

# **Abschlußbericht**

**zum Projekt**

**„Bruchtektonik in der vogtländisch-erzgebirgischen Antiklinalzone -  
ARTUS 2“**

## Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	3
<b>1. Plausibilitätsprüfung von Störungen in geologischen Kartenwerk</b> .....	4
<b>2. Lage-genaue und zeitlich differenzierte Darstellung der relevanten tektonischen Störungen im Projektgebiet</b> .....	5
<b>3. Beschreibung und Charakterisierung der Störungen</b> .....	7
<b>2.1. Digitalisierung des Störungsinventars</b> .....	9
<b>2.2. Datierung tektonischer Störungen</b> .....	12
Relative Alter von Störungen .....	12
Direkte Datierung von Störungen .....	12
Indirekte Datierung von Bewegungen tektonischer Blöcke .....	13
<b>3. Gebiete mit detailliertem tektonischen Kenntnisstand</b> .....	16
<b>4. Literatur</b> .....	20
<b>5. Anlage 1</b> .....	22

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiel für die verzögerte Datennachführung zwischen GK50 (digital) (orange) und der Neukartierung der GK25 Schneeberg.

Abb. 2: Regionalgeologische Gliederung des Erzgebirges, zusammengefasst nach Franke (2018)

Abb. 3: Die Detailkarte (etwa 1:25.000) zeigt eine Auswahl der bedeutendsten Störungen aus dem Lagerstättenrevier Pöhla-Tellerhäuser. Rechts unten der Eruptiv-Komplex von Oberwiesenthal. Die hohe Zahl von bekannten Störungen ist nur in dem guten Aufschlussgrad des Gebiets begründet. Vor allem die känozoischen Störungen – parallel zum Erzgebirgsabbruch – stehen exemplarisch für Aufschluss-arme Gebiete.

Abb. 4: Kompilierte Karte indirekter Störungshinweise nach Gasaustritten (Weinlich, 2008), seismischer Aktivität (Heinicke et al., 2009), Low-Temperature-Geochronologie (Wolff et al., 2015a und b).

Abb. 5: Relative Altersfolge der mit Vererzungen besetzten Störungen im Revier der Grube Reiche Zeche (Freiberg). Schwarz – W-fallende Abschiebungen, grün – E-W streichende konjugierte Schrägabschiebungen, rot – NNE-streichende sinistrale Seitenverschiebungen, blau – WNW-streichende dextrale Blattverschiebungen.

Abb. 6: Raumlage und Kinematik der Störungen und deren relative Altersfolge aus dem Gebiet Aue. Die orange gefärbten Flächen (1) stellen die jüngsten, oberflächennahen dextrale Kataklyse-Zonen dar. Etwas älter sind NNW-streichende sinistrale Blattverschiebungen (lila - 2). Rot dargestellt wurden konjugierte NE- und SW-gerichtete Abschiebungen vom Typ „Roter Kamm“. NE-streichende Blattverschiebungen mit hydrothermalen Mineralisation (grün – 4) sind die ältesten beobachteten Störungen.

Abb. 7: Vergleich der Raumlage und Kinematik von Störungen und deren relative Altersfolge aus dem Gebiet Wiesenbad. Die rheologisch verschiedene Gesteinsserien durchschlagenden Störungen zeigen nur die jüngsten als gemeinsame Deformationsereignisse.

## Einleitung

Das Erzgebirge ist auf Grund des teilweise jahrhunderte-alten Bergbaus eine der geologisch best-erkundeten Regionen von Europa. Die Suche nach neuen Rohstoffen (WISTAMERZ 2019), neue Anforderungen an die Abschätzung moderner Energie-Ressourcen und die Lagerungsmöglichkeit von radioaktiven Restprodukten macht die Bestandsaufnahme tektonischer Strukturen sowohl nach Gesichtspunkten plattentektonischer Prozesse in Kollisionsorogenen als auch von post-orogenen Bruchsystemen im Intra-Platten-Regime notwendig und wünschenswert. Im vorliegenden Projekt sollen

- die in geowissenschaftlichen Karten dargestellten Bruchstörungen durch Quellenstudium auf Plausibilität untersucht werden,
- die plausibel erscheinenden Störungen Lage-genau und zeitlich differenziert erfasst und in einem GIS dargestellt werden;
- die dargestellten Störungen charakterisiert werden hinsichtlich Kinetik, Versatz, Dimension und Besonderheiten;
- basierend auf den detaillierten Kenntnissen aus den Bergbaurevieren der vergangenen Jahrzehnte tektonische Verhältnisse detailliert dargestellt und hinsichtlich ihrer relativ-zeitlichen Abfolge beschrieben werden. Zur Bestimmung der relativ-zeitlichen Abfolge können auch Dokumentationen temporärer aktueller Aufschlüsse herangezogen werden.

In Zusammenhang mit dem Vorläuferprojekt soll eine bruchtektonische Modellvorstellung für das Gebiet Sachsens erstellt werden.

# 1. Plausibilitätsprüfung von Störungen in geologischen Kartenwerk

Grundlage der Darstellung von Bruchstörungen sind die geologischen Kartenwerke verschiedener Maßstäbe:

- die geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 (GK25) können nur eingeschränkt verwendet werden, da die häufig historischen Karten wenig tektonische Elemente enthalten;
- die geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 der Wismut (GK25W) enthalten eine Vielzahl bruchtektonischer Elemente, die zum Teil auch durch Bergbau verifiziert sind;
- die tektonische Karte des Erzgebirgsbeckens im Maßstab 1:50.000 (TK50, Steinborn 2008) enthält die wichtigsten, durch den Steinkohlebergbau und die entsprechende Erkundung verifizierten Bruchstörungen mit Angaben zur Kinematik und relativen Altern;
- die geologische Karte des Erzgebirges (GK100, Hoth et al., 1995) für die Darstellung vor allem syn-orogener Deckengrenzen und regionaler, grenzüberschreitender Bruchstrukturen;
- die Karte der Bruchstrukturen des Südtails der DDR im Maßstab 1:100.000 (Bankwitz & Bankwitz, 1980);
- Übersichtskarten der Bergbau-Monographien im Verlag des LfULG
- die Karte der Bruchstrukturen und assoziierten Mineralisationen (Kuschka 1994) sowie die in der Arbeit dargestellten Detailkarten konnten vor allem zur Darstellung der für den Bergbau relevanten Störungen genutzt werden.

Die Plausibilitätsprüfung von Bruchstörungen erfolgte durch die Verifizierung der verschiedenen Quellen. Treten Störungen in mehrfachen Quellen in derselben tektonischen Position auf, gelten sie als plausibel. Schwierigkeiten können bei Angaben zur Kinematik der Störungen auftreten, hier fehlt weitestgehend eine moderne Bearbeitung. Eine andere Unstimmigkeit kann in der Benennung der Störung auftreten. Hier wurden, wenn nicht historisch bereits gesichert, im Wesentlichen die Namen aus der GK25W, der Arbeit Kuschka (1994) sowie dem Geo-Archiv (Geo-Ost) verwendet. Nur bei lokalen Störungen wurden neue Namen vergeben.

Die als plausibel betrachteten Störungen wurden tabellarisch erfasst und sind mit fortlaufender Nummer alphabetisch in Anlage 1 und 2 dargestellt.

## 2. Lage-genaue und zeitlich differenzierte Darstellung der relevanten tektonischen Störungen im Projektgebiet

Die (tektonische) Übersichtskarte liegt im Maßstabsbereich von 1:50 000 bis 1:100 000. Geologische Grundlage ist die vereinfachte geologische Karte 1:50 000. (Zitat aus Vertrag).

Diese geologische Grundlage (GK50 Sachsen (digital) - im Weiteren als Grundkarte bezeichnet) sollte vor allem aus Gründen der Lage-Genauigkeit von geologischen Einheiten und Strukturen benutzt werden. Abweichungen der Lage von Störungen und geologischen Grenzen treten lokal im Bereich von Neukartierungen (z.B. im Bereich der Schneeberg, siehe Abb. 1) auf. Hier sollte die Grundkarte fortlaufend an den Erkenntnisfortschritt angepasst werden. In Gebieten, in denen Neukartierungen vorliegen, wurden die Darstellungen der geologischen Messtischblätter (GK25, UTM33N) genutzt. Länger (regional und transregional) aushaltende Störungen und Störungszonen sind scheinbar aus der GK400 digitalisiert worden und weisen entsprechende Lage-Ungenauigkeiten im Vergleich zu höher auflösenden Kartenwerken auf. Die Grundkarte wird deshalb in den entsprechenden Gebieten als informelle Datengrundlage genommen.

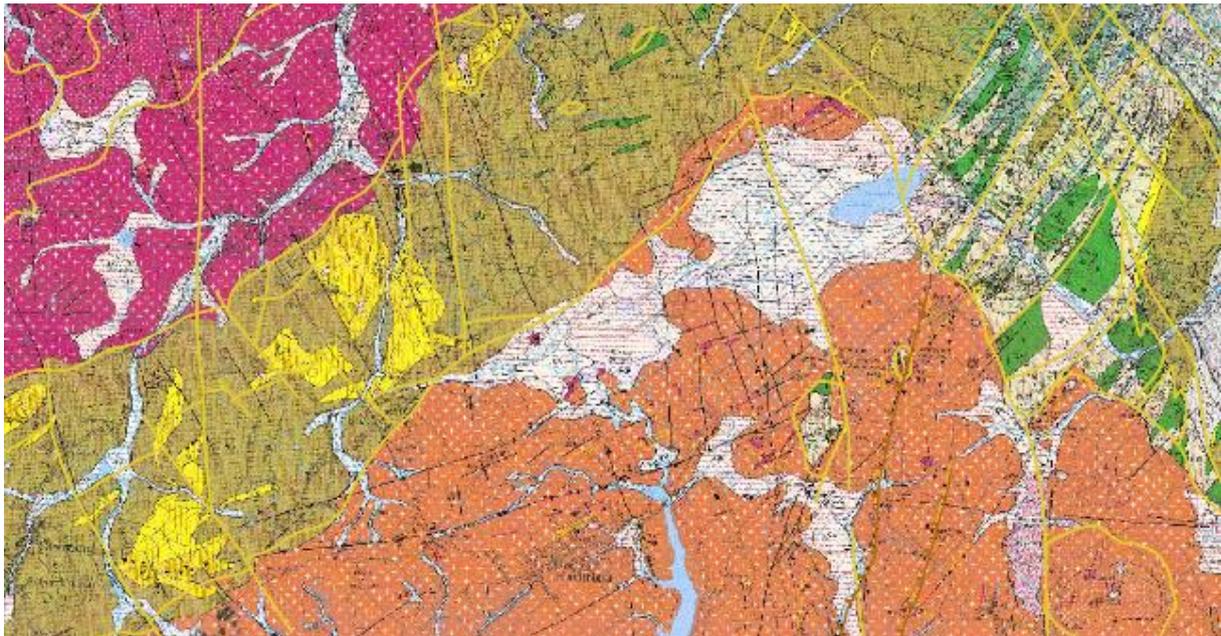


Abb. 1: Beispiel für die verzögerte Datennachführung zwischen GK50 (digital) (orange) und der Neukartierung der GK25 Schneeberg.

Für die Lokalisierung und Evaluierung regionaler Bruchstörungen im Projektgebiet wurde deshalb hauptsächlich auf folgende Kartenwerke zurückgegriffen:

- GK100 Erzgebirge (Hoth et al., 1995)
- GK100 Bruchtektonik (Bankwitz & Bankwitz, 1980)

Die GK100-Karten fassen die Ende der 70iger Jahre bekannten Bruchstrukturen zusammen, scheinen wenig spekulativ und reichen in weiten Teilen grenzübergreifend bis an den Egergraben heran. Darüber hinaus werden die Karten größeren Maßstabes verwendet, die schon im Vorläufermodell erfasst und georeferenziert wurden.

Lokal können auch bei den neu-kartierten Blättern erhebliche „Blattrand-Verwerfungen“ festgestellt werden, wie im Fall der Herold-Formation auf den Blättern 5442 (Aue), 5542 (Johanngeorgenstadt) und 5543 (Oberwiesenthal). Der Ausstrich der Deckengrenze „Westergebirgsüberschiebung“ wurde lokal korrigiert bzw. angepasst.

### 3. Beschreibung und Charakterisierung der Störungen

Der metamorphe Komplex des Erzgebirges und sein schwachmetamorpher Rahmen werden nach traditionellen Auffassungen in einen „Ostergbergischen Antiklinalbereich“, einen „Mittlerzgebirgischen Antiklinalbereich“ sowie das „Westerzgebirge und Vogtland“ gegliedert. Die Grenzen dieser geologischen Bereiche bilden von NE nach SW die Elbe-Zone, die Flöha-Zone, die Westergbergische Querzone mit den Graniten des Kirchberg-Eibenstock-Nejdek-Massives (siehe Abb. 2). Im Norden soll das Zentralsächsische Lineament die Grenze bilden. Die südliche Grenze des rezent aufgeschlossenen Erzgebirges ist sowohl geologisch als auch morphologisch eindeutig in der nördlichen Grabenschulter des Egergrabens ausgebildet.

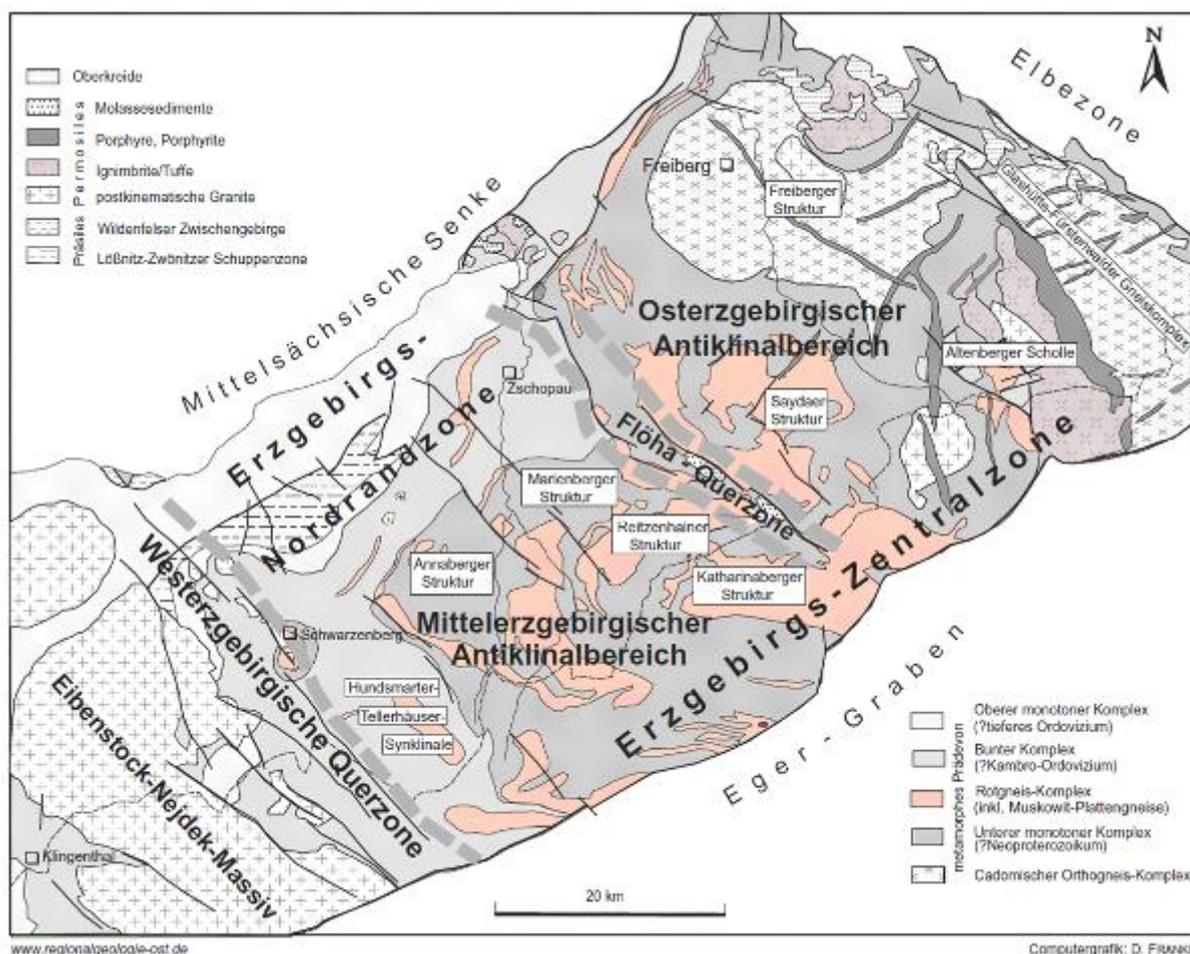


Abb. 2: Regionalgeologische Gliederung des Erzgebirges, zusammengefasst nach Franke (2018)

Die in der Abb. 2 angegebenen Grenzzonen sind bisher nur unklar definiert. Die Geologie von Sachsen (Pälchen & Walter, 2011) enthält wenig Anhaltspunkte für eine tektonische Definition der o.g. Grenzen. Als „Elbezone“ wird nach Franke (2018) eine geologische Einheit definiert, die die Grenze zwischen dem Lausitzer Block und dem Erz- und Granulitgebirge markiert. Die von Franke genannten Störungen sind zu unterschiedlichen Zeiten aktiv. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass als Grenze zwischen geologischen Einheiten die Störungen betrachtet werden, die während der Entstehung der jüngsten beeinflussten

geologischen Einheit aktiv waren. Als abgrenzende Störung zwischen dem varistischen Erzgebirge und dem cadomisch geprägten Lausitzer Block kann deshalb nur die Westlausitzer Störungszone in Betracht kommen.

Wesentlich spärlicher sind die Informationen zur südwestlichen Grenze des Osterzgebirges, der „Flöha-Zone“. Hier werden vermutete varistische Elemente mit spätpaläozoischen Extensionsbrüchen und sogenannten Tiefenbrüche kombiniert. Für dieses Element bestehen hinsichtlich einer tektonischen Definition sehr große Datenlücken.

Die „Westerzgebirgische Querzone“ wird von Franke (2018) mit dem Vorkommen von kleineren Granit-Körpern und der als Tiefenbruch charakterisierten Struktur der Gera-Jachimov-Zone definiert. Auf die „Gera-Jachimov-Zone“ bezieht sich eine Vielzahl von Publikationen, ohne eine Quelle für die einführende Beschreibung zu nennen. Eine erste umfassendere Interpretation gibt Bankwitz et al. (1993). Inzwischen gilt diese Zone als „common knowledge“, man kann sehr unbestimmt eine Vielzahl von Phänomenen (saline Wässer bis Lagerstätten und Magmatismus) als scheinbare Besonderheiten dieser Zone zuschreiben. Auch hier steht eine tektonische Definition noch aus. Gleiches gilt für das „Zentralsächsische Lineament“.

Es wurden vier zeitliche Sequenzen für Störungen digital erfasst. Die erste Gruppe umfasst varistische Störungen, d.h. Störungen, die bis etwa 325 Ma aktiv waren. Dazu gehören sowohl die duktilen und semiduktilen Überschiebungen der tektono-metamorphen Decken im Erzgebirge als auch spröde Störungen wie Extensionsflächen im Faltenbau oder spröde Abschiebungen in den syn- bis post-orogenen Calderen. In der zweiten Gruppe wurden Störungen erfasst, die vom späten Paläozoikum (Oberkarbon-Perm) bis in das mittlere Mesozoikum (Jura) aktiv waren. Die dritte Gruppe umfasst kretazische Störungen, wobei hier auf Grund der veränderten regionalen Stressbedingungen sowohl Aufschiebungen als auch Abschiebungen auftreten.

Die jüngste Gruppe umfasst känozoische Störungen. Die Einstufung der Störungen in diese zeitliche Gruppe erscheint als wesentlich gesicherter, da hier häufig tertiäre Sedimente versetzt werden.

Zusätzlich wurde eine Auswahl von geomorphologisch begründeten Elementen in die Karte aufgenommen (Dominguez-Gonzalez et al., 2019). Diese Elemente sind nicht tabellarisch erfasst.

## 2.1. Digitalisierung des Störungsinventars

Basierend auf den o.g. regionalen Kartenwerken wurden die Bruchstörungen digitalisiert und dabei möglichst viele Informationen erfasst. Gleichzeitig musste abgeschätzt werden, inwieweit die dargestellten Bruchstrukturen real, d.h. durch Kartierungsarbeiten und / oder Bergbau nachgewiesen sind, oder Modellvorstellungen nach geophysikalischen Methoden oder Erkundungsmodellen für die Lagerstättensuche entspringen. Bei bergmännischem Reißwerk mussten Störungsflächen auf die Tagesoberfläche projiziert werden, um so eine einheitliche Darstellung zu gewährleisten.

Bei der Bewertung der Störungen im westlichen Erzgebirge wird das Modell der Finne-Störung mit einer mehrphasigen Entwicklung und verschiedenen Kompressions- und Extensionsphasen zu Grunde gelegt (Malz & Kley, 2012). Diese Interpretation wurde mit der Dokumentation von Aufschlüssen und den Paragenesen aufsitzender Mineralisationen kombiniert. In diesem Rahmen wurden die einzelnen Störungen evaluiert und in einem tektonischen Modell, verbunden mit einer wahrscheinlichen Entstehungszeit, als zeitliche Sequenz dargestellt.

Die Datendichte ist im Westerzgebirge am höchsten. Hier liegen Kartierungen der SDAG Wismut, zahlreiche Berichte aus Bergbaurevieren als auch Revisionskartierungen der GK25 Messtischblätter vor. Im Gebiet Aue-Schneeberg-Schlema wurden die aus dem Bergbau bekannten und sehr gut belegten Störungen erfasst. Das tektonische Inventar ist bis zu einer Tiefe von 2 km in einem 3D-Modell erfasst (Berger et al., 2011). Eine finale Zuordnung der Störungen im tektonischen Modell steht zum Teil noch aus, da 3D-seismische Untersuchungen verschiedene Modellansätze zulassen. Ausgehend von dem Gebiet Aue-Schneeberg-Schlema wurden Störungen in der nordwestlichen Fortsetzung bis in das Erzgebirgsbecken und in südöstlichen Fortsetzung bis an den NW-Rand des Egergrabens erfasst.

Die Störungen werden entsprechend der Vorgabe des LV beschrieben und in einem GIS Projekt erfasst:

Ident-Nr.	<i>Verschlüsselung siehe Anlage 2</i>
Name der Störung	
Kurzbezeichnung	
Länge	<i>Kategorien <b>Transregional</b>, <b>Regional</b>, <b>Lokal</b></i>
Tekton. Einheit	
Typ	<i>Blattverschiebung, Abschiebung, Aufschiebung, unbestimmt</i>
Alter	
Tekton. Charakter	<i>Kinematik der Störung</i>
Nachweis	<i>Quelle der Information</i>
Länge	<i>Länge der Störung im GIS-Projekt</i>
Streichen	
Fallwinkel / -richtung	
Versatz	<i>Versatzbetrag an der Störung</i>
Versetzte Gesteine	
Bemerkungen	

Im Vergleich zum Vorläuferprojekt wurde die Datentabelle erweitert. Die geographische Lage der regionalen (R) bzw. lokalen (L) Störungen wird dem Kartenwerk mit der höchsten Auflösung angepasst. Hier können sich auch Korrekturen zu der im Vorläuferprojekt dargestellten regionalen Position ergeben. Die Ident-Nummern werden für die neu erfassten Störungen in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber vergeben.

Die digitalisierten Störungen wurden in drei Informationsgruppen beschrieben und dargestellt. Im GIS-Projekt (auf beiliegendem Datenträger) sind die oben aufgeführten Informationen als Eigenschaften der jeweiligen Störung gespeichert. Die Störungen sind in vier Altersgruppen abgelegt (varistisch, oberpaläozoisch-mittelmesoizoisch „post-Molasse“, kretazisch, känozoisch). Darüber hinaus sind die Störungen in einer Excel-Tabelle erfasst, die als Anlage 2 digital auf beiliegendem Datenträger als Excel-Tabelle und im pdf-Format lesbar ist. In dieser Tabelle sind die Störungen farblich nach dem Alter codiert, alphabetisch geordnet und entsprechend fortlaufend nummeriert. Diese Nummerierung und farbliche Markierung der Störungen findet man auch in der Anlage 1 (am Ende des Textes). Hier sind die Störungen kurz verbal beschrieben.

Alle Störungen wurden in der „Tektonischen Karte des Erzgebirges und Vogtlandes“ lagegenau eingezeichnet. Die Störungen wurden mit Nummern gekennzeichnet, die der Nummerierung in den Anlagen 1 und 2 entspricht. Darüber hinaus sind die Störungen nach Typ und dem vermutlichen Alter gegliedert.

Im Hinblick auf die Neukartierung von Messtischblättern wurden vor allem im Westergebirge die varistischen Deckengrenzen zwischen phyllitischen Einheiten und dem höher metamorphen Basement angepasst. Hier wurden die Deckengrenzen regional im Gegensatz zum Vorläufer-Projekt regional gegliedert.

Die Datendichte der in der Karte dargestellten Störungen hängt stark von bergbaulichen Aktivitäten in einem Gebiet sowie den rheologischen Eigenschaften der regionalen geologischen Einheiten ab. So sind Gneiskuppeln (Metagranitoide) und Granit-Körpern prädestiniert für Bruchstrukturen und damit assoziierten Lagerstätten. Einheiten, die von metapelitischen Gesteinen dominiert werden, zeigen meist keine ausgeprägten Bruchstrukturen. Dieses unterschiedliche Störungsinventar ist beispielhaft in Abb. 7 dargestellt.

Bei einer relativ hohen Datendichte muss bei der Darstellung auf das GIS-Projekt und die Bildschirm-Betrachtung verwiesen werden. So wurden beispielsweise im Lagerstättenrevier Tellerhäuser-Pöhla die Störungen bis zum Maßstab 1:25.000 erfasst. Die daraus (und aus der sehr guten geologischen Dokumentation) resultierende Datendichte ist im Projektmaßstab der Karte schwer darstellbar. In Abb. 3 sind die Details und die Häufigkeit der auftretenden Störungen zu erkennen.

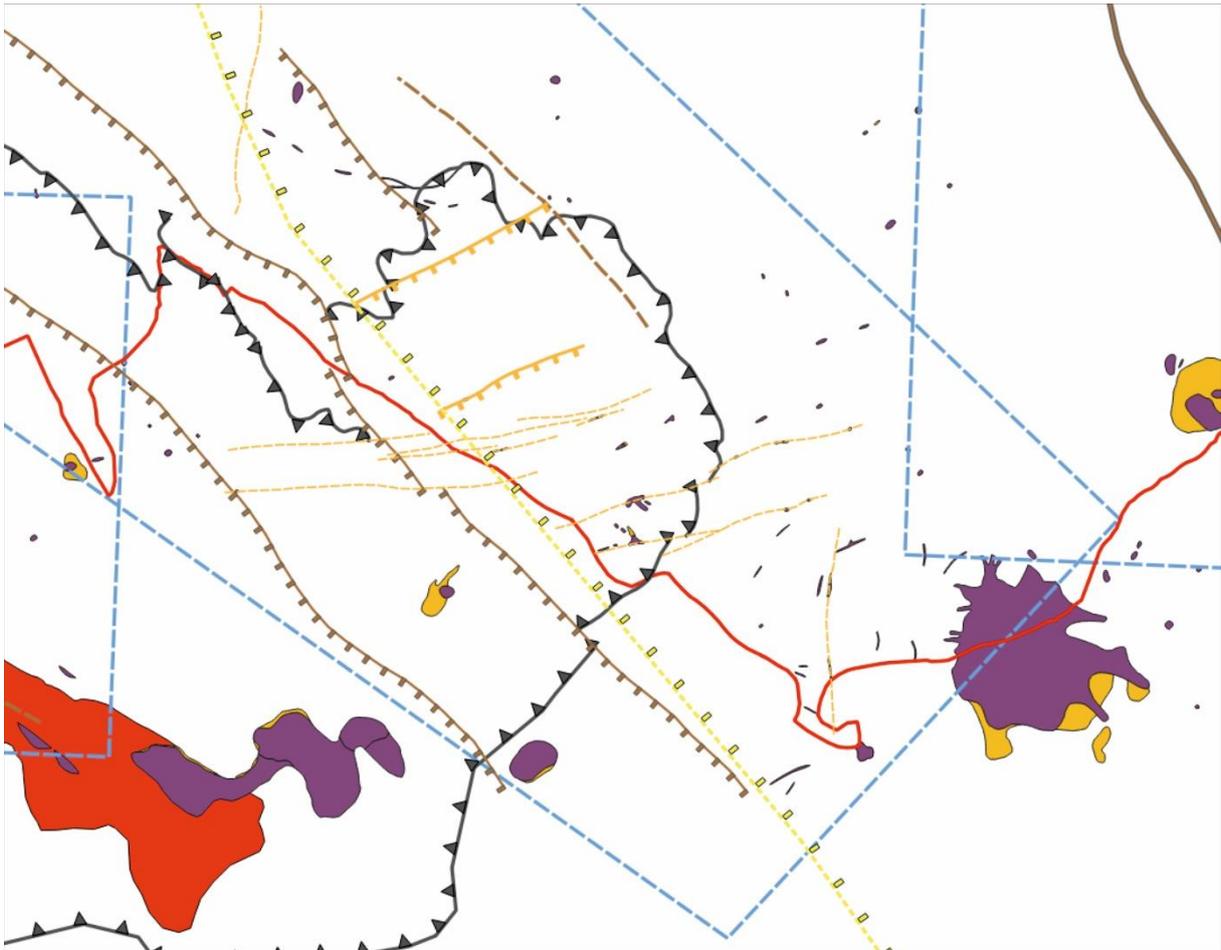


Abb. 3: Die Detailkarte (etwa 1:25.000) zeigt eine Auswahl der bedeutendsten Störungen aus dem Lgerstättenrevier Pöhla-Tellerhäuser. Rechts unten der Eruptiv-Komplex von Oberwiesenthal. Die hohe Zahl von bekannten Störungen ist nur in dem guten Aufschlussgrad des Gebiets begründet. Vor allem die känozoischen Störungen – parallel zum Erzgebirgsabbruch – stehen exemplarisch für Aufschluss-arme Gebiete.

Darüber hinaus sind in der „Tektonischen Karte“ die geomorphologischen begründeten Lineamente abgebildet, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die jüngste (quartäre) Blockgliederung des Erzgebirges markieren.

## 2.2. Datierung tektonischer Störungen

### Relative Alter von Störungen

Die relativ-zeitliche Einordnung von bruchtektonischen Elementen liegen direkte Beobachtungen zum gegenseitigen Versatz zugrunde. Mit wenigen Ausnahmen ist dies nur in bergbaulich aufgeschlossenen Gebieten möglich. Hier kann im Aufschluss das relative Alter von Störungen dokumentiert werden.

Ein zweiter, indirekter Hinweis auf die relative Abfolge von Störungen ist die Bildungstemperatur der Störungsgesteine. Hier kann in grober Näherung zwischen „kalten“, oberflächennahen Kataklastiten und hydrothermal-alterierten Letten unterschieden werden. Die den Störungen aufsitzenden hydrothermalen Mineralisationen zeigen meist unterschiedliche Bildungstemperaturen an. Möglicherweise ist hier auch das Modell des telescoping von Ganglagerstätten erklärbar, d.h. die Bruchstrukturen sind zu unterschiedlichen Zeiten bei unterschiedlichen Temperaturen (Oberflächennähe) mineralisiert worden. Dieses Modell setzt aber Zeiten ausgedehnter Erosion voraus, da man rezent die hochtemperierten Mineralparagenesen auch in Oberflächennähe findet. Anhand von Ar/Ar-Datierungen an Feldspäten wurde modelliert (Sperner in WISTAMERZ 2019), dass die rezente Oberfläche des Erzgebirges im Oberkarbon unter einer 4-7 km mächtigen Bedeckung gelegen haben muss. Diese „Bedeckung“ ist im frühen Mesozoikum und vor allem im Känozoikum stark minimiert worden.

Ein weiteres Problem stellt die postulierte, teilweise mehrfache Reaktivierung von Störungen dar. Störungen können nur reaktiviert werden, wenn das neue Stressfeld in einem geeigneten Winkel zu den prä-existenten Flächen liegt (Byerlee's rule - Sibson, 1985). Es werden also nicht in jedem Fall existierende Störungen reaktiviert. Im Einzelfall sollte die Reaktivierung auch belegbar sein.

### Direkte Datierung von Störungen

Die traditionelle Datierung von Störungen ist der Nachweis von syn-tektonischen Sedimenten, an deren stratigraphischen Alter der Zeitpunkt der tektonischen Aktivität an der Störung bestimmt werden kann. Dazu gibt es im Erzgebirge keine Beobachtungen. Rezente und subrezente Störungen werden bei Vorhandensein von Kohlenstoff-führende Sedimenten oder Pflanzenteilen mit Hilfe der  $^{14}\text{C}$  – Methode datiert. Die Methode eignet sich nur für Sedimente jünger als 50 ka.

Liegen tiefere Erosionsschnitte der Störungsfläche vor, so ist die Datierung durch die Neubildung von Mineralen infolge der bruchhaften Verformung entlang von Störungsflächen möglich. Dazu bieten sich isotope-geochemische Methoden an. Eine Möglichkeit ist Datierung von Störungsletten mit Hilfe der radioaktiven Zerfallsreihe  $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ . Hierbei wird eine Probe des tonigen Belages der Bewegungsfläche möglichst ungestört entnommen und mit der Röntgendiffraktometer auf den Gehalt an Kaolin untersucht. Bei genügend Kaolin-Gehalt wird die Probe in Korngrößen klassifiziert, der Kalium-Gehalt bestimmt und das Argon

durch Aufheizung aus dem Kristallgitter extrahiert. Im Idealfall kann der Zeitpunkt der Entstehung der Störungslette bzw. der Zeitpunkt der jüngsten tektonischen Bewegung bestimmt werden. Ältere Datierungen an Störungsletten des Erzgebirges zeigen Maxima um 170 Ma für fba-Gänge und 250-270 Ma für Letten von kb-Gängen (Archiv des ehemaligen K/Ar-Labors der TUBAF). Weitere Letten-Datierungen wurden über das WISTAMERZ - Projekt realisiert und befinden sich in Auswertung, so

dass für ausgewählte Lagerstätten im West- und Osterzgebirge Hinweise für die Aktivität von Störungen vorliegen werden.

Eine weitere Methode ist die Datierung von Mineralen, die auf geöffneten Räumen einer Störung wachsen. Hier bieten sich mehrere natürliche Zerfallsreihen an. Für höher temperierte Mineralisationen kann die Fraktionierung der Rb/Sr-Isotope in Feldspat, Glimmer und neuerdings auch Sphalerit genutzt werden. Hier liegen die Schließungstemperaturen bei 400 °C, bilden also nur Deformationsprozesse ab, die tiefkrustal entstanden und durch nachfolgende Erosion heute zugänglich sind. Fortschritte in der Datierung von hydrothermalen Paragenesen bieten Methoden, die auf der Fraktionierung des Re/Os-Systems und der Ca-Isotopie bestehen. Diese Methoden sind laborativ relativ aufwendig und werden deshalb nur in begrenztem Rahmen angewandt.

## **Indirekte Datierung von Bewegungen tektonischer Blöcke**

Der geochronologische Nachweis von Bewegungen entlang tektonischer Störungen ist nur für vertikale Bewegungen möglich. Bei vertikaler Heraushebung und Erosion kühlen tektonische Blöcke ab. Diese Abkühlung kann man durch die Quantifizierung von Schäden am Kristallgitter geeigneter Minerale abschätzen.

Es gibt mehrere methodische Ansätze:

- Spaltspurendatierung an Apatit (70-110 °C, Dodson, 1973), Zirkon (180-220 °C, Bernet, 2009) und Titanit (240-280 °C, Dodson, 1973)
- (U-Th)-He Datierung beruhend auf dem Zerfall von U und Th in Apatite zu  $^4\text{He}$  (70-75 °C, Ehlers & Farley, 2003).
- (U-Th-Sm)/He Thermochronologie an Fluorit hat eine Schließungstemperatur zwischen ca. 170° - 60°C (Evans et al., 2005; Pi et al., 2005),
- (U-Th)/He an Apatit und Zirkon
- Datierung von Kristallgitter-Schäden mit Hilfe von OSL- und Elektronenspin-Resonanz- (ESR) Datierung. Die durch ionisierende Strahlung verursachten Gitterschäden können durch Wärme, Sonneneinstrahlung als auch Druck bei Temperaturen unter 100 °C ausheilen. Diese Methoden eignen sich zur Datierung von exogenen Sedimenten und kristallinem Belag auf Störungen (Karbonat, Quarz) im Zeitfenster von wenigen hunderttausend bis ca. 2 Mill. Jahren.

Indirekte Hinweise für Störungen können Gasaustritte sein, die möglicherweise an Störungen als Migrationswege gebunden sind. Die Gasaustritte sind im Erzgebirge relativ selten und nicht systematisch erfasst. Eine Bestandsaufnahme und erste Untersuchung aktueller Gasaustritte im Erzgebirge / Vogtland (siehe Abb. 5) erfolgte durch Weinlich (2008). Die bekannten Stickstoff-Gasaustritte im Erzgebirge konzentrieren sich auf die größeren Ganglagerstätten. Es tut sich die Frage auf, ob es nur in den Lagerstätten Gasaustritte gibt oder ob diese durch mangelnde Aufschlüsse und / oder Dokumentation auf den Störungszonen und in Bohrungen nicht erfasst wurden. Es ergibt sich eine eindeutige Zweiteilung des Arbeitsgebietes. In den kristallinen Einheiten des Erzgebirges mit vermutlich mesozoisch-angelegten Störungen sind ausschließlich Stickstoff-Gaser beschrieben. In den angrenzenden Gebieten des Egergrabens mit nachgewiesener neotektonischer Aktivität treten hauptsächlich Kohlendioxid-führende Gaser auf. Bisher konnte kein klarer Bezug der verschiedenen Gasaustritte zur Bruchtektonik festgestellt werden.

Die neotektonische Aktivität ist vor allem im Vogtland und dem westlichsten Teil des Egergrabens festgestellt worden. Hier treten Schwarmbeben auf, deren Ursache in der Literatur unterschiedlich diskutiert wird (siehe Heinicke et al., 2009 und Zitate darin).

Die tektonischen Strukturen (Plesna-Störung), denen die Schwarmbeben aufsitzen, sind im Egergraben relativ gut lokalisiert, die Fortsetzung nach Norden in das Vogtland ist zum Teil strittig. Hier wurde die Falkensteiner Störung als Störungsgruppe sowohl nach Anzeichen aus der Analyse des DGM2 als auch nach mineralisierten Gängen (Kuschka 1994) gezeichnet.

Die Apatit-Fission-Track (AFT) Daten zeigen ein thermisches Signal (Abkühlung / Hebung) in der Unterkreide, wie es schon Lisker & Ventura (2003) beschrieben haben. Die (U-Th)-He-Alter an Zirkon zeigen den uplift und die Abkühlung in nach-varistischer Zeit für das östliche und mittlere Erzgebirge an. Das westliche Erzgebirge zeigt jüngere Alter an, die möglicherweise auf eine hydrothermale Überprägung zurückzuführen ist. (U-Th)-He-Alter an Apatit zeigen uniform das mittel-kretazische Signal, laufen also parallel zu den AFT. (U-Th)-He-Alter an Flourit zeigt Abkühlungs (und vielleicht Mineralisationsalter) in der mittleren bis oberen Kreide an.

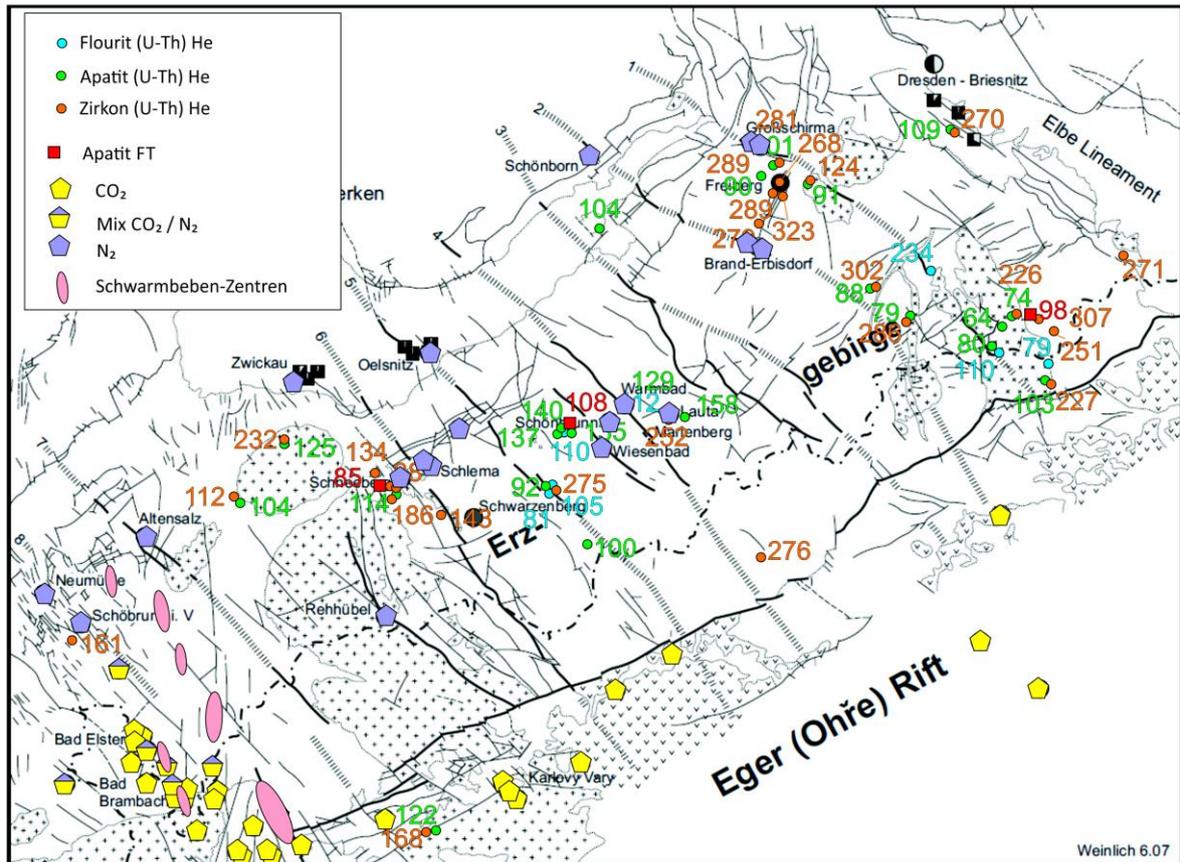


Abb. 4: Kompilierte Karte indirekter Störungshinweise nach Gasaustritten (Weinlich, 2008), seismischer Aktivität (Heinicke et al., 2009), Low-Temperature-Geochronologie (Wolff et al., 2015a und b).

### 3. Gebiete mit detailliertem tektonischen Kenntnisstand

Die tektonische Charakterisierung von Gebieten mit detailliertem tektonischem Kenntnisstand bezieht sich vor allem auf lokal gut aufgeschlossene Gesteinseinheiten. Informationen zu Störungen und deren Kinematik liegen besonders aus den Bergbau-Revieren vor, die in den vergangenen 70 Jahren aktiv waren. In den umgebenden Gebieten ist die Datendichte auf Grund meist fehlender guter Aufschlüsse / rheologischer Eigenschaften der Gesteine gering.

Exemplarisch soll die Tektonik einiger Aufschlussgebiete vorgestellt werden.

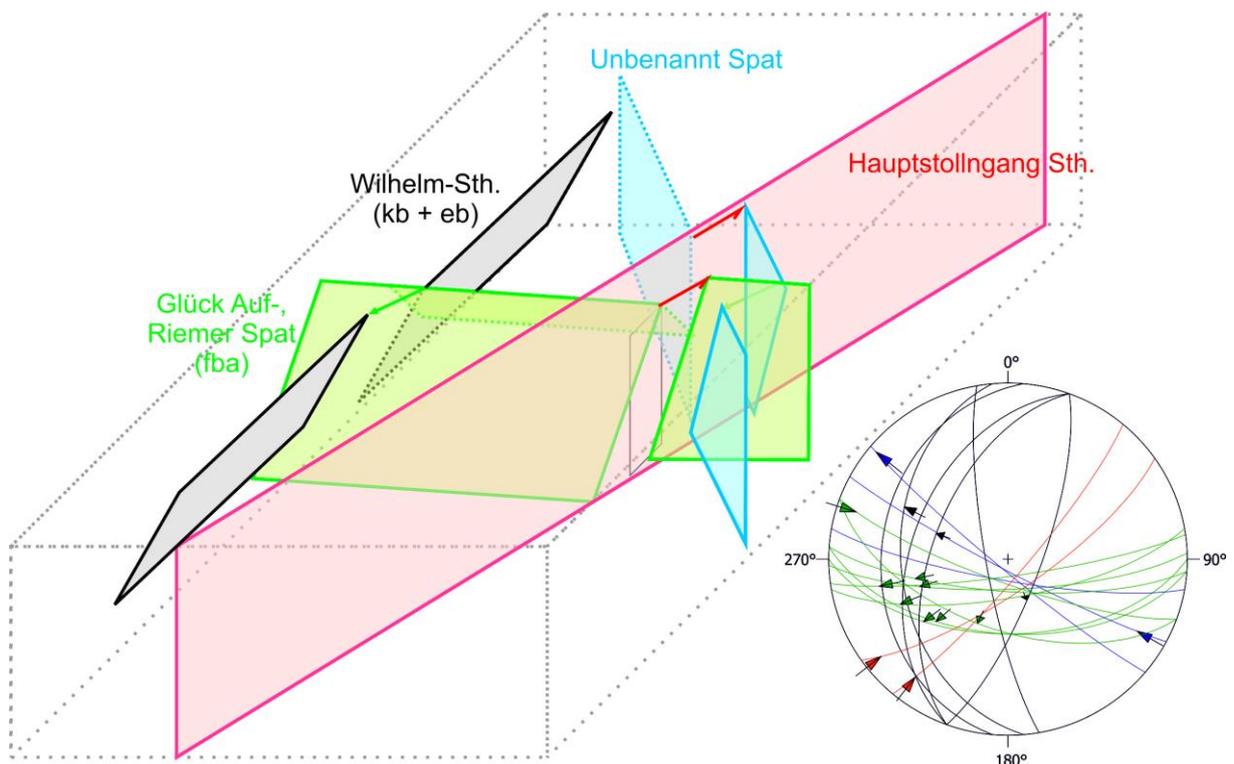


Abb. 5: Relative Altersfolge der mit Vererzungen besetzten Störungen im Revier der Grube Reiche Zeche (Freiberg). Schwarz – W-fallende Abschiebungen, grün – E-W streichende konjugierte Schrägabschiebungen, rot – NNE-streichende sinistrale Seitenverschiebungen, blau – WNW-streichende dextrale Blattverschiebungen.

In der Freiburger Ganglagerstätte konnten tektonische Untersuchungen im Grubengebäude der Reichen Zeche vorgenommen werden (Abb. 4). Nach den relativen Altersdaten sind die NNE-streichenden sinistralen Störungen und Gänge die jüngsten Bildungen (z.B. Hauptstollgang Stehender). Sie durchschlagen die E-W streichenden konjugierte Abschiebungen mit Spatgänge der fba-Formation. Die ältesten Störungen sind die von der kb-Formation besetzten N-S streichenden, westgerichteten Abschiebungen. Diese tektonische Gliederung von Altersdatierungen an Sphalerit gestützt: Die N-S streichenden W-gerichteten Abschiebungen zeigen Alter um 270 Ma (mittleres Perm), während die E-W streichenden Spatgänge ein Alter um 121 Ma (Unterkreide) aufweisen (Ostendorf et al.,

2019). Die NNE-streichenden regional jüngsten Gänge müssen deshalb jünger als Unterkreide sein. Die Störungen des Types „Unbenannt Spat konnten bisher relativ-zeitlich nicht zugeordnet werden. Die K-Ar-Alter der Störungsletten aus der Reichen Zeche in Freiberg weisen ähnlich wie die Daten aus Pöhla sowohl große probeninterne Variationen auf (bis zu 70 Ma) als auch große Unterschiede zwischen den verschiedenen Proben. Ein Maximum an spröd-tektonischer Aktivität kann für Perm und Trias nachgewiesen werden, jedoch treten auch vereinzelt jüngere Ereignisse auf (jüngstes Alter 30 Ma).

Aus der Vielzahl der bekannten Störungen und Erzgänge wurden nur die drei typischen Beispiele in ihrer vermuteten zeitlichen Stellung digitalisiert. Eine Erfassung der kompletten verfügbaren tektonischen Daten ist nur im Maßstab 1:5.000 möglich.

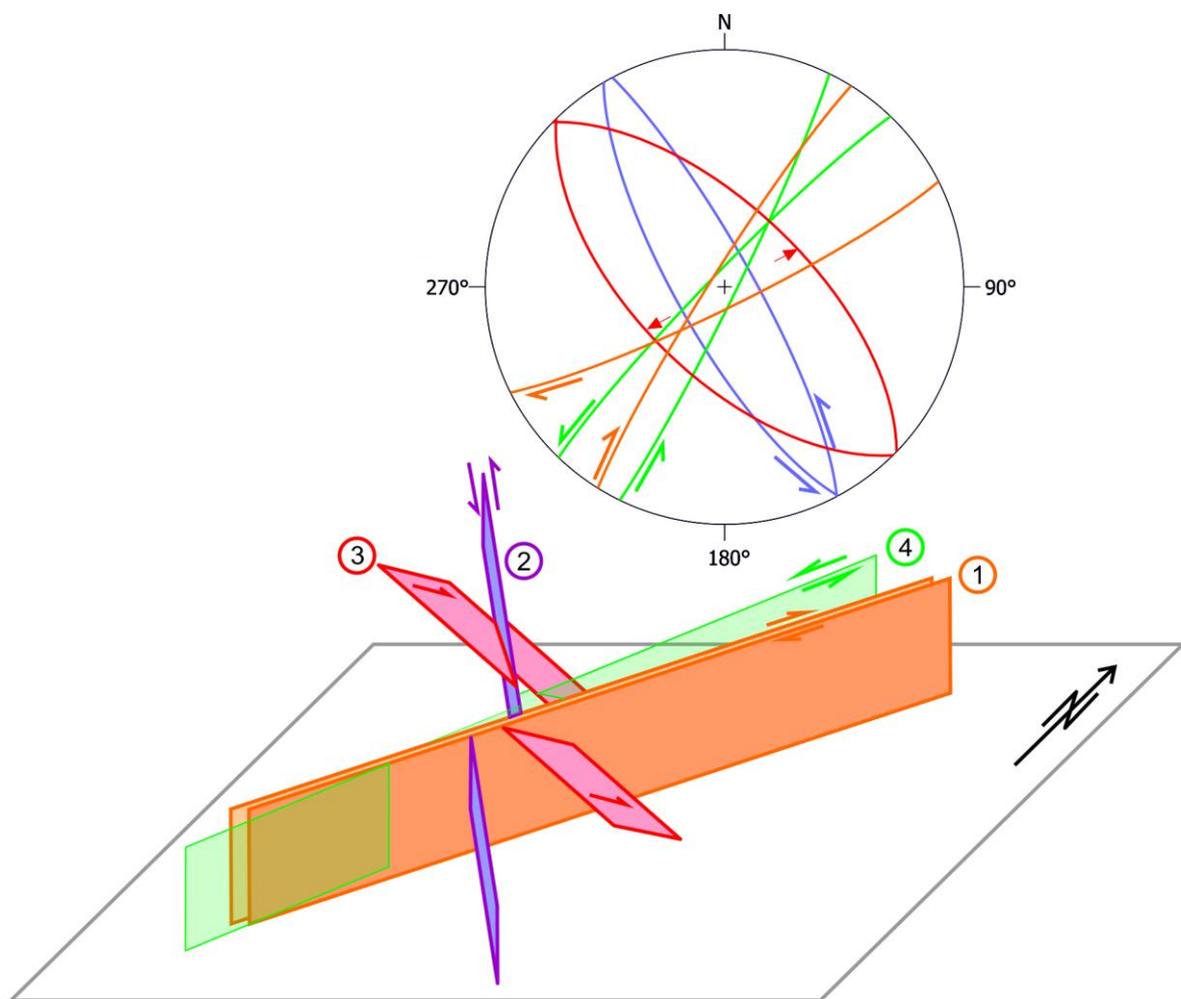
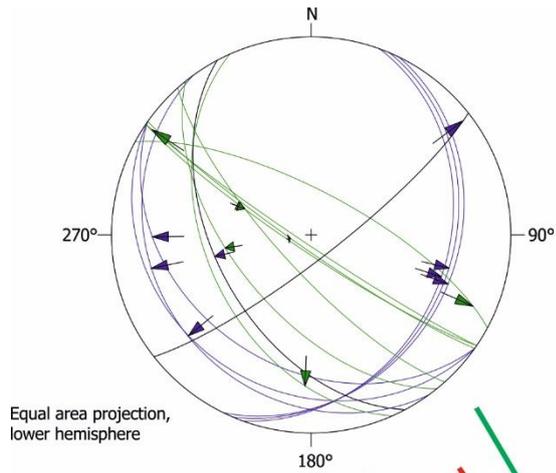


Abb. 6: Raumlage und Kinematik der Störungen und deren relative Altersfolge aus dem Gebiet Aue. Die orange gefärbten Flächen (1) stellen die jüngsten, oberflächennahen dextrale Kataklyse-Zonen dar. Etwas älter sind NNW-streichende sinistrale Blattverschiebungen (lila - 2). Rot dargestellt wurden konjugierte NE- und SW-gerichtete Abschiebungen vom Typ „Roter Kamm“. NE-streichende Blattverschiebungen mit hydrothermalen Mineralisation (grün – 4) sind die ältesten beobachteten Störungen.

Der zeitlichen Einstufung der Störungen im Gebiet Aue-Schneeberg-Schlema liegt das tektonische Modell zugrunde, welches durch detaillierte Geländearbeiten in der Umgebung von Aue erstellt werden konnte (Abb. 6). Danach gelten die vorläufig in das frühe bis mittlere Mesozoikum eingestuft Störungen vom Typ Roter Kamm als Struktur-bestimmend und durch Fe-Quarz-Mineralisationen besetzt. Nach 3D-seismischen Untersuchungen können diese Störungen bis in eine Teufe von etwa 3 km verfolgt werden (Bericht 3D-Seismik, Buske). Ergänzt werden die NE-fallenden Störungen von konjugierten, SW-fallenden Abschiebungen, die scheinbar am Roten Kamm auslaufen. Die jüngeren NE-streichenden Kataklyse-Zonen durchschlagen die quarzitischen Störungfüllungen des Roten Kammes, ihnen entspringen die Thermalquellen des Kurbades Schlema. Die Fortsetzung des Roten Kammes bis in die Vorerzgebirgssenke ist zu prüfen. Hier erscheint die Vielzahl von NW-SE streichenden Störungszonen bemerkens- und überprüfenswert. Bisher konnte ein Ar/Ar-Alter an Muskovit-führenden Mineralgang ermittelt werden: 244 Ma (Frühe Trias) (Sperner in WISTAMERZ, 2019).

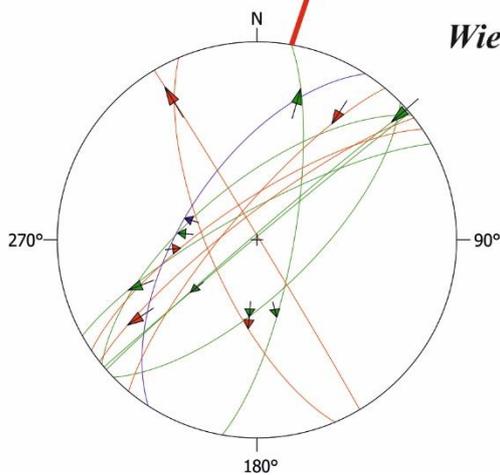
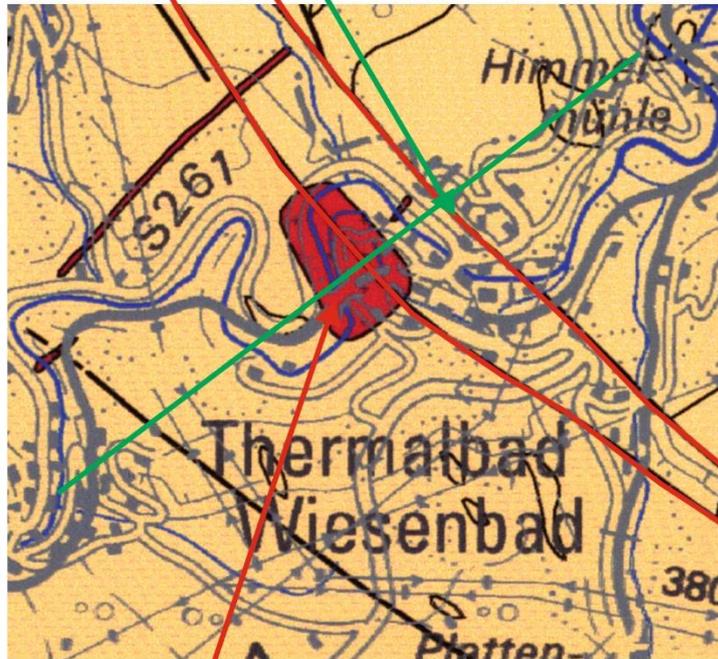
Im Gebiet von Wiesenbad wurden für ein Geothermie-Projekt (Berger et al. 2011) tektonische Daten erfasst (Abb. 7). Hier kann exemplarisch die verschiedene Rheologie des Granitkörpers und der umgebenden Glimmerschiefer gezeigt werden. Die erste Generation von Abschiebungen kann nur im Glimmerschiefer nachgewiesen werden. Die jüngeren strike-slip-Störungen treten sowohl im Granit als auch untergeordnet in den Glimmerschiefern auf. Diese Störungen können als Elemente der Wiesenbader Störung betrachtet werden und zeigen den bewegungssinn der Störung an.

Es muss an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass für eine weitere Präzisierung der tektonischen Karte Sachsens vor allem in Lagerstättenrevieren des mittleren und westlichen Erzgebirges Feldarbeiten mit dem Ziel der Erfassung tektonischer Daten unerlässlich sind.



### ***Wiesenbad-Gneis***

Störungen mit Bewegungsindikatoren belegen eine frühe latente SW- bzw SE-gerichtete flache Abschiebung im Gneis (blau). Ausgeprägt sind NW-streichende Blattverschiebungen und unsichere Abschiebungen (grün).



### ***Wiesenbad-Granit/Gneis***

Die rot dargestellten Störungen wurden im Granitkörper von Wiesenbad kartiert und sind zum Teil hydrothermal mineralisiert. Neben den bereits in den Gneisen dokumentierten NW-streichenden Störungen treten NE-streichende Blattverschiebungen auf (grün).

Abb. 7: Vergleich der Raumlage und Kinematik von Störungen und deren relative Altersfolge aus dem Gebiet Wiesenbad. Die rheologisch verschiedene Gesteinsserien durchschlagenden Störungen zeigen nur die jüngsten als gemeinsame Deformationsereignisse.

## 4. Literatur

- Bankwitz, E. & Bankwitz, P. (1980): Karte der Bruchstrukturen im Südteil der DDR. Zipe, Potsdam.
- Bankwitz, P., Groß, U., Bankwitz, E. (1993): Krustendeformation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jachymov-Zone – Z. geol. Wiss., 21, 3-20.
- Berger, H.-J., Felix, M., Görne, S., Koch, E., Krentz, O., Förster, A., Förster, H.-J., Konietzky, H., Lunow, Ch., Walter, K., Schütz, H., Stanek, K., Wagner, S. (2011): Tiefengeothermie Sachsen, 1. Arbeitsetappe 09/2009 – 07/2010. - LfULG, Freistaat Sachsen
- Bernet, M. (2009): A field-based estimate of the zircon fission-track closure temperature. - *Chemical Geology*, 259(3-4), 181-189.
- Dodson M. H. (1973) Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. - *Contrib. Miner. Petrol.* 40, 259–274.
- Dudek, A. (1987): Geology and tectonic pattern of the Western Bohemia seismic area. – In: Prochazkova, D. (ed.): Earthquake Swarm 1985/86 in Western Bohemia. Proceedings of workshop in Mariánské Lázně, Dec. 1–5, 1986, 34–37: Czechoslovak Academy of Sciences, Geophysical Institute Praha, Praha.
- Ehlers, T. A., & Farley, K. A. (2003): Apatite (U–Th)/He thermochronometry: methods and applications to problems in tectonic and surface processes. - *Earth and Planetary Science Letters*, 206(1-2), 1-14.
- Franke, D. (2018): Regionale Geologie von Ostdeutschland – Ein Wörterbuch. – Website [www.regionalgeologie-ost.de](http://www.regionalgeologie-ost.de)
- Gottesmann, B., Förster, H. J., Müller, A., Kämpf, H. (2017): The concealed granite massif of Eichigt– Schönbrunn (Vogtland, Germany): Petrography, mineralogy, geochemistry and age of the Eichigt apical intrusion. *Freiberg Online Geoscience*, 49, 1-46.
- Heinicke, J., Fischer, T., Gaupp, R., Götze, J., Koch, U., Konietzky, H., Stanek, K. P. (2009): Hydrothermal alteration as a trigger mechanism for earthquake swarms: the Vogtland/NW Bohemia region as a case study. - *Geophysical Journal International*, 178(1), 1-13.
- Hoth, K., Wasternack, J., Berger, H. J., Breiter, K., Mlčoch, B., & Schovánek, P. (1995): Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland 1: 100 000. *Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg*.
- Kley, J. (2013): Saxonian tectonics in the 21st century. - *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, v. 164, 295–311.
- Kuschka, E. (1994): *Zur Mineralisation und Minerogenie der hydrothermalen Mineralgänge des Vogtlandes, Erzgebirges und Granulitgebirges*. - PhD, TU Bergakademie Freiberg.
- Lange, J., Tonk, C., Wagner, G.A. (2008): Apatite fission track data for the Postvariscan thermotectonic evolution of the Saxon basement: First results. - *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, v. 159, 123–132.
- Malz, A., & Kley, J. (2012): The Finne fault zone (central Germany): structural analysis of a partially inverted extensional fault zone by balanced cross-sections. - *International Journal of Earth Sciences*, 101(8), 2167-2182.
- Ostendorf, J. (2018): Geochronology of ore-forming processes – The example of Rb-Sr sphalerite Geochronology. - Diss. TU Bergakademie Freiberg.
- Romer, R. L., Schneider, J., Linnemann, U. (2010): Post-Variscan deformation and hydrothermal mineralization in Saxo-Thuringia and beyond: a geochronological review. In: *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia–From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen*. - *Schweizerbart, Stuttgart*, 347-360.
- Sibson, R.H. (1985): A note on fault reactivation. - *J Struct. Geol.*, 7 (6), 751-754.

- Ventura, B., & Lisker, F. (2003): Long-term landscape evolution of the northeastern margin of the Bohemian Massif: apatite fission-track data from the Erzgebirge (Germany). - *International Journal of Earth Sciences*, 92(5), 691-700.
- Ventura, B., Lisker, F., & Kopp, J. (2009): Thermal and denudation history of the Lusatian Block (NE Bohemian Massif, Germany) as indicated by apatite fission-track data. - *Geological Society, London, Special Publications*, 324(1), 181-192.
- Weinlich, F.H. (2008): Die Stickstoff- und Methangase des sächsischen Erzgebirges und seiner angrenzenden Gebiete. – *Geochemie und Genese. Z. dt. Ges. Geowiss.*, 159: 317–329.
- Wolff, R., Dunkl, I., Kempe, U., von Eynatten, H. (2015a): The age of the latest thermal overprint of tin and polymetallic deposits in the Erzgebirge, Germany: Constraints from fluorite (U-Th-Sm)/He thermochronology. *Economic Geology*, 110(8), 2025-2040.
- WISTAMERZ (2019): BMBF-Verbundprojekt WISTAMERZ – Prognose wirtschaftsstrategischer Hochtechnologiemetalle am Beispiel des Erzgebirges. - Schlussbericht Beak, HIF, TUBAF
- Wolff, R., Dunkl, I., Lange, J., Tonk, C., Voigt, T., von Eynatten, H. (2015b): Superposition of burial and hydrothermal events: Post-Variscan thermal evolution of the Erzgebirge, Germany. - *Terra Nova*, v. 27, 292–299.