Erzgebirges zu einem tieferen Verständnis der zugrundeliegenden tektonischen Prozesse führen kann. Das betont die Notwendigkeit weiterführender umfangreicherer Seismik Messungen kombiniert mit detaillierter, strukturgeologisch-tektonischer 3D-Modellierung. Hinsichtlich der Seismik ist für zukünftige Messungen eine deutlich höhere Anzahl an Quell- und Empfängerpositionen notwendig, um zu einer besseren 3D-Abbildung der oberflächennahen Struktur des Störungssystems zu gelangen. Auch für die Ableitung der anisotropen Anteile des Geschwindigkeitsfeldes, die in den 3D-Seismik Daten von 2012 belegt sind, sowie dessen Einbeziehung in die seismische Abbildung und damit eine verbesserte Abbildungsqualität wäre dies wünschenswert. Die hier präsentierten Ergebnisse können zukünftig zu einem detaillierten dreidimensionalen Strukturmodell im Raum Schneeberg beitragen, welches ein Volumen von ca. 14\*11,5\*10 km umfasst. Damit können die Ergebnisse dieses Projektes beispielsweise zu einer besseren Abschätzung des geothermischen Potentials dieser Region einen Beitrag leisten

# Literaturverzeichnis

- AČEJEV, B. N. (1967): Verteilungsgesetzmäßigkeiten und Lokalisationsbedingungen der Uranvererzung in der Lagerstätte Schlema-Alberoda. GEOFI, Moskau; WISMUT GmbH, Geolog. Archiv, Inv.-Nr. A-38 (russ.).
- AČEJEV, B. N.; HARLASS, E. (1968): Zum Problem der Altersstellung von Lamprophyren im westlichen Erzgebirge. In: Geologie (17), S. 1178–1194.
- ACHTZIGER-ZUPANČIČ, P.; LOEW, S.; HILLER, A.; MARIETHOZ, G. (2016): 3D fluid flow in fault zones of crystalline basement rocks (Poehla-Tellerhaeuser Ore Field, Ore Mountains, Germany). In: Geofluids 16 (4), S. 688–710. DOI: 10.1111/gfl.12192.
- AIT ETTAJER, T.; MALLET, J. L. (1994): Automatic modelling of geological model in 3D. In: Extended abstracts book (oral and poster presentations) / 56th meeting and technical exhibition, Vienna, Austria, 6 - 10 June 1994, European Association of Exploration Geophysicists. 56th EAEG Meeting. Vienna, Austria, 06 Jun 1994 - 10 Jun 1994. European Association of Exploration Geophysicists. Zeist: EAEG Business Office. and ore forming processes in the Odenwald, SW Germany. In: Ore Geol. Rev. (81), S. 42–61.
- BAUER ET AL., MATTHIAS (2019): Trace element geochemistry of sphalerite in contrasting hydrothermal fluid systems of the Freiberg district, Germany: insights from LA-ICP-MS analysis, near-infrared light microthermometry of sphalerite-hosted fluid inclusions and sulfur isotope geochemistry. (54), S. 237–262.
- BAUMANN, L.; KUSCHKA, E.; SEIFERT, T. (2000): Lagerstätten des Erzgebirges. Stuttgart u. a.: Enke im Thieme-Verl.
- BEHR, H.-J.; DÜRBAUM, H.-J.; BANKWITZ, P. (1994): Crustal structure of the Saxothuringian Zone: Results of the deep seismic profile MVE-90 (East). In: Z. geol. Wiss. 22 (6), S. 647–769.
- BELLENBERG, S. (2001): Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 (GÜK200) - CC 5542 Dresden. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR.
- BERGER, HANS-JÜRGEN; FELIX, MANFRED.; GÖRNE, SASCHA; KOCH, ERHARD; KRENTZ, OTTOMAR; FÖRSTER, ANDREA ET AL. (2011): Forschungsbericht Tiefengeothermie Sachsen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen.
- BOLONIN, A. V.; GRADOVSKY, I. F. (2012): Supergene processes and uranium ore formation in the Ronneburg ore field, Germany. In: Geol. Ore Deposits 54 (2), S. 122–131. DOI: 10.1134/S1075701512020031.
- BONDARENKO, W. I.; BYTECHKOW, W. M.; WILDNER, G.; MÄRZ, D.; MOTZ, H.; MÜLLER, W. ET AL. (1984): Erkundungsgrad des Ronneburger Erzbezirks, Richtungen und Umfänge weiterer Bohrarbeiten. Wismut GmbH, Geologisches Archiv, TH-110. mit Prognosekarte.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (1993): Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland. Grundkarte. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BURISCH ET AL., MATHIAS (2019): Genesis of hydrothermal silver-antimony-sulfide veins of the Bräunsdorf sector as part of the classic Freiberg silver mining district, Germany. In: Mineral Deposita (54(2)), S. 263–280.
- BURISCH, MATHIAS; MARKL, GREGOR; GUTZMER, JENS (2022): Breakup with benefits - hydro-thermal mineral systems related to the disintegration of a supercontinent. In: Earth and Planetary Science Letters 580, S. 117373. DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117373.
- BURISCH-HASSEL, MATHIAS (2021): Hydrothermal Mineral Systems of Central Europe - Case Studies from the Erzgebirge and the Schwarzwald Metallogenic Provinces. Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg.
- CATHELINEAU, M.; BOIRON, M. C.; HOLLIGER, P.; POTY, B. (1990): Metallogenesis of the French part of the Variscan orogen. (Part II): Time-spacerelationships between U, Au, Sn-W ore deposition and geodynamic events. In: Tectonophysics (461), S. 228–239.
- CHÁB, J.; STRÁNIK, Z.; ELIÁS, M. (2007): Geological Map of the Czech Republic. Prag: Czech Geological Survey; Ministry of Environment of the Czech Republic.
- CONRAD, W. (1991): Ein geologisch-geophysikalisches Schema der Grenzregion der DDR und CSSR. In: Z. Geol. Wiss. (11), 696-686.

- D'AKONOV, A. V.; KOLESOVA, V. P.; KAMENSKAA, V. N.; PERVAKOVA, L. V.; IVANOVA, V. M.; MILKEVIC, M. M. ET AL. (1954): Geologischer Bericht zur Vorratsberechnung im Nordostteil der Lagerstätte Oberschlema-Alberoda (Gebiet Niederschlema-Alberoda) zum Stand vom 01.01.1954. SDAG Wismut Geolog. Archiv, Inv.-Nr. A-3 f.
- EILERS, H.; FRITZSCHE, H.; HÄNIG, C.; HOTH, K.; TISCHENDORF, G.; BERGER, H.-J. (1995): Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Bereich Boden und Geologie.
- ELECKAA, M. I.; KAŠPIROV, S. N.; MALINN, E. G.; SOZINOV, N. P.; TOKMAKOVA, S. A. (1956): Geologischer Bau, strukturelle Besonderheiten und Charakteristik der Uranvererzung im Südwestteil der Lagerstätte Oberschlema-Alberoda (Bericht der Kameralabteilung des Objektes 2 über die Arbeiten 1954/55). SDAG Wismut; WISMUT GmbH, Geolog. Archiv.
- EYNATTEN, H. VON; KLEY, J.; DUNKL, I.; HOFFMANN, V.-E.; SIMON, A. (2021): Late Cretaceous to Paleogene exhumation in central Europe - localized inversion vs. large-scale domal uplift. In: *Solid Earth* 12 (4), S. 935–958. DOI: 10.5194/se-12-935-2021.
- FISCHER, F. (1991): Das Rotliegende des ostthüringisch-west-sächsischen Raumes (Vorerzgebirgs-Senke, Nordwestsächsischer Vulkanitkomplex, Geraer Becken). Dissertation. TU Bergakademie Freiberg, Freiberg.
- FÖRSTER, H.-J.; ROMER, R. L. (2010): Carboniferous magmatism. In: U. Linnemann und R. L. Romer (Hg.): *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia. From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, S. 287–310.
- FÖRSTER, H.-J.; ROMER, R. L.; GOTTESMANN, B.; TISCHENDORF, G.; RHEDE, D. (2009): Are the granites of the Aue-Schwarzenberg Zone (Erzgebirge, Germany) a major source for metalliferous ore deposits? A geochemical, Sr-Nd-Pb isotopic, and geochronological study. In: *N. Jb. Miner. Abh.* 186 (2), S. 163–184. DOI: 10.1127/0077-7757/2009/0138.
- FÖRSTER, H.-J.; TISCHENDORF, G.; SELTMANN, R.; GOTTESMANN, B. (1998): Die variszischen Granite des Erzgebirges: neue Aspekte aus stofflicher Sicht. In: *Z. Geol. Wiss.* (26), S. 31–60.
- FÖRSTER, H.-J.; TISCHENDORF, G.; TRUMBULL, R. B.; GOTTESMANN, B. (1999): Late-Collisional Granites in the Variscan Erzgebirge, Germany. In: *Journal of Petrology* 40 (11), S. 1613–1645.
- FÖRSTER, H.-J.; ROMER, R. L.; GOTTESMANN, B.; TISCHENDORF, G.; RHEDE, D. (2009): Are the granites of the Aue-Schwarzenberg Zone (Erzgebirge, Germany) a major source for metalliferous ore deposits? A geochemical, Sr-Nd-Pb isotopic, and geochronological study. In: *njma* 186 (2), S. 163–184. DOI: 10.1127/0077-7757/2009/0138.
- GATZWEILER, R.; PAUL, M.; FENGLER, H. J.; SCHULZE, G. (1997): *Geologie, Bergbau und Sanierung des Ostthüringer Uranerzbergbaureviere*.  
Geologische Übersichtskarte von Thüringen (1994). Gotha: Justus Perthes Verlag Gotha GmbH.
- GÖRNE, S. (2010): *Geologisches 3D Modell Aue*. Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie.
- GRUHL, H. (1924): *Die Löbnitz-Zwönitzer Zwischenmulde*. unveröff. Dissertation Universität Leipzig.
- GUILCHER, MARIE; ALBERT, RICHARD; GERDES, AXEL; GUTZMER, JENS; BURISCH, MATHIAS (2021): Timing of native metal-arsenide (Ag-Bi-Co-Ni-As±U) veins in continental rift zones – In situ U-Pb geochronology of carbonates from the Erzgebirge/Krušné Hory province. In: *Chemical Geology* 584, S. 120476. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2021.120476.
- HALLAS, PETER; PFÄNDER, JÖRG A.; KRONER, UWE; SPERNER, BLANKA (2021): Microtectonic control of <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar white mica age distributions in metamorphic rocks (Erzgebirge, N-Bohemian Massif): Constraints from combined step heating and multiple single grain total fusion experiments. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 314 (9), S. 178–208. DOI: 10.1016/j.gca.2021.08.043.
- HAMMERSCHMIDT, M.; ZITZMANN, A. (1981): *Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 (GÜK200) - CC 6334 Bayreuth*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR.
- HASSANI, HOSSEIN; HLOUŠEK, FELIX; ALEXANDRAKIS, CATHERINE; BUSKE, STEFAN (2018): Migration-based microseismic event location in the Schlema-Alberoda mining area. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 110, S. 161–167. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.08.002.

- HERFURTH, H.; HERTHEL, K.; SCHUMANN, R. (1983): Ressourcenpotential Steinkohle DDR. Zwickau-Mülsener Teilsenke. Unter Mitarbeit von K. Hoth und H. Fritzsche. Hg. v. VEB Geologische Forschung und Erkundung Freiberg.
- HERRMANN, S.; SEIFERT, T.; BAUMANN, L. (1995): Zur Ausbildung von spätvariszischen Quarz-Polymetall-Mineralisationen im Lagerstättenrevier Schneeberg. In: Z. Geol. Wiss. (23 5/6), S. 573–580.
- HILLER, AXEL; SCHUPPAN, WERNER (2008): Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Bergbau in Sachsen Bergbaumonographie, 14).
- HLOUŠEK, FELIX; HELLWIG, OLAF; BUSKE, STEFAN (2015): Three-dimensional focused seismic imaging for geothermal exploration in crystalline rock near Schneeberg, Germany. In: Geophysical Prospecting 63 (4), S. 999–1014. DOI: 10.1111/1365-2478.12239.
- HÖSEL, G. (2002): Die polymineralische Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein. Bergbau in Sachsen. Unter Mitarbeit von P. Wolf (Bergbaumonographie, 8).
- HÖSEL, G.; BREITER, K.; WASTERNAK, J.; TISCHENDORF, G.; KUSCHKA, E.; CHRT, J. ET AL. (1995): Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland / Krušné hory: 1:100000. Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt-Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. Westteil. Freiberg, Praha: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Bereich Boden und Geologie; Czech Geological Survey.
- HOTH, K.; EILERS, H.; FRITZSCHE, H. (1994): Geologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen. Karte ohne quartäre Bildungen. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Bereich Boden und Geologie.
- HOTH, K.; EILERS, H.; FRITZSCHE, H. (1995): Geologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen. Karte ohne känozoische Sedimente. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Bereich Boden und Geologie.
- HOTH, KLAUS (2009): Die Steinkohlenlagerstätte Zwickau. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie (Bergbau in Sachsen Bergbaumonographie, 15).
- KLEY, J.; VOIGT, THOMAS (2008): Late Cretaceous intraplate thrusting in central Europe: Effect of Africa-Iberia-Europe convergence, not Alpine collision. In: Geology 36 (11), S. 839–842.
- KORGES, M.; WEIS, P.; LÜDERS, V.; LAURENT, O. (2019): Sequential evolution of Sn-Zn-In mineralization at the skarn-hosted Hämmerlein deposit, Erzgebirge, Germany, from fluid inclusions in ore and gangue minerals. In: Mineral Deposita, S. 1–16.
- KREISSL, S.; GERDES, A.; WALTER, B. F.; NEUMANN, U.; WENZEL, T.; MARKL, G. (2018): Reconstruction of a >200 Ma multi-stage “five element” Bi-Co-Ni-Fe-As-S system in the Penninic Alps, Switzerland. In: Ore Geol. Rev. (95), S. 746–788.
- KRENTZ, O.; GÖRZ, I. (2020): Aktive Tektonik in Sachsen. Dokumentation von Störungen. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden.
- KRONER, U.; HAHN, T.; ROMER, ROLF L.; LINNEMANN, ULF (2007): The Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian zone—Heterogenous overprint of Cadomian/Paleozoic Peri-Gondwana crust. In: The Evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian Active Margin to Alleghenian-Variscan Collision: Geological Society of America.
- KUSCHKA, EWALD (2002): Zur Tektonik, Verbreitung und Minerogenie sächsischer hydrothermaler Mineralgänge. Freiberg: Sächs. Landesamt für Umwelt und Geologie. Online verfügbar unter [http://slubdd.de/katalog?TN\\_libero\\_mab23553874](http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab23553874).
- LANGE, G.; FREYHOFF, G. (1991): Geologie und Bergbau in der Uranlagerstaette Ronneburg/Thüringen. In: Erzmetall 44 (5).
- LANGE, G.; MOTZ, H.; REICHARDT, C.; SCHMIDT, H. (1999): Stratigrafie und Tektonik des gefalteten Paläozoikums nördlich und nordöstlich von Ronneburg. In: Beitr. Geol. Thüringen (6), S. 119–157.
- LAVILLE, EDGARD; PIQUE, ALAIN; AMRHAR, MOSTAFA; CHARROUD, MOHAMMED (2004): A re-statement of the Mesozoic Atlasic Rifting (Morocco). In: Journal of African Earth Sci-ences 38 (2), S. 145–153. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2003.12.003. 130

- LEFEBVRE, MARIE G.; ROMER, ROLF L.; GLODNY, JOHANNES; KRONER, UWE; ROSCHER, MARCO (2019):  
The Hämmerlein skarn-hosted polymetallic deposit and the Eibenstock granite associated greisen, western Erzgebirge, Germany: two phases of mineralization—two Sn sources. In: *Miner Deposita* 54 (2), S. 193–216. DOI: 10.1007/s00126-018-0830-4.
- LINNEMANN, ULF UND ROMER, ROLF (2010): *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia: From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen*, Stuttgart: Schweitzerbart, 485 p.
- LIPP, U.; SCHRÖDER, B. (1990): *Der Uranerzbergbau der SDAG Wismut im Raum Schneeberg-Aue-Schlema und seine Mineralien. Zur Geologie und Mineralogie der Lagerstätte Schlema-Alberoda.* (2/90).
- LÜSCHEN, EWALD; GÖRNE, SASCHA; HARTMANN, HARTWIG VON; THOMAS, RÜDIGER; SCHULZ, RÜDIGER (2015):  
3D seismic survey for geothermal exploration in crystalline rocks in Saxony, Germany. In: *Geophysical Prospecting* 63 (4), S. 975–989. DOI: 10.1111/1365-2478.12249.
- MALLET, J. L. (1992): Discrete smooth interpolation in geometric modelling. *Computer Aided Design*.
- MALLET, J. L. (2002): *Geomodeling*. Oxford University Press. 131 S.
- MALLET, J. L.; JACQUEMIN, P.; CHEIMANOFF, N. (1989): GOCAD project: Geometric modeling of complex geological surfaces. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1989*, S. 126–128. DOI: 10.1190/1.1889515.
- MALLET, J.L. (2008): *Numerical Earth Models.* - EAGE Publications-bv, 147 S.
- MALLET, J.L. (1992): Discrete smooth interpolation in geometric modelling. - *Computer Aided Design*, 24,4, S. 178-191
- MALYSEV, V. I. ET AL. (1974): Lokalisierungsbedingungen der Uranvererzung im Ronneburger Erzfeld. *Geologisches Archiv, Wismut GmbH, G-1800. Bericht (unveröffentlicht, russisch) der SDAG Wismut, Forschungsinstitut Nummer 2 der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.*
- MATUŠIN, L. V. (1975): *Geologischer Bau und Gesetzmäßigkeiten der Uranerzverteilung in der Südflanke der Lagerstätte Schlema-Alberoda.* - SDAG Wismut. BB Aue; WISMUT GmbH, *Geolog. Archiv.*
- MATUŠIN, L. V.; SOKOLOVA, N. T.; LIPP, U.; HASCHKE, H. (1981): *Präzisierung der Gesetzmäßigkeiten der Lokalisation der Uranvererzung in den Hauptgängen auf den tiefen Sohlen der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda.* BB Aue; WISMUT GmbH, *Geolog. Archiv.*
- MCCUAIG, T. C.; BERESFORD, S.; HRONSKY, J. (2010): Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. In: *Ore Geology Reviews* 3 (38), S. 128–138.
- NEPOČATYŤ, V. P.; MATUŠIN, L. V.; VLASOV, B. P.; BOJKOV, A. V.; NIKONOV, B. S.; LINKERT, K.-H.; HASCHKE, H. (1990): *Abschlußbericht zur Lagerstätte Niederschlema-Alberoda mit Einschätzung der Restvorräte.* SDAG Wismut, BB Aue; WISMUT GmbH, *Geolog. Archiv, Inv.-Nr. D-264.*
- ONDRUS, P.; VESELOVSKY, F.; GABASOVA, A.; HLOUSEK, J.; SREIN, V. (2003): *Geology and hydrothermal vein system of the Jachymov (Joachimsthal) ore district.* In: *Jour. Geosci.* 48 (3-4), S. 3–18. Online verfügbar unter <http://www.jgeosci.org/index.php?pg=detail&ID=JCGS.946>.
- PARADIGM (2011): *SKUA: Structure and Stratigraphy.*
- PAUL, MICHAEL (1997): *Geologie, Bergbau und Sanierung des Ostthüringer Uranerzbergbaureviers.* Wismut GmbH.
- PETSCHAT, ULRICH (1967): *Strukturelle Untersuchung des NordwestTeils der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda auf den tieferen Sohlen des Grubenfeldes.* Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg.
- REINHARDT, NILS; GERDES, AXEL; BERANOAGUIRRE, ARATZ; FRENZEL, MAX; MEINERT, LAWRENCE D.; GUTZMER, JENS; BURISCH, MATHIAS (2022): Timing of magmatic-hydrothermal activity in the Variscan Orogenic Belt: LA-ICP-MS U–Pb geochronology of skarn-related garnet from the Schwarzenberg District, Erzgebirge. In: *Miner Deposita* 57 (6), S. 1071–1087. DOI: 10.1007/s00126-021-01084-x.
- RESPAUT, J. P.; CATHELINÉAU, M.; LANCELOT, J. R. (1991): Multistage evolution of the Pierres-Plantées uranium ore deposit (Margeride, France): Evidence from mineralogy and U-Pb systematics. In: *Eur. J. Mineral.* (5), S. 85–103.
- ROMER, R. L.; SCHNEIDER, J. C.; LINNEMANN, U. (2010): *Post-Variscan deformation and hydrothermal mineralization in Saxo-Thuringia and beyond: a geochronological review.* In: U. Linnemann und R. L. Romer (Hg.): *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia. From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen.* Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, S. 347–362.

- ROMER, ROLF L.; CUNEY, MICHEL (2018): Phanerozoic uranium mineralization in Variscan Europe – More than 400 Ma of tectonic, supergene, and climate-controlled uranium redistribution. In: *Ore Geology Reviews* 102, S. 474–504. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.09.013.
- ROSCHER, O. (1962): Die streichenden Störungen in der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda und ihre Bedeutung für die Uranvererzung im Hinblick auf die Perspektive nach der Teufe. SDAG Wismut, Objekt 9; WISMUT GmbH, Geolog. Archiv, Inv.-Nr. 564.
- RÖTZLER, K.; PLESSEN, B. (2010): The Erzgebirge: a pile of ultrahigh- to low-pressure nappes of Early Pleozoic rocks and their cadomian basement. In: U. Linnemann und R. L. Romer (Hg.): *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia. From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- RUSSE, B. (1995): Probleme der Überschiebungstektonik im Ronneburger Erzfeld. In: *Z. geol. Wiss.* 23, S. 769–776.
- SCHETTINO, A.; TURCO, E. (2011): Tectonic history of the western Tethys since the Late Triassic. In: *GSA Bulletin* (123), S. 89–105.
- SCHNEIDER, J. W.; ROMER, R. L. (2010): The Late Variscan Molasses (Late Carboniferous to Late Permian) of the Saxo-Thuringian Zone. In: U. Linnemann und R. L. Romer (Hg.): *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia. From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, S. 323–346.
- SCHREITER, L.; HLOUSEK, J.; HELLWIG, O.; BUSKE, S. (2015): Characterization of seismic reflections from faults in a crystalline environment, Schneeberg, Germany. In: *Geophysical Prospecting* 63 (4), S. 1015–1032.
- SCHRÖDER, A.; HEUSE, T.; HUCKRIEDE, H.; KATZSCHMANN, L. (2002): *Geologische Übersichtskarte von Thüringen. GÜK200TH*. Jena: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG).
- SCHUPPAN, W.; HILLER, A. (2012): *Die Komplexlagerstätten Tellerhäuser und Hämmerlein. Bergbau in Sachsen. Unter Mitarbeit von I. Krejny. Freiberg (Sa.) (Bergbaumonographie, 17)*.
- SCHUPPAN, WERNER; BRÜDER, W.; LANGE, G. (1994): On uranium mineralization in the vein deposits of the Western Erzgebirge, Germany. In: *Mineral deposits of the Erzgebirge/Krusne Hory*.
- SDAG WISMUT (1978): *Betriebliche Unterlagen*. Wismut GmbH, Geologisches Archiv, R-25001-R25061. Geologische Grundrisse und Schnitte der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda im Maßstab 1:5000.
- SEBASTIAN, ULRICH (2013): *Die Geologie des Erzgebirges*. Springer Berlin Heidelberg.
- SEIFERT, T.; REINISCH, A.; LINKERT, K.-H.; MEYER, H.; LEHMANN, F. (1996): *Geologische und lagerstättenwirtschaftliche Ausgangsdaten zur Einschätzung gesundheitlicher Belastung von Bergleuten im Uran-Bergbauder DDR für den Zeitraum 1946 bis 1965. Abschlussbericht, TU Bergakademie Freiberg*.
- SEIFERT, THOMAS (2008): *Metallogeny and petrogenesis of lamprophyres in the mid-European Variscides. Post-collisional magmatism and its relationship to late-Variscan ore forming processes in the Erzgebirge (Bohemian Massif)*. Millpress/IOS Press; Distributor in the USA and Canada IOS Press.
- SENNHOLZ, M. (1999): *Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 (GÜK200) - CC 5534 Zwickau*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR.
- SMEKALOV, I. P.; VAVILOV, N. G.; KUDLAEV, A. P.; RODYGIN, A. I.; BRICKO, A. P.; CYBULSKAA, M. S. ET AL. (1960): *Geologischer Bericht zur Vorratsberechnung in der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda (zum Stand vom 01.01.1960)*. SDAG Wismut, Obj. 9; WISMUT.
- SOKOLOWSKI, A. K. (1977): *Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik: SDAG Wismut ZGB Perspektivabteilung*.
- SONNABEND, LUTZ (2019): *Neotektonik und Seismizität der Leipzig-Regensburg-Zone in Westsachsen und Nordwestböhmen. Zwischenbericht*. Universität Leipzig.
- Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN): *Digitales Geländemodell (DGM) - Freistaat Sachsen*.
- STAUDE, SEBASTIAN; BONNS, PAUL D.; MARKL, GREGOR (2009): Hydrothermal vein formation by extension-driven dewatering of the middle crust: An example from SW Germany. In: *Earth and Planetary Science Letters* 286 (3-4), S. 387–395. DOI: 10.1016/j.epsl.2009.07.012.

- STEINBORN, H. (2008): 3D-Modellierungen der strukturellen Entwicklung der Vorerzgebirgssenke im Raum der Altbergbaugebiete Zwickau und Lugau/Oelsnitz. Dissertation. TU Bergakademie Freiberg, Freiberg (Sa.).
- ŠTEMPROK, M.; SEIFERT, T.; HOLUB, F. V.; CHLUPÁČOVÁ, M.; DOLEJŠ, D.; NOVÁK, J. K. ET AL. (2012): Petrology and geochemistry of Variscan dykes from the Jáchymov (Joachimsthal) ore district, Czech Republic. In: Jour. Geosci., S. 65–104. DOI: 10.3190/jgeosci.020.
- STEPHAN, T.; HALLAS, P.; KRONER, U. (2015): 3D modelling of the Variscan Granites in the Erzgebirge-Vogtland-Fichtelgebirge-area. Hg. v. CETEG. TU Bergakademie Freiberg. Kadaň, CZ.
- STEPHAN, TOBIAS; HALLAS, PETER; KRONER, UWE; BUSKE, STEFAN (2018): Crustal-scale 3D modelling of the Allochthonous Domain of the Erzgebirge- Vogtland-Fichtelgebirge area, Saxo-Thuringian Zone. Conference Paper.
- Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation: Digitale Gelände- und Oberflächenmodelle, Airborne Laserscanning (DGM, DOM, LAZ-Format). Thüringen.
- WALLNER, O.; HILLER, A.; FRENZEL, M.; ARNDT, A.; FROMMHOLD, R. (2009): Detaillierte geowissenschaftliche Datenaufbereitung im Vorzugsgebiet Aue-Schwarzenberg im Rahmen des Tiefengeothermieprojektes Sachsen. Wismut GmbH. Chemnitz.
- WALTER, B. F.; BURISCH, M.; MARKL, G. (2016): Long-term chemical evolution and modification of continental basement brines-a field study from the Schwarzwald, SW Germany. In: Geofluids (16), S. 604–623. 135
- WELITSCHKIN, W. I.; JURTAIKIN, J. S. (1975): Geologische Karte der Lagerstätte Pöhla-Globenstein: SDAG Wismut.
- WERNER, O.; LIPPOLDT, H.-J. (2000): White mica Ar/Ar ages of Erzgebirge metamorphic rocks simulating the chronological results by a model of Variscan crustal imbrication. In: Geological Society London Memoirs (179), S. 323–336.
- WLASSOW, B.; MATTHES, R.; TOKAREW, J.; SCHUBERT, E. (1975): Lagerstätte Tellerhäuser - Geologische Grundrisse: SDAG Wismut.
- WOZNIAK, S. (1969): Stratigraphie und Tektonik der Lößnitz-Zwönitzer Mulde. Unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.

# Anhang

## Elektronischer Anhang

- EA1: GIS Projekt
- EA2: 3D-Modell
- EA3: Seismisches Experiment Langenweißbach

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft  
und Geologie (LfULG)000  
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:**

Franz Müller; Dr. Uwe Kroner, Dr. Felix Hlousek,  
Prof. Dr. Stefan Buske, Franz Vogel  
Technische Universität Bergakademie Freiberg  
Bernhard-v.-Cotta-Straße 2, 09599 Freiberg

**Redaktion:**

Dr. Sebastian Weber  
LfULG, Abteilung Geologie  
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg  
Telefon: + 49 3731 294-1223  
E-Mail: Sebastian.Weber@smul.sachsen.de

**Fotos:**

LfULG, Technische Universität Bergakademie Freiberg

**Redaktionsschluss:**

02.04.2024

**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](http://www.lfulg.sachsen.de)