

Bergbau in Sachsen, Band 19

Rohstoffprognosen für Zinn, Wolfram, Fluss- und Schwerspat im Mittelerzgebirge

Andreas Brosig, Andreas Barth, Andreas Knobloch und Ellen Dickmayer

Bergbaumonografie

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Oberbergamt

Freiberg 2020

Vorwort

Für das Gebiet des Freistaates Sachsen existiert ein unvergleichbar großer rohstoffgeologischer Datenfundus. Dieser entstand im Zuge des über Jahrhunderte umgehenden Bergbaus durch intensive Lagerstättenerkundung, durch bergbauliche Aufschluss- und Gewinnungstätigkeit, durch die geologische Landesaufnahme sowie durch akademische Ausbildung und Forschung in den Geomontanwissenschaften. Die intensivste Phase der Erkundung der mineralischen Rohstoffe erlebte Sachsen zu Zeiten der DDR.

Dieser Datenpool ist angesichts der seit 15 Jahren anhaltend hohen internationalen Nachfrage nach Erz- und Spatrohstoffen erneut von großer Bedeutung. Die Rohstofferkundung auf Erz- und Spatlagerstätten erlebt auch in Sachsen eine intensive Renaissance. Die Verfügbarkeit rohstoffgeologischer Daten stellt für Bergbauinvestoren in Sachsen ein wichtiges Argument für ihr Engagement im Freistaat dar.

Um in diesem Kontext die Zugänglichkeit zum vorhandenen Wissen zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen, wurde von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer Rohstoffstrategie das Projekt ROHSA 3 (Rohstoffdaten Sachsen) gestartet.

ROHSA 3 hat das Ziel, alle verfügbaren geologischen, geochemischen und geophysikalischen Daten zu sichern, digital zu erschließen und zu bewerten. Im Ergebnis werden die rohstoffgeologischen Daten über zentrale Online-Anwendungen den Nutzern verfügbar gemacht.

Die in dieser Monografie vorgestellten Rohstoffprognosen wurden anhand der digitalisierten Daten und unter Verwendung Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) erstellt und interpretiert. Durch die begleitende rohstoffgeologische Interpretation der Rechenergebnisse ergeben sich Wahrscheinlichkeiten, mit denen die Anreicherungen eines Rohstoffes in einem bestimmten Gebiet zu erwarten sind. Im Resultat entstand ein Kartenwerk, das bei der Suche nach neuen Erz- und Spatvorkommen ein wichtiges Hilfsmittel für die Festlegung potentieller Erkundungsziele darstellen kann.

Allen Autoren und Beteiligten sei für die gute Zusammenarbeit herzlich gedankt.



B. Cramer

Prof. Dr. Bernhard Cramer
Oberberghauptmann
Präsident des Sächsischen Oberbergamtes



N. Eichkorn

Norbert Eichkorn
Präsident des Sächsischen Landesamtes für
Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhalt

Vorwort	03	3 Prognoseverfahren	40
Zusammenfassung – Summary	06	3.1 Überblick der in Rohstoffprognosen verwendeten Verfahren	40
1 Das Projekt ROHSA innerhalb der Rohstoffstrategie für Sachsen	08	3.1.1 Wissensbasierte Verfahren	40
1.1 Rohstoffstrategie für Sachsen	08	3.1.2 Datengetriebene Verfahren	42
1.2 Projekthistorie	08	3.2 Verwendetes Prognoseverfahren und genutzte Software	43
1.3 Projektorganisation – Projektpartner	08	3.3 Erzeugung eines Rechenprojekts mit der advangeo® Prediction Software	44
1.4 Ziele und bisherige Ergebnisse	08	3.3.1 Definierung von Modellgrenzen und Basisgrid („Base Data“)	44
2 Geologie und Rohstoffe	12	3.3.2 Training, Test und Anwendung der KNN Modellszenarien („Parameterized Model“)	45
2.1 Geologischer Rahmen	12	3.3.3 Ablauf der Modellierung	46
2.1.1 Tektonometamorphe Gliederung des Projektgebiets	12	4 Beschreibung und Aufbereitung der Ausgangsdaten	47
2.1.2 Gesteinsfolge	14	4.1 Lagerstätten und Vorkommen	47
2.1.3 Mineralisationen	20	4.1.1 Daten zu Rohstoffvorkommen	47
2.2 Bergbaugeschichte	22	4.1.2 Erstellung der Trainingsdaten („Training Data“)	48
2.2.1 Überblick	22	4.2 Geologische Daten	50
2.2.2 Annaberg/Scheibenberg/Schlettau	22	4.2.1 Bohrungen	50
2.2.3 Aue/Zschorlau/Bockau	24	4.2.2 Zweidimensionale geologische Daten	51
2.2.4 Geyer/Ehrenfriedersdorf	25	4.2.3 Dreidimensionale geologische Daten	56
2.2.5 Marienberg/Wolkenstein/Pobershau	26	4.3 Geophysikalische Daten	64
2.2.6 Schwarzenberg/Pöhl	27	4.3.1 Magnetik	64
2.3 Auswahl der zu prognostizierenden Rohstoffe	27	4.3.2 Gravimetrie	65
2.4 Lagerstättengeologie und Vorräte	29	4.3.3 Gammaskpektrometrie	66
2.4.1 Zinnlagerstätten	29	4.4 Geochemische Daten	70
2.4.2 Wolframlagerstätten	32	4.4.1 Festgesteine	70
2.4.3 Spatlagerstätten	35	4.4.2 Bachsedimente	70
2.4.4 Weitere Lagerstätten metallischer Rohstoffe	36	4.5 Andere Daten	73
2.4.5 Bilanzierte Vorräte	38	4.5.1 Digitales Geländemodell	73

5	Prognostizierte Rohstoffe und Prognoseszenarien	74	Anlage 4: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Zinn (Kassiterit) in Greisenkörpern im Endokontakt: Lokalitäten
5.1	Zinn	74	
5.1.1	Übersicht	74	
5.1.2	Strukturkontrollierte Mineralisationen	74	Anlage 5: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Zinn (Kassiterit) in lithologisch kontrollierten Mine- ralisationen: Lokalitäten
5.1.3	Greisenkörper im Endokontakt	80	
5.1.4	Lithologisch kontrollierte Mineralisationen	82	
5.2	Wolfram	89	
5.2.1	Übersicht	89	Anlage 6: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Zinn (Kassiterit) in lithologisch kontrollierten Mine- ralisationen: Lokalitäten und Metallinhalte
5.2.2	Strukturkontrollierte Mineralisationen	89	
5.2.3	Lithologisch kontrollierte Mineralisationen	95	
5.3	Auftreten von Skarnen ohne Berücksichtigung der darin potenziell enthaltenen Sn-W-Mineralisation	101	Anlage 7: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Wolfram (Wolframit) im Exokontakt, strukturkont- rolliert: Lokalitäten
5.3.1	Übersicht	101	
5.3.2	Skarnhorizont „Raschau-Formation“	106	
5.3.3	Skarnhorizont „Grießbach-Formation“	110	
5.3.4	Skarnhorizont „Herold-Formation“	113	Anlage 8: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Wolfram (Wolframit) im Exokontakt, strukturkont- rolliert: Lokalitäten und Metallinhalte
5.4	Flussspat	116	
5.4.1	Übersicht	116	
5.4.2	Strukturkontrollierte Mineralisationen	116	
5.5	Schwerspat	119	Anlage 9: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Wolfram (Scheelit) in lithologisch kontrollierten Mineralisationen: Lokalitäten
5.5.1	Übersicht	119	
5.5.2	Strukturkontrollierte Mineralisationen	119	
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	123	Anlage 10: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Wolfram (Scheelit) in lithologisch kontrollierten Mineralisationen: Lokalitäten und Metallinhalte
6.1	Schlussfolgerungen	123	
6.2	Ausblick	124	Anlage 11: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Auftreten von Skarnen in der Raschau-Formation
7	Glossar	126	Anlage 12: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Auftreten von Skarnen in der Grießbach-Formation
	Literaturverzeichnis	130	
	Anlagen		Anlage 13: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Auftreten von Skarnen in der Herold-Formation
	Anlage 1: Rohstoffkarte Erze / Spate – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000		Anlage 14: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Flussspat in strukturkontrollierten Mineralisationen
	Anlage 2: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Zinn (Kassiterit) im Endo- und Exokontakt, struk- turkontrolliert: Lokalitäten		Anlage 15: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Schwerspat in strukturkontrollierten Mineralisationen
	Anlage 3: Prognosekarte – Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1) 1:50,000. Zinn (Kassiterit) im Endo- und Exokontakt, struk- turkontrolliert: Lokalitäten und Metallinhalte		

Zusammenfassung | Summary

Im Rahmen des Projektes ROHSA 3.1 wurden Rohstoffprognosen für ein 740 km² großes Gebiet im Mittelerzgebirge, das die Orte Marienberg, Annaberg, Geyer, Ehrenfriedersdorf, Aue und Schwarzenberg umfasst, angefertigt. Auf der Basis der vorhandenen und neu mit dem Projekt ROHSA verfügbar gemachten Daten wurde eine zusammenfassende Dokumentation des im Bearbeitungsgebiet bekannten Rohstoffinventars für Erze und Spate vorgenommen und das zu erwartende Rohstoffpotenzial abgeschätzt.

Für die Projektbearbeitung wurden die regionalen geophysikalischen Daten (Gravimetrie, Aeromagnetik und Aerogammaskopie), die geochemischen Daten der Bachsedimentbeprobung, Lagerstättenindikatoren (Mineralgänge, Tektonik, Gesteinsgänge, erzkontrollierende Lithologien) und die bisher erkundeten Rohstoffe (Vorratsblöcke verschiedener Klassen) vollkommen neu aufbereitet und zu einer einheitlichen Datenbasis zusammengefasst. Die Prognosen erfolgten mit dem Verfahren der künstlichen neuronalen Netze.

Die Auswahl der prognostizierten Rohstoffe richtete sich nach den bekannten lagerstättengeologischen Gegebenheiten der Region, der vorliegenden Datendichte und der zukünftig erwarteten ökonomischen Bedeutung der Rohstoffe. Für die Metalle Zinn und Wolfram sowie die Minerale Fluss- und Schwerspat werden Prognosekarten mit den hoffigen Gebieten vorgestellt, wobei bei Zinn und Wolfram zwischen strukturkontrollierten (Gänge) und lithologisch kontrollierten (Skarne, Greisen) Lagerstätten differenziert wird. Für Zinn und Wolfram werden zusätzlich quantitative Prognosen vorgestellt.

Das Zinnpotenzial in Skarnen wird insgesamt auf mindestens 600.000 t Metallinhalt geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 250.000 t. Weitere Vorräte sind in der streichenden Verlängerung der bekannten Vorkommen an den Flanken des mittelerzgebirgischen Granitplutons sowie im Umring der Schwarzenberger Kuppel zu erwarten.

Das Wolframpotenzial in Skarnen wird insgesamt auf mindestens 120.000 t WO₃-Inhalt geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 120.000 t. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die bisher bekannte und prognostizierte Wolframmenge in etwa das Gesamtpotenzial darstellt.

Within the framework of the project ROHSA 3.1 (Raw Materials in Saxony) commodity prognoses for a part of the central Erzgebirge were produced. The project area of 740 km² includes the localities Marienberg, Annaberg, Geyer, Ehrenfriedersdorf, Aue and Schwarzenberg. A comprehensive documentation of the raw material inventory of metal ores, fluorite and barite for the project area was created based on available data, and on data made available by the ROHSA project.

Geophysical data (gravimetry, airborne magnetic and gamma spectroscopic data), geochemical data (stream sediment sampling), data indicative of deposits (mineral veins, tectonic data, dykes and ore-controlling lithologies) and exploration data (resources and reserves of various classes) were reprocessed and compiled to serve as a unified database for the project. The prognoses were calculated with artificial neural networks.

Commodities for prognoses were selected according to the known deposits in the project area, the amount of available data, and the predicted economic importance. Prognostic maps for tin, tungsten, fluorite and barite delineating the prospective areas are presented. For tin and tungsten separate prognoses for structurally controlled (veins) and lithologically controlled (greisen and skarn) deposits are provided. Additionally, quantitative prognoses for tin and tungsten are presented.

The tin potential in skarns is estimated at no less than 600,000 metric tons. The explored and prognosticated reserves and resources (class C1 and C2: probable and proved reserves; class c1 and c2: indicated and measured resources; class Delta: inferred resources) amount to 250,000 metric tons. Additional resources can be expected at the slopes of the Central Erzgebirge Granite Pluton along the strike of the known deposits and in the circumference of the Schwarzenberg gneiss cupola.

The tungsten potential in skarns (calculated as WO₃) is estimated at no less than 120,000 metric tons. The explored and prognosticated reserves and resources are in the same range. Therefore, no additional resources beyond what is already known and inferred should be expected in the project area.

Höfliche Gebiete für Zinn-Wolfram-Skarne in größeren Teufen wurden insbesondere zwischen der Schwarzenberger Kuppel und dem Granitpluton des Mittleren Erzgebirges in den Metasedimenten des Kambro-Ordoviziums identifiziert.

Aufgrund der vergleichsweise hohen Zinngehalte (0,4 bis 1 % Zinn) und ihrer größeren Mächtigkeit (bis zu 10 m im südlicher gelegenen Hämmerlein) sind die Skarnmineralisationen an der Grenze der Bauwürdigkeit.

Probleme bereitet insbesondere auch beim Wolfram die Aufbereitbarkeit der komplexen und feinkörnigen Erze.

Das Zinnpotenzial in Gängen im Endo- und Exokontakt wird insgesamt auf mindestens 200.000 t Metallinhalt geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 67.000 t. Davon sind ca. 20 % bereits abgebaut. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Gehalte (0,15 bis 0,25 % Zinn) und der geringen Mächtigkeit der Gänge und Trümer (Zentimeter bis Dezimeter) sind diese Mineralisationen zumindest derzeit nicht bauwürdig. Weitere verdeckte strukturell kontrollierte Zinnmineralisationen sind im Gebiet von Annaberg-Buchholz sowie im Südostteil des Granitplutons des Mittleren Erzgebirges zu erwarten (z. B. bei Kühnhaide).

Das Wolframpotenzial in Gängen im Exokontakt wird mit ca. 1650 t WO_3 -Inhalt im Vorkommen Aue-Bärengrund als sehr gering eingeschätzt. Aufgrund der geringen Gehalte ($< 0,03$ % WO_3) wurde für das Gebiet von Ehrenfriedersdorf keine Schätzung des Wolframpotenzials vorgenommen. Dort lagern berechnete und prognostizierte Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) von insgesamt etwa 4000 t.

Das Potenzial für das Auffinden von Zinnmineralisationen in Endokontaktgreisen kann nicht hinreichend genau eingeschätzt werden, da es vom Feinrelief der Granitoberkante abhängt, welches außerhalb der Explorationsgebiete nicht bekannt ist.

Fluorit und Baryt treten in Gängen entlang großer Nordwest-Südost streichender Störungen auf. Die wenigen bekannten und bereits abgebauten Lagerstätten im Projektgebiet sind wesentlich kleiner als andere Lagerstätten im Erzgebirge. Auf Grund der begrenzten Datenbasis sind keine quantitativen Prognosen möglich. Die Prognosekarten zeigen höfliche Gebiete, auf die die zukünftige Exploration konzentriert werden kann.

Prospective areas for tin and tungsten skarns were identified in particular in Cambrian to Ordovician metasediments between the Schwarzenberg gneiss cupola and the Central Erzgebirge Granite Pluton.

Due to the relatively high tin content (0.4 to 1 % tin) and significant thickness (up to 10 m at the Hämmerlein deposit just to the south of the project area) the skarn deposits are marginally economic.

However, the complex mineralogy and fine grain size – particularly of the tungsten ores – pose unsolved problems for processing and metal extraction.

The tin potential in vein-hosted deposits is estimated at no less than 200,000 metric tons. The explored and prognosticated reserves and resources amount to 67,000 metric tons, of which about 20 % is already mined out. Due to the relatively low tin content (0.15 to 0.25 % tin) and the low thickness of the veins and offshoots (centimeters to tens of centimeters) this type of mineralization is currently subeconomic. Additional resources of this ore type can be expected in the area of Annaberg-Buchholz and in the southern part of the Central Erzgebirge Granite Pluton (e.g. at Kühnhaide).

The tungsten potential in vein-hosted deposits at Aue-Bärengrund is estimated at a very low 1650 metric tons of WO_3 . For the Ehrenfriedersdorf area no quantitative estimates were produced because of the very low metal contents (less than 0.03 % WO_3). The explored and prognosticated reserves and resources at Ehrenfriedersdorf amount to 4000 metric tons WO_3 .

The potential for tin mineralizations in endocontact greisen bodies cannot be estimated with sufficient precision as it depends on the poorly known local relief of the granite surface in the unexplored areas.

Fluorite and barite occur in vein-hosted deposits along large northwest-southeast striking faults. The few known and mined out deposits in the project area are far smaller than known deposits in other parts of the Erzgebirge. Due to the limited data base, no quantitative estimates are possible. Prognostic maps delineate prospective areas where further exploration should be focused.

1 Das Projekt ROHSA innerhalb der Rohstoffstrategie für Sachsen

1.1 Rohstoffstrategie für Sachsen

Der globale Rohstoffbedarf wird in den kommenden Jahrzehnten weiter wachsen. Von besonderer Bedeutung für Zukunftstechnologien (speziell in der Elektronik und Halbleiterindustrie) werden dabei die so genannten Hochtechnologiemetalle (Antimon, Cäsium, Gallium, Germanium, Indium, Lithium, Niob, Rubidium, Scandium, Selen, Tantal, Tellur, Wolfram, Zinn) sein (ANGERER u.a., 2009).

Die Produktion dieser Metalle (sowohl Primärproduktion im Bergbau als auch Sekundärproduktion durch Recycling) wird in den kommenden Jahren steigen müssen, um mit der Nachfrage Schritt zu halten. Derzeit wird die Hauptmenge vieler dieser Rohstoffe nur in wenigen Ländern produziert, z. B. Antimon, Germanium und Indium in China oder Niob und Tantal in Brasilien. Ein möglicher Versorgungsengpass seitens der Produzenten hätte gravierende Auswirkungen auf die Wirtschaft, wenn die Produktionsbasis nicht diversifiziert wird. Damit wird auch die Frage der Rohstoffsicherheit zu einem bedeutenden Aspekt der Unternehmensstrategie solcher Betriebe werden, die in hohem Maße auf diese Rohstoffe angewiesen sind.

Zur Sicherung der bestehenden und zur Ansiedlung neuer Industrie ist daher eine koordinierte Rohstoffstrategie der verschiedenen administrativen Ebenen (EU, Bund, Länder) notwendig. Die Rohstoffstrategie für Sachsen (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND VERKEHR, 2017) beinhaltet u.a. die Bestandsaufnahme vorhandener heimischer Rohstoffe, die Verfügbarmachung von Daten zu diesen Rohstoffen und die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für die Rohstoffgewinnung. Im Interesse der Wirtschaftsförderung soll die Rohstoffkompetenz der bestehenden Einrichtungen (Universitäten, Forschungszentren, Fachbehörden) gesteigert werden.

Zu den Bereichen der sächsischen Rohstoffpolitik zählen:

- Einheimische Primärrohstoffe: Sachsen als Bergbauland
- Sekundärrohstoffe: Sachsen als Sekundärrohstoffland

- Sachsen als Standort der Rohstoffwirtschaft
- Internationale Zusammenarbeit
- Sächsische Rohstoffforschung
- Fachkräfte für die Rohstoffwirtschaft
- Sächsische Verwaltung
- Rohstoffbewußtsein

Mit dem Projekt ROHSA, einem Schlüsselprojekt der sächsischen Rohstoffstrategie, erfolgt die Umsetzung von Zielen in den zuvor genannten Bereichen.

1.2 Projekthistorie

Die Sammlung, Sicherung und Verfügbarmachung geologischer, insbesondere rohstoffgeologischer Daten und Informationen ist eine der Hauptaufgaben der Abteilung Geologie innerhalb des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).

Durch gestiegene Rohstoffpreise ist seit 2006 wieder eine verstärkte Erkundung durch nationale und internationale Bergbauunternehmen auf Erze und Spate zu verzeichnen. Dies führte zu einer starken Nachfrage nach geologischen Informationen und Lagerstättendaten auch für die sächsischen Rohstoffvorkommen.

Infolge der jahrhundertelangen Bergbautätigkeit besonders im Erzgebirge verfügt Sachsen über einen großen Bestand an geologischen und anderen lagerstättenrelevanten Daten. Insbesondere die umfangreichen Daten der letzten Erkundungs- und Bergbauetappe (1945 bis 1991) lagern größtenteils unpubliziert in verschiedenen Archiven. Die Nutzung dieser Daten zur Neubewertung bekannter Vorkommen und zur Ausweisung von Höffigkeitsgebieten für die weitere Erkundung auf bislang unbekannte Vorkommen ist für potenzielle Investoren im Bergbausektor von großer ökonomischer Bedeutung.

Das Gesamtprojekt ROHSA läuft seit 2006 und gliedert sich in verschiedene Teilprojekte.

2006 ROHSA 1: In diesem Teilprojekt wurden durch das Geokompetenzzentrum Freiberg e. V. (GKZ) Steckbriefe für ausgewählte Erz- und Spatvorkommen erstellt.

2008 ROHSA 2: In dem Folgeprojekt wurden durch das GKZ der Steckbriefkatalog auf insgesamt 139 Rohstoffvorkommen komplettiert und veröffentlicht.

2010 bis 2011 ROHSA B: In Zusammenarbeit von Tschechischem Geologischem Dienst (Česká geologická služba, ČGS), der Regionalen Entwicklungsagentur Ústí nad Labem (Regionální rozvojová agentura Ústeckého kraje) und dem LfULG erfolgte unter Leitung des GKZ eine Bewertung des Rohstoffpotenzials für acht ausgewählte Erz- und Spatlagerstätten im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet. Dieses Teilprojekt wurde im Rahmen des „Ziel 3-Programms der EU zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit 2007-2013 zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik“ durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

2012 Vorprojekt ROHSA 3: Das Vorprojekt diente der Planung des Hauptprojektes ROHSA 3. Dabei wurde ein Zeitbedarf von 10 Jahren bei einem geplanten Budget von 22 Mio. € ermittelt.

2013 bis 2024 ROHSA 3: Mit dem Beginn des Pilotprojektes ROHSA 3.1 (Abb. 1-2) startete 2013 das auf 10 Jahre ausgerichtete Projekt ROHSA 3. Weitere ROHSA 3 – Teilprojekte werden in 2-Jahres-Scheiben konzipiert. Der Abschluss des Gesamtprojektes ist für das Jahr 2024 vorgesehen. Die für die Durchführung des Projektes ROHSA 3 erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen stellt der Freistaat Sachsen zu 100% aus dem Landeshaushalt zur Verfügung.

1.3 Projektorganisation – Projektpartner

Projektauftraggeber sind das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) und das Sächsische Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA).

Für die Bearbeitung des Projektes ROHSA 3 wurde im Jahr 2013 eine behördenübergreifende Projektgruppe gegründet, die die Kompetenzen des LfULG und des Sächsischen Oberbergamts (SOBA) im Rahmen des Projektes ROHSA 3 zusammenfasst und die Vernetzung der Behörden bei der Projektbearbeitung sicherstellt.

Ferner wurde im Rahmen der Auftaktveranstaltung zum Projekt ROHSA 3 am 22.01.2014 ein Projektbeirat berufen, in dem Vertreter aus der Verwaltung sowie Partner aus der Wirtschaft und der universitären Forschung aktiv mitwirken.

Der Beirat begleitet und unterstützt das Vorhaben, bewertet die Planungen und Ergebnisse, berät die Projektgruppe in methodisch-inhaltlichen Fragen und gibt Empfehlungen für

eine praxisorientierte Bereitstellung und Nutzung der ROHSA-Ergebnisse.

Die Mitglieder des Projektbeirates sind

- Prof. Dr. Wolfgang Schilka, Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.
- Dr. Stefan Seiffert – SMUL
- Dr. Peter Jantsch (bis Februar 2015 Wolfgang Buchner) – SMWA
- Dr. Manfred Goedecke – IHK
- Prof. Dr. Gerhard Heide (bis März 2018 Prof. Dr. Jörg Schneider) – TU Freiberg



Abb. 1-1: Berufung der Beiratsmitglieder im Rahmen der Auftaktveranstaltung. v.l.n.r.: Prof. Dr. W. Schilka, Dr. S. Seiffert, W. Buchner, Dr. M. Goedecke, Prof. Dr. J. Schneider. Quelle: LfULG

1.4 Ziele und bisherige Ergebnisse

Die Ziele des Projekts ROHSA 3 lauten:

- Nachhaltige Sicherung sächsischer Rohstoffdaten vor Verlust, Verfall und Vergessen
- Digitale Verfügbarmachung der Daten für Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung
- Datenbereitstellung für Neuinterpretation
- Weitergabe des Einsparpotenzials durch Datennutzung bei Erkundungs- und Untersuchungskosten
- Stärkung des Geomontanstandortes Sachsen
- Ausbau von Datenverarbeitungssystemen und Datenbanken des LfULG in seiner Funktion als Staatlicher Geologischer Dienst.

Um diese Ziele zu erreichen, werden die Aufgaben innerhalb des Projektes in vier Arbeitspakete untergliedert:

Arbeitspaket 1: DV-Arbeiten und Anpassungen

Bestehende Datenverarbeitungssysteme im LfULG werden angepasst und bislang nicht vorhandene Datenbanken werden neu entwickelt.

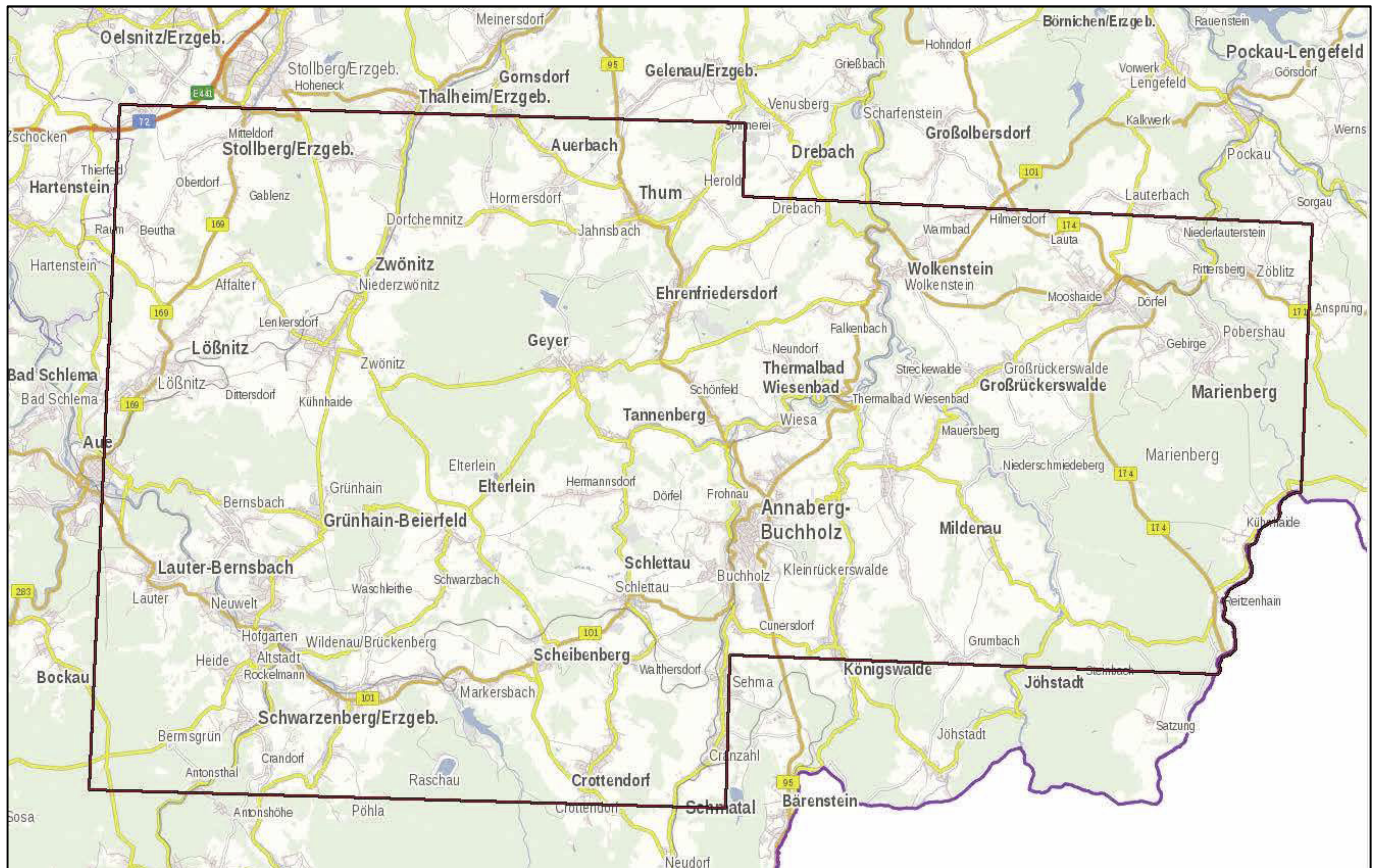


Abb. 1-2: Das Projektgebiet ROHSA 3.1 im mittleren Erzgebirge umfasst auf einer Fläche von rund 740 km² traditionsreiche Bergbaustandorte wie Aue, Schwarzenberg, Annaberg-Buchholz, Ehrenfriedersdorf und Marienberg

Arbeitspaket 2: Archivverschiebungen

In Archiven und Sammlungen werden die Unterlagen gesichtet und gesichert. Die Schwerpunkte der Arbeit liegen bei der Metadatenerfassung, der Digitalisierung und Verfügbarmachung unter Beachtung des rechtlichen Rahmens.

Arbeitspaket 3: Datenbanktechnische Erfassung von Rohstoffdaten

Alle relevanten Punktdaten (z. B. Bohrungen oder Probenorte) aus analogen Unterlagen oder aus digitalen Dateien werden erfasst und in die zentrale Aufschlussdatenbank des LfULG übertragen. Scans zu Flächendaten, wie Karten oder Risse, werden georeferenziert, um sie mit Geoinformationssystemen darstellen und auswerten zu können.

Arbeitspaket 4: Wissenschaftliche Ergebnisse

Anhand von Publikationen werden die Erkenntnisse zugänglich gemacht. In Kooperation mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft wurden zum Beispiel ein 3D-Modell (Abb. 1-3) und eine Rohstoffprognose erstellt.

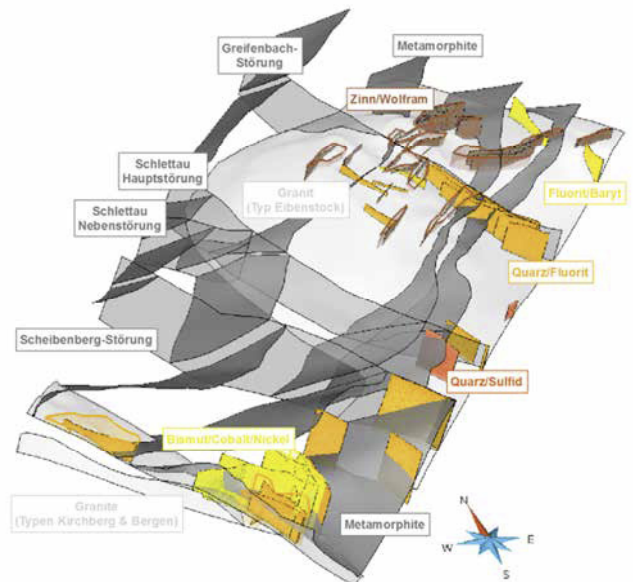


Abb. 1-3: 3D-Darstellung des im Rahmen von ROHSA 3.1 erstellten geologischen Modells der Region Geyer-Ehrenfriedersdorf (KIRSCH & STEFFEN, 2017). In dieser Ansicht sind die Granite (hellgrau), Störungen (mittelgrau) und verschiedene Typen von Erzgängen (gelb und orange) eingeblendet.

Ergebnisse

Seit 2013 wurden bisher unveröffentlichte Dokumente aus folgenden Archiven gesichtet und erfasst:

- Geologisches Archiv des LfULG,
- Archiv des Sächsischen Oberbergamtes,
- Geologisches Archiv der Wismut GmbH,
- Archiv der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR),
- Archive von Instituten der TU Bergakademie Freiberg,
- Sächsisches Bergarchiv.

Bis Ende 2017 wurden etwa 40.000 Einzeldokumente mit einem Umfang von etwa 2,6 Millionen Archivseiten gescannt. Die Metadaten von rund 7.750 Dokumenten, Berichten, Qualifizierungsarbeiten usw. wurden erfasst. Weiterhin wurden über 460 Erz-Bohrungen der Wismut GmbH digitalisiert und etwa 140.000 geophysikalische und rund 240.000 geochemische Daten datenbanktechnisch erfasst.

Für die Recherche nach rohstoffbezogenen Daten in Sachsen steht nunmehr eine neu entwickelte ROHSA-Suchmaschine zur Verfügung (<https://www.rohstoffdaten.sachsen.de/suche>).

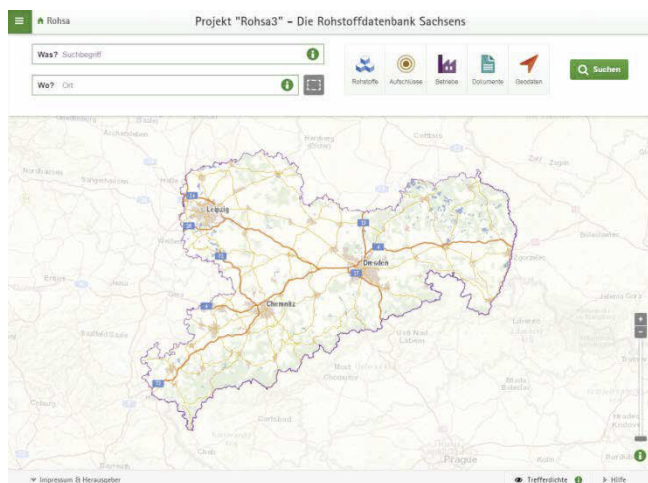


Abb. 1-4: Startbildschirm der ROHSA-Suchmaschine. Hier können Recherchen nach rohstoffbezogenen Daten durchgeführt werden. (<https://www.rohstoffdaten.sachsen.de/suche>)

2 Geologie und Rohstoffe

2.1 Geologischer Rahmen

2.1.1 Tektonometamorphe Gliederung des Projektgebiets

Das Erzgebirge ist ein variszisches Orogen, in dem verschiedene neoproterozoische und paläozoische Einheiten gestapelt, teilweise tief versenkt und metamorphisiert wurden. Das anschließende Zergleiten des Deckenstapels führte zur Exhumierung einst tief versenkter Einheiten und der Platznahme von granitischen Magmen in zahlreichen in sich gegliederten Intrusionen. Die Geschichte der geologischen Erforschung und die sich wandelnden geowissenschaftlichen Konzepte und Interpretationen bis hin zum aktuellen Kenntnisstand stellt SEBASTIAN (2013) dar.

In der Phase der intensiven Rohstoffexploration der Jahre 1945 bis 1990 bildete sich ein stratigraphisches Modell heraus, das die Metamorphite des Erzgebirges als mehrere Kilometer mächtiges, vom Proterozoikum bis ins Paläozoikum abgelagertes Sedimentpaket mit magmatischen Einschaltungen ansieht. Die Sedimentation wird durch mehrere Diskordanzen unterbrochen.

Nach diesem Modell werden im Proterozoikum mächtige relativ monotone Grauwacken sedimentiert. An der Wende Neoproterozoikum-Kambrium erfolgt eine Umstellung von monotoner Grauwackensedimentation an einem Kontinentallrand zu einer abwechslungsreicheren Sedimentation in einem stärker gegliederten marinen Ablagerungsraum. Im frühen Ordovizium erfolgt wieder der Übergang zu monotoner pelitischer Sedimentation. Durch die verschiedenartigen Einlagerungen und die Diskordanzen kann der Sedimentstapel in Gruppen und diese in Formationen gegliedert werden (LORENZ & HOTH, 1990). Dieser mächtige Sedimentstapel wird anschließend metamorph überprägt, wobei die untersten (und ältesten) Einheiten die stärkste Metamorphose erfahren. Daraus ergibt sich ein Metamorphoseprofil von Gneisen über Glimmerschiefer zu Phylliten. In der Spätphase der variszischen Orogenese werden diese Einheiten von granitischen Schmelzen intrudiert, wobei ein älterer und ein jüngerer Intrusivkomplex unterschieden werden.

In den 1990ern führten verschiedene Ansätze (Druck-Temperatur-Bestimmungen von Metamorphiten: z. B. RÖTZLER, 1995; Geochemie: z. B. MINGRAM, 1995; tektonische Untersuchungen: z. B. KRONER, 1995 und zunehmend genaue

radiometrische Altersdatierungen: z. B. TICHOMIROVA, 2002) zu einer Neubewertung der variszisch überprägten Einheiten in Sachsen. Durch Untersuchung und Datierung von Zirkonen zeigte sich, dass der Freiburger Graugneis großteils eine metamorph überprägte cadomische (etwa 540 Millionen Jahre alte) granodioritische Intrusion darstellt. Entgegen der früheren Annahme handelt es sich also nicht um die ältesten proterozoischen Grauwacken (Abb. 2-1). Datierungen an Metarhyolitoiden der ins mittlere Kambrium eingestuften Grießbach-Formation erbrachten Alter von 460 bis 490 Millionen Jahren, also unteres bis mittleres Ordovizium (LEONHARDT, 2009b).

Aus den Druck-Temperatur-Bestimmungen an verschiedenen Metamorphiten wurde deutlich, dass benachbarte Gneisareale sehr unterschiedliche Metamorphosepfade durchlaufen haben. Diese Einheiten wurden bei der Orogenese unterschiedlich tief versenkt und anschließend in ihre heutige räumliche Anordnung gebracht. Diese Beobachtungen lassen sich nicht mit dem Modell eines kontinuierlichen Metamorphoseprofils und eines weitgehend ungestörten Sedimentstapels vereinen. Stattdessen wird angenommen, dass einzelne Einheiten als tektonische Decken oder als Teile von tektonischen Scherzonen in ihre heutige Position gelangt sind (Abb. 2-1).

Die Intrusionsalter der Granite sind über radiometrische Datierungen nur schwer zu ermitteln, da die Gesteine vielfach durch Fluide, die auch die verschiedenen Mineralisationszyklen verursachten, überprägt wurden. Eine kritische Betrachtung der bisherigen Datierungen (ROMER, 2012) kommt zu dem Schluss, dass nicht zwischen einem älteren und einem jüngeren Intrusivkomplex unterschieden werden kann und dass die Granite des Erzgebirges Intrusionsalter von 318 bis 327 Millionen Jahren aufweisen.

Da die Untersuchungsmethoden (radiometrische Datierung, Druck-Temperatur-Bestimmungen) nur punktuell verfügbar sind, ist es derzeit noch schwierig, ein detailliertes tektonisch-stratigraphisches Modell des Erzgebirges zu erstellen. Die Entwicklungsgeschichte der einzelnen Einheiten ist zwar teilweise detailliert bekannt, aber durch die mangelnde Probendichte ist eine Abgrenzung der Einheiten an manchen Stellen noch unsicher. Einen Überblick der tektonometamorph-magmatischen Entwicklung des Erzgebirges geben BERGER u. a. (2008a).

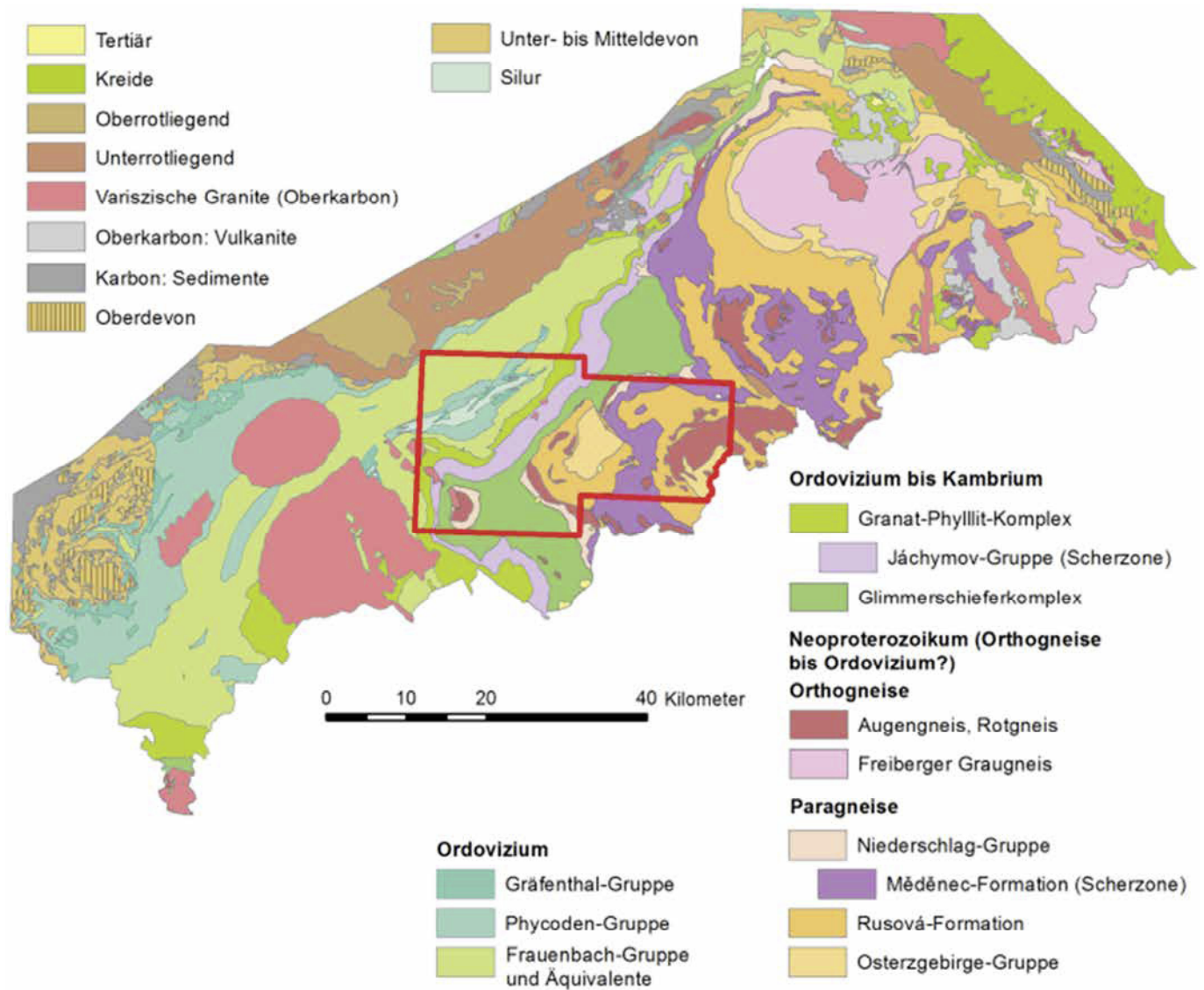


Abb. 2-1: Lage des Projektgebiets (rot) im sächsischen Teil des Erzgebirges. Zur Gliederung der neoproterozoischen bis ordovizischen Einheiten siehe die Erläuterungen im Text.

Im Projektgebiet kann mit den genannten Vorbehalten folgende tektonometamorphe Gliederung aufgestellt werden (Abb. 2-2): Im Zentrum der Gneiskuppeln von Schwarzenberg, Annaberg, Marienberg und Reitzenhain befindet sich das cadomische Basement (ehemals neoproterozoische Grauwacken), das vom ausgehenden Neoproterozoikum bis möglicherweise ins Ordovizium mehrfach von sauren Magmen, die heute als Augengneise und Rotgneise vorliegen, intrudiert wurde. Diese Einheit erfuhr während der variszischen Orogenese eine Mitteldruck-Mitteltemperatur-Metamorphose. Zwischen den Gneiskuppeln von Annaberg, Marienberg und Reitzenhain ist die Boden-Haßberg-Měděnec-Decke, die eine Hochdruck-Hochtemperatur-Metamorphose aufweist, dem cadomischen Basement aufgelagert. Über einer Scherzone folgt der Glimmerschieferkomplex (entspricht der Klínovec-Gruppe der lithostratigraphischen Gliederung), der während der variszischen Orogenese geringen Drücken und mittleren Temperaturen ausge-

setzt war. Im Hangenden wird dieser von einer weiteren Scherzone begrenzt, welche die Metarhyolitoide des Griebach-Vulkanitkomplexes und verschiedene andere Lithologien mit unterschiedlichen Altern und Metamorphosegraden in einer tektonischen Mélange vereint. Die darauf folgenden Einheiten Granat-Phyllit-Komplex, Phyllitkomplex 1 und Phyllitkomplex 2 (entsprechen Breitenbrunn- bis Phycodenschiefer-Formation der lithostratigraphischen Gliederung) sind vermutlich ein kontinuierliches Metamorphoseprofil mit nach oben hin abnehmendem Metamorphosegrad, das nicht durch weitere Deckengrenzen getrennt ist. Der nicht metamorphe Schieferkomplex tritt im Projektgebiet in der Löbnitz-Zwönitz-Synklinale auf, die einen komplizierten tektonischen Schuppenbau zeigt.

Losgelöst von der daran geknüpften stratigraphischen Interpretation sind die Einheiten der lithostratigraphischen Gliederung nach wie vor ein wertvolles Mittel, um gleichartige Gesteinspakete zusammenzufassen, im Gelände zu

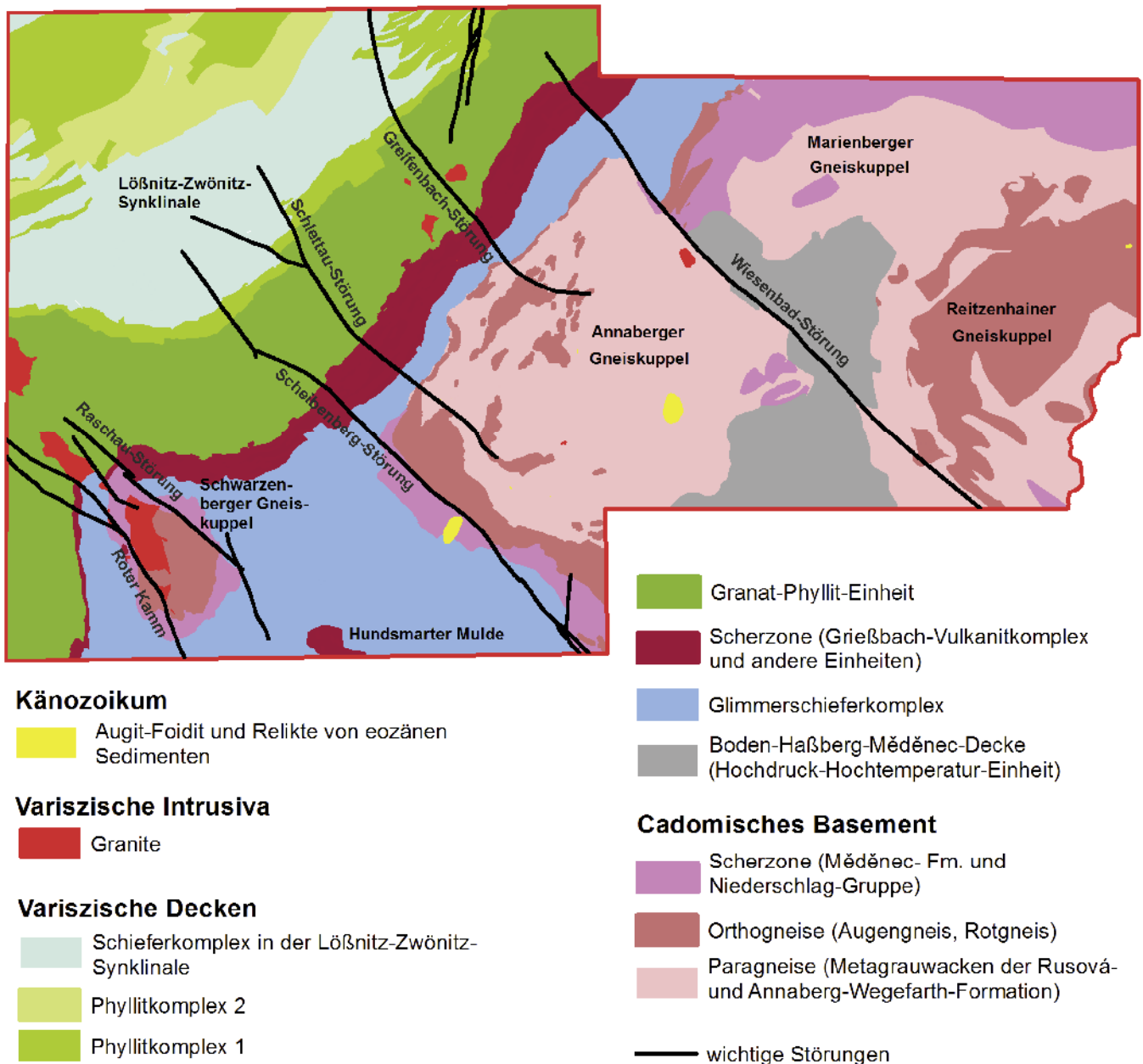


Abb. 2-2: Tektonometamorphe Karte des Projektgebiets mit den wichtigsten Störungen, metamorphen und tektonischen Einheiten.

verfolgen und mit Bohrungen zu korrelieren. Die wichtigsten im Projektgebiet auftretenden Einheiten mit Ausnahme der quartären Deckschichten werden im Folgenden kurz charakterisiert.

2.1.2 Gesteinsfolge (Abb. 2-3)

Neoproterozoikum

Osterzgebirge-Gruppe: Von dieser Einheit tritt im Projektgebiet nur das oberste Schichtglied, die Annaberg-Wegefarth-Formation, im Kern der Annaberger Gneiskuppel mit einer Mächtigkeit von etwa 1000 m auf. Diese besteht überwiegend aus monotonen klein- bis mittelkörnigen Zweiglimmer-Plagioklasgneisen, die auf Grund ihrer wechselnden Einlage-

rungen in drei Subformationen gegliedert werden können. Die Wiesa-Subformation im Liegenden zeichnet sich durch Einlagerungen von feinkörnigen Gneisen und Amphiboliten aus. Die folgende Neundorf-Subformation ist nahezu frei von Einlagerungen. Im Hangenden folgt die Frohnau-Subformation mit markanten graphitführenden Lagen (sog. Schwarze Flöze bzw. Schwebende). Der Gneis ist häufig stark feldspatblastisch mit flaserigem Gefüge (LEONHARDT, 1998). **Preßnitz-Gruppe:** Die Preßnitz-Gruppe besteht in ihrer ursprünglichen Definition aus der liegenden Rusová-Formation und der hangenden Mädēnec-Formation. Wie oben beschrieben, werden Teile der Mädēnec-Formation an den Flanken der Annaberger Gneiskuppel heute als Scherzonen und andere Teile als Decken mit eigener Metamorphosegeschichte betrachtet. Die Preßnitz-Gruppe kann daher nicht länger als

ursprünglich sedimentärer Verband interpretiert werden. Die heutigen Verbandsverhältnisse sind vielmehr ein Ergebnis der variszischen Deckentektonik.

Die Rusová-Formation ist ein im Projektgebiet etwa 1000 m mächtiger Verband aus Zweiglimmergneisen und Zweiglimmerschiefern mit verschiedenen Einlagerungen. An der Basis liegt mit der Natschung-Subformation eine 300 m mächtige Abfolge von teilweise granatführenden Zweiglimmer-Plagioklasgneisen mit Einschaltungen von Zweiglimmerschiefern, Muskovit-Zweifeldspatgneisen, Quarzitschiefern, Quarziten und Amphiboliten. Der mittlere Teil wird von der 500 bis 700 m mächtigen Křimov-Subformation gebildet. Diese ist durch das Auftreten klein- bis feinkörniger Zweiglimmer-Plagioklasgneise, die lokal graphitführend sind, charakterisiert. An Einlagerungen treten Muskovit-Zweifeldspatgneise, Quarzitschiefer, Quarzite und Amphibolite auf. Eine besondere Erscheinung sind phyllitische Gesteine an der Fuchslöhe bei Schlettau (LEONHARDT, 1998). Im Hangenden folgt die bis etwa 200 m mächtige Rittersberg-Subformation, die aus glimmerreichen Zweiglimmerparagneisen und Zweiglimmerschiefern besteht. In diesen treten besonders im Raum Marienberg Lagen von Metaschwarzschiefern (sog. Schwarze Flöze) auf. Daneben gibt es Einlagerungen von Metabasiten, Quarziten, selten auch von Metarhyolitoiden und Kalksilikategesteinen (BERGER u. a., 2008b).

Die Měděnec-Formation tritt als mehrere hundert Meter mächtige stark tektonisch gegliederte und gescherte Einheit an den Rändern der Annaberger Gneiskuppel und im Bereich Annaberg-Jöhstadt-Boden als Hochdruckeinheit auf. Die Hauptgesteine sind Zweiglimmerparagneise, Metarhyolitoiden, Zweiglimmerschiefer, z. T. Granat-Muskovit-Glimmerschiefer und Gneisglimmerschiefer. Die Einlagerungen sind ungleichmäßig verteilt und umfassen Metakarbonate, Metagrauwacken, Metabasite und lokal Metakonglomerate und Quarzite (LEONHARDT u. a., 2012).

Niederschlag-Gruppe: Die Niederschlag-Gruppe wird im Projektgebiet aus monotonen feinkörnigen, seltener mittelkörnigen Zweiglimmer-Plagioklasgneisen aufgebaut. Selten sind Linsen von Amphibolit oder Quarzit eingelagert (LEONHARDT, 1998). Bei Erla sind einzelne Skarnlinsen bekannt (LEONHARDT, 2009a), die jedoch gegenüber den Skarnen in den kambroordovizischen Gesteinen volumenmäßig unbedeutend sind. Die Mächtigkeit reicht von 200 bis 300 m in der Schwarzenberger Kuppel bis zu 400 bis 600 m am Ostrand der Hundsmarter Mulde. Die Gliederung in Kovářská- und Kunnerstein-Formation ist im Projektgebiet nicht möglich.

Orthogneise (Augengneise, Rotgneise): Im Projektgebiet treten zwei große Augengneiskörper im Zentrum der Schwarzenberger Kuppel sowie im Raum Bärenstein-Schlettau auf. Rotgneise sind wesentlich am Aufbau des Gneisdoms von Reitzenhain beteiligt. Beide Gesteinstypen werden als prävariszische, metamorph überprägte saure Intrusiva angesehen,

die in die neoproterozoischen Sedimente intrudierten. Der Augengneis wird charakterisiert durch bis über einen Zentimeter große weiße bis gelbliche, selten rötliche Feldspataugen. Diese bestehen sowohl aus Kalifeldspat als auch aus Plagioklas. An Glimmern überwiegt Biotit, dessen kleinschuppige Kristalle sich in Lagen anreichern. Das Gestein ist häufig plattig deformiert mit streifenartig angeordneten Augen, die je nach dem Grad der Deformation aus mehr oder weniger feinkörnigen Feldspäten bestehen. Die Grenzen zum Umgebungsgestein sind manchmal scharf, manchmal bestehen auch breite Übergangszonen zu Zweiglimmer-Plagioklasgneisen mit nach außen hin abnehmendem Anteil an Feldspataugen (LEONHARDT, 1998).

Die so genannten Rotgneise umfassen ein Spektrum von roten bis grauen, mittel- bis riesenkörnigen (sog. Riesengneis) Gneisen, teilweise mit Augenbildung. Im Gneisdom von Reitzenhain bilden diese eine komplizierte mehrlagige Struktur mit eingeschalteten Zweiglimmergneisen (SEBASTIAN, 2013). Kartiertechnisch können zahlreiche Varietäten mit kaum erkennbarer bis hin zu starker Schieferung und plattiger Deformation unterschieden werden. In den massiv erscheinenden Varietäten herrscht Biotit vor, während die deformierten Gneise in zunehmendem Maß muskovitführend sind. Lokal sind auch Vorkommen von Turmalin bekannt (GÄBERT, 1904).

Altersdatierungen an Zirkonen zeigen, dass die Intrusionsalter dieser Orthogneise vom Neoproterozoikum bis vermutlich ins Ordovizium reichen, wobei für zahlreiche Kleinvorkommen noch keine Altersdaten existieren. Für den Bärensteiner Augengneis wird ein Intrusionsalter von 575 ± 4 Millionen Jahren, also Neoproterozoikum, angegeben. Der benachbarte Schwarzenberger Augengneis scheint mit einem Intrusionsalter von 486 ± 7 Millionen Jahren deutlich jünger zu sein (LEONHARDT, 1998). Für die Rotgneise von Reitzenhain wird kambrisches oder ordovizisches Alter diskutiert (SEBASTIAN, 2013).

Kambrium(?) bis Ordovizium

Wie oben dargestellt, sind in Folge neuerer Erkenntnisse die Altersstellung und der stratigraphische Rang der folgenden Einheiten unsicher. Da noch keine Neugliederung vorliegt und da die für die Rohstoffprognose verwendeten Quellen dem alten stratigraphischen Schema folgen, werden die historischen Begriffe hier weiter verwendet. Die Gruppen dürfen jedoch nicht ohne weiteres als zusammenhängende ehemals (vulkano-)sedimentäre Komplexe interpretiert werden, ebenfalls kann aus der stratigraphischen Abfolge nicht ohne weiteres auf die relativen Alter der beteiligten Einheiten geschlossen werden.

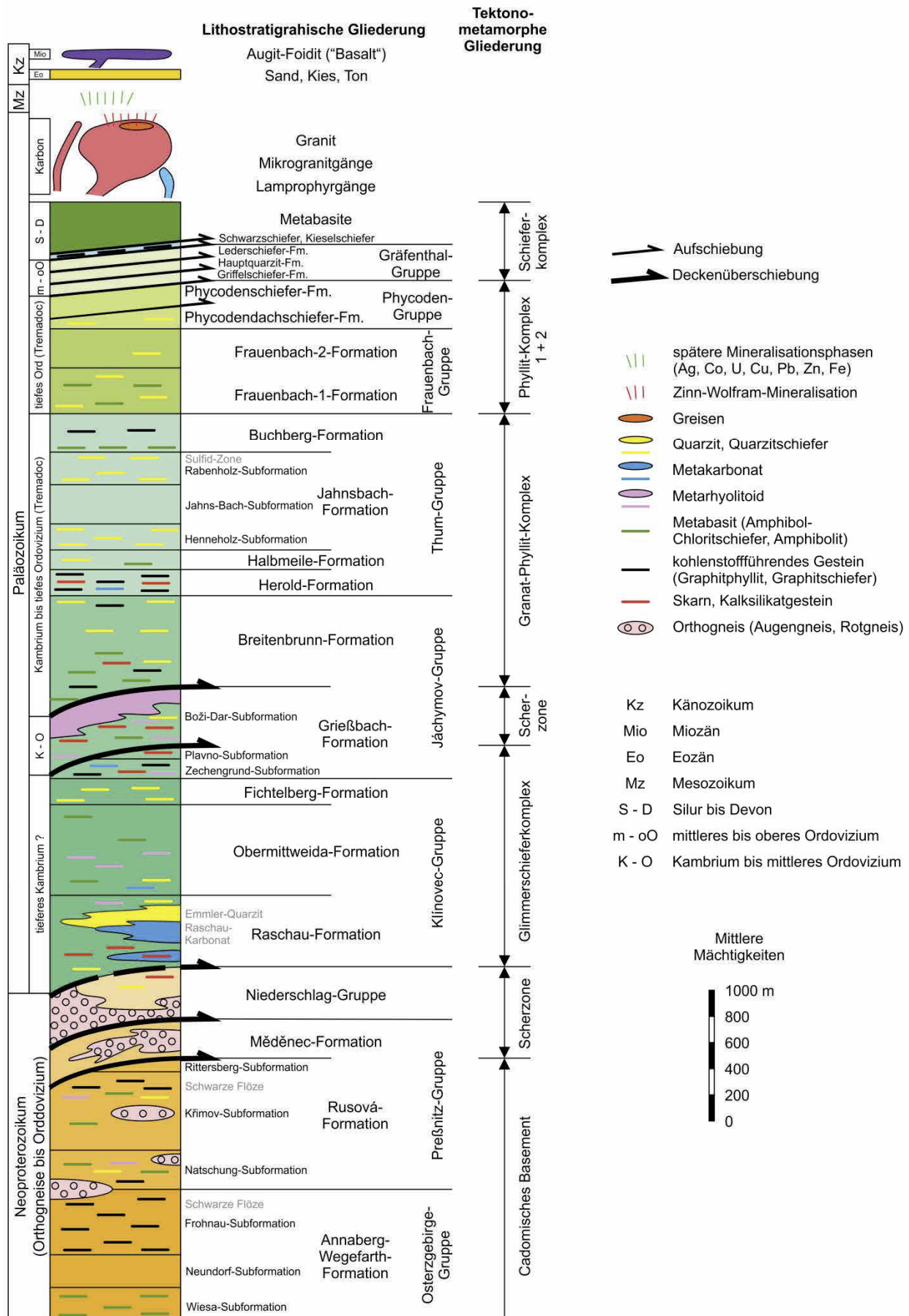


Abb. 2-3: Stratigraphisches Schema des Projektgebiets mit tektonometamorpher Gliederung. Zusammengestellt aus den GK25 Blatt 5441 Schneeberg, Blatt 5542 Aue und Blatt 5543 Annaberg-Buchholz West sowie BERGER u. a. (2008a).

Klínovec-Gruppe: Mit der Klínovec-Gruppe beginnt der Abschnitt der sogenannten bunten Gesteine, die sich durch eine größere lithologische Vielfalt als die neoproterozoischen Einheiten auszeichnen. Als Ursache wird ein veränderter Sedimentationsraum angenommen. Während im Neoproterozoikum Grauwackensedimentation an einem wenig gegliederten Kontinentalrand angenommen wird, zeigen die jüngeren Sedimente einen stärker gegliederten Sedimentationsraum, in dem sich auch z. B. Karbonate und kohlenstoffreiche Pelite bildeten, an. Die vielfältigen basischen bis sauren Vulkanite zeigen einen aktiven bimodalen Vulkanismus in diesem Zeitraum an.

Die 100 bis 650 m mächtige Raschau-Formation ist durch Einlagerungen von teils mächtigen Quarziten und Metakarbonaten charakterisiert. Abgesehen davon besteht sie aus granatführenden Muskovitgneisen bis Zweiglimmergneisen. Im unteren Teil sind auch Zweiglimmergneise und Feldspatglimmerschiefer verbreitet. Der bis über 200 m mächtige Emmmer-Quarzit im Unteren Teil der Formation geht über quarzitführende Glimmerschiefer und Quarzitschiefer aus den Nebengesteinen hervor. Das Raschau-Karbonat ist besonders mächtig am Nord- und Nordwestrand der Hundsmarter Mulde ausgebildet, wo Mächtigkeiten bis 260 m erreicht werden (ELICKI u. a., 2008). Der Metakarbonathorizont besteht bei Pöhla und Raschau überwiegend aus Dolomitmarmor, bei Oberscheibe dagegen aus Calcitmarmor. Oberflächennah zeigen sich oft Verkarstungs- und Zersatzerscheinungen. Einzelne Lagen zeichnen sich durch eingelagerten Glimmer oder Graphit aus. Die Marmore sind in unterschiedlichem Ausmaß metasomatisch überprägt, bis hin zu Skarnen (LEONHARDT, 1998). Die Zinn- und Wolfram-Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein liegt in diesem Niveau.

Die Obermittweida-Formation erreicht in der Hundsmarter Mulde Mächtigkeiten von 500 bis 900 m; im Norden des Projektgebiets geht die Mächtigkeit auf 150 bis 300 m zurück. Die Hauptgesteine sind feldspatporphyroblastische Zweiglimmerschiefer und -gneise. Daneben treten feinkörnige dichte Metagrauwackengneise und die charakteristischen Metakonglomerate auf. Diese erscheinen über das ganze Profil verteilt als 10 bis 35 m mächtige Zonen mit geröllführenden Lagen. Es handelt sich um gerundete polymikte Gerölle bis zu 30 cm Größe. Neben den dominierenden Metagrauwacken treten Metarhyolitoide, Granit und Quarzit, selten auch Lamprophyr, Diabas, Quarz, Kalkstein und Kalksilikatfels auf (ELICKI u. a., 2008).

Die Fichtelberg-Formation ist im Projektgebiet etwa 200 bis 300 m mächtig. Sie besteht aus granatführenden Muskovit- und Feldspatglimmerschiefern mit quarzitischen Einlagerungen. Nordwestlich von Ehrenfriedersdorf treten zusätzlich Einlagerungen von teilweise quarzitischen Zweiglimmerparagneisen auf (ELICKI u. a., 2008).

Jáchymov-Gruppe: Die Jáchymov-Gruppe wird in die liegende Griebbach-Formation und die hangende Breitenbrunn-Formation gegliedert. Beide zeigen starke Mächtigkeitschwankungen und sind lithologisch sehr vielfältig. Dabei herrscht in der Griebbach-Formation ein saurer Vulkanismus (Metarhyolitoide vom Typ Gm-Gneis) vor, der mit dem basischen Vulkanismus in der Breitenbrunn-Formation kontrastiert. LEONHARDT (2009b) stellt die Griebbach-Formation auf Grund der mit 460 bis 490 Millionen Jahren datierten Metarhyolitoide in das untere bis mittlere Ordovizium. Bei einer Interpretation dieser Einheit als tektonische Mélange können aber auch Gesteine anderen Alters beteiligt sein, die erst im Zuge der variszischen Orogenese in ihre heutigen Verbandsverhältnisse gelangt sind.

Die Griebbach-Formation setzt mit einem 50 bis 200 m mächtigen Paket von Glimmerschiefer, Kalksilikatgestein, Marmor, Skarnen, Muskovit-Zweifeldspatgneis, graphitführendem Glimmerschiefer und seltener Amphibolit und Quarzit ein. Darüber folgen im so genannten Griebbach-Vulkanitkomplex die schon genannten Metarhyolitoide. Diese ehemaligen Vulkanite liegen heute als Muskovit-Zweifeldspatgneise vor, die mit Glimmerschiefern und einzelnen Marmorlagen vergesellschaftet sind (ELICKI u. a., 2008).

Die Breitenbrunn-Formation erreicht im Raum Elterlein Mächtigkeiten um 1000 m, dünnt aber in der Westerzgebirgischen Querzone auf 100 bis 150 m aus. Neben Muskovitglimmerschiefern, Zweiglimmerschiefern und den charakteristischen Metabasiten treten in lokal unterschiedlicher Häufigkeit Kalksilikatfelse, Skarne (Abb. 2-4, Abb. 2-5), graphitische Glimmerschiefer, Quarzite, Epidot-Graphitquarzite und Muskovit-Zweifeldspatgneise auf (ELICKI u. a., 2008).

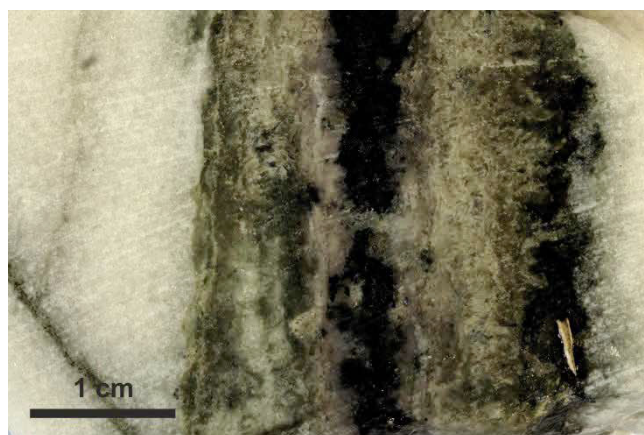


Abb. 2-4: Beginnende Verskarnung von Marmor entlang eines pneumatolytischen Trums, mit Spuren von Scheelit und Malayait, Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)



Abb. 2-5: Granat-Pyroxenfels, durch Verskarnung aus Marmorgebildet. Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)

Thum-Gruppe: Die Thum-Gruppe setzt mit der rund 250 m mächtigen Herold-Formation ein. Diese besteht aus einer Wechsellagerung von teils quarzitstreifigen Phylliten bis Muskovitphylliten mit Graphitphylliten, Kalkglimmerschiefern und Marmor. An der Basis treten auch Glimmerschieferlagen auf. Weiterhin kommen Einlagerungen von Kalksilikatfelsen, Skarnen, Metabasiten und Quarziten vor (ELICKI u. a., 2008).

Die folgende im Mittel 200 bis 300 m mächtige Halbmeile-formation besteht aus Muskovitphylliten und phyllitischen Glimmerschiefern, die teilweise granat- und feldspatführend sind. Als Einlagerungen treten Metabasite und untergeordnet Quarzitschiefer bis Quarzit auf (ELICKI u. a., 2008).

Die Jahnsbach-Formation setzt mit rund 200 m mächtigen grüngrauen bis grauen quarzitstreifigen Phylliten ein, in die magnetitführende Quarzitschiefer bis Muskovitquarzite eingelagert sind. Darauf folgt ein 300 m mächtiges Paket von grüngrauen, bläulichgrauen und mittel- bis lokal schwarzgrauen tonigen Phylliten, die nur geringmächtige Quarzitlagen führen. Im hangenden Abschnitt folgen grüngraue bis dunkelgraue Phyllite mit Quarzitschiefern, Quarziten und Phyllitlagen mit eingestreuten Blauquarzklasten. Die obersten 50 bis 80 m sind als sulfidvererzte Zone ausgebildet. Die Sulfide treten als 1 bis 3 cm, selten bis 40 cm mächtige schichtparallele Lagen von Sphalerit und Galenit auf. Selten sind Pyrit, Chalkopyrit und Pyrrhotin vertreten. Das in dieser Schicht gelegene Blei-Zink-Vorkommen Jahnsbach wird in Kapitel 2.2.4 und 2.4.4 kurz beschrieben. Die stratiformen Vererzungen bei Bockau werden ebenfalls dieser Zone zugeordnet (BERGER & LEONHARDT, 2008).

Den Abschluss der Thum-Gruppe bildet die etwa 300 m mächtige Buchberg-Formation, die aus schluffigen und tonigen Phylliten aufgebaut wird. Erstere sind grau bis grüngrau, letztere blaugrau bis dunkelgrau gefärbt. An der Basis, direkt über der Sulfiderzzone der Jahnsbach-Formation, tritt ein Metabasithorizont mit Amphibol-Chloritschiefern auf. Im mittleren Abschnitt treten graphitische Tonschiefer bis Graphitphyllite auf (BERGER & LEONHARDT, 2008).

Frauenbach-Gruppe: Diese Gruppe wird in die liegende, etwa 350 m mächtige Frauenbach-1-Formation und die hangende, etwa 300 m mächtige Frauenbach-2-Formation gegliedert.

Beide Schichtglieder bestehen überwiegend aus grauen bis grünlichgrauen, lokal dunkel- und violettgrauen schluffigen bis tonigen Phylliten. In der Frauenbach-1-Formation treten zusätzlich quarzitisches Lagen und Bänder bis hin zu Einlagerungen von Serizitquarziten auf (BERGER & LEONHARDT, 2008).

Ordovizium bis Devon

Phycoden-Gruppe, Gräfenenthal-Gruppe und mittelpaläozoische Einlagerungen in der Lößnitz-Zwönitz-Synklinale: Die Phycoden-Gruppe besteht aus der 100 bis 200 m mächtigen Phycodendachschiefer-Formation im Liegenden und der bis 800 m mächtigen Phycodenschiefer-Formation im Hangenden. Die Phycodendachschiefer-Formation besteht aus grüngrauen, monotonen, oft schlecht geschichtet erscheinenden Schluffschiefern bzw. Schluffphylliten. Vereinzelt sind magnetitführende Quarzite bis Quarzitschiefer eingelagert. Die Phycodenschiefer-Formation besteht aus teils monotonen, teils sandstreifigen Tonschiefern bzw. Tonphylliten (BERGER, 2008).

Die Schichtglieder der Gräfenenthal-Gruppe (Griffelschiefer, Hauptquarzit und Lederschiefer) sowie silurische bis unterdevonische Kiesel- und Alaunschiefer, Graphitphyllite und teils mächtige Metabasite sind auf den zentralen, tektonisch stark gegliederten Teil der Lößnitz-Zwönitz-Synklinale beschränkt. Westlich des Projektgebietes sind diese Gesteine in der Lagerstätte Schlema-Alberoda stark mit Uragängen durchsetzt. Die Verteilung der Uranmineralisation auf den Gangflächen zeigt die Kontrolle dieser durch Metabasite und kohlenstoffführende Gesteine. Die Bergbaumonographie „Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda“ (Bergbau in Sachsen Band 14, HILLER u. a., 2008) enthält eine detaillierte Darstellung dieser Gesteine und der tektonischen Verhältnisse. Im Projektgebiet ist innerhalb dieser Gesteine keine bedeutende Uranmineralisation bekannt. Bei Hormersdorf wurde jedoch ein kleines Antimonvorkommen nachgewiesen.

Karbon bis Perm

Granite: Die Bedeutung der geochemisch definierten Granit-typen wurde schon angesprochen. Auch in petrographischer Hinsicht sind die Granite vielfältig. Der Biotitgranit vom Typ Kirchberg tritt in grob- bis feinkörnigen Varietäten auf, wobei in den grobkörnigen Varietäten magnesiumreiche und in den feinkörnigen Varietäten eisenreiche Biotite vorherrschen. Die Feldspäte sind zonare Plagioklase und Kalifeldspäte, teils mit deutlicher Mikroklingitterung, teils – vor allem bei größeren Kristallen – mit albitischen Entmischungslamellen. In Spuren treten Magnetit, Ilmenit, Rutil und Zirkon auf (FÖRSTER u. a., 2008).

Die Zweiglimmergranite vom Typ Bergen führen als Glimmer eisenreichen Biotit, Siderophyllit und Muskovit. Die Feldspäte

sind zonare Plagioklase und Kalifeldspäte, die häufig Mikroklitterung, selten Perthit zeigen. Akzessorische Minerale sind Apatit, Turmalin, Andalusit, Zirkon, Monazit und Xenotim (FÖRSTER u. a., 2008).

Die Lithiumglimmergranite vom Typ Eibenstock sind im Projektgebiet die volumenmäßig bedeutendsten Granite. Neben fein- bis grobkörnigen und porphyrischen Varietäten treten auch Aplite, Pegmatite und Greisen auf. Mit zunehmender Fraktionierung sind die vorherrschenden Glimmer zunächst Siderophyllit, dann Protolithionit und schließlich Zinnwaldit. Muskovit tritt als Anwachssäume oder in Verdrängung anderer Glimmer auf. Die Feldspäte sind anorthitarmer Plagioklas und perthitreicher Kalifeldspat, teils mit Albitsäumen. Sowohl die Plagioklase als auch Kalifeldspäte sind phosphorreich. Akzessorisch treten Ilmenit, Rutil, Magnetit (in gering fraktionierten Varietäten), Topas, Apatit, Turmalin, Zirkon, Monazit und Xenotim auf. Aus Pegmatiten im Raum Ehrenfriedersdorf ist eine Reihe seltener Phosphate bekannt (FÖRSTER u. a., 2008).

Gesteinsgänge: Als älteste Gangbildungen treten im Projektgebiet Lamprophyre auf. Diese treten in sehr verschiedener Orientierung und Mächtigkeit (wenige Zentimeter bis wenige Meter) auf. Neben steil stehenden Gängen, die die Schieferung durchschlagen, gibt es auch sogenannte Lagergänge, die konkordant zur Schieferung verlaufen. Besonders im Bereich der Schwarzenberger Kuppel sind „Doppelgänge“ zu beobachten, wo am Rand eines Lamprophyrgangs später nochmals ein Mikrogranitgang intrudiert ist. Die Gangfüllung ist oft stark zerklüftet. Der Lamprophyr erscheint im Handstück als gleichmäßig fein- bis feinkörniges massiges Gestein von dunkelgrauer bis schwarzer, auch dunkel bräunlicher oder grünlicher, Farbe. Im Dünnschliff zeigt sich ein porphyrisches Gefüge mit Einsprenglingen von Biotit, Plagioklas und Pyroxenen bis 0,8 mm Größe. Die Grundmasse wird überwiegend von Plagioklas und Biotit gebildet. Mit wenigen Ausnahmen kann das Gestein als Kersantit angesprochen werden. Einzelne Proben zeigen erhöhte Zinn- und Lithiumgehalte, die als Folge einer späteren Überprägung durch die Mineralisationen der Sn-W-Assoziation interpretiert werden. Frühere Datierungen ergaben relativ junge Intrusionsalter um 305 Millionen Jahre, neuere Datierungen lassen dagegen Alter um 324 Millionen Jahre korrekt erscheinen (LEONHARDT, 1998). Letzteres Alter (überwiegend älter als die Granite) steht mit den durch Kartierung und Untertageaufschlüsse nachgewiesenen Verbandsverhältnissen im Einklang.

Mikrogranitgänge repräsentieren im Projektgebiet die jüngeren Bildungen aus granitischen Schmelzen. Diese bis mehrere Meter mächtigen Gänge zeigen verschiedene Abstufungen von gleichmäßig-feinkörnigem bis porphyrischem Gefüge, welches Anlass für die historische Bezeichnung „Quarzporphyr“ war. Das Gestein ist häufig hellgrau, aber auch hellrötlich, gelblichbraun, mittel- oder dunkelgrau. In einer

Grundmasse aus innig verwachsenem Quarz und Feldspat treten vereinzelt Hellglimmer, häufiger idiomorphe Quarze von 1 bis 4 mm Größe und Feldspäte bis 5 mm Größe auf (LEONHARDT, 1998).

Lokal kommen auch Lagergänge, die konkordant in der Schieferung des Umgebungsgesteins liegen, vor. Diese können Mächtigkeiten von 10 m und mehr erreichen, z. B. im Bereich der Wolframvererzung von Aue-Bärengrund (LEONHARDT, 2009a). Einige Gangschwärme sind an Granithochlagen gebunden; besonders im Raum Geyer-Ehrenfriedersdorf, am Buchholz-Granit westlich von Annaberg-Buchholz, sowie im Südosten des Projektgebiets an der Reitzenhainer Gneiskuppel. Dort ist das Gestein teilweise metasomatisch verändert (vergreist, siehe Anlage 1).

Känozoikum

Basalte und unterlagernde Sedimente: Unter den basaltischen Decken des Scheibensbergs und des Pöhlbergs haben sich kleine Reste von eozänen Sedimenten erhalten, die maximal 40 m mächtig werden. Es handelt sich um überwiegend fluviatile Sedimente, die ins Eozän gestellt werden. Generell folgen über Kiesen mit bis zu faustgroßen Geröllen Sande, die teilweise kreuzgeschichtet sind. Zum Hangenden schalten sich vermehrt Tonlagen ein, die auf Grund ihres Schwermineralspektrums und des Auftretens von Montmorillonit zumindest teilweise als Tuffe angesprochen werden können. Als Ausbruchszentrum dieser vulkanischen Aschen wird der Eruptivkomplex von Oberwiesenthal angenommen (LEONHARDT, 1998).

Die Basalte können nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung als Augit-Nephelinite und Augit-Leucitite klassifiziert werden. Augiteinsprenglinge bis 1 cm Größe sind das makroskopisch am besten erkennbare Mineral. Im Dünnschliff können neben den Feldspatvertretern Nephelin und Leucit noch Magnetit und kleinere Mengen von Biotit und Perowskit nachgewiesen werden. Vereinzelt treten noch Analcim und randlich serpentinisierter Olivin sowie als sekundäre Bildungen Karbonate auf. Die Aufschlüsse am Scheibenberg zeigen die Natur der Basaltkörper als Reste von Lavaströmen, die sich in ehemaligen Tallagen ausbreiteten. Durch die Heraushebung des Erzgebirges und die fortschreitende Erosion hat sich mittlerweile das Relief umgekehrt: Die umliegenden Hochlagen sind abgetragen, Teile des Talbodens haben sich, geschützt durch die erosionsresistente Basaltdecke, als Tafelberge erhalten. Diese Deckenreste zeigen ein Abkühlgefüge in Form von ein bis zwei Meter dicken und bis zu 20 m hohen Basaltsäulen. An der Basis sind diese häufig durch Stauwassereinfluss mehr oder weniger stark zersetzt.

Für den Basalt am Scheibenberg wurde ein K/Ar-Alter von $21,5 \pm 1,8$ Millionen Jahren bestimmt, was dem Untermiozän entspricht (PFEIFFER u. a., 1984).

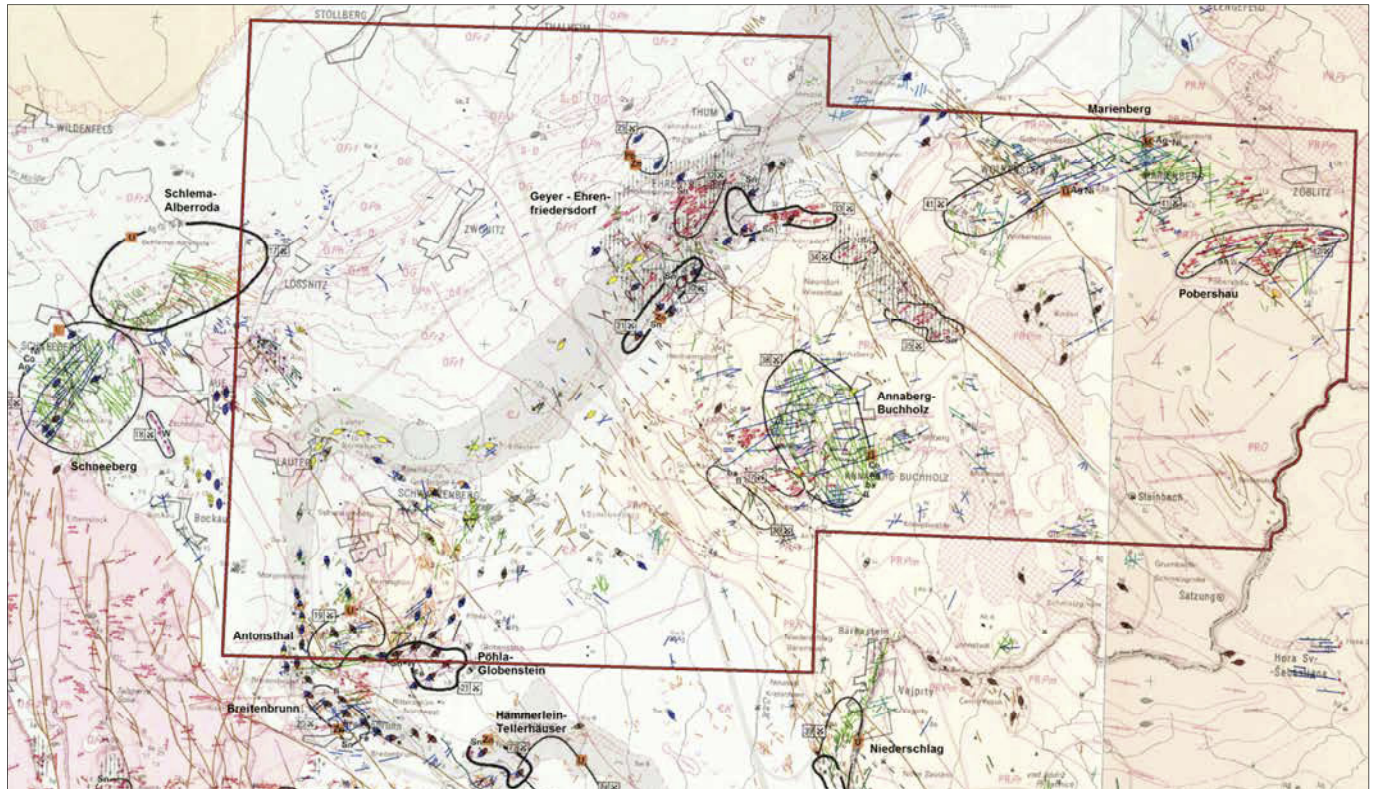


Abb. 2-6: Der Ausschnitt aus der Karte Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory zeigt die wichtigsten Vorkommen im Projektgebiet und dessen Umgebung (siehe auch Anlage 1). Erläuterungen zur Karte finden sich in HÖSEL u. a. (1997).

Weitere kleine Stöcke und Gänge von vergleichbarer Lithologie sind im gesamten Zentralteil des Projektgebiets (umrissen durch das Kartenblatt 5443 Annaberg-Buchholz West) zu finden. So ist z. B. am Waldschachtgang des in Kapitel 2.4.3 beschriebenen Schwespatvorkommens Schlettau auch ein Basaltgang untertägig erschlossen worden (FRÖLICH, 1957).

2.1.3 Mineralisationen

Das Projektgebiet beinhaltet die strukturkontrollierten Mineralisationen von Marienberg, Pöbershau, Annaberg und Geyer-Ehrenfriedersdorf sowie die lithologisch kontrollierten Mineralisationen im Umfeld der Schwarzenberger Kuppel und von Geyer. Einen Überblick über die im Untersuchungsgebiet bekannten Mineralvorkommen gibt Abb. 2-6. Ökonomische Bedeutung erlangten in der Vergangenheit vor allem verschiedene Typen von struktur- und lithologisch kontrollierten Zinn- und Wolfram-Mineralisationen sowie strukturkontrollierte Fluorit-Baryt- und Polymetallmineralisationen (Cu, Pb, Zn, Ag, U, Co, Ni). Bekannt sind weiterhin lithologisch kontrollierte Zn-Mineralisationen (Jahnsbach, Zinnskarne von Geyer) mit vergleichsweise geringen Vorräten, sowie unbedeutende Mineralisationen von Antimon, z. B. bei Hormersdorf.

Die Sn-W-Mineralisationen des Projektgebiets werden durch die räumliche Lage verschiedener Typen von Granitintrusio-

nen kontrolliert, welche umfassend von FÖRSTER u. a. (1998, 2008) beschrieben und klassifiziert wurden (vgl. Tabelle 1):

- Granit Typ Eibenstock: fluor- und phosphorreich, mit Lithiumglimmer → Zinn-spezialisiert,
- Granit Typ Bergen: fluorarm, Zweiglimmergranit → Wolfram-spezialisiert,
- Granit Typ Kirchberg: fluorarm, Biotitgranit → offensichtlich ohne metallogenetische Spezialisierung.

Die Zinn-Mineralisationen sind ausschließlich an den Granit Typ Eibenstock gebunden, der einen bedeutenden Teil des Projektgebiets unterlagert und nur an wenigen Stellen austreicht. Im Zentrum und Ostteil des Projektgebiets befindet sich eine gut strukturierte Kuppel mit einer nach Südosten hin offenen ringartigen Ausbildung. Über den Hochlagen dieser Kuppel befinden sich die strukturkontrollierten (z. B. Ehrenfriedersdorf, Wiesenbad) und die lithologisch kontrollierten (Geyer) Zinn- und Polymetallmineralisationen des mittleren Erzgebirges (Abb. 2-8). Die weiter westlich austreichende Granitkuppel des Typs Eibenstock kontrolliert gemeinsam mit den Karbonatgesteinen der Metasedimente der Thum-, Jáchymov- und Klínovec-Gruppe die Zinnvererzungen von Pöhl-Globenstein, Antonsthal und Bernsbach. Im Osten des Untersuchungsgebietes befinden sich über einer weiteren Hochlage dieses Granits die Zinnmineralisati-

onen von Pobershau und die silberführenden Polymetallmineralisationen von Marienberg. Die silberführenden strukturell kontrollierten Mineralisationen von Annaberg befinden sich im Zentrum des Untersuchungsgebietes über der Innenseite der Granitkuppel des Mittleren Erzgebirges.

Tabelle 1: Zuordnung der im Modellgebiet auftretenden Granitaustriche zu den Granittypen

Granitaustrich	Granittyp
Greifenstein-Granit	Typ Eibenstock
Ziegelberg-Granit	Typ Eibenstock
Geyersberg-Granit	Typ Eibenstock
Wiesenbad-Granit	Typ Eibenstock
Buchholzer Granit	Typ Eibenstock
Aue-Granit	Typ Kirchberg
Neuwelt-Granit	Typ Bergen
Schwarzenberg-Granit	Typ Bergen
Lauter-Granit	Typ Bergen
Erla-Granit	Typ Bergen

Im Südwesten des Untersuchungsgebietes befinden sich sowohl lithologisch kontrollierte (Bernsbach, Antonsthal, Pöhla) als auch strukturell kontrollierte Wolframmineralisationen (Aue-Bärengrund). Diese Wolframmineralisationen stehen in räumlichem Zusammenhang mit dem Granit vom Typ Bergen, dessen Intrusionen den Granit Typ Eibenstock ringartig umgeben.

Bedeutendere Fluorit-Barytmineralisationen (Marienberg-Lauta, Gehringswalde, Schlettau) sind zumeist als jüngere

Mineralisationen an NW-SE streichende größere Bruchtektonik bzw. anschaarende Strukturen gebunden. Fluorit tritt weiterhin als Nebenkompone in vielen anderen Mineralisationstypen auf.

Das in Abb. 2-7 dargestellte Sn-Explorationsmodell gibt einen schematischen Überblick über die räumliche Lage der Sn-Lagerstätten des Erzgebirges in Bezug zu den verschiedenen Granittypen und wesentlichen strukturellen und lithologischen Fallen. Relevant für das Untersuchungsgebiet sind dabei die Lagerstättentypen Ehrenfriedersdorf, Skarne Westerzgebirge und Geyer.

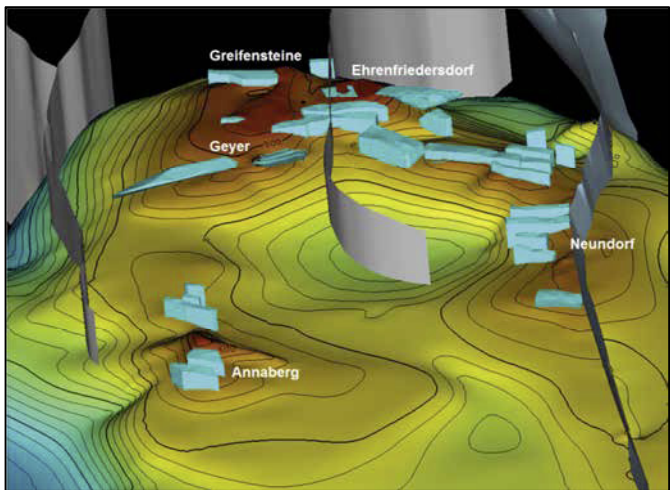


Abb. 2-8: Granithochlage des mittleren Erzgebirges mit strukturkontrollierten Zinnlagerstätten (BEAK, unveröffentlicht)

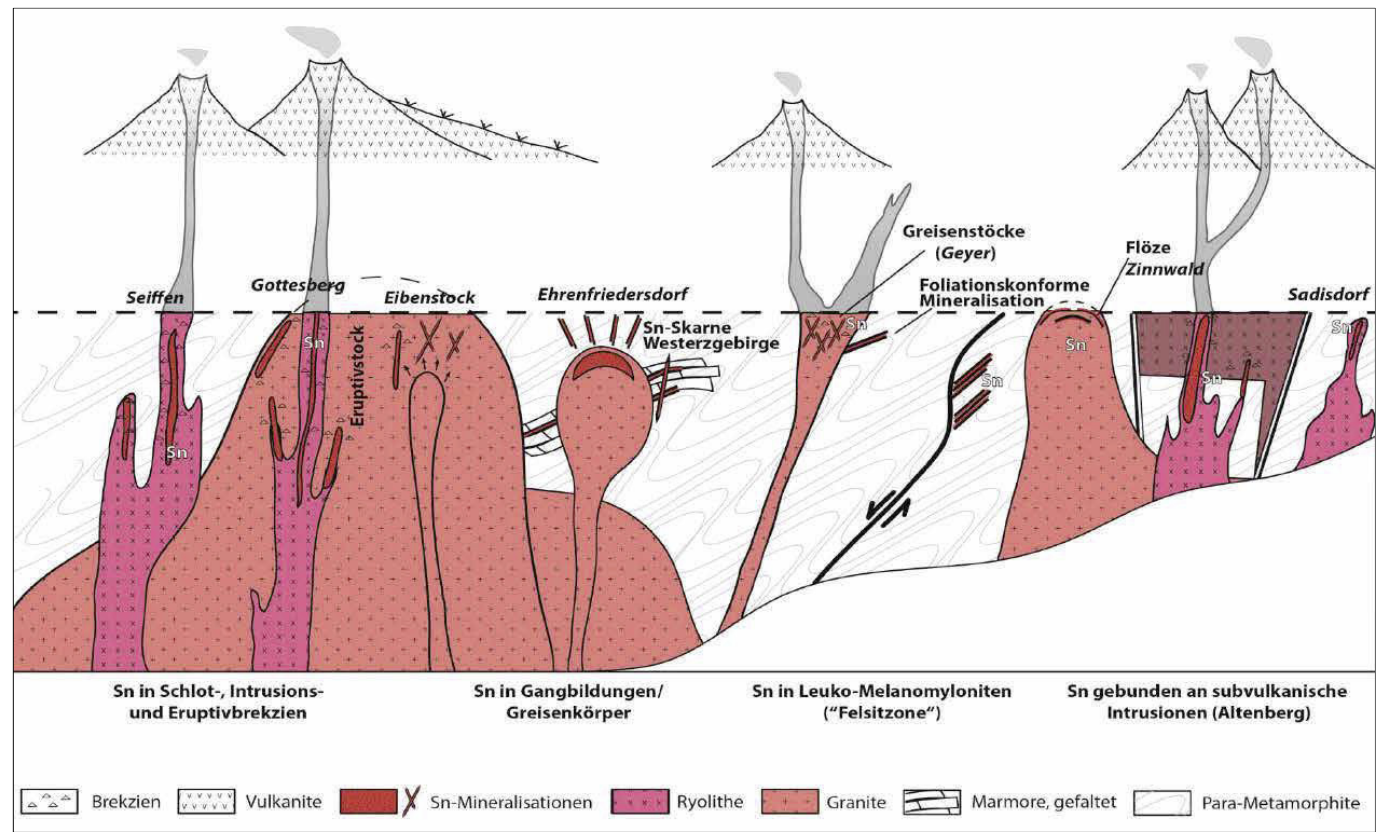


Abb. 2-7: Zusammenfassendes Lagerstättenmodell der granitkontrollierten Sn-Lagerstätten des Erzgebirges (BARTH u. a., 2015)

2.2 Bergbaugeschichte

2.2.1 Überblick

Im Vergleich zum Beginn des Bergbaus im Osterzgebirge mit dem Silberfund in Freiberg 1168 und den Abbau von Zinnseifen im böhmischen Krupka im 13. Jh. beginnt der nachgewiesene Bergbau im mittleren Erzgebirge rund ein Jahrhundert später. Die ältesten Bergbauzeugnisse belegen hier ebenfalls den Abbau von Zinnseifen, der 1278 in Ehrenfriedersdorf erstmals urkundlich belegt ist. Der erste Höhepunkt des Bergbaus in dieser Region wird durch die Gründung der Bergstädte Annaberg (1496) und Marienberg (1521) und den in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts florierenden Silberabbau markiert. In dieser Zeit wurden die vorhandenen mineralogischen und lagerstättenkundlichen Kenntnisse durch Georg Agricola (1494 – 1555) erstmals systematisch in dessen Hauptwerken *De natura fossilium libri X* (1546) und *De re metallica libri XII* (1556 posthum erschienen) zusammengefasst.

Der Rückgang der Silbergewinnung in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts nach dem Abbau der in geringer Tiefe vorhandenen Vorräte führte zu einer höheren Bedeutung des Kupfer- und Zinnbergbaus. Durch den Dreißigjährigen Krieg kam der Bergbau vielerorts zum Erliegen und auch in den folgenden Jahrzehnten war nur eine geringe Erholung zu verzeichnen. In dieser Zeit wurde lokal der Kobaltabbau zur Blaufarbenherstellung bedeutsam. Ein zweiter Höhepunkt der Silber- und Zinnengewinnung im ausgehenden 18. und beginnenden 19. Jahrhundert geht auf die Reformen Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebras (1740 – 1819) zurück, der durch die Einführung neuer Technologien eine Aufwältigung der alten Gruben und ein Fortschreiten des Abbaus in größere Tiefen ermöglichte. Die zunehmende Erschöpfung der Vorräte, die Konkurrenz durch überseeische Silberproduzenten und die Einführung des Goldstandards im Deutschen Reich 1873, mit der die jahrhundertelange Bedeutung von Silber als Münzmetall stark abnahm, führten zu einer Einstellung des Silberbergbaus Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts (Marienberg 1899, Freiberg 1913).

Zwischen dem Ersten und dem Zweiten Weltkrieg wurden mehrere Versuche zur Wiederaufnahme und Ausweitung des Bergbaus insbesondere auf Zinn unternommen, die hinter den Erwartungen zurückblieben. Nach dem Zweiten Weltkrieg rückte 1946/47 die Uranprospektion und –gewinnung durch die spätere SDAG Wismut in das Zentrum des bergbaulichen Interesses. In den Jahren 1947 bis 1954 wurden zahlreiche auch kleine und kleinste Uranlagerstätten im mittleren Erzgebirge erkundet und abgebaut. Nach dieser Phase konzentrierte sich der Uranabbau auf wenige größere Lagerstätten wie Schlema-Alberoda am Westrand des Prognosegebiets. Daneben wurde auch die Zinnengewinnung im Raum

Geyer-Ehrenfriedersdorf wieder aufgenommen. Nach dem Ende der DDR erfolgten 1991 die Einstellung des Erzbergbaus und die Einleitung verstärkter Sanierungsmaßnahmen von bergbaulich belasteten Flächen.



Abb. 2-9: Erzwäsche in den Annaberger Gruben. Darstellung auf dem Annaberger Bergaltar, um 1522.



Abb. 2-10: Transport des abgebauten Gesteins mit Eimern und Schubkarren; Zerkleinerung und Auslesen der Erzstücke. Darstellung auf dem Annaberger Bergaltar, um 1522.

2.2.2 Annaberg/Scheibenberg/Schleittau

Im Lagerstättendistrikt Annaberg wurden nach Angaben in BAUMANN u. a. (2000) mindestens 350 t Silber, 8700 t Kobalt, 2600 t Kupfer, 205 t Zinn und 496 t Uran (1590 t nach HÖSEL u. a., 1997) gefördert. Wahrscheinlich begann der Bergbau in diesem Revier im 15. Jahrhundert mit dem Abbau von Zinnseifen bei Buchholz und im Seifengrund bei Dörfel. Bereits 1477 ist ein Silberabbau in Schleittau belegt, der aber nie größere Bedeutung erlangte. Der Silberfund bei Frohnau im Jahre 1492 veranlasste Herzog Gregor den Bärtigen im Jahr 1496 zur Gründung der Bergstadt Annaberg. Die wuchs zusammen mit der benachbarten 1501 gegründeten Bergstadt St. Katharinenberg im Buchholz rasch auf mehr als 10.000 Einwohner an. Der erste Höhepunkt der Silberproduktion wurde bereits um 1500 mit etwa 5500 kg Silber pro Jahr erreicht. Im Jahr 1514 sind 38 aktive Silbergruben belegt

(MÜLLER, 1894). Eine weitere Steigerung der Produktion setzte in den 1530er Jahren mit der Entdeckung der reichen Silbererze in der Himmlisch-Heer-Fundgrube ein. Bis 1550 wurden mit dem Dorothea-Stolln Abbautiefen von 110 m erreicht (LAHL, 1992); die Gesamtbelegschaft lag bei über 2000 Bergleuten (MÜLLER, 1894). In dieser Zeit wirkte unter anderem der Mathematiker Adam Ries (1492 – 1559) als Bergbeamter in Annaberg. Ein bemerkenswertes kunsthistorische Zeugnis aus dieser Epoche ist der Annaberger Bergaltar, der auf vier von Hans Hesse 1522/23 geschaffenen Bildtafeln detailreich den Abbau und die Verarbeitung des Silbererzes zeigt (s. Abb. 2-9 bis Abb. 2-13). Ab 1565 ging durch den Abbau der Reicherzzonen in geringen Tiefen die Silberproduktion stetig zurück. Zur gleichen Zeit erlangte die Kupfergewinnung u. a. in der St.-Briccius- und Heilige-Dreifaltigkeit-Fundgrube größere Bedeutung (1523 bis 1712 etwa 1480 t (BITTMANN, 2014), davon allein im Zeitraum 1552 – 1565 ca. 340 t Kupfer (BAUMANN u. a., 2000)). Die Entwicklung des Silberbergbaus im benachbarten Scheibenberg verlief nach demselben Muster: 1515 erster Silberfund, 1522 Gründung der Bergstadt Scheibenberg, ab 1545 Nachlassen der Produktion. Nach dem Dreißigjährigen Krieg begann mit der Gründung des Blaufarbenwerks im Sehmatal die Kobaltförderung zur Farbherstellung. Nach dem Abbau der bei der Silbergewinnung stehen gelassenen Gangzonen und der Aufarbeitung der Halden verlagerte sich der Schwerpunkt des Bergbaus auf die Gruben Markus Röhling und St. Andreas. Der Höhenpunkt des Kobaltbergbaus wurde im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts erreicht; im Jahr 1857 erfolgte aber bereits die Einstellung der Kobaltgewinnung. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Grube Markus Röhling mit 411 m die größte im Annaberger Revier erreichte Tiefe (LAHL, 1992). Ab 1730 wurde zusätzlich wieder in geringem Umfang Silber abgebaut. Die Schließung der letzten Silbergruben (St.-Briccius- und Himmelfahrt-Fundgrube) erfolgte 1892, nachdem in den Jahren 1853 bis 1870 nochmals umfangreiche, aber erfolglose Arbeiten zur Aufwältigung der alten Silbergruben auf dem Himmlisch Heer Stehenden unternommen wurden (LAHL, 1992). Die letzte kurze Betriebsperiode begann 1946 mit der Uranerkundung durch die SAG Wismut. Der Abbau konzentrierte sich auf das Zentralrevier im Bereich der Gruben Himmlisch Heer, Uranus und Zeppelin in Tiefen bis 245 m (LAHL, 1992). Mit der Schließung von Schacht 116 endete diese Betriebsperiode im Jahr 1959.

In den 1950er Jahren wurden bei Schlettau Gesamtvorräte von 61.950 t Schwespat in drei Erzgängen erkundet (FRÖLICH, 1957).

In den Jahren 1966 bis 1991 waren die Zinnvorkommen bei Dörfel und Buchholz Gegenstand mehrerer Erkundungsetappen, in deren Ergebnis für die Struktur Buchholz Außerbilanzvorräte von 8380 t Zinn berechnet wurden (HÖSEL u. a., 1991).



Abb. 2-11: Herstellung von Silbermünzen. Silber war über Jahrhunderte das wichtigste Münzmetall im Mitteleuropa, bis sich Ende des 19. Jahrhunderts der Goldstandard durchsetzte. Darstellung auf dem Annaberger Bergaltar, um 1522.



Abb. 2-12: Schmelzöfen im Annaberger Bergbau. Darstellung auf dem Annaberger Bergaltar, um 1522.



Abb. 2-13: Darstellung verschiedener bergmännische Anlagen im 16. Jahrhundert. Links wird ein neuer Stollen vorgetrieben. Darstellung auf dem Annaberger Bergaltar, um 1522.



Abb. 2-14: Georg der Bärtige (1471 – 1539), Herzog von Sachsen (Albertiner Linie) veranlasste 1496 die Gründung der Stadt Annaberg



Abb. 2-15: Der Rechenmeister und Annaberger Bergbeamter Adam Ries (1492 – 1559), Holzschnitt um 1550

2.2.3 Aue/Zschorlau/Bockau

Im Gebiet von Bockau währte der Zinnbergbau von spätestens 1534 bis 1847. Nach unvollständig erhaltenen Unterlagen betrug die Zinnproduktion mindestens 920 Zentner (HÖSEL, 1969). Neben Zinnhängen standen hier auch flach einfallende Erzlager (sog. Zwitterlager) im Abbau. Außerdem wurde in der Erzbaum-Christi-Fundgrube Smirgel (ca. 1700 bis 1840) und in der Drandorf-Fundgrube Pyrit (1810 bis 1860) gefördert. Im 17. Jahrhundert verlagerte sich der Schwerpunkt des Bergbaus nach Norden zum Heidelberg. Dort wurde 1661 zum ersten Mal Zinn gefunden. Bereits im Folgejahr ging die erste Schmelzhütte in Betrieb und um das Jahr 1700 waren etwa 40 Zinngruben im Betrieb. Die Förderung ging schon nach wenigen Jahrzehnten zurück und war zu Beginn des 19. Jahrhunderts nur noch unbedeutend. Zur gleichen Zeit standen in mehreren Gruben in der Umgebung von Aue Eisenerzgänge im Abbau. Eine Besonderheit des Bergbaus im Auer Revier sind die Kaolinvorkommen der Zeche St. Andreas, die um 1700 bei der Eisenerzgewinnung entdeckt wurden. Ab 1709 war diese Grube für 150 Jahre der alleinige Kaolinelieferant für die Porzellanmanufaktur Meißen (STUTZER, 1905). An der Hakenkrümme östlich von Aue wurde nach 1945 nochmals kurzzeitig Uran abgebaut.

Die Wolframlagerstätten von Aue-Bärengrund und Zschorlau werden vom Modellgebiet nur randlich berührt. Während in Zschorlau knapp westlich des Modellgebiets von 1917 bis 1955 Wolfram abgebaut wurde, fanden in Aue-Bärengrund bisher nur Erkundungsarbeiten in den Jahren 1958 bis 1962 statt.

2.2.4 Geyer/Ehrenfriedersdorf

Die Lagerstätten Ehrenfriedersdorf und Geyer wurden bereits in den Bänden 1 und 4 der Reihe Bergbau in Sachsen (HÖSEL u. a. 1994, 1996) vorgestellt. Dort finden sich auch ausführliche Informationen zur Bergbaugeschichte, die hier nur kurz referiert werden.

In Ehrenfriedersdorf ist der Zinnbergbau seit 1278 urkundlich belegt. Im benachbarten Geyer reicht der Bergbau mindestens bis 1315 zurück. Ende des 14. Jahrhunderts wurde durch den Bau des 4,9 km langen Röhrrgrabens Aufschlagwasser für Gruben und Pochwerke herangeführt und zu diesem Zweck der Greifenbach-Stauweiher (bzw. Geyerscher Teich) und weitere kleinere Stauweiher (s. Abb. 2-16) angelegt.



Abb. 2-16: Pingen im Greifensteingebiet bei Geyer im Manuskript der Ersten Kursächsischen Landesaufnahme (aufgenommen von Matthias Öder in den Jahren 1586 bis 1614; Deutsche Fotothek). Die Greifensteine befinden sich unterhalb der Bildmitte, rechts sind die Stauweiher am Greifenbach zu erkennen, Süden ist oben.

Nach einem Rückgang des Bergbaus zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges stieg die Förderung bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts wieder stark an. In dieser Zeit kam es durch Raubbau der in geringer Tiefe gelegenen Reicherzzonen zu den Pingeneinbrüchen an der Vierung (1745) und bei Geyer (1791 bis 1807). BAUMANN u. a. (2000) nennen für den Zeitraum 1692 bis 1847 in Geyer eine Zinnförderung von 3600 t. Dabei waren in den Jahren 1740/41 in diesem Bereich 17 Gruben mit rund 200 Mann Belegschaft aktiv. Der Bergbau in Geyer wurde 1913 eingestellt. In Neundorf fand ebenfalls in geringem Umfang Zinnbergbau statt, der Mitte des 19. Jahrhunderts eingestellt wurde (HÖSEL u. a., 1985).

In Ehrenfriedersdorf wurden die bestehenden Gruben 1847 zur Vereinigt-Feld-Fundgrube zusammengeschlossen. Um 1882 wurde der Bergbau zunächst eingestellt. Im Ersten Weltkrieg begann eine weitere kurze Betriebsperiode (Abb. 2-17 bis Abb. 2-19), die bereits 1922 wieder endete.



Abb. 2-17: Rolle im Bergwerk Vereinigt Feld, Ehrenfriedersdorf um 1930 (Aufnahme von Arno Heinicke; Deutsche Fotothek)



Abb. 2-18: Separation des Zinnerzes auf Klaubebühnen, Ehrenfriedersdorf um 1920 (Aufnahme von Arno Heinicke; Deutsche Fotothek)



Abb. 2-19: Ehrenfriedersdorf, Schacht und Halden am Sauberg, um 1920 (Aufnahme von Arno Heinicke; Deutsche Fotothek)

Ab 1936 unternahm die Sachsenerz GmbH weitere Erkundungen und bereitete die Wiederaufnahme des Bergbaus vor. Diese erfolgte jedoch erst 1948 mit der bisher letzten Betriebsperiode, die 1991 endete. In dieser Zeit wurde das West- und Nordwest-Feld sowie das Feld Röhrenbohrer (östlich der Greifensteine) im Tiefbau erschlossen. Für diese Be-

triebsperiode nennen BAUMANN u. a. (2000) eine Zinnproduktion von 10.650 t.

Erkundet, jedoch nicht abgebaut wurden in dieser Zeit auch die Felder Neundorf und Wiesenbad sowie die Skarnlagerstätten Geyer-SW und Geyer-NW.

Im Gebiet von Jahnsbach wurden von 1740 bis 1855 mit Unterbrechungen silberhaltige Blei-Zink-Erze abgebaut. Dabei wurde ein flach einfallendes, auf etwa 200 m streichender Länge aufgeschlossenes Lager auf 50 m Breite bis zu einer Tiefe von 50 Metern abgebaut. Für die Zeiträume 1741 bis 1749, 1772 bis 1785 und 1829 bis 1837 ist eine gesamte Silberausbeute von nur 26 kg belegt. Weitere Untersuchungen in den Jahren 1962 bis 1985 wiesen Restvorräte von 22.800 t Zink und 6600 t Blei nach (HAAKE & KÜHNE, 1985).

2.2.5 Marienberg/Wolkenstein/Pobershau

Für den Lagerstättendistrikt Marienberg-Pobershau geben BAUMANN u. a. (2000) die Gewinnung von rund 4000 t Zinn, 790 t Silber, 1000 t Kupfer, 120 t Uran und 45.000 t Flussspat an.

Nach archäologischen Untersuchungen wurde schon Ende des 12. bis zum Beginn des 14. Jahrhunderts Eisenerz abgebaut (HAJEK & IHLE, 2008). Bereits 1484 begann der Kupferbergbau auf der Mönchsgrube bei Pobershau. Aber erst die 1519 beginnenden Silberfunde veranlassten Herzog Heinrich den Frommen zur Gründung der Bergstadt Marienberg. Die planmäßige Anlage der Stadt auf einem schachbrettartigen Grundriss durch den vormaligen Freiburger Bürgermeister Ulrich Rülein von Calw wurde zum Vorbild für ähnliche Stadtgründungen (z. B. die Bergstadt Platten, heute Horní Blatná, gegründet 1532).

Der Höhepunkt des Silberbergbaus wurde in den Jahren 1540 bis 1560 erreicht. Für das Jahr 1540 ist die höchste jährliche Silberproduktion mit 10.794 kg belegt (HAJEK & IHLE, 2008). In den folgenden Jahrzehnten verlagerte sich die Silbergewinnung aus dem Stadtgebiet auf neu entdeckte periphere Vorkommen im Raum Lauta (Elisabeth Flacher und andere Gänge) sowie südlich von Marienberg (Gelobt Land). Die dortigen Gänge der Quarz-Polymetall-Assoziation führten vor allem silberreiche Kupfererze, wodurch die Kupferproduktion zunahm. Für den Zeitraum 1526 bis 1712 gibt BITTMANN (2014) eine Förderung von 12.943 $\frac{1}{4}$ Zentner und 38 $\frac{1}{2}$ Pfund Kupfer (etwa 655 t) an. Bei Drebach wurden auch Gänge mit ähnlichen Paragenesen wie im Freiburger Lagerstättendistrikt entdeckt, die ebenfalls auf Silber abgebaut wurden. Daneben gewann auch der Zinnbergbau in Pobershau an Bedeutung.



Abb. 2–20: Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra (1740 – 1819) führte als Bergmeister von Marienberg (1767–70) Reformen ein, die dem Silber- und Zinnabbau neuen Aufschwung gaben.

In der St. Ursula Fundgrube soll bereits 1545 die für damalige Verhältnisse beachtliche Tiefe von 400 m erreicht worden sein. Weitere wichtige Zinngruben waren in dieser Zeit die Christoph-, die Vier-Brüder-, die Schießwecken- und die Zinnerne-Flasche-Fundgrube in Pobershau. In geringerem Umfang wurde auch in Lauta sowie Wolkenstein und Gehringwalde Zinn abgebaut.

Durch den Dreißigjährigen Krieg (1618 – 1648) kam der Bergbau mit Ausnahme von vier Zinngruben zum Erliegen. Die Zahl der Bergleute ging auf weniger als 150 zurück und auch nach dem Westfälischen Frieden erholte sich der Bergbau nur im geringen Maße (HAJEK & IHLE, 2008). Zur gleichen Zeit wurde aber auch die Gewinnung der bis dahin uninteressanten Metalle Wismut und Kobalt begonnen, zu der sich im 18. Jahrhundert noch die in geringerem Umfang betriebene Gewinnung von Eisenerzen gesellte. Die wirtschaftlichen und politischen Folgen des für Sachsen katastrophal verlaufenen Siebenjährigen Kriegs (1756 – 1763) führten zu einem erneuten Niedergang des Bergbaus.

Die Einsetzung von Trebras als Bergmeister führte ab 1767 zur Umsetzung zahlreicher Reformen zur Anhebung der Silber- und Zinnproduktion. Durch die Anlage neuer Wasserlöstollen und den Einbau von Wassersäulenmaschinen war ein Abbau in größeren Tiefen möglich. Im Jahr 1772 wurde

dadurch wieder eine Silberausbeute von über 4000 Mark (entsprechend 936 kg) erzielt (HAJEK & IHLE, 2008). Der Rückgang der Silbergehalte unterhalb der Zementationszone und die veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen führten im 19. Jahrhundert erneut zu rückläufiger Produktion. Die Marienberger Silberbergbau Gesellschaft vereinigte 1861 die verbleibenden Gruben. Die Förderung erfolgte hauptsächlich durch den Rudolfschacht, der 1877 noch eine dampfbetriebene Fördermaschine erhielt. Schließlich führte der weiter fallende Silberpreis 1899 zur Einstellung des Bergbaus.

In den Jahren 1937 bis 1939 wurde in Pöbershau auf Zinn und Wolfram erkundet. Dazu wurde der Wildberger Richtschacht auf 300 m abgeteuft, letztlich auf Grund zu geringer Metallgehalte aber kein Abbau begonnen.

In den Jahren 1947 bis 1954 wurde der Lagerstättendistrikt auf Uran erkundet und die gewinnbaren Mengen wurden vollständig abgebaut. Dabei konzentrierte sich der Bergbau im so genannten Objekt 5 (FEIRER & HILLER, 1995) auf die Umgebung von Lauta, Gehringwalde und Wolkenstein. Mit Hilfe von 49,2 km neuen Auffahrungen wurden mehr als 150.000 m² Gangfläche abgebaut und eine Teufe von 560 m erreicht (HAJEK & IHLE, 2008). Im Nachgang des Uranbergbaus wurde noch bis 1958/59 Flussspat auf dem Tscherper Flachen abgebaut (LANGE, 2000). In den Jahren 1976/77 brachte man bei Pöbershau nochmals Erkundungsbohrungen nieder, die unter anderem den unterlagernden Granit erreichten.

2.2.6 Schwarzenberg/Pöhl

Die älteste Nachricht über den Bergbau im Schwarzenberger Revier betrifft eine 1361 beim Kloster Grünhain in Betrieb stehende Grube. Um 1380 sind die Anfänge der Eisenerzgewinnung (aus flach lagernden Magnetitskarnen) bei Erla und auch der Abbau von Zinnseifen bei Breitenbrunn belegt. Das Schwarzwassertal entwickelte sich in den folgenden Jahrhunderten zu einem bedeutenden Standort der Eisengewinnung und -verarbeitung mit zeitweise acht Hammerwerken. Der Bergbau auf Eisenerze lief mit Unterbrechungen bis 1933. Zeitweise wurden auch größere Mengen an Zinn und Silber (z. B. an der Waschleithe) sowie Buntmetallen gewonnen. BAUMANN u. a. (2000) nennen für die letzte Betriebsperiode 1869 bis 1933 eine Fördermenge von 16.540 t Eisen, 160 t Mangan, 1080 t Zinkblende und eine kombinierte Silber- und Kupfermenge von 14 t. In den Jahren 1946 bis 1954 wurden durch die SAG Wismut in Grünstädte und Antonsthal (Grube Weißer Hirsch) insgesamt ca. 640 t Uran gewonnen. Neben den zahlreichen Magnetitskarnen wurde nördlich von Schwarzenberg und bei Bermsgrün in geringerem Umfang Bergbau auf Ganglagerstätten betrieben. Zu nennen sind hier die gelbe-Birke-Fundgrube, Treue Freundschaft, Unverhofft

Glück und Stamm Asser, die jeweils auf Wismut-Kobalt-Nickelerze bauten.

Im Süden des Schwarzenberger Reviers liegt die Komplexlagerstätte Pöhl-Globenstein – Hämmerlein – Tellerhäuser. Der zentrale und der südöstliche Lagerstättenteil sind Gegenstand der Bergbaumonografie „Die Komplexlagerstätten Tellerhäuser und Hämmerlein“ (Bergbau in Sachsen Band 17, SCHUPPAN u. a., 2012). Die nördliche Teillagerstätte Pöhl-Globenstein liegt etwa zur Hälfte im Projektgebiet und wird in der Monografie „Die polymetallische Skarnlagerstätte Pöhl-Globenstein“ (Bergbau in Sachsen Band 8, HÖSEL u. a., 2003) beschrieben. Hier wurden mindestens seit dem 17. Jahrhundert oberflächennahe flach einfallende Magnetitlager zur Eisengewinnung abgebaut. Um 1790 verzeichnen die Sächsischen Meilenblätter allein in Pöhl drei Hammerwerke (s. Abb. 2-21). Für die Neu-Silberhoffnungs-Fundgrube nennen BAUMANN u. a. (2000) für die Periode 1822 bis 1941 eine Magnetitförderung von rund 27.300 t (entspricht knapp 20.000 t Eisen). Eine umfangreiche Erkundung erfolgte dann seit der 1950er bis 1988. Die berechneten Vorräte in Pöhl-Globenstein betragen etwa 30.000 t Wolfram (berechnet als WO₃) und 79.500 t Zinn. Versuchsabbau in dieser Zeit hinterließen die bekannten Zinnkammern, die heute im Besucherbergwerk besichtigt werden können.



Abb. 2-21: Der Bergbau bei Pöhl um 1790 in der Darstellung der Sächsischen Meilenblätter (Freiberger Exemplar, Blatt 243 Schwarzenberg/Erzgebirge; Deutsche Fotothek). Norden ist rechts oben. Südlich und nördlich der Stauteiche sind mehrere Hammerwerke zu erkennen. Nördlich von Groß-Pöhl wurden in einem Kalkbruch Metakarbonate abgebaut.

2.3 Auswahl der zu prognostizierenden Rohstoffe

Wie aus dem kurzen Abriss der Bergbaugeschichte ersichtlich wird, gibt es im Projektgebiet vielfältige Rohstoffvorkommen der Metalle und Spate, die im Lauf der Jahrhunderte unter verschiedenen wirtschaftlichen und technologischen Bedingungen gewonnen wurden. Während im Mittelalter und der

frühen Neuzeit die Silbergewinnung im Vordergrund stand, wuchs in der Folge die Bedeutung von anderen Metallen wie Kobalt und Zinn. Ende des 19. Jahrhunderts wurde der Silberabbau weitgehend eingestellt. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren Zinn und Uran neben Spaten die bedeutendsten Produkte. Wie eingangs (siehe Kap. 1.1) erwähnt, wird für die kommenden Jahrzehnte ein steigender Bedarf an Hochtechnologiemetallen (z. B. Zinn, Abb. 2-22) erwartet.

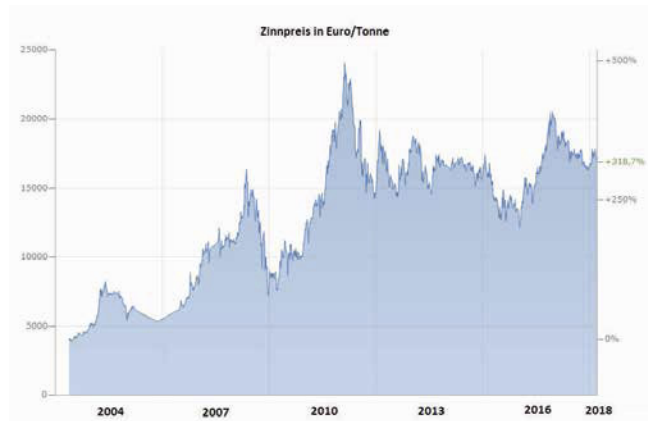


Abb. 2-22: Der Zinnpreis zeigt bereits seit Beginn der 2000er eine langfristig steigende Tendenz

Im Projektgebiet sind von diesen Metallen vor allem Zinn und Wolfram in bedeutender Menge und in für einen wirtschaftlichen Abbau relevanter Qualität höffig. Vorkommen dieser Metalle wurden insbesondere im Zeitraum von 1950 bis 1990 intensiv erkundet und abgebaut. Damit existiert für diese Rohstoffe ein hoher Kenntnisstand, der Prognosen für weitere Vorkommen und auch für die zu erwartenden Metallinhalte erlaubt. Zinn kommt im Projektgebiet in nennenswerter Menge in drei Lagerstättentypen vor: In strukturkontrollierten Lagerstätten (Ganglagerstätten) und in lithologisch kontrollierten Lagerstätten im Endokontakt (Greisen) und im Exokontakt (Skarne). Wolfram tritt ebenfalls in Ganglagerstätten und Skarnen auf. Wolframgreisen sind bisher aus dem Projektgebiet nicht bekannt, existieren aber in benachbarten Regionen (z. B. Pechtelsgrün und Vykmanov bei Jáchymov). Für einige andere Hochtechnologiemetalle (z. B. Indium) sind Vorkommen im Projektgebiet schon lange bekannt, jedoch rechtfertigen die bekannten geringen Gehalte keine eigenständige Gewinnung. Als Nebenprodukt eines möglichen Zinn-Wolfram-Bergbaus sind aber auch diese Metalle von Interesse. Da vielen dieser Elemente vor dem 21. Jahrhundert wenig Beachtung geschenkt wurde und die Gehalte allgemein gering sind, bestehen bisher nur unzureichende Kenntnisse über die Verbreitung dieser Metalle. Somit ist es noch nicht möglich, Prognosekarten für diese Rohstoffe zu erstellen.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts

WISTAMERZ soll der Kenntnisstand zu diesen Metallen verbessert werden. Neben der wissenschaftlichen Untersuchung von existierendem Probenmaterial in den geowissenschaftlichen Sammlungen werden auch neue Primärdaten, z. B. durch eine flächendeckende Beprobung der Bachsedimente im Erzgebirge mit über 6000 Proben, gewonnen.

Weiterhin sind im Modellgebiet kleinere Vorkommen von Fluss- und Schwerspat, die eine vielfältige Verwendung als Industriemineralien finden, bekannt. Zwei kleinere Vorkommen (Flussspat auf dem Tschepser Flachen bei Marienberg und Schwerspat bei Schlettau) wurden bereits abgebaut. Unmittelbar südlich des Projektgebiets befindet sich die Grube Niederschlag, in der seit 2013 wieder Flussspat gewonnen wird. Durch die geringe Anzahl von Vorkommen mit bekanntem Rohstoffinhalt sind fundierte Prognosen für die zu erwartenden Mengen nicht möglich, aber es lassen sich qualitative Prognosen zur Lokalisation weiterer möglicher Vorkommen erstellen. Diese können bereits ein Hilfsmittel für die weitere Exploration sein. Daher wurden die folgenden Rohstoffe zur Prognose ausgewählt:

- Zinn
 - In strukturkontrollierten Lagerstätten
 - In lithologisch kontrollierten Lagerstätten im Exokontakt
 - In lithologisch kontrollierten Lagerstätten im Endokontakt
- Wolfram
 - In strukturkontrollierten Lagerstätten
 - In lithologisch kontrollierten Lagerstätten im Exokontakt
- Flussspat in strukturkontrollierten Lagerstätten
- Schwerspat in strukturkontrollierten Lagerstätten.

Im Projektgebiet kommen zahlreiche Skarne vor, die auch unabhängig von ihrem Zinn- oder Wolframgehalt von Interesse sein können und evtl. für die Gewinnung von Indium, Buntmetallen oder Flussspat in Frage kommen. Die Skarnkörper sind dabei im Wesentlichen in drei Horizonten in der Raschau-, Griebach-, und Herold-Formation konzentriert. Daher werden auch Prognosen für das Auftreten von Skarnen ohne Beachtung des Metallinhalts durchgeführt, die ebenfalls ein Hilfsmittel zur Exploration bisher unbekannter oder ungenutzter Ressourcen sein können. Folgende Prognosen werden daher in einem gesonderten Kapitel dargestellt:

- Skarne unabhängig vom Metallinhalt
 - Skarnhorizont Raschau-Formation
 - Skarnhorizont Griebach-Formation
 - Skarnhorizont Herold-Formation.

2.4 Lagerstättengeologie und Vorräte

2.4.1 Zinnlagerstätten

2.4.1.1 Strukturell kontrollierte Lagerstätten (Gänge, Trümer und Greisentrümer)

Die bedeutendsten strukturell kontrollierten Zinnlagerstätten im Erzgebirge liegen im Raum Geyer-Ehrenfriedersdorf; andere Vorkommen sind Annaberg-Buchholz, Pobershau, Mühlleiten und auf der tschechischen Seite unter anderem Krupka, Přebuz und Rolava. Das einzige bedeutende Erzmineral ist der Kassiterit, der oft fein verwachsen mit anderen Mineralen auftritt. Alle strukturkontrollierten Zinnlagerstätten sind an die Dachbereiche bestimmter geochemisch spezialisierter Granite (Typ Eibenstock [fluor- und phosphorreich], Typ Schellerhau [fluorreich, phosphorarm] und einige kleine Intrusionen) gebunden. Die Gänge treten häufig als Trümerzüge auf, wobei mehrere geringmächtige Trümer (Abb. 2-23) in einige Meter breiten Zonen kulissenartig angeordnet sind. Diese sind oft mit Greisengängen und auch Greisentrümerzügen vergesellschaftet, wodurch sich Übergänge von strukturell und lithologisch kontrollierten Lagerstätten ergeben. Beispiele sind die Löwenhainer Greisenzone südöstlich von Altenberg und die Lagerstätte Schenkenshöhe im Osterzgebirge. Auf den Gängen können die Kassiterit-Wolframit-Quarz-Assoziation (Abb. 2-24), die Kassiterit-Silikat-Assoziation und die Kassiterit-Sulfid-Assoziation vertreten sein (HÖSEL u. a., 1997).



Abb. 2-23: Epidot-Granatfels mit schwarzem und grauem zinnführendem Quarz-Trüm (0,20 % Sn). Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)

In der Lagerstätte Ehrenfriedersdorf ist die mehrphasige Mineralisation besonders gut untersucht. Eine Prägreisenmetasomatose führte im Endokontakt zur Autometasomatose apikaler Bereiche der Granitintrusion und zur Bildung des Stockscheiders (ein Pegmatit am Kontakt des Granits zum Nebengestein). In den umgebenden Glimmerschiefern kann eine durchgreifende Turmalinisierung beobachtet werden,

während in Gneisen die Ausbildung von diskreten Turmalin-Quarz-Trümmern vorherrscht. Die Hochtemperaturmetamorphose in Zuge der Intrusion der jüngeren Granitphasen gliedert sich in jeweils zwei Epochen von Vergreisung und anschließender Feldspatisierung. Die Vergreisung erfasst auch mikrogranitische Gesteinsgänge und Lamprophyre, wodurch neben den Trümer- bzw. Gangzügen noch ein zweiter Typ von strukturkontrollierter Mineralisation auftritt. Die Ost-West bis WSW-ENE streichenden Trümerzüge sind in dabei in Ehrenfriedersdorf die bedeutenderen Zinnträger. Nahe des Granitkontakts können bis mehrere Dezimeter mächtige Gänge mit Quarz als Hauptmineral festgestellt werden, die sich im Nebengestein zunehmend im zentimeter- bis millimeterdünne Trümer aufspalten, die im Abstand von Zentimetern bis Dezimetern auftreten. Die Mächtigkeit der Trümerzüge erreicht meist 2 bis 10 m, maximal 40 m.

Gangförmige Greisenzonen von teilweise mehreren Metern Mächtigkeit, die zum zweiten Strukturtyp gehören, setzen sich auch 70 bis 100 m tief im Granit fort. Die vergreisten Gesteinsgänge im Exokontakt sind meist um 10 cm, nur selten einen Meter und mehr mächtig. Die Vergreisung erstreckt sich bis etwa 120 m oberhalb des Granitkontakts. Die erkundeten Restvorräte aller Vererzungstypen betragen 46.290 t Zinn mit Gehalten von 0,18 bis 0,32 % (HÖSEL u. a., 1994).



Abb. 2-24: Kassiterit-Quarz-Reicherzschlier mit grobkörnigem dunkelbraunem Kassiterit, randlich hellgrauer grobkristalliner Quarz mit feinem grünlichem Glimmer, Übergang in feinkörnigen kassiteritführenden Quarz, Ehrenfriedersdorf, 2. Gezeugstrecke, Leimgrüner West

In der Lagerstätte Geyer haben stockwerkartige metasomatische Vererzungen im Bereich der Pinge von Geyer die größte Bedeutung, während Trümerzüge nur untergeordnet auftreten. Der Granitstock der Pinge Geyer hat an der Oberfläche einen Durchmesser von rund 230 m. Die Kontakte fallen über 200 m Teufe nahezu senkrecht ein, dann weitet sich der Stock zu einer Granitkuppel aus. Der Stock ist von mehreren Scharen von Greisentrümmern durchzogen. Trümer mit umlaufendem Streichen finden sich nahe des Kontakts zum Neben-

gestein, herzyn streichende Trümer durchsetzen den ganzen Stock, erreichen aber nur Mächtigkeiten um 3 cm. Am bedeutendsten sind die in Trümerzügen auftretenden erzgebirgisch streichenden Trümer. Diese Trümerzüge sind 2 bis 6 m mächtig und fallen mit 65 bis 85° steil ein. Mit der Teufe ist eine zunehmende Aufspaltung und Feldspatisierung der Trümerzüge zu beobachten. Die Teufenreichweite der nutzbaren Vererzung beträgt 180 m. Petrographisch handelt es sich um Lithiumglimmer-Topasgreisen, die der ersten Vergreisenungsphase zuzuordnen sind. Die häufigsten Erzminerale sind Kassiterit und als jüngere hochthermale Bildungen Arsenopyrit und Löllingit. Weniger häufig sind Wolframit und als ältestes Erzmineral Molybdänit. Nach unvollständigen Aufstellungen wurden aus der Lagerstätte, die bis auf unbedeutende Reste abgebaut ist, 72.605 Zentner Zinn gewonnen. In der letzten Betriebsperiode wurde Roherz mit Gehalten von 0,3 % Zinn und 0,10 % WO_3 gefördert. (HÖSEL u. a., 1996).

Die bisher nicht abgebaute Lagerstätte Neundorf ist eine 200 m breite und 1100 m lange Zone mit drei WSW-ENE streichenden Trümerzügen, die ähnlich wie in Ehrenfriedersdorf ausgebildet sind. Die erkundeten Vorräte betragen 3570 t bei Zinngehalten von 0,17 % (HÖSEL u. a., 1994).

In dem weiter südöstlich befindlichen Vorkommen Wiesenbad ist der Erkundungsstand gering. Es sind mehrere geringmächtige Quarz-Kassiterit-Trümerzüge mit WSW-ENE- bis SW-NE-Streichen bekannt. Diese werden von NW-SE streichenden Quarz-Hämatit-Gängen geschnitten (GKZ, 2008).

In Pöberschau folgt ebenfalls auf die Bildung von Quarz-Turmalin-Trümern die Bildung von bis zu 6 m mächtigen Trümerzügen mit Kassiterit-Wolframit-Arsenopyrit-Löllingit-Vererzung. In einer weiteren lithium- und fluorbetonten Phase bildeten sich mit ähnlicher Mineralisation sowohl weitere Trümerzüge als auch bis zu einem Meter mächtige und im Streichen 1500 m aushaltende Zinnerzgänge (BAUMANN u. a., 2000). Die Teufenreichweite der Vererzung beträgt maximal 500 m (GKZ, 2008). Eine Endokontaktvererzung ist bisher nicht bekannt, da nur wenige Bohrungen den Granit erreichten. Der Großteil der 4000 t Zinn (BAUMANN u. a., 2000), die im Revier Marienberg gefördert wurden, stammt aus Pöberschau. Die Restvorräte werden mit 5000 t Zinn bei Gehalten von 0,2 % angegeben (GKZ, 2008).

Zuletzt ist noch die in den 1980ern erkundete Lagerstätte Buchholz mit einem Zinninhalt von 8380 t bei Gehalten von 0,23 % Zinn zu nennen. Das benachbarte Vorkommen Grundteichschänke bei Dörfel ist nach dem erreichten Erkundungsstand mit weniger als 1000 t Zinninhalt ohne ökonomisches Interesse (HÖSEL u. a., 1991). Auch hier treten in den Nachbarschaft der Granithochlage Buchholz mehrere WSW-ENE streichende Trümerzüge und in geringerem Umfang Greisengänge auf. Die Bildungsstadien und Vererzungstypen sind ähnlich wie in Ehrenfriedersdorf.

2.4.1.2 Lithologisch kontrollierte Lagerstätten (Skarne und Greisenkörper)

Greisenkörper

Greisen sind pneumatolytisch umgewandelte Granite oder andere saure Magmatite, in denen der Feldspat verdrängt wird. Dabei können sich Fluorit, Turmalin, Topas oder auch Erzminerale wie Kassiterit und Arsenopyrit neu bilden (Abb. 2-25, Abb. 2-27). Greisen treten meist als Stöcke, schlauch- oder gangförmige Körper in den höchsten Teilen von Granitintrusionen auf, wo sich bei der Kristallisation des Magmas die Restschmelzen bzw. Fluide sammeln.

Zinngreisen sind im Projektgebiet bisher nur in einigen größeren Körpern im Bereich der Lagerstätte Ehrenfriedersdorf (Grubenreviere Sauberg und Vierung) bekannt. Neben diesen kompakten Körpern gibt es im Raum Ehrenfriedersdorf-Geyer auch zahlreiche Greisengänge mit unterschiedlicher Erzführung. Es werden zwei Phasen der Greisenbildung unterschieden: In der älteren Phase bilden sich Lithiumglimmer-Topasgreisen, in der jüngeren Phase Muskovit-Topasgreisen.

Hauptminerale sind der jeweilige Glimmer, Quarz und Topas, daneben treten noch Fluorit und Triplit auf. Die Haupterzminerale sind in beiden Phasen Kassiterit und Arsenopyrit, untergeordnet treten Molybdänit und Wolframit auf. Im Greifensteingebiet tritt akzessorisch noch Sphalerit auf.

Die großen Greisenkörper im Revier Sauberg (Abb. 2-26) sind an zwei NE-SW streichende Granithochlagen gebunden, die jeweils an der Südostflanke steiler als an der Nordwestflanke aufragen. Der Westgreisen ist ein langgezogener, flach nach Südwesten einfallender schlauchförmiger Körper von etwa 500 m Länge und 30 bis 50 m Breite.

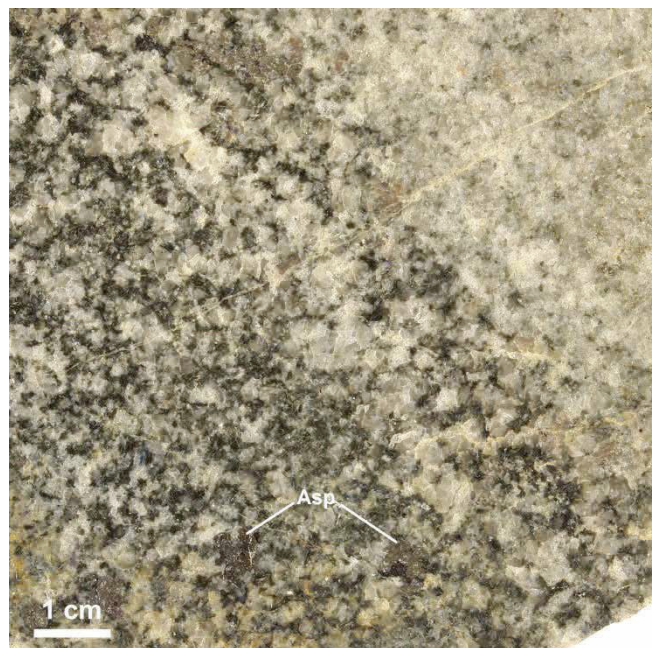


Abb. 2-25: Grauer mittelkörniger Greisen mit Arsenopyrit/Löllingit (Asp), Pinge Geyer

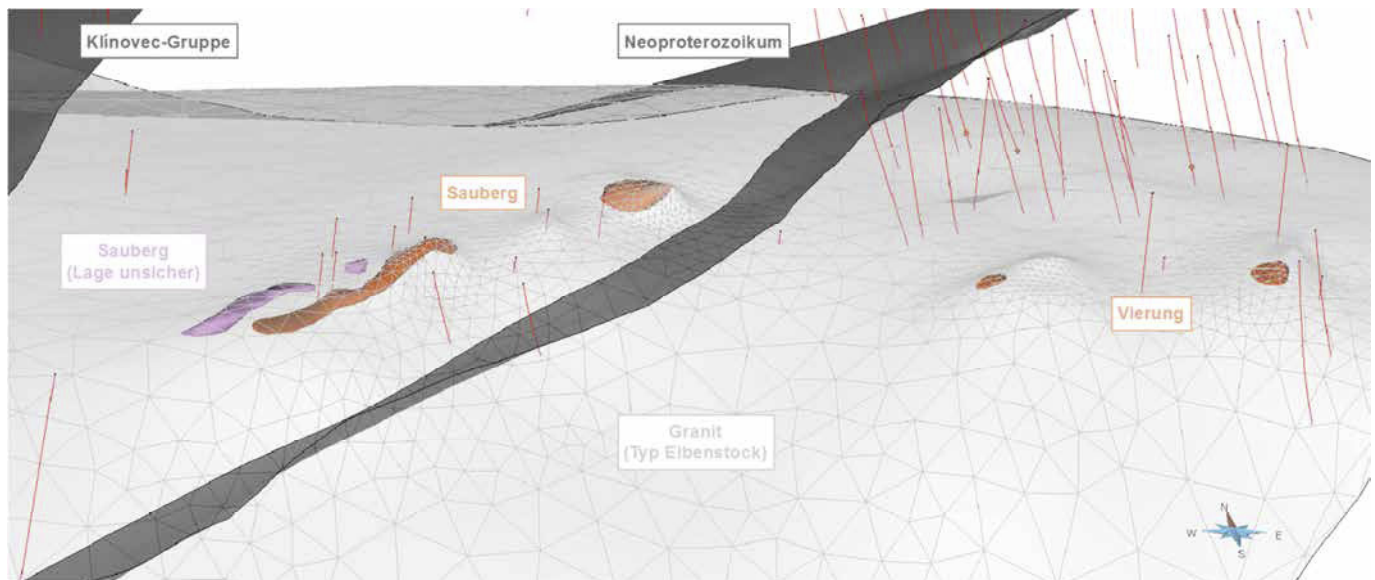


Abb. 2-26: Die Greisenkörper (orange: abgebaut bzw. im Detail erkundet; violett: weniger detailliert erkundet) in den Grubenrevieren Sauberg und Vierung bei Ehrenfriedersdorf im 3D-Modell. Die Granitoberfläche ist hellgrau dargestellt, die Oberkanten der metamorphen Einheiten sind dunkelgrau dargestellt. Ansicht von Süden (KIRSCH & STEFFEN, 2017)

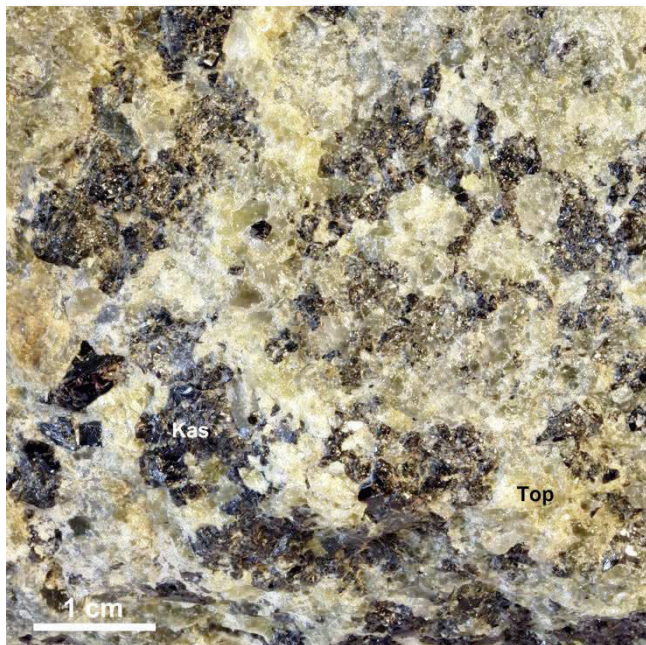


Abb. 2-27: Gelbgrauer grobkörniger Topas(Top)-Quarz-Kassiterit(Kas)-Greisen mit Zinn-, Wolfram- und Niobführung. Ehrenfriedersdorf, 6. Sohle, Ostfeld

Die Hangendgrenze folgt weitgehend dem Nebengesteinskontakt, im Liegenden zeigen sich fließende Übergänge zum Granit. Die höchsten Zinnkonzentrationen von 0,4 bis 0,8 % werden in der Hangendpartie erreicht, an den Flanken sinken die Gehalte auf 0,2 % ab. Der Ostgreisen ist dagegen ein gedrungener 130 x 80 m messender Körper (HÖSEL u. a., 1994).

Skarne

Während Skarne im Projektgebiet weit verbreitet sind, wurden größere Vorkommen von Zinnskarne bisher nur süd-

westlich und nordöstlich von Geyer sowie bei Pöhla erkundet. Die Zinn- und Wolfram-Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein wird in Kapitel 2.4.2.2 näher beschrieben.

Die Vorkommen bei Geyer liegen in der hier überwiegend aus Glimmerschiefern aufgebauten Plavno-Subformation der Gießbach-Formation. Im Hangenden schließt sich ein 40 bis 70 m mächtiger Muskovitgneis (Metarhyolitoid) an, der der Boži-Dar-Subformation zugeordnet werden kann. Das gesamte Schichtpaket streicht SW-NE und fällt mit 30 bis 40° nach Nordwesten ein. Die Tiefenreichweite beträgt etwa 200 m bis zum Granitkontakt. Über diesem ist ein 25 bis 50 m mächtiger Kontakthof mit Hornfelsen ausgebildet.

Des Weiteren treten NE-SW und E-W streichende Mikrogranitgänge sowie E-W streichende steil stehende Störungen mit 2-15 m mächtigen Brekzienzonen auf. Die NW-SE verlaufenden ebenfalls steil stehenden 15 bis 20 m breiten Zerreißungszonen der Hermannsdorfer und Schönfelder Störung sind weitere wichtige Strukturelemente. In Geyer-Südwest lassen sich drei Skarnlager mit bis zu 3 km streichender Erstreckung unterscheiden, die jeweils aus mehreren linsenförmigen Skarnkörpern aufgebaut sind. Die streichende Erstreckung dieser Körper schwankt von 50 bis 500 m, die Mächtigkeit liegt meist bei wenigen Metern mit einer Schwankungsbreite von 0,5 bis 7 m. Petrologisch lassen sich Granat-Pyroxen- (Abb. 2-28), Vesuvian-Pyroxen-, Granat-Vesuvian-Pyroxen-, Granat- und Vesuvian-Skarne unterscheiden. Hauptbestandteile sind stets Pyroxene der Diopsid-Hedenbergit-Reihe und Granate der Grossular-Andradit-Reihe. Je nach Varietät kommen Vesuvian, Wollastonit, Aktinolith, Hornblende, Epidot und Fluorit in wechselnden Anteilen vor.



Abb. 2-28: Sulfidskarn (Pyroxen-Granatfels) mit Sphalerit (Sph), Chalkopyrit (Cpy) und Spuren von Scheelit (Sch). Ehrenfriedersdorf, 5. Sohle (Westfeld)

Das Gestein ist überwiegend klein bis feinkörnig ausgebildet. Kassiterit tritt einerseits in regellos verteilten Körnern, andererseits in Quarz-Serizit-, Quarz-Serizit-Fluorit-, Magnetit-Amphibol- und Arsenopyrit-Hämatit-Amphibol-Trümmern im Skarn auf (Abb. 2-29). Weitere Erzminerale sind Sphalerit, Arsenopyrit, Pyrrhotin, Pyrit und Markasit (Abb. 2-30). Insbesondere in den magnetit- und amphibolreichen Skarnen werden Zinngehalte bis über 0,7 % erreicht. Dabei sind die höchsten Metallgehalte innerhalb von 100 m über dem Granitkontakt vorhanden (durchschnittlich 0,67 %), bei 300 bis 400 m Entfernung gehen die Gehalte auf durchschnittlich 0,30 % zurück (HÖSEL u. a., 1996).

Die Skarne werden von SW-NE streichenden Trümmern, die mit 70 bis 80 ° nach Nordwesten einfallen, durchschlagen. Diese Trümmernzüge sind 3 bis 6 m mächtig und enthalten neben millimeter- bis zentimeterstarken Trümmern auch bis 0,15 m mächtige Quarz-Kassiterit-Arsenopyrit-Gänge. Diese Trümmernzüge werden von vergeisstem Nebengestein mit feindispers verteiltem Kassiterit begleitet (HÖSEL u. a., 1996). Die erkundeten Vorräte in Geyer-Südwest belaufen sich auf 46.000 t Zinn mit Gehalten von 0,56%. In Geyer-Nordost sind 14.200 t Zinn mit Gehalten von 0,52 % ausgewiesen (GKZ, 2008).

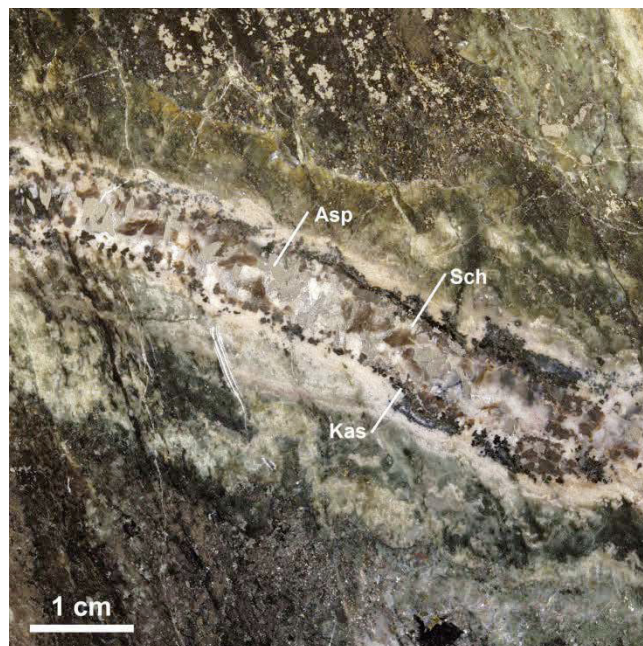


Abb. 2-29: Sulfidskarn mit durchschlagendem Arsenopyrit(Asp)-Kassiterit(Kas)-Scheelit(Sch)-Quarz-Trüm. Ehrenfriedersdorf, 5. Sohle (Westfeld)

2.4.2 Wolframlagerstätten

2.4.2.1 Strukturell kontrollierte Lagerstätten (Gänge)

An strukturell kontrollierten Wolframlagerstätten im Erzgebirge/Vogtland sind in erster Linie die Vorkommen von Pechtelsgrün, Rotava, Tirpersdorf und Zschorlau zu nennen, die alle im 20. Jahrhundert zeitweise in Abbau standen, heute jedoch erschöpft sind. Ein kleineres noch nicht bebautes Vorkommen in Modellgebiet ist das von Aue-Bärengrund (auch als Vorkommen von Aue-Lauter bezeichnet). Die genannten Vorkommen zeigen eine relativ einfache Mineralogie der Gänge: Hauptgangart ist Quarz und teilweise Muskovit, Kalifeldspat und Turmalin (in Rotava), als Erzmineral tritt Wolframit, untergeordnet auch Scheelit (in Rotava), Molybdänit (in Pechtelsgrün), Arsenopyrit und Pyrit auf. In Pechtelsgrün wurde durch den Bergbau eine streichende Erstreckung der Gänge von mehr als 100 m bei einer Tiefenreichweite von 400 m nachgewiesen. Für das Vorkommen Aue-Bärengrund ist nach vorliegenden Erkundungsergebnissen mit wesentlich absätzigeren Vererzungen, verteilt über ein etwa 2,2 km langes und 500 m breites Gebiet, zu rechnen.

Die Nebengesteine dieses Vorkommens sind Quarzite, Quarzitschiefer, Knoten- bis Fleckschiefer und Quarz-Phyllit-Hornfelse, die als kontaktmetamorph veränderte Gesteine der Frauenbach-Gruppe eingestuft werden können. Außerdem treten NW-SE orientierte Granitgänge auf, die lithologisch meist dem im Südwesten aufgeschlossenen Biotitgranit von Aue (Granit Typ Kirchberg) gleichen. Seltener sind Gänge von feinkörnigem porphyrischen Mikrogranit anzutreffen.

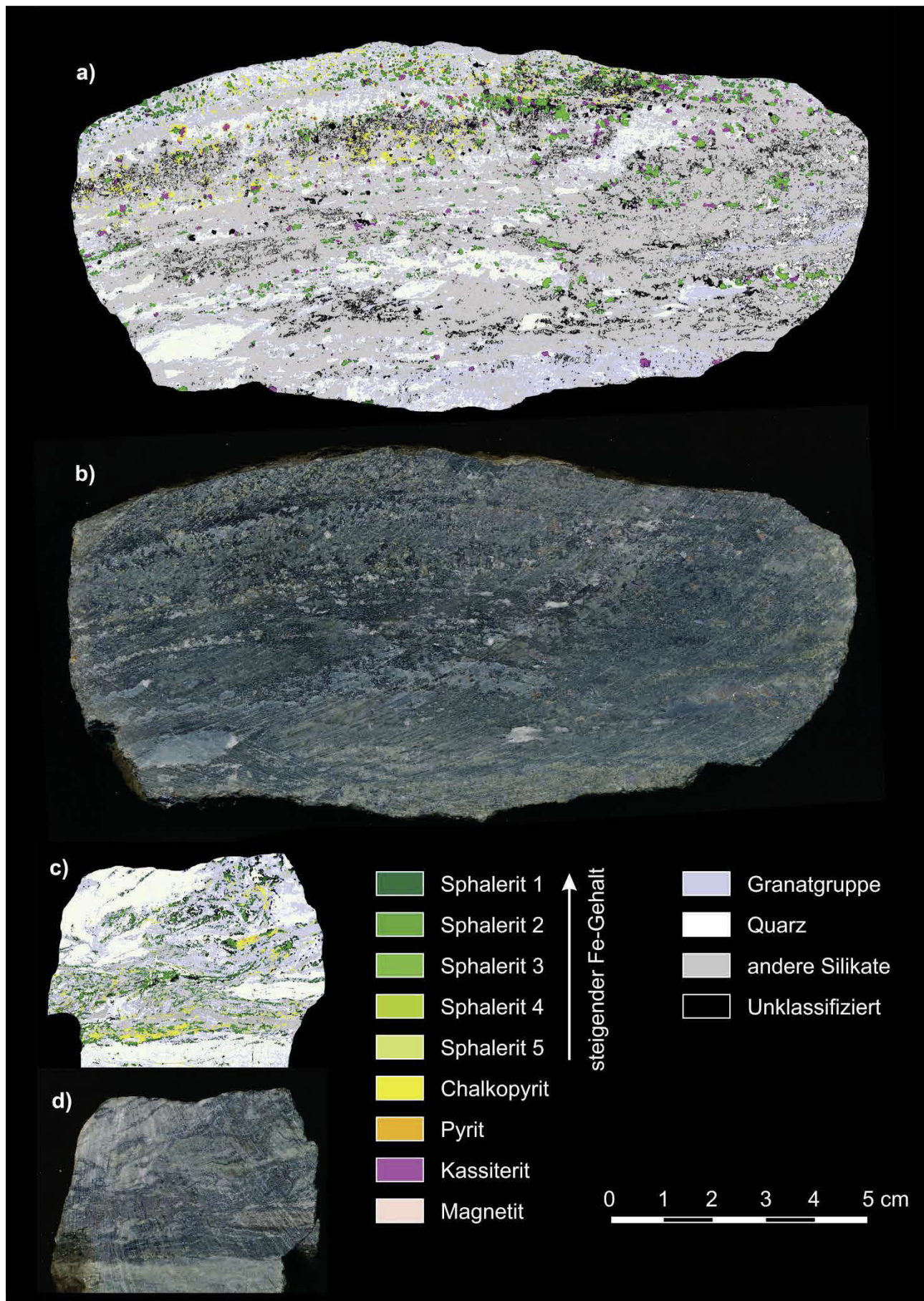


Abb. 2-30: Mineralanalysen von Skarnen mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzmikroskopie (EDXRF) a) und b) Pyroxen-Granatskarn mit Sulfidvererzung und fein verteiltem Kassiterit. Halde der Grube Gelbe Birke bei Langenberg; c) und d) Pyroxenskarn mit Sulfidvererzung, Lagenbau und kleinräumiger Verfaltung, Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle

Die Quarz-Wolframitgänge streichen mit 140 bis 150° bei einem Einfallen von 30 bis 85° nach überwiegend SW. Dabei soll der Einfallwinkel zum Granitkontakt hin zunehmen (HÖSEL, 1959). Die Gänge zeigen rasche laterale Mächtigkeitsschwankungen, wobei Mächtigkeiten bis zu einem Meter, meist aber deutlich darunter erreicht werden. Die durchschnittliche Mächtigkeit wird mit 14 cm angegeben (LEONHARDT, 2009a). Einzelne Gänge sind nicht weiter als 100 m verfolgbar (GKZ, 2008), wobei die Tiefenerstreckung maximal 150 m beträgt. Eine grobe Schätzung geht von 100 t WO₃ pro Gang aus, was bei angenommenen 25 Gängen im Vorkommen einen WO₃-Inhalt von 2500 t ergibt (BOLDUAN u. a., 1965). Damit ist eine wirtschaftliche Gewinnung als eigenständige Lagerstätte derzeit ausgeschlossen.

Die Gangparagenese wird aufgrund der H/F-Koeffizienten des Wolframits als tiefpneumatolytisch eingestuft. Wie in anderen Vorkommen auch ist Quarz die Hauptgangart: dieser führt bis 2 cm lange leistenförmige Wolframitkristalle, gelegentlich auch größere Kristalle und Nester. Molybdänit, gediegen Wismut, Pyrit und Chalkopyrit treten nur in Spuren auf; einzig Gang 2 führt größerer Mengen von Arsenopyrit und Chalkopyrit. Als Besonderheit treten noch Scheelit am Kontakt porphyrischer Mikrogranit zu Glimmerschiefer sowie stellenweise Turmalin im Salband auf. Der Wolframit zeigt an Spaltrissen eine beginnende Umwandlung zu Brauneisen und Manganoxiden (BOLDUAN u. a., 1964).

Die Quarz-Wolframit-Gänge werden von 100 bis 120° streichenden Gängen der Roteisen-Baryt-Formation geschnitten, deren Mineralisation jünger ist und in keiner Beziehung zur Wolframvererzung steht.

Ein anderer Typ von strukturkontrollierter Wolframlagerstätte sind Quarz-Kassiterit-Gänge im Raum Ehrenfriedersdorf/Geyer, die teilweise Wolframit als Nebenkomponekte führen. Die WO₃-Gehalte sind dort wesentlich zu gering für eine Einstufung als eigenständige Lagerstätte, weshalb für diesen Vererzungstyp keine gesonderte Prognose erfolgt.

2.4.2.2 *Lithologisch kontrollierte Lagerstätten (Skarne)*

Scheelitführende Skarne sind bei Zobes, Tirpersdorf, Kovářská und im Projektgebiet bei Bernsbach, Antonsthal und insbesondere Pöhla-Globenstein angetroffen worden. Es handelt sich um unregelmäßig-linsenförmige an Metakarbonate bzw. Dolomite gebundene Körper mit den Hauptmineralen Magnetit, Scheelit und Fluorit sowie Kassiterit, Wolframit und Sulfiden als Nebenkomponekten. Ein grundsätzliches Problem auch der Wolframskarne ist die ungelöste Frage der Aufbereitung aufgrund der oftmals feinkörnigen Ausbildung und innigen Verwachsung der Minerale.

In Antonsthal gibt es sowohl Zinn- als auch Wolframskarne, die flach nach Westen einfallen, lateral stark in der Mächtigkeit

schwanken und von Bi-Co-Ni-Gängen durchsetzt werden. Das Nebengestein ist die lithologisch bunte Breitenbrunn-Formation, die aus Glimmerschiefern mit Einlagerungen von Quarziten, Metakarbonaten und Metabasiten aufgebaut ist. Der Scheelit tritt als unauffällige grauweiße Kristallaggregate auf (MÄDLER, 1992). Die geschätzten Vorräte liegen bei 23.000 t Wolfram mit Gehalten von 0,37 % (GKZ, 2008).

In der Lagerstätte Bernsbach-Südost gibt es mehrere flach nach Nordosten einfallende Skarnlager innerhalb der Jáchymov-Gruppe. Das Nebengestein ist ein Muskowit-Glimmerschiefer mit vielfältigen Einlagerungen von Quarziten, Metakarbonaten und Metabasiten. Die Skarne zeigen neben den Haupterzmineralen Magnetit, Scheelit und Kassiterit auch wechselnde Gehalte von Sulfiden und Uraninit. Ferner sind hydrothermale Baryt-Karbonatgänge vorhanden. Der Metallinhalt wird auf 49.300 t Wolfram mit Gehalten von 0,10 bis 0,15 % geschätzt.

Die verdeckte Lagerstätte Pöhla-Globenstein ist das am besten erkundete Vorkommen von Wolframskarnen im Projektgebiet. Im Unterschied zu den anderen Vorkommen liegt diese stratigraphisch tiefer in der Raschau-Formation. Die Nebengesteine sind Quarzglimmerschiefer, Quarzitschiefer und Quarzite sowie Metakarbonate (überwiegend dolomitisch) und Kalksilikatgesteine. Unter geringer Überdeckung (ca. 100 bis 300 m) treten vier wesentliche flach lagernde Erzlager auf: vom Liegenden zum Hangenden das Siegelhoflager, das Neue Lager (bzw. Lager 3), das Hauptlager (Lager 4) und das später erkundete Lager 5. Dabei zeigt das Hauptlager die größten Mächtigkeiten mit durchschnittlich 6 bis 8 m, lokal bis 12 m. Die Lagerstätte wird durch SE-NW und WSW-ENE streichende Störungen in Teilschollen zergliedert, die um einige Meter vertikal versetzt sind. An Ganggesteinen treten relativ häufig Lamprophyre auf, die petrographisch als Kersantit (ein Biotit-Plagioklas-Pyroxengestein) klassifiziert werden. Im Kontaktbereich zu den Skarnen sind diese metasomatisch verändert, wobei der Plagioklas albitisiert wurde und teilweise beträchtliche Anteile von Chlorit, Epidot und Fluorit auftreten. Weniger häufig sind porphyrische Mikrogranite in bis zu 10 m mächtigen Gängen (HÖSEL u. a., 2003). Innerhalb der Erzlager liegen in wechselnden Verhältnissen Metakarbonat, Pyroxenskarn, Granatskarn, Magnetitskarn, Amphibolskarn und metasomatisch veränderte und alterierte Skarne vor. Der Scheelit tritt vor allem in den Magnetitskarnen und den alterierten Skarnen auf. Die Metasomatose umfasste offenbar eine Zuführung von Fluor und Bor, worauf die hohen Fluorit- und Ludwigitanteile in den Skarnen hinweisen (Abb. 2-31). Dabei ist zu beobachten, dass die Kassiterit- und Scheelit-Vererzung an WSW-ENE streichende Klüfte gebunden ist (HÖSEL & PFEIFFER, 1965). Diese Vererzung tritt als Quarz-Albit-Kassiterit-Assoziation, Quarz-Fluorit-Scheelit-Assoziation und als Quarz-Sulfid-Wolframit-

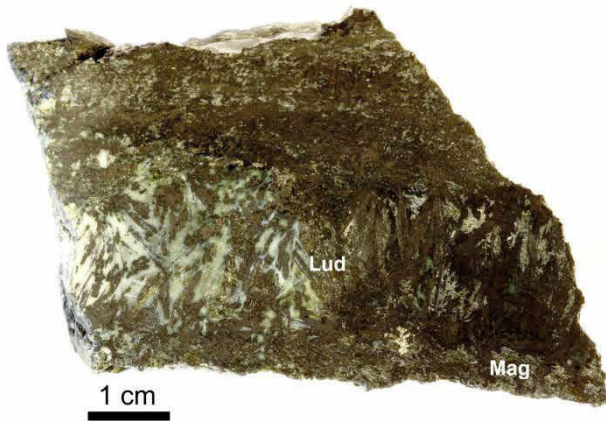


Abb. 2-31: Borführender Skarn mit Magnetit (Mag) und Ludwigit (Lud, schwarzgraue strahlige Kristalle). Pöhla-Globenstein, +410 m Sohle, Strecke 24

Assoziation auf. Entlang von SE-NW streichenden Störungen sind diese Erze hydrothermal in tonig-sandigen Zersatz umgewandelt, der überwiegend aus Hydroglimmern, Tonmineralen, Siderit, Opal, Chalcedon, Eisenoxiden und Eisenhydroxiden besteht (HÖSEL u. a., 2003).

Neben den stratiformen Vererzungen treten noch Gänge der Zinn-Wolfram-Assoziation auf, die ebenfalls durch WSW-ENE bis SW-NE streichende Trümierzüge kontrolliert werden. Die N-S streichenden Gänge der Pechblende-Quarz-Assoziation, die in den südöstlich gelegenen Teillagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser bedeutsam sind, treten in Pöhla-Globenstein nur untergeordnet auf (HÖSEL u. a. 2003). Die gesamten erkundeten Vorräte belaufen sich auf 84.000 t Zinn bei Gehalten von 0,57% und 43.400 t WO_3 bei Gehalten von 0,45%. Teile davon liegen jedoch außerhalb des Projektgebietes und gehen daher nicht in die quantitativen Prognosen ein. In Tabelle 3 sind dagegen die Gesamtmengen der in Pöhla-Globenstein erkundeten Vorräte berücksichtigt. Als Begleitrohstoffe werden Flussspat, Zink, Indium, Magnetit, Wismut, Cadmium, Silber, Kupfer, Blei, Beryllium und Bor ausgewiesen (HÖSEL u. a. 2003).

2.4.3 Spatlagerstätten

Fluss- und Schwerspat treten im Erzgebirge als Gangart in den verschiedensten Mineralassoziationen auf, sowohl strukturkontrolliert auf Gängen als auch – im Fall von Flussspat – lithologisch kontrolliert in Skarnen. Fluorit-Baryt-Gänge sind besonders im Zentrum und im Osten des Projektgebiets verbreitet (Umgebung von Ehrenfriedersdorf (Abb. 2-32, Abb. 2-33), Annaberg und Marienberg). Auf Grund von Anforderungen an die Menge und Qualität der Spate kommen die meisten dieser Vorkommen nicht als Lagerstätten in Betracht. Bauwürdige Lagerstätten (z. B. Bösenbrunn, Schönbrunn, Niederschlag) sind an größere NW-SE streichende Störungen

gebunden. Im Bereich von Krümmungen der Hauptstörung bilden sich Fiederspaltensysteme, die mit linsenförmigen Spatmineralisationen gefüllt sein können. Diese Linsen können Ausdehnungen von mehreren hundert Metern bei Mächtigkeiten von 10 m und mehr erreichen. Im Projektgebiet sind bisher nur deutlich kleinere Vorkommen bekannt.

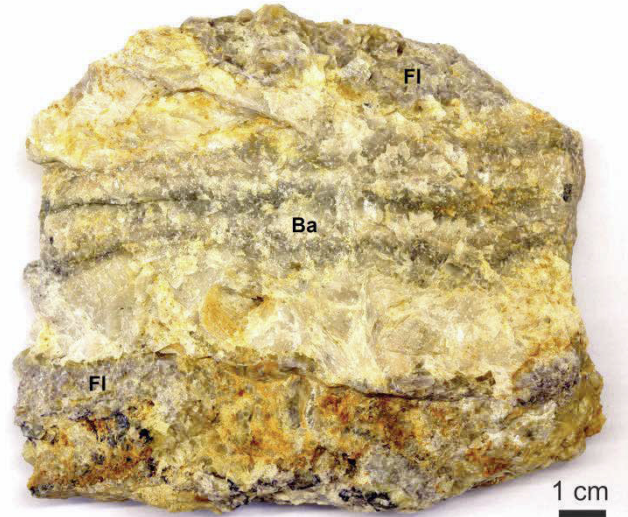


Abb. 2-32: Fluorit(FI)-Baryt(Ba)-Gang mit weißem spätigen Baryt im Zentrum und grau-violett-würfeligem Fluorit an den Rändern. Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)

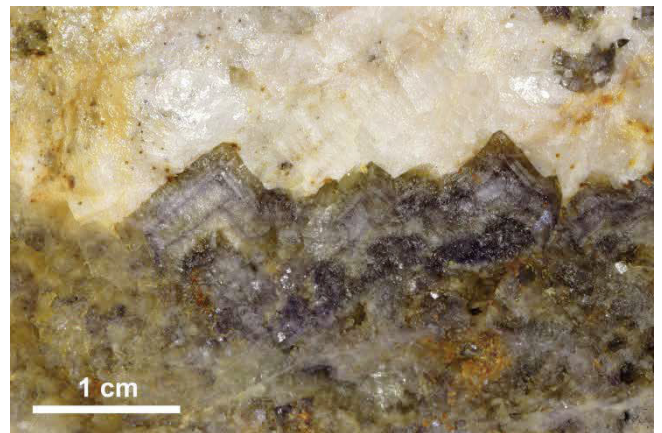


Abb. 2-33: Zonierte Fluoritwürfel am Rand eines Fluorit-Baryt-Ganges. Die zentrale Gangfüllung besteht aus weißem spätigem Baryt. Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)

Bei Schlettau erreichen die Schwerspatlinsen auf dem Reicher Spat Flächen maximal 2,8 m Mächtigkeit bei 225 m streichender Ausdehnung (Abb. 2-34). Als Nebengestein treten in Schlettau Zweiglimmergneis, glimmerschiefer- bis phyllitähnlicher Gneis, Amphibolitlinsen und vereinzelt Lamprophyrgänge auf. Mehrere Gänge streichen mit 15 bis 20°, davon abweichend streicht der Reicher Spat Fläche mit 175° und der Waldschachtgang mit 145°. Auf dem Reicher Spat Flächen reicht die Schwerspatführung bis in 70 m Teufe, die durchschnittliche Mächtigkeit beträgt 1 m. Auf dem östli-

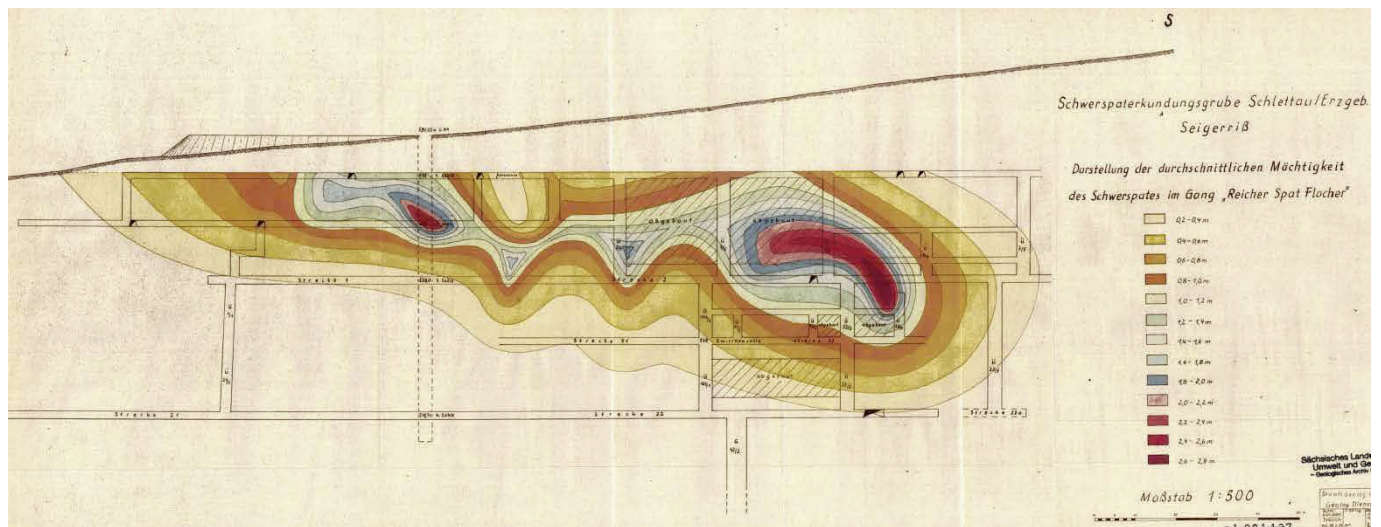


Abb. 2-34: Saigerriß des Reicher Spat Flachen bei Schlettau mit der Lage und Mächtigkeitsverteilung der erkundeten Schwespatlinsen (FRÖLICH, 1957)

chen Schwespatgang wurde eine kleinere Linse von 80 m streichender Erstreckung und 0,5 m Mächtigkeits angetroffen. Auf dem Waldschachtgang wurden zwei weitere kleine Linsen von vergleichbarer Größe erkundet. Als Mineralisation tritt fast nur Schwespat auf, der am Rand durch Eisenoxid braun gefärbt, zur Mitte des Gangs hin jedoch rosa oder weiß ist. Durch eingeschlossene Nebengesteinsfragmente reduziert sich der BaSO_4 -Gehalt auf 65 bis 70 % (FRÖLICH, 1957).

Auf dem NW-SE streichenden Tscherper Flachen bei Marienberg trat körniger bis massiger, grüner, gelber und blauer, seltener weißer und violettschwarzer Fluorit auf. In geringeren Mengen traten Baryt, Calcit und Sulfide auf. Teilweise wurden die Spate von Quarz verdrängt. Die Mächtigkeits der Gangfüllung schwankte zwischen 0,5 und 4 m. Über eine streichende Erstreckung von 282 m gab es zwei Erzkörper, die durch eine ca. 62 m breite Vertaubungszone getrennt waren. Die vertikale Erstreckung betrug etwa 100 m. Das Nebengestein ist monotoner Zweiglimmergneis. Geringmächtigere Spatvorkommen von durchschnittlich 0,5 m Mächtigkeits zeigten die benachbarten Gänge Gut Hoffnung Flacher und Amandus Flacher, wobei letzterer überwiegend mit Schwespat mineralisiert war (LANGE, 2000).

Im Unterschied zu Zinn und Wolfram stehen diese Rohstoffvorkommen nicht mit dem Abstand zur Granitoberfläche im Zusammenhang. Die Lage der Granitintrusionen ist damit kein Prognosekriterium. Bei einigen Lagerstätten (z. B. Niederschlag) ist eine vertikale Gliederung mit einem oberen Barytstockwerk, einem mittleren Baryt-Fluorit-Stockwerk und einem unteren Fluorit(-Quarz)-Stockwerk zu erkennen. Damit spielt das Anschnittsniveau für die Charakterisierung dieser Lagerstätten eine wichtige Rolle. Es kann davon ausgegangen werden, dass Barytlagerstätten zur Teufe hin gleichzeitig Fluoritlagerstätten sind.

2.4.4 Weitere Lagerstätten metallischer Rohstoffe

Auf Grund der Fokussierung der Rohstoffprognosen auf die oben genannten Rohstoffe wird die Lagerstättengeologie der anderen im Projektgebiet vorhandenen metallischen Rohstoffe nur kurz zusammengefasst. ÜbersichtsDarstellungen mit Verweisen zu weiterer Literatur finden sich z. B. bei BAUMANN u. a. (2000) und HÖSEL u. a. (1997) sowie in Anlage 1.

Blei

Der überwiegende Teil der Blei- und Zinkförderung im Erzgebirge stammt aus strukturkontrollierten Vorkommen der Quarz-Sulfid-Assoziation und der Baryt-Fluorit-Assoziation. Diese sind im Projektgebiet aber kaum verbreitet. Bei Jahnsbach ist ein kleines stratiformes Blei-Zink-Vorkommen bekannt, für das eine prävariszische Bildung angenommen wird. Als Nebengestein treten niedrigmetamorphe Pelite bis Quarzsandsteine der Frauenbach-Gruppe auf. Der Hauptbleiträger ist Galenit, daneben tritt als Erzmineral noch Sphalerit auf. Die Bleigehalte liegen um 0,3% (HÖSEL u. a., 1997; siehe auch Kapitel 2.2.4 und HAAKE & KÜHNE, 1985).

Eisen

Im Projektgebiet gibt es drei Typen von Eisenmineralisationen, die in der Vergangenheit Ziel des Bergbaus waren: Massivsulfiderze als stratiforme linsenförmige Körper in kambro-ordovizischen (Meta-)Sedimenten werden als prävariszische sedimentäre oder submarin-exhalative Lagerstätten gedeutet. Die Mächtigkeiten erreichen 0,5 bis 1,5 m, maximal bis zu 12 Meter. Haupterzminerale sind Pyrit und Pyrrhotin, daneben sind Spessartin, zinkreiche Spinelle und Siderophyllit vertreten. Dieser Typ tritt zwischen Geyer und Elterlein sowie in der Umgebung von Schwarzenberg auf.

Magnetitskarne (Abb. 2-35) treten in verschiedenen Niveaus der lithologisch bunten kambroordovizischen Abfolgen auf. Die Skarne bilden linsenförmige Erzkörper mit bis zu 7 m Mächtigkeit bei Eisengehalten von durchschnittlich 39 %. Neben Magnetit treten Sphalerit und Granate der Grossular-Andradit-Reihe auf (Abb. 2-36). Im Projektgebiet ist dieser Typ bei Antonsthal, Pöhla und Geyer-Südwest verbreitet. Strukturkontrollierte Eisenvorkommen gibt es auf Gängen der Fluorit-Quarz-Assoziation und der Hämatit-Baryt-Assoziation. Diese durchschnittlich einen Meter, maximal bis zu 10 m mächtigen Gänge treten u. a. bei Schwarzenberg auf (HÖSEL u. a., 1997).

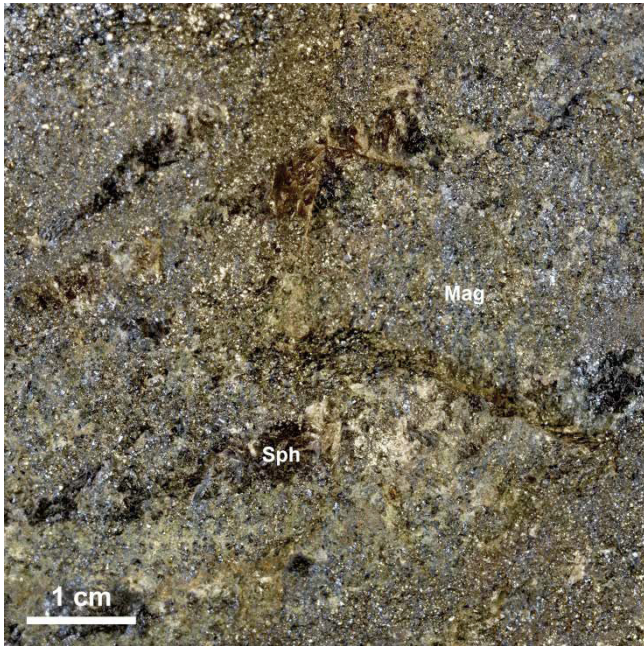


Abb. 2-35: Pyroxen-Granatfels mit körnigem Magnetit (Mag) und grobkristallinem Sphalerit (Sph). Pöhla-Globenstein, Halde vor Schurf 24

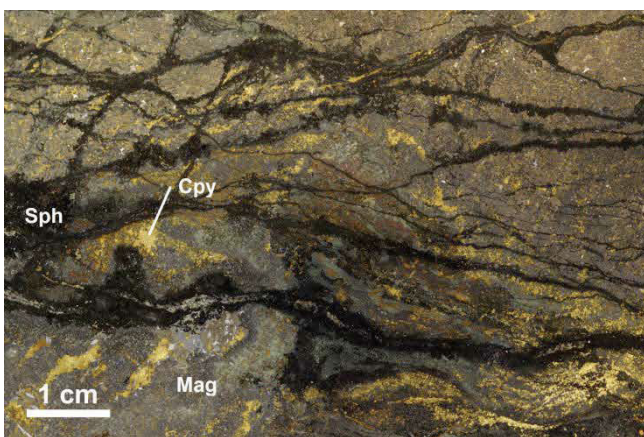


Abb. 2-36: Magnetit(Mag)-Sphalerit(Sph)-Skarn mit Chalkopyrit (Cpy), Lagengefüge und Kleintektonik im Erz. Ehrenfriedersdorf, 5. Sohle (Westfeld)

Kobalt

Kobalt tritt in Gängen der Bi-Co-Ni-(U-Ag)-Assoziation auf. Im Projektgebiet haben diese ihre größte Verbreitung im Revier Annaberg mit mindestens 160 bekannten Gängen. Die Mineralisation setzte mit Quarz, Chalcedon, Pechblende und dunkelviolettem Fluorit ein, darauf folgten gediegen Silber und Wismut sowie verschiedene Sulfide und Arsenide (Skutterudit, Nickelin, Rammelsbergit, Safflorit, Löllingit, Millerit, Cobaltin, Realgar). Die Mineralisation auf den Gangflächen ist oft absätzig und an Gangkreuze und kohlenstoffreiches Nebengestein (sog. schwarze Flöze bzw. Schwebende) gebunden. Die Erzmächtigkeiten erreichen bis 60 cm (BAUMANN, u. a., 2000).

Kupfer

In Annaberg und Marienberg zeigen Gänge der Polymetall-sulfid-Quarz-Assoziation teilweise erhöhte Kupfergehalte mit einer Quarz-Chlorit-Kassiterit-Pyrit-Chalkopyrit-Sphalerit-Arsenopyrit-Mineralisation (Abb. 2-37). Diese Gänge streichen meist Richtung ENE und fallen mit 45 bis 65° nach Norden oder Süden ein. Die Gänge sind bis 0,5 m, teilweise auch bis einem Meter mächtig. Ausnahmsweise werden auch bis 14 m Mächtigkeit erreicht (BAUMANN, u. a., 2000).

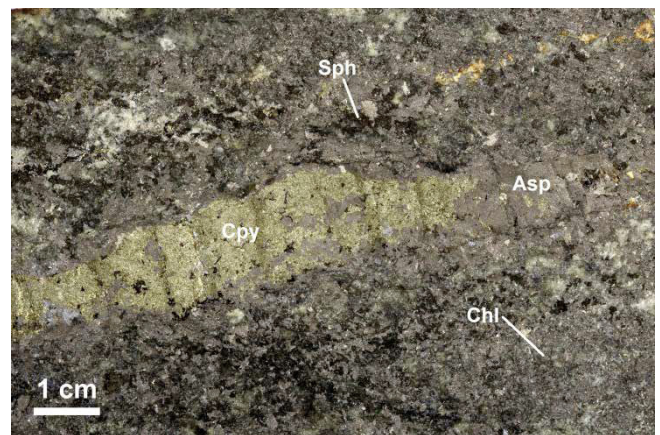


Abb. 2-37: Kompaktes Kupfer-Arsen-Erz mit vorwiegend grobkörnigem Arsenopyrit (Asp), in der Gangmitte ein 1 – 2 cm mächtiges Band von massivem Chalkopyrit (Cpy), im Arsenkieserz untergeordnet schwarzbrauner Sphalerit (Sph), wenig Chalkopyrit, in einer Gangart von vorwiegend grünlichem Chlorit (Chl). Haldenfund bei Lauta

Silber

Die Silbermineralisation in Form von gediegen Silber, Argentit, Proustit, Pyrargyrit, Freibergit und silberhaltigem Bleiglanz ist an verschiedene Typen sulfidführender Gänge gebunden. Von besonderer Bedeutung sind Gänge der Quarz-Sulfid-Assoziation, der Karbonat-Sulfantimonid-Assoziation und der Bi-Co-Ni-(U-Ag)-Assoziation. In der Anfangsphase des Bergbaus wurden vor allem die oberflächennahen Zementationszonen dieser Gänge abgebaut (HÖSEL u. a., 1997).

Uran

Im Modellgebiet tritt Uran praktisch ausschließlich strukturkontrolliert auf. Das wesentlichste Uranmineral ist die Pechblende. Diese tritt primär in der Karbonat-Pechblende-Assoziation auf. Durch spätere Remobilisation tritt Pechblende in unterschiedlichen Mengen auch in der Karbonat-Sulfid-Selenid-Folge, der Magnesiumkarbonat-Pechblende-Folge, der Fluorit-Quarz-Assoziation, der Hämatit-Quarz-Assoziation und speziell auch in der Bi-Co-Ni-(U-Ag)-Assoziation auf. Dabei ist eine reiche Uranerzführung vor allem auf die Gänge im Kontaktbereich zum kohlenstoffführenden Nebengestein (Schwarzschiefer, Lydit, Graphitphyllit, die so genannten schwarzen Flöze u. a.) im Dach von Granitintrusionen beschränkt. Gänge im Granit zeigen dagegen im Allgemeinen geringe Urangelhalte. Die am Westrand des Projektgebiets gelegene Lagerstätte Schlemma-Alberoda zählt zu den weltweit größten Ganglagerstätten von Uran. Hier wurden über 1000 Gänge erkundet, die sich häufig zu 10 bis 30 m mächtigen Gangscharen vereinigen. Einzelne Gänge zeigen meist unter 20 cm Erzmächtigkeit (HÖSEL u. a., 1997). Insgesamt ist die Erzführung sehr absätzig durch den oben genannten Einfluss des Nebengesteins. Dadurch war jeweils nur ein geringer Anteil der Gangfläche bauwürdig.

Zink

Das schon erwähnte stratiforme Blei-Zink-Vorkommen bei Jahnsbach zeigt Zinkgehalte von 0,7 %. Daneben tritt Zink in verschiedenen Polymetall-Skarnen, die teils große Mengen von Sphalerit enthalten, auf. In den Skarnen von Geyer-Südwest werden 1,6 % Zink, bei Breitenbrunn sogar 2,0 % Zink erreicht (HÖSEL u. a., 1997).

2.4.5 Bilanzierte Vorräte

Erläuterungen zur Vorratsberechnung

Die Einstufung der im Modellgebiet zur Zeit des Bestehens der DDR erkundeten Vorräte folgt der „Anordnung über die Klassifikation der Lagerstättenvorräte an Erdöl und Erdgas, die Klassifikation fester mineralischer Rohstoffe und die Klassifikation der Grundwasservorräte – Vorratsklassifizierungsanordnung“ (MINISTERIUM FÜR GEOLOGIE, 1979).

In dieser Klassifikation umfasst die Gruppe der **Bilanzvorräte** jene Vorräte, die zum Zeitpunkt der Klassifizierung wirtschaftlich gewinnbar waren. Vorräte der Klasse C2 sind so weit untersucht, dass die Lagerungsverhältnisse, die Abgrenzung des Rohstoffkörpers und die abbautechnischen Verhältnisse in allgemeinen Zügen bekannt sind. Vorräte der Klasse C1 sind so weit untersucht, dass eine exaktere Abgrenzung der Rohstoffkörpers und das Auftreten nicht bauwürdiger Bereiche bekannt sind und die Grundtypen der Gewinnungs-Aufbereitungs- und Verarbeitungstechnologie ableitbar sind.

Vorräte der Klassen A und B kommen im vorliegenden Bericht nicht vor.

Die Gruppe der **Außerbilanzvorräte** umfasst Vorräte die zum Zeitpunkt der Klassifizierung nicht wirtschaftlich gewinnbar waren, aber in der Zukunft nutzbar sein könnten (durch technologischen Fortschritt oder veränderte wirtschaftliche Bedingungen). Im Übrigen gelten für die Klasse c2 dieselben Bedingungen wie für Klasse C2 und für die Klasse c1 dieselben Bedingungen wie für Klasse C1.

Bilanz- und Außerbilanzvorräte werden im vorliegenden Bericht auch als **berechnete Vorräte** zusammengefasst.

Die Gruppe der **prognostizierten Vorräte** umfasst Vorräte, die wissenschaftlich begründet vorausgesagt werden, aber im Einzelnen noch nicht nachgewiesen sind. Dabei umfasst die Untergruppe **Delta2** Vorräte, deren Vorhersage nur auf der Grundlage geologischer, geophysikalischer, geochemischer und anderer Aussagen durch Analogieschlüsse getroffen werden. Die Untergruppe **Delta1** umfasst Vorräte, die zusätzlich durch mindestens einen Aufschluss nachgewiesen sind.

Die in den quantitativen Rechenmodellen mit der advangeo® Prediction Software ermittelten Vorräte werden im vorliegenden Bericht als **geschätzte Vorräte** bzw. **Potenziale** bezeichnet.

Die derart in den verschiedenen Erkundungsberichten klassifizierten Vorratsblöcke wurden gesammelt, um die gesamten bekannten und teilweise bereits abgebauten Vorräte im Modellgebiet zu bestimmen. Diese Rohstoffmengen sind in den Tabellen 2 bis 4 aufgelistet. Dabei wurden vor 1950 abgebaute Rohstoffe nicht berücksichtigt, weil für diese nur lückenhafte Informationen zu Fördermengen und Gehalten vorliegen. Wolfram ging bis ins 19. Jahrhundert in unbekannter Menge in den Abraum bzw. die Hüttenschlacken.

Insgesamt darf für die hier betrachteten Rohstoffe angenommen werden, dass der Abbau vor 1950 relativ zu den danach erkundeten Vorräten von geringem Umfang war. Es zeigt sich, dass auch nach 1950 nur ein geringer Teil der erkundeten Rohstoffe abgebaut wurde. So wurden nicht mehr als 30 % der strukturell kontrollierten und als Bilanzvorräte klassifizierten Zinn- und Wolfram-Vorräte abgebaut. Bei den lithologisch kontrollierten Vorräten wurden die bekannten Zinnreisen weitgehend abgebaut, während in den Skarnen nur Erkundungs- und Vorrichtungsarbeiten stattfanden. Die erkundeten Zinnvorräte belaufen sich auf 144.181 t Bilanzvorräte sowie 46.652 t Außerbilanzvorräte. Dazu kommen noch prognostizierte Vorräte von 140.000 t.

Die Bilanzvorräte für Wolfram betragen 47.530 t (berechnet als WO_3), die überwiegend in den Skarnen von Pöhla-Globenstein lagern. Neben vernachlässigbaren Außerbilanzvorräten gibt es noch rund 80.000 t prognostische Vorräte, die überwiegend in den Skarnen von Bernsbach (ca. 49.300 t) und Antonsthal (ca. 29.000 t) erwartet werden.

Diesen bereits erkundeten bzw. prognostizierten Vorräten sind in Tabelle 2 und 3 die Ergebnisse der quantitativen Prognosen des Projekts ROHSA 3.1 gegenübergestellt. Weitere Angaben zur Einordnung und Bewertung der Prognoseergebnisse finden sich in den dort genannten Kapiteln. Eine zusammenfassende Bewertung der Vorratssituation gibt Kapitel 6.1.

Die bisher bekannten und auch fast vollständig abgebauten Vorräte an Fluss- und Schwerspat liegen jeweils in der Größenordnung von 50.000 t. Damit handelt es sich um sehr kleine Vorkommen, auch im Vergleich mit anderen Lagerstät-

ten im Erzgebirge/Vogtland, die Rohstoffinhalte von mehr als einer Million Tonnen Spat enthalten (z. B. Niederschlag: 1,39 Mio. t Rohspat, Brunndöbra: 2,79 Mio. t. Rohspat jeweils als Bilanzvorräte nach GKZ, 2008). Damit zeigt sich, dass eine Wiederaufnahme des Spatbergbaus im Modellgebiet nur dann zu erwarten ist, wenn erheblich größere als die bisher bekannten Vorkommen entdeckt werden. Eine Perspektive ergibt sich für die Gewinnung von Flussspat als Nebenkomponekte beim Abbau von Zinn- und Wolframskarnen in Pöhla-Globenstein.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der bekannten und geschätzten Metallinhalte für lithologisch kontrollierte Mineralisationen (Quellen siehe Literaturverzeichnis). Die Lagerstätte Pöhla-Globenstein, die nur zum kleinen Teil im Projektgebiet liegt, sind hier vollständig mit eingerechnet.

Rohstoff	Lagerstättentyp									
	lithologisch kontrolliert: Skarn									
	bekannte Vorräte (Gehalte und Metallinhalte)							Prognose, Potenzial > 0,25	Prognose, Potenzial > 0,5	Kapitel
	C1,C2			c1,c2		Delta				
	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	davon abge- baut (%)	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	Rohstoff- inhalte (t)	Rohstoff- inhalte (t)	
Zinn	0,59	83.753	0	0,38	45.837	0,44	126.226	775.888	593.034	5.1.4
Wolfram (als WO ₃)	0,48	43.437	0	-	-	0,96	78.300	151.722	117.340	5.2.3
Flussspat (Neben- komponente in Pöhla-Gl.)	17,1	38.317	-	-	-	-	-	keine Prognose		
Schwerspat	-	-	-	-	-	-	-	keine Prognose		

Tabelle 3: Gegenüberstellung der bekannten und geschätzten Metallinhalte für strukturell kontrollierte Mineralisationen (Quellen siehe Literaturverzeichnis)

Rohstoff	Lagerstättentyp									
	strukturkontrolliert: gangförmig									
	bekannte Vorräte (Gehalte und Metallinhalte)							Prognose, Potenzial > 0,25	Prognose, Potenzial > 0,5	Kapitel
	C1,C2			c1,c2		Delta				
	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	davon abge- baut (%)	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	Ge- halte (%)	Rohstoff- inhalte (t)	Rohstoff- inhalte (t)	Rohstoff- inhalte (t)	
Zinn	0,24	53.491	10 bis 32	0,107	815	0,23	12.230	232.733	196.632	5.1.2
Wolfram (als WO ₃)	0,046	4.093	30	0,037	40	0,26	2.595	1.743	1.650	5.2.2
WO ₃ (nur Aue- Bärengrund)	0,29	191	0	-	-	0,29	2.309	1.743	1.650	5.2.2
Flussspat	70	48.600	100	-	-	-	-	nur qualitativ		5.4
Schwerspat	77,5	53.750	100	67	7.700	-	-	nur qualitativ		5.5

Tabelle 4: Bekannte Metallinhalte für Greisenkörper im Endokontakt (Quellen siehe Literaturverzeichnis)

Rohstoff	Lagerstättentyp								
	Greisen								
	bekannte Vorräte (Gehalte und Metallinhalte)							Prognose	Kapitel
	C1,C2			c1,c2		Delta			
	Gehalte (%)	Rohstoff-inhalte (t)	davon ab-gebaut (%)	Gehalte (%)	Rohstoff-inhalte (t)	Gehalte (%)	Rohstoff-inhalte (t)	Rohstoffinhalte	
Zinn	0,42	6.937	78	-	-	-	-	nur qualitativ	5.1.3

3 Prognoseverfahren

3.1 Überblick der in Rohstoffprognosen verwendeten Verfahren

3.1.1 Wissensbasierte Verfahren

Im günstigsten Fall wären bei einer Prognoserechnung alle Faktoren bekannt, die den Prognosegegenstand beeinflussen. Im Modellgebiet lägen für jeden Punkt exakte Werte der Faktoren vor und der Einfluss jedes Faktors auf das Prognoseergebnis wäre exakt bekannt. In diesen Fall würde ein wissensbasiertes mathematisch-analytisches Verfahren eine exakte Prognose liefern. In realen Szenarien ist oft keine dieser Voraussetzungen erfüllt: Man weiß nicht mit Bestimmtheit, ob man alle Faktoren kennt, die den Prognosegegenstand beeinflussen. Bei den bekannten Faktoren kann qualitativ eingeschätzt werden, ob sie starken oder schwachen Einfluss haben; die exakten analytischen Beziehungen sind aber nicht bekannt und können allenfalls durch Experimente empirisch angenähert werden. Weiterhin sind die Faktoren nicht an jedem geforderten Punkt, sondern nur lückenhaft, z. B. an einzelnen Messstellen oder Probennahmepunkten, bekannt. Zusätzlich sind die Werte der Faktoren nicht exakt bekannt, sondern nur innerhalb der Fehlergrenzen der verwendeten Analyse- oder Messmethoden. Eine weitere Herausforderung bei Rohstoffprognosen besteht darin, quantitative Faktoren (z. B. den Gehalt eines Elements in einer Probe, den Messwert des Magnetfeldes u. a.) mit qualitativen Faktoren (z. B. welches Gestein an einem bestimmten Punkt vorkommt) in Beziehung zu setzen und rechnerisch zu verarbeiten.

Rohstoffprognosen haben das Ziel, die Höffigkeit für einen bestimmten Rohstoff in einem bestimmten Gebiet zu bestimmen. Die Verfügbarkeit von geographischen Informationssystemen (GIS) und von ausreichend Rechenleistung für die Ausführung komplexer statistischer Berechnungen hat seit etwa 1980 zur Entwicklung einer Vielzahl von Prognoseverfahren geführt (Abb. 3-1), die CARRANZA (2009) im Überblick darstellt. Wissensbasierte Prognosen nehmen dabei im einfachsten Fall die Form von Entscheidungsbäumen an. Der Grad der Höffigkeit wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, die nacheinander an den Knoten des Entscheidungsbaums berücksichtigt werden. Ein einfaches Beispiel könnte wie Abb. 3-2 aussehen.

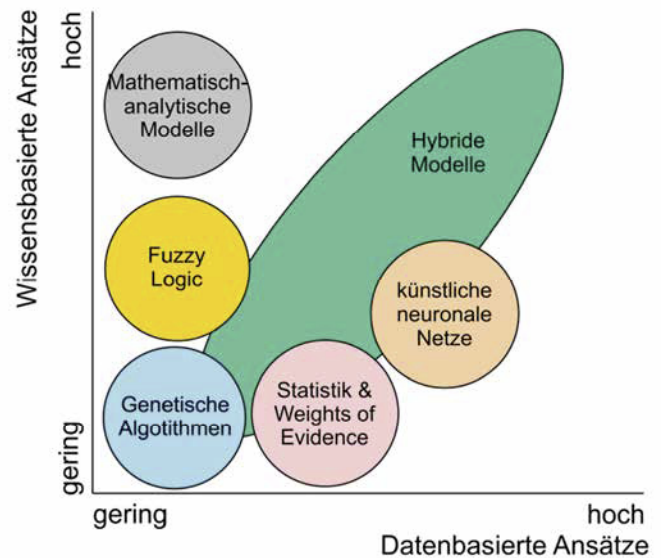


Abb. 3-1: Verschiedene Prognoseverfahren und ihre Eignung zur Rohstoffprognose

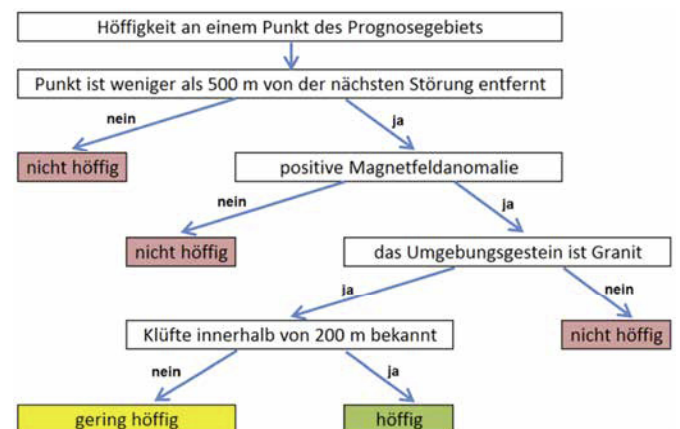


Abb. 3-2: Beispiel für einen einfachen Entscheidungsbaum mit vier Knoten (Entscheidungspunkten) zur wissensbasierten Rohstoffprognose

Wird dieses Verfahren für alle Punkte des Prognosegebiets angewendet, erhält man eine Karte der prognostizierten Höffigkeit. Die Voraussetzung ist, dass in jedem Schritt eine Entscheidung zwischen zwei oder mehr Alternativen getroffen werden kann. In der Praxis kann das problematisch sein. Zum

Beispiel wird es im Fall des Magnetfelds Punkte geben, an denen eindeutig Anomalien vorhanden sind, und Punkte, an denen eindeutig keine Anomalien vorhanden sind. Daneben gibt es Punkte, an denen möglicherweise schwache Anomalien in der Größenordnung der Messgenauigkeit vorhanden sind, oder zu wenige Messungen vorliegen, oder Fehler bei der Messung vermutet werden. In solchen Fällen ist keine klare Ja/Nein-Entscheidung möglich. Stattdessen kann der Sachverhalt mittels Fuzzy Logic ausgedrückt werden: Neben den Möglichkeiten Ja (1) und Nein (0) sind alle Werte zwischen 0 und 1 möglich, die über Fuzzyfunktionen ausgedrückt werden. Der entsprechende Schritt im Entscheidungsbaum könnte so aussehen:

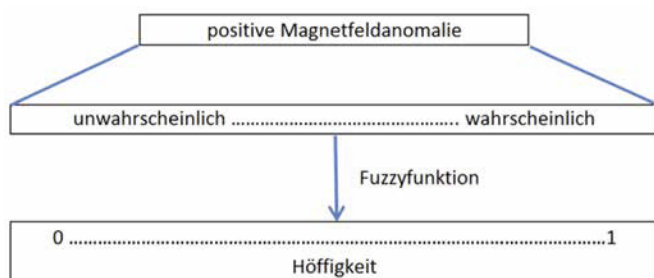


Abb. 3-3: Ein Knoten des Entscheidungsbaums aus Abb. 3.1 mit implementierter Fuzzy Logic. Der erhaltene Wert der Höffigkeit wird mit den Fuzzyfunktionen der folgenden Knoten verrechnet.

Ein Nachteil dieser Methoden ist, dass der Einfluss der einzelnen Faktoren auf das Prognoseergebnis ohne Berücksichtigung von deren Wechselwirkungen gewertet wird. Beispielsweise könnte die Magnetfeldanomalie hohen prognostischen Wert haben, wenn das Nebengestein Granit ist, während Vorkommen im Gneis weniger stark durch Magnetfeldanomalien in Erscheinung treten. Diese Wechselwirkungen können durch das Verfahren der Evidenzkarten (s. Abb. 3-4 für das folgende Beispiel) berücksichtigt werden. Dabei wird jedem Faktor an jedem Punkt im Modellgebiet ein Punktwert (Score) zugewiesen (ggf. mittels Fuzzy Logic), der die Stärke des Einflusses auf das Prognoseergebnis ausdrückt. Die Scores der Evidenzkarten werden dann durch logische Verknüpfungen zu einem finalen Score verrechnet, der die Höffigkeit angibt. Im vorliegenden Beispiel sei bekannt, dass der Rohstoff häufig in Graniten, manchmal in Gneisen und nie in Phylliten auftritt. Die Evidenzkarte Lithologie (L) hat dann folgende Scores:

- Granit: 10
- Gneis: 5
- Phyllit: 0

Die Evidenzkarte Magnetfeldanomalie (M) erhält Scores von minus 20 für stark negative Anomalien bis plus 20 für stark positive Anomalien. Damit wird ausgedrückt, dass die Magnetfeldanomalien generell einen stärkeren Einfluss haben als die

Lithologie. Es sei aber bekannt, dass in Gneisen dieser Einfluss geringer ist, und dass in Phylliten unabhängig vom Magnetfeld keine Vorkommen existieren. Damit könnte die Verknüpfung folgendermaßen festgelegt werden:

$$\text{Höffigkeit} = \begin{cases} \text{Score}(L) + \text{Score}(M) & \text{wenn } L = \text{Granit} \\ \text{Score}(L) + 0,25 \cdot \text{Score}(M) & \text{wenn } L = \text{Gneis} \\ 0 & \text{wenn } L = \text{Phyllit} \end{cases}$$

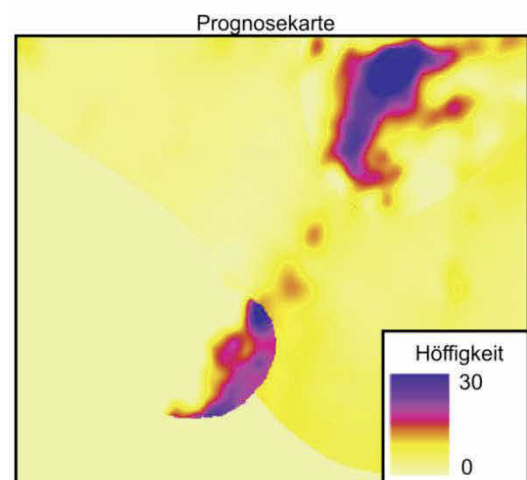
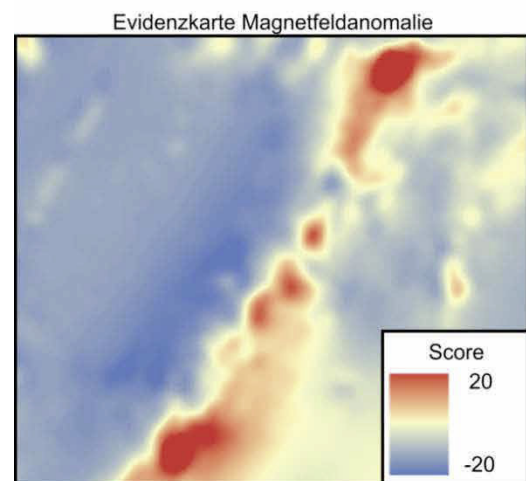
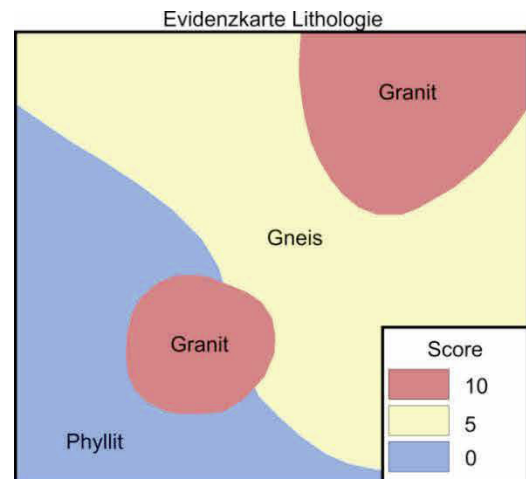


Abb. 3-4: Beispiel für die Verwendung von Evidenzkarten zur Rohstoffprognose, siehe Erläuterungen im Text

3.1.2 Datengetriebene Verfahren

Auch wenn mit Hilfe der Fuzzy Logic Unsicherheiten bei der Bewertung von Faktoren ausgedrückt werden können, erfordern wissensgetriebene Verfahren immer noch die Festlegung der Gewichtung der einzelnen Faktoren. Es muss z. B. bekannt sein, ob Magnetfeldanomalien ein starkes oder ein schwaches Kriterium zur Voraussage von Rohstoffvorkommen sind (oder ob es gar keine Beziehung zu den Rohstoffvorkommen gibt). Wenn unbekannt ist, wie stark einzelne Faktoren das Vorkommen des zu prognostizierenden Rohstoffs beeinflussen, können datengetriebene Verfahren zum Einsatz kommen. Hier ist die Voraussetzung, dass es im Modellgebiet bereits bekannte Rohstoffvorkommen gibt, die als Trainingsdaten genutzt werden, um die Lokaltäten weiterer bisher unbekannter Vorkommen zu prognostizieren. Die Gewichtung der einzelnen Faktoren wird dadurch ermittelt, dass die Summe der gewichteten Faktoren an den bekannten Vorkommen hohe Höffigkeiten ergeben sollte und dass in den meisten Bereichen ohne Vorkommen die Höffigkeit niedrig ist (nur ein kleiner Flächenanteil des Modellgebiets enthält den Rohstoff, der größere Flächenanteil ist rohstofffrei). Es kommen verschiedene statistische und geostatistische Verfahren zum Einsatz. Im Bereich der Rohstoffprognose haben sich das Weights of Evidence-Verfahren (WoE) und künstliche neuronale Netze (KNN) bewährt.

Im Weights of Evidence-Verfahren erfolgt die Gewichtung vereinfacht dargestellt, indem die Anzahl der „Treffer“ mit der Anzahl der „Nicht-Treffer“ verglichen wird. Zum Beispiel wird für die bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) ermittelt, wie viele innerhalb von Graniten auftreten und wie viele außerhalb. Dann ist

$$WoE(Granit) = \ln \frac{\text{Anzahl Vorkommen im Granit}}{\text{Anzahl Vorkommen außerhalb von Granit}}$$

Aus den gefundenen Gewichten kann z. B. mit dem Verfahren der logistischen Regression die Höffigkeit berechnet werden. Künstliche neuronale Netze sind dem biologischen Vorbild nachempfunden. Das Grundelement ist das Neuron, das in einem Netzwerk aus gerichteten Verbindungen mit anderen Neuronen verbunden ist. Es verarbeitet eingehende Informationen nach einem bestimmten Algorithmus und leitet – falls es aktiviert wird – das Ergebnis an nachfolgende Neuronen weiter.

Abb. 3-5 zeigt schematisch ein Neuron mit drei eingehenden und einer ausgehenden Verbindung. Den Eingangsinformationen x_1 , x_2 und x_3 werden die Gewichte w_1 , w_2 und w_3 zugewiesen. Die so genannte Propagationsfunktion berechnet hieraus den Wert A . Der Wert der Aktivierungsfunktion bestimmt, ob dieser Wert an die angeschlossenen Neuronen weitergegeben wird.

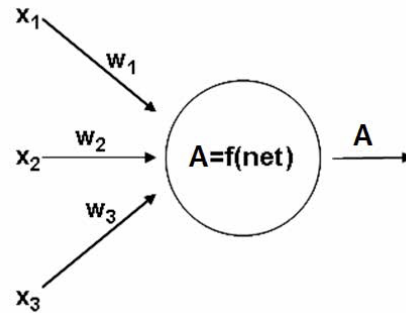


Abb. 3-5: Schematische Darstellung der Datenprozessierung in einem Neuron, das in ein künstliches neuronales Netz eingebunden ist.

Meist sind die Neuronen in Schichten angeordnet, wobei die Werte der letzten Schicht das Ergebnis der Berechnung, in diesem Fall die prognostizierte Höffigkeit, darstellen. Dabei sind viele Netzwerkkonfigurationen möglich, die für verschiedene Aufgaben geeignet sind. Entscheidend ist die Abstimmung der Netzwerkkonfiguration und der verwendeten mathematischen Funktionen auf die jeweilige Anwendung.

Für die vorliegenden Prognoserechnungen kommt ein Multi Layer Perceptron (MLP, s. Abb 3-6) zum Einsatz. Das MLP ist eine spezielle Art eines KNN, welches aus einer Eingabeschicht (Input Layer), einer verdeckten Schicht (Hidden Layer) und einer Ausgabeschicht (Output Layer) besteht. Jede dieser Schichten besteht aus einer Vielzahl von Neuronen. In der Eingabeschicht entspricht die Anzahl der Neuronen der Anzahl der Modelleingangsdaten. Der Informationsfluss innerhalb des hier verwendeten KNN ist vorwärts gerichtet, d.h. „feed forward“. Die Verbindungsrate (connection rate) zwischen den Neuronen im KNN ist 1 – es existiert nur eine Verbindung zwischen jeweils zwei Neuronen im KNN.

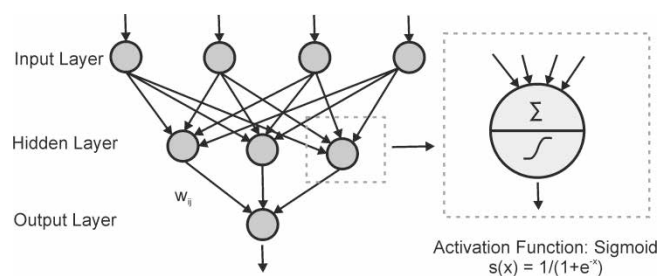


Abb. 3-6: Netzwerkkonfiguration eines Multi Layer Perceptrons (MLP), wie es für die vorliegenden Prognosen zum Einsatz kam.

Die Gewichtung der Modelleingangsdaten erfolgt nach einem Lernprinzip. Zunächst wird jeder Verbindung ein zufälliges Gewicht zugewiesen. An den Punkten mit bekannten Werten (den Trainingsdaten) wird das Ergebnis der Prognose mit den realen Werten verglichen. Im Fall der qualitativen Prognose ist

das eine Höffigkeit gleich eins, im Fall der quantitativen Prognose ist es z. B. der Metallinhalt in Kilogramm pro Tonne Gestein. Aus der Differenz von Prognosewerten und realen Werten an den Trainingspunkten wird ein Modellfehler berechnet. Die Gewichte der Verbindungen werden im nächsten Schritt angepasst und wieder der Modellfehler berechnet. Auf diese Weise werden die Gewichtungen so lange verbessert, bis der Modellfehler ein stabiles Minimum erreicht.

Details zum mathematischen Hintergrund und der generellen Vorgehensweise der Nutzung von KNN bei der Rohstoffprognose können verschiedenen Veröffentlichungen entnommen werden (siehe z. B. BARTH u. a. 2010, 2014 und 2015).

3.1.3 Hybride Verfahren

Hybride Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass versucht wird, vorhandenes Fachwissen über lagerstättengeologische Zusammenhänge durch geeignete Auswahl und Vorbereitung der Daten, die einem datenbasierten Verfahren als Modelleingangsdaten dienen, zu berücksichtigen. Da bekannte Vorkommen im Modellgebiet vorausgesetzt werden, bestehen in der Regel bereits Vorstellungen über die lagerstättenkontrollierenden Faktoren, auch wenn deren relativer Einfluss nicht bekannt ist. Daten zu diesen Faktoren können gezielt gesammelt und aufbereitet werden. Die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung für die vorliegenden Prognosen ist in Kapitel 4 dokumentiert. Ein weiterer Aspekt ist die Evaluierung der berechneten Prognosekarten. Hier können Validierungspunkte (bekannte Vorkommen, die nicht als Trainingsdaten genutzt werden), statistische Parameter zur Bewertung der Modellqualität und der Gewichtung der einzelnen Faktoren sowie der Vergleich mit anderen Modellierungs- und Schätzverfahren zum Einsatz kommen. Die Vorstellung und Evaluierung der einzelnen Prognosen erfolgt in Kapitel 5.

3.2 Verwendetes Prognoseverfahren und genutzte Software

Die rohstoffgeologische Höffigkeitsprognose im Modellgebiet erfolgte mit Hilfe der Methodik der künstlichen neuronalen Netze. Die advangeo® Prediction Software (BEAK CONSULTANTS GMBH 2015) stellt diese Methode in Verbindung mit Esri ArcGIS® zur Verfügung.

Das Verfahren der künstlichen neuronalen Netze gestattet eine objektive und unvoreingenommene Analyse der Zusammenhänge zwischen einer abhängigen Variablen – entweder der räumlichen Lage einer Mineralisation (qualitative Prognose) oder der räumlichen Lage einer bestimmten Rohstoffmenge (quantitative Prognose) – und einer Vielzahl (potenziell) kontrollierender Faktoren. Durch die zielgerichtete Nutzung bekannter lagerstättengenetischer Zusammenhänge bei der Vor-

bereitung der Daten können in einem hybriden Verfahren in der Regel sehr gute Prognoseergebnisse erzielt werden.

Die bei Beak seit 2007 entwickelte Software advangeo® Prediction Software deckt mit der implementierten Fachschale Rohstoffe (Erweiterung „Minerals“) den Arbeitsfluss der Ausführung quantitativer und qualitativer Prognoserechnungen ab. Sie ist vollständig kompatibel mit Esri ArcGIS® 10.2.2. und besteht aus drei Komponenten:

- dem Daten- und Modellexplorer mit:
 - den Rechenkernen für KNN, WoE (Weights of Evidence), FL (Fuzzy Logic),
 - Funktionen zur Datenvorbereitung (Rastierung, Datenextraktion, Projektion auf einheitliche Raster, Umcodierung, Normierung, usw.),
 - Funktionen zur Visualisierung der Metadaten der Berechnungen,
 - Funktionen zur Validierung der Rechenergebnisse,
 - Schnittstellen zur Kommunikation mit anderen Interpretationsprogrammen,
- dem GIS zur:
 - Prozessierung von Geometriedaten,
 - Visualisierung der Daten und Ergebnisse,
- der Datenbank zur:
 - Speicherung der Daten (Geometriedaten, Gewichte der Neuronen, Fuzzy-Operatoren usw.),
 - Speicherung der Metadaten (z. B. Parameter der Berechnungen, Konfiguration der KNN, usw.).

Die Erweiterung „Minerals“ bietet umfangreiche Hilfe bei der Vorprozessierung der Daten, was die Ausführung von realen Berechnungen außerordentlich beschleunigt.

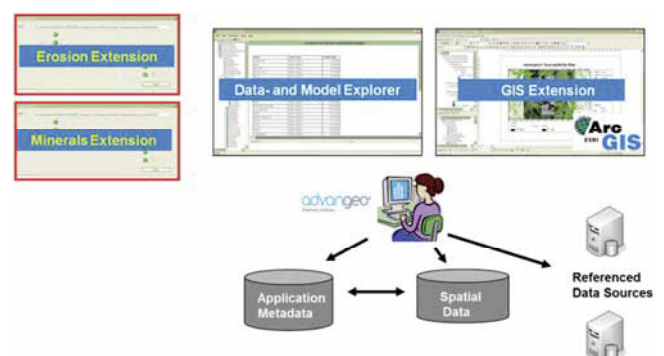


Abb. 3-7: Darstellung der Komponenten der advangeo® Prediction Software, die für die Prognoserechnungen zum Einsatz kam

Die advangeo® Prediction Software bildet die für die Erzeugung eines KNN-Modells erforderlichen Arbeitsschritte systematisch ab:

1. Erzeugung eines Rechenprojektes („Project“),
2. Definierung von Modellgrenzen und Basisgrid („Base Data“),
3. Erstellung der Trainingsdaten („Training Data“)
4. Zusammenstellung und Beschreibung der Datengrundlagen („Source Data“),
5. Aufbereitung der Datengrundlagen („Source Data“) und Vorprozessierung der Daten („Processed Source Data“),
6. Erstellung der Modelleingangsdaten („Model Input Data“),
7. Training, Test und Anwendung der KNN-Modellszenarien („Parameterized Model“),
8. Darstellung der Prognoseergebnisse/Kartographie.

Rechenprojekte („Projects“) bilden die Grundlage jeder Modellierung. Sie sind die oberste Hierarchieebene im Datenexplorer, der alle Objektarten für eine leichte Navigation in einer Baumstruktur hierarchisch darstellt. Mit der Definition eines Projekts grenzt der Nutzer die fachliche Problemstellung ab. Anschließend erfolgt die Festlegung des Projektgebietes („Base Raster“) und diverser Teilgebiete (Trainingsgebiete/„Training Area“, Untersuchungsgebiet/ „Project Area“). Datenquellen („Source Data“) können entweder referenziert oder in das Projekt importiert werden. Die fachliche und technische Vorbereitung der Daten und die Erzeugung konsistenter Inputdaten erfolgt mittels der Module „Processed Source Data“ und „Model Input Data“.

Der eigentliche Rechenkern liegt hinter dem Modul „Parameterized Models“. Die Software stellt eine umfangreiche Unterstützung zur Parametrisierung der KNN bereit. Dem ungeübten Nutzer werden bewährte Standardwerte in der Voreinstellung angeboten. Die GIS Extension visualisiert die Daten und Rechenergebnisse und gestattet die automatisierte Erzeugung nutzerspezifischer Karten. Die Software leitet den Nutzer schrittweise durch die einzelnen Arbeitsschritte und stellt spezifische Hilfsmittel für die Bearbeitung bereit (z. B. Konvertierung von Vektordaten in Rasterdaten, Skalentransformation). Die Erzeugung, das Training und die Kalibrierung der KNN-Modelle ist mit dem Modul „Parameterized Models“ in diesen Prozess geeignet eingebunden. Zur Ergebnisbewertung stellt die advangeo® Prediction Software folgende Funktionen bereit:

- Fehlerkurve (Veränderung des Fehlers mit der Anzahl der Iterationen),
- Vergleich von Berechnungsergebnis und Trainingsdaten mittels Histogrammen,

- Bewertung der Gewichte der Einzelparameter für das jeweilige Rechenergebnis (Auswertung der Gewichte des trainierten neuronalen Netzes) mit Connection Weights und nach Garsons Algorithmus (OLDEN u. a., 2004).

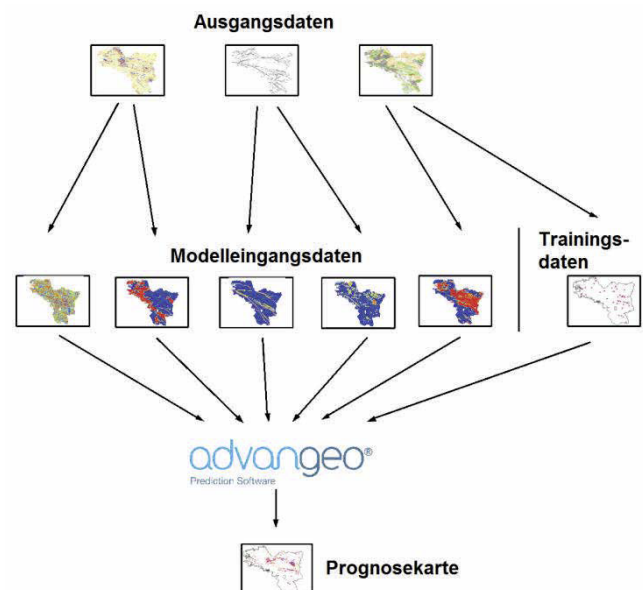


Abb. 3-8: Überblick über den generellen Aufbau des Rechenprojektes in der advangeo® Prediction Software

Die langjährigen Erfahrungen in der Nutzung künstlicher neuronaler Netze (KNN) in der Rohstoffprognose gestatten folgende Schlussfolgerungen:

- das KNN erkennt sicher vorhandene Zusammenhänge,
- das KNN erkennt ebenfalls sicher fehlende Zusammenhänge,
- das KNN eignet sich hervorragend zur Bewertung der Höhe des Einflusses der einzelnen Parameter auf die abhängige Variable,
- das KNN kann in Abhängigkeit der verfügbaren Daten sowohl qualitative (z. B. Wahrscheinlichkeit des Auftretens) als auch quantitative (z. B. Mengen, Inhalte) Prognosen rechnen.

3.2 Erzeugung eines Rechenprojekts mit der advangeo® Prediction Software

3.3.1 Definierung von Modellgrenzen und Basisgrid („Base Data“)

Innerhalb der advangeo® Prediction Software wurde ein Rechenprojekt erstellt. Dieses dient der Dokumentation aller verwendeten Datengrundlagen, aller aufbereiteten Modellein-

gangs- und Trainingsdaten sowie der gerechneten KNN-Modellszenarien.

Zur Erzeugung der Modelleingangsdaten und zur Berechnung der Prognosemodell wurde ein Basisgrid im Koordinatensystem „ETRS 1989 UTM Zone 33N“ mit folgenden Eckkoordinaten definiert:

- Westen (min. Rechtswert): 337.000
- Osten (max. Rechtswert): 378.000
- Norden (max. Hochwert): 5.619.000
- Süden (min. Hochwert): 5.595.000

Das definierte Basisgrid hat eine räumliche Auflösung von 50 m. Anschließend wurde das ROHSA 3.1-Projektgebiet zur Abgrenzung des zu berechnenden Prognosemodells in die advanceo® Prediction Software als „Project Area“ importiert.

3.3.2 Training, Test und Anwendung der KNN Modellszenarien („Parameterized Model“)

Für die Prognoserechnungen mit der advanceo® Prediction Software wurde bei der Erstellung der „Parameterized Models“ die Methode „Multi Layer Perceptron“ (MLP) ausgewählt, um künstliche neuronale Netze (KNN) zu erstellen und zu trainieren.

Weiterhin wurden die folgenden Parameter für das KNN verwendet:

- Lern-Parameter:
 - Aktivierungsfunktion:
 - Funktion: Sigmoid,
 - Steepness: 0,5,
 - Lernalgorithmus:
 - Typ: RPROP (resilient backpropagation of error),
 - Funktion: Tanh,
 - Increase Factor: 1,2,
 - Decrease Factor: 0,5,
 - Minimum Delta: 0,
 - Maximum Delta: 50,
- Training-Parameter:
 - Weights initialization: Initialize,
 - Maximum number of epochs: 300,
 - Stop criteria for MSE: 0,001,
- Balancing-Parameter:
 - Balancing-Factor: 50%.

Die Anpassung des KNN an die Daten erfolgt in einem Trainingsprozess schrittweise in Iterationen. Nach jeder Iteration vergleicht die Software das jeweilige berechnete Ergebnis mit den Trainingsdaten und ermittelt den Modellfehler. Durch

nachfolgende Veränderung der Gewichte wird der Modellfehler minimiert. Ein Modellfehler von $>0,2$ verweist auf fehlende Zusammenhänge zwischen den Modellparametern und den Trainingsdaten. Derartige Modelle sind nicht nutzbar. Ein Modellfehler von knapp unter 0,2 weist auf bestehende Zusammenhänge mit größeren Unsicherheiten hin. Die Histogramme der Prognoseergebnisse zeigen eine dementsprechend breite Streuung (der Gipfel des Histogramms für die Trainingsobjekte liegt bei 0,6 – 0,8). Modellfehler von deutlich unter 0,1 sind klare Indikation für sehr enge Abhängigkeiten. Dementsprechend klar sind dann auch die in den Histogrammen dargestellten Gesetzmäßigkeiten (Gipfel des Histogramms für die Trainingsobjekte liegt bei 0,8 und höher).

Alle Modelleingangsdaten (Model Input Data) wurden entweder als binäre Daten mit 0 und 1 kodiert bzw. als Fließzahlenraster mit Werten zwischen 0 und 1 skaliert.

Für die Trainingsdaten (Training Data) der qualitativen Prognosen (Prognose der Lokalitäten) wurden an den bekannten Vorkommen Trainingspixel mit dem Wert der Höffigkeit von 1 generiert und der Rest der Modellgebietes mit einem Wert von 0 angenommen. Die Werte des Ergebnistrasters (Output Layer) für die qualitativen Prognosen liegen analog zwischen 0 und 1, d.h. zwischen 0 % und 100 % für die Höffigkeit bzw. das Potenzial, eine Lagerstätte vom gleichen Typ wie die Trainingspixel zu finden.

Für die Trainingsdaten (Training Data) der quantitativen Prognosen (Prognose der Lokalitäten und Metallinhalte) wurden aus den bekannten Vorratsblöcken Trainingspixel mit umgerechneten Vorräten in Tonnen je Rasterzelle von 50 x 50 m berechnet. Da die Metallinhalte über mehrere Größenordnungen schwanken (viele kleine Werte und wenige sehr große Werte) ist eine Datentransformation nötig, um die Werte möglichst gleichmäßig auf die Skala von 0 bis 1 zu verteilen. Dazu wurde logarithmisch zwischen 0 und 1 für Werte zwischen einer Tonne und 250 Tonnen je Rasterzelle für strukturkontrolliertes Zinn, zwischen 0,1 Tonnen und 100 Tonnen je Rasterzelle für strukturkontrolliertes Wolfram und zwischen 10 Tonnen und 1000 Tonnen je Rasterzelle für lithologisch kontrolliertes Zinn und Wolfram skaliert. Die Werte des Ergebnistrasters (Output Layer) für die quantitativen Prognosen liegen ebenfalls zwischen 0 und 1 und müssen anschließend in die eigentlichen Werte für die prognostizierten Vorräte rücktransformiert werden.

Im Ergebnis der Modellierung mit der advanceo® Prediction Software wurden mit Hilfe der von OLDEN & JACKSON (2002) bzw. OLDEN u. a. (2004) dargestellten Methodik die sogenannten „Connection Weights“ berechnet. Dies ist eine Summenfunktion aller Gewichte eines künstlichen neuronalen Netzes, die einem bestimmten Eingangsparameter zugeordnet werden können. Dieser Ansatz gibt Auskunft über die mittlere Wichtung bzw. Bedeutung des Parameters bei der Modellierung. Mit Hilfe des Garson-Algorithmus konnte diese Wichtung zudem noch prozentual auf ihren Anteil an der Gesamtichtung im

künstlichen neuronalen Netz umgerechnet werden. Im Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse erhält man Auskunft, welche Eingangsdaten den stärksten Einfluss auf das Modellergebnis haben.

wie z. B. der Verteilung der Metalle in den Bachsedimenten und vorhandenen geologischen Kenntnissen.

3.3.3 Ablauf der Modellierung

Die Prognose der Rohstoffpotenziale erfolgte mit dem Schwerpunkt der Suche perspektiver Flächen (qualitative Prognose) sowie bei Vorhandensein entsprechender Daten (Vorratsdaten aus mehreren in der Fläche verteilten Blöcken) auch mit dem Ziel der Prognose von Lokalitäten und der Schätzung ihrer Metallinhalte (quantitative Prognose). Die Einschätzung des Anschnittsniveaus der Mineralisationen bzw. der erwarteten Teufenlage vermuteter verdeckter Mineralisationen erfolgte unter Nutzung der wesentlichen kontrollierenden Faktoren: Abstand zum Granit, geochemische Eigenschaften der Mineralisationen, räumliche Lage der lithologischen und/oder strukturellen Fallen sowie der Lagebeziehungen zwischen Granit und den lithologischen Fallen. Die Einschätzung der Teufenerstreckung der Verskarnung als Grundvoraussetzung für die Ausbildung lithologisch kontrollierter Mineralisationen erfolgte mit Hilfe von KNN-Modellen (Kapitel 5.3) separat für die drei höffigen Formationen (Raschau-Formation, Griebbach-Formation, Herold-Formation).

Der Aufbau der qualitativen Modelle erfolgte schrittweise unter Berücksichtigung der jeweiligen kontrollierenden Faktoren. Dabei wurde der direkte Indikator Metallgehalt der zu prognostizierenden Mineralisation (Zinn, Wolfram) in Bachsedimenten nicht für die Erstellung der Modelle genutzt, sondern diente vielmehr zur Verifikation des Ergebnisses der Berechnungen. Für die quantitative Prognose dagegen wurde die Höhe der Metallgehalte in den Bachsedimenten mit genutzt.

Insgesamt wurden 231 Prognosemodelle gerechnet:

- 139 für Zinn (85 für strukturkontrollierte Mineralisationen, 39 für lithologisch kontrollierte Mineralisationen, 15 für Greisenkörper im Endokontakt),
- 50 für Wolfram (29 für strukturkontrollierte Mineralisationen, 21 für lithologisch kontrollierte Mineralisationen),
- 18 für Flussspat,
- 2 für Schwespat,
- 22 für die Ausbildung von Skarnhorizonten.

In dieser Veröffentlichung werden die 14 plausibelsten Modelle dargestellt und ausführlich diskutiert. Die Einschätzung der Plausibilität und Korrektheit der Modelle erfolgte sowohl mittels der modellspezifischen Kriterien (Fehlerkurve, Histogramme, Gewichte der Neuronen) als auch mittels der Nutzung von bekannten geologischen und geochemischen Sachverhalten,

4 Beschreibung und Aufbereitung der Ausgangsdaten

4.1 Lagerstätten und Vorkommen

4.1.1 Daten zu Rohstoffvorkommen

Vorkommen

Prinzipielle Datengrundlage für punktförmige Informationen der Rohstoffvorkommen im Untersuchungsgebiet war die bei Beak Consultants vorhandene Rohstoff-Datenbank (Abb. 4-1). Die darin enthaltenen Daten für Zinn, Wolfram und Spat können zwar prinzipiell zum Training der Prognosemodelle in der advangeo® Prediction Software verwendet werden, liegen jedoch nur punktförmig vor und stellen daher keine gute Repräsentation der räumlichen Ausdehnung des Vorkommens an sich dar. Aufgrund dessen wurden alle Rohstoffvorkommen flächenhaft aus den zur Verfügung stehenden Karten und Berichten recherchiert und in einer Datenbank erfasst. Dabei handelt es sich um die geologischen Kartenwerke (GK25, GK50) des LfULG, die im Rahmen des Projekts ROHSA digitalisierten Berichte sowie um Publikationen in der geowissenschaftlichen Fachliteratur. Auf Grundlage dieser Informationen wurden für jedes Rohstoffvorkommen Verbreitungsflächen digitalisiert. Diese Vorkommensflächen können zum Training des Prognosemodells verwendet werden, jedoch nur für qualitative Modelle.

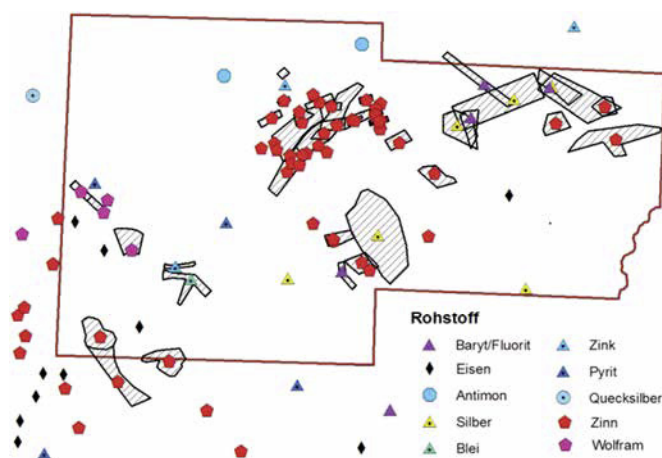


Abb. 4-1: Vorkommen (punktförmig) aller metallischen Rohstoffe und flächenhafte Verbreitung der Rohstoffvorkommen von Zinn, Wolfram und Spat

Vorratsblöcke

Zum Training von quantitativen Rohstoff-Prognosemodellen sind Flächeninformationen mit Tonnagen bzw. kg/m^2 für den Rohstoff notwendig. Dazu wurden aus den vorliegenden Berichten und Karten die maximale Ausdehnung der Vorratsblöcke in den verschiedenen Sohlenniveaus an die Erdoberfläche projiziert und entsprechend digitalisiert. Die folgende Abb. 4-2 gibt einen Überblick über die digitalisierten Vorratsblöcke. Jene wurden in einer Datenbank mit Rohstofftyp, geschätzter Mächtigkeit und geschätzten bzw. berechneten Reserven/Ressourcen auf Grundlage der im Literaturverzeichnis aufgelisteten Erkundungsberichte erfasst.

Die Tonnage-Werte können unter Annahme der Mächtigkeit und Berechnung der Vorratsblockfläche im GIS in einen Wert in Gewicht je Flächeneinheit (kg/Rasterzelle bzw. kg/m^2) umgerechnet werden. Daraufhin konnten diese Daten nach der Vektor-zu-Raster-Konvertierung als Trainingsdaten verwendet werden.

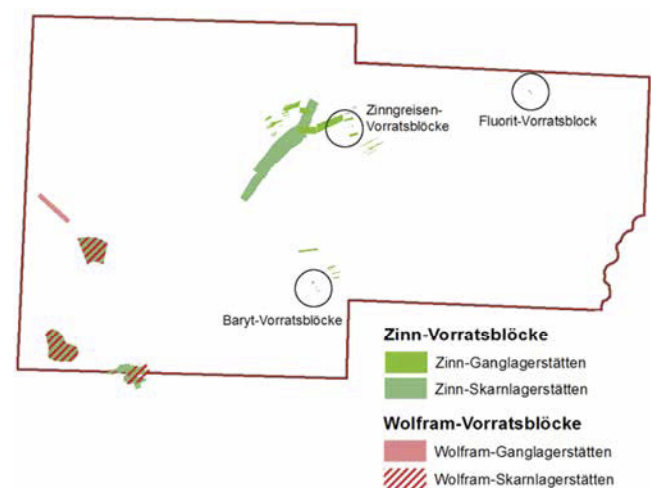


Abb. 4-2: Vorratsblöcke von Zinn (Hellgrün: strukturkontrolliert, dunkelgrün: lithologisch kontrolliert) und Wolfram (hellrot: strukturkontrolliert, dunkelrot: lithologisch kontrolliert). [Vorratsblöcke von Spat und Greisen sind zu klein zur Darstellung im Abbildungsmaßstab]

4.1.2 Erstellung der Trainingsdaten („Training Data“)

Zinnmineralisationen

Es wurden Trainingsdaten für die drei zu bearbeitenden Typen industrieller Zinnmineralisationen:

- hochthermale Mineralisationen (Greisengänge, Kassiterit-Quarzgänge) auf linearen Strukturen im Exokontakt/Endokontakt,
- (größere) Greisenkörper im Endokontakt,
- lithologisch kontrollierte Mineralisationen im Exokontakt (Skarne)

mit höchstmöglicher räumlicher Genauigkeit neu erstellt:

- Karten mit Ausbisslinien/-punkten bekannter Sn-Mineralisationen (für lineare Mineralisationen, Abb. 4-3, s. a. Anlage 1),
- Karten mit Verbreitungsflächen bekannter Sn-Mineralisationen (für Skarne, Gangzüge und Greisenkörper, Abb. 4-3, s. a. Anlage 1),
- Karten mit Polygonen der Horizontalprojektionen berechneter/prognostizierter Ressourcen, inkl. der darin enthaltenen Metallmengen, separierbar nach Skarnen, Greisen und Gängen (Abb. 4-4 b, d, e).

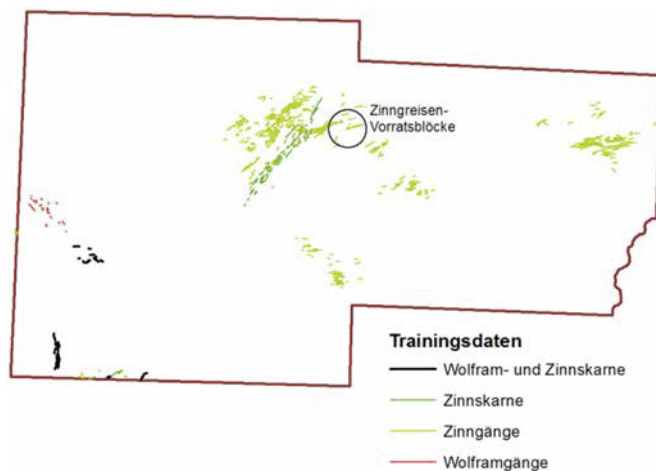


Abb. 4-3: Trainingsdaten für strukturkontrolliertes Zinn (Zinngänge, hellgrün), für lithologisch kontrolliertes Zinn im Exokontakt (Zinnskarne, dunkelgrün und schwarz), für strukturkontrolliertes Wolfram (Wolframgänge, rot) und für lithologisch kontrolliertes Wolfram im Exokontakt (Wolframskarne, schwarz). Die Trainingsdaten für die Zinngreisen sind zu klein zur Darstellung im Abbildungsmaßstab.

Wolframmineralisationen

Es wurden Trainingsdaten für die zwei zu bearbeitenden Typen industrieller Wolframmineralisationen:

- hochthermale Mineralisationen (Quarzgänge) auf linearen Strukturen im Exokontakt,
- lithologisch kontrollierte Mineralisationen im Exokontakt (Skarne)

mit höchstmöglicher räumlicher Genauigkeit neu erstellt:

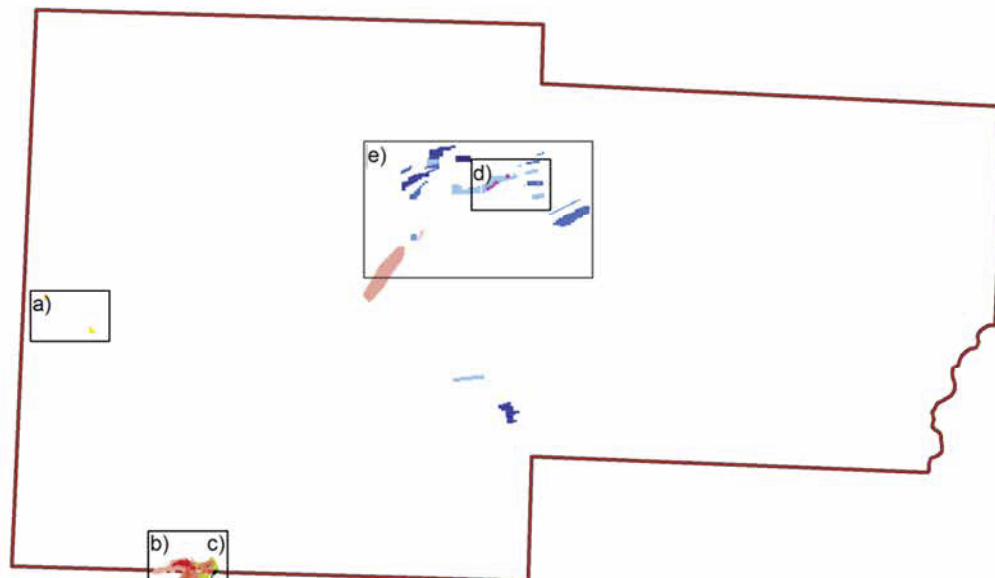
- Karten mit Ausbisslinien/-punkten bekannter W-führender Mineralisationen (für lineare Mineralisationen, Abb. 4-3, s. a. Anlage 1),
- Karten mit Verbreitungsflächen bekannter Mineralisationen (für Skarne und Gangfelder, Abb. 4-3, s. a. Anlage 1),
- Karten mit Polygonen der Horizontalprojektionen berechneter/ geschätzter Ressourcen, inkl. der darin enthaltenen Metallmengen, separierbar nach Skarnen und Gängen (Abb. 4-4 a, c).

Wie die Daten der im Gebiet von Ehrenfriedersdorf/Geyer berechneten Vorratsblöcke von Greisen und Quarz-Kassiterit-Wolframitgängen zeigen, sind sowohl die darin enthaltenen Wolframmengen als auch die mittleren Gehalte so niedrig, dass eine separate industrielle Verwertung nicht in Frage kommt. Aus diesem Grund werden diese Wolframmineralisationen nicht in das Kataster der Trainingsdaten aufgenommen.

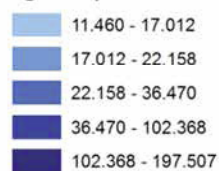
Aufgrund seiner leichten Gewinnbarkeit im gravitativen Aufbereitungsprozess kann Wolframit jedoch als Nebenprodukt der Verarbeitung von Zinnerzen eine gewisse Bedeutung erlangen. Von größerem Interesse sind trotz der bisher nicht geklärten Aufbereitbarkeit die W-führenden Skarne, welche insbesondere am Süd- und Westrand der Schwarzenberger Kuppel auftreten. Diese sind jedoch im Untersuchungsgebiet nur teilweise enthalten.

Klar zu erkennen ist die regionale Kontrolle der Wolframmineralisationen durch die Zwischengranite (Typ Bergen), welche den Eibenstocker Granit ringartig umgeben.

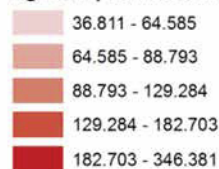
Abb. 4-4 (nächste Seite): Darstellung der aus den Vorratsblöcken auf die Rasterzellen übertragenen Vorräte der einzelnen Rohstoffarten, für die ausreichend quantitative Daten vorliegen. Dargestellt ist die Rohstoffmenge in Kilogramm pro Rasterzelle (50 x 50 m). Als Trainingsdaten werden nur die nachgewiesenen Bilanz- und Außerbilanzvorräte verwendet. Prognostische Vorräte der Vorratsklasse Delta sind hier nicht berücksichtigt.



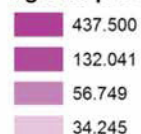
Zinn strukturkontrolliert
Vorratsklasse B, C und c
kg Zinn pro Rasterzelle



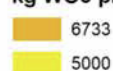
Zinn lithologisch kontrolliert
Vorratsklasse C und c
kg Zinn pro Rasterzelle



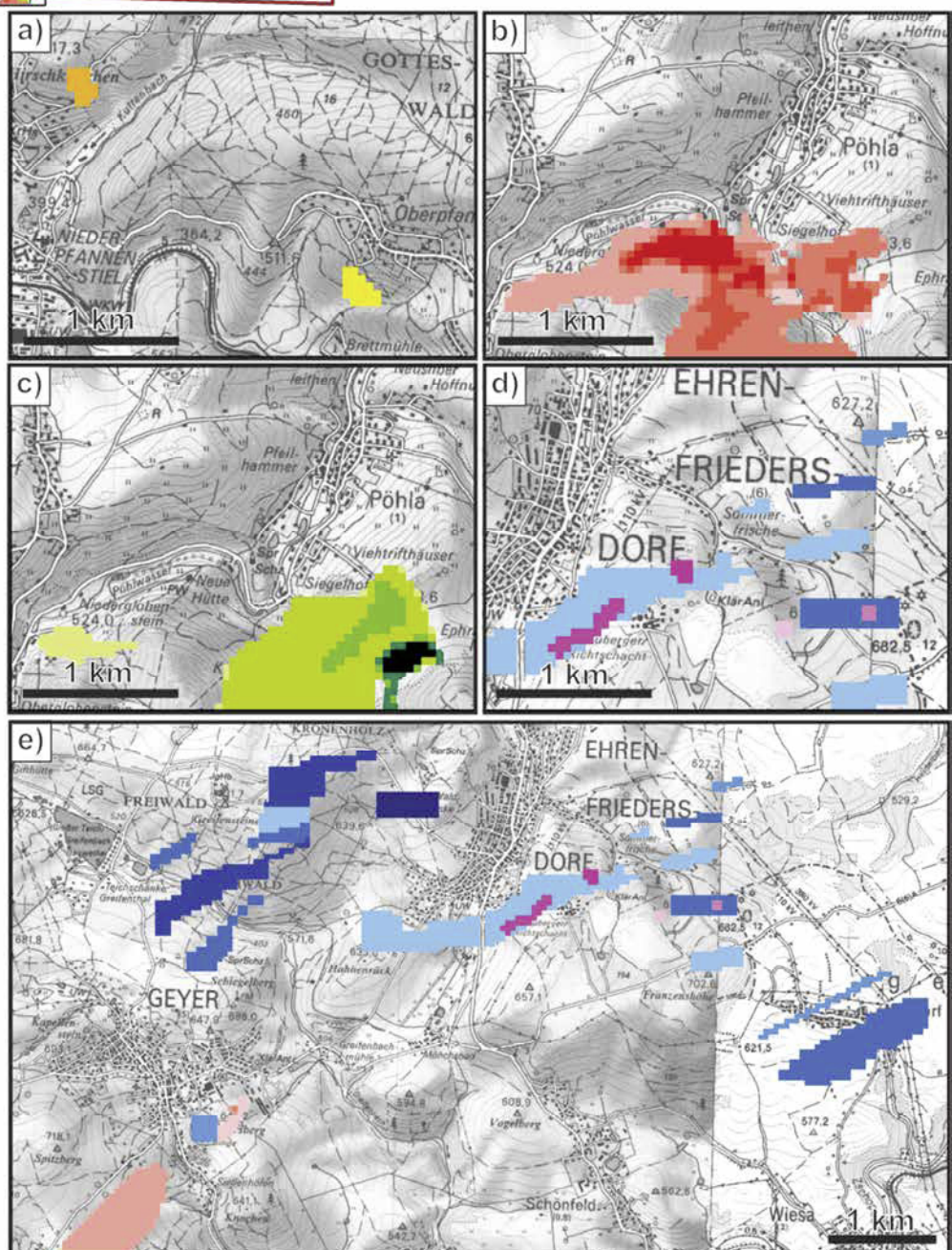
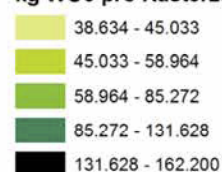
Zinn in Endokontaktgreisen
Vorratsklasse C
kg Zinn pro Rasterzelle



Wolfram strukturkontrolliert
Vorratsklasse C
kg WO₃ pro Rasterzelle



Wolfram lithologisch kontrolliert
Vorratsklasse C
kg WO₃ pro Rasterzelle



Spatmineralisationen

Es wurden Trainingsdaten für die zwei zu bearbeitenden Typen industrieller Spatmineralisationen:

- Flussspat:
 - strukturkontrollierte Mineralisationen,
- Schwerspat:
 - strukturkontrollierte Mineralisationen

mit höchstmöglicher räumlicher Genauigkeit neu erstellt:

- Karten mit Ausbisslinien/-punkten potenziell spatführender Mineralisationen (Gänge der hmba-, flq- und bafl-Folge (s. Anlage 1),
- Karten mit Gängen, die nach BERNSTEIN u. a. (1978) tatsächlich flussspatführend sind (Abb. 4-5, blaue Linien),
- Karten mit den Schwerspatgängen von Schlettau (FRÖLICH, 1957), sowie mit Gängen, die aufgrund der in BERNSTEIN u. a. (1978) sowie ILGNER & MOHNHAUPT (1980) dokumentierten Flussspatführung bzw. Mineralisationsanzeichen und der Paragenese (hmba- bzw. bafl-Folge) wahrscheinlich größere Mengen an Schwerspat führen (Abb. 4-5, rosa Linien).

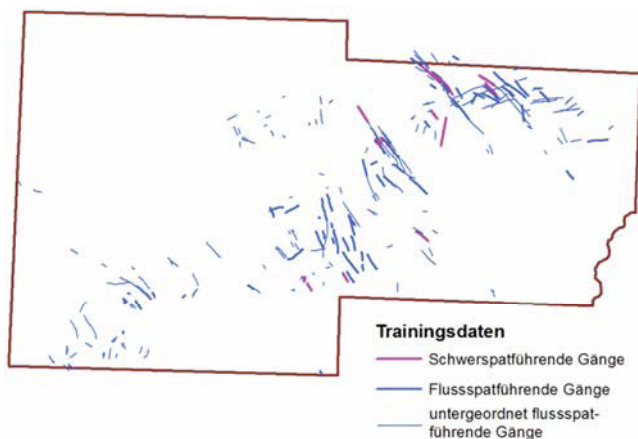


Abb. 4-5: Trainingsdaten für strukturkontrollierten Flussspat (Fluoritgänge) und Schwerspat (Barytgänge)

Skarnhorizonte

Es wurden Trainingsdaten für die drei wesentlichen im Prognosegebiet vorkommenden Skarnhorizonte (siehe Abschnitt 5.3) aus den:

- Karten der Ausstriche von Skarnen aus den jeweiligen stratigraphischen Einheiten und den
- Durchstoßpunkten von Skarnen nach den Schichtenverzeichnissen unter Berücksichtigung der Bohrabweichungsmessungen

mit höchstmöglicher räumlicher Genauigkeit neu erstellt:

- Skarnhorizont Raschau-Formation (Abb. 4-6, rote Linien),
- Skarnhorizont Griebbach-Formation (Abb. 4-6, grüne Linien),
- Skarnhorizont Herold-Formation (Abb. 4-6, blaue Linien).

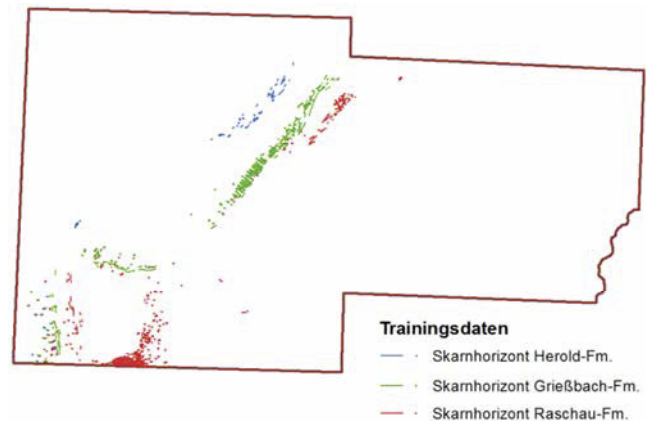


Abb. 4-6: Trainingsdaten für den Skarnhorizont Raschau-Formation (rot), für den Skarnhorizont Griebbach-Formation (grün) und für den Skarnhorizont Herold-Formation (blau); zusammengestellt aus kartierten Skarnausstrichen und Bohrungsergebnissen. Die in anderen Schichtgliedern in geringem Umfang auftretenden Skarne sind hier nicht dargestellt.

4.2 Geologische Daten

4.2.1 Bohrungen

Insgesamt wurden Datensätze von 28.833 Bohrungen vom LfULG zur weiteren Verwendung im Projekt übergeben (LfULG, 2016a). Nach Aussonderung aller Bohrungen mit folgenden Eigenschaften:

- außerhalb der Kontur des Modellgebiets,
- ohne Schichtenverzeichnisse,
- Ziel ALB (Altbergbauerkundung), ALT (Altlastenerkundung), BLA (Bodenkundliche Landesaufnahme), DSE (Deponiestandorterkundung (Neuanlage oder Erweiterung)), GE (Gefährdungseinschätzung), GT (Untersuchungen zur geothermischen Nutzung), GY (Geophysikalische Untersuchung), HY (Hydrogeologische Untersuchung), HYB (Brunnen), HYP (Grundwassermessstelle (außer Brunnen)), IG (Ingenieurgeologische Untersuchung/Baugrunduntersuchung), L (Lehmerkundung), S (Sanderkundung), SB (Bauaufschluss allgemein), SE (Steine/Erdenerkundung (sofern der speziell-

le Rohstoff unbekannt ist)), STK (Steinkohlen- und Anthraziterkundung), T (Tonerkundung), TF (Torferkundung), VKB (Verkehrsbauten), WB (Wasserbau/Talsperrenbau) und ohne Zielangabe, da diese auf Grund der meist geringen Endteufen und der speziellen Erkundungsziele kaum Informationen enthalten die für die vorliegende Rohstoffprognose nutzbar sind,

- Endteufe von weniger als 20 m,

verblieben noch **2.014 Bohrungen** (Abb. 4-7) mit **42.759 Schichtdatensätzen**, welche im Projekt weiter verwendet wurden, um das 3D-Modell der Schichtgrenzen aufzubauen und Trainingsdaten für Skarne zu erzeugen.

Für die Konstruktion der 3D-Koordinaten der lithologischen Grenzen und anderer Informationen wurden die Bohrlochabweichungsmessungen verwendet. Bei Fehlen dieser Daten wurden die BA-Werte aus Neigung und Azimut des Bohransatzpunktes sowie der Endteufe ermittelt.

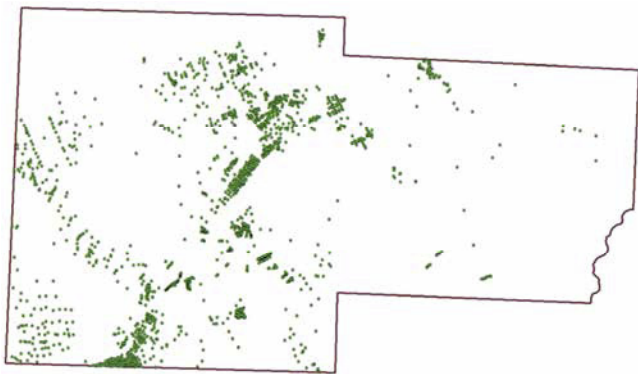


Abb. 4-7: Verwendete Bohrungen im Untersuchungsgebiet

4.2.2 Zweidimensionale geologische Daten

4.2.2.1 Erstellung der vereinfachten geologischen Karte

Das Untersuchungsgebiet wird durch insgesamt vier Kartenblätter der Geologischen Karte 1:50.000 (GK50; LFÜLG, 2016b) abgedeckt (Abb.4-8). Die Legende dieser Kartenblätter war jedoch zu detailliert, um die geologischen Einheiten als Flächen in das Prognosemodell zu übernehmen.

Aufgrund dessen wurde eine vereinfachte geologische Karte des Untersuchungsgebietes (Abb. 4-9) erzeugt mit folgenden Legendeneinheiten:

- Känozoikum:
 - Basalt,
- Paläozoikum:
 - Granit,
 - Ordovizium:
 - Gräfenthal- Phycoden- und Frauenbach-Gruppe
 - Kambrium (vermutet):

- Thum-Gruppe: Halbmeile-Formation, Herold-Formation,
- Jáchymov-Gruppe: Breitenbrunn-Formation, Griebbach-Formation,
- Klínovec-Gruppe: Fichtelberg-Formation, Obermittweida-Formation, Raschau-Formation

■ Proterozoikum

■ Neoproterozoikum:

- Niederschlag-Gruppe, Preßnitz-Gruppe, Osterzgebirge-Gruppe: Kunnerstein-Formation, Kovářská-Formation, Měděnec-Formation, Rusová-Formation, Annaberg-Wegefarth-Formation.

Die 2D-Flächen der vereinfachten geologischen Oberflächenkarte wurden als binäre Raster-Layer in das Prognosemodell als Modelleingangsdatensätze importiert. Dabei steht 1 für das Vorkommen einer spezifischen Formation und 0 für das Nicht-Vorkommen. Dementsprechend gibt es sieben binäre Raster der Oberflächengeologie.

4.2.2.2 Strukturelle Daten

Bei den strukturellen Daten ist hinsichtlich der folgenden verschiedenen Typen zu unterscheiden:

- geologische Grenzen und Störungen,
- Erzgänge,
- Gesteinsgänge.

Bei deren Erfassung wurde sowohl die Einfallrichtung als auch der Einfallswinkel berücksichtigt: Soweit die Information zum Einfallswinkel aus den Berichten und Karten ersichtlich war, wurde diese Information auch in der Datenbank erfasst. Da der Einfallswinkel jedoch nicht für alle strukturellen Daten vorhanden war, wurde auf eine Klassifizierung der Strukturen nach dem Einfallswinkel verzichtet.

Störungen

Auf Grundlage der vorhandenen geologischen Karten GK50 des Untersuchungsgebietes wurden zunächst alle Störungen, gleich ob erzführend oder nicht, in einem vereinheitlichten Datensatz abgelegt (Abb. 4-10).

Die Störungen wurden anschließend entsprechend:

- Streichrichtung,
- Länge und
- Sinuosität (Krümmung)

klassifiziert.

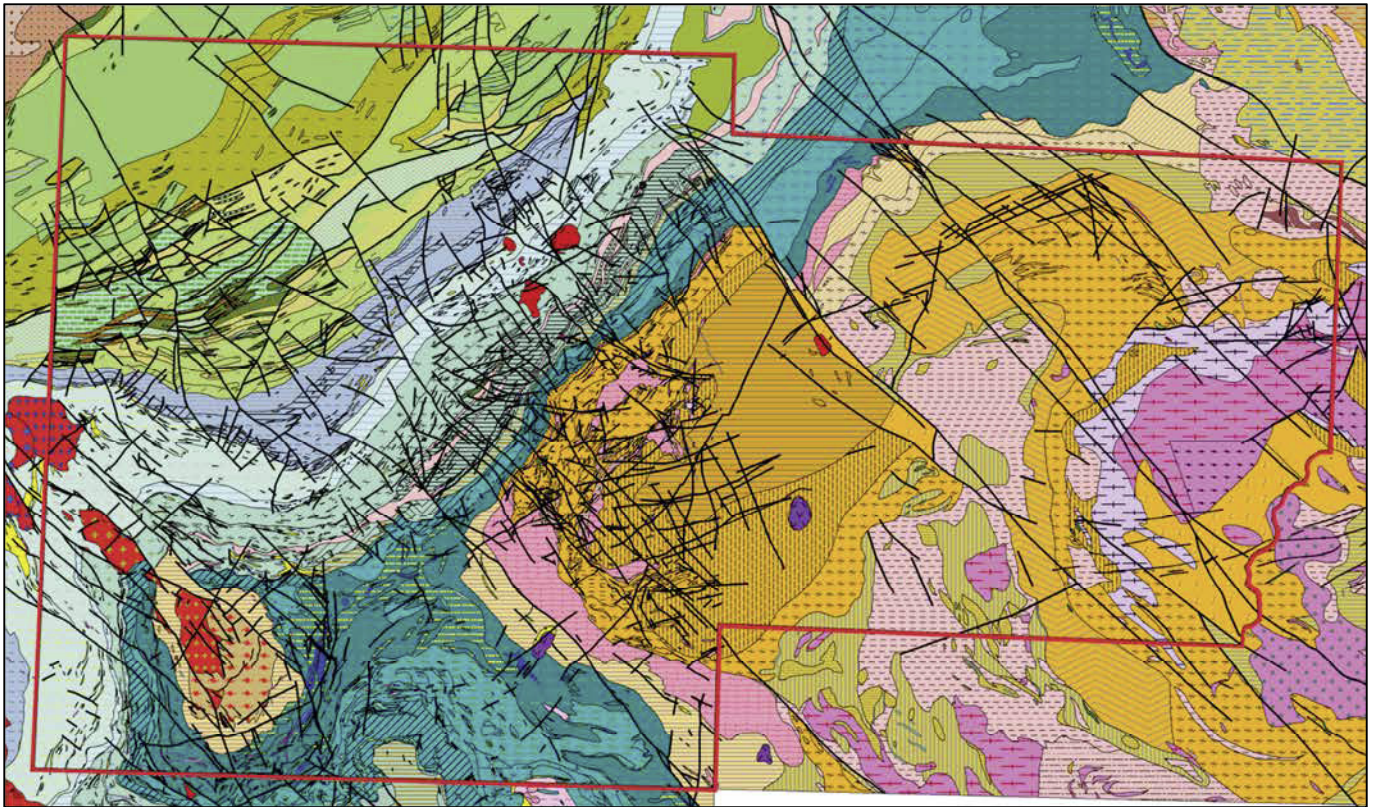


Abb.4-8: Der Ausschnitt aus der geologischen Karte 1:50.000 Erzgebirge/Vogtland zeigt den sehr variablen Aufbau des Modellgebiets, das von Nordwesten nach Südosten gesehen überwiegend gebildet wird von Tonschiefern bis Phylliten (überwiegend Phycoden- und Frauenbach-Gruppe, grün), feldspat-, granat- und kohlenstoffführenden Phylliten (Thum-Gruppe, grau und blass blaugrün), Glimmerschiefern mit vielfältigen Einlagerungen anderer Gesteine (Jáchymov-Gruppe, graugrün), Glimmerschiefern bis Paragneisen mit Einlagerungen (Klinovec-Gruppe, dunkelgrün), meist monotonen Paragneisen (Neoproterozoikum, braun und orange) und Orthogneisen (Neoproterozoikum bis Ordovizium, hellrosa bis pink). Im Untergrund sind großflächig Granite verbreitet, die aber an der Oberfläche nur an wenigen Stellen aufgeschlossen sind (rot). Die jüngsten hier dargestellten Einheiten sind die Basalte (violett) vom Scheibenberg und Pöhlberg.

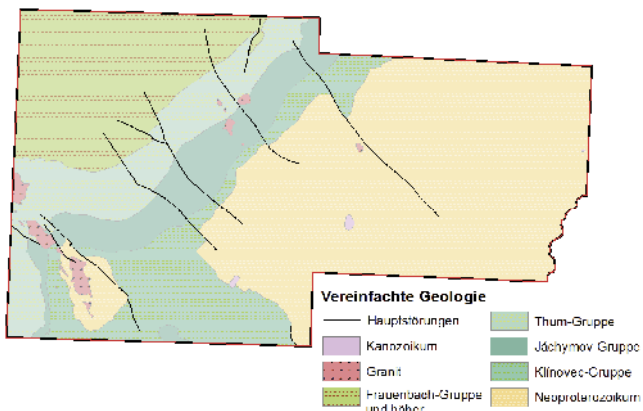


Abb. 4-9: Vereinfachte geologische Modellkarte des Untersuchungsgebietes mit den wichtigsten Störungen

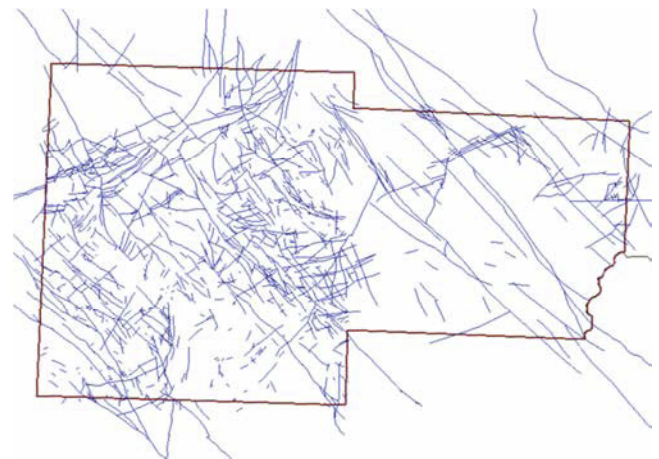


Abb. 4-10: Störungen im Modellgebiet auf Grundlage der geologischen Karte 1:50.000 Erzgebirge/Vogtland

Hinsichtlich der Streichrichtung wurden folgende vier Richtungsklassen (ohne Berücksichtigung des Einfallwinkels) unterschieden:

- Nord-Süd (0° - $22,5^{\circ}$, sowie $157,5^{\circ}$ - $202,5^{\circ}$ und $337,5^{\circ}$ - 360°) (Abb. 4-11 a),

- Nordost-Südwest ($22,5^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$, sowie $202,5^{\circ}$ - $247,5^{\circ}$) (Abb. 4-11 d),
- Ost-West ($67,5^{\circ}$ - $112,5^{\circ}$, sowie $247,5^{\circ}$ - $292,5^{\circ}$) (Abb. 4-11 b) und
- Nordwest-Südost ($112,5^{\circ}$ - $157,5^{\circ}$, sowie $292,5^{\circ}$ - $337,5^{\circ}$) (Abb. 4-11 c).

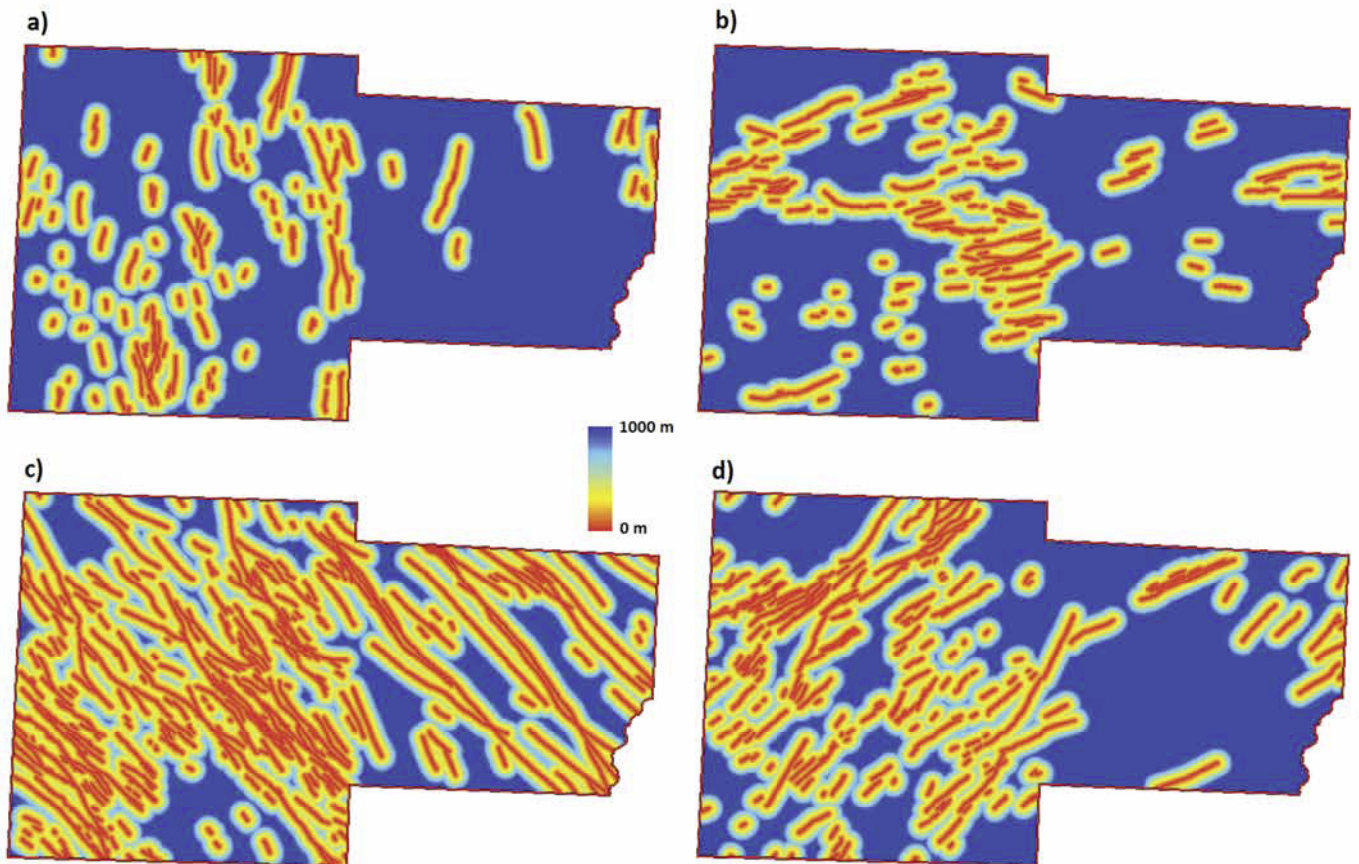


Abb. 4-11: Euklidische Abstände zu den entsprechend ihrer Streichrichtung klassifizierten Störungen mit einem maximalen Abstand von 1 km beiderseits der Störung; a) Nord-Süd gerichtete Störungen; b) Ost-West gerichtete Störungen; c) Nordwest-Südost gerichtete Störungen; d) Nordost-Südwest gerichtete Störungen.

Für jede der Richtungsklassen wurde aus den selektierten Störungen ein Raster berechnet, welches den euklidischen Abstand bis zur nächsten Störung in der jeweiligen Klasse für jede Rasterzelle berechnet. Dadurch können die Vektordaten (Linien) in Rasterdaten überführt werden, um räumliche Informationen zur relativen Lage in die Daten zu kodieren. Dabei wurde empirisch ein maximaler euklidischer Abstand von 1000 m als Maximum gewählt, um zum einen den Einflussbereich im Umfeld der Störungen zu repräsentieren und zum anderen die Ungenauigkeit der Lage der kartierten Störung abzubilden. Hinsichtlich der Länge der Störung wurden folgende vier Klassen unterschieden:

- klein (0 m – 2000 m) (Abb. 4-12 a),
- mittel (2000 m – 4000 m) (Abb. 4-12 b),
- groß (4000 m – 10.000 m) (Abb. 4-12 c),
- sehr groß (>10.000 m) (Abb. 4-12 d).

Analog zur Vektor-Raster-Umwandlung bei der Streichrichtung wurde auch bei der Störungslänge der euklidische Abstand als Raster für die vier Klassen berechnet und als Rasterdatensatz abgelegt. Als maximaler euklidischer Abstand wurde empirisch

1000 m gewählt, um einen gewissen Einflussbereich im Umfeld der Störungen abzubilden.

Hinsichtlich der Krümmung der Störung wurde die Sinuosität berechnet. Dies ist der Quotient aus der Länge einer Störung entlang der kartierten Ausstrichlinie und der geradlinigen Distanz zwischen Anfangs- und Endpunkt der Störungslinie. Bei stärker gekrümmten Störungen ist mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Bildung von Hohlräumen für Fluide bei Strike-Slip-Bewegungen zu rechnen und somit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Bildung von Gängen im weiteren Umfeld dieser Störungen.

Es wurden daraufhin zwei Klassen unterschieden:

- nicht bis schwach gekrümmt (Sinuosität < 1,077) sowie
- gekrümmt (Sinuosität > 1,077) (Abb. 4-13b).

Auch bei der Sinuosität der Störungen wurde wieder der euklidische Abstand berechnet, um die Vektor-Daten in Raster-Daten umzuwandeln. Bei der Klasse der schwach gekrümmten Störungen wurde wieder ein maximaler euklidischer Abstand von 1 km gewählt. Für die als gekrümmt klassifizierten Störungen wurde empirisch ein maximaler euklidischer Abstand von 5

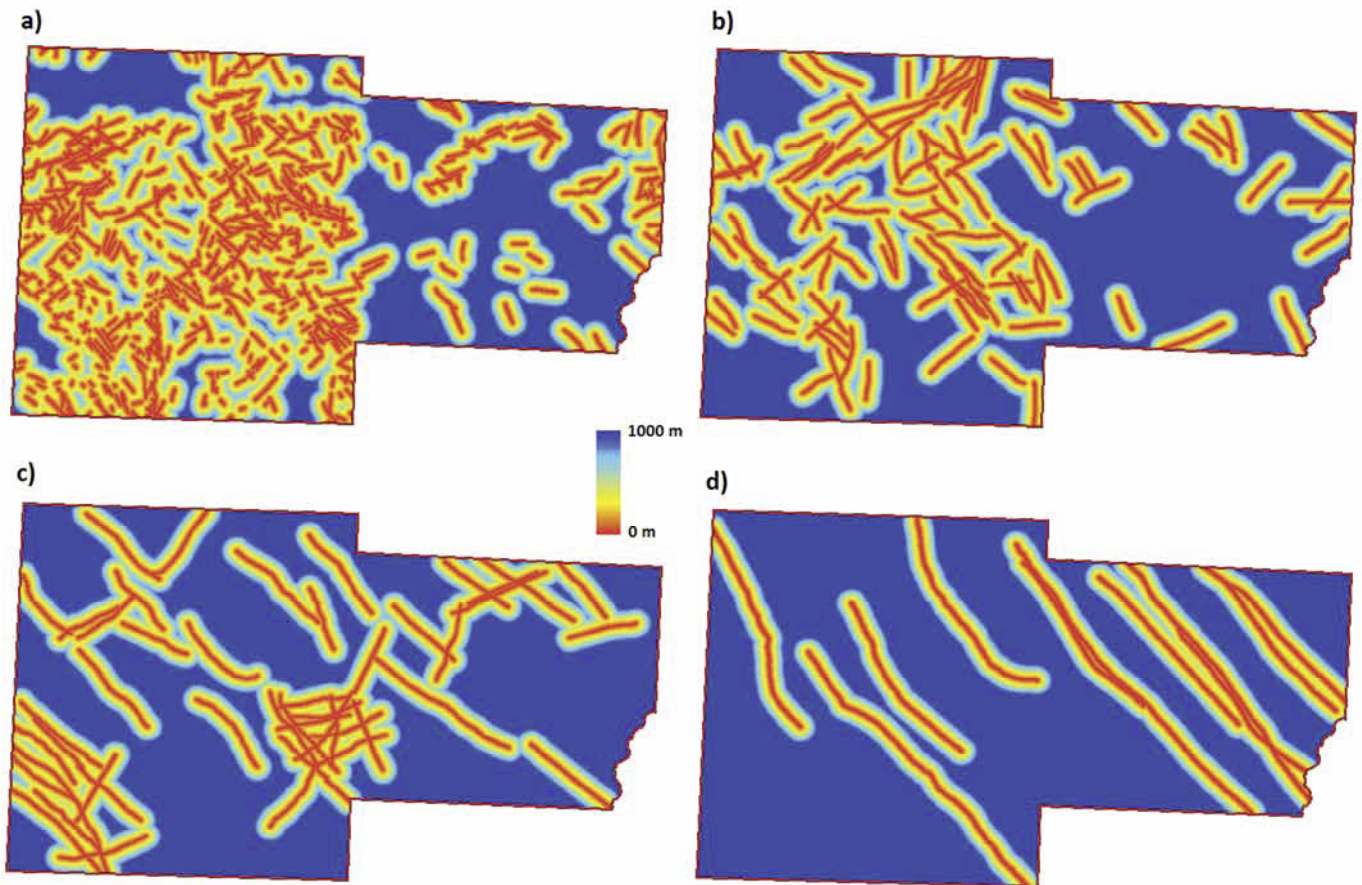


Abb. 4-12: Euklidische Abstände zu den entsprechend ihrer Länge klassifizierten Störungen mit einem maximalen Abstand von 1 km beiderseits der Störung; a) Störungen unter 2000 m Länge; b) Störungen von 2000 bis 4000 m Länge; c) Störungen von 4000 bis 10.000 m Länge; d) Störungen von mehr als 10.000 m Länge.

km gewählt, um den Einfluss der daran gebundenen Deformationen auf das weitere Umfeld der Störung abzubilden. Abschließend wurden die Kreuzungspunkte aller Störungen ermittelt und ein Raster-Datensatz mit dem euklidischen Abstand von diesen Störungskreuzen berechnet (Abb. 4-13a). Zusätzlich wurde für das zu erstellende geologische 3D-Raster-Modell des Untersuchungsgebietes (siehe Abschnitt 4.2.3) ein vereinfachtes Störungsmodell des Untersuchungsgebietes erstellt. Dieses ist in zusammen mit der vereinfachten geologischen Karte in Abb. 4-9 dargestellt.

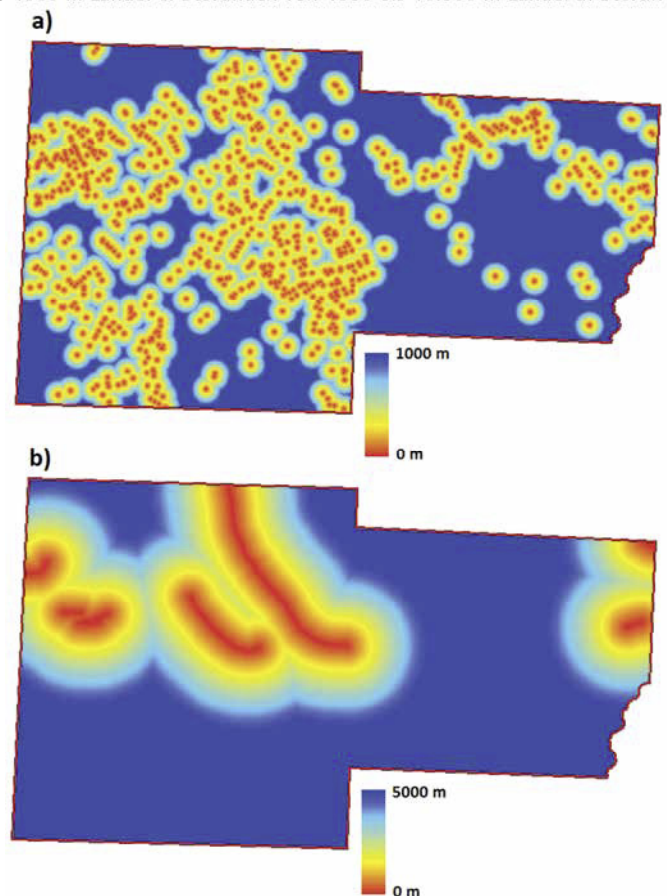


Abb. 4-13: a) euklidischer Abstand zu Störungskreuzen bis zu einer maximalen Distanz von 1000 m; b) euklidischer Abstand zu gekrümmten Störungen (Sinuosität > 1,077) mit einem maximalen Abstand von 5000 m beiderseits der Störung.

Erzgänge

Auf Grundlage der geologischen Karten GK50 und unter Zuhilfenahme weiterer Detailkarten aus den verschiedenen Erkundungsberichten wurden die erzführenden Gänge digitalisiert (Abb. 4-14) und in einer Access-Datenbank hinsichtlich der Erzformation dokumentiert.

Nach Abschluss der Erfassung wurde den Gängen der jeweilige Rohstoff

- Zinn,
- Wolfram,
- Flussspat oder
- Schwerspat

zugeordnet (s. a. Anlage 1). Damit können diese Daten entsprechend ihrer Klassifizierung als Trainingsdaten (siehe Abschnitt 4.1.2) bei der **qualitativen Prognosemodellierung** verwendet werden. Dazu wurden die Linien in binäre Raster umgewandelt – mit dem Wert 1 für Rasterzellen, in denen Erzgänge vorhanden sind und dem Wert 0 für Rasterzellen ohne Erzgänge. Das Einfallen der Erzgänge wurde dabei nicht berücksichtigt.

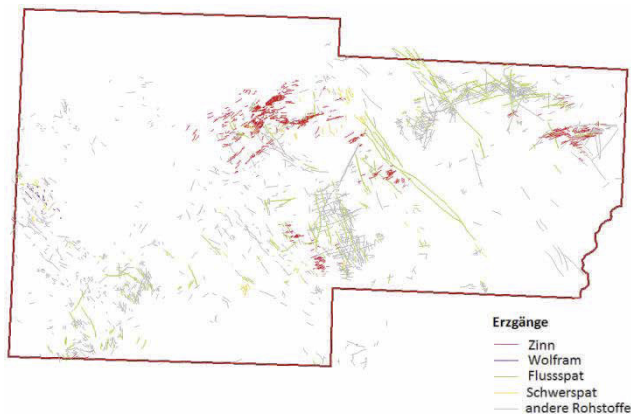


Abb. 4-14: Nach ihrem potenziellen Rohstoffinhalt klassifizierte Erzgänge im Untersuchungsgebiet: Zinn (in Rot), Wolfram (in Violett), Flussspat (in Grün) und Schwerspat (in Gelb), sowie andere Rohstoffe (in Grau)

Zusätzlich zu den binären Trainingsdaten für das Auftreten bzw. Nicht-Auftreten von Flussspat wurde auf Grundlage der Klassifizierung der Flussspat-Gänge nach BERNSTEIN u. a. (1978) eine Wichtung der Trainingsdaten für die weitere Verwendung angewandt (siehe Abb. 4-15). Dazu wurden Flussspat-Vorkommen mit niedrigem Potenzial mit Werten von 0,2 und Flussspat-Vorkommen mit hohem Potenzial mit Werten von 1,0 bei der **qualitativen Prognosemodellierung** gewichtet.

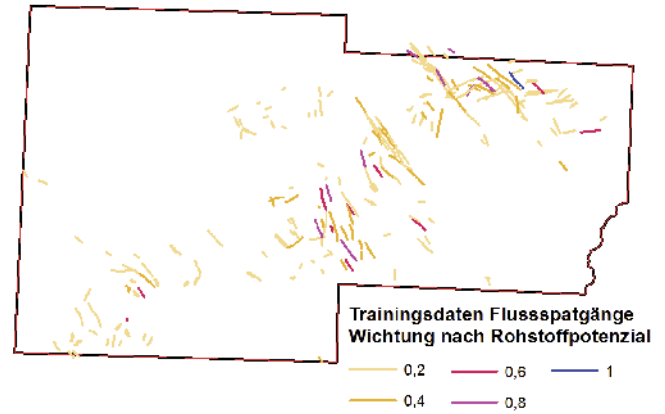


Abb. 4-15: Klassifikation der Flussspat-Gänge entsprechend ihres Potenzials nach BERNSTEIN u. a. (1978) (geringes Potential: in Orange; hohes Potential: in Blau)

Gesteinsgänge

Auf Grundlage der vorhandenen geologischen Karten GK50 und mit Nutzung weiterer Detailkarten aus verschiedenen Erkundungsberichten wurden Gesteinsgänge digitalisiert (Abb. 4-16) und in einer Access-Datenbank erfasst und dokumentiert. Dabei wurde zwischen folgenden Typen von Gesteinsgängen unterschieden:

- saures Gestein (Porphyre, Aplite, u. ä.),
- vergreisente saure Gesteine (Porphyre, Aplite, u. ä.),
- basisches Gestein (Lamprophyre, u. ä.).

Diese Daten wurden entsprechend ihrer Klassifizierung als zusätzliche kontrollierende Faktoren bei der Prognosemodellierung als Modelleingangsdaten verwendet. Dazu wurden die Linien in binäre Raster umgewandelt mit dem Wert 1 für Rasterzellen, in denen Gesteinsgänge vorhanden sind, und dem Wert 0 für Rasterzellen ohne Gesteinsgänge.

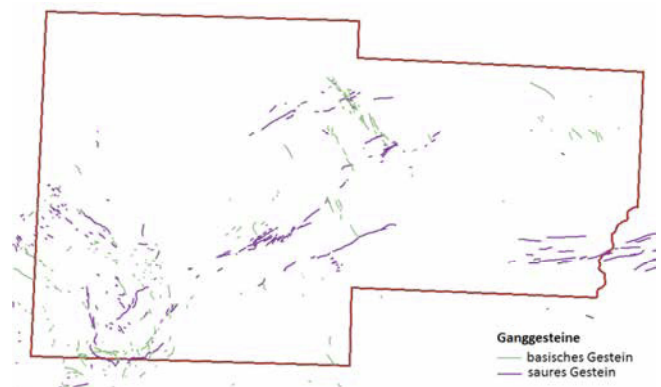


Abb. 4-16: Gesteinsgänge: saure Gesteine (in Violett) und basische Gesteine (in Grün)

4.2.2.3 Greisenkörper

Die Konstruktion der Greisenkörper erfolgte anhand der in Vorratsrissen und Vorratsschnitten enthaltenen Informationen sowie weiterer veröffentlichter Daten. Die Umringe der Greisenkörper (vgl. Abb. 4-4) konnten binär als Trainingsdaten bei der **qualitativen Prognosemodellierung** von Zinn-Greisen verwendet werden.

4.2.2.4 Erzkontrollierende Lithologien

Auf Grundlage der vorhandenen geologischen Karten GK50 und unter Zuhilfenahme weiterer Detailkarten aus den verschiedenen Erkundungsberichten wurde die Verbreitung von erzkontrollierenden Lithologien digitalisiert (Abb. 4-17) und in einer Access-Datenbank erfasst und dokumentiert.

Dabei wurden zwischen den folgenden erzkontrollierenden Lithologien unterschieden:

- Skarn,
- Karbonatgestein,
- Amphibolit/Metabasit,
- kohlenstoffführendes Gestein.

Die Lokalitäten der Zinn- und Wolfram-Skarne konnten in Form binärer Daten als Trainingsdaten bei der **qualitativen Prognosemodellierung** verwendet werden.

Die weiteren Daten (Karbonatgestein, Amphibolit/Metabasit, kohlenstoffführendes Gestein) wurden entsprechend ihrer Klassifizierung als zusätzliche kontrollierende Faktoren bei der Prognosemodellierung als Modelleingangsdaten verwendet. Dazu wurden die Linien in binäre Raster umgewandelt mit dem Wert 1 für Rasterzellen in denen erzkontrollierende Lithologien vorhanden sind und dem Wert 0 für Rasterzellen ohne erzkontrollierende Lithologien.

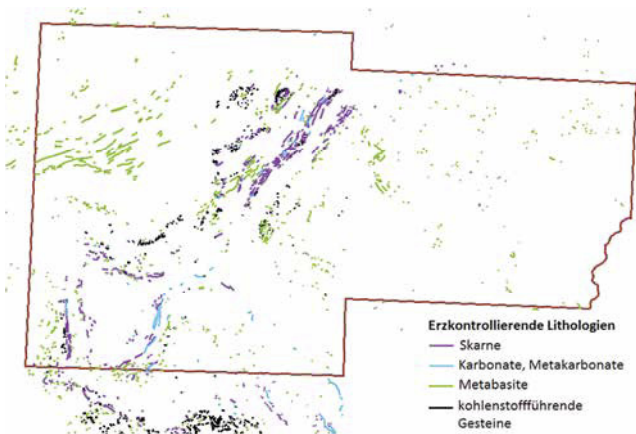


Abb. 4-17: Erfasste erzkontrollierende Lithologien im Untersuchungsgebiet: Skarn (in Violett), Karbonatgestein (in Blau), Amphibolit/Metabasit (in Grün), kohlenstoffführendes Gestein (in Schwarz)

4.2.3 Dreidimensionale geologische Daten

Ausgangsdaten für die Erstellung der dreidimensionalen Schichtgrenzen für das gesamte Modellgebiet waren die vom LfULG übergebenen Daten der Bohrungen (siehe Kapitel 4.2.1), die Daten der Granitoberfläche sowie die umfangreichen in Schnitten und Rissen verschiedener Berichte enthaltenen Informationen.

Ausgehend von den Ausstrichflächen der unter Abschnitt 4.2.2.1 beschriebenen geologischen Einheiten und der in den Bohrungen dokumentierten Durchstoßpunkte wurden Isolinien der Oberkanten unter Berücksichtigung des Einfallens der Schichtgrenzen und der in den Karten enthaltenen Informationen zum Einfallen der Schichtung erzeugt. Abschließend wurden die Vektordaten in 2D-Grids je Schichtgrenze bzw. Granitoberkante umgewandelt.

4.2.3.1 Erzeugung der Isolinien-Daten der Granitoberfläche und der Oberflächen der geologischen Formationen

Granitoberfläche

Die Isolinien im 50-m-Abstand für die drei Granittypen (Typ Eibenstock: Abb. 4-18, Typ Bergen: Abb. 4-19 und Typ Kirchberg: Abb. 4-20) wurden mit Hilfe folgender Daten erzeugt:

- Granitkarte Blatt Kirchberg 5341, Blatt Zwönitz 5342, Blatt Schneeberg 5441, Blatt Aue 5442. Aus: „Rahmenkonzept Tiefengeothermie Sachsen“ (WISMUT GMBH, 2009),
- Karte der Isohypsen der Granitoberfläche 1:10.000 (ROSCHER & BÜCHNER, 1984, Anlage 7.1.3 und 7.1.4),
- Granitishypsenkarte der Erläuterungen zur GK25 Blatt 5442 Aue (LEONHARDT, 2009a),
- Granitishypsenkarte Marienberg (SEIFERT, 1994),
- Granitishypsenkarte der Erläuterungen zur GK25 Blatt 5443 Annaberg-Buchholz West (LEONHARDT, 1998),
- Granitishypsenkarte Nordrand (HÖSEL u. a., 1994),
- Karte der Granitishypsen und Trümerzüge der Sn-W-Assoziation (HÖSEL u. a., 1996),
- Daten der vom LfULG übergebenen Bohrungen.

Bei Abweichungen zwischen Isolinienkarten und Bohrungsdaten wurde anhand der Gesteinsbeschreibung und der erbohrten Mächtigkeit eine Bewertung vorgenommen, ob es sich um angebohrte Gesteinsgänge oder um die Oberkante des größten Intrusivkörpers handelt. In letzterem Fall wurden die Isolinien angepasst. Weitere Anpassungen erfolgten an die Höhenlage der Oberflächenausstriche mit Hilfe des DGM25.

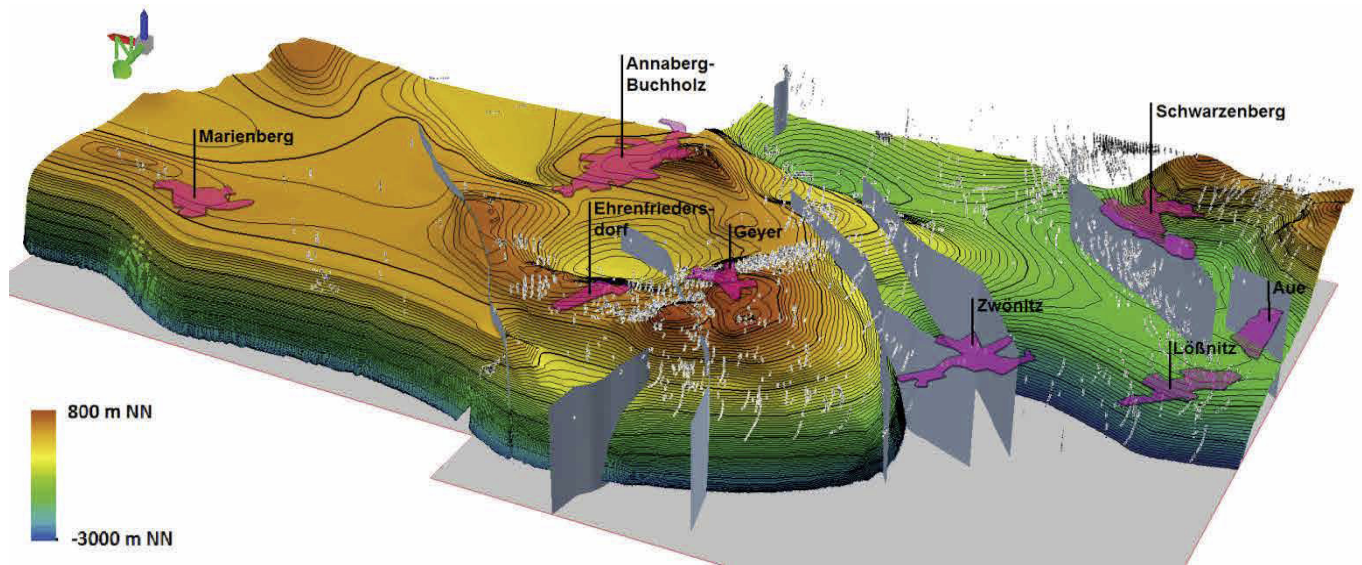


Abb. 4-18: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Granitoberfläche Typ Eibenstock mit den erstellten Isolinien und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die geringe Anzahl von Tiefbohrungen im östlichen Teil des Modellgebiets erlaubt dort keine detaillierte Darstellung der Granitoberfläche. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

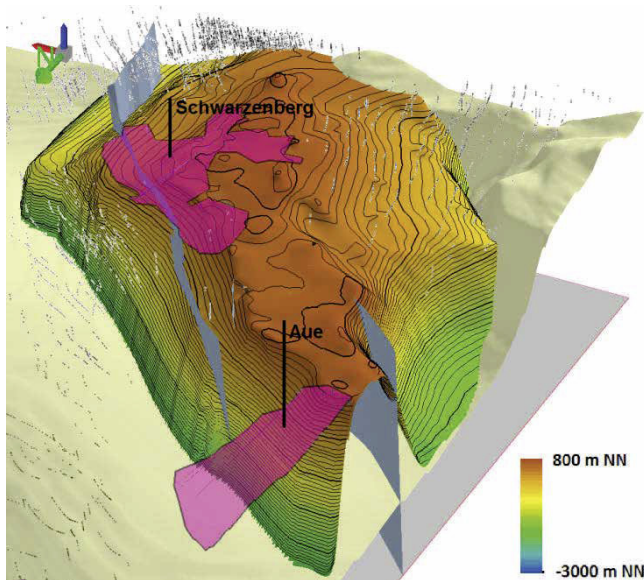


Abb. 4-19: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Granitoberfläche Typ Bergen mit den erstellten Isolinien und den vorhandenen Bohrungsdaten. Der Granit vom Typ Eibenstock ist zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

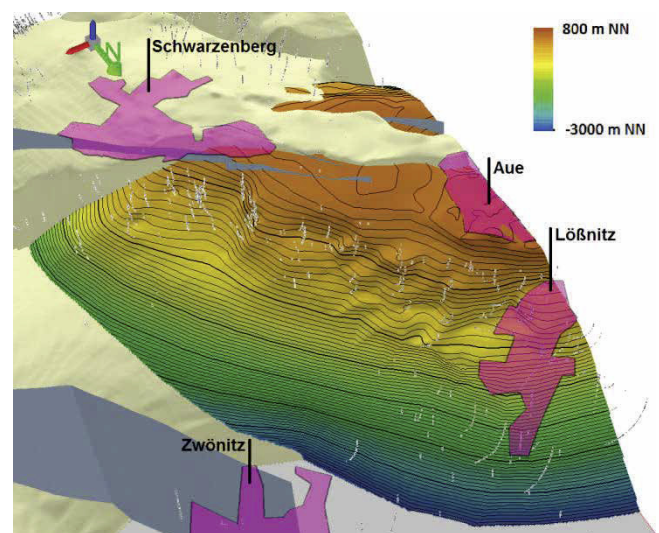


Abb. 4-20: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Granitoberfläche Typ Kirchberg mit den erstellten Isolinien und den vorhandenen Bohrungsdaten. Der Granit vom Typ Bergen ist zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

Oberflächen des Neoproterozoikums, Kambriums und Ordoviziums

Die Modellierung der Grenzen dieser lithostratigraphischen Einheiten erfolgte auf der Basis der Modellkarte (siehe Kapitel 4.2.2.1), der stratigraphisch eingestuften Bohrdaten, der Streich- und Fallwerte aus den GK 50 und der Profilschnitte der GK25 Blatt 5442 Aue und Blatt 5443 Annaberg-Buchholz West mittels Isolinien im 50 m-Abstand. Um die Schichtorientierung und den Winkel zur Granitoberfläche flächendeckend abbilden zu können, wurden fiktive Verlängerungen der Schichten unter -3000 m NN sowie über der Geländeoberkante modelliert unter Berücksichtigung der den GK50 entnommenen Streich- und Fallwerte (detailliert im Ausstrichbereich, jenseits davon stärker schematisiert, entsprechend der abnehmenden Sicherheit, s. Abb. 4-21). Neben diesen lithostratigraphischen Einheiten wurden noch die Ober- und Unterkanten der bedeutendsten Skarnhorizonte anhand der bekannten Ausstriche von Skarnen und Kalksteinen sowie der Bohrungsdaten modelliert: Es handelt sich dabei um die Skarnhorizonte der Raschau-Formation in der Klínovec-Gruppe, der Griebbach-Formation in der Jáchymov-Gruppe und der Herold-Formation in der Thum-Gruppe. Die derart erstellten Isolinien sind in Abb. 4-21 bis Abb. 4-27 dargestellt.

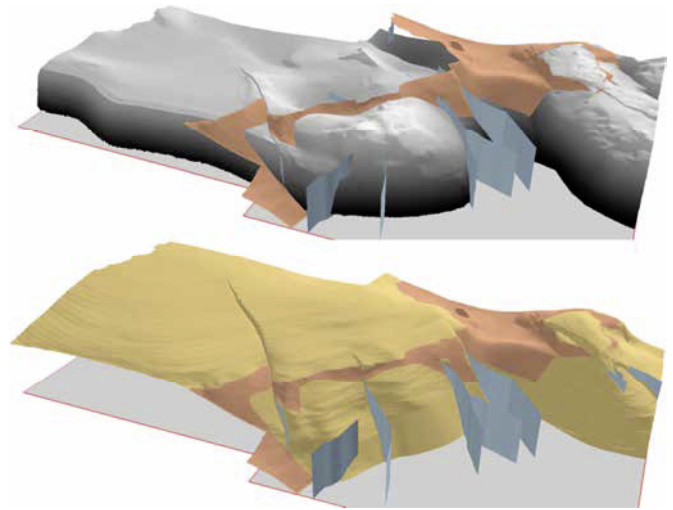


Abb. 4-21: Rekonstruktion der erodierten und vom Granit verdrängten Bereiche der Modellschichten (hellbraun), hier dargestellt am Beispiel der Oberkante des Neoproterozoikums.

4.2.3.2 Erzeugung der Raster-Daten der Granitoberfläche und der Oberflächen der geologischen Formationen

Die Interpolation der Oberflächen erfolgte in ArcGIS mit dem „Topo to Raster“-Tool mit den Isolinien und den vereinfachten Störungen als Klifflinien (Einstellungen: Zellengröße = 25, drainage enforcement = Aus, Discretisation Error Factor = 1, Tolerance1 = 25 (= halber Isolinienabstand), Tolerance2 = 200). Die Interpolation auf einem 25 x 25 m-Raster verbessert die Qualität der interpolierten Fläche im Bereich von Störungen und dicht gedrängten Höhenlinien. Für die Verwendung der Rasterdaten in der advangeo® Prediction Software wurde anschließend wieder auf 50 x 50 m Rasterzellen umgerechnet. Die erstellten Oberflächen mit den zu Grunde liegenden Isolinien sind in Abb. 4-22 bis Abb. 4-27 dargestellt.

Aus den Oberflächen der drei Granitintrusionen wurde zusätzlich durch das Tool „Mosaic to New Raster“ (Einstellung: Mosaic Operator = Maximum) die generelle Granitoberfläche erzeugt (als blassgelbe Oberfläche in Abb. 4-22 bis Abb. 4-27 sowie in hellgrau auf Abb. 4-21 dargestellt).

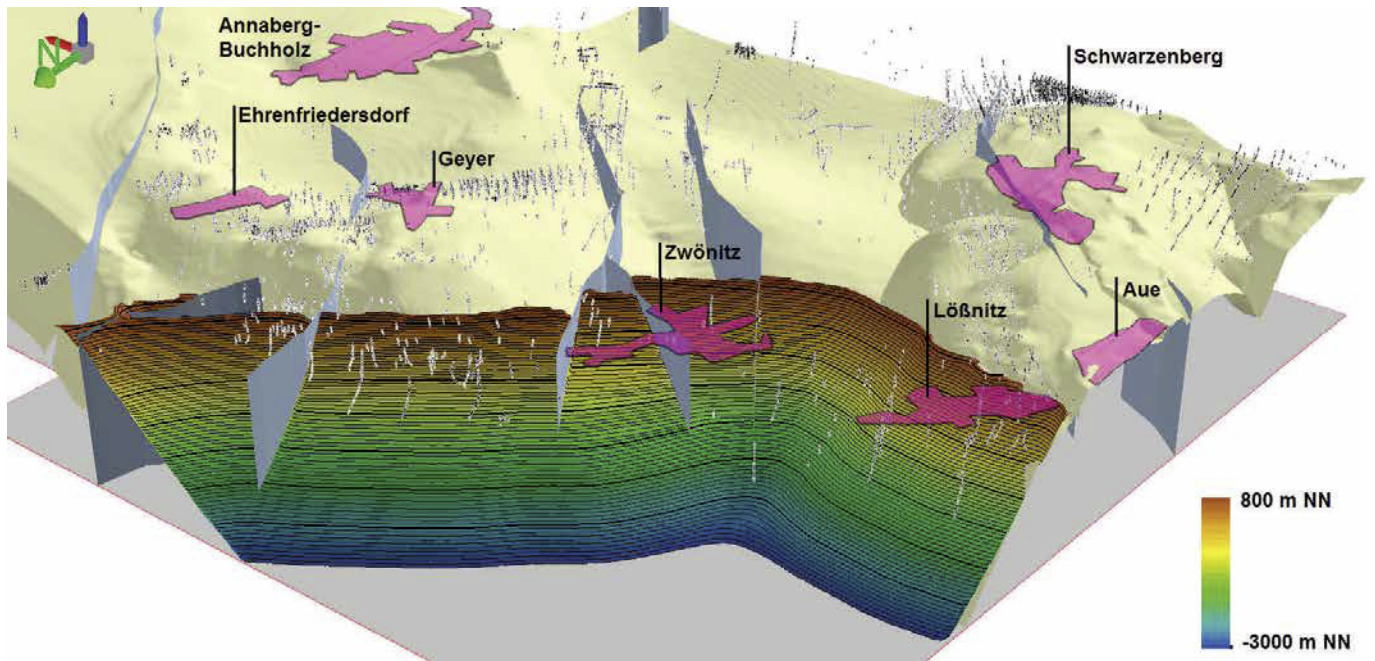


Abb. 4-22: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Oberkante der Thum-Gruppe mit den erstellten Isolinen und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

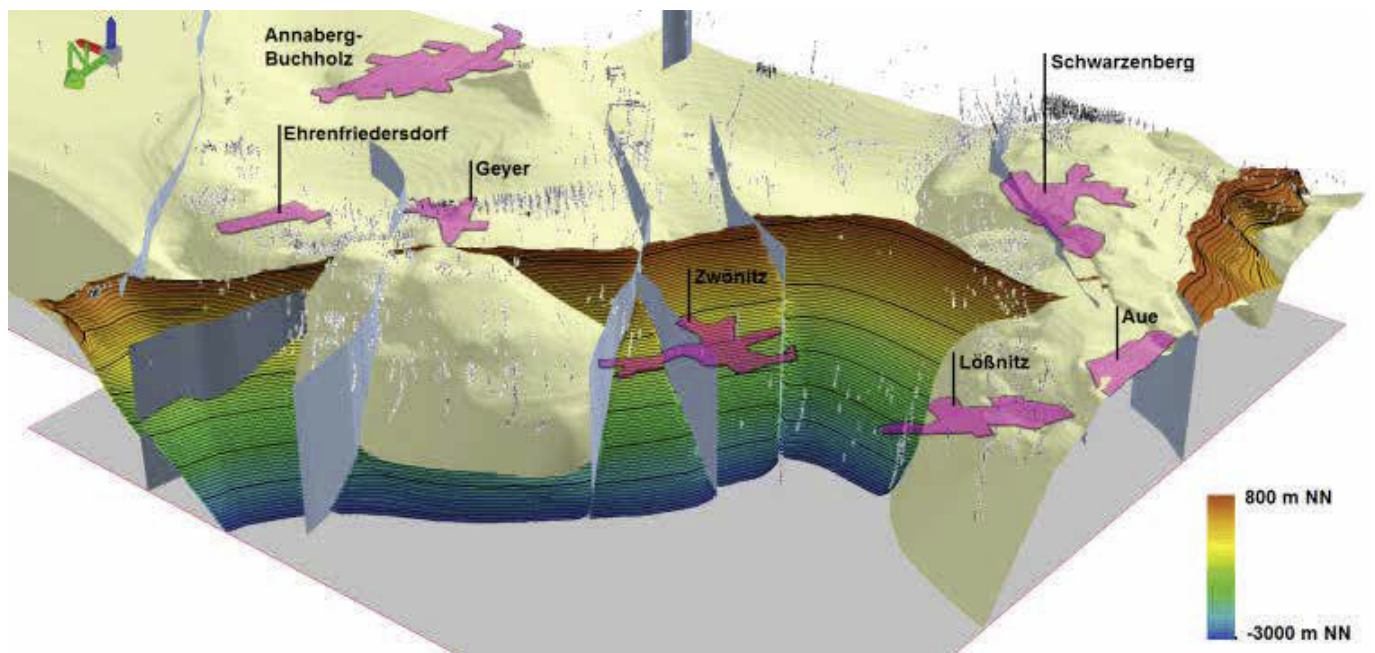


Abb. 4-23: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Oberkante der Jáchymov-Gruppe mit den erstellten Isolinen und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

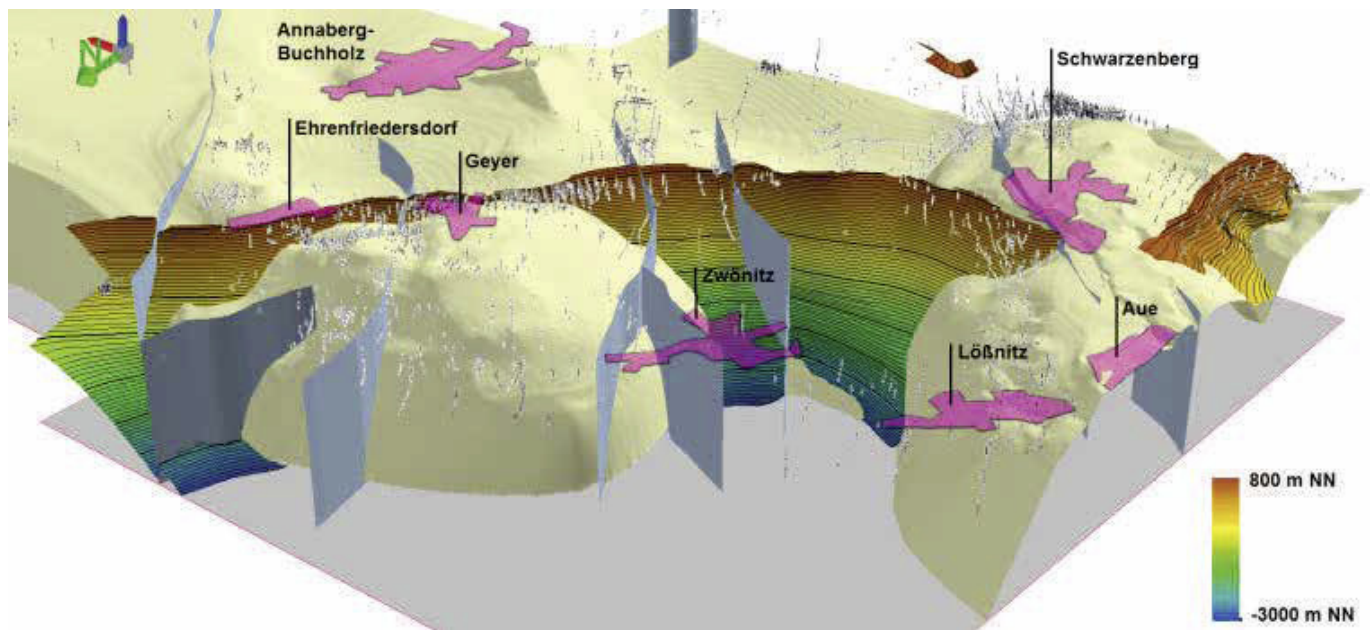


Abb.4-24: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Oberkante der Klínovec-Gruppe mit den erstellten Isolinen und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

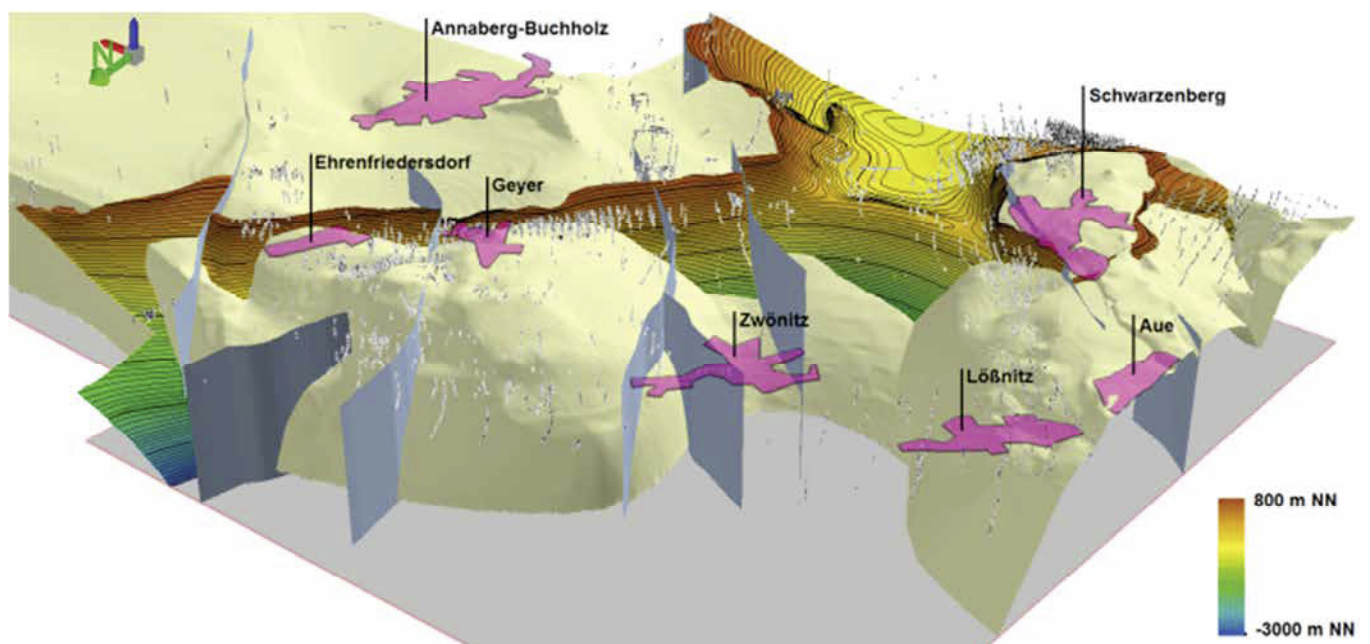


Abb.4-25: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Nordwesten) der Oberkante des Neoproterozoikums mit den erstellten Isolinen und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt. Die Hauptstörungen aus der Modellkarte sind in Grau dargestellt.

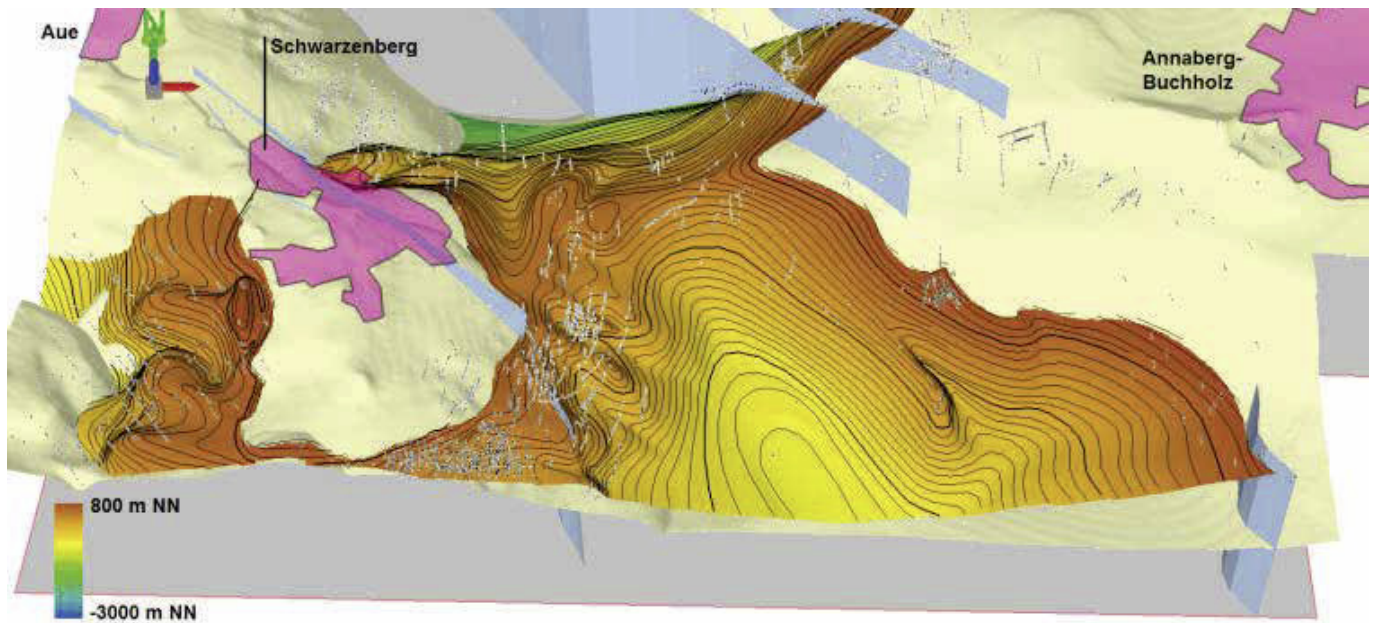


Abb. 4-26: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Süden) der Unterkante des Skarnhorizonts Raschau-Formation im Bereich der Hundsmarter Mulde mit den erstellten Isolinien und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt.

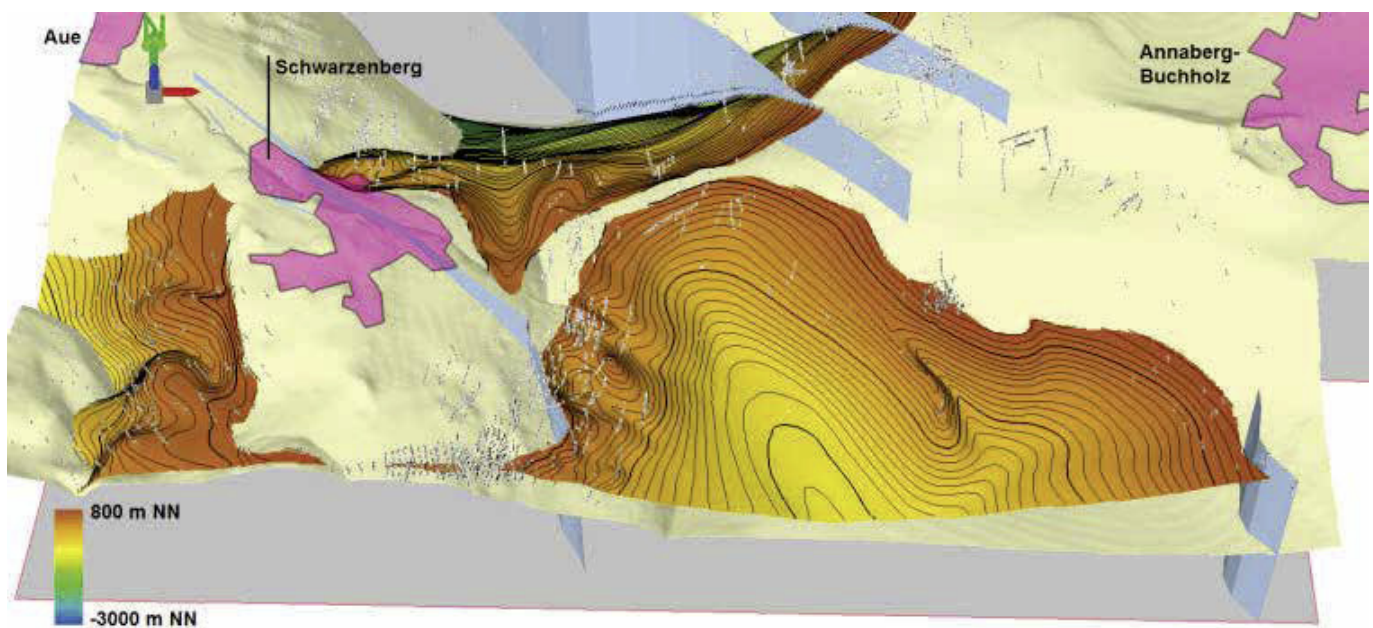


Abb. 4-27: Perspektivische 3D-Darstellung (Blick von Süden) der Oberkante des Skarnhorizonts Raschau-Formation im Bereich der Hundsmarter Mulde mit den erstellten Isolinien und den vorhandenen Bohrungsdaten. Die Granite sind zur Verdeutlichung der Verbandsverhältnisse blassgelb dargestellt.

4.2.3.3 Erzeugung von Distanz-Raster-Daten zwischen Granitoberfläche und Oberflächen der geologischen Formationen

Für die modellierten Horizonte des Neoproterozoikums, der Klínovec-, Jáchymov- und Thum-Gruppe sowie die Mittelflächen der drei Skarnhorizonte wurde die Differenz der interpolierten Flächen jeweils zu den drei Intrusionen wie auch zur gesamten Granitoberfläche berechnet. Der berechnete Abstand entspricht dem senkrechten Abstand von der Fläche zum Granit (entsprechend dem vermuteten Fließweg der Fluide), nicht zwingend dem kürzesten Abstand. Abschließend wurden die Abstand-Raster für die Verwendung in der advangeo® Prediction Software auf 50 x 50 m Rasterzellen umgerechnet. Für die Oberflächen der drei unterschiedenen Granit-Typen und die Gesamt-Granitoberflächen wurden die Abstände zur Geländeoberfläche als Raster-Daten berechnet (Abb. 4-28).

Für die Verwendung in der advangeo® Prediction Software sind die Abstände dabei invers skaliert worden: Abstand = 0 m wurde skaliert auf 1 und Abstand = 3000 m (als maximaler angenommener lagerstättengenetisch relevanter Abstand) auf 0.

Die Abb. 4-29 zeigt die berechneten Abstände zwischen der Granitoberfläche und den Oberkanten der Klínovec-, Jáchymov- und Thum-Gruppe, des Neoproterozoikums und den drei Skarnhorizonten.

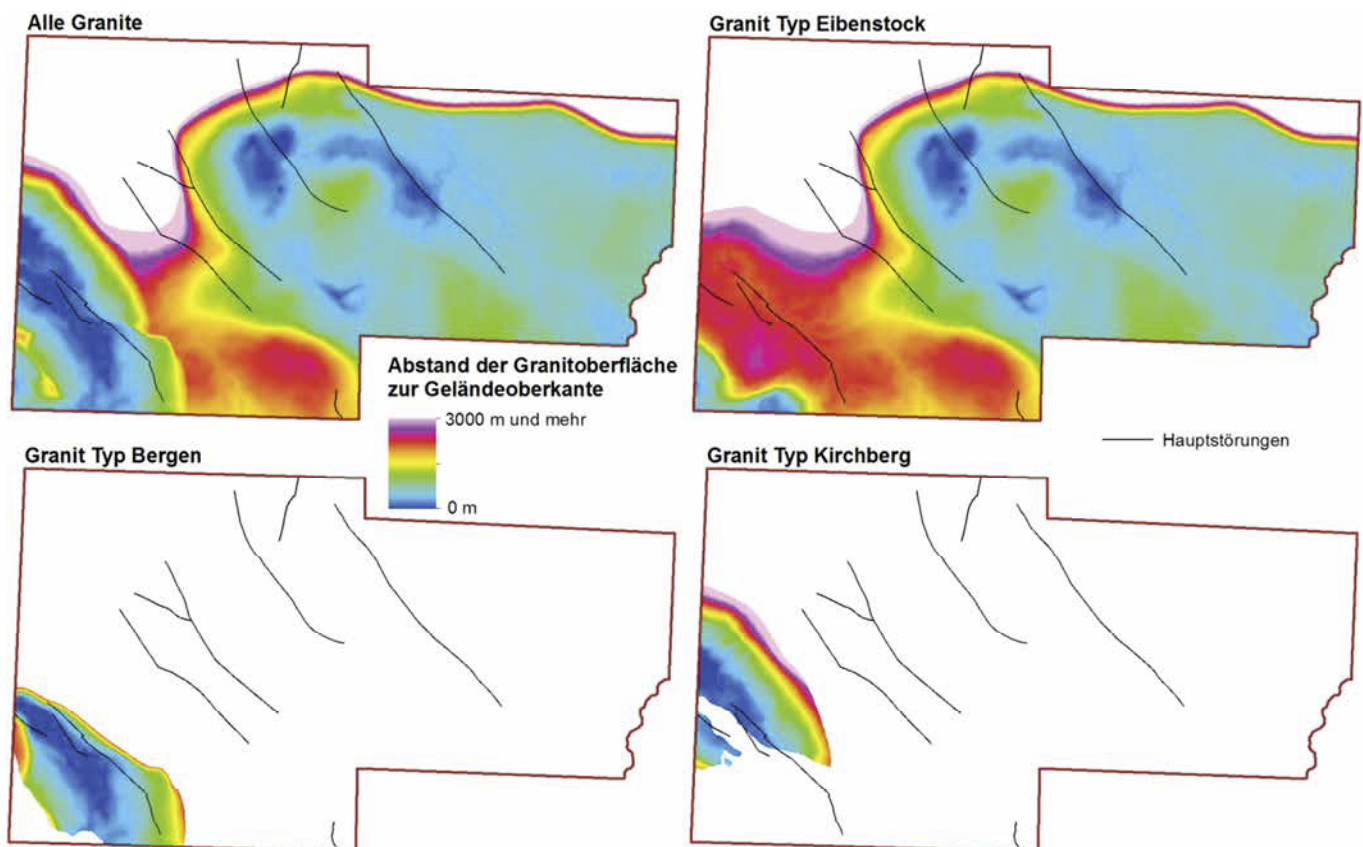


Abb. 4-28: Berechneter vertikaler Abstand zwischen der Granitoberfläche und der Geländeoberfläche für den gesamten Granitpluton sowie für die einzelnen geochemischen Granittypen.

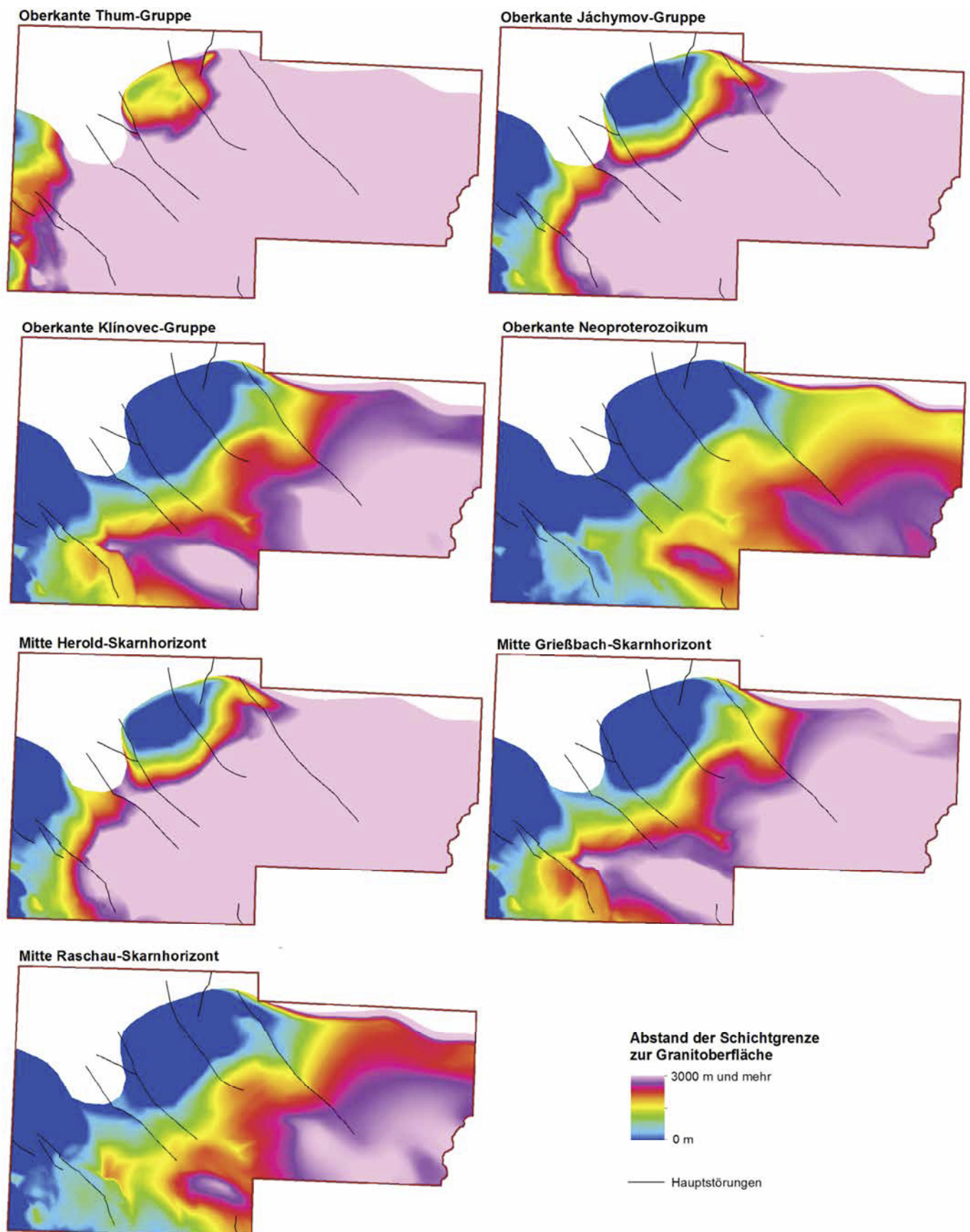


Abb. 4-29: Berechneter vertikaler Abstand zwischen der Granitoberfläche und den einzelnen Modellschichten für den gesamten Granitpluton.

4.2.3.4 Erzeugung von Differenz-Rastern zwischen Einfallen der Granitoberfläche und Einfallen der Oberflächen der geologischen Formationen

Zusätzlich zur Berechnung der Abstände zwischen Granitoberfläche und den Oberflächen der geologischen Formationen wurde die Differenz zwischen dem Einfallen der Granitoberfläche und dem Einfallen der verschiedenen Oberflächen der Thum-, Jáchymov- und Klínovec-Gruppe, der Skarnhorizonte und des Neoproterozoikums berechnet. Dazu wurden für alle Oberflächen sowohl Neigung (Slope) als auch Exposition (Aspect) berechnet. Die folgende Abb. 4-30 zeigt als Beispiel den Einfallswinkel der Granitoberfläche. Anschließend wurde der minimale Winkel zwischen dem Normalenvektor der Granitoberfläche und dem Normalenvektor der Oberfläche der jeweiligen geologischen Formation pixelweise berechnet und als Raster gespeichert (siehe hierzu auch Abschnitt 5.3.1 und Abb. 5-32 und 5-33).

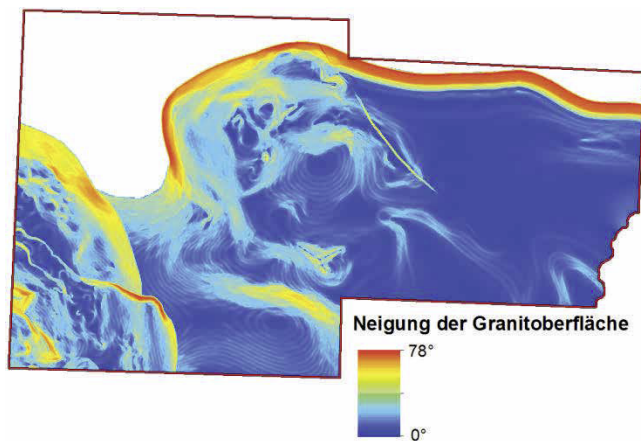


Abb. 4-30: Berechnete Neigung (Slope) der Granitoberfläche (niedrig: in Blau, hoch: in Rot)

4.3 Geophysikalische Daten

4.3.1 Magnetik

Ausgangsdaten waren die durch das LfULG zur Verfügung gestellten Datenpunkte (insgesamt 449.051 Punkte, davon 46.772 Punkte im Modellgebiet; LfULG, 2016c) im 125 x 125 m Raster mit Messwerten von ΔT . Dabei handelt es sich um die Abweichung (Magnetfeldanomalie) des lokal gemessenen Feldes von dem regionalen Normalwert, die überwiegend durch die magnetischen Eigenschaften der Gesteine im Untergrund, aber teilweise auch durch anthropogene Störquellen verursacht wird. Der Normalwert ändert sich im Laufe der Zeit, da das Erdmagnetfeld nicht konstant ist und außerdem durch Wechselwirkungen mit dem Sonnenwind beeinflusst wird. Diese Änderungen werden durch wiederholte Messungen an Basisstationen nachverfolgt. Durch Subtraktion des veränderlichen Normalwerts vom Messwert können Messungen

aus verschiedenen Zeiträumen sinnvoll miteinander verglichen werden. Im Modellgebiet liegen die Messwerte für das Erdmagnetfeld bei rund 48.000 Nanotesla (nT), die Werte von ΔT liegen bei wenigen hundert Nanotesla.

Die verwendeten Daten wurden in Zuge aerogeophysikalischer Vermessungen des Südteils der DDR in den Jahren 1982 bis 1989 gewonnen. Dabei war der Abstand der Nord-Süd ausgerichteten Fluglinien 250 m, die Höhe über Grund 100 m und der Abstand der Messpunkte 30 bis 95 m. Im Abstand von 2500 m wurden auf Ost-West gerichteten Fluglinien Kontrollmessungen vorgenommen. Zum Einsatz kamen Hubschrauber vom Typ Mil Mi-8 und Flugzeuge vom Typ Antonov AN-2, die mit Magnetometern und Gammastrahlendetektoren ausgerüstet waren. Mit Ausnahme einer kleinen Fläche im Nordwesten stammen alle Daten im Modellgebiet aus 1988 durchgeführten Befliegungen (WITTHAUER & KRENTZ, 2009). Diese Punktdaten wurden mittels Inverser Distanzwichtung (IDW) in die Fläche interpoliert und anschließend mit einem 7x7-„Moving Average“-Filter geglättet. Es wird dabei mit Hilfe einer 7 Pixel mal 7 Pixel großen Box ein gleitendes Mittel für jedes Pixel berechnet. Dies entspricht einem Tiefpass-Filter (Low Pass), der Interpolationsartefakte durch die ungleichmäßige Verteilung der Messpunkte und vereinzelte Ausreißer bereinigt. Auf Grundlage des interpolierten Magnetik-Raster-Datensatzes (Abb. 4-31) wurden zur Verwendung in der advangeo® Prediction Software außerdem der Gradient (Abb. 4-32), Exposition und Wölbung des ΔT -Wertes berechnet. Der Gradient ist ein Maß für die Änderung der Feldstärke über die Entfernung. Hohe Gradienten können ein Anzeichen sein, dass an dieser Stelle Gesteinskörper mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften aneinander grenzen. Die Anomalien werden durch im Gestein eingeschlossene magnetische Minerale (hier vor allem Magnetit) hervorgerufen. Wenn Magnetit auskristallisiert, orientiert sich das Wachstum an dem Magnetfeld, das den Kristall durchsetzt. Das derart „eingefrorene“ Magnetfeld kann später die Orientierung relativ zum Erdmagnetfeld ändern (z. B. durch Faltung der Gesteine) und dieses dadurch verschiedenartig überlagern. Abhängig von der Art der Überlagerung ändert sich die Form der Anomalie. Daher kann aus dem Umriss einer Anomalie nicht direkt auf den Umriss des verursachenden Körpers geschlossen werden. Typischerweise beobachtet man aufgrund der Polarität des Magnetfelds gepaarte positive und negative Anomalien.

Im Modellgebiet gibt es drei wesentliche Arten von Anomalien (Abb. 4-31). Südlich der Mitte des Modellgebiets fallen die kleinen scharf begrenzten Anomalien der känozoischen Basaltdecken auf dem Scheibenberg, dem Pöhlberg und außerhalb des Gebiets auf dem Bärenstein auf. Die großflächigen Anomalien im Nordwesten gehen auf Magnetitskarne, magnetitführende Quarzite, die in den Phylliten eingelagert sind, und auf Diabase und Metabasite im Bereich der Löbnitz-Zwönitzer Synklinale zurück. Schwächer ausgeprägte NW-SE orientierte

linienhafte Anomalien folgen den großen Störungszonen (vgl. Abb. 4-12d).

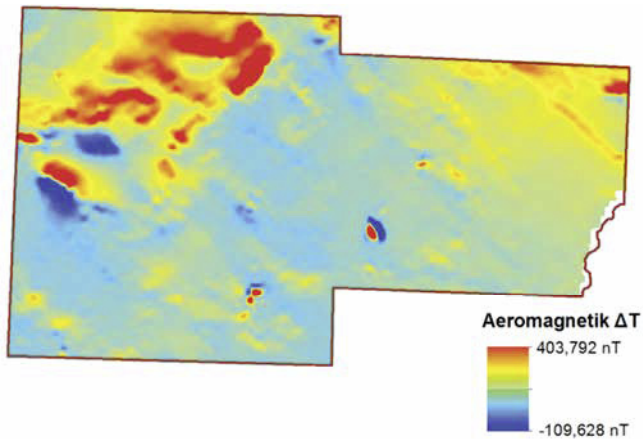


Abb. 4-31: Mittels IDW interpolierte und anschließend geglättete Magnetik-Messwerte – hier: ΔT (hoch: in Rot, niedrig: in Blau)

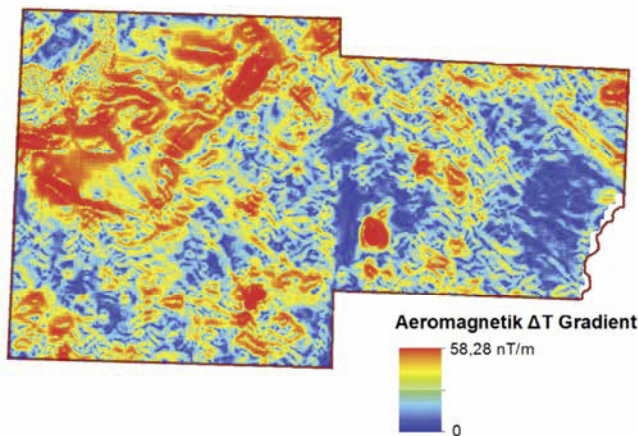


Abb. 4-32: Gradient (Slope) der interpolierten und geglätteten Magnetik-Messwerte, hier: ΔT (hoch: in Rot, niedrig: in Blau)

4.3.2 Gravimetrie

Das Schwerfeld der Erde zeigt systematische Variationen mit dem Breitengrad (wegen der Abplattung der Erde an den Polen) und mit der Höhe des Beobachters (durch den unterschiedlichen Abstand zum Erdmittelpunkt). Neben diesen geometrisch leicht bestimmbar Faktoren spielt auch die Dichte der im Untergrund vorhandenen Gesteine eine Rolle. Oberhalb von überdurchschnittlich dichten Gesteinen (z. B. Amphibolit, Gabbro) werden erhöhte Schwerewerte gemessen. Dabei sind diese Anomalien für tief liegende Körper stärker verwischt, während sie für flacher lagernden Körper schärfer begrenzt erscheinen. Wie beim Magnetfeld müssen auch beim Schwerfeld zeitliche Variationen, z. B. durch Gezeitenbewegungen, berücksichtigt und durch wiederholte Messungen an Basispunkten quantifiziert werden. Nach Abzug der für den jeweiligen Breitengrad zu erwartenden Normalschwere müssen Korrekturen für die Topographie durchgeführt werden, um die Werte auf ein einheitliches Bezugsniveau zu bringen. Das Er-

gebnis ist die Bouguer-Anomalie, die im Wesentlichen durch die Dichteunterschiede im Untergrund verursacht wird. Im Modellgebiet beträgt die Schwerebeschleunigung rund $9,81 \text{ m/s}^2$, was 981.000 mGal entspricht. Die Bouguer-Anomalie liegt demgegenüber nur bei -50 bis $+22 \text{ mGal}$, wodurch ihr Nachweis hohe Anforderungen an die Messgenauigkeit und an die Korrekturrechnungen stellt. So ist die genaue Positionierung der Messpunkte wichtig, da ein Meter Höhenunterschied bereits einen Schwerfeldunterschied von $0,3 \text{ mGal}$ bewirkt.

Die bereits beim LfULG vorhandenen Rasterdaten erwiesen sich als nicht ausreichend genau und zeigten bei der Berechnung der Ableitungen verschiedene Artefakte. Daher wurden die beim LfULG vorhandenen Punktdaten (LfULG, 2016d) der Schweremessungen neu prozessiert. Zum einen handelt es sich um die originalen Messwerte des Schwerfeldes aus den verschiedenen Messkampagnen (50.857 Punkte), welche das gesamte Modellgebiet in unterschiedlicher Dichte abdecken (Abb. 4-33, blaue Punkte). Außerdem stand noch ein kleinerer Datensatz (4095 Punkte) aus dem Kernbereich des Modellgebietes zur Verfügung (Abb. 4-33, gelbe Punkte). Für die Punktdaten beider Datensätze wurden im Rahmen des Projektes die folgenden Korrekturfaktoren berechnet:

- Freiluftkorrektur, C_f (Korrektur NN-Höhe ohne Einbeziehung von Material zwischen Messpunkt und Meeresniveau),
- Bouguer-Plattenkorrektur, C_B (Korrektur NN-Höhe unter Einbeziehung von Material zwischen Messpunkt und Meeresniveau),
- Normalschwere, C_ϕ (Korrektur geographische Breite).

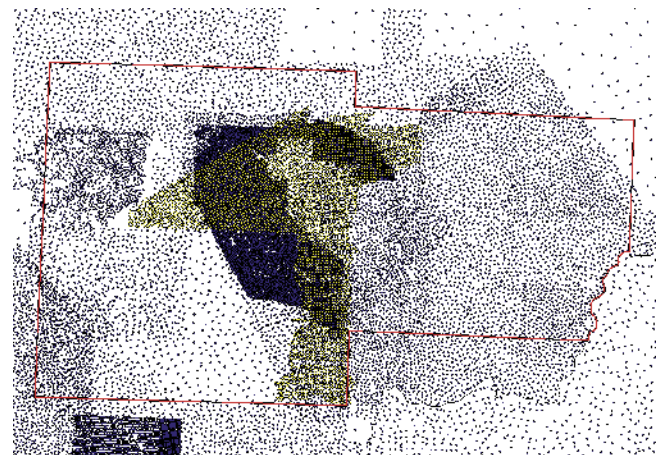


Abb. 4-33: Messpunktverteilung der Gravimetrie-Daten, hier: Bouguer-Anomalie, (Messwerte für das Gesamtgebiet: in Blau, neue Messwerte für den Kernbereich: in Gelb)

Bereits vorliegend waren die Korrekturwerte für alle Messpunkte für die topographische Korrektur, C_T (Korrektur des Anteils der Schwere, der durch das topographische Relief verursacht wird). Abschließend wurde die im Feld gemessene

Schwereanomalie Δg_{obs} mit Hilfe der folgenden Formel mit den Korrekturwerten korrigiert:

$$\Delta g = \Delta g_{\text{obs}} + C_F + C_F - C_B + C_T$$

Mit Hilfe von Ordinary Kriging wurden diese korrigierten Punktwerte in die Fläche interpoliert und anschließend mit Hilfe von „Focal Statistics“ über 5 Rasterzellen hinweg geglättet (siehe Abb. 4-34). Kriging ist ein geostatistisches Verfahren, das die räumliche Varianz der vorhandenen Daten bei der Interpolation berücksichtigt. Damit ist es gut geeignet, um zwischen ungleichmäßig verteilten Messpunkten zu interpolieren. Im Unterschied zur Magnetfeldanomalie (ΔT) ist die räumliche Varianz der Bouguer-Anomalie relativ konstant (Gesteinsdichten liegen größtenteils in einem engen Spektrum, während Magnetfeldstärken über mehrere Größenordnungen variieren können).

Damit konnte letztendlich eine deutlich bessere und genauere Version der Gravimetriedaten erstellt werden, welche anstatt der zuvor prozessierten Daten von 2010 in der advangeo® Prediction Software verwendet wurde. Zudem wurden die weiteren Ableitungen der Bouguer-Anomalie in der advangeo® Prediction Software berechnet: Gradient (Abb. 4-35) und Wölbung (Abb. 4-36).

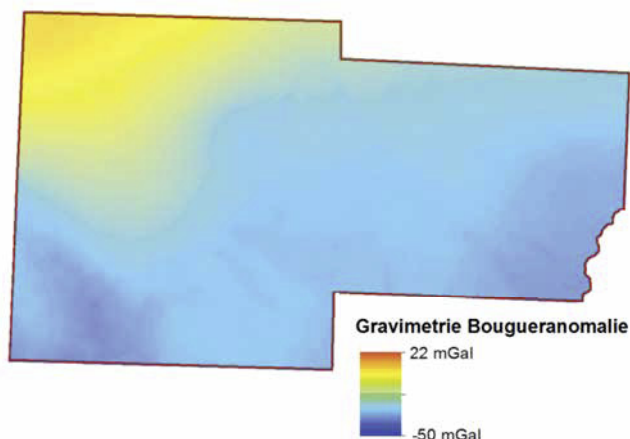


Abb. 4-34: Mittels Ordinary Kriging interpolierte und mittels Focal Statistics geglättete, zuvor korrigierte Gravimetrie-Messwerte, hier: Bouguer-Anomalie (hoch: in Rot, niedrig: in Blau)

Die Bouguer-Anomalie im Modellgebiet spiegelt vor allen die Verbreitung der Granite im Untergrund wider. Diese haben im Vergleich zu den anderen Gesteinen geringere Dichten (Granit 2,64 g/cm³, Gneis 2,66 – 2,72 g/cm³, Phyllit 2,76 g/cm³, Glimmerschiefer 2,78 g/cm³ nach LEONHARDT, 2009a) und erzeugen deshalb eine negative Anomalie. Aufgrund des großen Volumens der Granite ist die Anomalie stark ausgeprägt und überdeckt zahlreiche kleinere Anomalien, die in den Ableitungen des Schwerefeldes sichtbar werden.

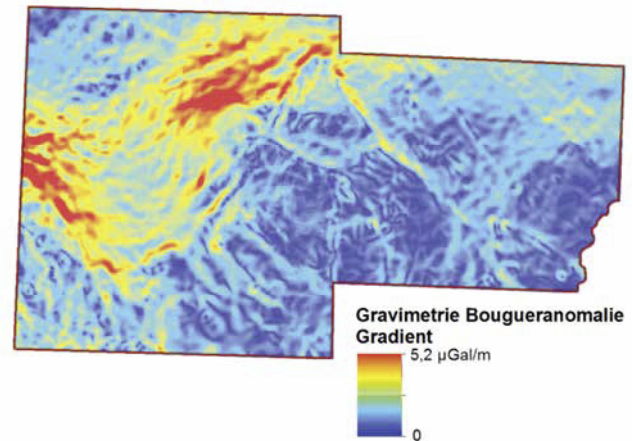


Abb. 4-35: Gradient (Slope) der interpolierten und geglätteten Gravimetrie-Messwerte, hier: Bouguer-Anomalie (hoch: in Rot, niedrig: in Blau)

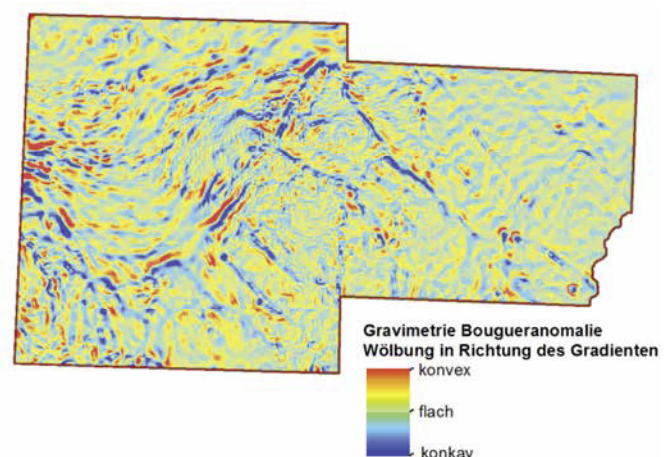


Abb. 4-36: Wölbung in Richtung des Gradienten der Bouguer-Anomalie: Hier sind linienhafte Strukturen erkennbar deren Dichte vom Umgebungsgestein abweicht. Dabei handelt es sich um Skarne und Metabasite (im NW) sowie um Verwitterungs- oder Mineralisationszonen im Umfeld NW-SE streichender Störungen.

Besonders die Wölbung in Gradientenrichtung (Abb. 4-36) zeigt viele Objekte, die in der Dichte vom Umgebungsgestein abweichen. Dazu gehören die Skarne und Metabasite im Nordwesten sowie vermutete Alterations- und Mineralisationszonen entlang der großen NW-SE streichenden Störungen (vgl. Abb. 4-12d).

4.3.3 Gammasspektrometrie

Die geogene radioaktive Strahlung stammt hauptsächlich aus dem Zerfall bestimmter Isotope der Elemente Uran, Kalium und Thorium bzw. von kurzlebigen Tochterisotopen aus den Zerfallsreihen. Die Zerfallsreaktionen sind durch Freisetzung von Gammastrahlung mit spezifischen Energieniveaus gekenn-

zeichnet. Gammastrahlung wird im Gegensatz zu Alpha- und Betastrahlung von vielen Materialien nur schwach absorbiert und ist daher auch in größerer Entfernung von der Quelle nachzuweisen. Allerdings ist die Absorption im Boden nicht vernachlässigbar. Der größte Teil der an der Erdoberfläche messbaren Strahlung stammt deshalb aus den obersten Metern des Untergrunds. Ein Gammastrahlendetektor, der die Anzahl der Photonen und deren Energien aufzeichnet, kann bei entsprechender Kalibrierung genutzt werden, um die Gehalte an Kalium, Thorium und Uran in dieser Schicht zu bestimmen. Der Vorteil gegenüber der Bestimmung der Elementgehalte in geochemischen Proben liegt in der erreichbaren hohen Auflösung (einige hundert Meter) auch für große Gebiete, die sonst nur durch extrem große Probenanzahlen erreicht werden könnten.

Ausgangsdaten für die Aufbereitung und Erstellung von flächenhaften gammaspektroskopischen Daten für das Untersuchungsgebiet waren die durch das LfULG zur Verfügung gestellten Punktmessdaten (564.677 Punkte; LfULG, 2016e). Diese stammen wie die Magnetikdaten aus den in den 1980ern durchgeführten Befliegungen (s. Kap. 4.3.1). Die originalen Punktdaten haben einen Abstand von 60 m entlang der Messlinien und eine mittlere Distanz von 250 m zwischen den einzelnen Messlinien (Abb. 4-37).

Nach intensiver Kontrolle und Beurteilung der gammaspektroskopischen Messwerte mussten zunächst die Messwerte des Urans verworfen werden. Da die Messungen Mitte bis Ende der 80er Jahre durchgeführt wurden, sind diese Werte stark durch den Tschernobyl-Fallout und die Hinterlassenschaften des Uranbergbaus beeinflusst. Damit spiegelt die Uranverteilung nicht die natürlichen geologischen Gegebenheiten wider. Einzig die Messwerte von Thorium und Kalium können verwendet werden. Bei diesen beiden Elementen wurde jedoch eine starke Beeinflussung der Messwerte durch die Absorption der Strahlung in Gewässern, Feuchtgebieten und der Vegetation (vor allem in Wäldern) festgestellt.

Moderne gammaspektroskopische Befliegungen führen häufig ein Lidar-System zur ständigen Messung der Flughöhe und der Vegetationshöhe mit. Aus der Flughöhe, der Topographie der Umgebung und der Bauart des Detektors ergibt sich dessen Sichtfeld. Die Vegetationshöhe wird zur Schätzung der Biomasse und damit der Absorption verwendet. Da für die vorliegenden Daten keine Informationen zur angetroffenen Vegetationshöhe und nur eine mittlere Flughöhe vorliegen, kann eine näherungsweise Absorptionskorrektur nur durch die statistische Auswertung der vorhandenen Daten erfolgen.

Die Messwerte von Thorium und Kalium wurden aufgrund dessen in mehreren Schritten hinsichtlich der Absorption korrigiert:

- Selektion aller Punkte innerhalb eines 2000-m-Puffers um das Prognosegebiet,

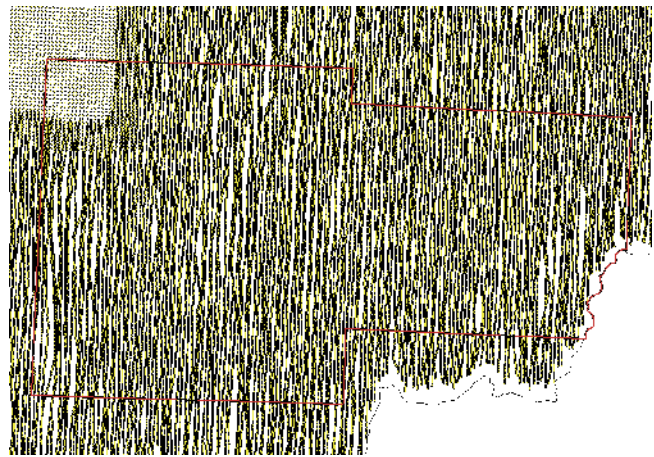


Abb. 4-37: Vorhandene Messpunktverteilung mit Radiometrie-Messwerten, hier: K-, Th- und U-Messwerte, durch das LfULG im Jahr 2010 zur Verfügung gestellt

- Löschen aller Punkte aus Rasterdaten, Beibehalten der Punkte aus Befliegungslinien (das ROHSA 3.1-Gebiet enthält nur Befliegungslinien aus der Messkampagne Mittelerzgebirge von 1988, so dass keine Niveauanpassung zwischen verschiedenen Messkampagnen notwendig ist: 51.790 Punkte),
- Erzeugung von Umkreisen mit 100-, 200- und 300-m-Radius um alle Punkte als Abschätzungen für das „Sichtfeld“ des Detektors (da nur eine mittlere Flughöhe bekannt ist),
- Verschnitt der Umkreise mit den Flächennutzungsdaten aus ATKIS,
- Löschen aller Umkreise, die Wasserflächen, Sumpf, Ried oder „nassen Boden“ (gemäß ATKIS) enthalten, da hier starke Absorption zu erwarten ist (es verbleiben 48.834 Punkte),
- Berechnung des prozentualen Anteils an Waldfläche für jeden Umkreis,
- Erzeugen von Boxplots und Bestimmung der Mediane der Kalium- und Thorium-Anteile für 5%-Intervalle der Waldbedeckung (0 – 0,1; 0,1 – 5; 5 – 10 ... 95 – 99,9; 99,9 – 100 % Waldbedeckung im 100-, 200- und 300 m-Umkreis) (siehe Abb. 4-38 und Abb. 4-39) → Deutlich zu erkennen ist dabei der generelle Trend der Abnahme des Kalium- bzw. Thorium-Messwertes mit zunehmendem Waldanteil.
- Bestimmung von Korrekturfaktoren, um die Mediane anzugleichen (Tabelle 5) → Ein exaktes Korrekturverfahren benötigt neben der Flughöhe Informationen zur tatsächlichen Biomasseverteilung, d.h. Höhe der Bäume, Abstand der Bäume usw.
- Da diese Informationen für den Zeitraum der Messungen nicht vorliegen, kann nur ein einfaches empirisches Verfahren angewendet werden.

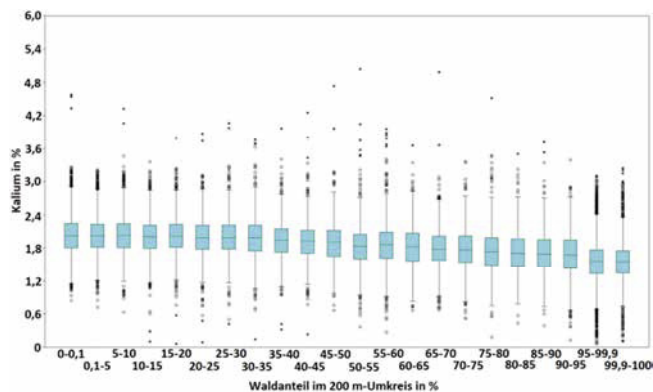


Abb. 4-38: Boxplots der Kaliumanteile im Abhängigkeit vom Waldanteil im 200-m-Umkreis um den Messpunkt

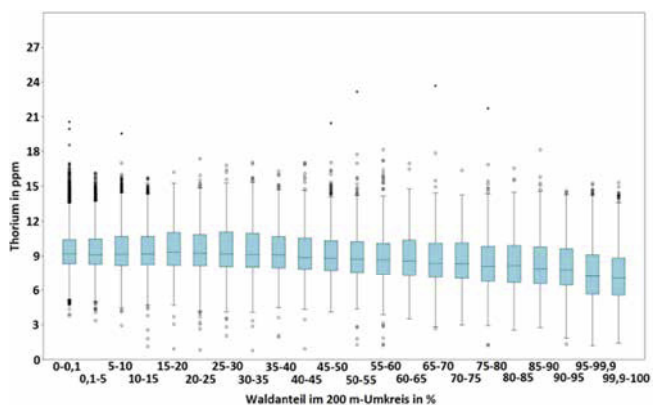


Abb. 4-39: Boxplots der Thoriumanteile im Abhängigkeit vom Waldanteil im 200-m-Umkreis um den Messpunkt

- Ermitteln eines Polynoms zur Korrektur der Kalium- und Thorium-Anteile in Abhängigkeit von der Waldbedeckung im 200-m-Umkreis und Korrektur der Kalium- und Thorium-Werte (siehe Abb. 4-40 und Abb. 4-41) → Die 200-m-Umkreise zeigen den regelmäßigen Zusammenhang von Median und Waldanteil und werden daher als gute Näherung für das „Sichtfeld“ des Detektors interpretiert.
- Korrektur der Kalium- und Thorium-Gehalte mit Hilfe der empirischen Korrektur-Funktionen unter Verwendung des Waldanteils [0 ... 1]:
 - Kalium = Messwert*(0,303*Waldanteil² - 0,0188*Waldanteil + 1)
 - Thorium = Messwert*(0,3343*Waldanteil³ - 0,0903*Waldanteil² + 0,0341*Waldanteil + 1)
- Interpolation von Rastern der Kalium- und Thorium-Gehalte auf Grundlage der korrigierten Werte mit folgenden IDW-Parametern:
 - Power 1,
 - maximal 20 Punkte,
 - maximale Distanz 500 m,

Tabelle 5: Mediane der Kalium- und Thorium-Anteile in Abhängigkeit von der Waldbedeckung und empirische Korrekturfaktoren.

Waldbedeckung in %	Anzahl Punkte	Median K-Werte in %	Korrekturfaktor	Median Th-Werte in ppm	Korrekturfaktor
0-0,1	11066	2,025	1	9,187	1
0,1 - 5	5080	2,031	0,99704579	9,103	1,00922773
5-10	2883	2,034	0,99557522	9,127	1,0065739
10-15	2103	2,007	1,00896861	9,179	1,00087155
15-20	1616	2,019	1,00297177	9,312	0,98657646
20-25	1368	1,999	1,0130065	9,21	0,99750271
25-30	1165	1,998	1,01351351	9,185	1,00021775
30-35	1035	1,995	1,01503759	9,117	1,00767796
35-40	960	1,949	1,03899436	9,077	1,01211854
40-45	937	1,935	1,04651163	8,857	1,03725867
45-50	913	1,912	1,05910042	8,816	1,04208258
50-55	853	1,84	1,10054348	8,709	1,05488575
55-60	857	1,866	1,085209	8,663	1,06048713
60-65	801	1,83	1,10655738	8,558	1,07349848
65-70	827	1,78	1,13764045	8,351	1,10010777
70-75	848	1,773	1,14213198	8,336	1,10208733
75-80	861	1,742	1,16245695	8,101	1,13405752
80-85	963	1,707	1,18629174	8,144	1,12806974
85-90	1101	1,694	1,19539551	7,868	1,16764108
90-95	1223	1,677	1,20751342	7,78	1,18084833
95-99,9	8062	1,561	1,29724536	7,191	1,27756918
99,9-100	4076	1,558	1,29974326	7,049	1,30330543

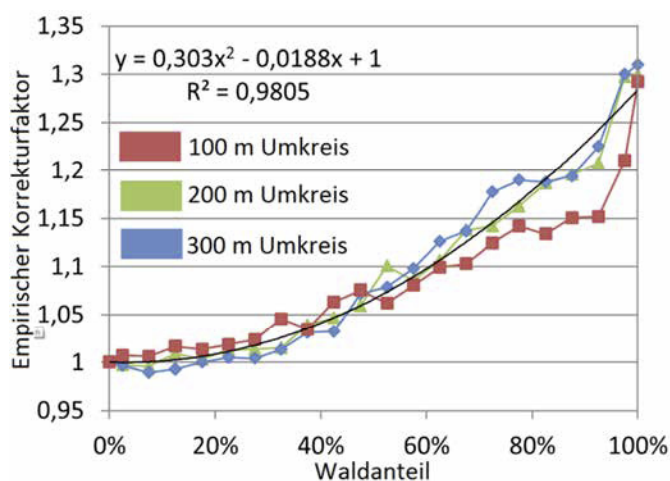


Abb. 4-40: Empirische Korrekturfaktoren für Kalium abhängig vom Radius des Umkreises und angepasstes Polynom 2. Ordnung

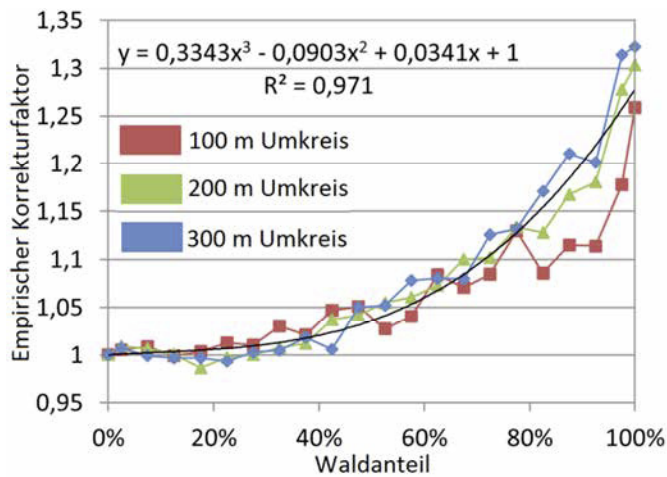


Abb. 4-41: Empirische Korrekturfaktoren für Thorium abhängig vom Radius des Umkreises und angepasstes Polynom 3. Ordnung

- Anwenden des „Focal statistics“ Filters:
 - kreisförmig,
 - 3 Zellen = 150 m
 um Artefakte, die auf den linienhaften Anordnungen der Datenpunkte beruhen, zu glätten.

Die folgende Abb. 4-42 vergleicht die berechneten Raster von Kalium und Thorium vor und nach der Korrektur auf Grundlage des Waldanteils in einem 200-m-Umkreis um jeden Messpunkt. Deutlich ist die starke Korrelation der negativen Anomalien beider Elemente mit dem Waldflächen vor der Korrektur zu

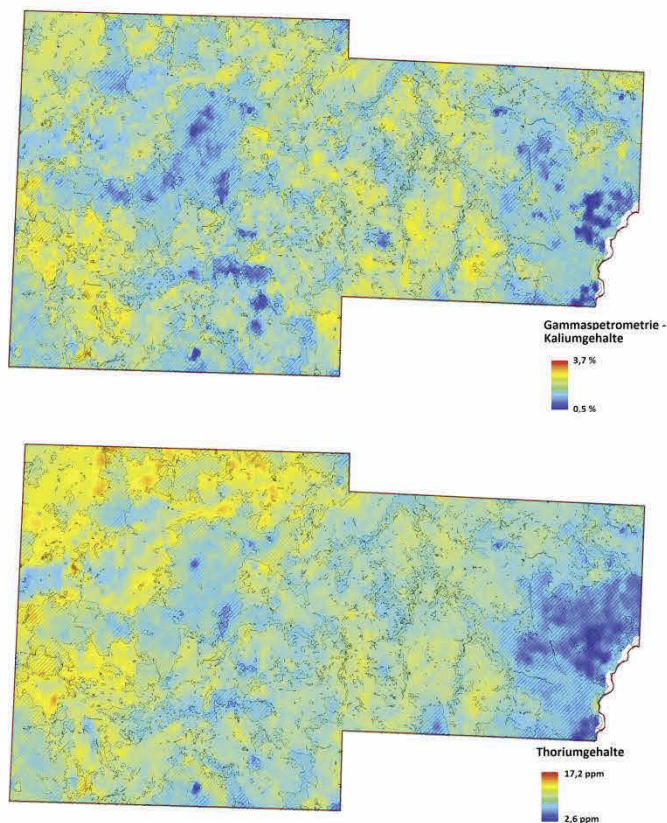


Abb. 4-42: Aus der Gammaspetrometrie abgeleitete Kalium- und Thoriumgehalte vor (links) und nach (rechts) der Absorptionskorrektur.

erkennen. Nach Korrektur mittels der empirischen Formel treten zahlreiche vorher nicht erkennbare Anomalien deutlich im Waldbereich hervor. Anschließend konnten für die neu erstellten Raster der Radiometrie-Messwerte auch wieder der Gradient, die Exposition und die Wölbung des Feldes zur weiteren Verwendung in der advangeo® Prediction Software berechnet werden.

Zusätzlich zu den korrigierten Rasterdaten von Thorium und Kalium wurde ein Raster mit dem Verhältnis von Kalium zu Thorium berechnet (Abb. 4-43) und als Modelleingangsdatensatz in der advangeo® Prediction Software verwendet.

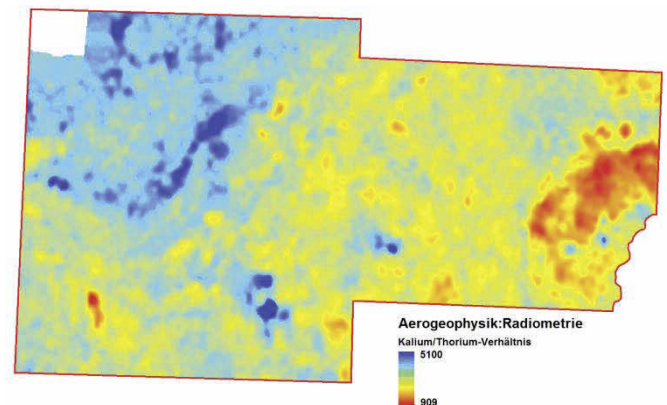


Abb. 4-43: Kalium/Thorium-Verhältnis auf Grundlage der korrigierten gammaspektroskopischen Messwerte

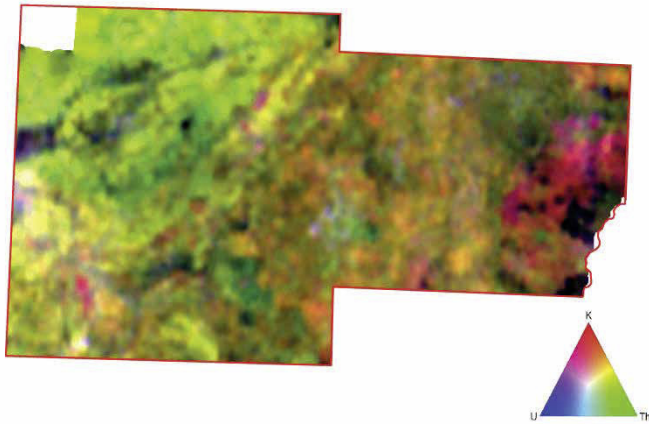


Abb. 4-44: Falschfarbendarstellung der gammaspektroskopisch bestimmten Elementgehalte. Kaliumbetonte Gesteine erscheinen in Rottönen, thoriumbetonte Gesteine erscheinen dagegen in Grüntönen. Messbare Urankonzentrationen zeigen sich infolge der geringen Qualität dieses Datensatzes nur als blauviolette Areale im Bereich des früheren Uranbergbaus am Westrand des Modellgebiets.

Die Falschfarbendarstellung (Abb. 4-44) zeigt geochemische Unterschiede der im Modellgebiet auftretenden Gesteine. Die Phyllite sind relativ thoriumreich (grünliche Farben) während die neoproterozoischen Gneise eher kaliumreich sind (rötliche Farben). Die Glimmerschiefer liegen in ihrer Zusammensetzung dazwischen, was durch gelbliche Farben zum Ausdruck kommt. Besonders die Gneise zeigen eine starke Ausdifferenzierung in geochemisch unterschiedliche Zonen. Besonders auffällig sind die Orthogneise des Gneisdoms von Reitzenhain, die in der Falschfarbendarstellung purpurfarben erscheinen. Noch deutlicher wird die Ausdifferenzierung verschiedener Gneistypen in der Karte des K/Th-Verhältnisses (Abb. 4-43).

4.4 Geochemische Daten

4.4.1 Festgesteine

Nach Import der durch das LfULG zur Verfügung gestellten Bohrungsdaten (LfULG 2016a) und Aufbau einer Bohrungsdatenbank für das Untersuchungsgebiet (siehe 4.2.1) wurden, soweit vorhanden, den Bohrungen Analytik-Ergebnisse zugeordnet. Leider konnten nur 171 Bohrungen bzw. 2802 Schichtdatensätze mit Analytik-Ergebnissen verlinkt werden. Diese befinden sich fast ausschließlich im Gebiet der Skarne von Geyer (siehe Abb. 4-45).

Aufgrund der Unvollständigkeit dieser Daten konnten sie in der weiteren Projektbearbeitung keine Verwendung finden.

Eine weitere Zusammenstellung von Festgesteinsanalytik-Ergebnissen war über die von Beak Consultants GmbH im Auftrag des LfULG erstellte Datenbank verfügbar (BEAK CONSULTANTS GMBH, 2014). Die Daten wurden aus diversen Forschungsprojekten, Master- und Bachelorarbeiten sowie anderen Veröffentlichungen zusammengetragen (Abb. 4-46). Die Analytik-

Ergebnisse sind aufgrund der verschiedenen Quellen und der damit verbundenen unterschiedlichen Analysenverfahren sehr uneinheitlich. Dennoch lassen sich einige qualitative Aussagen zur Rohstoffverteilung ableiten.

So wurden mit Hilfe dieser Daten Hinweise auf die Zinnführung der im Gebiet von Pobershau, Marienberg und Gehrigswalde verbreiteten „schwarzen Flöze“ sowie alterierter Gneise gewonnen. Damit erlangen die kohlenstoffführenden Gesteine mineralisationskontrollierende Bedeutung und es gibt weitere Hinweise auf nicht strukturell kontrollierte Zinnmineralisationen in diesem Gebiet.

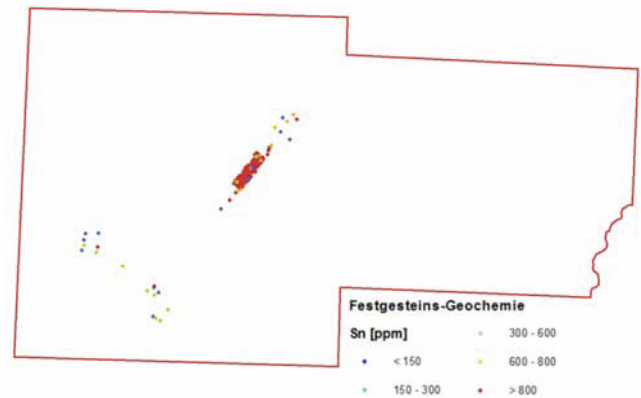


Abb. 4-45: Verteilung der Bohrungen, denen durch das LfULG zur Verfügung gestellte Festgesteins-Analytik-Ergebnisse zugeordnet werden konnten – hier: Zinn-Gehalt in Festgestein in Bohrungen (niedrig: in Blau, hoch: in Rot)

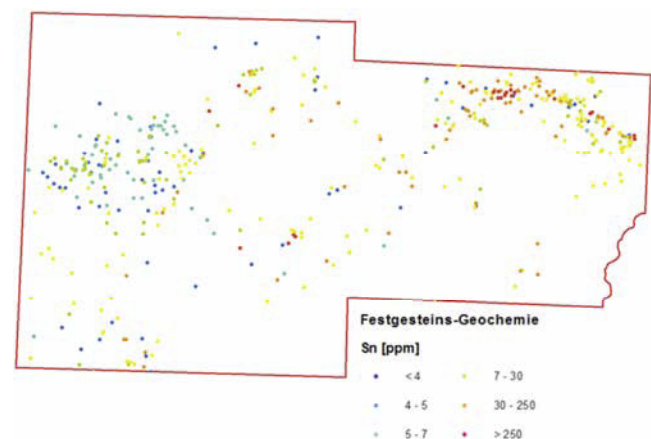


Abb. 4-46: Verteilung von Festgesteinsproben mit Analytik-Ergebnissen nach einer Zusammenstellung aus Literaturquellen (BEAK CONSULTANTS GMBH, 2014) – hier: Zinn-Gehalte (niedrig: in Blau, hoch: in Rot)

4.4.2 Bachsedimente

Die Geochemie-Daten der Bachsediment-Beprobung aus den 1970er/80er Jahren (OSSENKOPF, 1982) wurden durch Beak Consultants GmbH bereits im Rahmen einer Kooperation mit

dem LfULG zwischen 2010 und 2012 aufbereitet und als Raster-Daten je Element abgelegt.

Zum damaligen Zeitpunkt waren jedoch die Original-Probenahme-Karten im GIS noch nicht gescannt und georeferenziert verfügbar und konnten nicht zur Verifizierung der Lage und Abgrenzung der Einzugsgebiete herangezogen werden. Im Jahre 2010 wurden die Einzugsgebiete nur auf Grundlage des DGM25 berechnet und manuell den Probennahmepunkte zugeordnet. Eine eindeutige Zuordnung war damals jedoch nicht für jeden Punkt möglich, da sich die berechneten Einzugsgebiete teilweise von den auf den Originalkarten eingezeichneten Einzugsgebieten unterschieden.

Um die Genauigkeit der Geochemie-Raster zu verbessern, wurden die Einzugsgebiete auf Grundlage der verfügbaren gescannten und georeferenzierten Karten neu digitalisiert.

Zunächst wurden die Einzugsgebiete aller Gewässerordnungen (1-5) erfasst (Abb. 4-47 a).

Anschließend wurden die Einzugsgebiete der 1. und 2. Gewässerordnung selektiert und diesen über räumlichen „Join“ im ArcGIS die Analysenwerte der Probenpunkte zugeordnet. Bei der Zuordnung der Analytik-Ergebnisse wurden außerdem die Messwerte vereinheitlicht und entsprechend überarbeitet:

- „>“ ersetzt durch doppelten Wert
- „<“ ersetzt durch halben Wert
- „~“ ersetzt durch Wert
- „ca.“ ersetzt durch Wert
- „nb“ ersetzt durch leeren Wert

Zu den folgenden Elementen sind die geochemischen Analysen verfügbar:

- Arsen (As),
- Barium (Ba),
- Beryllium (Be),
- Bor (B)
- Kobalt (Co)
- Chrom (Cr)
- Kupfer (Cu)
- Lithium (Li)
- Molybdän (Mo)
- Nickel (Ni),
- Blei (Pb),
- Zinn (Sn),
- Titan (Ti),
- Wolfram (W),
- Zink (Zn),
- Zirkonium (Zr).

Im Ergebnis konnten die Einzugsgebiete entsprechend der Gehalte im Bachsediment dargestellt werden (Abb. 4-47 b).

Um jedoch eine flächenhafte Aussage für das gesamte Untersuchungsgebiet geben zu können, wurden mit Hilfe der Probenpunkte Raster unter Verwendung der Methodik Inverse Distance Weighting (IDW; Inverse Distanzwichtung) interpoliert. IDW beruht hauptsächlich auf dem Kehrwert einer potenzierten Entfernung. Mithilfe des Parameters Potenz (in ArcGIS: „Power“) kann die Bedeutung bekannter Punkte für interpolierte Werte auf der Basis von deren Entfernung zum Ausgangspunkt gesteuert werden.

Die Interpolation wurde auf die log10-normalisierten Messwerte angewandt. Dazu wurden zwei verschiedene Varianten für jedes der Elemente gerechnet:

- Variante 1: IDW mit einer Potenz von 2 und unter Verwendung von maximal 10 Punkten im Umkreis,
- Variante 2: IDW mit einer Potenz von 1 und unter Verwendung von maximal 20 Punkten im Umkreis.

Durch Festlegen eines höheren Potenzwerts kann die Bedeutung der am nächsten gelegenen Punkte verstärkt werden. Dadurch haben Daten in unmittelbarer Umgebung den meisten Einfluss, wodurch die Oberfläche einen höheren Detailgrad erhält (und weniger glatt wird). Je höher die Potenz, desto mehr nähern sich die interpolierten Werte an den Wert des am nächsten gelegenen Referenzpunktes an. Durch Festlegen eines niedrigeren Potenzwerts erhalten umgebende Punkte, die weiter entfernt liegen, mehr Einfluss, wodurch eine glattere Oberfläche entsteht. Dabei ist die gerechnete Variante 1 als „unruhiger“ und stärker beeinflusst von lokalen Ausreißern zu beurteilen. Daher wurde die interpolierten Raster entsprechend Variante 2 weiter verwendet.

Die Abb. 4-47 c zeigt die Interpolationsergebnisse nach Variante 2 beispielhaft für den Zinngehalt in den Bachsedimenten.

Anschließend wurden die berechneten Raster-Daten zweimal geglättet, um insbesondere Interpolations-Artefakte in der ersten und zweiten Ableitung zu verringern:

1. Glättung mittels „Focal statistics“: kreisförmig, 20 Zellen (=1000 m), um die verbleibenden Maxima und Minima um einzelne Messwerte zu glätten;
2. Glättung mittels „Focal statistics“: kreisförmig, 10 Zellen (=500 m), um die kreisbogenförmigen Artefakte aus Schritt 1 zu unterdrücken.

Das Ergebnis der Glättung ist beispielhaft für Zinn in der Abb. 4-47 d dargestellt. Kleinere lokale Extrema sind verdrängt und der generelle geochemische Trend ist deutlich erkennbar.

Im Ergebnis der Vorprozessierung der Bachsedimentdaten wurde für jedes der 16 Elemente ein Raster in die advangeo® Prediction Software als Modelleingangsdatensatz übernommen. Weiterführend wurden jeweils Gehaltsgradient (Abb. 4-48), die Exposition und die Wölbung berechnet.

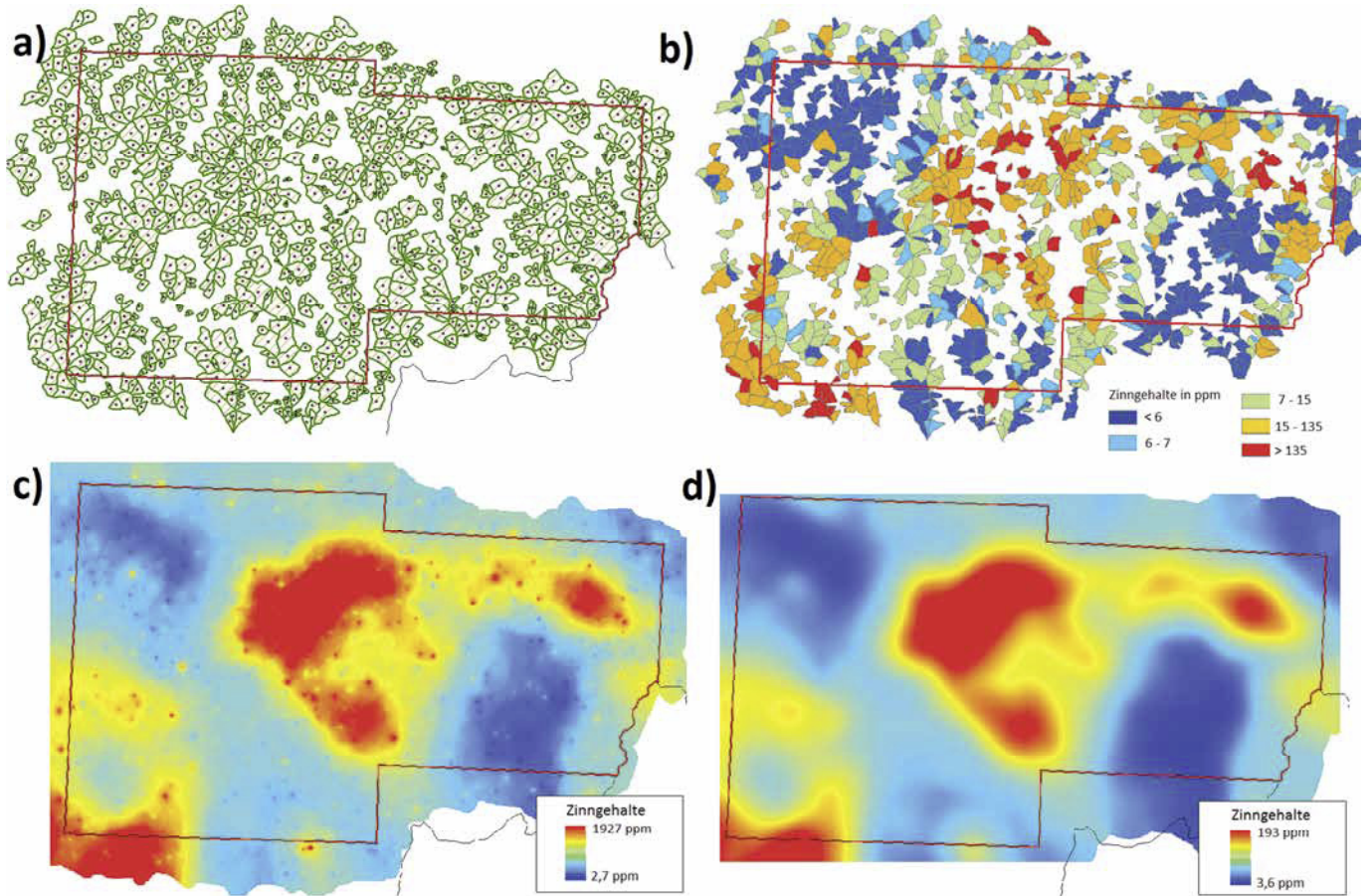


Abb. 4-47: Prozessierung der Bachsediment-Geochemiedaten am Beispiel des Zinns: a) Die Einzugsgebiete erster und zweiter Ordnung werden digitalisiert und der jeweilige Mittelpunkt wird berechnet. b) Die gemessenen Elementgehalte werden dem jeweiligen Einzugsgebiet zugewiesen. c) Der Messwert wird jeweils dem Mittelpunkt des Einzugsgebiets zugewiesen und mit IDW interpoliert. d) Das Ergebnis wird mit Focal Statistics geglättet, um den Einfluss von Extremwerten zu reduzieren.

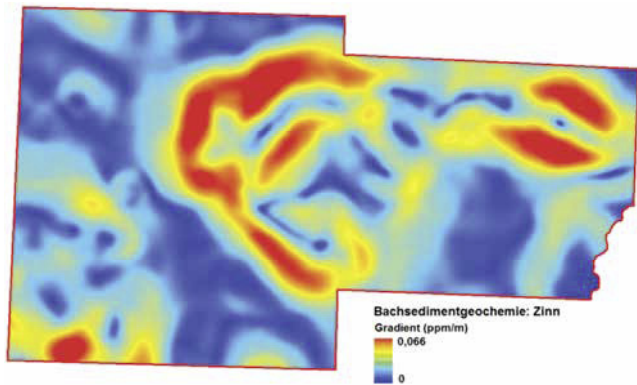


Abb. 4-48: Gradient des Zinn-Gehaltes in Bachsedimenten (hoch: in Rot, niedrig: in Blau)

4.5 Andere Daten

4.5.1 Digitales Geländemodell

Durch das LfULG wurden sowohl das DGM25 mit 25-m-Auflösung als auch das DGM2 mit 2 m räumlicher Auflösung zur Verfügung gestellt (Abb. 4-49).

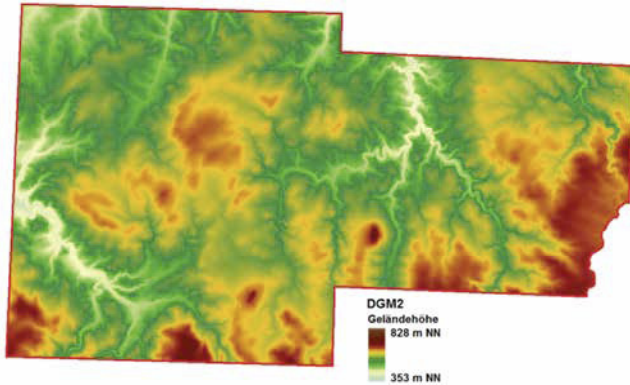


Abb. 4-49: Digitales Geländemodell (DGM2)

Auf Grundlage des DGM2 wurden verschiedene Ableitungen berechnet:

- Hangneigung (Slope) (Abb. 4-50),
- Hangexposition (Aspect),
- Hangwölbung (Curvature).

Mit Hilfe der ersten Ableitung der Geländehöhe – der Hangneigung – wurde versucht, im Untersuchungsgebiet ringförmige, pingenartige Strukturen zu lokalisieren und zu digitalisieren. Dies ist jedoch nur begrenzt flächenfüllend für das gesamte Modellgebiet möglich, da viele andere Oberflächenstrukturen auch ähnliche Muster in der Hangneigung aufzeigen und es oft, ohne zusätzliche Feldbegehung, nicht möglich ist, eindeutig Altbergbau in Form einer Pinge zu identifizieren. Daher wurde darauf verzichtet, auf Grundlage des DGM im gesamten Modellgebiet Altbergbau zu erfassen. Das DGM wurde jedoch bei der Digitalisierung der Erzgänge als zusätzliche Datenebene herangezogen, um bei unsicherer Lage der alten Karten die genaue Lage mit Hilfe des Geländemodells zu verifizieren. Entlang der Erzgänge im Untergrund sind sehr oft Pingenzüge linienartig zu finden und helfen so bei der Lageverifizierung. Wenn an Störungen ein Materialkontrast auftritt, zeigt sich dieser häufig durch Knicke in der Hangneigung oder durch gerade Erosionskanten. Diese Hinweise wurden bei der Bearbeitung der Störungen mit berücksichtigt. Besonders in den weniger genau geologisch kartierten Bereichen des Modellgebiets konnten so Störungen verifiziert und ggf. bisher nicht kartierte Verbindungen zu anderen Teilen des Störungsmusters erkannt werden.

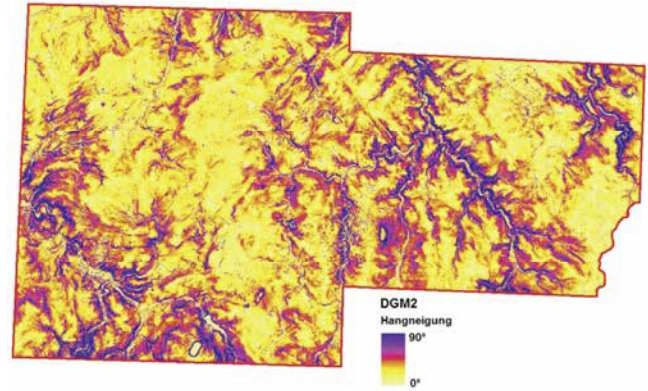


Abb. 4-50: Berechnete Hangneigung (Slope) auf Grundlage des DGM2 (Gelb: flacher Hang, Violett: steiler Hang)

5 Prognostizierte Rohstoffe und Prognose-szenarien

5.1 Zinn

5.1.1 Übersicht

Im Untersuchungsgebiet treten potenziell verwertbare Zinnvererzungen in drei verschiedenen geologischen Situationen auf:

- Auf Bruchstrukturen sowohl in Quarzgängen als auch in vergreisten Porphyrgängen. Die vererzten Bruchstrukturen treten vor allem im Exokontakt von Hochlagen des Granits vom Typ Eibenstock auf, können aber auch bis einige Dekameter im Granit vererzt sein.
- In mehr oder weniger isometrischen Greisenkörpern im Endokontakt des Granits. Diese Greisenkörper treten nur in extrem steilen Hochlagen des Granits auf und sind räumlich sehr beschränkt.
- In Skarnen lithologisch kontrolliert durch Karbonathorizonte der Metasedimente.

In der Vergangenheit erlangte der Bergbau auf die leicht aufbereitbaren groben Kassiteriterze der Gänge und Greisen eine große Bedeutung, obwohl hier nur ein Bruchteil der heute bekannten Zinnvorräte lagert. Die Zinnskarne wurden erst seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts systematisch untersucht. Eine industrielle Gewinnung scheiterte bisher an deren komplexen Verwachsungsverhältnissen bei geringen Korngrößen und den fehlenden Aufbereitungstechnologien. Eine Übersicht über die im Untersuchungsgebiet bekannte Metallmenge und das im Ergebnis dieses Projektes geschätzte Metallpotenzial ist in Kapitel 2.4.5 und 6.1 enthalten.

5.1.2 Strukturkontrollierte Mineralisationen

5.1.2.1 Prognose der Lokalitäten (Anlage 2)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Der prognostizierte Mineralisationstyp beinhaltet hochthermale kassiteritführende Mineralisationen auf Bruchstruktu-

ren in den Dachbereichen von Kuppeln hochspezialisierter Granite (Zinn-Lithium-Fluor-Phosphor-Granit Typ Eibenstock). Diese Mineralisationen befinden sich sowohl im Endo- als auch im Exokontakt der Granitintrusionen. Die industrielle Vererzung (Zinngehalte $> 0,15\%$) beschränkt sich meist auf ein bestimmtes Teufenintervall im Exokontakt. In einigen Fällen sind die Strukturen auch bis hinein in den Granit industriell vererzt. Mineralogisch bestehen die Mineralisationen sowohl aus hochthermalen Quarzgängen mit Kassiterit und Arsenkies, und selten Wolframit in vergreistem Nebengestein als auch aus vergreisten Granitporphyr- und Pegmatitgängen mit Kassiterit und Arsenkies. Im Endokontakt sind sie fast ausschließlich als Greisengänge (von einer Kluft ausgehende Vergreisung) ausgebildet. Häufig sind Fluorit und Topas sowie vereinzelt Kupferkies anzutreffen. Die Mächtigkeit der Mineralisationen liegt bei wenigen Zentimetern bis maximal einigen Dezimetern (Mineralgänge) bis hin zu wenigen Metern (vergreisente Granitporphyre und Pegmatite). Die mineralisierten Strukturen treten häufig in Schwärmen auf. Die Abstände zwischen den zum Teil kullissenartig angeordneten Gangstrukturen betragen in manchen Fällen nur wenige Meter.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Ausstrichlinien der bekannten zinnführenden Gänge (siehe Abschnitt 4.1.2) innerhalb berechneter Vorratsblöcke,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Pb: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe,

- Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik - ΔT : Absolutwert,
- Magnetik - ΔT : Gradient,
- Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE,
- Verbreitungsgebiet - Granite (insgesamt).

Die Zinngehalte der Bachsediment-Geochemie wurden absichtlich nicht als Modellparameter verwendet. Damit können diese Daten zur unabhängigen Kontrolle des Modellierungsergebnisses genutzt werden (Annahme: bedeutendere strukturkontrollierte Mineralisationen bilden sekundäre Aureolen in Bachsedimenten).

Das Training erfolgte über das gesamte Bearbeitungsgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-1) zeigt, dass ohne wesentliche Instabilitäten bereits nach 100 Iterationen ein stabiles Plateau mit einem RMS-Fehler von 7,6 % erreicht wird.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-1) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das gesamte Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von ca. 0,82 liegt. Die Rohstoffpotenzialkarte (Abb. 5-2) zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten fast immer vollständig einschließt.

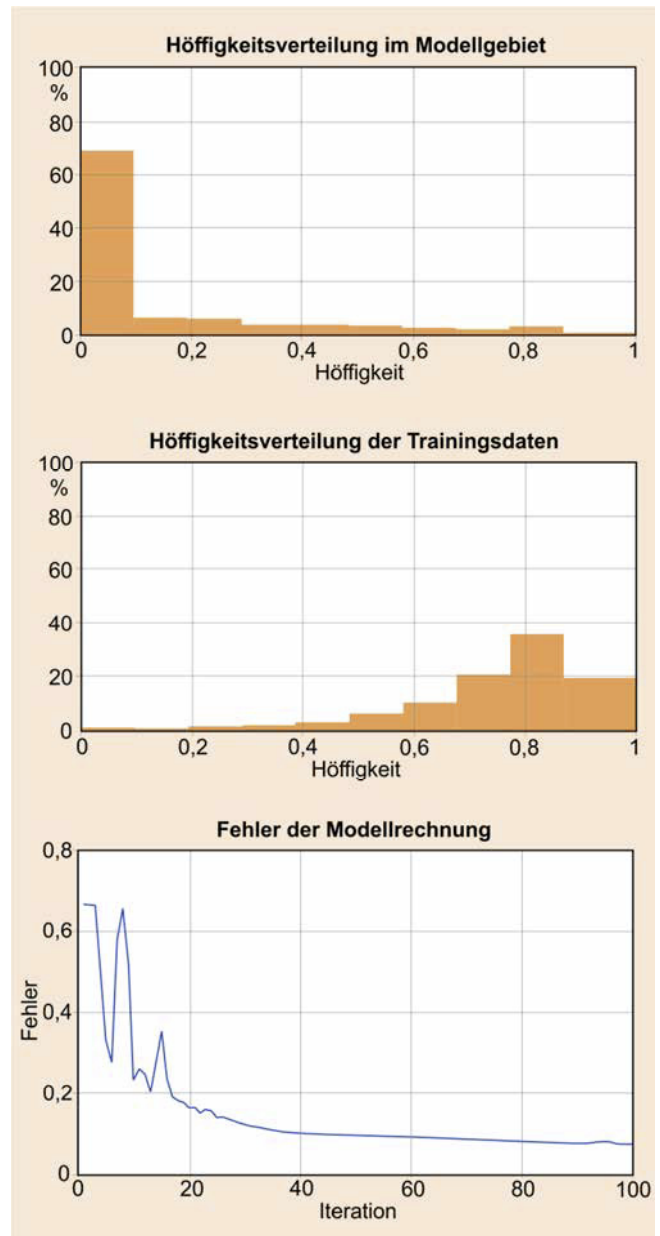


Abb. 5-1: Histogramme der Höufigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

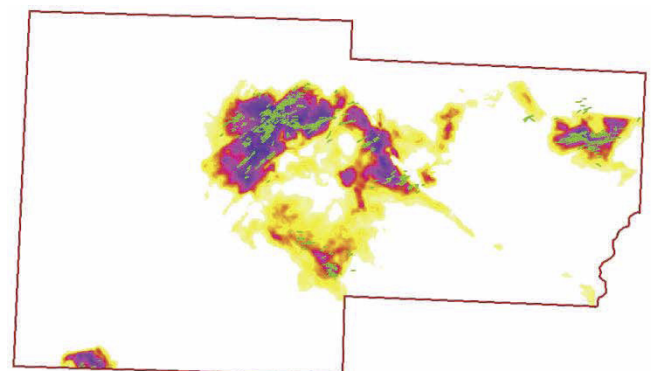


Abb. 5-2: Rohstoffpotenzialkarte für strukturkontrollierte Zinnmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün).

Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 1) sind insgesamt ausgewogen und lassen sich geologisch gut interpretieren. Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren ermittelt:

- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche,
- Verbreitungsgebiet – Granite (insgesamt),
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum.

Geologische Interpretation

Die Bedeutung der Granithochlagen (Anlage 2, Beikarte 1) als wichtigster lagerstättenkontrollierender Faktor wurde schon vor langer Zeit erkannt und ist nicht überraschend, bestätigt aber die Korrektheit des eingesetzten Prognoseverfahrens. In Kombination mit den anderen Faktoren, wie z. B. physikalische und chemische Eigenschaften des Gesteins und Lage und Bedeutung von Bruchstrukturen, kontrollieren sie die Verbreitung der Mineralisationen. Das hohe Gewicht der großen NW-SE streichenden Bruchstrukturen unterstreicht deren generelle Bedeutung für die Lokalisierung der konkreten Vorkommen, auch wenn sich auf diesen Störungen in aller Regel keine Zinnmineralisationen befinden. Diese Strukturen kontrollieren offensichtlich auch die Lage und Morphologie der Granitintrusionen. Die eigentlichen erzaufliehenden Strukturen haben meist ein ost-west orientiertes Streichen, was sich in deren vergleichsweise hohem Gewicht ausdrückt.

Das hohe Gewicht der Gradienten (Anlage 2, Beikarten 3 und 6) und der Absolutwerte (Anlage 2, Beikarten 10 und 13) der geophysikalischen (Summen-)Parameter Schwerefeld und Magnetfeld unterstreicht deren generelle Nutzbarkeit zur Prospektion auf den betrachteten Mineralisationstyp. Hohe Gradienten des Schwerefeldes zeichnen ganz offensichtlich die bedeutenden nordwest-südost streichenden Störungen zumindest im Verbreitungsgebiet der Gneise des Proterozoikums nach. Der vergleichsweise geringe Unterschied in den Gewichten vieler Einzelparameter (1,26 bis ca. 2) weist auf die Bedeutung der Kombinationen der kontrollierenden Faktoren für die konkrete Lage der einzelnen Mineralisation hin.

Tabelle 6: Ranking der Gewichte der Modellparameter für strukturkontrollierte Zinnmineralisationen (Lokalitäten)

Modellparameter	Connection Weights	Garson's Algorithm
Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche (invers skaliert)	107	5,14
Verbreitungsgebiet – Granite (insgesamt)	-590	3,25
Magnetik – ΔT : Gradient	-1922	3,24
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß	-498	3,17
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe	-434	2,44
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient	-741	2,13
Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel	-324	2,07
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum	-322	2,01
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe	-564	1,94
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-1019	1,91
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W	-734	1,81
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S	-727	1,78
Magnetik – ΔT : Absolutwert	-558	1,75
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe	-482	1,69
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß	-641	1,69
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW	-554	1,57
Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	-685	1,53
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz	-711	1,41
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel	-891	1,34
Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering	-708	1,32
Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert	-352	1,30
Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert	-335	1,27
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE	-854	1,26

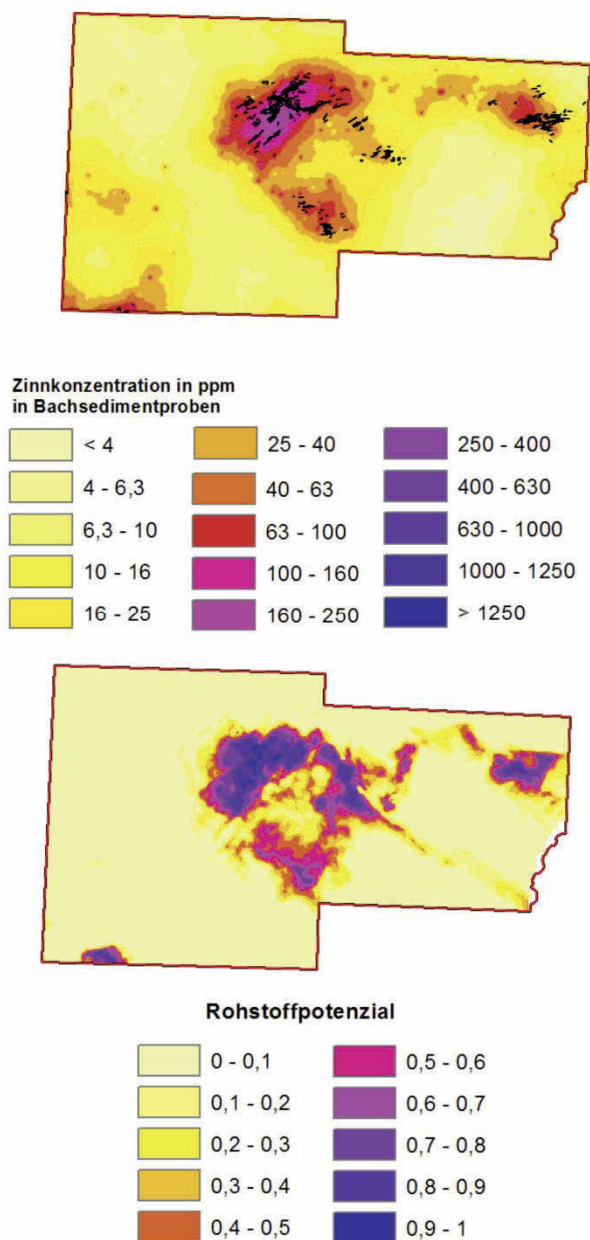


Abb. 5-3: Vergleich des Rohstoffpotenzials für strukturkontrollierte Zinnmineralisationen mit den Zinngehalten in Bachsedimenten. Bekannte Vorkommen sind schwarz dargestellt.

Perspektive Gebiete

Die räumliche Konfiguration der Zinnanomalien in Bachsedimenten bestätigt grundsätzlich die Ergebnisse der Prognoserechnungen (Abb. 5-3): Die höffigen Gebiete decken sich im Wesentlichen mit den Zinnanomalien. Dieser Sachverhalt bestätigt ein weiteres Mal die Aussagekraft der Prognoserechnung, da die Zinngehalten in Bachsedimenten nicht zur Parametrisierung des Modells genutzt wurden.

Die im Südwesten des Untersuchungsgebietes auftretende ringartige Zinnanomalie ist hauptsächlich auf zinnführende Skarne im Umfeld der Schwarzenberger Kuppel und nur in geringerem Maß auf gangförmige zinnführende Mineralisationen zurückzuführen. Im Unterschied dazu ist im Gebiet

Geyer-Ehrenfriedersdorf ein größerer Teil des Zinns auf Bruchstrukturen lokalisiert. Hier liegen die Verbreitungsgebiete von Zinnskarne innerhalb des Verbreitungsgebietes der zinnführenden Gänge.

Bisher wenig untersuchte bzw. unbekannte Zinnmineralisationen wären entsprechend der Prognosekarte z. B. in den Gebieten von Annaberg, Marienberg, Tannenberg, Wiesa und Reitzenhain zu erwarten (Abb. 5-4). Dabei wären über den nach Südosten abtauchenden Granitrücken offensichtlich Vorkommen in größeren Teufen zu vermuten. Die vergleichsweise hohen Buntmetallgehalte in den Vorkommen von Annaberg, Marienberg, Lauta und Pöbershau deuten ebenfalls auf ein recht geringes Anschnittsniveau in diesen Gebieten hin.

Die NW-SE-Streckung der Granithochlagen und -rücken (Beikarte 1) lässt verdeckte Mineralisationen im Raum Reitzenhain/Satzung erwarten, was durch schwache Zinnanomalien und ein entsprechendes Lagerstättenpotenzial angezeigt wird. Innerhalb der bekannten Buntmetallmineralisationen von Annaberg, Marienberg und Lauta ist mit einer Zunahme der Zinnführung der Gänge mit der Teufe zu rechnen. Über dem Zentrum des Mittelerzgebirgischen Granitplutons wird eine gewisse Zinnperspektivität ausgewiesen, was gemeinsam mit der hier vorhandenen schwachen Zinnanomalie auf tiefer liegende Vererzungen hinweist.

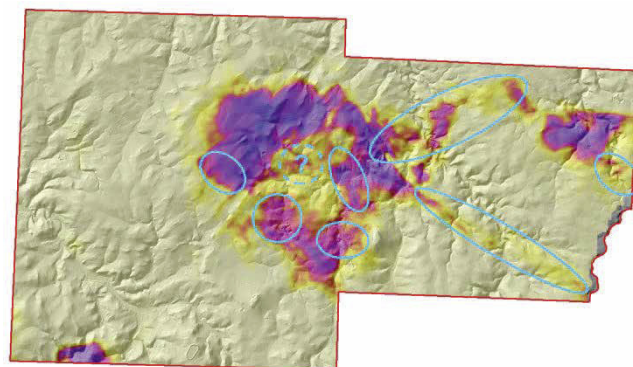


Abb. 5-4: Lage perspektiver Gebiete für strukturkontrollierte Zinnmineralisationen

5.1.2.2 Prognose der Lokalitäten und Metallinhalte (Anlage 3)

Beschreibung des prognostizierten Parameters

Der prognostizierte Parameter ist die Zinnmenge in Tonnen je Rasterzelle 50 m x 50 m (=2500 m²). Für die Erstellung dieses Parameters wurde die Horizontalprojektion des jeweiligen Vorratsblocks mit dem berechneten Metallinhalt verwendet. Berücksichtigt wurden dabei Bilanz- und Außerbilanzvorräte der Kategorien C1, C2, c1 und c2.

Insgesamt befindet sich in den berücksichtigten Blöcken eine Zinnmenge von 64.913 t, welche zum Teil bereits abgebaut

ist (5516 t sicher abgebaut und 11.850 t möglicherweise abgebaut).

Für die Prognose der zu erwartenden Zinnmengen wurden zur Erzeugung der **Trainingsdaten** innerhalb der bekannten Vorratsblöcke (siehe Abschnitt 4.1.2) die bekannten Zinnmengen auf die Rasterzellen gleichmäßig „verteilt“. Die je Rasterzelle enthaltene Zinnmenge schwankt zwischen 11,4 t und 197,5 t. Dieser Wert wurde vor der weiteren Bearbeitung auf Werte zwischen 0 (1 Tonne Metallinhalt) und 1 (250 t Metallinhalt) logarithmisch skaliert.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Zinnmenge je Rasterzelle,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – log10 Sn: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Das Training erfolgte nur an den Lokalitäten mit bekannten Vorräten.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Trainingskurve (Abb. 5-5, unten) zeigt, dass bereits nach 100 Iterationen ein stabiles Plateau des RMS-Fehlers erreicht wird. Der RMS-Fehler beträgt nach 300 Iterationen 0,03 % (entspricht 0,0003 in Abb. 5-5).

Die Einschätzung der Qualität des Modells wird über das Histogramm der Verteilung der Prognoseergebnisse über das Gesamtmodell (Abb. 5-5, oben) sowie vor allem über die Korrelation der bekannten und an gleicher Stelle prognostizierten Werte ermöglicht (Abb. 5-5, Mitte). Die prognostizierten Zinnmengen in den vererzten Strukturen haben ein Maximum bei 0,6 (entspricht 30 t je Rasterzelle, oder 0,07 % Zinn im Mittel auf eine 1 m mächtigen Gangzone mit einer Vertikalerstreckung von 300 m) bzw. 0,78 (entspricht 75 t je Rasterzelle, oder 0,18 % Zinn im Mittel auf eine 1 m mächtigen Gangzone mit einer Vertikalerstreckung von 300 m), was vollkommen den real auftretenden Werten entspricht (siehe dazu auch Tabelle 2).

Die Korrelation der realen und berechneten Zinninhalte ist gut, neigt jedoch zu einer Unterschätzung sehr hoher Metallinhalte und einer vergleichsweise Überschätzung mittlerer Metallinhalte. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-6 und Anlage 3 dargestellt.

Abschließend wurde der Einfluss der Modellparameter auf das Ergebnis anhand der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ analysiert (Tabelle 8). Die folgenden Modellparameter wurden als wichtigste kontrollierende Faktoren identifiziert:

- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient.

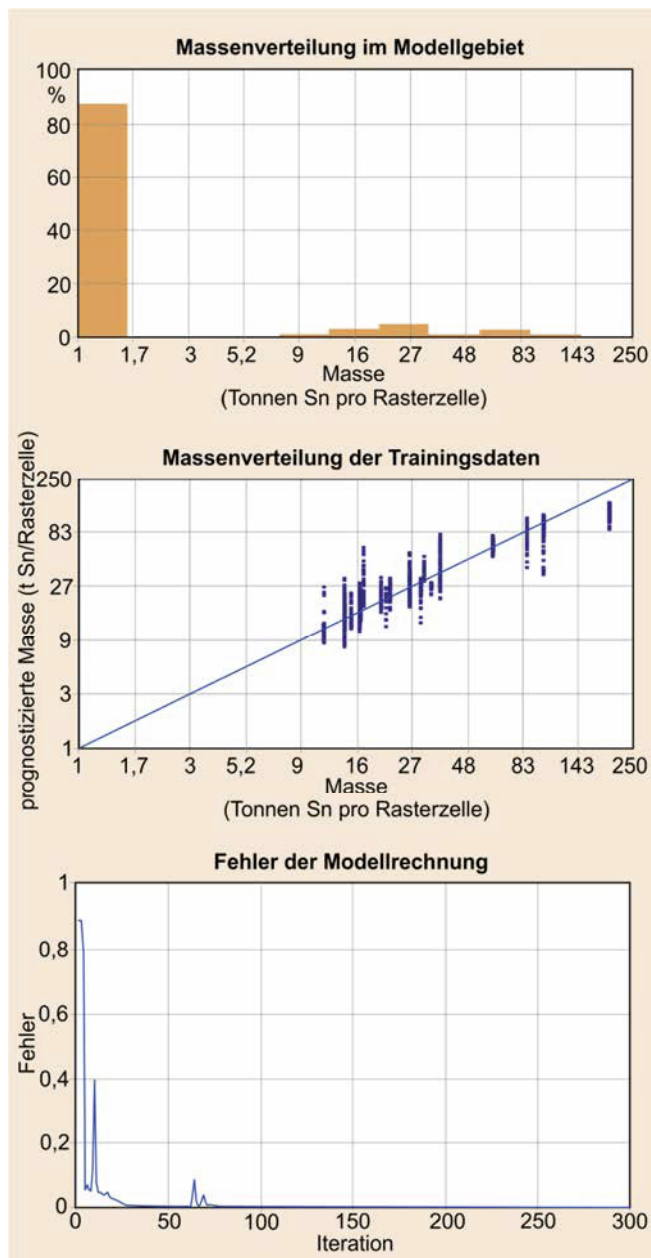


Abb. 5-5: Histogramme der Massenverteilung für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

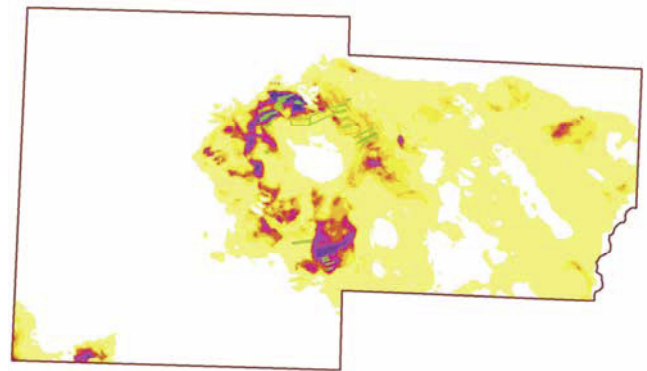


Abb. 5-6: Prognosekarte für die Vorräte von strukturkontrollierten Zinnmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und Trainingslokalitäten (in Grün). Die sehr unterschiedlichen Metallgehalte der Vorratsblöcke spiegeln sich in den geschätzten Zinninhalten wider.

Geologische Interpretation

Das hohe Gewicht des Gradienten des Magnetfeldes deutet auf einen hohen Einfluss der lithologischen Vielfalt des Nebengesteins auf die abgelagerte Metallmenge hin, weiteren Einfluss haben der Abstand zum Granit, die Entfernung zu großen Störungen und das Schwerfeld (bildet u. a. den Abstand zum Granit und große Störungen ab).

Für die konservative Abschätzung der im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Zinnmenge wurden aus den bekannten Mineralgängen potentiell zinnführende Strukturen extrahiert und auf das Ergebnistraster gelegt. Fast alle bisher bekannten Zinggänge fallen in ein enges Spektrum von Streichrichtungen (NE-SW- bis E-W), während Gänge mit abweichenden Streichrichtungen keine Zinnmineralisation aufweisen. Als potentiell zinnführend werden daher alle Strukturen mit Streichen 45 Grad bis 100 Grad, was den Streichrichtungen der Gänge innerhalb der Vorratsblöcke entspricht, betrachtet.

Tabelle 7: Schätzung der Zinngehalte auf Bruchstrukturen (strukturkontrollierte Zinnmineralisation) auf der Basis der geschätzten Zinnmengen

Sn-Menge je Rasterzelle (kg)	Fläche der Rasterzelle (m ²)	Angenommene vertikale Erstreckung der Vererzung (m)	Volumen (m ³)	Dichte (t/m ³)	Gewicht des enthaltenen Gesteins (t)	Sn-Gehalt (kg Sn/t Gestein)	Zinn-gehalt (ppm)	Zinngehalt in % einer Struktur von 1 m Mächtigkeit je Rasterzelle	Beschreibung der Struktur
1000	2500	300	750.000	2,8	2.100.000	0,0005	0,47	0,002	taube Struktur, Hintergrundgehalt
30.000	2500	300	750.000	2,8	2.100.000	0,0143	14,3	0,071	wenig vererzte Struktur, Außerbilanzgehalte
75.000	2500	300	750.000	2,8	2.100.000	0,0357	35,7	0,179	normal vererzte Struktur
150.000	2500	100	250.000	2,8	700.000	0,2143	214	1,071	gut vererzte Struktur

Tabelle 8: Ranking der Gewichte der Modellparameter für struktur-kontrollierte Zinnmineralisationen (Metallinhalte)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Magnetik - ΔT : Gradient	-211952	20.37
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	163	2.89
Abstand Granit Typ Eibenstock - Erdoberfläche (invers skaliert)	-861	2.62
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	1736	2.48
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	1138	1.32
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	-26	1.09
Magnetik - ΔT : Absolutwert	-1084	1.07
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	-412	1.04
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	1002	0.86
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	-345	0.68
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	373	0.67
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	-424	0.60
Bachsediment-Geochemie - log10 Sn: Absolutwert	-407	0.57
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	-621	0.51
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	-450	0.50
Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Absolutwert	-347	0.46
Bachsediment-Geochemie - log10 Pb: Absolutwert	-580	0.46
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-636	0.42
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	-628	0.41

Die jeweils in einem Pufferbereich von 50 m um die so ausgewählten Gänge liegenden Rasterzellen wurden aus dem Ergebnisraster extrahiert und die in diesen Zellen enthaltene Zinnmenge aufsummiert. Die so erhaltene Metallmenge beträgt 232.773 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,25 (qualitative Prognose) und 196.632 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,5 (qualitative Prognose).

Innerhalb der bekannten Vorratsblöcke wurde aufgrund des Berechnungsergebnisses eine Zinnmenge von 43.856 t (50-m-Puffer) bzw. 65.828 t (100-m-Puffer) wiedergefunden. Aufgrund der Generalisierung der Daten bei der Umlage der in den Vorratsblöcken enthaltenen Zinnmenge auf die Rasterzellen ist die im 100-m-Puffer enthaltene Zinnmenge

realistischer. Damit ist das Schätzungsergebnis gut plausibilisiert.

Unter Berücksichtigung der in den bekannten Vorratsblöcken enthaltenen Metallmenge (berechnet in den Vorratsberechnungen) von 64.913 t ergibt sich damit ein maximal zu erwartender Vorratszuwachs von ca. 168.000 t. Dieser Vorratszuwachs würde eintreten, wenn alle potenziell zinnführenden Strukturen vererzt wären. Insgesamt wären in diesem Fall ca. 25 % der insgesamt im Untersuchungsgebiet möglichen Zinnvorräte in den berechneten Vorratsblöcken enthalten. Diese Zahl erscheint plausibel.

Eine weitere Plausibilisierung der Schätzergebnisse erfolgte über die Rückrechnung der Metallmengen je Rasterzelle auf Zinngehalte (Tabelle 7).

Die Ergebnisse sind ebenfalls plausibel: Je nach Vertikalerstreckung würde eine taube Struktur einen Zinngehalt von 24 bis 143 ppm aufweisen (bei 1 m angenommener Mächtigkeit), eine normal vererzte Struktur hätte bei einer Vertikalerstreckung von 300 m einen Zinngehalt von 0,179 % (bei 1 m angenommener Mächtigkeit), und eine sehr gut vererzte Struktur einen Zinngehalt von ca. 1,1 % (1,071 % bei 1 m angenommener Mächtigkeit).

5.1.3 Greisenkörper im Endokontakt

5.1.3.1 Prognose der Lokalitäten (Anlage 4)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Der prognostizierte Mineralisationstyp beinhaltet hochthermale kassiteritführende Mineralisationen in Greisenkörpern im Endokontaktbereich von Granitkuppeln (Zinn-Lithium-Fluor-Phosphor-Granit Typ Eibenstock). Die Greisenkörper haben eine räumliche Erstreckung von einigen Dekametern bis wenigen Hundert Metern bei einer Mächtigkeit von mehreren Metern bis Dekametern. Aufgrund des vergleichsweise geringen Volumens sind die betreffenden Metallinhalte gering. Die Greisenerze bestehen aus metasomatisch vollständig in Glimmer- bzw. Topasgreisen umgewandeltem Granit.

Die Vererzung ist ungleichmäßig im Greisenkörper verteilt und konzentriert sich meist auf den Zentralklüften. Hier können lokal durchaus Konzentrationen von mehreren Prozent Sn erreicht werden, im Schnitt liegen die Gehalte mit 0,4 bis 0,8 % deutlich höher als in den Gangmineralisationen. Dieser Vererzungstyp streicht nicht an der Erdoberfläche aus. Mineralogisch beinhalten die Mineralisationen neben Kassiterit vor allem Arsenkies.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Verbreitungsgebiete (Umringe) der Endokontaktgreisenkörper,

Modellparameter

- Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche – euklidischer Abstand: Jáchymov-Gruppe,
- Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche – euklidischer Abstand: Klínovec-Gruppe,
- Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche – euklidischer Abstand: Neoproterozoikum,
- Gesteinsgänge – euklidischer Abstand: Saure Gesteine,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Absolutwert,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Exposition in N-S-Richtung,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Exposition in W-E-Richtung,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Gradient,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Horizontalwölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Horizontalwölbung, positiv,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, positiv,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, positiv.

Das Training erfolgte über das gesamte Bearbeitungsgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5–7) zeigt, dass nach 150 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau beim RMS-Fehler von 0,15 % erreicht ist.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5–7) weisen ebenfalls eine ausgezeichnete Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das gesamte Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von $> 0,9$ liegt. Das Ergebnis der Prognose ist kartographisch in Abb. 5–8 und Anlage 4 dargestellt.

Die Rohstoffpotenzialkarte zeigt ein vergleichsweise kleines zusammenhängendes Gebiet mit hohem Rohstoffpotenzial, welches die Trainingsdaten teilweise einschließt. Zwei kleine bekannte Greisenkörper werden nicht gefunden. Weitere z.T. sehr kleine Gebiete mit hohem Potenzial werden vor allem östlich und nordöstlich der bekannten Vorkommen prognostiziert.

Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 9) weisen den hohen Einfluss des Reliefs der Granitoberfläche auf den prognostizierten Parameter nach. Der hohe Einfluss der Jáchymov-Gruppe entsteht, weil die Greisenkörper bisher nur in diesem Umfeld bekannt sind.

Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren ermittelt:

- Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche – euklidischer Abstand: Jáchymov-Gruppe
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Horizontalwölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, negativ,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, positiv,
- Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, positiv.

Geologische Interpretation

Obwohl das Modell klar die Bedeutung des Reliefs der Granitoberkante für die Lokalisierung der Greisenkörper erkennt, ist es aufgrund der geringen Datendichte und der großen Unsicherheiten bei der Konstruktion des Feinreliefs der Granitoberkante als sehr unsicher zu interpretieren.

Die vor allem im Osten des Untersuchungsgebietes prognostizierten Greisenkörper sind an der Nordkante des hier steil abtauchenden Granits ausgewiesen. Die Konstruktion der Granitoberkante stützt sich hier neben wenigen Bohrungen vor allem auf geophysikalische Daten. Eine sichere Prognose des betreffenden Mineralisationstyps ist ohne klarere Kenntnis des Feinreliefs der Granitoberfläche nicht möglich.

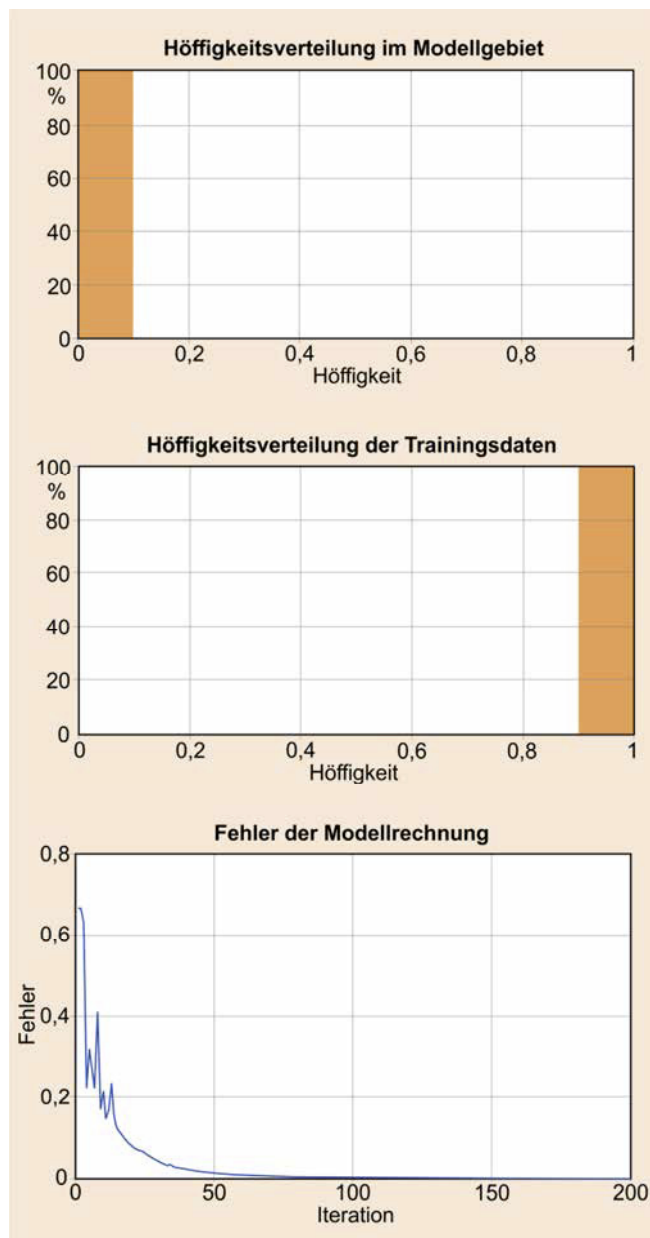


Abb. 5-7: Histogramme der Höflichkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

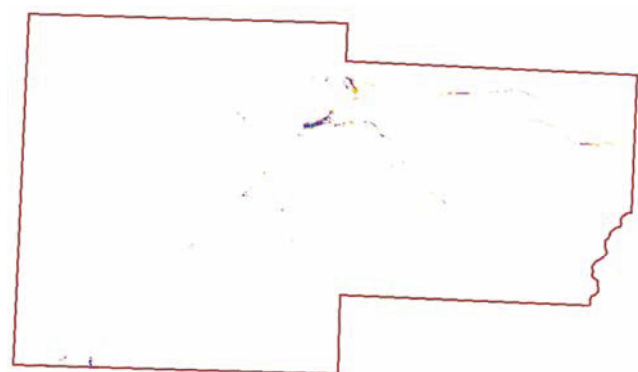


Abb. 5-8: Prognosekarte für Zinnmineralisationen in Greisenkörpern (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb)

Tabelle 9: Ranking der Gewichte der Modellparameter

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche - euklidischer Abstand: Jáchymov-Gruppe	-88968	16.49
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Horizontalwölbung, negativ	-5755	4.04
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, negativ	-20664	2.23
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, negativ	5240	2.14
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Wölbung, positiv	-6579	1.62
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Vertikalwölbung, positiv	1952	1.32
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Horizontalwölbung, positiv	2512	0.65
Gesteinsgänge - euklidischer Abstand: Saure Gesteine	-1209	0.28
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Gradient	-711	0.15
Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche - euklidischer Abstand: Klínovec-Gruppe	353	0.03
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Absolutwert	232	0.03
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Exposition in N-S-Richtung	-53	0.02
Geologie im Kontakt mit Granitoberfläche - euklidischer Abstand: Neoproterozoikum	-8	0.01
Oberkante Granit Typ Eibenstock: Exposition in W-E-Richtung	6	0.01

5.1.4 Lithologisch kontrollierte Mineralisationen

5.1.4.1 Prognose der Lokalitäten (Anlage 5)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Der prognostizierte Mineralisationstyp beinhaltet kassiterit-führende Mineralisationen in Skarnen in schwach metamorphisierten „bunten“ Sedimenten des Kambriums bis Ordoviziums (Klínovec-, Jáchymov-, Thum-Gruppe). Diese Skarne haben sich meist nach Metakarbonatgesteinen im näheren Umfeld von Kuppeln hochspezialisierter Granite (Zinn-Lithium-Fluor-Phosphor-Granit Typ Eibenstock) entwickelt. Die industrielle Vererzung (Zinngehalte 0,15 % bis > 1%) ist meist deutlich reicher als die der Kassiterit-Quarz- oder Kassiterit-Silikat-Formation, welche in aller Regel auf den Bruchstrukturen entwickelt ist.

Die zinnführenden Skarne können bis in eine Entfernung von ca. 1 km vom Granitkontakt auftreten. Im Gebiet von Geyer-

Ehrenfriedersdorf entwickeln sich die Skarne zumindest teilweise um vererzte Bruchstrukturen (Zufuhrkanäle).

Die Mächtigkeit der einzelnen Skarnpakete schwankt zwischen wenigen Dezimetern und einigen Dekametern. Die Skarne können in mächtigeren lithologisch kontrollierten Horizonten von einigen Dekametern Mächtigkeit mit eingeschaltetem Nebengestein (meist Glimmerschiefer, Gneise) auftreten.

Sie haben in aller Regel einen vergleichsweise hohen „Zinn-Hintergrundgehalt“ von 0,1 bis 0,2 %, der in Form von feinstem Kassiterit oder isomorph in Silikaten (Granat, Amphibol, Pyroxen) auftritt. Dieser Anteil des Zinns ist praktisch nicht ausbringbar. Der ausbringbare gröbere Kassiterit ist an eine aufgeprägte Chloritmetasomatose gebunden.

In den Skarnen treten meist noch folgende andere Rohstoffe auf: Sphalerit, Magnetit, Chalkopyrit sowie die Nebenkompone-
nte Indium. Der Indiumgehalt kann mehrere Hundert ppm im Erz und mehrere Tausend ppm in separierten Erzmineralen erreichen. Die Wolframführung der Skarne ist beschränkt auf die Nähe zum Granit vom Typ Bergen und wird im Kapitel 5.2.3. besprochen.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Lokalisationen der bekannten Zinnskarne (siehe Abschnitt 4.1.2,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Geologie – Verbreitungsgebiet – Granit
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,

- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-9) zeigt, dass ohne wesentliche Instabilitäten bereits nach 100 Iterationen ein stabiles Plateau mit einem RMS-Fehler von 2,6 % erreicht wird.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-9) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das gesamte Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von $> 0,9$ liegt.

Die Rohstoffpotenzialkarte (Abb. 5-10, Anlage 5) zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten vollständig einschließt.

Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 10) sind bis auf den Parameter „Neoproterozoikum“ ausgewogen. Das hohe Gewicht des Neoproterozoikums entsteht durch den Fakt, dass in diesen Gesteinen keine Zinnskarne auftreten. Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren ermittelt:

- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe,
- Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel.

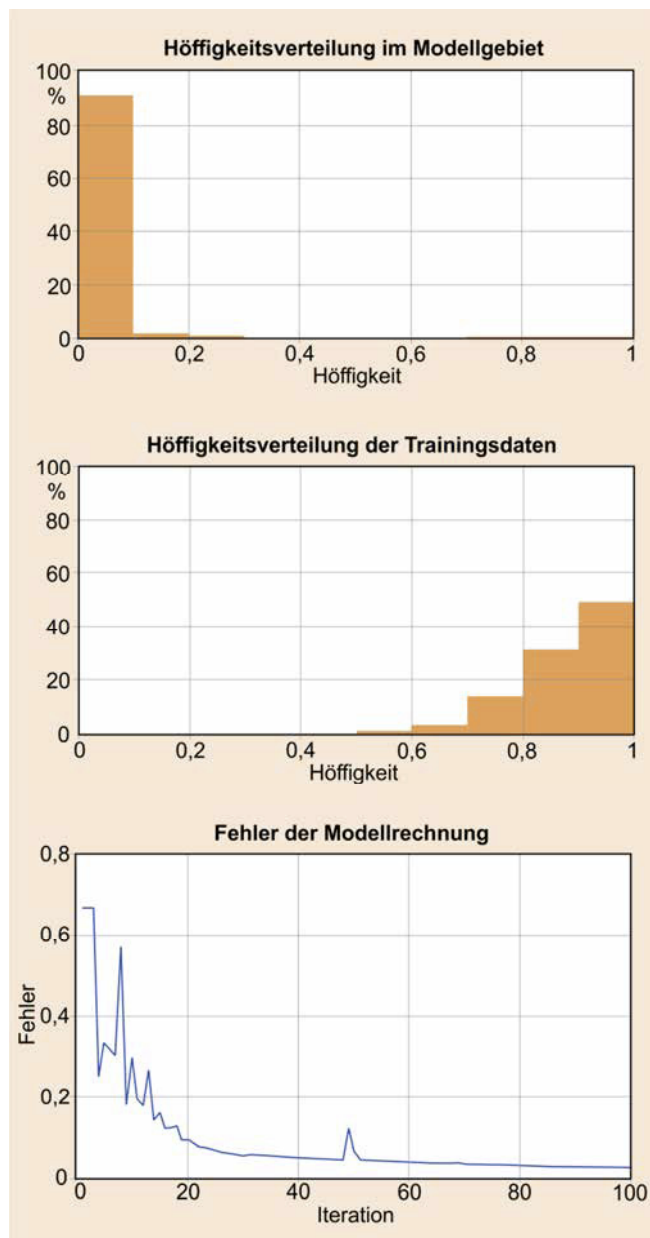


Abb. 5-9: Histogramme der Höffigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

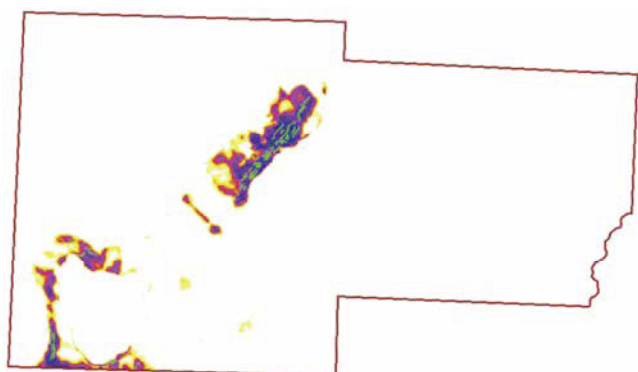


Abb. 5-10: Prognosekarte für lithologisch kontrollierte Zinnskarn-Mineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und Trainingslokalitäten (in Grün)

Tabelle 10: Ranking der Gewichte der Modellparameter für lithologisch kontrollierte Zinnmineralisationen (Lokalitäten)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum	516	10.28
Magnetik - ΔT : Gradient	151	2.93
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	-8	2.81
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe	19	2.68
Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Absolutwert	26	2.61
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe	17	2.53
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	56	2.38
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	22	2.07
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-126	1.88
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	0	1.75
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe	23	1.67
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	-25	1.45
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	34	1.29
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	37	1.22
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	26	1.02
Bachsediment-Geochemie - log10 Pb: Absolutwert	-14	1.01
Magnetik - ΔT : Absolutwert	1	0.98
Abstand Granit Typ Eibenstock - Erdoberfläche	4	0.98
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	37	0.95
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	25	0.91
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	15	0.88
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	6	0.71

Geologische Interpretation

Die Bedeutung der karbonatführenden Metasedimente des Kambriums – Ordoviziums (Beikarten 1, 4, 6, 11 in Anlage 5) für die Lokalisierung der Skarne wurde schon vor langer Zeit erkannt. Weitere wesentliche mineralisationskontrollierende

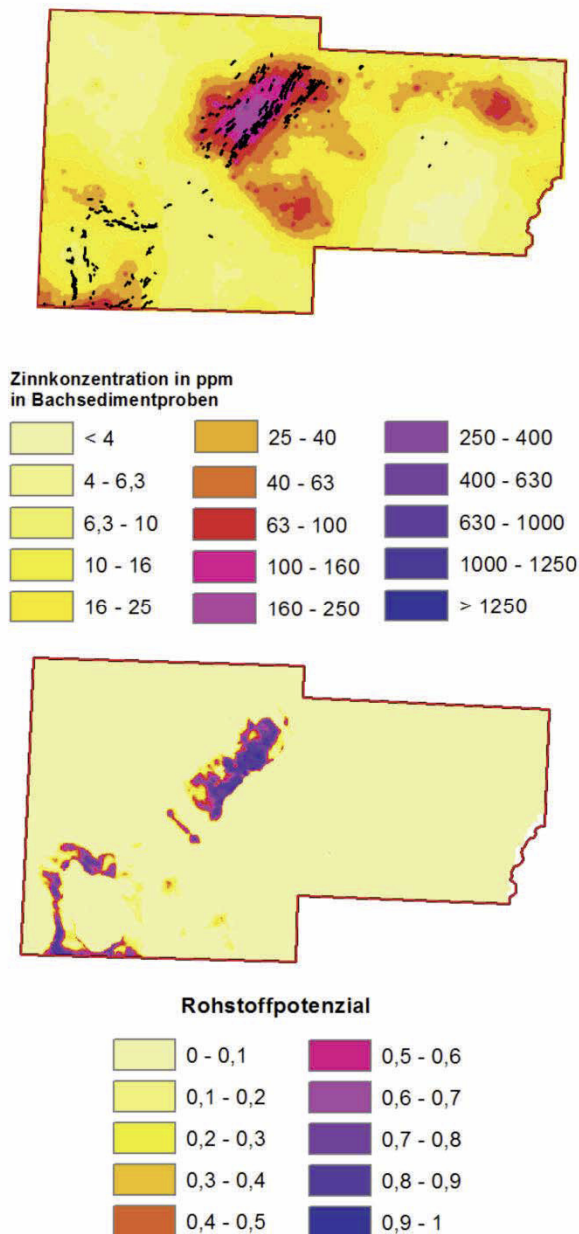


Abb. 5-11: Vergleich des Rohstoffpotenzials für lithologisch kontrollierte Zinnmineralisationen (Skarne) mit den Zinngehalten in Bachsedimenten. Bekannte Skarnvorkommen sind schwarz dargestellt.

(Summen-)Parameter sind das Magnetfeld und das Schwerfeld (Gradienten und in geringerem Umfang Absolutwerte). Das hohe Gewicht des Gradienten (Beikarte 2) des Magnetfeldes weist auf die besondere Bedeutung der Variabilität dieses Parameters als Suchkriterium hin. Das vergleichsweise hohe Gewicht des Schwerfeldes zeigt die Bedeutung des unterlagernden Granits als mineralisationskontrollierender Faktor.

Die hohen Gewichte der großen Störungen deuten auf die kontrollierende Wirkung dieser tektonischen Elemente hin. Letztendlich kontrolliert aber, wie auch bei den strukturell kontrollierten Mineralisationen, eine Kombination von tekto-

nischen Elementen gemeinsam mit den Lithologien und dem Abstand zum Granit die konkrete Lage der Vererzungen. Die geochemischen Parameter Cu und Pb können ebenfalls gut zur Lokalisierung der Zinnskarne herangezogen werden. Die Bedeutung des Granits vom Typ Eibenstock für die Lokalisierung der Vererzung kommt in diesem Modell nicht stark zum Tragen, weil wir hier die Summe aller Zinnskarne in allen drei maßgeblichen stratigraphischen Horizonten betrachten. Eine detaillierte Aufschlüsselung erfolgt im Abschnitt 5.3.

Perspektive Gebiete

Die räumliche Konfiguration der Zinnanomalien in Bachsedimenten deckt sich nur teilweise mit den Ergebnissen der Prognoserechnungen (Abb. 5-11). Die Unterschiede sind vor allem in der Verbreitung und räumlichen Lage der skarnbildenden Lithologien begründet.

Da es in den Gesteinen des Proterozoikums kaum Karbonatgesteine gibt, wurde z. B. im Gebiet von Annaberg und Pöbershau keine entsprechende Perspektivität ausgewiesen. Dagegen treten die Skarne im Umfeld der Schwarzenberger Kuppel auf, bilden aber offensichtlich nicht überall intensive geochemische Aureolen aus.

Bisher wenig untersuchte bzw. unbekannte Zinnskarne wären entsprechend der Prognosekarte z. B. in den Gebieten südlich von Lauter, im Gebiet von Beierfeld und nordöstlich von Elterlein zu erwarten (Abb. 5-12, Anlage 5). Ganz offensichtlich sind auch im Gebiet von Elterlein und Grünhain über dem abtauchenden Granit vom Typ Eibenstock in größeren Tiefen vererzte Skarne (siehe Kapitel 5.3) in verschiedenen stratigraphischen Horizonten zu erwarten. Die Fortsetzung der vererzten Strukturen in NO-Richtung ist aufgrund des vermuteten steilen Abtauchens des Granits vom Typ Eibenstock hier eher unwahrscheinlich.

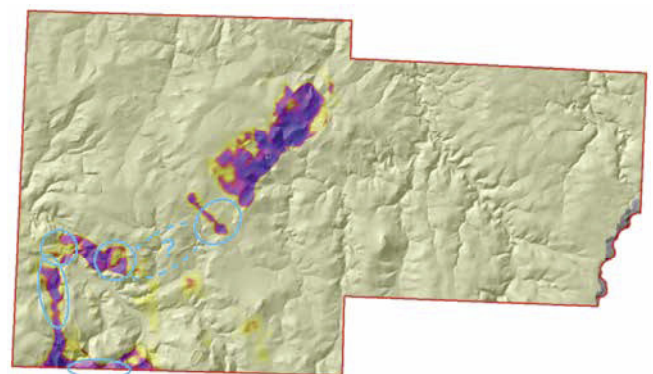


Abb. 5-12: Lage perspektiver Gebiete für lithologisch kontrollierte Zinnmineralisationen (Skarne)

5.1.4.2 Prognose der Lokalitäten und Metallinhalte (Anlage 6)

Beschreibung des prognostizierten Parameters

Der prognostizierte Parameter ist die Zinnmenge in Tonnen je Rasterzelle 50 m x 50 m ($\approx 2.500 \text{ m}^2$). Für die Erstellung dieses Parameters wurde die Horizontalprojektion der jeweiligen Vorratsblöcke mit dem berechneten Metallinhalt verwendet. Berücksichtigt wurden dabei Bilanz- und Außerbilanzvorräte der Kategorien C1, C2, c1 und c2.

Insgesamt befindet sich in den berücksichtigten Blöcken eine Zinnmenge von 83.490 t (ein großer Teil der Blöcke von Pöhla-Globenstein liegt außerhalb des Modellgebiets). Diese Zinnvorräte sind noch nicht abgebaut.

Für die Prognose der zu erwartenden Zinnmengen wurden zur Erzeugung der Trainingsdaten innerhalb der bekannten Vorratsblöcke die bekannten Zinnmengen auf die Rasterzellen gleichmäßig „verteilt“. Die je Rasterzelle enthaltene Zinnmenge schwankt zwischen 36,8 t und 346,4 t. Dieser Wert wurde vor der weiteren Bearbeitung auf Werte zwischen 0 (10 Tonnen Metallinhalt) und 1 (1.000 t Metallinhalt) skaliert und danach logarithmiert.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:
Abhängige Variable:

- Zinnmenge je Rasterzelle,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Eibenstock – Erdoberfläche,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Wölbung, negativ,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Pb: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Geologie – Verbreitungsgebiet – Granit
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,

- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE,

Das Training erfolgte nur an den Lokalitäten mit bekannten Vorräten.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Trainingskurve (Abb. 5-13 unten) zeigt, dass der RMS-Fehler nach 300 Iterationen bei 0,009 % (entspricht 0,00009) liegt.

Die Einschätzung der Qualität des Modells wird über das Histogramm der Verteilung der Prognoseergebnisse über das Gesamtmodell (Abb. 5-13 oben) sowie vor allem über die Korrelation der bekannten und an gleicher Stelle prognostizierten Werte ermöglicht (Abb. 5-13 Mitte).

Die prognostizierten Zinnmengen in den vererzten Skarnen haben ein Maximum bei 0,46 (entspricht 83 t je Rasterzelle, oder 0,22 % Sn im Mittel auf einen 5 m mächtigen Skarnhorizont, siehe dazu auch Tabelle 12).

Die Korrelation der realen und berechneten Zinninhalte ist gut (Abb. 5-13 Mitte), neigt jedoch zu einer Unterschätzung sehr hoher Metallinhalte und einer vergleichweisen Überschätzung mittlerer Metallinhalte.

Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-14 und Anlage 6 dargestellt.

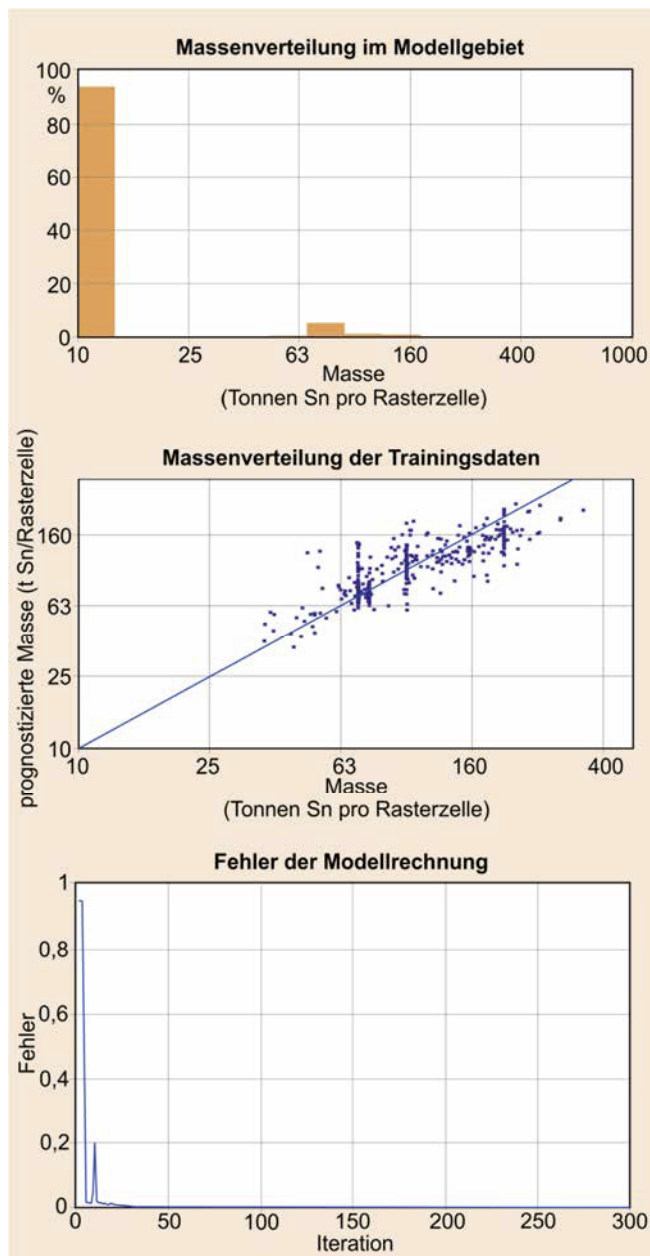


Abb. 5-13: Histogramme der Massenverteilung für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

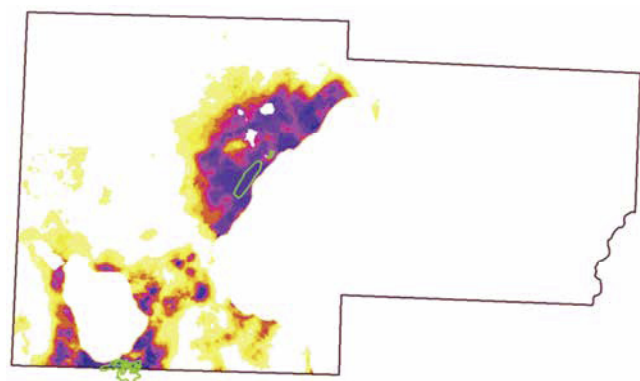


Abb. 5-14: Prognosekarte für die Vorräte von lithologisch kontrollierten Zinnmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und Trainingslokalitäten (in Grün).

Abschließend wurde der Einfluss der Modellparameter auf das Ergebnis anhand der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ analysiert (Tabelle 11). Die folgenden Modellparameter wurden als wichtigste kontrollierende Faktoren identifiziert:

- Geologie - Verbreitungsgebiet - Granit,
- Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Magnetik - ΔT : Gradient,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel.

Der Parameter „Geologie - Ausstrichfläche: Granit“ hat als Ausschlusskriterium (Skarne treten hier nicht auf) ein extrem hohes Gewicht erhalten.

Geologische Interpretation

Bei der Gewichtung der Modellparameter dominieren sehr stark die Ausstrichflächen der Granite (Anlage 6, Beikarte 1), da dort keine Skarne auftreten. Das relativ hohe Gewicht des Gradienten des Magnetfeldes (Anlage 6, Beikarte 3) deutet auf einen hohen Einfluss des in den Skarnen abgelagerten Magnetits und der lithologischen Vielfalt des Nebengesteins auf die abgelagerte Zinnmenge hin. Einen erheblichen Einfluss haben die Verbreitungsflächen der verschiedenen karbonatführenden Formationen in den Metamorphiten (Anlage 6, Beikarten 2, 9 und 11).

Für die Abschätzung der im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Zinnmenge in Skarnen wurden die in den Rasterzellen prognostizierten Zinnmengen aufsummiert.

Die so erhaltene Metallmenge beträgt 775.888 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial $> 0,25$ (qualitative Prognose) und 593.034 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial $> 0,5$ (qualitative Prognose).

Tabelle 11: Ranking der Gewichte der Modellparameter für lithologisch kontrollierte Zinnmineralisationen (Metallinhalte)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie - Verbreitungsgebiet - Granit	-24351,11	46,71
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum	-547,07	0,99
Magnetik - ΔT: Gradient	-124,83	0,25
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	30,7	0,1
Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Wölbung, negativ	35,33	0,09
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv	71,93	0,09
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	-53,29	0,09
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	23,92	0,09
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe	-45,16	0,08
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-96,87	0,07
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe	28,67	0,05
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ	42,55	0,05
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	25,71	0,05
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	9,05	0,05
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	-0,82	0,04
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	-12,84	0,04
Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Absolutwert	34,96	0,02
Abstand Granit Typ Eibenstock - Erdoberfläche	31,04	0,02
Bachsediment-Geochemie - log10 Pb: Absolutwert	-25,83	0,02
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	9,45	0,02
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	-14,09	0,02
Magnetik - ΔT: Absolutwert	-4,83	0,01

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	0,07	0,01
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	-4,92	0,01

Innerhalb der bekannten Vorratsblöcke wurde aufgrund des Berechnungsergebnisses eine Zinnmenge von 86.040 t wiedergefunden. Dieser Wert liegt ca. 3 % über dem der Vorratsberechnung (83.490 t).

Unter Berücksichtigung der in den bekannten Vorratsblöcken enthaltenen Metallmenge von 83.490 t ergibt sich damit ein maximal zu erwartender Vorratszuwachs von ca. 700.000 t. Insgesamt wären in diesem Fall lediglich 11 % der insgesamt im Untersuchungsgebiet möglichen Zinnvorräte in den berechneten Vorratsblöcken enthalten. Diese Zahl erscheint aufgrund der großen Flächen plausibel.

Eine weitere Plausibilisierung der Schätzergebnisse erfolgte über die Rückrechnung der Metallmengen je Rasterzelle auf Zinngehalte (Tabelle 12).

Die Ergebnisse sind plausibel: Taube Skarne enthalten meist einige Hundert ppm Zinn, schwach vererzte Skarne enthalten ca. 0,25 % Zinn, und gut vererzte Skarne > 0,5 % Zinn. Die Mächtigkeit der Skarne liegt real zwischen 1 und 2 m bis > 10 m.

Tabelle 12: Schätzung der Zinngehalte in Skarnen auf der Basis der geschätzten Zinnmengen

Sn-Menge je Rasterzelle (kg)	Fläche der Rasterzelle (m ²)	Angenommene vertikale Mächtigkeit der Vererzung (m)	Volumen (m ³)	Dichte (t/m ³)	Gewicht des enthaltenen Gesteins (t)	Sn-Gehalt (kg Sn/t Gestein)	Zinngehalt (%)	Beschreibung der Struktur
10.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	0,267	0,03	tauber Skarn
80.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	2,133	0,21	schwach vererzter Skarn
236.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	6,293	0,63	gut vererzter Skarn

5.2 Wolfram

5.2.1 Übersicht

Im Untersuchungsgebiet treten potentiell verwertbare Wolframvererzungen in drei verschiedenen geologischen Situationen auf:

- Auf Bruchstrukturen in Quarzgängen im Exokontakt von Graniten des Typs Bergen (Vorkommen Aue – Bärengrund).
- Als Nebenkomponekte in Gängen der Quarz-Kassiterit-Formation im Exokontakt des Granits vom Typ Eibenstock. Die WO_3 -Gehalte betragen hier lediglich wenige Hundert ppm.
- In Skarnen lithologisch kontrolliert durch Karbonathorizonte der Metasedimente im Exokontakt von Graniten des Typs Bergen.

Im Untersuchungsgebiet wurde Wolfram ausschließlich als Nebenkomponekte der Zinnerze im Bergbauggebiet von Ehrenfriedersdorf gewonnen. Eine industrielle Gewinnung von Wolfram aus den Skarnen von Pöhla-Globenstein und Antonsthal scheiterte bisher an deren komplexen Verwachsungsverhältnissen und den fehlenden Aufbereitungstechnologien.

Eine Übersicht über die im Untersuchungsgebiet bekannte Metallmenge und das im Ergebnis dieses Projektes geschätzte Metallpotenzial sind in Kapitel 2.4.5 und 6.1 enthalten.

5.2.2 Strukturkontrollierte Mineralisationen

5.2.2.1 Prognose der Lokaltäten (Anlage 7)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Der prognostizierte Mineralisationstyp beinhaltet hochthermale wolframitführende Mineralisationen auf Bruchstrukturen in den Dachbereichen von Kuppeln weniger spezialisierter Granite (fluorarmer Zweiglimmergranit Typ Bergen). Diese Mineralisationen sind bisher nur aus dem Exokontakt der Granitintrusionen bekannt. Im Endokontakt treten sie nicht auf.

Im Untersuchungsgebiet ist die Wolframmineralisation räumlich deutlich von der Zinnmineralisation getrennt. Pneumatolytische Quarz-Wolframit-Gangtrümer sind auf das Vorkommen von Aue-Bärengrund beschränkt. Die entsprechenden Gänge halten im Streichen oft nur wenige hundert Meter aus und haben in der Regel Mächtigkeiten unter 0,2 m (selten bis max. 1 m). Diese Trümer sind auf NW-SE bis NNW-SSE streichenden Gangstrukturen teils kulissenartig angeordnet. Die Mineralisation besteht fast ausschließlich aus Quarz und febetontem Wolframit (Hübnerit-Ferberit-Verhältnis um 0,19).

Bei Lauter treten noch geringe Mengen von Molybdänit, gediegen Wismut und Bismuthinit auf, lokal auch Arsenkies, Chalkopyrit und Scheelit. Fluorhaltige Minerale (Topas, Fluorit) werden nicht angetroffen.

Räumlich sind die W-Mineralisationen scheinbar an eine Hochlage des Granits vom Typ Kirchberg gebunden, allerdings wird in der Literatur auf Dykes des Granits vom Typ Bergen in unmittelbarer räumlicher Nähe verwiesen (LEONHARDT, 2009a). Daneben tritt Wolframit akzessorisch in pneumatolytischen Kassiterit-Quarz-Gängen im Gebiet von Ehrenfriedersdorf/Greifensteine auf. Die Gehalte betragen hier jedoch nur wenige Hundert ppm, deshalb werden diese Mineralisationen nicht als potentiell bauwürdige Wolframmineralisationen bezeichnet und auch nicht als solche prognostiziert.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Ausstrichlinien der bekannten wolframführenden Gänge,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Kirchberg – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Pb: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – Kreuzungspunkte,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Die Wolframgehalte der Bachsediment-Geochemie wurden absichtlich nicht als Modellparameter verwendet. Damit können diese Daten zur unabhängigen Kontrolle des Modellierungsergebnisses genutzt werden (Annahme: bedeutendere strukturkontrollierte Mineralisationen bilden sekundäre Aureolen in Bachsedimenten).

Als Trainingsdaten dienen die Lokalitäten der bekannten Wolframgänge (siehe Abschnitt 4.1.2) im Untersuchungsgebiet. Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-15) zeigt, dass nach 100 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau des RMS-Fehlers von 0,54 % erreicht ist.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-15) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von ca. 0,95 liegt. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-16 und Anlage 7 kartographisch dargestellt.

Tabelle 13: Ranking der Gewichte der Modellparameter für strukturkontrollierte Wolframmineralisationen (Lokalitäten)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Magnetik - ΔT : Gradient	-96	5.13
Abstand Granit Typ Kirchberg - Erdoberfläche (invers skaliert)	225	4.80
Magnetik - ΔT : Absolutwert	-130	4.51
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	-51	1.96
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-53	1.84
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	12	1.61
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	8	1.42
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	-52	1.39
Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Absolutwert	32	1.28
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	7	1.26
Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe	67	1.23
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	1	1.23
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	42	1.19
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	-23	1.12
Bachsediment-Geochemie - log10 Pb: Absolutwert	-16	1.02

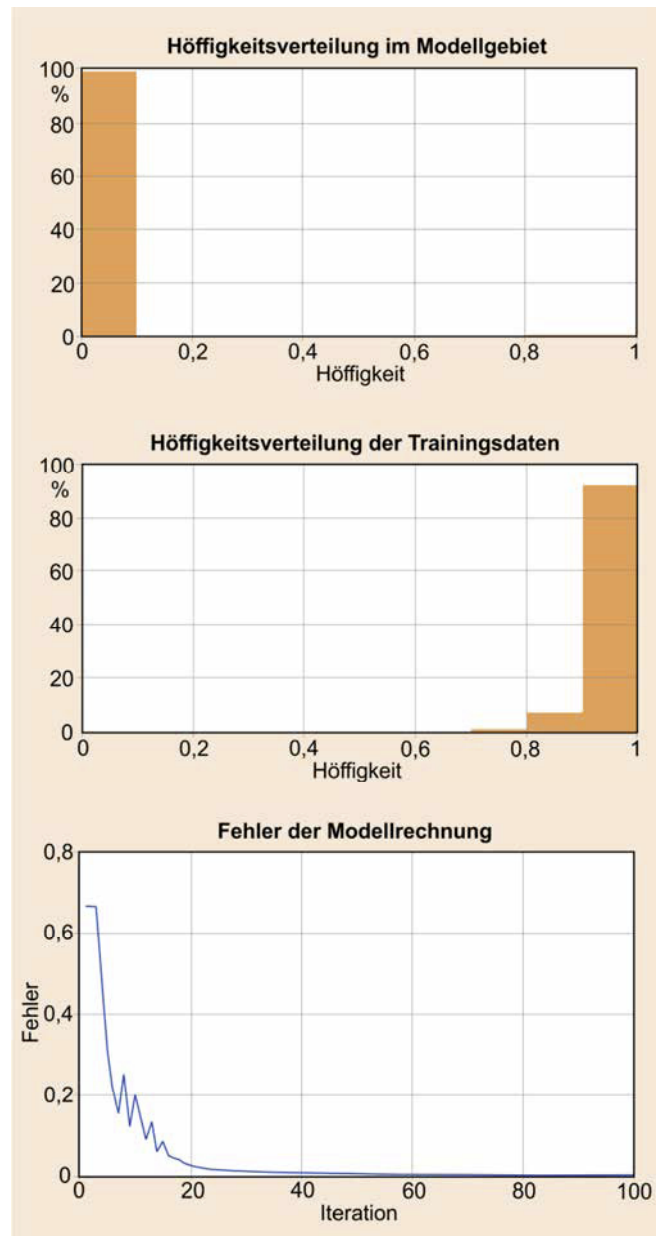


Abb. 5-15: Histogramme der Höffigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

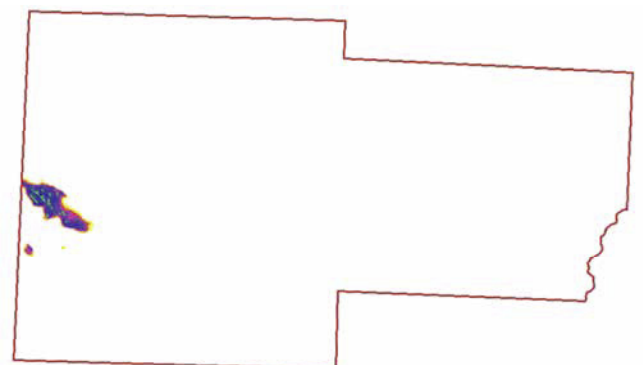


Abb. 5-16: Rohstoffpotenzialkarte für strukturkontrollierte Wolframmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Die Rohstoffpotenzialkarte (Abb. 5-16, Anlage 7) zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten vollständig einschließt. Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 13) sind insgesamt ausgewogen und lassen sich geologisch gut interpretieren. Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren ermittelt:

- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Abstand Granit Typ Kirchberg – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Magnetik – ΔT : Absolutwert.

Geologische Interpretation

Die Bedeutung der Granithochlagen (Anlage 7, Beikarte 2) als wichtigster lagerstättenkontrollierender Faktor ist bekannt und bestätigt die Korrektheit des eingesetzten Prognoseverfahrens. In Kombination mit den anderen Faktoren, wie z. B. den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Nebengesteins und Lage und Bedeutung von Bruchstrukturen, kontrollieren sie die Verbreitung der Mineralisationen.

Auffällig ist, dass die bekannten Vorkommen im Bereich Aue-Bärengrund nicht wie erwartet vom Bergen-Granit, sondern vom älteren Kirchberg-Granit unterlagert werden, dessen Distanz zur Oberfläche im Modell als stark gewichteter Faktor erscheint. Aus dem Erkundungsstollen Lauter ist bekannt (LEONHARDT, 2009a), dass hier ein Granitporphyr den Kirchberg-Granit durchschlägt und nahe dessen Oberfläche einen Lagergang in den kontaktmetamorphen Schiefern bildet. An diesen Gang sind die wolframitvererzten Gangtrümer gebunden. Damit kann angenommen werden, dass der Bergen-Granit nicht wie bisher modelliert steil nach NE begrenzt ist, sondern sich weiter im Inneren des Kirchberg-Granits fortsetzt und Gänge in diesem bildet. Diese Situation kann näherungsweise mit der Verwendung der Oberfläche des Kirchberg-Granits als Modelleingangsparameter abgebildet werden. Eine detailliertere Prognose der Wolframvererzung in diesem strukturell komplizierten Gebiet würde einen 3D-Prognoseansatz erfordern.

Das hohe Gewicht der großen NW-SE streichenden Bruchstrukturen (Anlage 7, Beikarten 4, 7) unterstreicht deren generelle Bedeutung für die Lokalisierung der konkreten Vorkommen. Diese Strukturen kontrollieren als Teilelemente der Gera-Jáchymov-Störungszone offensichtlich auch die Lage und Morphologie der Granitintrusionen. Die vererzten Gangstrukturen haben meist ein NW-SE bis NNW-SSE orientiertes Streichen, in etwa parallel zu den großen lagerstättenkontrollierenden Bruchstrukturen.

Das hohe Gewicht der Gradienten (Anlage 7, Beikarten 1 und 10) und der Absolutwerte (Anlage 7, Beikarten 3 und 5) der geophysikalischen (Summen-)Parameter Schwerefeld und Magnetfeld unterstreicht deren generelle Nutzbarkeit zur

Prospektion auf den betrachteten Mineralisationstyp. Hohe Gradienten des Schwerefeldes zeichnen das Oberflächenrelief der Granitkuppeln und die Lage von Gesteinen mit höherer Dichte nach. Der vergleichsweise geringe Unterschied in den Gewichten vieler Einzelparameter (1,02 bis 1,96) weist auf die Bedeutung der Kombinationen der kontrollierenden Faktoren für die konkrete Lage der einzelnen Mineralisation hin.

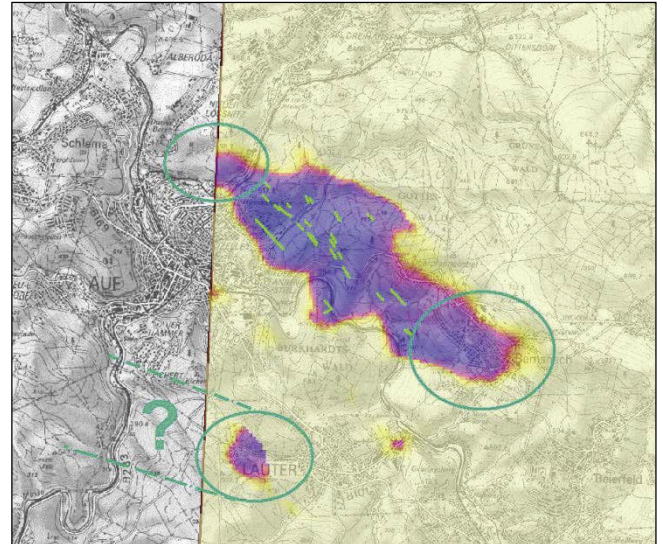


Abb. 5-17: Lage perspektiver Gebiete für strukturkontrollierte Wolframmineralisationen (Ausschnitt vom Westrand des Modellgebiets, Umgebung von Aue)

Perspektive Gebiete

Perspektive Gebiete für strukturkontrollierte W-Mineralisationen befinden sich sowohl in der südöstlichen und der nordwestlichen Verlängerung des bekannten Vorkommens Aue-Bärengrund als auch südwestlich davon bei Lauter in der Südost-Verlängerung bereits bekannter Mineralisationen südlich von Aue (Abb. 5-17).

Die schwach wolframführenden pneumatolytischen Zinnmineralisationen im Gebiet von Geyer-Ehrenfriedersdorf werden hier nicht als Wolframmineralisationen ausgewiesen.

Der Vergleich des Prognoseergebnisses mit der Karte der Wolframgehalte im Bachsediment (Abb. 5-18) zeigt deutlich die SE- und NW-gerichtete Fortsetzung der Zone von Aue-Bärengrund mit erhöhten Gehalten. Im Bereich von Bernsbach bis Pöhla-Globenstein sind aber die Wolframskarne in der Jáchymov- und Klínovec-Gruppe Ursache für die erhöhten Wolframgehalte im Bachsediment. Die Wolframgehalte im Raum Geyer-Ehrenfriedersdorf sind auf die akzessorische Wolframführung der dortigen Zinngänge zurückzuführen. Die ausgewiesenen Vorratsblöcke zeigen, dass in diesem Bereich von den 3942 t an bekannten WO_3 -Vorräten (der Klassen C1, C2, c1 und c2) über 97% in Blöcken mit sehr geringen Gehalten von 400 ppm oder weniger lokalisiert sind. Die ausgedehnte Wolframanomalie um Kühnhaide im Osten des Prognosegebietes stimmt gut mit der Verbreitung von

Orthogneisen der Reitzenhainer Gneiskuppel überein. Die Interpretation dieser Anomalie ist unklar. Die räumliche Übereinstimmung mit einer schwachen Zinnanomalie deutet auf pneumatolytische Gänge vom Typ Ehrenfriedersdorf hin (siehe Kapitel 2.4.1.1).

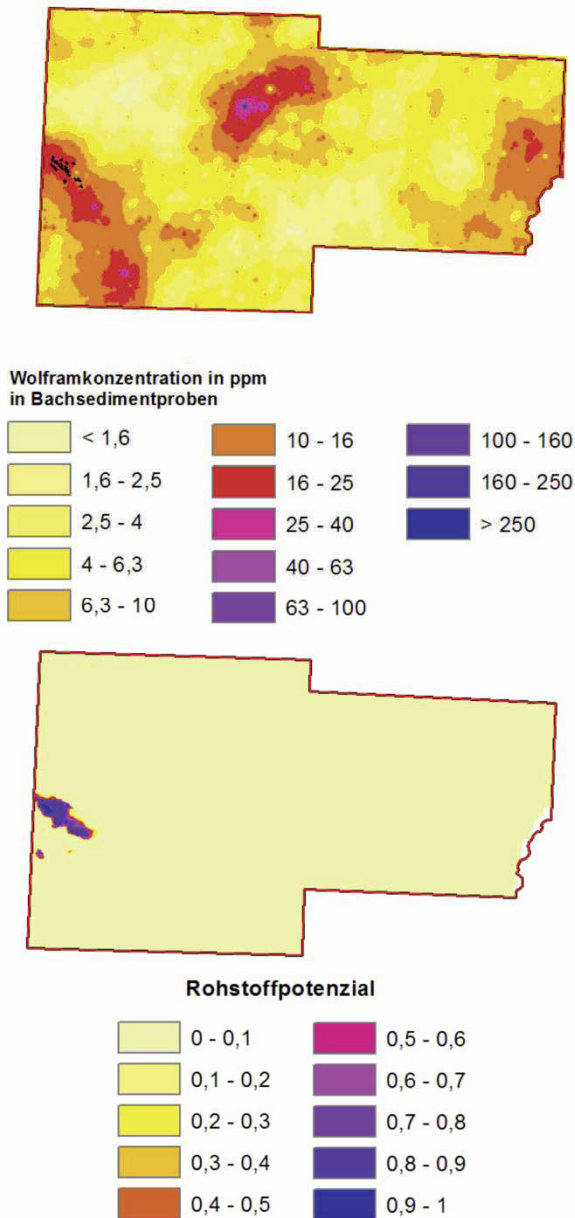


Abb. 5-18: Vergleich des Rohstoffpotenzials für strukturkontrollierte Wolframmineralisationen mit den Wolframgehalten in Bachsedimenten. Bekannte Vorkommen sind schwarz dargestellt.

5.2.2.2 Prognose der Lokalitäten und Metallinhalte (Anlage 8)

Beschreibung des prognostizierten Parameters

Der prognostizierte Parameter ist die WO_3 -Menge in Tonnen je Rasterzelle 50 m x 50 m (=2500 m²). Für die Erstellung

dieses Parameters wurde die Horizontalprojektion des jeweiligen Vorratsblocks mit dem berechneten Metallinhalt verwendet. Berücksichtigt wurden dabei nur die Bilanzvorräte der Kategorie C2 in den Vorratsblöcken Aue-Lauter und Aue-Bärengrund. Die weiteren Bilanz- und Außerbilanzvorräte im Raum Geyer-Ehrenfriedersdorf und Neundorf haben deutlich zu geringe Gehalte und/oder WO_3 -Mengen. Das Wolfram ist hier nur als Nebenkomponte der Sn-Vererzung ausgewiesen und erlangt keine eigenständige Bedeutung.

Insgesamt befindet sich in den berücksichtigten Blöcken eine WO_3 -Menge von 191 t, von der noch nichts abgebaut wurde. Dagegen wurde im Raum Geyer-Ehrenfriedersdorf bereits Erz mit 1.300 t WO_3 -Inhalt als Nebenprodukt des Zinnbergbaus abgebaut.

Für die Prognose der zu erwartenden WO_3 -Mengen wurden zur Erzeugung der Trainingsdaten innerhalb der bekannten Vorratsblöcke (siehe Abschnitt 4.1.2) die bekannten WO_3 -Mengen auf die Rasterzellen gleichmäßig „verteilt“. Die je Rasterzelle enthaltene WO_3 -Menge beträgt für die beiden verwendeten Vorratsblöcke 5,0 bzw. 6,7 t pro Zelle. Dieser Wert wurde vor der weiteren Bearbeitung auf Werte zwischen 0 (0,1 t Metallinhalt) und 1 (100 t Metallinhalt) logarithmisch skaliert.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Wolframmenge je Rasterzelle,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Kirchberg - Erdoberfläche (invers skaliert),
- Bachsediment-Geochemie - log10 Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie - log10 Pb: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie - log10 W: Absolutwert,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Thum-Gruppe,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik - ΔT : Absolutwert,
- Magnetik - ΔT : Gradient,
- Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE.

Als Trainingsdaten dienten die Lokalitäten der bekannten Wolframgang-Vorratsblöcke (siehe Abschnitt 4.1.2) im Untersuchungsgebiet.

Das Training erfolgte nur an den Lokalitäten mit bekannten Vorräten.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Trainingskurve ist in Abb. 5-19 (unten) dargestellt. Sie zeigt, dass bereits nach 50 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau beim RMS-Fehler erreicht ist und keine Schwankungen mehr zu erwarten sind. Der RMS-Fehler nach 50 Iterationen beträgt 0,039 % (entspricht 0,00039).

Die Einschätzung der Qualität des Modells wird über das Histogramm der Verteilung der Prognoseergebnisse über das Gesamtmodell (Abb. 5-19 oben) sowie vor allem über die Korrelation der bekannten und an gleicher Stelle prognostizierten Werte ermöglicht (Abb. 5-19 Mitte). Die prognostizierten WO_3 -Mengen in den vererzten Strukturen haben ein Maximum bei 0,55; entsprechend 4,5 t je Rasterzelle. Dies entspricht im Mittel 0,08 % WO_3 auf einer 0,14 m mächtigen Gangzone (dies ist die durchschnittliche Gangmächtigkeit im Gebiet Bärengrund (LEONHARDT, 2009a) mit einer Vertikalerstreckung von 300 m, was im Bereich der real beobachteten Werte liegt (siehe dazu auch Tabelle 15).

Die Korrelation der realen und berechneten WO_3 -Inhalte kann aufgrund der geringen Datenmenge von nur zwei Vorratsblöcken nicht ausreichend bewertet werden. Da jedoch die WO_3 -Mengen der Vorratsblöcke nahe den maximal prognostizierten Werten von 8,767 t pro Rasterzelle liegen, und da geringere WO_3 -Mengen zu geringe Gehalte bedingen, ist die Prognose der ggf. industriell verwertbaren Vorkommen ausreichend gut bestätigt. Das Ergebnis der Prognose ist kartographisch in Abb. 5-20 und Anlage 8 dargestellt.

Abschließend wurde der Einfluss der Modellparameter auf das Ergebnis anhand der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ analysiert (Tabelle 14). Die folgenden Modellparameter wurden als wichtigste kontrollierende Faktoren identifiziert:

- Abstand Granit Typ Kirchberg - Erdoberfläche (invers skaliert),
- Magnetik - ΔT : Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie - $\log_{10} Pb$: Absolutwert,
- Magnetik - ΔT : Gradient,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß.

Geologische Interpretation

Wie bereits bei der strukturkontrollierten Zinnmineralisation deutet das hohe Gewicht des Magnetfeldes (Absolutwert und

Gradient, Anlage 8, Beikarten 2 und 4) auf einen hohen Einfluss der lithologischen Vielfalt des Nebengesteins auf die abgelagerte Metallmenge hin. Weiteren Einfluss hat die Verbreitung der Thum-Gruppe (Anlage 8, Beikarte 15) als Nebengestein der Wolframvererzung, die Entfernung zu Störungen und das Schwerefeld (bildet u. a. den Abstand zum Granit und große Störungen ab). Für die konservative Abschätzung der im Untersuchungsgebiet zu erwartenden WO_3 -Menge wurden aus den bekannten Mineralgängen potentiell wolframführende Strukturen extrahiert und auf das Ergebnissraster gelegt. Die meisten bisher bekannten Wolframgänge im Raum Aue-Bärengrund fallen in ein enges Spektrum von Streichrichtungen (WNW-ESE- bis NNW-SSE).

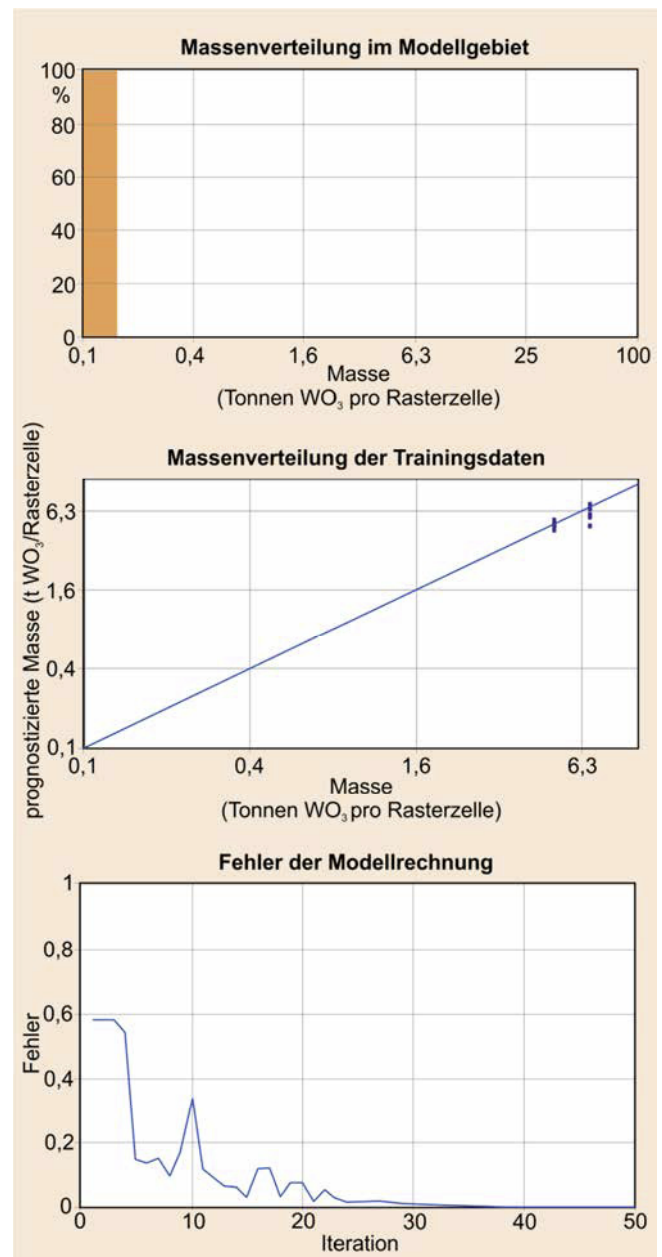


Abb. 5-19: Histogramme der Massenverteilung für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

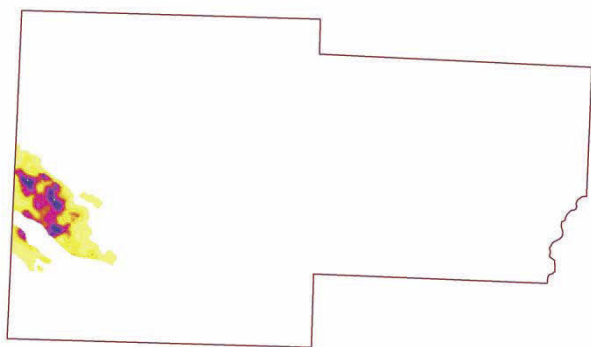


Abb. 5-20: Prognosekarte für Vorräte von strukturkontrollierten Wolframmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und Trainingslokalitäten (in Grün)

Tabelle 14: Ranking der Gewichte der Modellparameter für strukturkontrollierte Wolframmineralisationen (Metallinhalte)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Abstand Granit Typ Kirchberg – Erdoberfläche (invers skaliert)	18,37	3,35
Magnetik – ΔT : Absolutwert	-37,68	3,04
Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert	-17,2	2,58
Magnetik – ΔT : Gradient	-16,85	2,14
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-11,04	2,11
Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	2	2,05
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß	-2,66	2
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S	-1,92	1,97
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient	1,77	1,88
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE	1,06	1,88
Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert	0,63	1,81
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz	1,08	1,76
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel	1,32	1,65
Bachsediment-Geochemie – log10 W: Absolutwert	-4,38	1,64
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe	3,79	1,58
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW	1,25	1,55

Daneben gibt es noch einige Wolframgänge mit NE-SW- bis E-W-Streichen, analog zu den Zinngängen im Modellgebiet. Als potentiell wolframführend werden daher alle Strukturen mit Streichen 120 Grad – 160 Grad (Streichrichtung der Gänge von Aue-Bärengrund) sowie mit Streichen 45 Grad bis 100 Grad (Streichrichtung der Zinngänge) betrachtet.

Die jeweils in einem Pufferbereich von 50 m um die so ausgewählten Gänge liegenden Rasterzellen wurden aus dem Ergebnistraster extrahiert und die in diesen Zellen enthaltene WO_3 -Menge aufsummiert. Die so erhaltene WO_3 -Menge beträgt 1.743 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,25 (qualitative Prognose) und 1.650 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,5 (qualitative Prognose).

Innerhalb der bekannten Vorratsblöcke wurde aufgrund des Berechnungsergebnisses eine WO_3 -Menge von 54,3 t (50-m-Puffer) bzw. 169 t (100-m-Puffer) wiedergefunden. Aufgrund der Generalisierung der Daten bei der Umlage der in den Vorratsblöcken enthaltenen WO_3 -Menge auf die Rasterzellen ist die im 100-m-Puffer enthaltene WO_3 -Menge näher an den Eingangsdaten. Damit ist das Schätzungsergebnis gut plausibilisiert, jedoch etwa 13 % zu gering. Diese Abweichung ist wahrscheinlich in der sehr geringen Zahl von Rasterzellen, die mit Vorratsdaten belegt werden konnten, begründet.

Unter Berücksichtigung der in den bekannten Vorratsblöcken enthaltenen WO_3 -Menge (aus den Vorratsberechnungen) von 191 t ergibt sich damit ein maximal zu erwartender Vorratszuwachs von ca. 1.550 t. Dieser Vorratszuwachs würde eintreten, wenn alle potenziell wolframführenden Strukturen vererzt wären. Insgesamt wären in diesem Fall ca. 11 % der insgesamt im Untersuchungsgebiet möglichen Wolframvorräte in den berechneten Vorratsblöcken enthalten. Diese Zahl erscheint plausibel und liegt in der Größenordnung der bisher für das Gebiet Aue-Bärengrund angenommenen delta2-Vorräte von 2.500 t WO_3 .

Eine weitere Plausibilisierung der Schätzergebnisse erfolgte über die Rückrechnung der Metallmengen je Rasterzelle auf WO_3 -Gehalte (Tabelle 15).

Die Ergebnisse sind ebenfalls plausibel: Je nach Vertikalerstreckung würde eine taube Struktur einen WO_3 -Gehalt von 18 bis 106 ppm aufweisen (bei 0,14 m angenommener Mächtigkeit), eine normal vererzte Struktur hätte bei einer Vertikalerstreckung von 300 m einen WO_3 -Gehalt von ca. 0,08% (794 ppm, bei 0,14 m angenommener Mächtigkeit), und eine sehr gut vererzte Struktur einen WO_3 -Gehalt von ca. 0,42 % (4233 ppm, bei 0,14 m angenommener Mächtigkeit).

5.2.3 Lithologisch kontrollierte Mineralisationen

5.2.3.1 Prognose der Lokalitäten (Anlage 9)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Der prognostizierte Mineralisationstyp beinhaltet scheelit-führende Mineralisationen in Skarnen in schwach metamorphisierten „bunten“ Sedimenten des Kambriums bis Ordoviziums (Klinovec-, Jáchymov-, Thum-Gruppe). Diese Skarne haben sich meist nach Metakarbonatgesteinen im näheren Umfeld von Kuppeln des Granits vom Typ Bergen (Low-F Zweiglimmergranit) entwickelt. Die industrielle Vererzung in den Skarnen (WO_3 -Gehalte 0,1 % bis > 0,6 %) ist meist deutlich reicher als die Vererzung in den Quarzgängen.

Die W-führenden Skarne können bis in eine Entfernung von etwa einem Kilometer vom Granitkontakt auftreten. Im Gebiet um die Schwarzenberger Gneiskuppel entwickeln sich die Skarne zumindest teilweise um vererzte Bruchstrukturen (Zufuhrkanäle).

Die Mächtigkeit der einzelnen Skarnpakete schwankt zwischen wenigen Dezimetern und einigen Metern bis Dekametern. Die Skarne können als Lagen in mächtigeren lithologisch kontrollierten Horizonten von einigen Dekametern Mächtigkeit mit eingeschaltetem Nebengestein (meist Glimmerschiefer, Gneise) auftreten.

Das Wolfram ist überwiegend in Scheelit, zu einem variablen Anteil aber auch in Wolframit gebunden. Begleitminerale sind Fluorit, Calcit und Silikate (Granat, Amphibol, Pyroxen). Bis zu 50 % des Erzes in der Lagerstätte Pöhla-Globenstein liegen als „Zersatzerz“ vor, dessen hoher Tonmineralgehalt das Ausbringen von Wolfram durch Flotation erschwert (KAUFMANN u. a., 1988).

In den W-führenden Skarnen treten meist noch folgende andere Rohstoffe auf: Sphalerit, Magnetit und Fluorit.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Abhängige Variable:

- Lokalitäten der bekannten Wolframskarne,

Modellparameter:

- Abstand Granit Typ Bergen – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Pb: Absolutwert,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klinovec-Gruppe,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Die Wolframgehalte der Bachsediment-Geochemie wurden absichtlich nicht als Modellparameter verwendet. Damit können diese Daten zur unabhängigen Kontrolle des Modellierungsergebnisses genutzt werden (Annahme: bedeutendere strukturkontrollierte Mineralisationen bilden sekundäre Aureolen in Bachsedimenten).

Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Tabelle 15: Schätzung der WO_3 -Gehalte auf Bruchstrukturen auf der Basis der prognostizierten WO_3 -Mengen

WO_3 -Menge je Rasterzelle (kg)	Fläche der Rasterzelle (m^2)	Angenommene vertikale Erstreckung der Vererzung (m)	Volumen (m^3)	Dichte (t/m^3)	Gewicht des enthaltenen Gesteins (t)	WO_3 -Gehalt (kg WO_3/t Gestein)	WO_3 -Gehalt (ppm)	WO_3 -Gehalt in % einer Struktur von 0,14 m Mächtigkeit je Rasterzelle	Beschreibung der Struktur
100	2500	300	750.000	2,7	2.025.000	0,00005	0,05	0,002	taube Struktur, Hintergrundgehalt
2000	2500	300	750.000	2,7	2.025.000	0,00099	0,99	0,035	wenig vererzte Struktur, Außerbilanzgehalte
4500	2500	300	750.000	2,7	2.025.000	0,00222	2,22	0,08	normal vererzte Struktur
8000	2500	100	250.000	2,7	675.000	0,01185	11,9	0,42	gut vererzte Struktur

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-21) zeigt, dass nach 100 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau des RMS-Fehlers von 0,85 % erreicht ist.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-21) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das gesamte Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von ca. 0,95 liegt. Die Rohstoffpotenzialkarte (Abb. 5-22, Anlage 9) zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten vollständig einschließt.

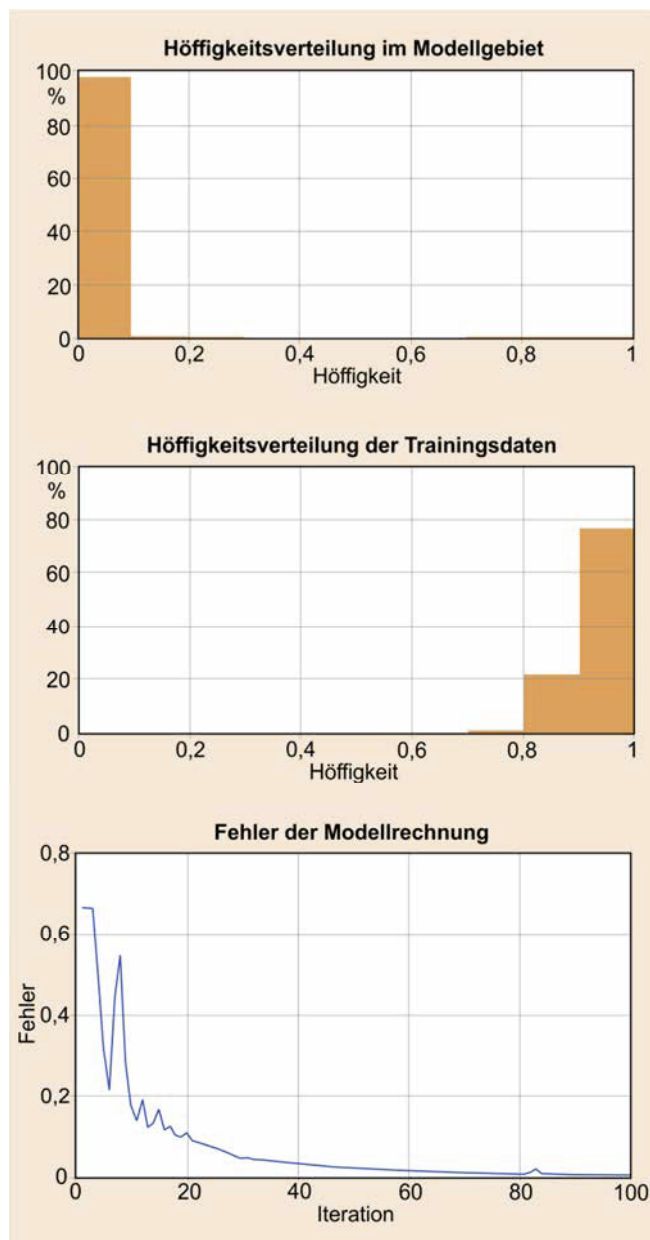


Abb. 5-21: Histogramme der Häufigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

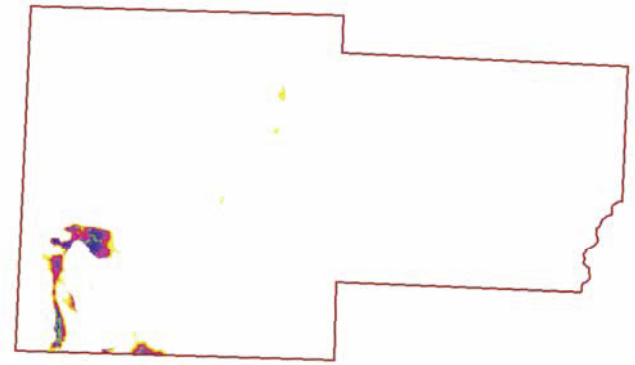


Abb. 5-22: Rohstoffpotenzialkarte für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Abschließend wurde die Sensitivität der Modelleingangsdaten durch Bestimmung der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ (siehe Kapitel 3.2) analysiert (Tabelle 16). Die folgenden Modelleingangsdaten wurden als wichtigste lagerstättenkontrollierenden Faktoren im Modell bestimmt:

- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum,
- Bachsediment-Geochemie – $\log_{10}$ Cu: Absolutwert,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Abstand zum Granit Typ Bergen.

Der Parameter „Abstand zum Neoproterozoikum“ hat als Ausschlusskriterium (Skarne treten hier nicht auf) ein extrem hohes Gewicht.

Geologische Interpretation

Die Bedeutung der karbonatführenden Metasedimente des Kambroordoviziums (Anlage 9, Beikarten 6, 8 und 15) bzw. das Fehlen dieser Sedimente in den neoproterozoischen Einheiten (Anlage 9, Beikarte 1) für die Lokalisierung der Skarne wurde schon vor langer Zeit erkannt. Neben der Lithologie ist vor allem die Entfernung zum Granit vom Typ Bergen (Anlage 9, Beikarte 4) und zu Störungskreuzen (Anlage 9, Beikarte 3) von entscheidender Bedeutung für die Lokalisierung der wolframführenden Skarne. Das vergleichsweise hohe Gewicht des Schwerefeldes (Anlage 9, Beikarte 5) zeigt ebenfalls die Bedeutung des unterlagernden Granits als mineralisationskontrollierender Faktor. Die hohen Gewichte der großen Störungen (Anlage 9, Beikarte 7) deuten auf die kontrollierende Wirkung dieser tektonischen Elemente hin. Wie auch bei der strukturkontrollierten Wolframvererzung treten hier die großen NW-SE orientierten Störungen (Anlage 9, Beikarte 11) hervor, also Teilelemente der Gera-Jáchymov-Störungszone. Letztendlich kontrolliert aber wie auch bei den strukturell kontrollierten Mineralisationen eine Kombination von tektonischen Elementen gemeinsam mit den Lithologien

und dem Abstand zum Granit die konkrete Lage der Vererzungen.

Weitere untergeordnete (Summen-)Parameter sind die Gradienten von Magnet- und Schwerfeld (und der Absolutwert des Magnetfeldes). Diese Parameter werden insbesondere durch die Magnetitführung der Skarne kontrolliert, was eine Differenzierung der Skarne von strukturkontrollierten Vererzungen der Wolframit-Quarz-Formation ermöglicht.

Die geochemischen Parameter Cu und Pb können ebenfalls gut zur Lokalisierung der Wolframskarne herangezogen werden, da sie die begleitende Sulfidmineralisation widerspiegeln.

Tabelle 16: Ranking der Gewichte der Modellparameter für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen (Lokalitäten)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Neoproterozoikum	2133	16.82
Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert	323	3.14
Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	712	2.40
Abstand Granit Typ Bergen – Erdoberfläche (invers skaliert)	917	1.83
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert	443	1.71
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Thum-Gruppe	719	1.64
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß	-588	1.39
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov-Gruppe	-88	1.36
Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert	328	1.27
Magnetik – ΔT : Gradient	630	1.13
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW	528	1.02
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient	638	0.72
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W	410	0.72
Magnetik – ΔT : Absolutwert	406	0.70
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Klínovec-Gruppe	350	0.70
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz	562	0.68
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel	214	0.64
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S	363	0.57
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE	474	0.55

Perspektive Gebiete

Der Vergleich der prognostizierten Wolframskarne-Verbreitung mit der Karte der Wolframgehalte in Bachsedimenten (Abb. 5-23) zeigt eine teilweise Übereinstimmung im Südwesten des Prognosegebietes, rund um die Ausstriche von Graniten des Typs Bergen. Wie in Abschnitt 5.2.2 diskutiert, dürften die Wolframgehalte im Bereich von Aue und bei Geyer-Ehrenfriedersdorf auf strukturkontrollierte, teilweise nur akzessorische, Wolframvererzung zurückzuführen sein. Der Bereich erhöhter Wolframgehalte im Osten des Prognosegebietes um Kühnhaide ist sicher nicht auf Skarne zurückzuführen, da in den dort anstehenden Orthogneisen keine Metakarbonate zu erwarten sind.

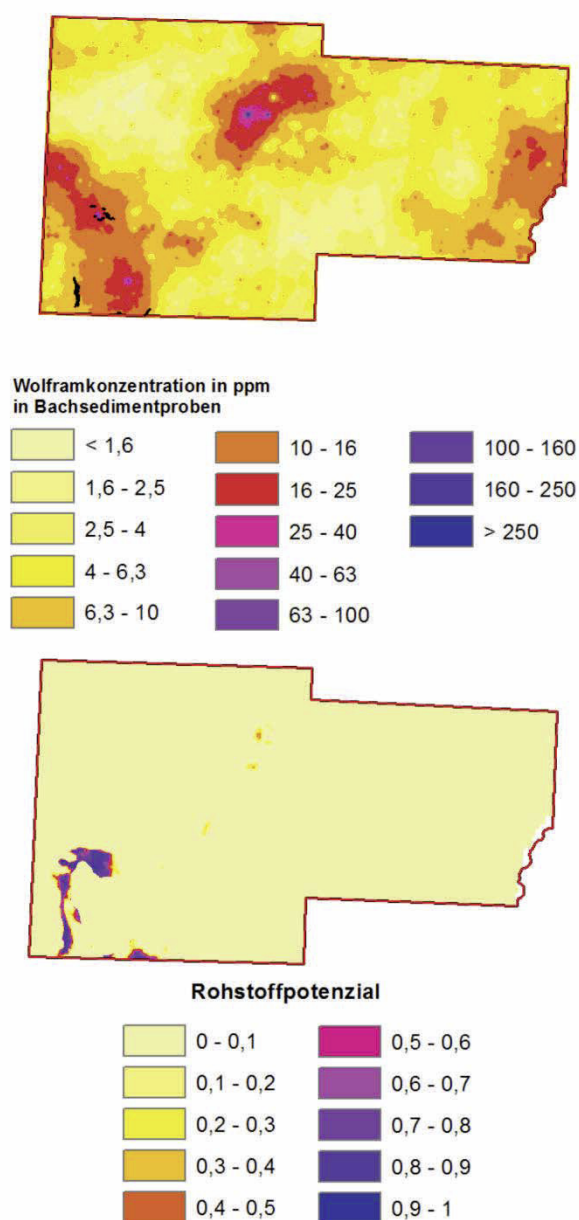


Abb. 5-23: Vergleich des Rohstoffpotenzials für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen (Skarne) mit den Wolframgehalten in Bachsedimenten. Bekannte Skarne sind schwarz markiert.

Neben den bekannten Vorkommen in Pöhla-Globenstein sowie bei Antonsthal und Bernsbach kann eine Reihe perspektiver Gebiete definiert werden, die sich aufgrund der Schichtgebundenheit der Skarne überwiegend in streichender Verlängerung der bekannten Vorkommen befinden (Abb. 5-24). So zeigt sich eine Fortsetzung des Vorkommens von Bernsbach nach Südwesten in Richtung Lauter und nach Südosten in Richtung Beierfeld bis unter das Siedlungsgebiet beider Orte. Nördlich von Antonsthal gibt es ein ausgedehntes perspektives Gebiet, das dem Ausstrich der Jáchymov-Gruppe bis zum Granit von Lauter folgt. Ein weiteres kleines Vorkommen auf der Westseite der Schwarzenberger Gneiskuppel wird im Bereich der Klínovec-Gruppe westlich der Siedlung Am Bockauer Weg prognostiziert. Mögliche Vorkommen von Wolframskarnen werden auch nordöstlich von Elterlein und zwischen Geyer und Ehrenfriedersdorf ausgewiesen. Da diese Bereiche vom zinnspezialisierten Granit des Typs Eibenstock unterlagert werden, ist hier – analog zu den Verhältnissen bei der strukturkontrollierten Mineralisation – nur eine akzessorische Wolframvererzung von im Wesentlichen zinnführenden Skarnen zu erwarten.

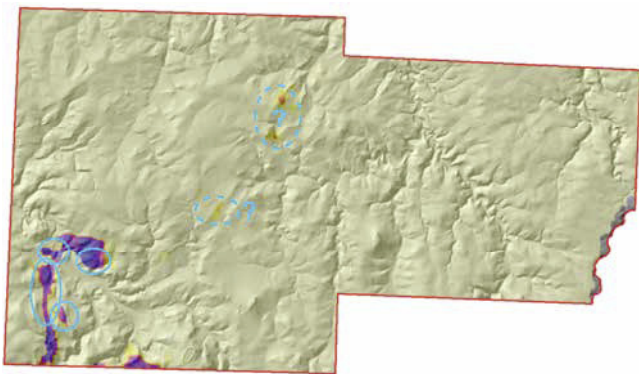


Abb. 5-24: Lage perspektiver Gebiete für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen

5.2.3.2 Prognose der Lokalitäten und Metallinhalte (Anlage 10)

Beschreibung des prognostizierten Parameters

Der prognostizierte Parameter ist die WO_3 -Menge in Tonnen je Rasterzelle 50 m x 50 m (=2.500 m²). Für die Erstellung dieses Parameters wurde die Horizontalprojektion der jeweiligen Vorratsblöcke mit dem berechneten Metallinhalt verwendet. Berücksichtigt wurden dabei Bilanz- und Außerbilanzvorräte der Kategorien C1, C2, c1 und c2.

Insgesamt befindet sich in den berücksichtigten Blöcken eine WO_3 -Menge von 43.437 t (ein großer Teil der Blöcke von Pöhla-Globenstein liegt außerhalb des Modellgebiets, so dass im Modellgebiet lediglich 12.339 t an WO_3 -Vorräten nachgewiesen sind; unter Annahme einer gleichmäßigen Metallverteilung über die Fläche der Vorratsblöcke). Diese WO_3 -

Vorräte sind bis auf geringfügige Versuchsabbau bei Pöhla-Globenstein noch nicht abgebaut.

Für die Prognose der zu erwartenden WO_3 -Mengen wurden zur Erzeugung der Trainingsdaten innerhalb der bekannten Vorratsblöcke die bekannten WO_3 -Mengen auf die Rasterzellen gleichmäßig „verteilt“. Die je Rasterzelle enthaltene WO_3 -Menge schwankt zwischen 38,6 t und 162,2 t. Dieser Wert wurde vor der weiteren Bearbeitung auf Werte zwischen 0 (10 t Metallinhalt) und 1 (1000 t Metallinhalt) skaliert und danach logarithmiert.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- WO_3 -Menge je Rasterzelle,

Modellparameter:

- Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert,
- Bachsediment-Geochemie – log10 W: Absolutwert,
- Abstand Granit Typ Bergen – Erdoberfläche (invers skaliert),
- Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov- und Klínovec-Gruppe,
- Geologie – Ausstrichfläche: Granit,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ,
- Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv,
- Magnetik – ΔT : Absolutwert,
- Magnetik – ΔT : Gradient,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel

Als Trainingsdaten dienten die Lokalitäten der bekannten Wolframskarn-Vorratsblöcke (siehe Abschnitt 4.1.2) im Untersuchungsgebiet.

Das Training erfolgte nur an den Lokalitäten mit bekannten Vorräten.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-25 unten) zeigt, dass bereits nach 100 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau des RMS-Fehlers von 0,0078 % erreicht wird.

Die Einschätzung der Qualität des Modells wird über das Histogramm der Verteilung der Prognoseergebnisse über das Gesamtmodell (Abb. 5-25 oben) sowie vor allem über die Korrelation der bekannten und an gleicher Stelle prognostizierten Werte ermöglicht (Abb. 5-25 Mitte). Die prognostizierten Wolframmengen in den verzerrten Strukturen haben ein Maximum bei 0,35; entsprechend 50,1 t je Rasterzelle. Dies entspricht im Mittel 0,13 % WO_3 in einem 5 m mächtigen Skarnpaket, was im Bereich der real beobachteten Werte liegt und den schwächer verzerrten Bereichen in Pöhla-Globenstein entspricht (siehe dazu auch Tabelle 18).

Die Korrelation der realen und berechneten WO_3 -Inhalte zeigt eine im Allgemeinen gute Übereinstimmung, allerdings werden die höchsten Gehalte etwas unterbewertet und ein Teil der Zellen mit mittleren Gehalten überbewertet. Die Häufung der Daten bei Werten um 0,35 und 0,42 spiegelt den großen Einfluss einzelner Vorratsblöcke wider, da nur eine geringe Anzahl von Blöcken in die Trainingsdaten einbezogen werden konnte.

Das Ergebnis der Prognose ist kartographisch in Abb. 5-26 und Anlage 10 dargestellt.

Abschließend wurde der Einfluss der Modellparameter auf das Ergebnis anhand der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ analysiert (Tabelle 17). Die folgenden Modellparameter wurden als wichtigste kontrollierende Faktoren identifiziert:

- Geologie - Ausstrichfläche: Granit
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel
- Magnetik - ΔT : Gradient
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W
- Abstand Granit Typ Bergen - Erdoberfläche (invers skaliert)
- Geologie - euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov- und Klínovec-Gruppe

Der Parameter „Geologie - Ausstrichfläche: Granit“ hat als Ausschlusskriterium (Skarne treten hier nicht auf) ein extrem hohes Gewicht erhalten.

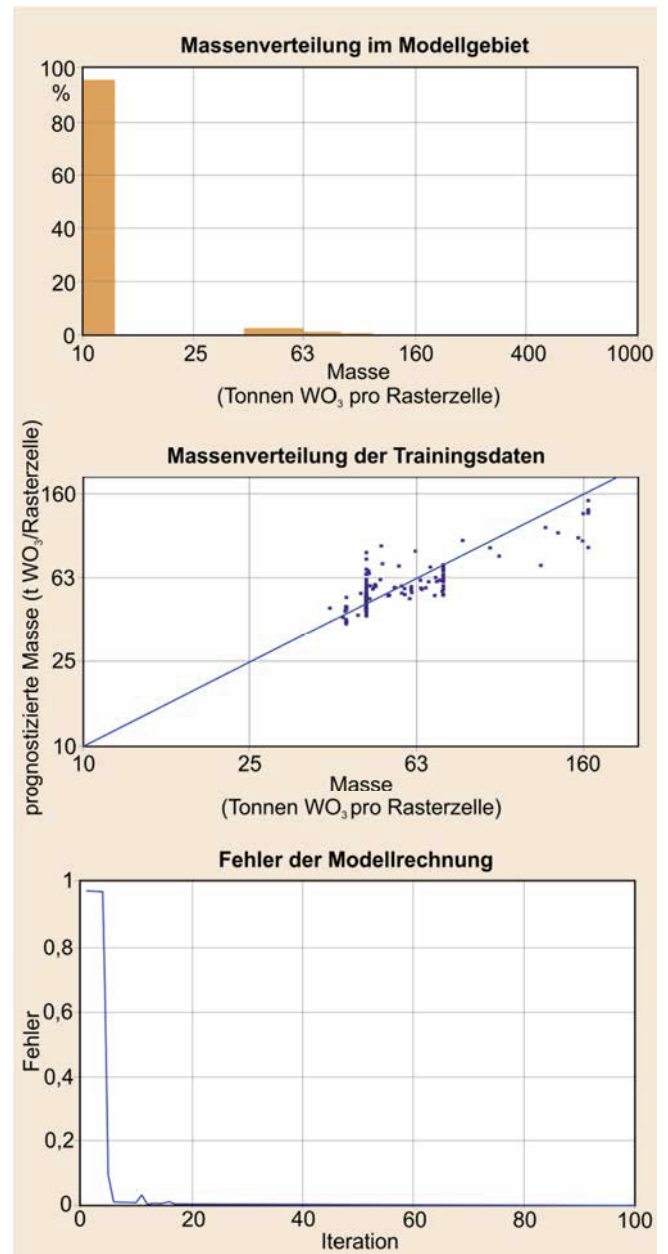


Abb. 5-25: Histogramme der Massenverteilung für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung



Abb. 5-26: Prognosekarte für Vorräte von lithologisch kontrollierten Wolfram-Mineralisationen (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und Trainingslokalitäten (in Grün)

Tabelle 18: Schätzung der WO₃-Gehalte in Skarnen auf der Basis der geschätzten WO₃-Mengen

WO ₃ -Menge je Rasterzelle (kg)	Fläche der Rasterzelle (m ²)	Angenommene vertikale Mächtigkeit der Vererzung (m)	Volumen (m ³)	Dichte (t/m ³)	Gewicht des enthaltenen Gesteins (t)	WO ₃ -Gehalt (kg WO ₃ /t Gestein)	WO ₃ -Gehalt (%)	Beschreibung der Struktur
10.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	0,267	0,03	tauber Skarn
50.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	1,133	0,11	schwach vererzter Skarn
125.000	2500	5	12.500	3,0	37.500	3,333	0,33	gut vererzter Skarn

Tabelle 17: Ranking der Gewichte der Modellparameter für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen (Metallinhalte)

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie – Ausstrichfläche: Granit	-42144,71	38,3
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel	-53,47	0,26
Magnetik – ΔT: Gradient	-35,64	0,1
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß	96,43	0,06
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W	-9,35	0,05
Abstand Granit Typ Bergen – Erdoberfläche (invers skaliert)	41,4	0,03
Geologie – euklidischer Abstand zur Ausstrichfläche: Jáchymov- und Klínovec-Gruppe	31,74	0,03
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ	48,33	0,02
Bachsediment-Geochemie – log10 Pb: Absolutwert	34,16	0,02
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW	7,29	0,02
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz	37,74	0,02
Magnetik – ΔT: Absolutwert	22,7	0,01
Bachsediment-Geochemie – log10 Cu: Absolutwert	17,01	0,01
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Absolutwert	28,72	0,01
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv	23,17	0,01
Gravimetrie – Bouguer-Anomalie: Gradient	10,46	0,01
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S	29,14	0,01
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE	24,9	0,01
Bachsediment-Geochemie – log10 W: Absolutwert	25,99	0,01

Geologische Interpretation

Bei der Gewichtung der Modellparameter dominieren sehr stark die Ausstrichflächen der Granite (Anlage 10, Beikarte 1), da dort keine Skarne auftreten. Das hohe Gewicht des

Gradienten des Magnetfeldes (Anlage 10, Beikarte 3) deutet auf einen hohen Einfluss des in den Skarnen abgelagerten Magnetits und der lithologischen Vielfalt des Nebengesteins auf die abgelagerte WO₃-Menge hin. Einen erheblichen Einfluss haben die Verbreitungsflächen der verschiedenen karbonatführenden Formationen in den Gesteinen des Kambriums und des Ordoviziums. Um die ungünstige Verteilung der Vorratsblöcke (nur wenige Rasterzellen in einer kompakten Gruppe am Rand des Prognosegebiets) etwas zu kompensieren, werden die Klínovec- und Jáchymov-Gruppe hier als eine Einheit zusammengefasst (Anlage 10, Beikarte 7). Aufgrund der ungünstigen Verteilung der Trainingsdaten kann auch die Bedeutung der bruchtektonischen Elemente gegliedert nach ihrer Länge und Orientierung nicht ausreichend genau bewertet werden. Insbesondere die für das Rohstoffpotenzial als wichtig erkannten Störungskreuze können im Modell nicht berücksichtigt werden, da unter den wenigen mit Trainingsdaten belegten Zellen zufällig keine Kreuzung von Störungen auftritt. Aus diesen Gründen könnte die Prognose größere systematische Fehler enthalten und sollte abseits der bekannten Vorräte als unsicher betrachtet werden. Eine Verbesserung der Prognosesicherheit wäre durch die Erweiterung des Prognosegebietes nach Süden zu erreichen, um mehr bereits bekannte WO₃-Vorräte als Trainingsdaten einbeziehen zu können.

Für die Abschätzung der im Untersuchungsgebiet zu erwartenden WO₃-Menge in Skarnen wurden die in den Rasterzellen prognostizierten WO₃-Mengen aufsummiert.

Die so erhaltene WO₃-Menge beträgt 151.722 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,25 (qualitative Prognose) und 117.340 t in Zellen mit einem Rohstoffpotenzial > 0,5 (qualitative Prognose). Innerhalb der bekannten Vorratsblöcke wurde aufgrund des Berechnungsergebnisses eine Wolframmenge von 12.260 t wiedergefunden. Dieser Wert liegt ca. 0,6 % unter dem der Vorratsberechnung (Pöhla-Globenstein insgesamt 43.437 t, davon 12.339 t im Modellgebiet).

Unter Berücksichtigung der in den bekannten Vorratsblöcken enthaltenen Metallmenge von 12.339 t ergibt sich damit ein maximal zu erwartender Vorratszuwachs von ca. 140.000 t. Insgesamt wären in diesem Fall lediglich 8 % der insgesamt im Untersuchungsgebiet möglichen WO₃-Vorräte in den berechneten Vorratsblöcken enthalten. Diese Zahl erscheint

aufgrund der großen potentiell vererzten Flächen plausibel. Weiterhin ist zu beachten, dass der größte Teil der Lagerstätte Pöhla-Globenstein mit einem Gesamtinhalt von 43.437 t WO_3 unmittelbar außerhalb des Prognosegebietes liegt. Bezieht man diese Vorräte mit ein, wären bereits 24 % der möglichen WO_3 -Vorräte in den berechneten Vorratsblöcken erfasst. Eine weitere Plausibilisierung der Schätzergebnisse erfolgte über die Rückrechnung der Metallmengen je Rasterzelle auf WO_3 -Gehalte (Tabelle 18).

Die Ergebnisse sind plausibel: Taube Skarne enthalten meist wenige Hundert ppm WO_3 , schwach vererzte Skarne enthalten ca. 0,13 % WO_3 , und gut vererzte Skarne > 0,3 % WO_3 . Die Mächtigkeit der Skarne liegt real zwischen 1 und 2 m bis > 10 m.

5.3 Auftreten von Skarnen ohne Berücksichtigung der darin potenziell enthaltenen Sn-W-Mineralisation

5.3.1 Übersicht

Die bisher vorgestellten Modelle des Rohstoffpotenzials für Skarne zeigen die Bedeutung des Magnet- und Schwerefeldes für die Identifizierung dieser Gesteine und deren Unterscheidung von strukturkontrollierten (Gang-) Mineralisationen. Mit der Nutzung dieser Potenzialfelder sind aber Be-

schränkungen verbunden: Grundsätzlich nimmt die erreichbare Auflösung mit der Tiefe ab, und die Teilfelder von Störkörpern in geringer Tiefe überlagern stark die Teilfelder aus größeren Tiefen.

Der alternative Ansatz zur Prognose der Skarne nutzt deshalb die geometrischen Eigenschaften der karbonatführenden Horizonte und der Granite sowie deren Lagebeziehungen zueinander und die Lage und Eigenschaften der Bruchtektonik. Hier bleibt die Zinn- bzw. Wolframführung zunächst unberücksichtigt. Durch die Lage der prognostizierten Skarne relativ zu den mineralisationskontrollierenden Graniten können bei der Auswertung des Prognoseergebnisses Rückschlüsse auf die zu erwartende Rohstoffführung gezogen werden.

Zunächst ist die räumliche Verbreitung karbonatführender Ausgangsgesteine von Bedeutung. Während fast alle geologischen Einheiten im Prognosegebiet vereinzelte Einlagerungen von Skarnen bzw. Metakarbonaten aufweisen (HOTH & BERGER, 1980), ist ein Großteil der Vorkommen in drei stratigraphischen Niveaus (Abb. 5-27) konzentriert: In der Raschau-Formation (und lokal der basalen Obermittweida-Formation) an der Basis der Klínovec-Gruppe, in der Griebbach-Formation an der Basis der Jáchymov-Gruppe und in der Herold-Formation an der Basis der Thum-Gruppe (LEONHARDT, 2009a).

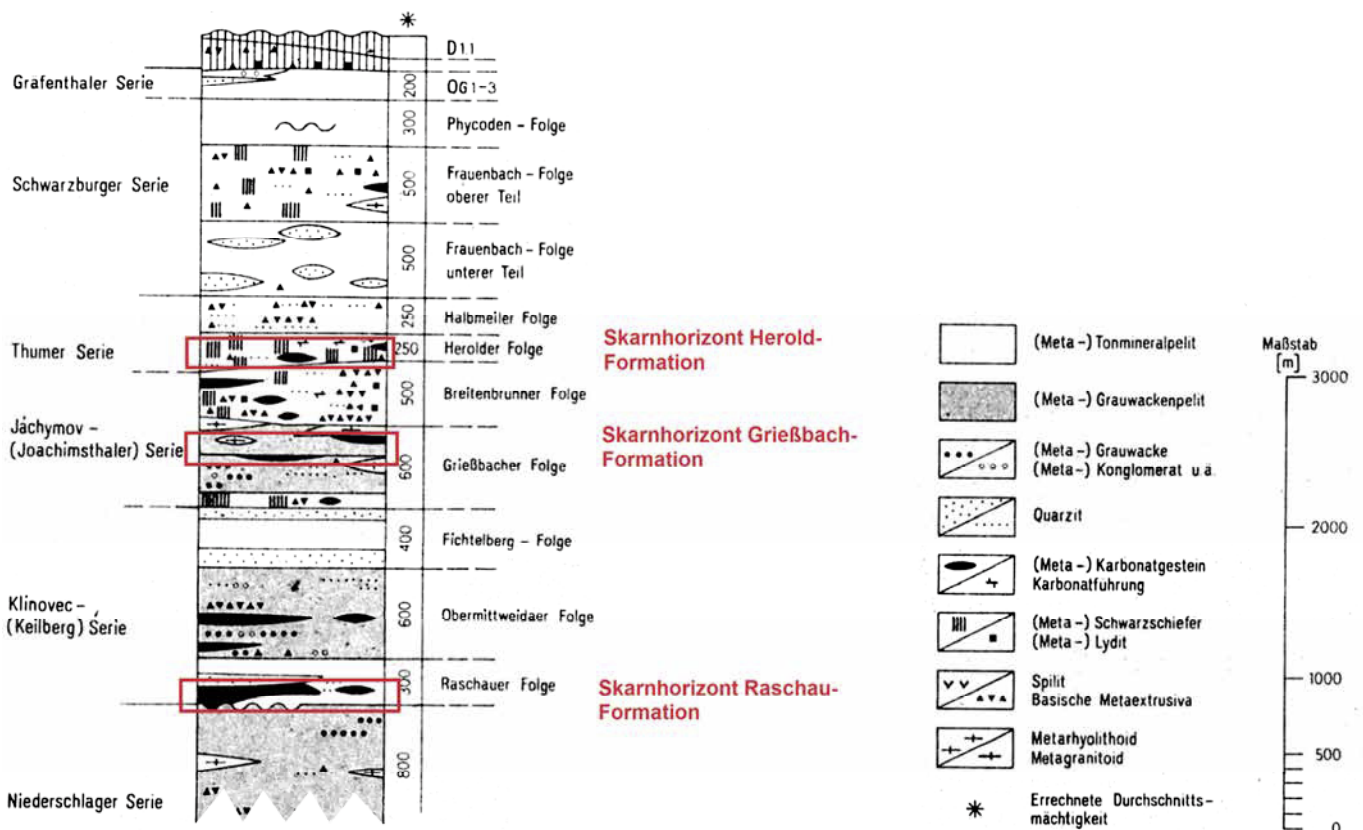


Abb. 5-27: Die Lithostratigraphie im Prognosegebiet (nach HOTH & BERGER, 1980) mit der stratigraphischen Position der drei modellierten Skarnhorizonte

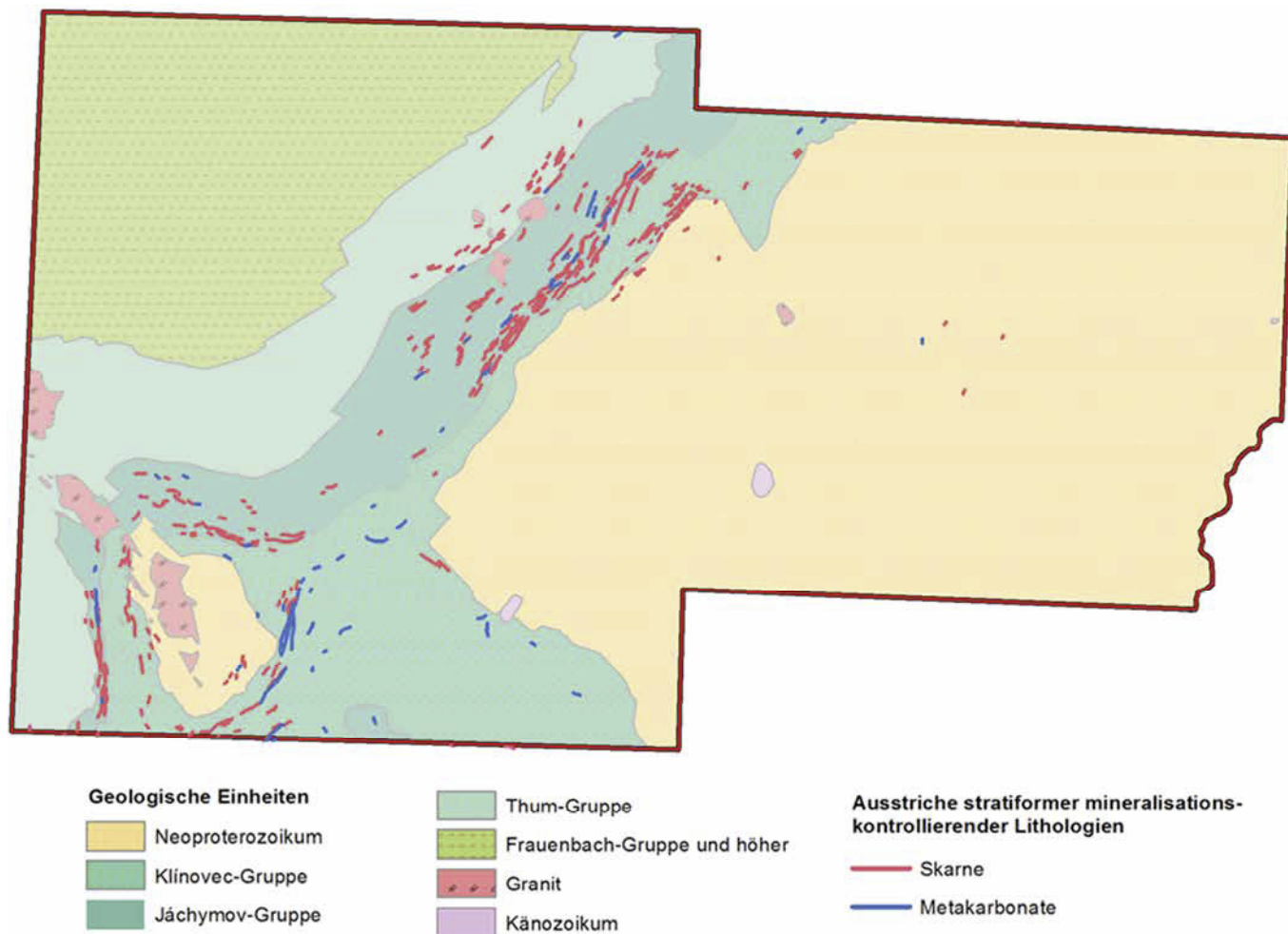


Abb. 5-28: Kartierte Verbreitung von Skarnen (rot) und Metakarbonaten (blau) im Prognosegebiet

Diese drei Horizonte wurden jeweils mit Ober- und Unterkante unter Verwendung der kartierten Skarn- und Metakarbonatausstriche (Abb. 5-28), der geologischen Grenzen in der GK50, der Streich- und Fallwertdaten und der Durchstoßpunkte der abweichungs- und teufenkorrigierten Bohrungen modelliert. Dabei ist festzuhalten, dass die Ober- und Untergrenzen der Skarnhorizonte nicht mit den Ober- und Untergrenzen der genannten Formationen identisch sind. So ist z. B. nur ein kleines Schichtpaket in der bedeutend mächtigeren Raschau-Formation als „Skarnhorizont Raschau-Formation“ ausgehalten worden (Abb. 5-30).

Während in der Herold- und Griebach-Formation die Grenzen der Skarnhorizonte weitgehend parallel zu den bereits modellierten Grenzen der Klínovec-, Jáchymov- und Thum-Gruppe verlaufen, ist der Abstand des Skarnhorizonts Raschau-Formation zur Basis der Klínovec-Gruppe sehr variabel. Westlich und nördlich der Schwarzenberger Gneiskuppel sowie südöstlich von Ehrenfriedersdorf folgt der Skarnhorizont fast unmittelbar über der Oberkante der neoproterozoischen Gneise, wogegen der Abstand Oberkante Neoproterozoikum zu Basis Skarnhorizont in der Hundsmarter Mulde und westlich von Elterlein mehrere hundert Meter betragen

kann. Zwischen Elterlein und Geyer keilt der Horizont praktisch aus.

Der zweite wesentliche skarnkontrollierende Faktor ist die Lagebeziehung zwischen karbonatführenden Sedimenten und dem Granit. Voraussetzung für die Verskarnung ist das Eindringen der aus dem Granit stammenden Fluide in die karbonatführenden Horizonte der Metasedimente (KWAK, 1987; MEINERT, 1992). Diese werden sich bevorzugt auf Trennflächen, d.h. entweder schichtungs-/schieferungsparallel oder auf Störungen bewegen. Wenn Granitoberfläche und Karbonathorizont parallel liegen, und keine Störungen vorhanden sind, werden kaum Metakarbonatlinsen angeschnitten, wodurch sich die Fluide weniger stark durch das Volumen der Metasedimente ausbreiten. Wenn dagegen Granitoberfläche und Skarnhorizont gegenläufig unter großen Winkeln zueinander einfallen, werden viele Linsen bzw. der komplette Skarnhorizont angeschnitten und die Fluide können sich entlang der Trennflächen (Schichtung bzw. Schieferung) optimal ausbreiten. Nimmt der vertikale Abstand zum Granit zu, so verliert dieser Effekt an Bedeutung und die Fluide müssen entlang von Störungen aufsteigen, um in den Karbonathorizont zu gelangen. Um diese räumlichen Beziehun-

gen in 2D-Rastern darstellen zu können, wird der Raumwinkel in eine vertikale und eine horizontale Komponente zerlegt. Dazu wird für jeden der drei Skarnhorizonte zunächst die Mittelfläche zwischen Ober- und Unterkante berechnet. Für diese Mittelfläche und die Granitoberkante werden der vertikale Abstand, die Differenz der Einfallwinkel und die Differenz der Streich- bzw. Fallrichtungen berechnet. Diese drei Arten von Modelleingangsdaten sind in Abb 5-31 bis Abb. 5-33 beispielhaft für den Skarnhorizont Raschau-Formation dargestellt.



Abb. 5-29: Beispiel für die Verskarnung von Marmor entlang von Bruchstrukturen: Umwandlung in graugrünen Pyroxenfels mit feinem Lagengefüge und mittigem sulfidführenden Trum mit Zinn-, Kupfer-, Zink- und Arsenmineralisation sowie Spuren vom Malayait. Ehrenfriedersdorf, 3. Sohle (Westfeld)

Der dritte wesentliche skarnkontrollierende Faktor sind die Bruchstrukturen (Abb. 5-29), entlang derer sich Fluide ausbreiten und in die Metakarbonathorizonte eindringen können (MEINERT, 1992). Aufgrund der Limitationen des 2,5D-Modellansatzes und auch der fehlenden Kenntnis des Einfallens vieler Störungen werden diese wie auch in den anderen Modellen als vertikal angenommen. Falls mineralisationskontrollierende Störungen nicht senkrecht einfallen, ergibt sich mit größerer Tiefe eine zunehmende Abweichung zwischen der prognostizierten zur tatsächlichen Lage prognostizierter Skarnvorkommen. Eine Übersichtsdarstellung der räumlichen Lage der drei Skarnhorizonte zeigt deren Staffelung (Abb. 5-30).

Grundsätzlich beruht dieser Modellansatz allein auf geometrischen Beziehungen zwischen geologischen Körpern. Damit ist es auch möglich, bereits erodierte Teile einer Lagerstätte (z. B. lithologisch kontrolliertes Zinn und Wolfram) zu modellieren, wenn die Geometrie der bereits erodierten geologischen Einheiten rekonstruiert werden kann. Im Prognosegebiet ist dies durch die bekannten Mächtigkeiten und Schichtorientierungen im Bereich der Schwarzenberger Gneiskuppel und an den Flanken der Annaberger Gneiskuppel möglich. Dazu werden die modellierten Metakarbonat- und

Skarnhorizonte analog den anderen Grenzflächen über die Geländeoberfläche hinaus erweitert (vgl. Abschnitt 4.2.3).

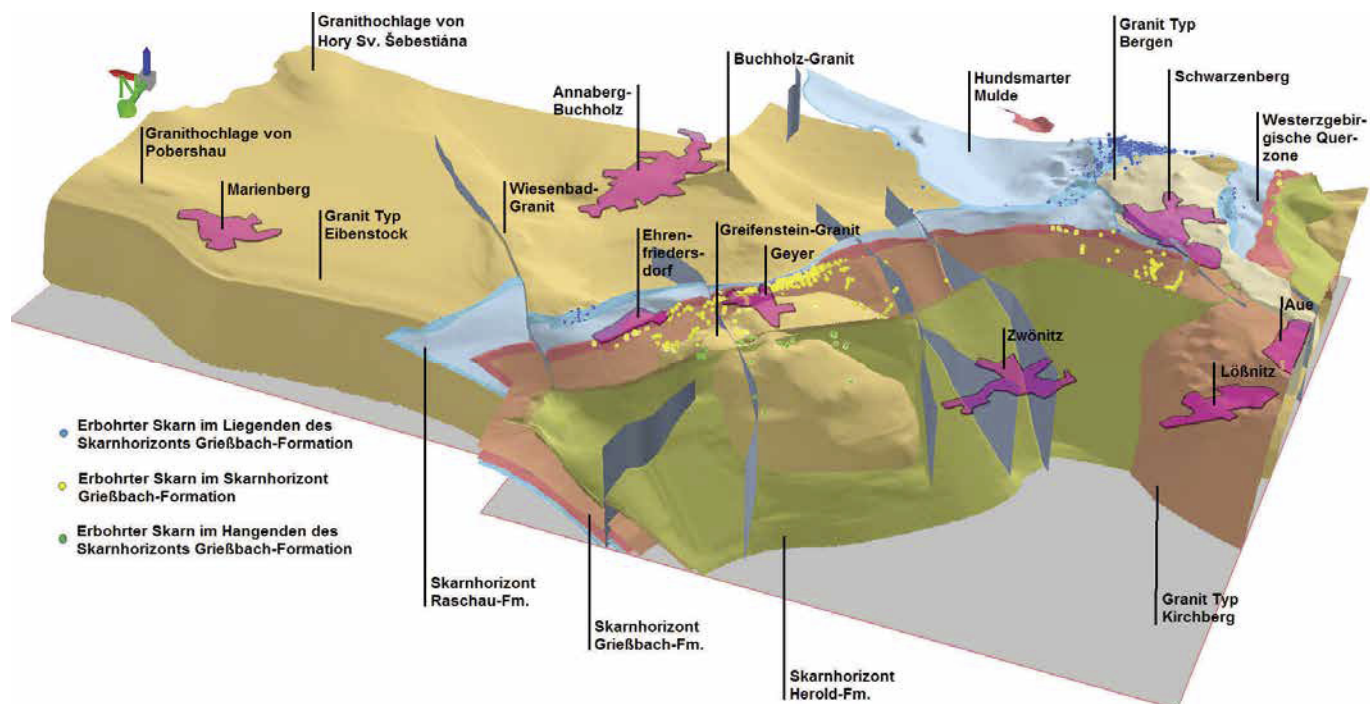


Abb. 5-30: 3D-perspektivische Darstellung (Blick von SW auf das Untersuchungsgebiet) der modellierten Skarnhorizonte und der Granitoberfläche

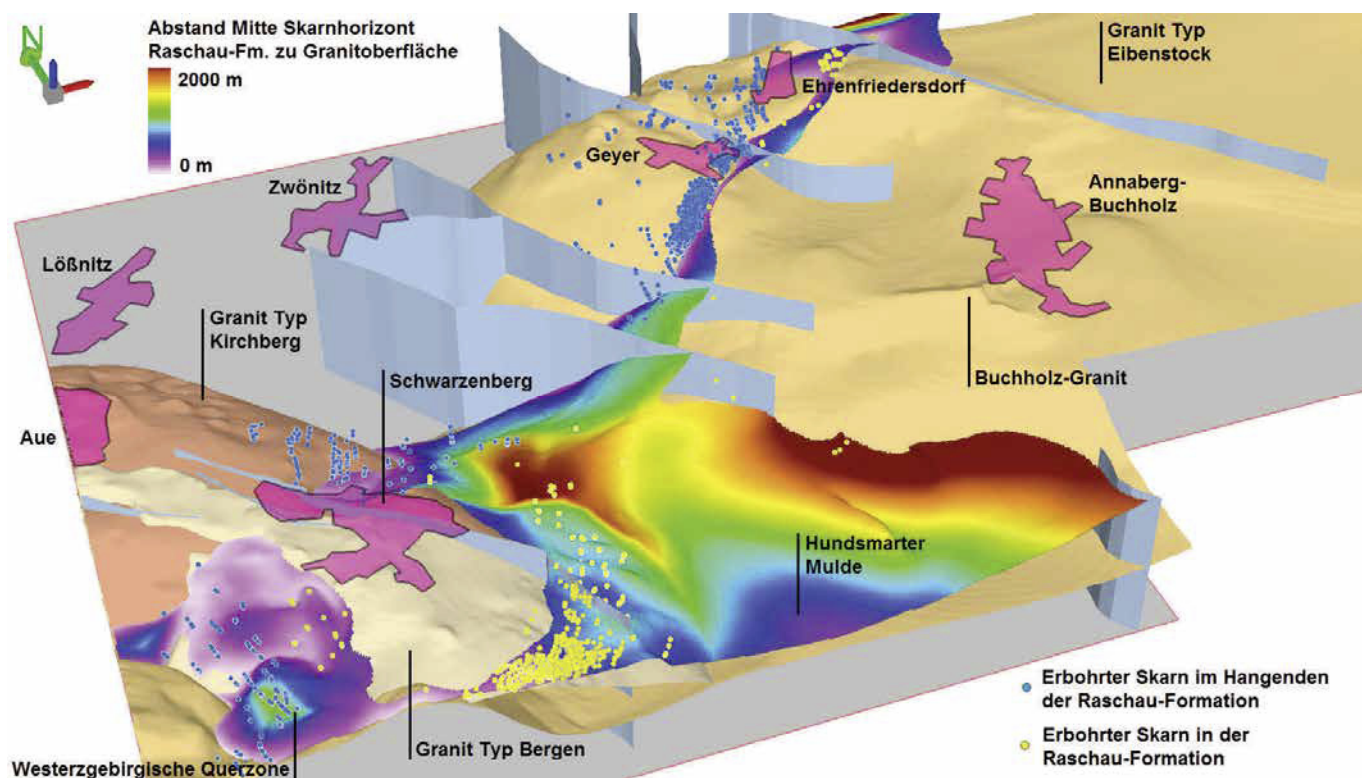


Abb. 5-31: 3D-perspektivische Darstellung (Blick von SW auf das Untersuchungsgebiet) des Skarnhorizontes Raschau-Formation: Abstand zur Granitoberfläche

Differenz des Einfallens Skarnhorizont
Raschau-Fm. zu Granitoberfläche

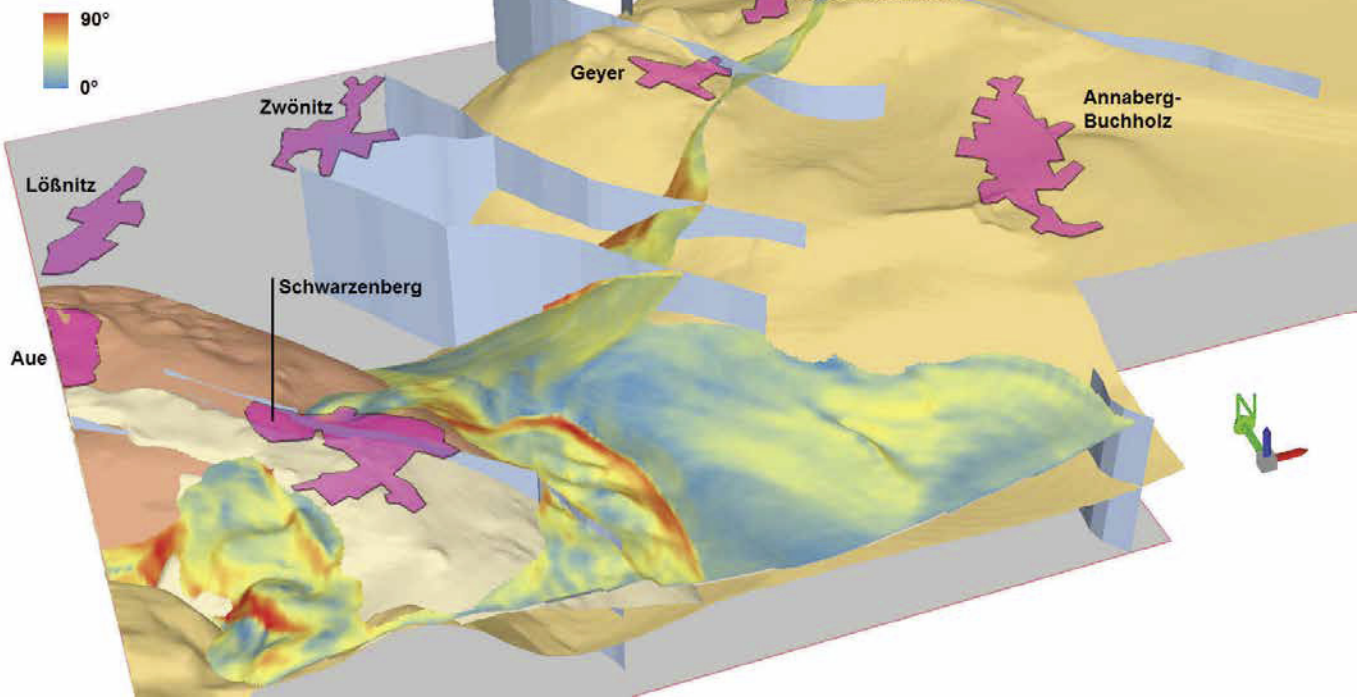


Abb. 5-32: 3D-perspektivische Darstellung (Blick von SW auf das Untersuchungsgebiet) des Skarnhorizontes Raschau-Formation: Differenz der Einfallwinkel von Granitoberfläche und Skarnhorizont

Differenz der Einfallrichtungen Skarnhorizont
Raschau-Fm. und Granitoberfläche

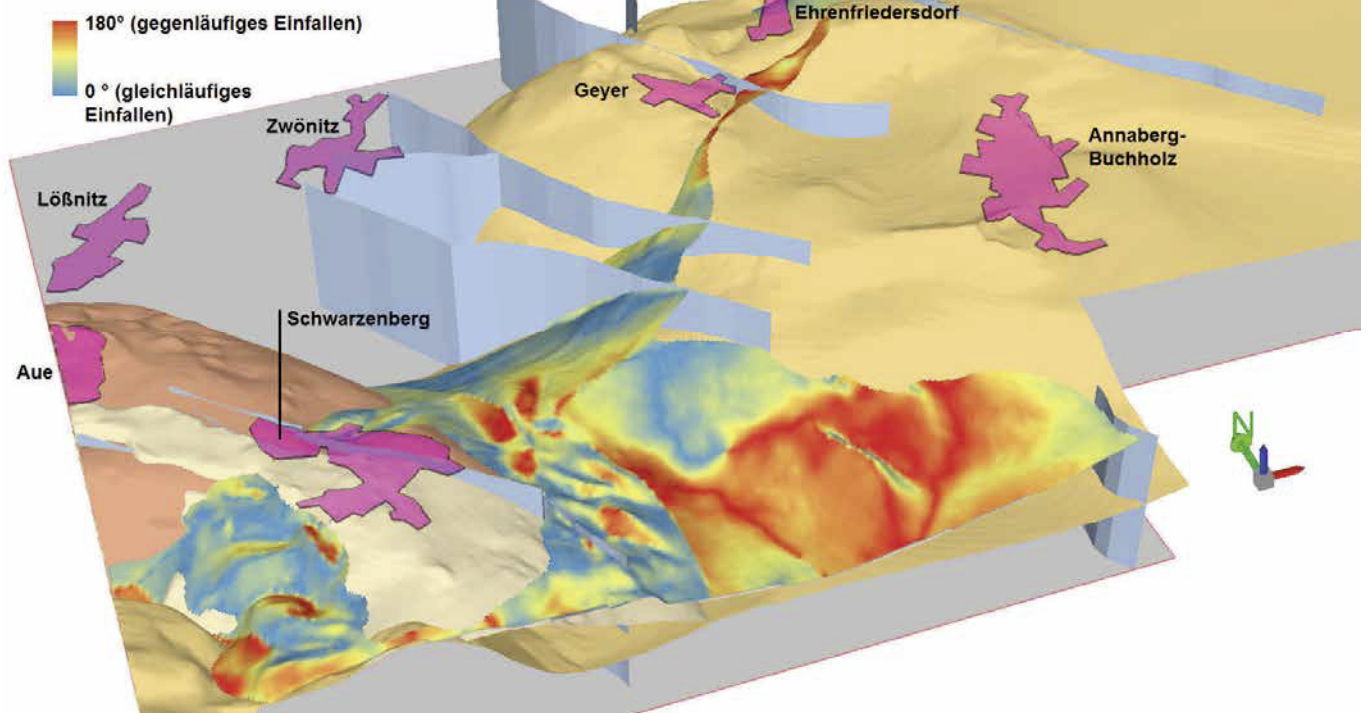


Abb. 5-33: 3D-perspektivische Darstellung (Blick von SW auf das Untersuchungsgebiet) des Skarnhorizontes Raschau-Formation: Differenz der Einfallrichtungen von Granitoberfläche und Skarnhorizont

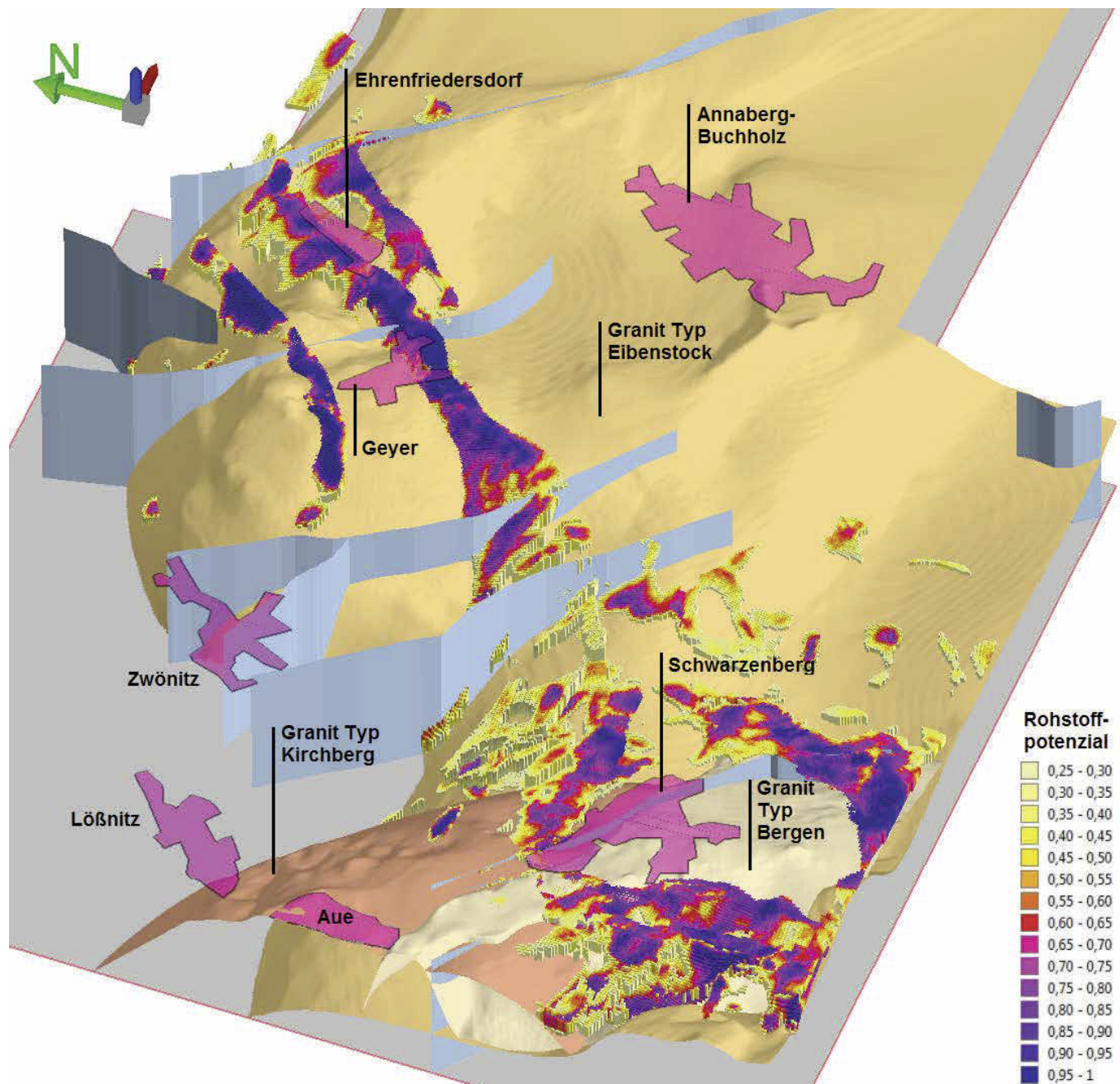


Abb. 5-34: 3D-Darstellung der drei Skarnhorizonte belegt mit dem berechneten Rohstoffpotenzial

Im Zuge der geologischen Interpretation muss das erhaltene Modell Zelle für Zelle mit den Höhen der Ober- und Unterkante des modellierten Skarnhorizontes belegt werden. Dann werden diese Werte dreidimensional mit der Granitoberfläche und der Geländeoberfläche verschnitten. Daraus ergeben sich die noch vorhandenen und die bereits erodierten perspektiven Volumina.

5.3.2 Skarnhorizont „Raschau-Formation“ (Anlage 11)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Prognostiziert wird das Auftreten von Skarnen aller Mineralisationstypen in Gesteinen der Raschau-Formation. Als Trainingsdaten werden Lokalitäten der bekannten Skarne in der

Raschau-Formation verwendet (kartierte Ausstrichflächen und Durchstoßpunkte von Bohrungen).

Die Mächtigkeit der einzelnen Skarnpakete innerhalb der Skarnhorizonte schwankt zwischen wenigen Dezimetern und sehr selten wenigen Dekametern. Die Skarne treten in mächtigeren lithologisch kontrollierten Horizonten von einigen Dekametern Mächtigkeit mit eingeschalteten Glimmerschiefern und Gneisen auf.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Kartierte und erbohrte Skarne der Raschau-Formation,

Modellparameter:

- Abstand Skarnhorizont – Granitoberfläche,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-180°,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-90°,
- Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-35) zeigt, dass ohne wesentliche Instabilitäten bereits nach 300 Iterationen ein stabiles Plateau mit einem RMS-Fehler von 6,03 % erreicht wird.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-35) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von < 0,1 während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen bei einem Prognosewert von ca. 0,95 liegt. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-36 und Anlage 11 dargestellt. Abschließend wurde die Sensitivität der Modelleingangsdaten durch Bestimmung der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ (siehe Kapitel 3.2) analysiert (Tabelle 19). Die folgenden Modelleingangsdaten wurden als wichtigste lagerstättenkontrollierenden Faktoren im Modell bestimmt:

- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-180°,

- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W.

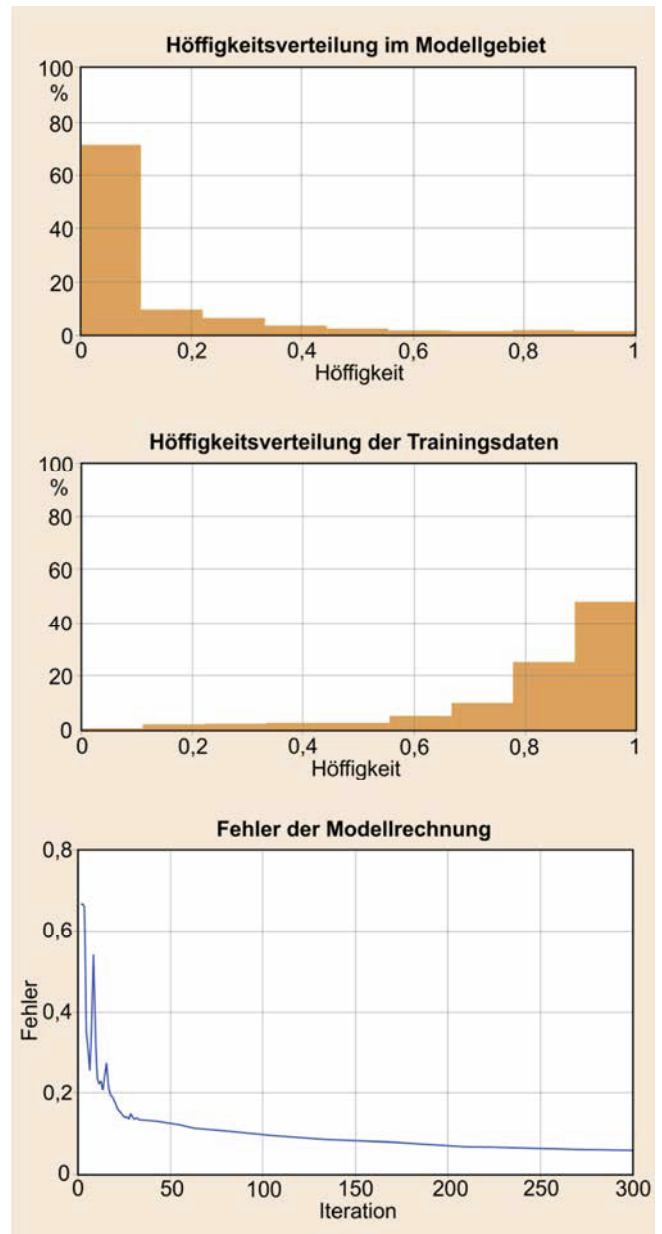


Abb. 5-35: Histogramme der Höufigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

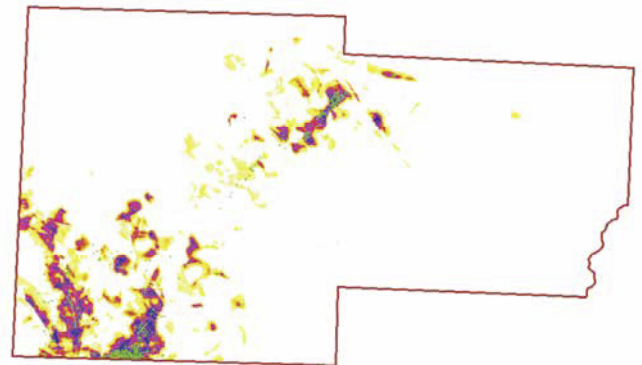


Abb. 5-36: Rohstoffpotenzialkarte für das Vorkommen von Skarnen in der Raschau-Formation (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Tabelle 19: Ranking der Gewichte der Modellparameter für das Vorkommen von Skarnen in der Raschau-Formation

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel	195895	9.33
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel	9328	2.58
Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-180°	5432	2.25
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W	227	2.21
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S	603	1.94
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß	579	1.93
Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-90°	-97	1.56
Störungen – euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	-139	1.47
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW	96	1.27
Abstand Skarnhorizont – Granitoberfläche	640	0.75
Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE	283	0.74
Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz	425	0.59
Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering	207	0.39

Geologische Interpretation

Als wesentliche lagerstättenkontrollierende Faktoren treten mittlere und große sowie gekrümmte Störungen mit E-W- und N-S-Streichen auf (Anlage 11, Beikarten 1, 2, 4, 5 und 6), die vermutlich besonders günstige Bedingungen für die Migration von Fluiden bilden. Ebenfalls hohe Bedeutung haben die beiden Komponenten des Winkels zwischen Granitoberfläche und Skarnhorizont (Anlage 11, Beikarten 3, 7). Der vertikale Abstand von der Granitoberfläche zum Skarnhorizont (Anlage 11, Beikarte 10) hat dagegen ein relativ geringes Gewicht, was nochmals die Bedeutung von Störungen als Fluidpfade und lagerstättenkontrollierende Faktoren herausstellt. Diese Besonderheit des Skarnhorizontes Raschau-Formation ist wohl dadurch bedingt, das aufgrund der geologischen Gegebenheiten ein Großteil der prognostizierten Skarne im Bereich der Gera-Jáchymov-Störungszone liegt. Die Skarne der anderen Horizonte liegen dagegen überwiegend an den Rändern dieser Störungszone bzw. im Dach des Mittelerzgebirgischen Plutons.

Das Anschnittsniveau dieses stratigraphisch tiefsten Skarnhorizonts ist relativ hoch. Größere erodierte Volumina werden nur im Dachbereich der Schwarzenberger Gneiskuppel und im östlichen Dachbereich des Mittelerzgebirgischen Plutons bei Geyer und Neundorf rekonstruiert.

Perspektive Gebiete

Im Gebiet 1 (Abb. 5-37) rund um Ehrenfriedersdorf sind aufgrund des unterlagernden Eibenstockgranits Zinnskarne zu erwarten. Im SW sind Flächen mit hohem Rohstoffpotenzial bis zum Granitkontakt bei +150 bis +200 m NN ausgewiesen. Im NE sind hohe Rohstoffpotenziale bis zu einer Höhe von +300 m NN gegeben, geringer perspektive Flächen sind aber noch bis zum Granitkontakt bei -500 m NN zu finden. Im Gebiet 2 südlich von Elterlein ist eine linsenförmige Zone ausgewiesen, die bis in eine Tiefe von -50 m NN reicht und mit der Teufe gegen den Granitkontakt im NE einschiebt. Hier ist ebenfalls Zinnführung zu erwarten, jedoch ist der Skarnhorizont geringmächtig ausgebildet (< 30 m). Damit sind auch nur wenige vererzte Zonen zu erwarten. Das Gebiet 3 liegt im Kontaktbereich von Kirchberg-, Bergen- und Eibenstock-Granit. Damit sind sowohl eine Zinn- als auch eine Wolframvererzung möglich. Dieses Gebiet ist charakterisiert durch seine große Tiefenerstreckung von +250 m NN bis -2600 m NN. Im Gebiet 4 südöstlich von Beierfeld ist aufgrund des unterlagernden Bergen-Granits eine Wolframvererzung zu erwarten. Die Tiefenerstreckung ist von der Oberfläche bis -100 m NN. Das Gebiet 5 umfasst die bekannten W-Skarnvorkommen von Antonsthal und weist auch die bereits im Modell für lithologisch kontrollierte Wolframmineralisationen erkannte Fortsetzung nach Norden auf. Im Südteil von Gebiet 5 ist die Tiefenerstreckung variabel von der Oberfläche bis hinab zu +200 bis +550 m NN. In Nordteil von Gebiet 5 erstrecken sich Bereiche mit hohem Rohstoffpotential von der Oberfläche bis hinab zu +350 m NN. Dort ist das Einfallen relativ flach, wodurch sich besonders große potentielle Abbaufächen in moderater Teufe (weniger als 300 m unter Geländeoberkante) ergeben würden. Gebiet 6 in den tiefsten Bereichen der Westerzgebirgischen Querzone folgt dem Kontakt von Bergen- und Eibenstock-Granit, wodurch sowohl Zinn- als auch Wolframvererzung möglich sind. Die Tiefenlage des perspektiven Gebiets ist überwiegend im Bereich von -150 bis -400 m NN, im Süden reichen Ausläufer bis hinauf zu +200 m NN.

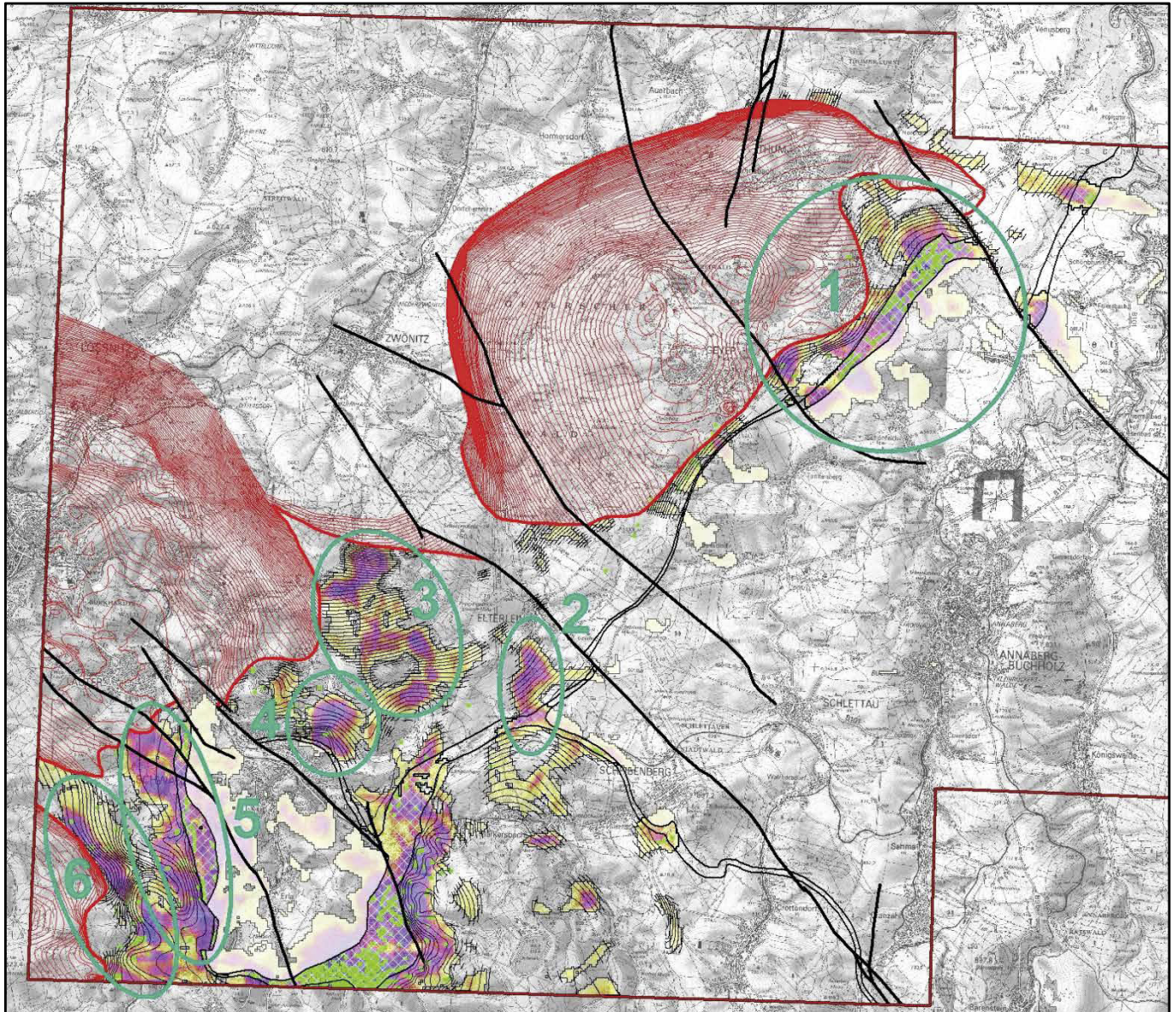


Abb. 5-37: Westteil des Prognosegebietes mit perspektiven Flächen im Skarnhorizont Raschau-Formation, den kartierten und erbohrten Skarnen (grün), dem Ausbiss des Skarnhorizontes gegen den Granit (dicke rote Linien), und der Morphologie der Granitoberfläche in Bereichen ohne Skarnhorizont (dünne rote Linien)

5.3.3 Skarnhorizont „Grießbach-Formation“ (Anlage 12)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Prognostiziert wird das Auftreten von Skarnen aller Mineralisationstypen in Gesteinen der Grießbach-Formation. Als Trainingsdaten werden Lokalitäten der bekannten Skarne in der Grießbach-Formation verwendet (kartierte Ausstrichflächen und Durchstoßpunkte von Bohrungen).

Die Mächtigkeit der einzelnen Skarnpakete innerhalb der Skarnhorizonte schwankt zwischen wenigen Dezimetern und sehr selten wenigen Dekametern. Die Skarne treten in mächtigeren lithologisch kontrollierten Horizonten von einigen Dekametern Mächtigkeit mit eingeschalteten Glimmerschiefern und Gneisen auf.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Kartierte und erbohrte Skarne der Grießbach-Formation,

Modellparameter:

- Abstand Skarnhorizont – Granitoberfläche,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-180°,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°-90°,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Als Trainingsdaten dienten die Lokalitäten der bekannten Skarne in der Grießbach-Formation (Basis der Jáchymov-Gruppe) im Untersuchungsgebiet.

Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-38) zeigt, dass ohne wesentliche Instabilitäten nach 300 Iterationen ein stabiles Plateau mit einem RMS-Fehler von 4,27 % erreicht wird.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-38) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von < 0,1 während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von ca. 0,95 liegt. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-39 und Anlage 12 dargestellt.

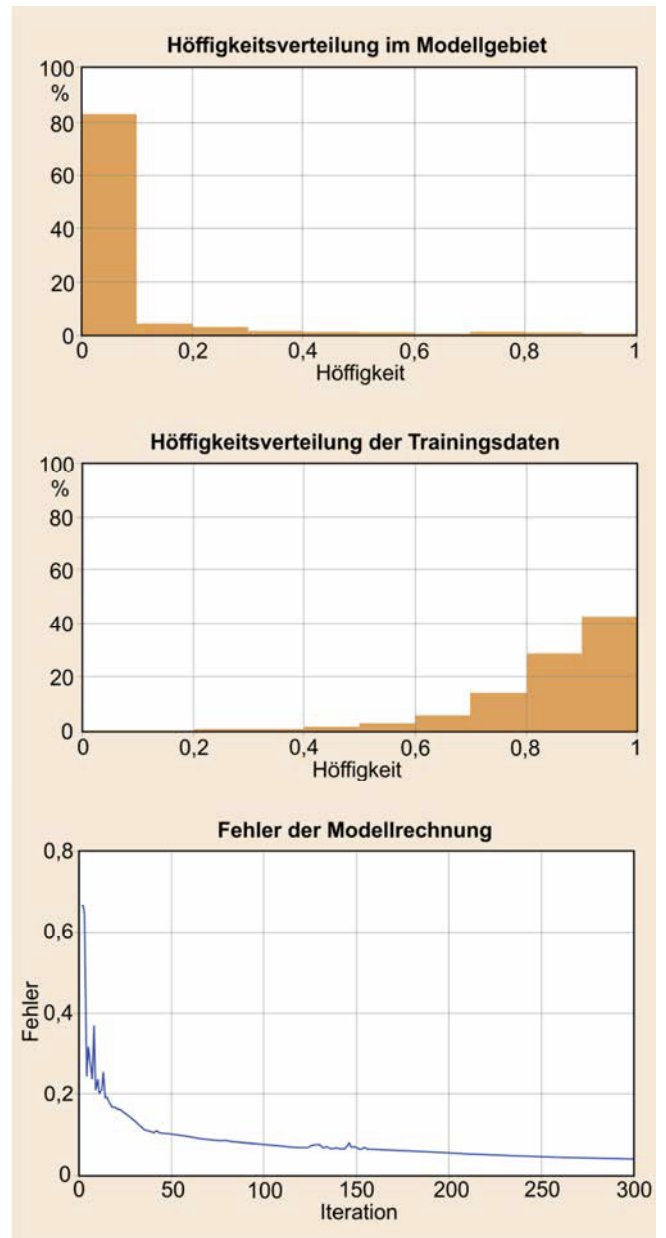


Abb. 5-38: Histogramme der Höufigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

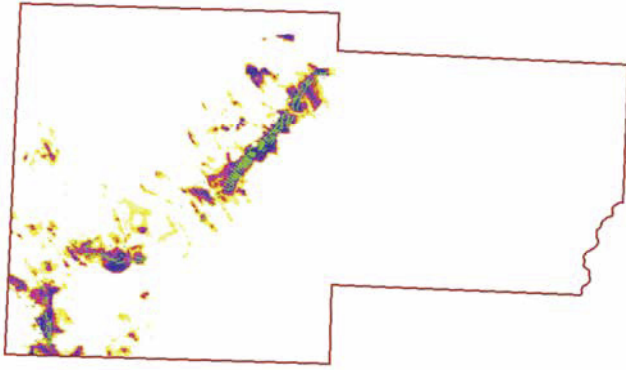


Abb. 5-39: Rohstoffpotenzialkarte für das Vorkommen von Skarnen in der Griebach-Formation (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Tabelle 20: Ranking der Gewichte der Modellparameter für das Vorkommen von Skarnen in der Griebach-Formation

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	-3896	4.82
Abstand Skarnhorizont - Granitoberfläche	-17081	3.84
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	-254	2.82
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	-221	2.37
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	-71	2.36
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	195	2.15
Differenz Einfallen Granitoberfläche - Einfallen Skarnhorizont 0°-90°	-562	1.88
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	-44	1.57
Differenz Einfallen Granitoberfläche - Einfallen Skarnhorizont 0°-180°	-308	1.44
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	-32	1.41
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	-260	1.15
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	-122	0.65
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	-127	0.52

Die Rohstoffpotenzialkarte zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten fast immer vollständig einschließt. Abschließend wurde die Sensitivität der Modelleingangsdaten durch Bestimmung der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ (siehe Kapitel 3.2) analysiert (Tabelle 20). Die folgenden Modelleingangsdaten wurden als wichtigste lagerstättenkontrollierende Faktoren im Modell bestimmt:

- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß,
- Abstand Skarnhorizont - Granitoberfläche,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW.

Geologische Interpretation

Als wesentliche lagerstättenkontrollierende Faktoren treten sehr große sowie gekrümmte Störungen mit E-W-, N-S- und NE-SW-Streichen auf (Anlage 12, Beikarten 1, 3, 4, 5 und 6), die offensichtlich günstige Bedingungen für die Migration von Fluiden bilden. Ebenfalls relativ hohe Bedeutung haben die beiden Komponenten des Winkels zwischen Granitoberfläche und Skarnhorizont (Anlage 12, Beikarten 7, 9). Der vertikale Abstand von der Granitoberfläche zum Skarnhorizont (Anlage 12, Beikarte 2) hat ein hohes Gewicht, was eine ausgewogene Bedeutung von Störungen als Fluidpfade und Nähe zum Granit als lagerstättenkontrollierende Faktoren herausstellt. Die prognostizierten Skarne liegen überwiegend an den Rändern der Gera-Jáchymov-Störungszone bzw. im Dach des Mittelerzgebirgischen Plutons. Dadurch fällt für diese Horizonte die Bedeutung von Störungen als Fluidmigrationswege weniger ins Gewicht und die Bedeutung der Granitmorphologie tritt stärker heraus.

Die prognostizierten Skarne auf der Süd- und Ostseite der Schwarzenberger Gneiskuppel sind vollständig erodiert. Östlich von Ehrenfriedersdorf ist der Horizont ebenfalls tief angeschnitten, während nach Südwesten hin noch größere Teile des Skarns in der Tiefe erhalten sind. Insgesamt sind rund 50 % der prognostizierten Vorkommen erodiert.

Perspektive Gebiete

Nordöstlich von Geyer (Gebiet 1, Abb. 5-40) sind die Skarn-Vorkommen der Griebach-Formation bereits tief angeschnitten, erstrecken sich aber noch bis in eine Tiefe von +400 m NN, lokal bis +100 m NN. Die südwestliche Fortsetzung (Gebiet 2) zeigt dagegen ein höheres Anschnittsniveau und eine größere Tiefenerstreckung bis -500 m NN, an einer Stelle sogar bis -850 m NN. Da beide Gebiete die Kuppel des Granits Typ Eibenstock säumen und im Zentralteil bereits Zinn-Vorratsblöcke ausgewiesen sind (Lagerstätten von Geyer), ist hier ebenfalls mit Zinnführung zu rechnen.

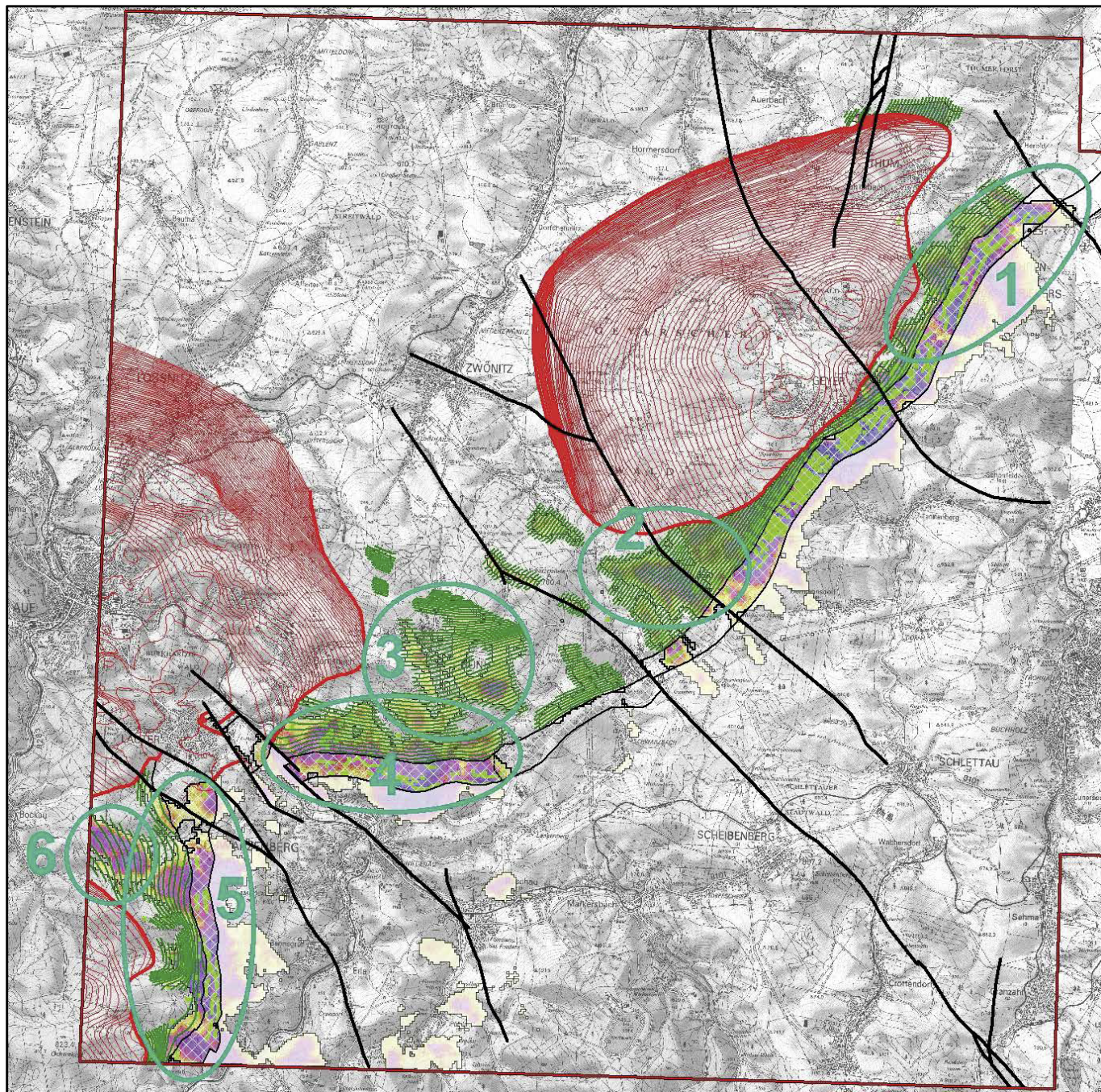


Abb. 5-40: Westteil des Untersuchungsgebietes mit perspektiven Flächen im Skarnhorizont Griebbach-Formation, den kartierten und erhobten Skarnen (grün), dem Ausbiss des Skarnhorizontes gegen den Granit (dicke rote Linien), und der Morphologie der Granitoberfläche in Bereichen ohne Skarnhorizont (dünne rote Linien)

Bei Grünhain im Kontaktbereich der drei Granitintrusionen (Gebiet 3) ist sowohl Zinn- als auch Wolframvererzung möglich. Die höchsten Rohstoffpotenziale sind in Tiefen von -50 bis -400 m NN gegeben, Flächen mit geringerem Rohstoffpotenzial (0,25 bis 0,5) erstrecken sich bis -2000 m NN. Das perspektive Gebiet nördlich von Schwarzenberg (Gebiet 4) liegt über dem Granit Typ Kirchberg und an der Flanke des Granits Typ Bergen. Damit ist vor allem Wolframvererzung zu erwarten. Die Tiefererstreckung reicht von der Oberfläche bis auf + 100 m NN, lokal auch bis -300 m NN.

In der Westerzgebirgischen Querzone (Gebiete 5 und 6) bei Antonsthal tritt die Jáchymov-Gruppe in stark reduzierter Mächtigkeit auf. Daher ist hier im Vergleich zu den anderen Gebieten mit einer insgesamt geringmächtigeren Vererzung zu rechnen. Allerdings wird durch die Mächtigkeitsreduktion auch der Abstand zwischen den drei Skarnhorizonten reduziert, so dass in Kombination wieder bedeutende vererzte Mächtigkeiten auftreten können. Obwohl vermutlich mehr als die Hälfte des Vorkommens bei Antonsthal erodiert ist, erreicht die prognostizierte Vererzung in drei Bereichen noch

Teufen von +50 bis +300 m NN. Im südlichen Bereich ist aufgrund der Nähe zum Eibenstocker Granitmassiv mit dem Auftreten von Zinn zu rechnen, während der Rest des Gebietes vom Granit Typ Bergen unterlagert wird und daher wolframführend sein dürfte. Südwestlich von Lauter im tiefsten Teil der Westerzgebirgischen Querzone (Gebiet 6) am Kontakt der Granittypen Eibenstock und Bergen, ist Zinn- und Wolframführung zu erwarten (-150 m NN bis +200 m NN).

5.3.4 Skarnhorizont „Herold-Formation“ (Anlage 13)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Prognostiziert wird das Auftreten von Skarnen aller Mineralisationstypen in Gesteinen der Herold-Formation. Als Trainingsdaten werden Lokalitäten der bekannten Skarne in der Herold-Formation verwendet (kartierte Ausstrichflächen und Durchstoßpunkte von Bohrungen).

Die Mächtigkeit der einzelnen Skarnpakete innerhalb der Skarnhorizonte schwankt zwischen wenigen Dezimetern und sehr selten wenigen Dekametern. Die Skarne treten in mächtigeren lithologisch kontrollierten Horizonten von einigen Dekametern Mächtigkeit mit eingeschalteten Glimmerschiefern und Gneisen auf.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Kartierte und erbohrte Skarne der Herold-Formation,

Modellparameter:

- Abstand Skarnhorizont – Granitoberfläche,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°–180°,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°–90°,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – kurz,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – gering,
- Störungen – euklidischer Abstand: Sinuosität – mittel,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NE-SW,

- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – N-S,
- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – NW-SE.

Als Trainingsdaten dienen die Lokalitäten der bekannten Skarne in der Herold-Formation (Basis der Thum-Gruppe) im Untersuchungsgebiet.

Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Fehlerkurve (Abb. 5-41) zeigt, dass ohne wesentliche Instabilitäten nach 300 Iterationen ein stabiles Plateau mit einem RMS-Fehler von 1,20 % erreicht wird.

Die Histogramme der Modellierungsergebnisse (Abb. 5-41) weisen ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von < 0,1 während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert nahe 1 liegt. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-42 und Anlage 13 dargestellt.

Die Rohstoffpotenzialkarte zeigt eine klare Konturierung zusammenhängender Gebiete mit hohem Potenzial, welches die Trainingsdaten vollständig einschließt.

Abschließend wurde die Sensitivität der Modelleingangsdaten durch Bestimmung der „Connection Weights“ und der Gewichtung nach „Garson's Algorithm“ (siehe Kapitel 3.2) analysiert (Tabelle 21). Die folgenden Modelleingangsdaten wurden als wichtigste lagerstättenkontrollierenden Faktoren im Modell bestimmt:

- Störungen – euklidischer Abstand: Streichrichtung – E-W,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – sehr groß,
- Störungen – euklidischer Abstand: Länge – mittel,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°–90°,
- Abstand Skarnhorizont – Granitoberfläche,
- Differenz Einfallen Granitoberfläche – Einfallen Skarnhorizont 0°–180°.

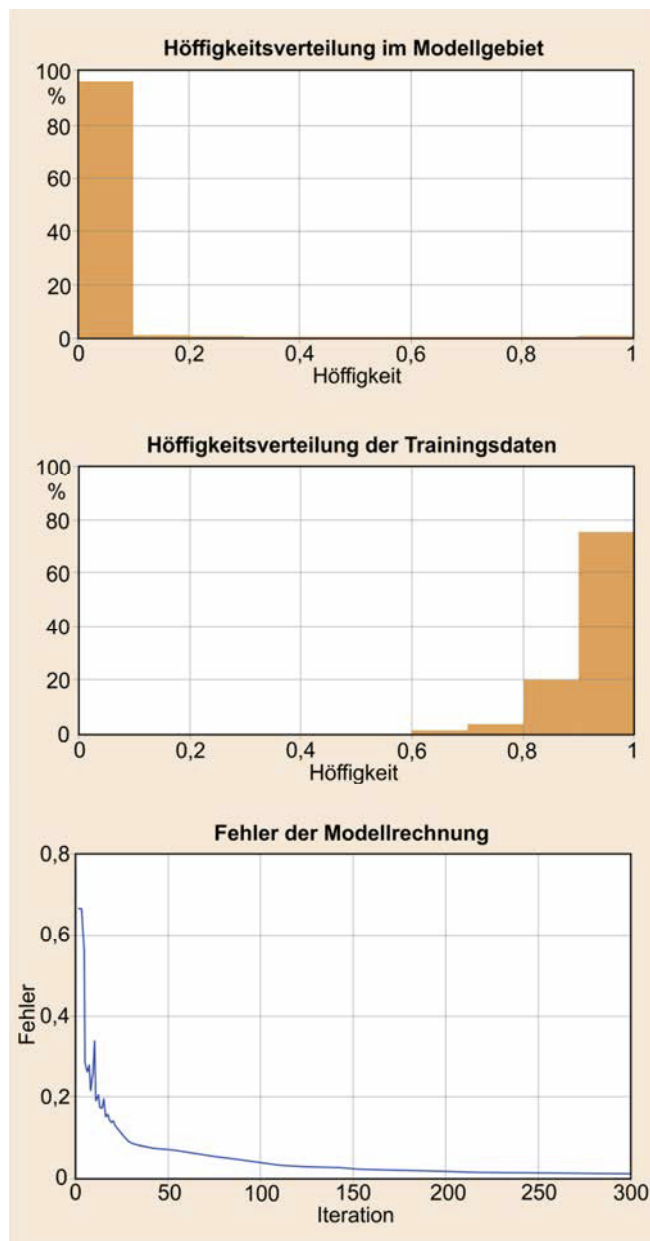


Abb. 5-41: Histogramme der Höffigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung



Abb. 5-42: Rohstoffpotenzialkarte für das Vorkommen von Skarnen in der Herold-Formation (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Tabelle 21: Ranking der Gewichte der Modellparameter für das Vorkommen von Skarnen in der Herold-Formation

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	-4074	4.29
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	-675	3.52
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	-95	2.73
Differenz Einfallen Granitoberfläche - Einfallen Skarnhorizont 0°-90°	96	2.64
Abstand Skarnhorizont - Granitoberfläche	87	2.44
Differenz Einfallen Granitoberfläche - Einfallen Skarnhorizont 0°-180°	58	2.35
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	-140	1.96
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	-58	1.77
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	-126	1.75
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	126	1.41
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	29	1.17
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	-109	0.78
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	-16	0.19

Geologische Interpretation

Als wesentliche skarnkontrollierende Faktoren treten sehr große und mittlere sowie gekrümmte Störungen mit E-W-, untergeordnet auch N-S-Streichen auf (Anlage 13, Beikarten 1, 2, 3 und 9), die vermutlich besonders günstige Bedingungen für die Migration von Fluiden bilden. Ebenfalls relativ hohe Bedeutung haben die beiden Komponenten des Winkels zwischen Granitoberfläche und Skarnhorizont (Anlage 13, Beikarte 4 und 6). Der vertikale Abstand von der Granitoberfläche zum Skarnhorizont (Anlage 13, Beikarte 5) hat ein hohes Gewicht, was eine ausgewogene Bedeutung von Störungen als Fluidpfade und Nähe zum Granit als lagerstättenkontrollierende Faktoren herausstellt.

Die prognostizierten Skarne liegen überwiegend an den Rändern der Gera-Jáchymov-Störungszone bzw. im Dach des Mittelerzgebirgischen Plutons. In diesem stratigraphisch höchsten Skarnhorizont ist das Anschnittsniveau vergleichsweise gering: An den Flanken der Gneiskuppeln von Annaberg und Schwarzenberg erreicht die Herold-Formation sehr rasch hohe Abstände vom Granit, so dass die Skarnmineralisation auf ein relativ schmales Band begrenzt war. So haben sich auf der Süd- und Ostseite der Schwarzenberger Gneiskuppel vermutlich nie granitbeeinflusste Skarne in diesem Horizont gebildet. Bei Geyer und Ehrenfriedersdorf ist das Anschnitts-

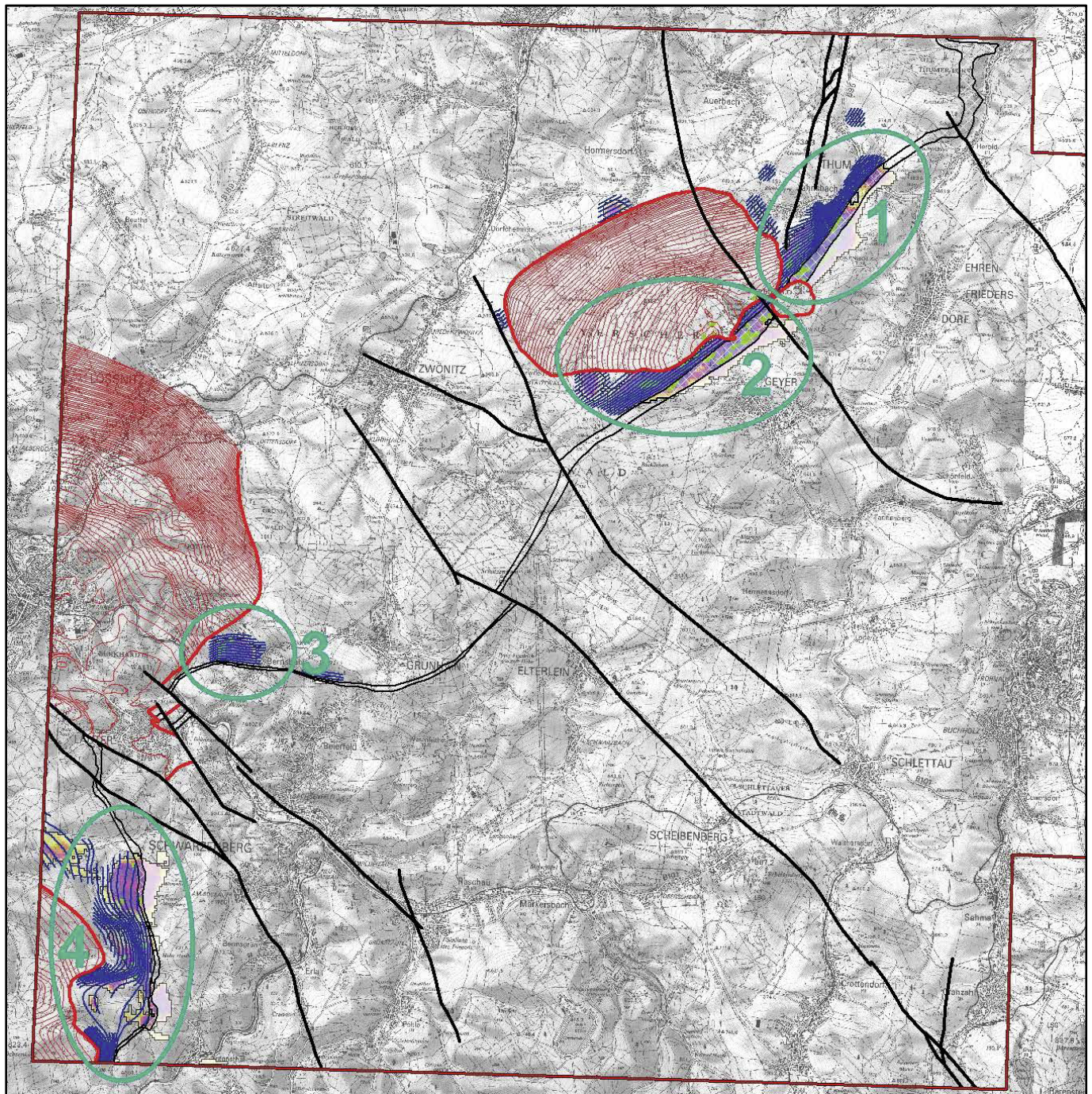


Abb. 5-43: Westteil des Prognosegebietes mit perspektiven Flächen im Skarnhorizont Herold-Formation, den kartierten und erbohrten Skarnen (grün), dem Ausbiss des Skarnhorizontes gegen den Granit (dicke rote Linien), und der Morphologie der Granitoberfläche in Bereichen ohne Skarnhorizont (dünne rote Linien)

niveau recht hoch, allerdings keilt bei Geyer der Horizont bereits in geringer Tiefe gegen den Granit aus, wodurch kein großes erzführendes Volumen zu erwarten ist.

Perspektive Gebiete

Bei Geyer und Ehrenfriedersdorf (Abb. 5-43, Gebiet 1) sind Zinnvererzungen zu erwarten. Dieses perspektive Gebiet wird durch den Ausstrich des Greifenstein-Granits zweigeteilt. Im Nordteil reicht die Oberkante der prognostizierten Skarne hinab bis +250 m NN, bei Jahnsbach lokal sogar bis -100 m NN. Im Südteil (Gebiet 2) ist die Tiefenerstreckung durch die

Granithochlage auf Werte um +500 m NN begrenzt, im Südwesten folgt das prognostizierte Vorkommen dem Granit bis in eine Tiefe von +250 m NN, mit möglichen Ausläufern bis -250 m NN. Bei Bernsbach (Gebiet 3) erstreckt sich ein kleines perspektives Gebiet mit potenzieller Wolframvererzung von knapp unter der Oberfläche bis +100 m NN. Im Gebiet von Antonsthal und seiner nördlichen und südlichen Fortsetzung (Gebiet 4) reicht die Vererzung in drei Abschnitten von der Oberfläche bis in +50 bis +300 m Teufe. Im Süden ist durch das unterlagernde Eibenstock-Massiv mit Zinnvererzung, im Restgebiet mit Wolframvorkommen zu rechnen. Der mögliche

nordwestliche Ausläufer im Tiefenbereich -150 bis +200 m NN entlang der Kontakts der Granittypen Eibenstock, Bergen und Kirchberg kann sowohl Zinn- als auch Wolframmineralisation führen.

5.4 Flussspat

5.4.1 Übersicht

Im mittleren Erzgebirge sind zahlreiche gangförmige Flussspatmineralisationen in unterschiedlichen Paragenesen entlang der großen tiefreichenden Störungszonen mit NW-SE-Streichen bekannt. Im Prognosegebiet sind dies die Gera-Jáchymov-Störungszone im Südwesten des Gebietes sowie die Wiesenbad- und Warmbad-Chomutov-Störung im Osten. Im Süden weisen zudem die Schlettau- und die Fortsetzung der Scheibener Störung Fluorit-Baryt-Mineralisationen auf (Lagerstätten Niederschlag und Schlettau). Im industriellen Maßstab wurde Flussspat im Prognosegebiet bisher nur in Marienberg-Lauta abgebaut (Tscherper Flacher, 1955-58, ca. 48.600 t Rohspat, Mächtigkeit bis zu 3 m (HAYEK & IHLE, 2008). Darüber hinaus ist Flussspat häufig auf den meisten hydrothermalen und pneumatolytischen Mineralisationen anzutreffen, erreicht aber hier nicht die für bauwürdige Vorkommen erforderlichen Mengen und Gehalte.

Neben den strukturkontrollierten Lagerstätten sind im Prognosegebiet auch lithologisch kontrollierte Fluoritvorkommen in Skarnen bekannt. Diese konzentrieren sich in der Umrahmung der Schwarzenberger Gneiskuppel, wo Teilelemente der tiefreichenden Gera-Jáchymov-Störungszone die metakarbonatführenden Glimmerschiefer bis Gneise der Klínovec- und Jáchymov-Gruppe durchsetzen. In der Lagerstätte Pöhl-Globenstein ist Fluorit als nutzbare Nebenkompente in Wolfram-Skarnen ausgewiesen (KAUFMANN u. a., 1988).

Für die Gewinnung des Flussspats als Hauptkomponente kommen allerdings nur strukturkontrollierte Mineralisationen in Betracht, da die lithologisch kontrollierten Vorkommen ungenügende Rohstoffgehalte aufweisen.

Aufgrund des Fehlens von Informationen zu Vorräten (diese liegen nur für den „Tscherper Flachen“ vor) können für Flussspat keine quantitativen Prognosen gerechnet werden.

5.4.2 Strukturkontrollierte Mineralisationen (Anlage 14)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Flussspat tritt im Prognosegebiet in den verschiedensten hydrothermalen Gangmineralisationen in verschiedensten Altersstellungen auf. Produktive Mineralisationen im Sinn der Ausbildung größerer bauwürdiger Flussspatkörper sind meist an große NW-SE-streichende Bruchstrukturen bzw. anschaa-

rende Elemente gebunden. Vereinzelt können auch andere Richtungen größere Flussspatmengen enthalten. Die konkrete räumliche Lage industriell verwertbarer Anreicherungen von Flussspat ist dabei auf tiefreichende Störungszonen in meist klüftungsfreundlichem Nebengestein beschränkt. Weiterhin ist das Vorhandensein ausreichend großer offener Hohlräume für die Mineralabscheidung von Bedeutung. Daher spielen sowohl die Ausbildung (vor allem Form und Bewegungssinn) der Bruchstrukturen zum Zeitpunkt der Mineralabscheidung, als auch die bruchmechanischen Eigenschaften des Nebengesteins eine entscheidende Rolle für die Bildung größerer Fluoritvorkommen.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Bekannte Gänge mit größerer Flussspatmineralisation,

Modellparameter:

- Bachsediment-Geochemie - log10 Ba: Absolutwert,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Neoproterozoikum,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv,
- Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE,
- Verbreitungsgebiet: Granite (insgesamt).

Als Trainingsdaten dienten die Lokalitäten der bekannten Flussspatgänge (siehe Abschnitt 4.1.2) im Untersuchungsgebiet. Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Trainingskurve (Abb. 5-44 unten) zeigt, dass nach 1000 Trainingsiterationen ein stabiles Plateau beim RMS-Fehler von 1,5 % (entspricht 0,015 in Abb. 5-44 unten) erreicht wird. Das Histogramm des Prognoseergebnisses (Abb. 5-44 oben) weist ebenfalls eine sehr gute Anpassung des Netzes an die Modellparameter nach: Das Maximum für das Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$. Abb. 5-44 (Mitte) zeigt den Vergleich der für die Trainingsdaten vergebenen Rohstoffpotenziale und der berechneten Rohstoffpotenziale. Es zeigt sich, dass die geringwertigsten Vorkommen über einen weiten Bereich streuen, während die höherwertigen Vorkommen leicht unterbewertet werden. Dies zeigt, dass auch in Bereichen mit hohem Rohstoffpotenzial auf manchen Bruchstrukturen nur geringe Mengen an Flussspat auftreten. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-45 und Anlage 14 dargestellt.

Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 22) sind bis auf das Gewicht der Granitaustrichfläche insgesamt ausgewogen und lassen sich geologisch gut interpretieren. Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren im Modell ermittelt:

- Verbreitungsgebiet: Granite (insgesamt),
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv.

Geologische Interpretation

Wie erwartet, hat die Lithologie des Nebengesteins einen großen Einfluss auf die Flussspathöufigkeit. Die höchste Gewichtung im Modell erfahren die Ausstrichgebiete der Granite (Anlage 14, Beikarte 1) und der Klínovec-Gruppe (Anlage 14, Beikarte 6) als Gebiete, in denen Flussspatmineralisationen nicht bekannt sind. In den Glimmerschiefern und insbesondere den Phylliten der kambrischen und ordovizischen Einheiten bilden sich im Untersuchungsgebiet offensichtlich keine größeren Gangspalten, die bedeutende Mengen an Spaten aufnehmen könnten. Die meisten bedeutenderen Flussspatmineralisationen befinden sich auf Strukturen im Verbreitungsgebiet des Neoproterozoikums.

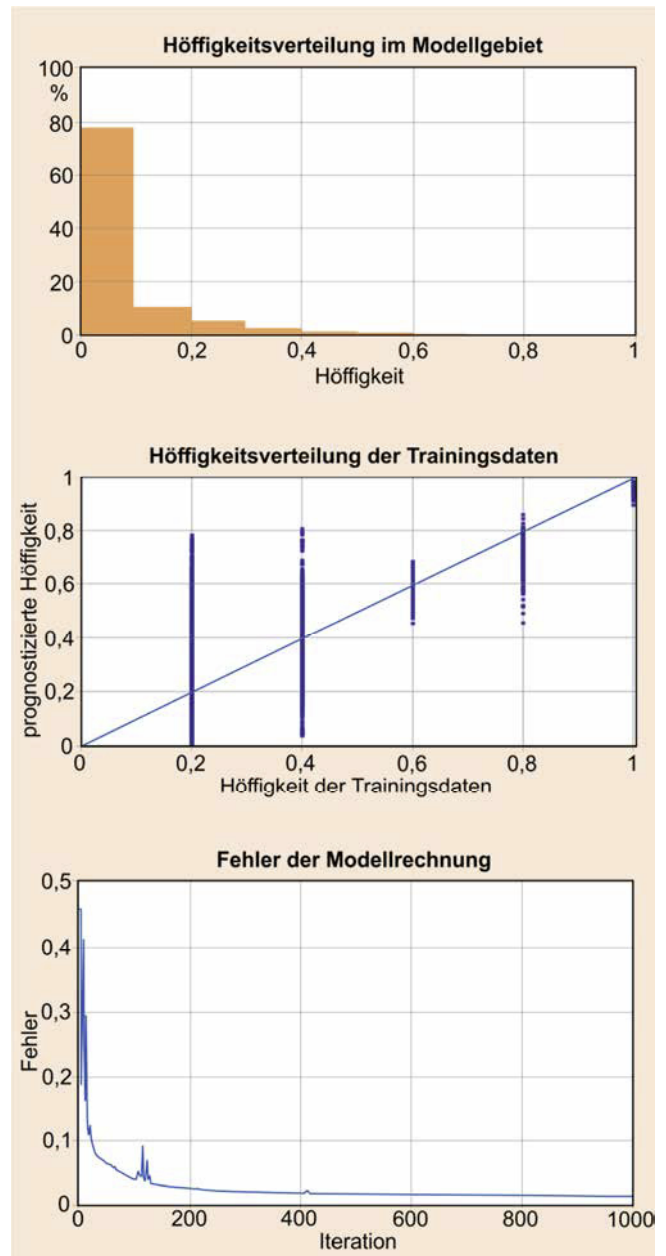


Abb. 5-44: Histogramme der Höufigkeitswerte für das Gesamtgebiet und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

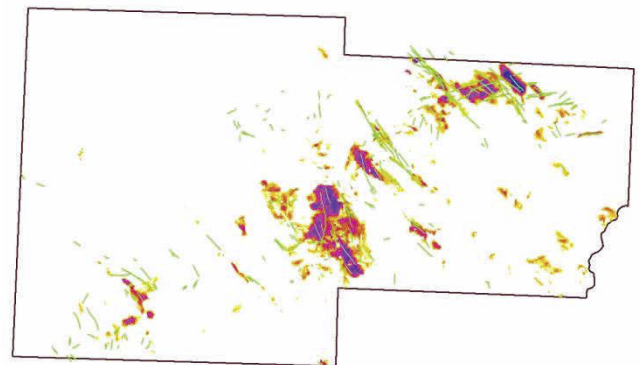


Abb. 5-45: Rohstoffpotenzialkarte für Flussspat (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün). Da hier nur Potenziale $> 0,25$ dargestellt sind, liegen die als wenig häufig bewerteten Trainingsdaten außerhalb der gefärbten Flächen.

Tabelle 22: Ranking der Gewichte der Modellparameter für Flussspat

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Verbreitungsgebiet: Granite (insgesamt)	-8910,07	14,41
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	1343659,8 6	3,16
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	10274,01	3,02
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ	5937,83	2,82
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	6666,17	2,65
Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe	1312,23	2,64
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv	4206,96	2,11
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	-5940,55	1,2
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	1990,39	0,98
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	1378,05	0,97
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	391685,03	0,92
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	-3425,95	0,69
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	1382,07	0,64
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	2926,25	0,61
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	3516	0,6
Bachsediment-Geochemie - log10 Ba: Absolutwert	2941,15	0,47
Geologie - Verbreitungsgebiet: Neoproterozoikum	-2023,84	0,46
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	2844,59	0,45
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	3014,17	0,2

Die mineralisationskontrollierenden Störungszonen zeichnen sich sehr gut in den Ableitungen des Schwerefelds (Gradient und Wölbung, Anlage 14, Beikarten 4, 5 und 7) ab. Hinsichtlich der Länge haben große und sehr große Störungen, welche die NW-SE streichenden Störungszonen aufbauen, die größte Bedeutung (Anlage 14, Beikarten 2 und 10). Bei den Störungsrichtungen sind jedoch N-S- und E-W-streichende Störungen höher gewichtet (Anlage 14, Beikarten 8 und 9). Dies liegt zum einen daran, dass die großen NW-SW-streichenden Störungen, die die Aufstiegszonen der Fluide bildeten, bereits sehr gut in den Ableitungen des Schwerefelds abgebildet sind. Zum anderen liegen die bekannten Fluoritgänge nicht auf diesen großen Störungen selbst, sondern meist in parallel streichenden oder anschaarenden Begleit-

störungen mit anderer Orientierung. Offensichtlich sind Bereiche mit vergitterten Störungen verschiedener Streichrichtungen besonders begünstigt. Aus Lagerstätten wie z. B. Niederschlag ist jedoch bekannt, dass der Fluorit an Störungskreuzen durch spätere Mineralisationen (überwiegend Quarz) verdrängt wird. Daher sind die eigentlichen Fluoritvorkommen als linsenartige Körper zwischen den Störungskreuzen zu erwarten (KUSCHKA, 2002).

Die Barium-Gehalte der Bachsedimente (Beikarte 15) wurden aufgrund der bekannten Tatsache einbezogen, dass Flussspat häufig auf schwerspatführenden Strukturen auftritt. Dabei wird häufig eine Zonierung beobachtet: in den oberen Bereichen dominiert der Schwerspat, welcher in tieferen Bereichen von Flussspat verdrängt wird. Im Gebiet von Schlettau wird in Analogie zur südlich gelegenen Lagerstätte Niederschlag eine Fluoritmineralisation in größeren Tiefen erwartet (BERNSTEIN u. a., 1978). Die geringe Gewichtung des Bariums zeigt, dass im Modellgebiet kaum Zusammenhänge zwischen Bariumanomalien und der Verbreitung von Fluorit gefunden wurden.

Perspektive Gebiete

Gebiet 1 in Abb. 5-46 umfasst den Bereich Marienberg – Lauta – Wolkenstein mit dem einzigen bisher industriell abgebauten Fluoritvorkommen auf dem Tscherper Flachen. Gebiet 2 umfasst das Gebiet von Annaberg-Buchholz, wo auch schon in der Prognosekarte der Spatprognose (BERNSTEIN u. a., 1978; ILGNER & MOHNHAUPT, 1980) größere Mengen von Flussspat ausgewiesen werden. Das dazwischen parallel dem Verlauf der Wiesenbad-Störung liegende Gebiet 3 enthält ebenfalls einige NW-SE-streichende Gänge mit bisher unwesentlicher Fluoritmineralisation. Das Gebiet 4 umfasst den östlichen und südlichen Rand der Schwarzenberger Gneiskuppel und das südwestliche Ende des Raschau-Schwarzbach-Sattels. Hier sind auch einzelne Fluoritgänge in der Klínovec-Gruppe nachgewiesen.

Prinzipiell ist auch im weiteren Verlauf der Wiesenbad-, Warmbad-Chomutov- und Marienberg-Störung in den Gneisen im südöstlichen Prognosegebiet mit Fluoritvorkommen zu rechnen (Gebiete 5 und 6). Die erhöhten Bariumgehalte im Bachsediment in diesem Gebiet könnten auf eine Barytführung dieser Strukturen hinweisen, und eröffnen damit auch ein gewisses Potenzial für Flussspat. Allerdings sind in diesen Gebieten insgesamt bisher nur wenige Mineralgänge bekannt.

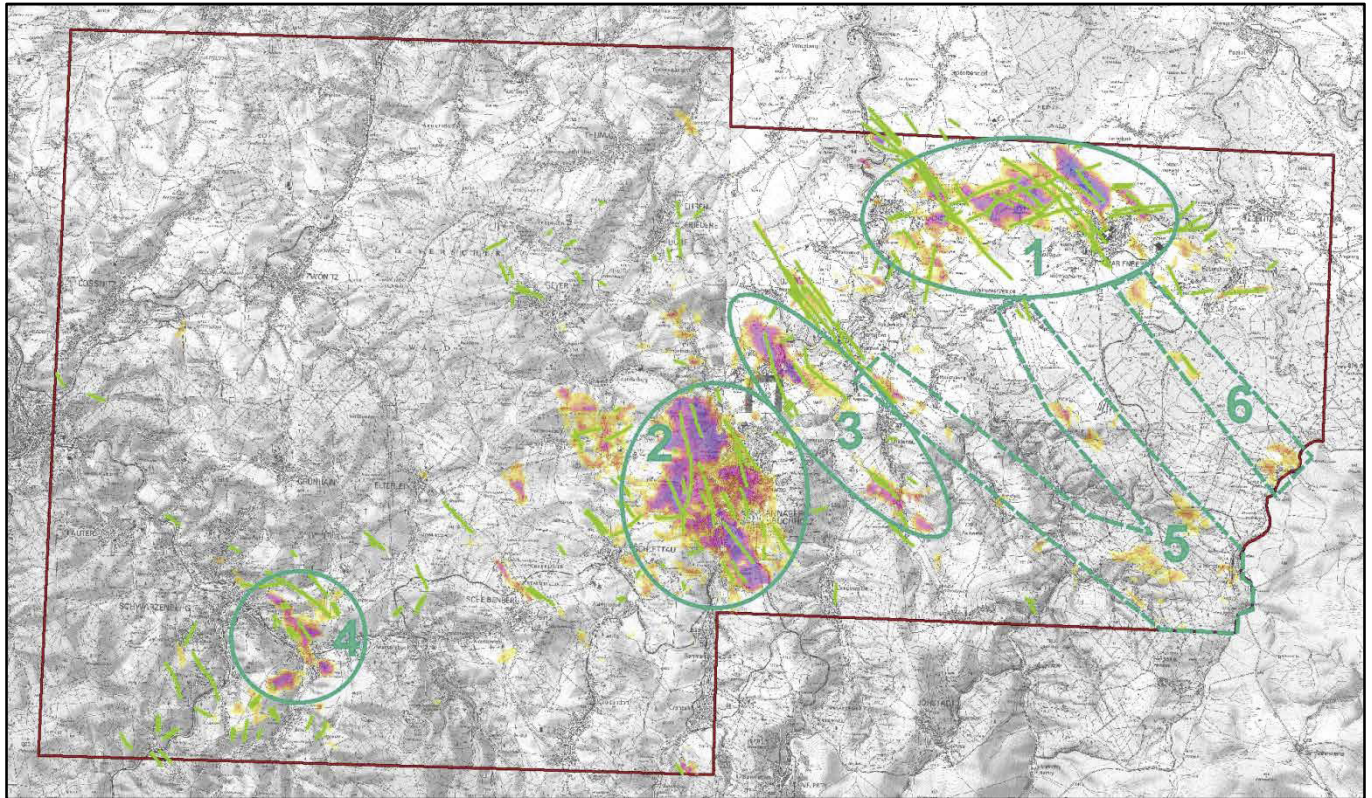


Abb. 5-46: Lage perspektiver Gebiete für Flussspat

5.5 Schwerspat

5.5.1 Übersicht

Schwerspat tritt im mittleren Erzgebirge in gangförmigen Mineralisationen in unterschiedlichen Paragenesen entlang der großen tiefeichenden Störungszonen mit NW-SE-Streichen auf. Im Prognosegebiet sind dies die Gera-Jáchymov-Störungszone im Südwesten des Gebietes sowie die Wiesenbad- und Warmbad-Chomutov-Störung im Osten. Im Süden weisen zudem die Schlettau- und die Fortsetzung der Scheibener Störung Fluorit-Baryt-Mineralisationen auf (Lagerstätten Niederschlag und Schlettau). Nach den Erkundungsergebnissen dieser beiden Lagerstätten (BERNSTEIN u. a., 1978) ist im Prognosegebiet überwiegend Rotbaryt anzutreffen, der in erster Linie als Zuschlagstoff für Schwerbeton und Bohrspülungen in Frage kommt.

Weiterhin ist Baryt häufiger Bestandteil verschiedener hydrothermalen Mineralisationen, ohne jedoch die Bedeutung einer Nutzkomponente zu erlangen. Insofern sind Ba-Anomalien nicht unbedingt Indikator für größere Barytkörper.

Im Prognosegebiet wurde Schwerspat im industriellen Umfang bisher nur in der Lagerstätte Schlettau in einer Menge von ca. 61.000 t abgebaut. Da im Prognosegebiet keine weiteren Vorräte ausgewiesen sind, ist nur eine qualitative Prognose zur Lokalisierung weiterer Vorkommen möglich.

5.5.2 Strukturkontrollierte Mineralisationen (Anlage 15)

Beschreibung des prognostizierten Mineralisationstyps

Schwerspat tritt im Prognosegebiet in den verschiedenen hydrothermalen Gangmineralisationen in verschiedenen Altersstellungen auf. Produktive Mineralisationen im Sinn der Ausbildung größerer bauwürdiger Schwerspatkörper sind meist an große NW-SE-streichende Bruchstrukturen bzw. anschaarende Elemente gebunden. Vereinzelt können auch andere Richtungen größere Schwerspatmengen enthalten. Die konkrete räumliche Lage industriell verwertbarer Anreicherungen von Schwerspat ist dabei auf tiefeichende Störungszonen in meist klüftungsfreundlichem Nebengestein beschränkt. Weiterhin ist das Vorhandensein ausreichend großer offener Hohlräume für die Mineralabscheidung von Bedeutung. Daher spielen sowohl die Ausbildung der Bruchstrukturen (vor allem Form und Bewegungssinn) zum Zeitpunkt der Mineralabscheidung als auch die bruchmechanischen Eigenschaften des Nebengesteins eine entscheidende Rolle für die Bildung größerer Schwerspatvorkommen.

Aus der bereits abgebauten Lagerstätte Schlettau ist bekannt, dass die Schwerspatmineralisation auf den Bruchstrukturen stark absätzig ist und in Form von hundert bis wenige hundert Meter langen Linsen auftritt. Diese können im Zentrum Mächtigkeiten von 2,5 m und mehr bei einem Schwerspatanteil von > 70 % erreichen, während zum Rand die Rohstoffqualität und -menge abnimmt (FRÖLICH, 1957).

Aufgrund der wenigen bekannten Vorkommen ist für Schwer-
spat nur eine qualitative Prognose möglich.

Modelleingangsdaten und Modellparameter

Folgende Modelleingangsdaten wurden verwendet:

Abhängige Variable:

- Gänge mit erwarteter größerer Schwerspatminerali-
sation,

Modellparameter:

- Bachsediment-Geochemie - log10 Ba: Absolutwert,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe,
- Geologie - Verbreitungsgebiet: Neoproterozoikum,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung,
negativ,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung,
positiv,
- Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr
groß,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - ge-
ring,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mit-
tel,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung -
E-W,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung -
NE-SW,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung -
N-S,
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung -
NW-SE.

Als Trainingsdaten dienten die Lokalitäten der bekannten
Schwerspatgänge (siehe Abschnitt 4.1.2) im Untersuchungs-
gebiet. Das Training erfolgte über das gesamte Modellgebiet.

Technische Beschreibung des Ergebnisses

Die Trainingskurve (Abb. 5-47) zeigt, dass nach 300 Trai-
ningsiterationen ein stabiles Plateau des RMS-Fehlers von
1,1 % erreicht ist. Die Histogramme der Modellierungs-
ergebnisse (Abb. 5-47) weisen ebenfalls eine sehr gute An-
passung des Netzes an die Modellparameter nach:

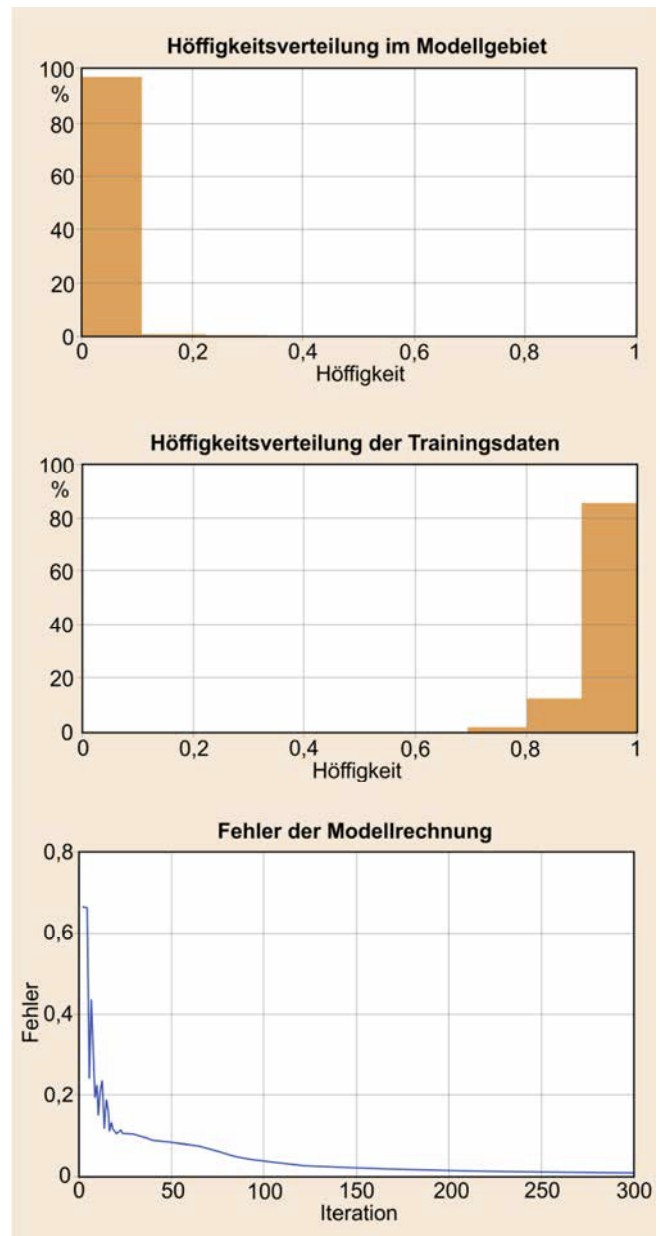


Abb. 5-47: Histogramme der Höffigkeitswerte für das Gesamtgebiet
und die Trainingsdaten sowie Fehlerkurve der Modellrechnung

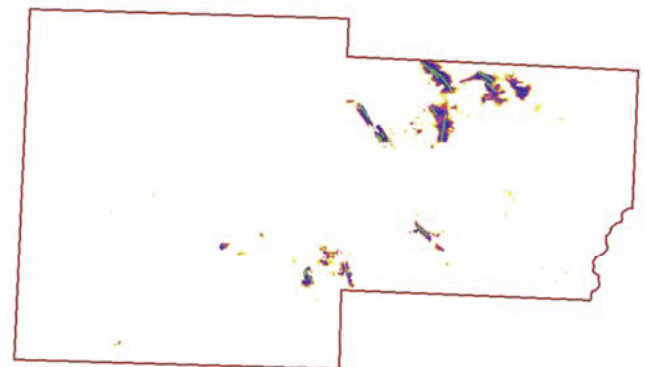


Abb. 5-48: Rohstoffpotenzialkarte für Schwer-
spat (hoch: in Violett, niedrig: in Gelb) und bekannte Vorkommen (in Grün)

Das Maximum für das gesamte Bearbeitungsgebiet liegt bei einem Prognosewert von $< 0,1$ während das Maximum im Umfeld der bekannten Vorkommen (Trainingsdaten) bei einem Prognosewert von etwa 0,85 liegt. Das Ergebnis der Prognose ist in Abb. 5-48 und Anlage 15 dargestellt.

Die Gewichte der Modellparameter (Tabelle 23) sind bis auf das Gewicht der Ausstrichfläche der Klínovec-Gruppe insgesamt ausgewogen und lassen sich geologisch gut interpretieren. Die folgenden Modellparameter wurden als wichtige lagerstättenkontrollierende Faktoren im Modell ermittelt:

- Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe,
- Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ,
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv.
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß
- Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W
- Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel
- Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert

Geologische Interpretation

Die Verbreitung industrieller Barytmineralisationen wird durch eine Kombination der wesentlichen kontrollierenden Parameter Lage und Art der potenziell mineralisierten Strukturen (vor allem Form und Bewegungssinn) und bruchmechanische Eigenschaften des Nebengesteines bestimmt. Alle ausgewiesenen Vorkommen liegen in neoproterozoischen Gneisen. Die hohe Gewichtung des Ausstrichs der Klínovec-Gruppe (Anlage 15, Beikarte 1) erklärt sich durch deren Umrahmung der Gneise, die eine weitere Ausdehnung der Vorkommen entlang der großen NW-SE-streichenden Störungszonen begrenzt.

Die großen Störungszonen sind auch im Schwerefeld (Anlage 15, Beikarte 9) und besonders dessen Ableitungen Gradient und Wölbung deutlich zu erkennen (Anlage 15, Beikarten 3, 4 und 5). Neben den mittleren bis sehr großen Störungen (Anlage 15, Beikarten 6, 8 und 10) sind die E-W-streichenden Störungen (Anlage 15, Beikarte 7) von hohem Gewicht. Diese sorgen im Bereich Marienberg – Lauta – Wolkenstein, wo aufgrund der Bachsedimentbeprobung die größten Schwespatvorkommen zu vermuten sind, für die Vergitterung der Störungszonen mit den mineralisierten Gangspaltensystemen.

Perspektive Gebiete

Die ausgewiesenen perspektiven Gebiete (Abb. 5-49) decken nur einen Teil der in den Bachsedimentproben festgestellten Regionen mit erhöhtem Bariumgehalt ab (Abb. 5-50). Im Gebiet Marienberg-Wolkenstein und südlich von Annaberg-

Buchholz ist die Übereinstimmung gut, dagegen spiegeln sich die erhöhten Bariumgehalte bei Pobershau und im Südosten bei Kühnhaide nicht im Modell wider. Grundsätzlich besteht hier wie bei der Fluoritprognose die Möglichkeit, dass entlang der großen NW-SE verlaufenden Störungssysteme (Wiesbaden-, Warmbad-Chomutov- und Marienberg-Störung) Schwespatvorkommen zu finden sind. Die erhöhten Bariumgehalte im Nordwesten des Prognosegebietes stehen dagegen offensichtlich nicht im Zusammenhang mit industriell nutzbaren Vorkommen. Der Baryt ist hier Bestandteil anderer Mineralisationen. Die in diesem Bereich anstehenden Phyllite neigen eher nicht zur Ausbildung großer Gangspalten.

Tabelle 23: Ranking der Gewichte der Modellparameter für Schwespat

Modelleingangsdaten	Connection Weights	Garson's Algorithm
Geologie - Verbreitungsgebiet: Klínovec-Gruppe	275429	15.95
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - mittel	254981	5.44
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, negativ	9441	2.25
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Vertikalwölbung, positiv	327550	2.14
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Gradient	190882	1.84
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - sehr groß	235032	1.66
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - E-W	-90	1.19
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - mittel	-4383	0.92
Gravimetrie - Bouguer-Anomalie: Absolutwert	-418	0.89
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - groß	194405	0.88
Bachsediment-Geochemie - log10 Ba: Absolutwert	-278	0.77
Störungen - euklidischer Abstand: Länge - kurz	101322	0.63
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - N-S	32635	0.59
Störungen - euklidischer Abstand: Kreuzungspunkte	673	0.47
Geologie - Verbreitungsgebiet: Neoproterozoikum	5	0.45
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NE-SW	-119	0.39
Störungen - euklidischer Abstand: Streichrichtung - NW-SE	92	0.29
Störungen - euklidischer Abstand: Sinuosität - gering	-70	0.25

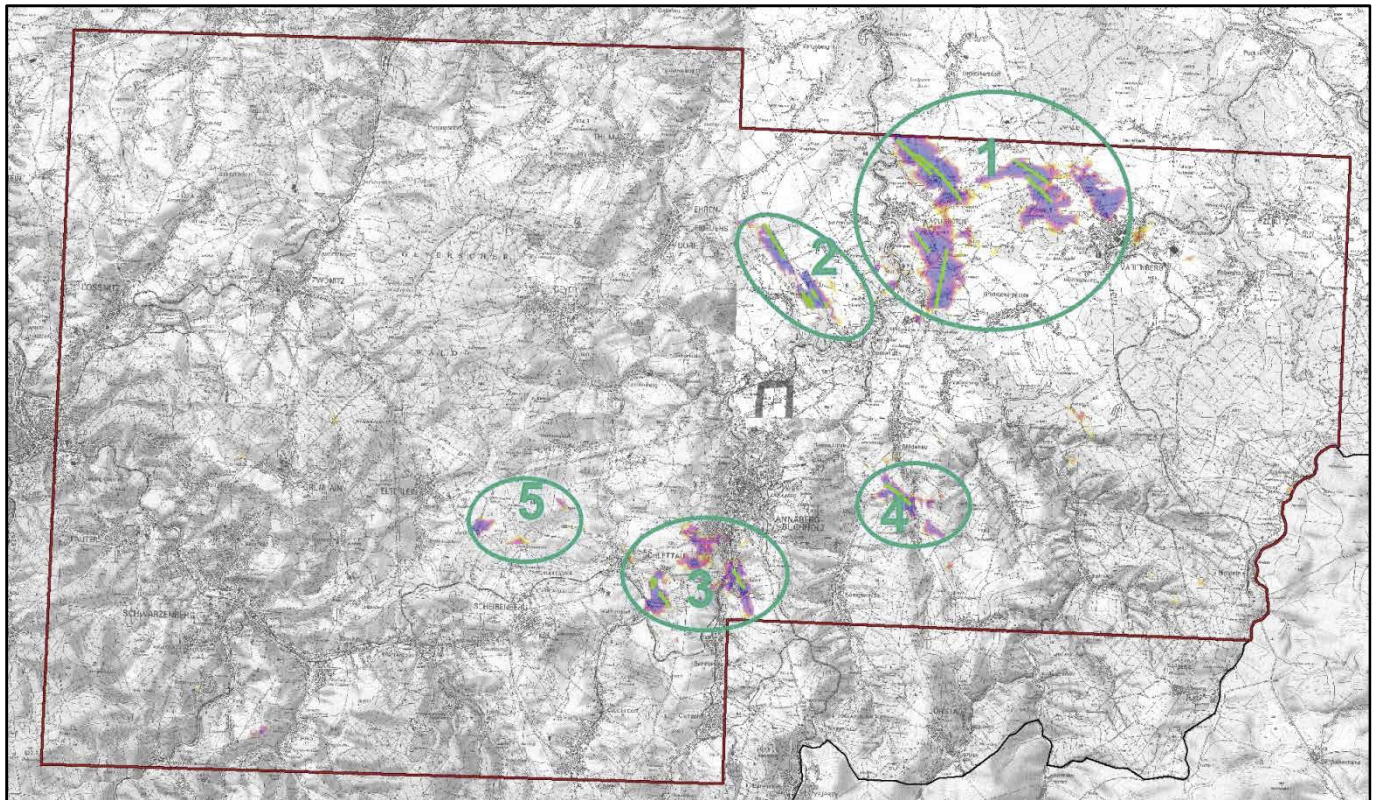


Abb. 5-49: Lage perspektiver Gebiete für Schwerspat

Das größte Potenzial für Barytvorkommen besteht im Raum Marienberg – Wolkenstein (Gebiet 1 in Abb. 5-49) im Bereich der dortigen Bariumanomalie der Bachsedimentproben. Hier werden Barytmineralisationen auf Gängen, die parallel bis spitzwinklig zu den Störungszonen von Marienberg und Warmbad-Chomutov streichen, prognostiziert. Mögliche Vorkommen im Gebiet 2 (entlang der Wiesenbad-Störung) fallen mit einem lokalen Minimum der Bariumgehalte im Bachsediment zusammen, so dass hier eher geringe Mengen

von Schwerspat zu vermuten sind. Gebiet 3 umfasst den Südtteil des Lagerstättengebiets von Annaberg-Buchholz sowie die bereits abgebaute Lagerstätte Schlettau. Dies deckt sich mit hohen Bariumgehalten in den Bachsedimenten. In den Gebieten 4 südlich von Mildena u und 5 südwestlich von Elterlein sind auch aufgrund der niedrigen Bariumgehalte in Bachsedimenten offensichtlich keine größeren Schwerspatmengen zu erwarten.

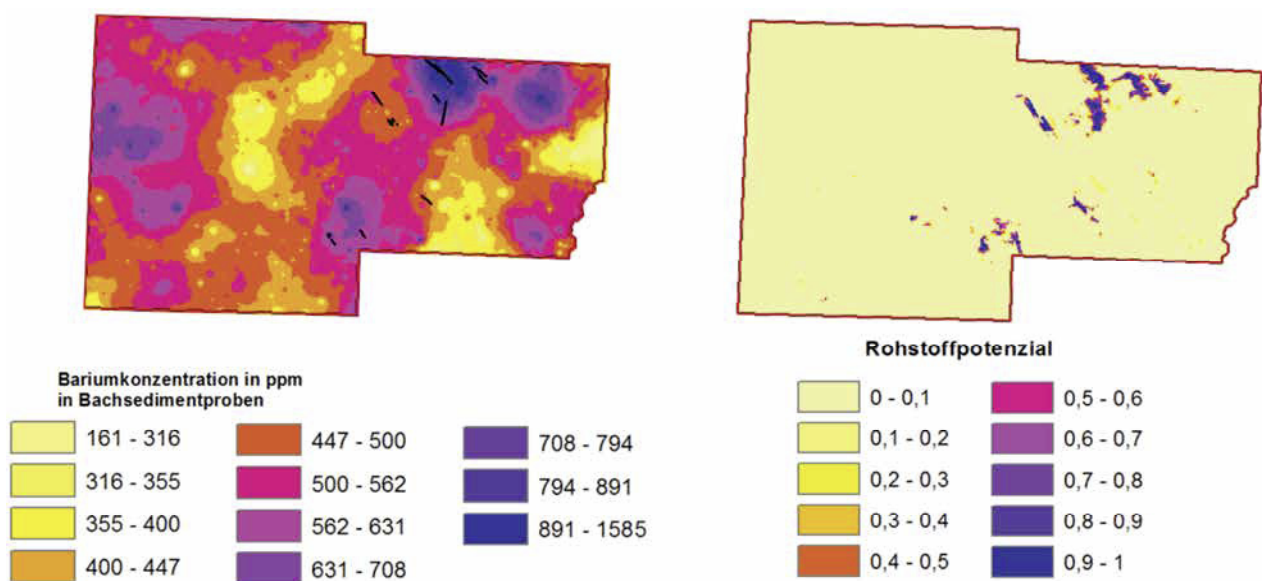


Abb. 5-50: Vergleich des Rohstoffpotenzials für Schwerspat mit den Bariumgehalten in Bachsedimenten. Bekannte barytführende Gänge sind schwarz dargestellt.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Schlussfolgerungen

Für das Bearbeitungsgebiet ROHSA 3.1 wurde sowohl für strukturkontrollierte als auch für lithologisch kontrollierte Zinn-Wolfram-Mineralisationen eine Eingrenzung der Höffigkeitsflächen als auch eine Schätzung des zu erwartenden Potentials vorgenommen. Für Fluss- und Schwespat erfolgte eine Abgrenzung der Höffigkeitsflächen. Die Bearbeitung erfolgte mit dem Verfahren der künstlichen neuronalen Netze.

Auf der Basis der vorhandenen und neu mit dem Projekt ROHSA 3.1 verfügbar gemachten Daten wurde eine zusammenfassende Dokumentation des im Bearbeitungsgebiet bekannten Rohstoffinventars für Erze und Spate vorgenommen und das zu erwartende Rohstoffpotenzial hinsichtlich Lokalität und teilweise Menge abgeschätzt. Durch die höhere Datendichte, die Einbeziehung dreidimensionaler geologischer Daten und die Aufstellung quantitativer Modelle konnte gegenüber früheren Rohstoffprognosen auf Sn, W, Flusspat und Schwespat ein deutlicher Erkenntnisfortschritt erzielt werden.

Für die Projektbearbeitung wurden die regionalen geophysikalischen Daten (Gravimetrie, Aeromagnetik und Aerogammaskopie), die geochemischen Daten der Bachsedimentbeprobung sowie Lagerstättenindikatoren (Mineralgänge, Tektonik, Gesteinsgänge, erzkontrollierende Lithologien) vollkommen neu aufbereitet und zu einer einheitlichen Datenbasis zusammengefasst.

Das **Zinnpotenzial in Skarnen** wird insgesamt auf ca. 600.000 t Metallinhalt (Potenzial > 0,5) bzw. 775.000 t Metallinhalt (Potenzial > 0,25) geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 250.000 t. Das **Wolframpotenzial in Skarnen** (WO₃) wird insgesamt auf ca. 120.000 t WO₃-Inhalt (Potenzial > 0,5) bzw. 150.000 t WO₃-Inhalt (Potenzial > 0,25) geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 120.000 t. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die bisher bekannte und prognostizierte Wolframmenge in etwa das Gesamtpotenzial darstellt. Das von uns eingeschätzte Gesamtzinnpotenzial wird jedoch deutlich über den bisher bekannten und prognostizierten Vorräten liegen. Ursa-

che ist ganz offensichtlich die regionale Verbreitung der Granite vom Typ Bergen und Eibenstock, welche jeweils die Wolfram- bzw. die Zinnmineralisation kontrollieren. Höffige Gebiete für Sn-W-Skarne in größeren Teufen wurden insbesondere zwischen der Schwarzenberger Kuppel und dem Granitpluton des Mittleren Erzgebirges in den Gesteinen des Kambro-Ordoviziums identifiziert. Der Anteil bereits erodierter Skarnlagerstätten schwankt von Horizont zu Horizont und wurde mit ca. 50 % eingeschätzt. Aufgrund der vergleichsweise hohen Zinngehalte (0,4 bis 1 % Zinn) und ihrer größeren Mächtigkeit (bis < 10 m im südlicher gelegenen Hämmerlein) sind die Skarnmineralisationen an der Grenze der Bauwürdigkeit. Probleme bereitet insbesondere auch beim Wolfram die Aufbereitbarkeit der komplexen und feinkörnigen Erze.

Das **Zinnpotenzial in Gängen im Endo- und Exokontakt** wird insgesamt auf ca. 200.000 t Metallinhalt (Potenzial > 0,5) bzw. 230.000 t Metallinhalt (Potenzial > 0,25) geschätzt. Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 67.000 t. Davon sind ca. 20 % bereits abgebaut. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Gehalte (0,15 bis 0,25 % Zinn) und der geringen Mächtigkeit (Zentimeter bis Dezimeter) sind diese Mineralisationen zumindest derzeit nicht bauwürdig. Weitere verdeckte strukturell kontrollierte Zinnmineralisationen sind im Gebiet von Annaberg-Buchholz sowie im Südostteil des Granitplutons des Mittleren Erzgebirges zu erwarten (z. B. Kühnhaide).

Das **Wolframpotenzial in Gängen im Exokontakt** wird insgesamt auf ca. 1650 t WO₃-Inhalt (Potenzial > 0,5) bzw. 1.740 t WO₃-Inhalt (Potenzial > 0,25) geschätzt (nur Aue-Bärengrund). Die bisher berechneten und prognostizierten Vorräte (C1, C2, c1, c2 und Delta) liegen bei insgesamt ca. 6.600 t im Gesamtgebiet (inkl. Ehrenfriedersdorf). Davon sind ca. 20 % bereits abgebaut. Aufgrund der geringen Gehalte (< 0,03 % WO₃) wurde für das Gebiet von Ehrenfriedersdorf keine Schätzung des Wolframpotenzials vorgenommen. Nennenswerte Wolframvorkommen sind an Granite vom Typ Bergen gebunden und damit ausschließlich im SW-Teil des Untersuchungsgebietes zu erwarten.

Das Potenzial für das Auffinden von Zinnmineralisationen in Endokontaktgängen kann aufgrund der fehlenden Kenntnisse

zum Feinrelief der Granitoberkante nicht hinreichend genau eingeschätzt werden.

Das Untersuchungsgebiet ROHSA 3.1 erfasst lediglich einen Teil der Verbreitung der Zinn-Wolfram-Lagerstätten des mittleren und Westerzgebirges. Wesentliche bekannte Zinn-Wolfram-Lagerstättengebiete erstrecken sich in gleicher metallogenetischer Position mit den großen Skarnlagerstätten von Pöhla-Globenstein, Hämmerlein und Tellerhäuser vor allem südlich davon. Die Greisenlagerstätten von Gottesberg, Auersberg und Sosa befinden sich weiter westlich in der metallogenetischen Einheit des Eibenstocker Granits. Unmittelbar östlich und nordöstlich des Untersuchungsgebiets sind keine Zinn-Wolfram-Vorkommen mehr bekannt. Jedoch setzen sich die metallogenetisch sehr interessanten Einheiten des Kambro-Ordoviziums über Zschopau und Flöha bis in die Region nördlich von Freiberg fort. Hier befindet sich das stratiforme Zinnvorkommen des Felsithorizonts in älteren Gesteinen des Proterozoikums. Das Gesamtpotenzial der genannten Region dürfte bei > 1,5 Mio. t Zinn und > 300.000 t WO₃-Inhalt liegen.

Das Potenzial für Flussspat und Schwerspat ist deutlich geringer. Größere Mengen sind lediglich auf bedeutenden, meist NW-SE streichenden Bruchstrukturen und anschaarenden Elementen zu erwarten. Darüber hinaus kann Flussspat Bestandteil von Skarnmineralisationen sein. Eine Schätzung der vorhandenen Mengen ist auf Grundlage der vorhandenen Daten für das Untersuchungsgebiet nicht möglich.

Die Bearbeitung in einem echten 3D-Modus wird selbstverständlich zu einer Verbesserung der Aussagekraft der Modelle führen, da die realen Lagerungsverhältnisse deutlich besser berücksichtigt werden können, wie z. B. Einfallen der Störungen, kürzeste Abstände zwischen geologischen Einheiten. Die damit verbundenen Mehraufwendungen sind jedoch erheblich.

6.2 Ausblick

Wir empfehlen, die mit diesem Vorhaben begonnene Neubewertung des Rohstoffpotenzials des Erzgebirges wie folgt weiterzuführen:

- Einbeziehung der geochemischen Daten aus allen Bohrungen: Damit wird sich die Sicherheit und Zuverlässigkeit der getroffenen Prognosen erheblich verbessern.
- Die Bearbeitung sollte auf den gesamten Bereich der Verbreitung der metallogenetisch bedeutsamen Sedimente des Kambro-Ordoviziums von Oberwiesenthal bis Flöha ausgedehnt werden.
- Schrittweise sollten moderne Höffigkeitsprognosen in weiteren metallogenetischen Regionen des Erzgebirges ausgeführt werden: z. B. Osterzgebirge inkl. Freiberg, Westerzgebirge/Vogtland, Erzgebirgsnordrand.
- Die Ergebnisse der Prognosen sollten zielgerichtet mit geeigneten Feldarbeiten überprüft und die Modelle mit den neu gewonnenen Daten weiter vervollkommen werden.

7 Glossar

Pfeile (→) verweisen auf weitere Einträge im Glossar.

Aktivierungsfunktion: Die Aktivierungsfunktion eines →Neurons im →künstlichen neuronalen Netz legt fest, wie der mit Hilfe der →Propagationsfunktion aus den Eingangsgrößen berechnete Netzeingabewert an die angeschlossenen Neuronen weitergeleitet wird. Ein einfaches Beispiel ist ein konstanter Schwellenwert, ab dem die Netzeingabe weitergeleitet wird. Im vorliegenden Projekt kamen Sigmoidfunktionen mit Steigung 0,5 zum Einsatz.

Anschaarende Strukturen: Größere Störungen bestehen häufig nicht nur aus einer Störungsfläche, sondern aus einer Störungszone mit sich spitzwinklig schneidenden Einzelbrüchen und ggf. unter verschiedenen Winkeln angeschnittenen älteren Strukturen. Abhängig von den während der Deformation auftretenden Kompressions- und Dehnungsrichtungen können sich bestimmte Brüche oder Kreuzungszonen von Brüchen aufweiten und mit neu kristallisierten Mineralen gefüllt werden. Dadurch können →strukturkontrollierte Mineralisationen auch in einiger Entfernung von der kontrollierten Struktur auftreten. In den Prognosemodellen wird dieser Effekt durch Berechnung von Puffern um Störungen berücksichtigt.

ATKIS: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem; System zur Erfassung und Verwaltung von topographischen Informationen, u. a. Flächennutzungsdaten

Ausbringen: Anteil der Nutzkomponente, die aus einem Erz im Rahmen eines wirtschaftlich vertretbaren Aufbereitungsprozesses extrahiert werden kann. Nicht ausbringbar ist z. B. das in Silikaten oder sehr feinkörnigen Mineralverwachsungen enthaltene Zinn in Zinnskarnen.

Außerbilanzvorrat: Einstufung im Vorratsklassifikationssystem der DDR für Vorräte, die gut erkundet sind, deren zu geringer Rohstoffinhalt aber keine wirtschaftliche Gewinnung der enthaltenen Nutzkomponente(n) erlaubt. Außerbilanzvorräte werden mit steigendem Grad der Erkundung in die →Vorratsklassen c2, c1 und b eingeteilt.

Bilanzvorrat: Einstufung im Vorratsklassifikationssystem der DDR für Vorräte, die gut erkundet sind und deren Rohstoffinhalt eine wirtschaftliche Gewinnung der enthaltenen Nutzkomponente(n) erlaubt. Bilanzvorräte werden mit steigendem Grad der Erkundung in die →Vorratsklassen C2, C1 und B und A eingeteilt.

Bouguer-Anomalie: Nach Pierre Bouguer (1698 – 1758) benanntes Maß für Unregelmäßigkeiten (Anomalien) im Gravitationsfeld der Erde. Aus dem gemessenen Schwerefeld werden die zu erwartende Normalschwere, Abweichungen durch die nicht exakt kugelförmige Gestalt der Erde, durch Gezeiten und durch die lokale Topographie herausgerechnet. Die verbleibende B.-A. wird durch das Vorkommen von unterschiedlich dichten Gesteinen im Untergrund verursacht. Eine negative B.-A. bedeutet ein Massendefizit im Untergrund (Vorkommen von Gesteinen mit niedriger Dichte, z. B. Granit, Gips, Steinsalz), eine positive B.-A. bedeutet einen Massenüberschuss im Untergrund (Vorkommen von Gesteinen mit hoher Dichte, z. B. Basalt, Amphibolit, Gabbro)

DGM: Digitales Geländemodell, auch DEM (Digital Elevation Model) bezeichnet nach verschiedenen Verfahren gewonnene Raster der Erdoberfläche, die für jede Rasterzelle die Höhe der Erdoberfläche in Metern über/unter NN angeben. Die Zahl bezeichnet die Größe der Rasterzellen (z. B. 25x25 m beim DGM25).

Endokontakt: (hier:) innerhalb der Granitintrusion befindlich

Euklidischer Abstand: Bezeichnet hier den kürzesten in der Horizontalen gemessenen Abstand zwischen zwei Punkten, also den Abstand wie man ihn auf einer Karte messen würde. Dies ist nicht immer der kürzeste Abstand zwischen zwei Objekten (z. B. zwischen einer Mineralisation und einer Granitintrusion, die im Untergrund nahe an diese heran reicht).

Exokontakt: (hier:) außerhalb der Granitintrusion befindlich

Explorationsmodell: Ein Modell, das versucht, die Abhängigkeiten des Vorkommens eines Rohstoffs in einer Region von anderen geologischen Faktoren zu erfassen und dadurch erste Anhaltspunkte zu geben, wo weitere Vorkommen zu

erwarten sind; bzw. welche geologischen Faktoren für eine solche Abschätzung ermittelt werden müssen. Da ein Rohstoff im betrachteten Gebiet in unterschiedlichen Typen von Mineralisationen auftreten kann, ist für die Aufstellung eines Explorationsmodells die differenzierte Betrachtung verschiedener Lagerstättentypen erforderlich.

Exposition: Bezeichnet in einem Raster die Richtung des maximalen →Gradienten an jedem Punkt. Anschaulich im Fall eines Geländemodells die Richtung der Hangneigung (z. B. nord- und südexponierte Hänge)

Focal statistics: Mathematisches Verfahren, das auf Rasterdaten angewendet wird. Dabei wird nacheinander für jede Rasterzelle eine definierte Nachbarschaft dieser Zelle betrachtet und eine Rechenoperation auf diese angewendet (z. B. „berechne den Mittelwert aller Nachbarzellen, die nicht weiter als 3 Zellen entfernt liegen“). Das Ergebnis wird als neuer Wert der betrachteten Rasterzelle abgelegt.

GIS: Geoinformationssysteme; Software zur Erfassung, Darstellung und Analyse räumlicher Informationen.

Gradient: Verallgemeinerte Form der Ableitung für Skalarfelder, anschaulich z. B. die Hangneigung bei einem Geländemodell.

Greisen: Ein durch →Pneumatolyse umgewandelter Granit in dem der Feldspat verdrängt wird. Dabei können sich Fluorit, Turmalin, Topas oder auch Erzminerale wie Kassiterit und Arsenopyrit neu bilden. Greisen treten meist als Stöcke, schlauch- oder gangförmige Körper in den höchsten Teilen von Granitintrusionen auf, wo sich bei der Kristallisation des Magmas die Restschmelzen sammeln.

Horizontal- und Vertikalwölbung: Die verallgemeinerte zweite Ableitung eines Skalarfelds kann in zwei Skalare zerlegt werden: die Wölbung parallel zum →Gradienten und senkrecht dazu. Anschaulich bedeutet dies im Fall eines Geländemodells die Krümmung des Hanges in Richtung der maximalen Steilheit (Vertikalwölbung) und parallel zum Hang (entlang einer Höhenlinie, Horizontalwölbung). Unterschiedliche Vorzeichen bedeuten dabei konvexe bzw. konkave Krümmung.

IDW: Inverse Distanzwichtung, ein einfaches Interpolationsverfahren. Dabei wird angenommen, dass der zu interpolierende Wert in der Nähe der vorliegenden Messungen dem Messwert ähnlich ist, und dass die Ähnlichkeit mit zunehmender Entfernung vom Messpunkt abnimmt. Das Verfahren ist geeignet für Daten, bei denen eine graduelle Änderung

des Wertes über die Entfernung erwartet wird und keine abrupten Sprünge des Wertes auftreten.

Kriging: Statistisches Interpolationsverfahren, das die räumliche Varianz der vorhandenen Daten bei der Interpolation berücksichtigt. Dadurch kann der Schätzfehler stärker reduziert werden als bei einfacheren Verfahren wie →IDW. Außerdem können Bereiche zwischen ungleichmäßig verteilten Messpunkten besser interpoliert werden.

Künstliche neuronale Netze: Verfahren der künstlichen Intelligenz, bei dem →Neuronen nach bestimmten Regeln miteinander vernetzt werden. Durch iterative Modifikation der Vernetzung ist ein Lernprozess möglich, durch den aus Eingabedaten mit zunehmender Genauigkeit eine Schlussfolgerung getroffen werden kann. Verschiedene Typen der Vernetzung und Regeln zur Modifikation der Vernetzung („Lernen“) erlauben ein breites Einsatzspektrum in der Klassifikation und Mustererkennung (z. B. Text- und Spracherkennung, Gesichtserkennung, Optimierungsprobleme, Prognostik)

Lernalgorithmus: Nach der ersten Gewichtung der Eingangsdaten im →künstlichen neuronalen Netz wird die Abweichung der Prognosewerte zu den →Trainingsdaten bestimmt. Der Lernalgorithmus legt fest, auf welche Weise die Gewichtung verändert wird, um eine zunehmend bessere Anpassung an die Trainingsdaten zu erreichen. Im vorliegenden Projekt kam der Lernalgorithmus Resilient Backpropagation of Errors mit den Einstellungen Funktion: Tanh, Increase Factor: 1,2, Decrease Factor: 0,5, Minimum Delta: 0, Maximum Delta: 50 zum Einsatz

Lithologisch kontrollierte Mineralisation: Eine Mineralisation, deren Verbreitung vor allem vom Vorkommen bestimmter Gesteinsarten abhängt; hier z. B. Zinnskarne, deren Vorkommen an umgewandelte karbonatreiche Gesteine gebunden ist.

Metasomatose: Prozess der Mineralumwandlung oder -verdrängung, bei welchem dem Gestein durch heiße Fluide gelöste Stoffe zugeführt werden. Die Metasomatose spielt eine Rolle bei der Bildung von →Skarnen.

Modelleingangsdaten (Model input data): Die vorprozessierten Datenebenen, durch deren Gewichtung das →künstliche neuronale Netz den in den →Trainingsdaten vorgegebenen Sachverhalt prognostiziert.

Multi Layer Perceptron (MLP): Eine der möglichen Architekturen eines →künstlichen neuronalen Netzes, die für die vorliegenden Prognosemodelle zum Einsatz kam. Dabei sind

die →Neuronen in mehreren Lagen (Layer) angeordnet. Das Eingabelayer wird mit den gewählten Modelleingangsdaten belegt. Darauf folgen ein oder mehrere Hidden Layer, in denen die Signale gerichtet weitergegeben und kombiniert werden. Schließlich vereinigen sich die Verknüpfungen in dem einzigen Neuron des Ausgabelayers, welches das Ergebnis der Berechnung (das Prognosemodell) liefert.

Neuron: Grundelement eines künstlichen neuronalen Netzes. Das Neuron ist mit anderen Neuronen verbunden, wobei der Informationsfluss nur in eine Richtung erfolgt. Die Informationen der eingehenden Verbindungen werden mit einer Gewichtung versehen und mit einer Propagation Function in das Eingabesignal umgerechnet. Mit Hilfe einer Aktivierungsfunktion wird daraus das Ausgabesignal berechnet, das über die herausgehenden Verbindungen an weitere Neuronen übermittelt wird.

Pinge: Durch Bergbau entstandene Hohlform an der Geländeoberfläche. Diese kann durch den oberflächennahen Abbau z. B. von Gängen, aber auch durch Einsturz von Bergbau-Hohlräumen entstehen. Pingenzüge sind ein Hilfsmittel, um den Verlauf ehemals abgebauter Mineralgänge wieder auffinden zu können.

Propagationsfunktion: Die Propagationsfunktion eines →Neurons berechnet aus den Eingangsdaten den Wert der Netzwerkeingabe, die – abhängig vom Wert der →Aktivierungsfunktion – an die angeschlossenen Neuronen weitergegeben wird.

Qualitative Prognose: Verfahren, bei dem das →Rohstoffpotenzial einer Fläche, nicht aber die Menge des zu erwartenden Rohstoffs prognostiziert wird. Das Verfahren kommt zum Einsatz, um einen ersten Überblick zu gewinnen und auch in Fällen, wo zu wenig Ausgangsdaten für eine Schätzung der Rohstoffmengen vorliegen.

Quantitative Prognose: Verfahren, bei dem das Vorkommen von Rohstoffen in einer Fläche und die an jedem Punkt zu erwartende Rohstoffmenge prognostiziert werden. Voraussetzung ist das Vorliegen von ausreichend →Trainingsdaten, d.h. Flächen mit bekanntem Rohstoffinhalt (z. B. →Vorratsblöcke)

RMS-Fehler (root mean square error): Statistischer Wert, der die Streuung von Schätzwerten um den wahren Wert angibt. Im Fall der Rohstoffprognose handelt es sich um die Abweichung der prognostizierten Werte von den →Trainingsdaten. Damit kann der Verlauf der RMS-Fehlerkurve als Indikator für die Güte der Modellanpassung dienen.

Rohstoffpotenzial: Ergebnis der Rohstoffprognose, das die Höffigkeit der untersuchten Flächen charakterisiert. Das Potenzial darf nicht mit der Wahrscheinlichkeit gleichgesetzt werden: Ein Potential von 100% bedeutet nicht, dass an dieser Stelle der Rohstoff mit absoluter Sicherheit auftritt, aber die Wahrscheinlichkeit ist höher als an Stellen mit geringerem Potenzial.

Seife: Anreicherung von Schwermineralen durch gravitative Trennung in Fließgewässern (Bachseifen) und durch Wellentätigkeit an Stränden (Strandseifen). Das Vorkommen von Seifen kann als Lagerstätte bauwürdig sein, außerdem weist es auf ein im Einzugsgebiet des Gewässers liegendes primäres Vorkommen hin (ausgenommen Fälle von mehrfacher Umlagerung).

Skarn: Gestein, das durch metamorphe oder metasomatische Umwandlung von karbonatreichen Gesteinen entsteht. Die Zusammensetzung variiert abhängig vom Ausgangsgestein und den beteiligten Fluiden stark: typisch sind calciumreiche Silikate (Granat, Epidot, Pyroxene, Amphibole), es gibt aber auch Magnesium- und Mangan-betonte Skarne. Daneben können sich Erzminerale bilden (v.a. Magnetit, aber auch z. B. Kassiterit). Skarne treten häufig als linsenförmige Körper von einigen Metern bis vielen hundert Metern Ausdehnung auf, die in bestimmten Gesteinsschichten gehäuft vorkommen. Häufig lieferte eine benachbarte Intrusion die benötigte Wärme für die Mineralumwandlung, daher wird das Vorkommen von Skarnen auch durch die Nähe zu solchen Intrusionen kontrolliert.

Strukturkontrollierte Mineralisation: Eine Mineralisation, deren Verbreitung vor allem durch den Abstand zu bestimmten Arten von Bruchstrukturen bestimmt wird.

Trainingsdaten (Training Data): Neuronale Netze müssen für die Prognose eines Sachverhalts trainiert werden. Training bedeutet hierbei die iterative Anpassung der Gewichtung, die die Verbindungen zwischen den einzelnen →Neuronen erhalten. Um diese zu optimieren, müssen bereits bekannte Instanzen des Sachverhalts (z. B. Lokation von bekannten Lagerstätten) vorliegen, an denen die Prognose mit der dort bekannten Realität verglichen werden können. Diese Instanzen werden als Trainingsdaten bezeichnet.

Vorratsblock: Ein Gesteinsvolumen, für das durch Erkundung nach bestimmten Kriterien und mit bestimmter Genauigkeit der Rohstoffinhalt, der prozentuale Rohstoffgehalt und die Abgrenzung zum benachbarten rohstoffarmen/-freien Gestein bestimmt wurden

Vorratsklasse: Rohstoffvorkommen werden nach ihrer räumlichen Ausdehnung in →Vorratsblöcke und nach dem Grad der Erkundung und der Wirtschaftlichkeit der Gewinnung in Vorratsklassen eingeteilt. Das Klassifikationssystem der DDR, nach dem die im Modellgebiet erkundeten Vorkommen zuletzt klassifiziert wurden, unterscheidet die Klasse Delta für vermutete Vorkommen und die Klassen C, B und A für nachgewiesene Vorkommen abhängig vom Erkundungsgrad. Eine ausführliche Erläuterung findet sich in Kapitel 2.3.5

Literaturverzeichnis

ANGERER, G.; ERDMANN, L.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN F.; SCHARP, M.; LÜLLMANN, A.; HANDKE, V.; MARWEDE, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

BARTH, A.; KNOBLOCH, A.; NOACK, S.; SCHMIDT, F. (2014): Neural Network-Based Spatial Modeling of Natural Phenomena and Events. In: Systems and Software Development, Modeling, and Analysis: New Perspectives and Methodologies. IGI-Global.

BARTH, A.; KNOBLOCH, A.; URVOUIS, M. (2010): Neural network based predictive mapping with advangeo® and its application in the AEGOS project. Presentation at the Annual Conference of the Remote Sensing Group. London.

BARTH, A.; KNOBLOCH, A.; LEGLER, C.; NOACK, S. (2015): Nutzung künstlicher neuronaler Netze zur Einschätzung der Rohstoffperspektivität des Erzgebirges. Vortrag auf der Tagung „Bergbau, Rohstoffe und Energie, 2015. TU Freiberg. Abstrakt veröffentlicht in: "Bergbau, Energie und Rohstoffe", 7.- 9.10. 2015, Tagungsband, Hrsg: DMV, RDB, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Freiberg, ("Wissenschaftliche Schriftenreihe des Markscheidewesens" des DMV).

BAUMANN, L.; KUSCHKA, E., SEIFERT, T. (2000): Lagerstätten des Erzgebirges. ENKE im Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 300 S.

BEAK CONSULTANTS GMBH (2015): Nutzerhandbuch und Dokumentation der advangeo® Prediction Software.

BEAK CONSULTANTS GMBH (2014): ROHSA3 Homogenisierung Gesteinsgeochemiedaten. Unveröffentlichter Bericht für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

BEAK CONSULTANTS GMBH (2017): Werkvertrag über die Erstellung einer qualitativen und quantitativen rohstoffgeologischen Höffigkeitsprognose für die Rohstoffe Zinn, Wolfram, Fluorit und Baryt. Az. 13-0230.00/20/14, Z 269/16

BERGER, H.-J. (2008): Ordovizium. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

BERGER, H.-J.; LEONHARDT, D. (2008): Kambroordovizium. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

BERGER, H.-J.; KRENTZ, O.; LAPP, M. (2008a): Variszische tektonometamorph-magmatische Entwicklung. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

BERGER, H.-J.; BRAUSE, H.; LEONHARDT, D.; LINNEMANN, U. (2008b): Neoproterozoikum. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

BERNSTEIN, K.-H.; ILGNER, E.-M.; WOLF, P.; LÖTZSCH, F.; KOCH, E.; ZIESCHE, M.; PAWLENKO, J.W. (1978): Höffigkeitseinschätzung der DDR auf Fluorit – Sächsische Bezirke. Unveröffentlichter Bericht, Archiv des LfULG, Freiberg, 145 S

BITTMANN, H.C. (2014): Kupfer im Erzgebirge. Kupfer: Vorkommen und Abbau im Erzgebirge zwischen 1470 und 1750. Masterarbeit, TU Dresden, 96 S.

BOLDUAN, H.; HÖSEL, G.; SIPPEL, H. (1964): Die Wolframitlagerstätten im Raum Aue-Lauter. Geologie 13(6/7): 855–863.

BOLDUAN, H.; HÖSEL, G.; SIPPEL, H. (1965): Ergebnisbericht Wolframiterkundung Aue-Lauter 1958/59 und 1962/64 (C-Vorhaben). Unveröffentlichter Bericht, VEB Geologische Erkundung Süd, Freiberg, 42 S.

CARRANZA, E.J.M. (Editor) (2009): Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry Volume 11: Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. Elsevier, Amsterdam, 351 S.

ELICKI, O.; BERGER, H.-J.; BRAUSE, H.; LEONHARDT, D. (2008): Kambrium. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

FEIRER, K.; HILLER, A. (1995) Zur Entwicklung des ostdeutschen Uranbergbaus bis 1960. Sächsische Heimatblätter 393: 258–262

FÖRSTER, H.-J.; TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; BENEK, R.; SELTMANN, R.; KRAMER, W. (2008): Spätvariszischer Magmatismus. – In: PÄLCHEN, W.; WALTER, H. (Hrsg.) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 537 S.

FÖRSTER, H.-J.; TISCHENDORF, G.; SELTMANN, R.; GOTTESMANN, B. (1998): Die varistischen Granite des Erzgebirges: neue Aspekte aus stofflicher Sicht. In: Z. geol. Wiss., 26 (1/2): 31–60.

FRÖLICH, G. (1957): Ergebnisbericht des Geologischen Dienstes Freiberg über die geologischen und wirtschaftlichen Ergebnisse der Erkundungsarbeiten auf Schwespat bei Schleittau/Erzgebirge. Unveröffentlichter Bericht, Archiv des LfULG, Freiberg, 60 S

GÄBERT, C. (1904) Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen Section Annaberg-Jöhstadt. W. Engelmann, Leipzig, 76 S.

GEOKOMPETENZZENTRUM (GKZ) (2008): Sächsisches Rohstoffkataster der Spat- und Erzvorkommen. Freiberg, 139 S.

HAAKE, R.; KÜHNE, R. (1985) Neueinschätzung Zn Jahnsbach. Unveröffentlichter Bericht, VEB Geologische Forschung und Erkundung Freiberg, 23 S.

HAJEK, W.; IHLE, F. (2008): Mineralien und Geschichte des Bergbaus in Marienberg, Erzgebirge. Lapis 9/2008: 13 – 39.

HILLER, A.; SCHUPPAN, W.; KREJNY, I. (2008): Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. Bergbaumonografie Bergbau in Sachsen Band 14, Freiberg, 171 S.

HÖSEL, G. (1959): Lesesteinkartierung als Grundlage zur Wolframiterkundung nordöstlich des Auer Granits. Beitr. Geol. 1: 53–56.

HÖSEL, G. (1969): Zinnprognose Erzgebirge Gebiet Westerzgebirge, Teilgebiet Bockau (Bericht über die Ergebnisse der im Jahre 1968 im Teilgebiet Bockau durchgeführten Arbeiten zur

Zinnprognose). Unveröffentlichter Bericht, VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle/Saale Betriebsteil Freiberg, 41 S.

HÖSEL, G.; PFEIFFER, L. (1965): Geologie, Petrographie und Genese der Skarnlagerstätte Pöhla (Erzgebirge). Zeitschrift für angewandte Geologie 11(4): 169–180.

HÖSEL, G.; KÜHNE, R.; SCHULZE, H.; SCHILLING, B.; ZERNKE, B.; DIETZE, R. (1985): Vorratsberechnung Zinn Ehrenfriedersdorf Gangfeld Neundorf (Ehrenfriedersdorf-Ost) und Greifensteine. Unveröffentlichter Bericht, VEB Geologische Forschung und Erkundung Freiberg, 66 S.

HÖSEL, G.; LEONHARDT, D.; LÖTZSCH, F.; OSSENKOPF, W.; ZERNKE, B. (1991) Ergebnisbericht Suche Zinn Annaberg. Unveröffentlichter Bericht, Geologische Landesuntersuchung GmbH, Freiberg, 108 S.

HÖSEL, G.; HOTH, K.; JUNG, D.; LEONHARDT, D.; MANN, M.; MEYER, H.; TÄGL, U. (1994) Das Zinnerz-Lagerstättengebiet Ehrenfriedersdorf/Erzgebirge – Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 1, LfULG Freiberg, 207 S.

HÖSEL, G.; FRITSCH, E.; JOSIGER, U.; WOLF, P. (1996): Das Lagerstättengebiet Geyer – Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 4, LfULG Freiberg, 112 S.

HÖSEL, G.; TISCHENDORF, G.; WASTERNAK, J.; BREITER, K.; KUSCHKA, E.; PÄLCHEN, W.; RANK, G.; ŠTEMPOK, M. (1997) Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory 1:100000“, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 3, LfULG Freiberg, 144 S.

HÖSEL, G.; BÜDER, W.; FRITSCH, E.; LEONHARDT, D.; SCHUPPAN, W. (2003) Die polymetallische Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein – Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 8, LfULG Freiberg, 147 S.

HOTH, K.; BERGER, H.-J. (1980): Stratigraphie und lithologisch-fazielle Charakteristik der Parametamorphite und Sedimente im Erzgebirge/Vogtland. Unveröffentlichter Bericht, Archiv des LfULG, Freiberg, 102 S.,

ILGNER, E.-M.; MOHNHAUPT, K. (1980): Höffigkeitseinschätzung der DDR auf Baryt – Zusammenfassender Bericht. Unveröffentlichter Bericht, Anlagen, Archiv des LfULG, Freiberg, 20 S.

KAUFMANN, S.; SCHUPPAN, W.; LINKERT, K.-H. (1988): Bericht über die Erkundungsarbeiten auf Zinn und Wolfram im Bereich der

- Lagerstätte Pöhla-Globenstein mit Vorratsberechnung zum 1.7.1988 Band 1, Unveröffentlichter Bericht, SDAG Wismut, 377 S.
- KIRSCH, M.; STEFFEN, M. (2017): Erstellung eines geologischen 3D-Modells für das Pilotprojekt ROHSA 3.1 (Rohstoffe Sachsen). Unveröffentlichter Bericht, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, 84 S.
- KRONER, U. (1995) Postkollisionale Extension am Nordrand der Böhmisches Masse – Die Exhumierung des Sächsischen Granulitgebirges. Freiburger Forschungshefte C 457: 1–114
- KUSCHKA, E. (2002): Die Uranerz-Baryt-Fluorit-Lagerstätte Niederschlag bei Bärenstein und benachbarte Erzvorkommen. Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 6, LfULG, Freiberg, 219 S.
- KWAK, T.A.P. (1987): W-Sn skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids. *Developments in Economic Geology* 24
- LAHL, B. (1992): Berühmte Annaberger Gruben und ihre Geschichte. *Lapis* 12/92: 34–38.
- LANGE, R. (2000): Der Bergbau auf Flussspat in Marienberg/Erzgebirge 1955–1958. Eine Bergbauchronik für Heimatfreunde und Freunde des Bergbaues erschienen 2000 bei Rolf Lange Venusberg, 100 S.
- LEONHARDT, D.; HOTH, K. & BERGER, H.-J. (2012): Medenec-Formation. – In *LithoLex* [Online-Datenbank]. Hannover: BGR. Version vom 19.01.2012, Datensatz 8000240 https://litholex.bgr.de/gesamt_ausgabe_neu.php?id=8000240
- LEONHARDT, D. (2009a): Erläuterungen zu Blatt 5442 Aue, LfULG, Freiberg, 143 S.
- LEONHARDT, D. (2009b): Griebach-Formation. – In *LithoLex* [Online-Datenbank]. Hannover: BGR. Version vom 01.09.2009, Datensatz 8004005. https://litholex.bgr.de/gesamt_ausgabe_neu.php?id=8004005
- LEONHARDT, D. (1998): Erläuterungen zu Blatt 5443 Annaberg-Buchholz West, LfULG, Freiberg, 112 S.
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2016a): Auszug aus der Bohrdatenbank. Archiv des LfULG.
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2016b): Daten der Digitalen Geologischen Karte 1:50.000, Blätter Stollberg, Zschopau, Aue, Annaberg. Archiv des LfULG.
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2016c) Auszug der Punktdaten von DeltaT aus Aerogeophysikbefliegungen der Jahre 1982 bis 1989
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2016d) Auszug der Punktdaten gravimetrischer Vermessungen
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2016e) Auszug der Punktdaten der Kalium-, Thorium- und Urangelhalte aus Aeromagnetikbefliegungen der Jahre 1982 bis 1989
- LORENZ, W.; HOTH, K. (1990) Lithostratigraphie im Erzgebirge – Konzeption, Entwicklung, Probleme und Perspektiven. *Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden* 37: 7–35.
- MÄDLER, F. (1992): Das Bergbaurevier von Breitenbrunn und Antonsthal im oberen Erzgebirge – Geschichte, Geologie und Mineralien. *Lapis* 10/92: 13–24.
- MEINERT, L.D. (1992): Skarns and Skarn Deposits. *Geoscience Canada* 19(4): 145 – 162.
- MINGRAM, B. (1995): Geochemische Signaturen der Metasedimente des erzgebirgischen Krustenstapels. – Scientific Technical Report, GeoForschungszentrum Potsdam, STR 9604, 120 S.
- MINISTERIUM FÜR GEOLOGIE (1979): Anordnung über die Klassifikation der Lagerstättenvorräte an Erdöl und Erdgas, die Klassifikation fester mineralischer Rohstoffe und die Klassifikation der Grundwasservorräte – Vorratsklassifizierungsanordnung – vom 28. August 1979. Gesetzblatt der Deutschen Demokratischen Republik, Sonderdruck Nr. 1019. Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik.
- MÜLLER, H. (1894): Die Erzgänge des Annaberger Bergreviers. W. Engelmann, Leipzig, 138 S.
- OLDEN, J. O.; JACKSON, D. A. (2002): Illuminating the "black box": a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. In: *Eco-logical Modelling* 154 (2002) 135 – 150.
- OLDEN, J. D.; JOY, M. K.; DEATH, R. G. (2004): An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in artificial neural networks using simulated data. In: *Ecological Modelling* 178 (2004) 389–397.

OSSENKOPF, P. (1982): Methodische und regionale Ergebnisse der Schlichprospektion im Erzgebirge. Unveröffentlichter Bericht, Archiv des LfULG, Freiberg.

PFEIFFER, L.; KAISER, G., PILOT, J. (1984): K-Ar-Datierungen von jungen Vulkaniten im Süden der DDR. – Freiburger Forschungshefte C 389: 93–97

ROMER, R. (2012): Geochronology of the Erzgebirge: a messy can of worms. – In: Granites of the Erzgebirge Relation of magmatism to the metamorphic and tectonic evolution of the Variscan Orogen. Guidebook to Eurogranites 2012 fieldtrip October 7 to October 13, 2012, Scientific Technical Report, GeoForschungszentrum Potsdam, STR12/15, 122 S.

ROSCHER, O.; BÜCHNER, C. (1984): Ergebnisbericht Pedogeochemie Mittelerzgebirge – Erzgebiet Ehrenfriedersdorf. Unveröffentlichter Bericht, Archiv des LfULG, Freiberg.

RÖTZLER, K. (1995): Die PT-Entwicklung der Metamorphite des Mittel- und Westerzgebirges. – Scientific Technical Report, GeoForschungszentrum Potsdam, STR95/14, 220 S.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND VERKEHR (2017): Rohstoffstrategie für Sachsen. Rohstoffwirtschaft – eine Chance für den Freistaat Sachsen, 36 S.
http://www.bergbau.sachsen.de/download/2017_12_06_SM_WA_BR_Rohstoffstrategie_dt_WEB.pdf

SCHUPPAN, W.; HILLER, A.; KREJNY, I. (2012) Die Komplexlagerstätten Tellerhäuser und Hämmerlein – Uranbergbau und Zinnerkundung in der Grube Pöhla der SDAG Wismut – Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 17, LfULG Freiberg, 157 S.

SEBASTIAN, U. (2013): Die Geologie des Erzgebirges. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 268 S.

SEIFERT, TH. (1994): Zur Metallogenie des Lagerstättendistriktes Marienberg (Ostteil des Mittelerzgebirgischen Antiklinalbereiches). Unveröffentlichte Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 174 S.

STUTZER, O. (1905) Die „Weiße Erden Zeche St. Andreas“ bei Aue. Ein Beitrag zur Frage nach der Genesis der Kaolinlagerstätten. Zeitschrift für praktische Geologie 13(9): 333–337.

TICHOMIROVA, M. (2002): Die Gneise des Erzgebirges – hochmetamorphe Äquivalente von neoproterozoisch – frühpaläozoischen Grauwacken und Granitoiden der Cadomiden. Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg, 222 S.

WISMUT GMBH (2009): Tiefengeothermieprojekt Sachsen. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des LfULG Sachsen.

WITTHAUER, B.; KRENTZ, O. (2009): Geophysikalisches Naturraumpotential. In: PÄLCHEN, W. (Hrsg.) Geologie von Sachsen II Georessourcen, Geopotentiale, Georisiken. Schweizerbart, Stuttgart, 307 S.

Verzeichnis der zur Zusammenstellung der Rohstoffvorräte verwendeten unveröffentlichten Berichte

BERNSTEIN, K.H.; u.a. (1980): Prognosekarte Fluorit-Baryt 1:100.000. Archiv des LfULG (EB 02076)

BERNSTEIN, K.H.; u.a. (1978): Höffigkeitseinschätzung der DDR auf Fluorit – Sächsische Bezirke. Archiv des LfULG (EB 02109)

BOLDUAN, H. (1958): Bericht über die Erkundungsarbeiten auf Zinnstein in der Vierung Ehrenfriedersdorf in den Jahren 1954 – 1957. Archiv des LfULG (EB 00168)

BOLDUAN, H. (1960): Neuberechnung der 1954 – 1957 im Objekt Zinnstein Ehrenfriedersdorf-Vierung erkundeten Vorräte. Archiv des LfULG (EB 00259)

BOLDUAN, H. (1961): Ergebnisbericht über die in den Jahren 1957/1960 durchgeführten Erkundungsarbeiten auf Zinn-Wolfram im Objekt Geyer mit Vorratsberechnung. Archiv des LfULG (EB 00309)

BOLDUAN, H.; HÖSEL, G.; SIPPEL, H. (1965): Ergebnisbericht Wolframiterkundung Aue-Lauter 1958/59 und 1962/64 (C-Vorhaben). Archiv des LfULG (EB 00510)

FRITSCHKE, E.; TÄGL, F. (1969): Zinnprognose Erzgebirge (1968–1970) – Gebiet Mittelerzgebirge, Teilgebiet Geyer-Ehrenfriedersdorf. Teilbericht Zinnkarn Geyer (Erzlager). Archiv des LfULG (EB 00767)

FRÖLICH, G. (1959): Ergebnisbericht über die 1956 bis 1958 durchgeführten Erkundungsarbeiten auf Schwespat bei Schlettau, Kr. Annaberg/Erzgebirge. Archiv des LfULG (EB 00209)

LOHRMANN, H.; u.a. (1988): Bericht über die Erkundungsarbeiten auf Zinn und Wolfram in der Teillagerstätte Pöhla-Globenstein mit Vorratsberechnung (Stand 01.07.1988). Archiv des LfULG (EB 02316)

HÖSEL, G. (1981): Zwischenbericht Zinn Ehrenfriedersdorf-Greifensteine, Teilgebiet Südfeld (Hahnenrück), Suche 1. Archiv des LfULG (EB 01692)

HÖSEL, G.; SCHULZE, H. (1985): Zinn Ehrenfriedersdorf Gangfeld Neundorf Ehrenfriedersdorf-Ost und Greifensteine. Archiv des LfULG (EB 03188)

HÖSEL, G.; LEONHARDT, D.; u.a. (1991): Ergebnisbericht „Suche Zinn Annaberg“. Archiv des LfULG (EB02320)

HÖSEL, G.; MANN, M.; OSSENKOPF, W. (1979): Erzvorratsberechnung Zinn Ehrenfriedersdorf. Archiv des LfULG (EB 01388)

HÖSEL, G.; HAAKE, R. (1965): Ergebnisbericht Sucharbeiten Skarn Schwarzenberg 1961-1964 (B-Vorhaben). Archiv des LfULG (EB 00519)

HÖSEL, G.; HAAKE, R.; TIMMERMAN, A.; WIEFEL, H. (1975): Ergebnisbericht über Sucharbeiten auf Zinkerze im Raum Jahnsbach/Erzgebirge. Archiv des LfULG (EB 00983)

HÖSEL, G.; KÜHNE, R.; ALEXOWSKY, A.; HOTH, K.; PÄLCHEN, W.; ROSCHER, O.; SCHILLING, B.; ZERNKE, B. (1985): Zusammenfassender Abschlussbericht Zinn Ehrenfriedersdorf, Sucharbeiten 1976 – 1985, Teil I und Teil II. Archiv des LfULG (EB 01906)

HÖSEL, G.; BECKER, U.; OSSENKOPF, P.; OSSENKOPF, W.; SCHULZE, H. (1977): Ergebnisbericht Zinn Ehrenfriedersdorf Teilgebiet NW-Feld, 5. Sohle, Teil I und II). Archiv des LfULG (EB 01186)

HÖSEL, G. u.a. (1982): Ergebnisbericht und Vorratsberechnung Zinn Ehrenfriedersdorf, Gangfeld Greifensteine SO und S. Archiv des LfULG (EB 02022)

HÖSEL, G.; OSSENKOPF, W.; GRÄBER, M.; SEIDEL, B.; FELIX, M.; KÜHNE, R. (1979): Ergebnisbericht Zinn Ehrenfriedersdorf Teilgebiet Röhrenbohrer (Zentralteil), Teil I. Archiv des LfULG (EB 01243)

KÜHNE, R.; DAHM, K.-P., OSSENKOPF, P., MEYER, H., SCHÖNING, C. (1969): Zinnprognose Erzgebirge (1968 – 1970) – Gebiet Mittelerzgebirge, Teilgebiet Annaberg-Buchholz-Schlettau: Qualitative Prognose. Archiv des LfULG (EB 00817)

KÜHNE, R.; DAHM, K.-P.; MEYER, H.; SCHÖNING, C. (1970): Zinnprognose Erzgebirge (1968-1970) – Gebiet Mittelerzgebirge, Teilgebiet Geyer-Ehrenfriedersdorf. Archiv des LfULG (EB 00816)

MIROTSCHNITSCHENKO, W., SCHUPPAN, W., ISAKOW, A. (1976): Bericht über die Ergebnisse der Such-Einschätzungsarbeiten auf Zinn und Wolfram im Westerzgebirge mit Stand vom 01.01.1978. Archiv des LfULG (EB 02314)

OSSENKOPF, P.; KÜHNE, R.; DAHM, K.-P., SCHÖNING, C., MEYER, H. (1969): Zinnprognose Erzgebirge (1968-1970) – Gebiet Mittelerzgebirge, Teilgebiet Wiesenbad-Neundorf. Archiv des LfULG (EB 00815)

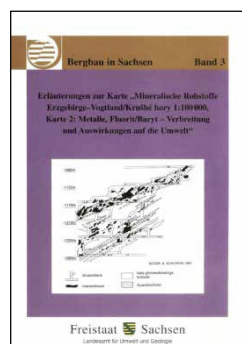
Bisher in dieser Reihe erschienene Bergbaumonografien



1
Das Zinnerz-Lagerstättengebiet
Ehrenfriedersdorf/Erzgebirge
1994



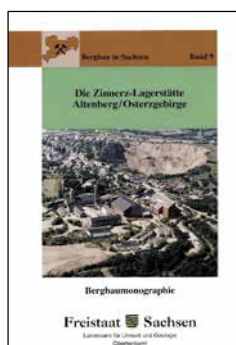
2
Flussspatlagerstätten des Südwest-
vogtlandes: Schönbrunn, Bösenbrunn,
Wiedersberg
1996



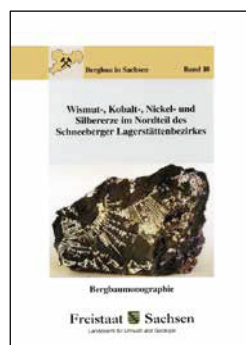
3
Erläuterungen zur Karte »Minerali-
sche Rohstoffe Erzgebirge-
Vogtland/Krušné Hory 1:100.000,
Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt-
Verbreitung und Auswirkungen auf
die Umwelt«
1994



4
Das Lagerstättengebiet Geyer
1998



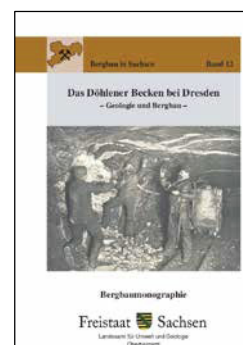
9
Die Zinnerz-Lagerstätte Alten-
berg/Ostergebirge
2002



10
Wismut-, Kobalt-, Nickel- und Silber-
erze im Nordteil des Schneeberger
Lagerstättenbezirkes
2003



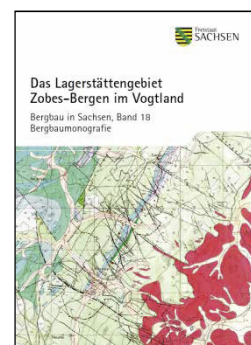
11
Der Braunkohlenbergbau im Südraum
Leipzig
2004



12
Das Döhlener Becken bei Dresden –
Geologie und Bergbau
2006



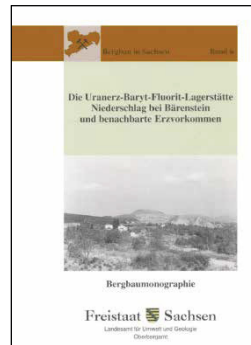
17
Die Komplexlagerstätten Tellerhäuser
und Hämmerlein
2012



18
Das Lagerstättengebiet Zobes-Bergen
im Vogtland
2016



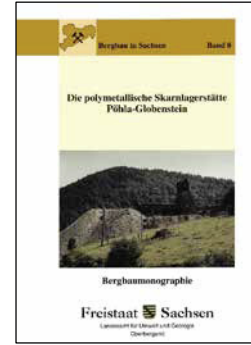
5
Die Schwespatlagerstätte Brundöb-
ra und das Schwespatvorkommen
Schnarrtanne im Ostvogt-
land/Westerzgebirge
1998



6
Die Uranerz-Baryt-Fluorit-Lagerstätte
Niederschlag bei Bärenstein und
benachbarte Erzvorkommen
2000



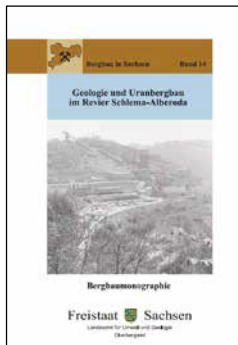
7
Die Uranlagerstätte Königstein
2000



8
Die polymetallische Skarnlagerstätte
Pöhla-Globenstein
2002



13
Die Kaolinlagerstätten des Kemmlit-
zer Revers
2007



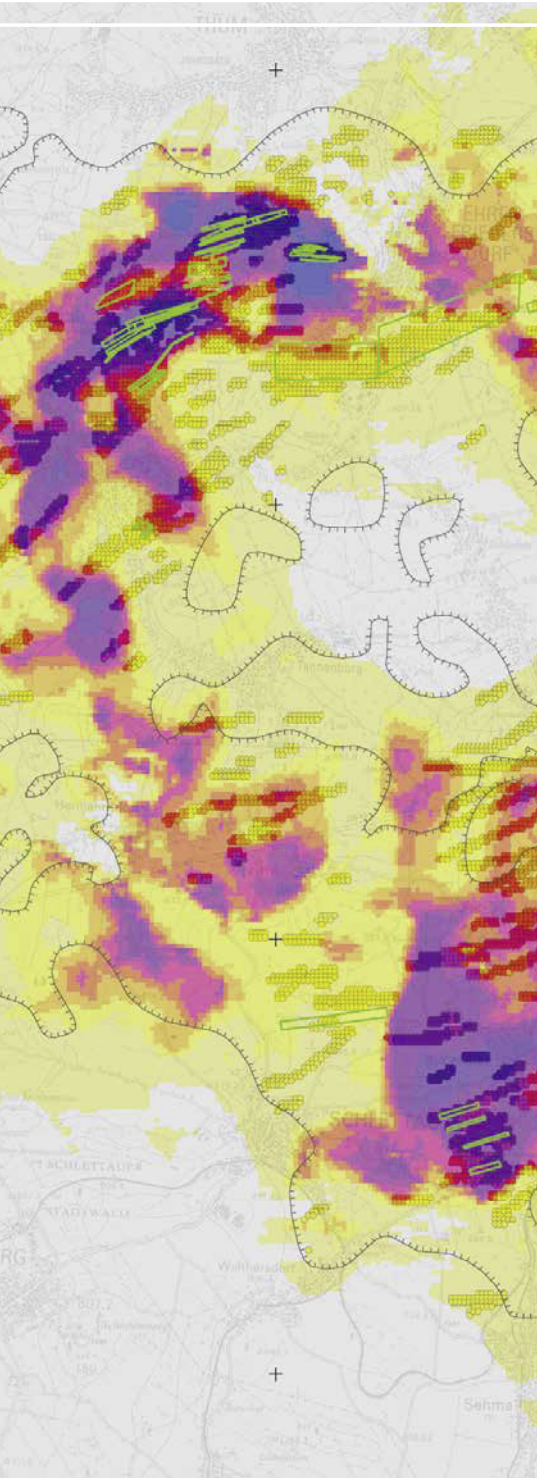
14
Geologie und Uranbergbau im Revier
Schlema-Alberoda
2008



15
Die Steinkohlenlagerstätte Zwickau
2009



16
Marmor im Erzgebirge
2010



Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
 Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
 Telefon: + 49 351 2612-0
 Telefax: + 49 351 2612-1099
 E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de
 Sächsisches Oberbergamt Kirchgassee 11, 09599 Freiberg
 Telefon: +49 3731 372-0
 Telefax: +49 3731 372- 1179
 E-Mail: Poststelle@obafg.smwa.sachsen.de
www.bergbehoerde.sachsen.de

Autoren:

Andreas Brosig, Andreas Barth, Andreas Knobloch, Ellen Dickmayer
 Beak Consultants GmbH
 Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg
 Telefon: +49 3731 781 350
 Telefax: +49 3731 781 352
 E-Mail: postmaster@beak.de

Redaktion:

Henrik Kaufmann
 LfULG, Abteilung Geologie
 Telefon: +49 3731 294-1404
 E-Mail: henrik.kaufmann@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.07.2020

Titel:

Überlagerung einer Prognosekarte der 1980er Jahre mit einer neuen Prognosekarte

Auflage:

300 Exemplare

Gestaltung und Satz:

Beak Consultants GmbH

Druck:

Stoba-Druck GmbH

Papier:

Gedruckt auf 100% Recycling-Papier

ISBN:

978-3-9812792-9-6

Bezug:

Diese Druckschrift kann gegen eine Schutzgebühr
 von 30,00 Euro bezogen werden bei:
 Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
 Hammerweg 30, 01127 Dresden
 Telefon: +49 351 2103-671
 Telefax: +49 351 2103-681
 E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdruckes von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de