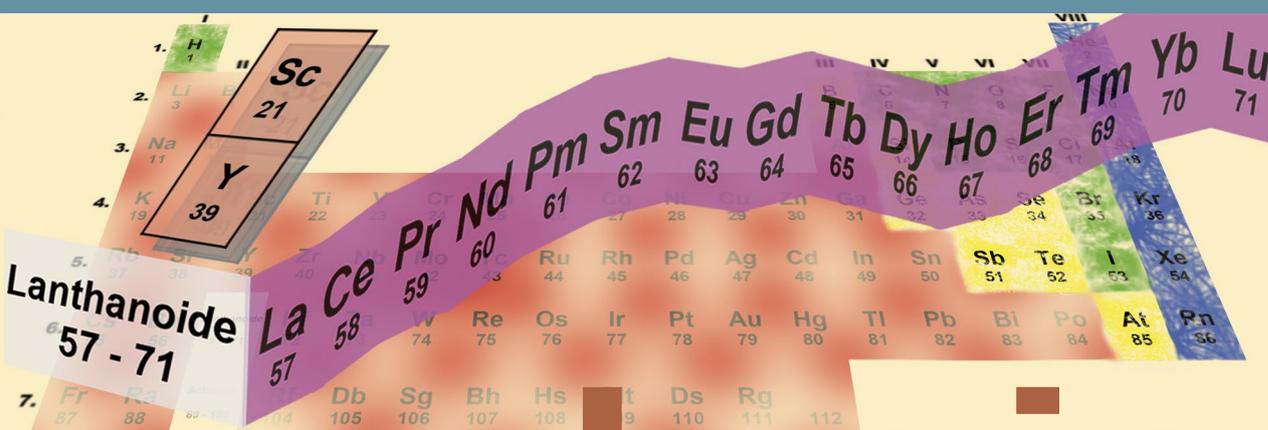




SEE-Potenzial der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg / Bodenmais



geologie



SEE-Potenzial der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg / Bodenmais

Teilprojekt II

Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente

Bearbeiter:
E. Linhardt, S. Becker, G. Mandelsperger

58 Seiten, 48 Abbildungen, 21 Tabellen, Augsburg 2015

Impressum

SEE-Potenzial in der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg / Bodenmais
Teilprojekt II, Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax.: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 105, Elmar Linhardt, Sindy Becker, Gerhard Mandelsperger

Redaktion:

LfU, Referat 105, Elmar Linhardt, Sindy Becker

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Oktober 2015

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird die Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Druckschrift wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	5
2	Sachstand	6
2.1	Projektanlass und Projekthalt	6
2.2	Bisheriger Kenntnisstand zu Selten Erd Elementen	6
2.3	Übersicht zur Montangeschichte des Erkundungsgebietes	7
2.4	Genese und Geologie der Lagerstätte Silberberg	8
2.5	Petrographie und Lagerstätten-Situation des Biotit-Gneis-Horizontes	12
3	Durchgeführte Arbeiten	17
3.1	Grubenbefahrung, radiometrische Felduntersuchungen und Probennahme	17
3.2	Auf- und Vorbereitung der Proben, Dichtentrennung	20
3.3	Mineralogie und Geochemie, radiometrische Laboruntersuchung	22
3.4	Auswertung der Analytik, Planimetrierung, Lagerstättenmodell und Bilanzierung	23
4	Ergebnisse	26
4.1	Detailbetrachtung hinsichtlich der Mineralogie und Geochemie	26
4.1.1	Allgemeines	26
4.1.2	Geochemie	27
4.1.3	Mineralogie	28
4.1.4	SEE-Pattern	28
4.1.5	Durchschnittliche SEE-Verteilung im Roherz	29
4.1.6	Gradierte SEE-Zusammensetzung der Einzelanomalien	30
4.1.7	Gradierter Ansatz zur Bestimmung des gesamten wahrscheinlichen SEE-Vorrats	35
4.1.8	Integrierter Ansatz zur Bestimmung des gesamten wahrscheinlichen SEE-Vorrats	36
4.2	Wertung der Lagerstätten-Modellierung	36
4.3	Gesamtpotenzial der Lagerstätte	37
4.4	SEE-Rohstoffe – mineralogische Bewertung	37
4.5	Betrachtungen zur vorhandenen Bergbau-Infrastruktur	37
5	Vorräte und Wirtschaftlichkeit	39
5.1	Rohstoffpotenzial bei Ausschöpfung der explorierten Reicherz-Zonen	39
5.2	Möglichkeit weiterer SEE-Potenziale außerhalb der Lagerstätte Silberberg	39
5.3	Positiv-Kriterien für eine SEE-Gewinnung aus der vorhandenen Abbaustelle	39
5.4	Negativ-Kriterien für die SEE-Gewinnung aus der vorhandenen Abbaustelle	40
5.5	Vergleich der Lagerstätte Silberberg mit Bedarfssituation und globaler Verfügbarkeit an SEE	40
5.6	Gesamtabwägung der Wirtschaftlichkeit	40
6	Prognose	42
7	Zusammenfassung	43
	Literatur	44
	Verzeichnis der Abbildungen	47
	Verzeichnis der Tabellen	50
	Anhang	52

1 Zielsetzung

Aufgrund immer neuer verfahrenstechnischer Einsatzmöglichkeiten der Selten Erd Elemente (SEE) im Bereich der Hochtechnologien bei gleichzeitig rapide steigendem Bedarf sowohl in den Industriestaaten als auch in den Schwellenländern stehen diese Metalle zunehmend im Fokus der Wirtschaft, Politik und Forschung. Demgegenüber wird diese Metallgruppe seit Jahren nach strategischen Gesichtspunkten und damit zum wirtschaftlichen Nachteil der sie benötigenden Branchen gehandelt.

Die vornehmlich durch China künstlich herbeigeführte Rohstoffverknappung auf den Weltmärkten führte gezwungenermaßen zu einem Umdenken bei der Suche nach geeigneteren Lagerstätten in langfristig stabilen Förderländern bzw. auch zu weiterführenden Anpassungsstrategien auf der Sekundärseite (durch Materialeffizienz, Substitution und Recycling).

Im Sinne einer mittel- bis langfristig gesicherten Versorgung mit diesen Rohstoffen könnten zudem künftig auch kleinere, bislang nicht berücksichtigte Lagerstätten zur Primärversorgung an Bedeutung gewinnen und ins wirtschaftliche Interesse rücken.

Dazu soll diese Untersuchung die Grundlage bilden und zeigen, ob und in welchem Ausmaß durch den Abbau einer kleinen, primären SEE-Lagerstätte in Bayern künftig die Abhängigkeit von Rohstoffimporten gesenkt werden kann.

Ziel der Untersuchungskampagne war es, grundlegende Informationen über die SEE-Lagerstätte Silberberg, ihre Mineralisation, ihre Größe sowie über die Gehalte an verwertbaren SEE zu erhalten und mittels mineralogisch-rohstoffkundlicher bzw. geochemischer Untersuchungen deren potenzielle Nutzbarkeit zu beurteilen.

Insgesamt soll mit diesem Teil-Projekt „SEE II“ die Größenordnung des rohstofflichen SEE-Potenzials der Lagerstätte Silberberg erarbeitet werden.

2 Sachstand

2.1 Projektanlass und Projektinhalt

Durch Vorarbeiten im Rahmen der Uran-Aufsuchung in Bayern existieren seit 1958 Hinweise auf eine SEE-Mineralisation in der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg bei Bodenmais.

Da für dieses offenliegende Potenzial zu dieser Zeit keine wirtschaftlich-technische Verwendung existierte, galten nachfolgende wissenschaftliche Arbeiten am Silberberg hinsichtlich SEE nur einem geologisch bzw. einem mineralogisch-geochemischen Zweck. Konkrete Explorationsmaßnahmen hinsichtlich SEE wurden dementsprechend als nicht zielführend erachtet und unterblieben über Jahrzehnte.

Mit Sondermitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie wurden Archivbestände recherchiert, Unterlagen ausgewertet, Prospektionsziele Über- und Untertage konkretisiert, vorhandene Daten mittels neuer radiometrischer, geochemischer und mineralogischer Analytik überprüft und Befahrungen durchgeführt. Durch das Referat „Wirtschaftsgeologie, Bodenschätze“ wurden weiterhin die Alt-Abbaue am Silberberg Untertage mittels Haufwerkbeprobung umfassend dokumentiert, von 10 gewonnenen Roherz-Proben (über und unter Tage) umfangreiche Untersuchungen zur Gesamtgesteinszusammensetzung durchgeführt, anhand mittels Dichtentrennung gewonnener Schwerminerale die SEE-Minerale bestimmt und quantifiziert, ihre verwertbaren Gehalte unter besonderer Berücksichtigung der SEE bestimmt und schließlich mit mineralogisch-geochemischen und radiometrischen Analysendaten zusammengefasst und ausgewertet.

Sämtliche raumbezogenen, stratigraphisch-petrographischen sowie mineralogisch-geochemischen Daten der Untersuchungen wurden nach erfolgter Bemusterung, Beprobung und Analytik in das Bodeninformationssystem (BIS) des LfU eingepflegt.

2.2 Bisheriger Kenntnisstand zu Selten Erd Elementen

Die Selten Erd Elemente (SEE, engl. REE) Cer (Ce), Lanthan (La), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu) sowie Yttrium (Y) und Scandium (Sc) treten überwiegend in eigenständigen Mineralen auf, wie Bastnäsit CeFCO_3 , Cerianit $(\text{Ce, Th})\text{O}_2$, Thorianit ThO_2 , Xenotim $(\text{Y, Yb})\text{PO}_4$ oder Monazit CePO_4 , wobei Cer durch andere SEE (La, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) sowie durch Uran (U) und Thorium (Th) substituiert werden kann. Der primäre Bildungsraum dieser Minerale liegt überwiegend im plutonisch-magmatischen Bereich. Als Seltenerdelement-Fänger in diesem geologischen Bildungsmilieu gelten daneben auch die Minerale Apatit, Allanit (Epidot), Granat und Zirkon (DEER, HOWIE, & ZUSSMAN 1980).

Verwendet werden die SEE u. a. für High-Tech-Katalysatoren, Akkus, Supermagnete, Metall-Legierungen, Keramik- und Glaszusätze, Glasfasern, Laser, PC-Speicher (Festplatten), zur Wasserstofflagerung sowie in der Reaktortechnik. Unter anderen enthalten folgende für den Endverbraucher wichtige Produkte SEE: Fernsehgeräte, Handies, Personal Computer, DVD's, Digitalkameras und Kernspintomographen. Wegen ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im Bereich der sog. Grünen Technologien sind diese „High-Tech-Grundstoffe“ zudem Voraussetzung für moderne Automobile (Hybrid- und Elektrofahrzeuge: Magnete, Abgasreinigung, Brennstoffzellen), für Anwendungen der Energie-Effizienz (Kühltechnologien, Leuchtstoffe) sowie für Windenergieanlagen (Generatoren: leistungsstarke Permanent-Magnete).

Neben diesen vielfachen technischen Verwendungen prüft China seit Jahren in mehreren Studien und Praxistests auch die Einsatzmöglichkeiten der SEE als Wachstumsförderer (Futtermittelzusätze) sowie als Düngemittel. Neuere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Themenbereich werden seit 2000 auch an der LMU München durchgeführt (KNEBEL 2004; SCHÖNE 2009).

TEUSCHER (1982) beschreibt zusammenfassend die Ergebnisse der Uran-Thorium-Aufsuchungskampagne am Silberberg zwischen 1958 und 1962 und weist erstmalig auf eine dabei entdeckte Monazit-Mineralisation hin, die demnach erzbegleitend überwiegend im Hangenden der Sulfiderz-Lagerstätte auftritt. Genauere Angaben zur Lagerstättensituation und zum Potenzial an SEE fehlen jedoch, da die damalige Exploration einem anderen Untersuchungsziel diene.

LINHARDT (1985) und TROLL, LINHARDT & SKERIES (1987) greifen diese Ergebnisse auf und bringen die SEE-Mineralisation in den Kontext mit der Genese der Gesamtlagerstätte.

Weitere, detailliertere Daten zum SEE-Potenzial dieser Lagerstätte liegen darüber hinaus bis heute nicht vor.

2.3 Übersicht zur Montangeschichte des Erkundungsgebietes

Der Bergbau am Silberberg bei Bodenmais (Abb. 1 und Abb. 2) wird erstmals 1313 urkundlich erwähnt, schon früh wurde er durch die Wittelsbacher gefördert. Im 14. Jahrhundert sind erste Eisenhämmer um Bodenmais belegt, die vermutlich oberflächennahe Brauneisenerze des Eisernen Huttes, gefördert aus dem Lagerstättenteil „Schiltensteinwiesen“ 1 km NW von Bodenmais und auch schon vom Silberberg (alte feuergesetzte Abbaue, z. B. der Barbaragrube, der Weitzeche und der Großen Kaue) weiterverarbeiteten. Verleihungen von Bergfreiheiten erfolgten im 15. und 16. Jahrhundert. Bodenmais erhält 1522 nach dem Vorbild der St. Annaberger Bergordnung die vollkommene Bergfreiheit und wird gefreite Bergstadt. So wird schon 1463 die Fundgrube „des Allmechtigen Gottes Gabe an einem Berg der Gegend in den Podenmaiss“ verliehen, 1477 kommen noch fünf Fundgruben (Stollenbetriebe „zu sann Dionisien“, „sand Erasme“, „Gottes Genad“, „zu unser lieben Frauen“ und „zu dem vierzehen Notthelffern“) dazu. Über die Jahrhunderte werden die weiteren Stollenbetriebe Sebastian-, Johannes-, Barbara- und Wolfgang-Stollen angeschlagen (FLURL 1792, GRUBER 1901, HALLER 1971 und LORI 1764).

Die abgebauten Sulfiderze dienten nach Überlieferung überwiegend zur Gewinnung von Vitriol (Eisen-Sulfat: verwendet zum Gerben und Färben). Gelegentliche Abbauersuche auf beibrechenden, silberhaltigen Bleiglanz blieben immer ohne den erhofften Erfolg. Seit dem 18. Jahrhundert wurde die Vitriolherstellung zunehmend von der Produktion von Polierrot („Potée“: Glasschleif- und Polier-Mittel) und von sog. Farbroten abgelöst. Um 1840 erfolgt bei der Erzgewinnung die Umstellung von Feuer setzen auf Sprengarbeit. Im Jahr 1913 wurde schließlich die Eisenvitriolproduktion ganz eingestellt. Bergwerkseigentümer wurde 1927 die Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerte AG (BHS). Nach dem zweiten Weltkrieg erlebte Bodenmais eine kurze Hochkonjunktur mit der Herstellung von Polier- und Farbroten. Diese Erzeugnisse konnten schließlich mit chemischen Produkten nicht mehr konkurrieren. Die endgültige Einstellung der Erzgewinnung und Weiterverarbeitung erfolgte 1953 bzw. 1962, nach mehr als 600 Jahren Bergbau in Bodenmais. Das Grubengebäude umfasst nun rund 20.000 m aufgewältigte Strecken. Teile des Bergwerkes am Silberberg wurden ab 1956 ausgebaut und nachfolgend als Besucherbergwerk betrieben.

Bergmännische Prospektionsarbeiten vornehmlich auf unerschlossene Sulfiderz- (Rest-) Potenziale erfolgten parallel zur aktiven Phase und nach Einstellung des Bergbaus bis in die 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts im Raum Bodenmais, u. a. unterstützend durch das Bayerische Geologische Landesamt

(1951), durch die Gesellschaft zur Aufsuchung von Bodenschätzen in Bayern (GAB 1951 bis 1962; GAB 1963), die Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke AG (BHS, 1958 bis 1962) sowie durch die Gelsenberg AG (1981 bis 1984). Diese haben die Sulfiderz-Vorkommen im Raum Bodenmais endgültig als nicht mehr abbauwürdig eingestuft.

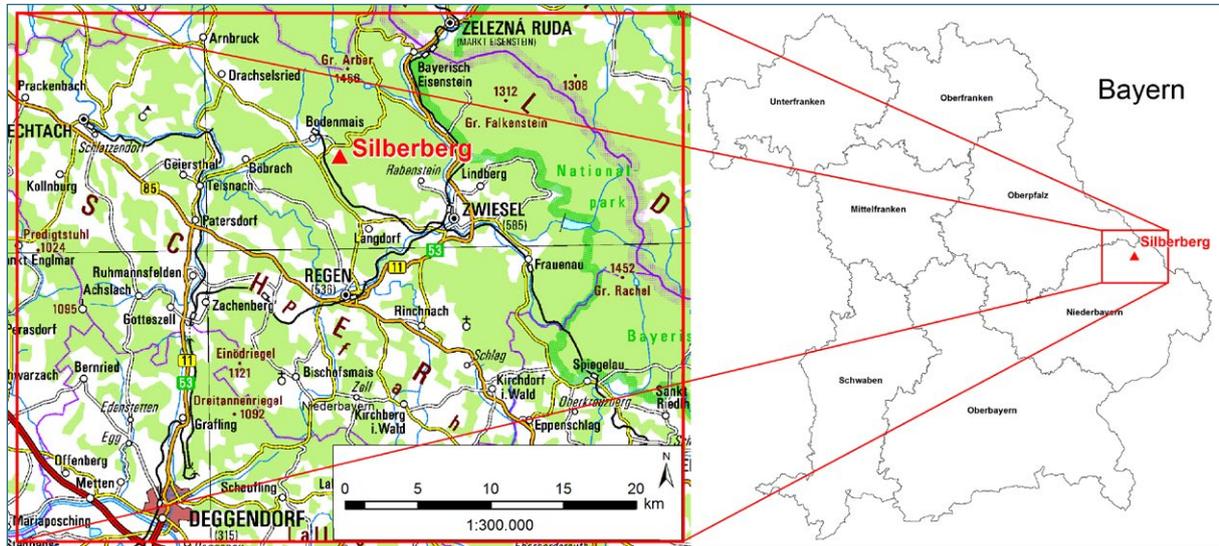


Abb. 1: Geographische Lage der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg bei Bodenmais.



Abb. 2: Gesamtansicht Silberberg von Bodenmais aus, Blickrichtung Südost.

2.4 Genese und Geologie der Lagerstätte Silberberg

Die ersten umfassenden Angaben zu Erzvorkommen im Hinteren Bayerischen Wald und zu geologisch-bergtechnischen Details der Situation am Silberberg finden sich bei GÜMBEL (1868). Die Erzkörper im Bodenmaiser Gebiet sind nach GÜMBEL syngenetischer Entstehung, welche an paläozoisch - proterozoische Tonschiefer gebunden sind. Diese wiederum seien im Karbon von der variskischen Faltung erfaßt und gleichzeitig oder kurz danach von granitischen Schmelzen injiziert worden („injizierte Schiefer“). Hierbei seien die Tonschiefer kontaktmetamorph verändert worden, wobei den dunklen Lagen ein granoblastisches Hornfelsgefüge aufgeprägt worden ist, die hellen Lagen jedoch eine granitisch-aplitische Struktur erlangten. Die in manchen Gesteinsbereichen fehlende Schieferung sei durch massive Textur verwischt worden.

Davon abweichend beschreibt LEHMANN (1884) die Vererzung als ein spätphasiges Produkt „granitischer Sekrete“, die in Zwischenräume der Gneise intrudierten.

Zu einer anderen genetischen Deutung gelangt WEINSCHENK (1901), der die erste eingehendere geologisch-mineralogische Beschreibung der Lagerstätte am Silberberg publiziert. Wie schon GÜMBEL vertritt auch er die Meinung, dass die Cordierit-Gneise, die den Erzkörper umrahmen, granitisch injiziert seien, er rechnet aber die Erze selbst einer magmatischen Entstehungsart zu und postuliert die Intrusion eines Erzmagmas.

Von BERGEAT (1906) werden die Bodenmaiser Sulfidvorkommen als „Injektions-Kontaktlagerstätten“ angesprochen.

Die Arbeiten von FREBOLD (1929) weisen das Vorkommen wieder einer syngenetisch-polymetamorphen Entstehungsgeschichte zu.

Basierend auf ihren erzmikroskopischen Arbeiten an Sulfiderzen von Bodenmais gelangen HEGEMANN & MAUCHER (1933) zu dem Schluss, dass Erze und Gneise von einem diskordanten Granit aus kontaktmetamorph verändert wurden, wobei die Erze bei Berührung mit den Pegmatiten dieses Granits teilweise pseudomagmatisch aufgeschmolzen worden sind.

HARTMANN (1938) widerspricht dieser Interpretation und sieht die Lagerstätte als Reste Pfahlparalleler, hydrothermal gebildeter und jetzt stark erodierter Erzspalten.

In seiner petrographischen Bearbeitung dieses Gebietes fasst FISCHER (1939, 1967) den Lagenbau in den Gneisen als Ergebnis einer metamorphen Differentiation auf und die Erze als Anreicherungsprodukte einer Mobilisation primär feinverteilter Erzspreuen aus den Gneisen.

SCHRÖCKE (1955) gelangt aufgrund seiner geologischen, tektonischen und mikroskopischen Untersuchungen zu der Auffassung, dass sich ehemalige sandig-tonige Schichtglieder mit den eingeschalteten Erzkörpern hydrothermal-sedimentärer Herkunft prämetamorph bzw. am Beginn der Deformation parallel dem heutigen tektonischen Streichen anordneten.

SCHREYER, KULLERUD & RAMDOHR (1964) zeigen in ihrer Arbeit anhand verschiedener geologischer Thermometer, dass Erz und Rahmengesteine der Lagerstätte während einer Regionalmetamorphose annähernd gleichen Druck- und Temperatur-Bedingungen ausgesetzt waren. Der Frage nach der Herkunft der Erze wird dabei nicht nachgegangen.

Analogien zu stratiformen Sulfidvorkommen präkambrischen - paläozoischen Alters weltweit veranlassen LINHARDT (1985) und TROLL, LINHARDT & SKERIES (1987) den Bildungsort der Bodenmaiser Erze als submarin, vulkanisch-exhalativ einzustufen. Basierend auf einer engräumigen geologisch-petrographischen Kartierung und mittels geochemischen Untersuchungen werden als Edukte der (poly-) metamorph überprägten Rahmengesteine unterschiedlich hydrothermal alterierte kalkalkalische Pyroklastite und Tuffite sowie Gelquarzite identifiziert, die in den stärker pelitisch geprägten Serien im Hangenden und Liegenden der Erzzone eingeschaltet sind. Die Assoziation aus petrographisch und geochemisch stark differenzierten Gesteinstypen mit Quarz-, oder Sillimanit-, oder Biotit-, oder Anthophyllit- und Magnetit-Vormacht wird mit einer prämetamorphen, hydrothermalen Umwandlung detritischer Minerale erklärt; im Einflußbereich der erzbringenden Hydrothermen werden als wirksame Prozesse Um- und Neubildung von Tonmineralen (Kaolinit, Chlorit), Ausfällung von kolloidalem SiO₂ (Gelquarzite) und Adsorption und Ionenaustausch (Ba, SEE, Th und U) an Tonmineralen angesiedelt. Reduzierende Verhältnisse unmittelbar am Austrittspunkt der Hydrotherme(n) führten zur Sulfidaus-

fällung am ehemaligen Meeresboden. Eine starke hydrothermale Aktivität hatte massive, kompakte Erzkörper zur Folge, eine periodisch-intermittierende Aktivität führte zu einer rhythmisch-gebänderten Vererzung zusammen mit (vulkano-) klastischen Sedimenten. Entfernt von der sulfidführenden Hydrotherme, im so genannten Halo-Bereich, wurden offensichtlich Sedimente mit hohen Gehalten oxidischer Erzschlämme (Fe-Mn-Oxi-Hydroxide) abgelagert, die heute als Granat-reiche Metatexite vorliegen (südöstlich Silberberg: „Brandtner Riegel“). Die hochgradig metamorphen Prozesse, denen die Bodenmaiser Gesteine ausgesetzt waren, werden als weitestgehend isochem angesprochen. Der Verband von Sulfiderz und Rahmengestein wird im Wesentlichen als primär sedimentärer Lagenbau gedeutet, parallel zu dem die tektonisch-metamorphe Schichtung verläuft (Abb. 3, Abb. D-1 Anhang).

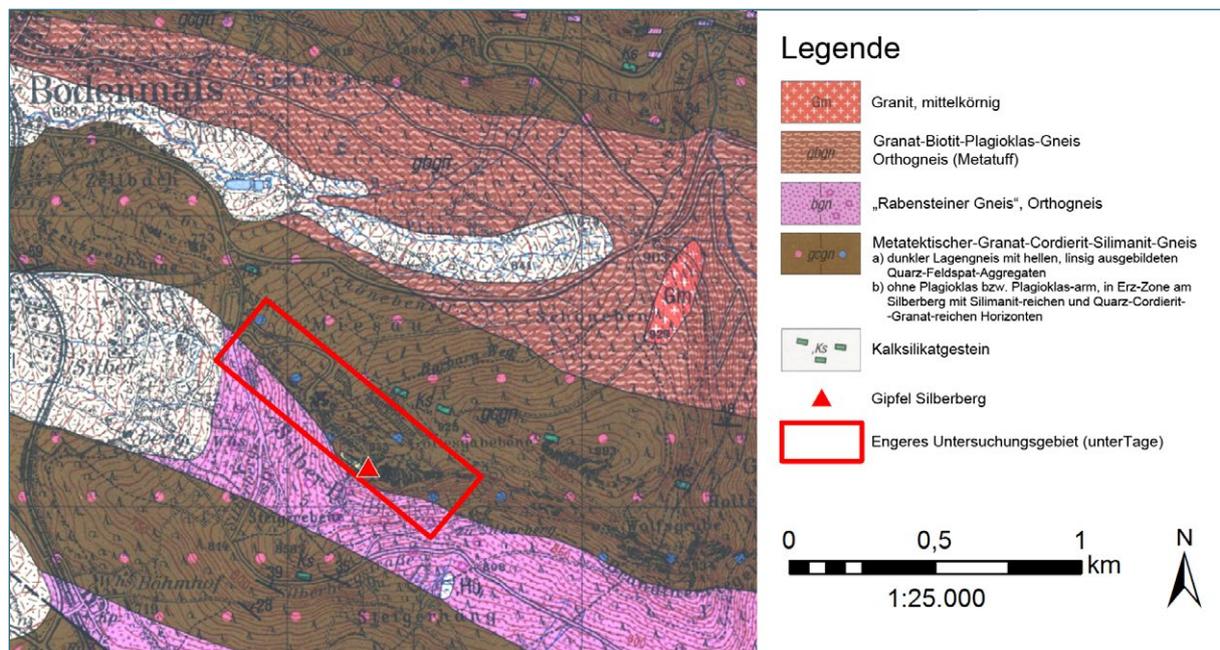


Abb. 3: Geologische Übersicht mit Lage der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg und engerem Untersuchungsgebiet (angepasster Ausschnitt aus GK25, Blatt 6944 Bodenmais, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1997).

Die Lagerstätte am Silberberg besteht aus lagen- und linsenförmigen Sulfiderzkörpern, die konkordant in die Gneise (überwiegend Kalzium-arme Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneise) des Erzhorizontes eingeschaltet sind. Das mittlere Streichen der Erzkörper liegt bei 114° NW-SE mit einem mittleren Einfallen von 43° NNE. Das Einfallen der Erzkörper verflacht von ca. 50° – 70° in den oberen Teufen auf ca. 32° – 45° in den unteren Teufen. Von GÜMBEL (1868) werden das „Haupttrum“, das „Liegend-“ und das „Hangendtrum“ unterschieden. Innerhalb der zwei wesentlichen im Abstand von 20 m–50 m verlaufenden Erzlager (Haupt- und Liegendtrum) treten die Erzkörper rhythmisch-feingebändert (cm- bis dm-mächtig) mit Silikaten, in der Regel aber als bis 2 m mächtige kompakte Lagen auf. In den linsenförmig verdickten Erzkörpern der sog. Trume (im Barbara-, Mittelsohlen- und Ludwigstollenniveau) dagegen werden Mächtigkeiten von maximal 16 m beschrieben (Abb. 4 und Abb. 5).

Alle Lagerteile eingeschlossen ist der Sulfiderz-Horizont am Silberberg auf ca. 600 m in Streichrichtung (NW–SE) und auf ca. 250 m im Einfallen bergmännisch aufgeschlossen (Abb. 6).

Die Sulfiderze treten als derbe, gemischte, grobkörnige und unregelmäßige Aggregate auf. Die Erzmineral-Paragenese umfasst Pyrrhotin (Magnetkies) und Pyrit als Haupterz, in die als wesentliche Beimengung Sphalerit (Zinkblende) eingelagert ist. Untergeordnet und oft nur lokal angereichert fin-



Abb. 4: Rhythmisch-gebändertes Sulfiderz, Erste Johannesstollen.



Abb. 5: Massives Sulfiderz, Erste Mittelsohle / Ministerplatz.

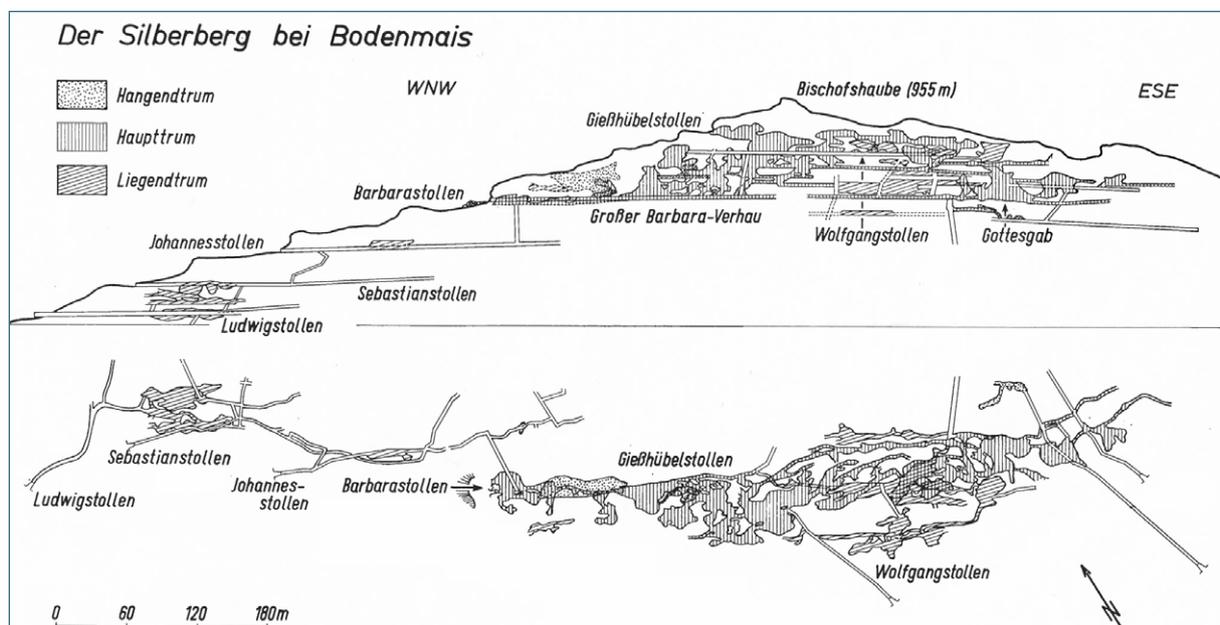


Abb. 6: Saiger- und Grundriß des Sulfiderz-Bergwerks Silberberg. Nach STRUNZ (1971).

den sich Chalkopyrit (Kupferkies), Galenit (Bleiglanz, silberreich mit ca. 5g Ag / kg Bleiglanz), Magnetit, Herzynit und Zink-Spinell („Kreittonit“). Als Seltenheit wurden primärer Markasit, gediegen Bismut, gediegen Silber, Kassiterit und Vallerit gefunden. Vereinzelt traten weiterhin Chalkosin und Ilmenit auf (BLENDINGER & WOLF 1981). Bei Uran-Thorium-Prospektionsarbeiten zwischen 1958 und 1962 konnte ein spezieller Biotit-Gneis-Horizont im Hangenden der Erzzone nachgewiesen werden, der wegen seiner hohen Strahlungswerte und besonderen Mineralogie in Folge weiter untersucht wurde (TEUSCHER 1982, LINHARDT 1985 und TROLL, LINHARDT & SKERIES 1987).

Mit den Sulfiderzen verknüpft und in sie z. T. eingelagert sind die Silikate Cordierit (teilweise pinitisiert), Biotit, Quarz, Sillimanit, Andalusit, Plagioklas (Andesin), Kalifeldspat, Amphibol (Anthophyllit; BLÜMEL & PROPACH 1978), Pyroxen (Hypersthen), Granat (Almandin) und Turmalin. Daneben finden sich, z. T. jedoch nur unter dem Mikroskop, Graphit, Rutil, Apatit und Fluorit. Epidot, Baryt und Zeolith (Chabasit, Heulandit, Harmotom und Stilbit) treten als hydrothermale Produkte der ausklingenden Metamorphose auf. Als Sekundärbildungen der Oxidationszone wurden u. a. beschrieben: ge-

diegen Kupfer, Schwefel, Langit, Gips, Cuprit, Calcit, Azurit, Malachit, Vivianit und Wavellit (OBERMÜLLER 1993).

Weitere kleine Schurfstollen und Abbaue wurden in der engeren streichenden Fortsetzung der Lagerstätte Silberberg angelegt und betrieben. Sie befinden sich in den Forstabteilungen Hollerhäng, Sachsenhäng, Steigerhäng und Brandtner Riegel bis ca. 2,5 km südöstlich und östlich Bodenmais sowie 2 km nordwestlich Bodenmais im Gemeindeteil Mooshof. Dabei wurden jedoch jeweils nur Sulfid-Erzimprägnationen oder -Erzschüre von wenigen Zentimetern Mächtigkeit in den anstehenden Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneisen angetroffen. In der weiteren streichenden Fortsetzung der Erzzone liegen die Vorkommen Schiltensteinwiese / Bodenmais, Bergamtsgarten / Bodenmais, Mühlberg / Unterried und Rotkot / Zwiesel. Mit Unterbrechungen ergibt dies einen Erzhorizont von ca. 20 km Längserstreckung (GÜMBEL 1868, BLENDINGER & WOLF 1971).

2.5 Petrographie und Lagerstätten-Situation des Biotit-Gneis-Horizontes

Leistungen und Ergebnisse der Explorationstätigkeit 1958–1962:

In den Jahren 1958 bis 1962 wurden durch die Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerte AG in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA) und dem Oberbergamt systematische Untersuchungen auf eine Uran-Thorium-Erzführung im Bergwerk Silberberg durchgeführt. Im Auftrag und mit Mitteln des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (Bewilligungsbescheide vom 18.6.1959 und 27.8.1959) wurden dazu geophysikalische Messungen (Radiometrie), kurze Bohrungen unter Tage, Tiefbohrungen von über Tage, bergmännische Aufschlußarbeiten im Johannesstollen sowie Haufwerk-Untersuchungen hinsichtlich des Uran- und Thorium-Potenzials unternommen. Mittels radiometrischer Messungen (Voruntersuchungen mittels Geigerzählrohr und Szintillometer) entlang einer Streckenlänge von rund 3.000 m im gesamten Grubengebäude konnten darin entlang etwa 300 Meter anomale Werte von Gammastrahlung festgestellt werden. Die höchsten Anomalien lagen mit 100.000 bis teilweise über 180.000 cpm (counts per minute) weit über dem Normalbereich in der Grube von 6.000 bis 10.000 cpm. Darauf wurden 1.300 kurze Bohrungen als Bohrkränze (jeweils im Liegenden, Hangenden und in der Firste) von 1,0 bis 1,5 m Länge in ausgewählten Streckenprofilen abgeteuft, die Bohrlöcher von 20 cm zu 20 cm gestuft mittels Geigerzählrohr und Szintillometer vermessen, die (trockenen) Bohrmehlproben gestuft aufgefangen und ebenfalls radiometrisch (im Labor des GLA) analysiert. Auf diesen Befunden aufbauend konnte schließlich eine höfliche Gesteinslage (Biotit-Gneis) von wenigen Dezimetern Mächtigkeit auf etwa 1.000 m streichende Länge und rund 200 m flacher (einfallender) Teufe lokalisiert werden. Darin erwies sich eine Zone von 100 m streichender Länge („Johannesstollen-Anomalie West“) als besonders interessant und wurde anschließend mittels einer bergmännischen Aufschlußarbeit systematisch bemustert. Die meisten der anderen, in der Erstbegehung ausgezeichneten Anomalien waren wesentlich kleiner als die mit den maximalen Messwerten in der Johannesstollen-Anomalie West; meist gingen hier die Maximalwerte bei Entfernung von der Strecke ins Hangende schnell zurück.

Nach diesen ersten Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Biotit-Gneis in den radiometrisch auffälligen Bereichen fast ausnahmslos im unmittelbaren Hangenden und oft nur in geringem Abstand (< 1 m) zum Sulfiderzlager ausgebildet ist, was sowohl durch die engräumig angelegten Bohrprofile als auch durch die radiometrische Bohrmehl-Analytik bestätigt wurde. Die bergmännischen Aufschlußarbeiten in der West-Anomalie des Johannesstollens (13 m hohes Aufhauen und 21 m streichende Auffahrung) ergaben punktuell ein detaillierteres Bild von den Verbandsverhältnissen. Der prospektierte Horizont zeigte sich hier als lokal verdickte, teilweise fast vertikal aufgestellte Linse mit vom normalem Erzeinfallen abweichenden Fallwert von 75° bis 85° nach Norden, die steil (bis 13 m von der Sohle des Johannesstollens aus verfolgbar) in die hangenden Granat-

Gneise hineinragt und dann offensichtlich auskeilt. Auf dieser Dokumentationsgrundlage und nach heutiger Erkenntnis wäre als geeignete Erklärung dafür eine sedimentär bzw. tektonisch erzeugte Faltenstruktur (ähnlich einem gestauchten bzw. einem in Falten gelegten Tuch) plausibel.

Im Jahr 1961 folgten dann 5 gekerkerte Tiefbohrungen (T.B. 1, 4, 5, 6, 7; durchgeführt vom Werk Bodenmais) mit 30,0 m, 42,0 m, 28,5 m, 42,0 m und 112,0 m Teufe von über Tage, die jedoch (außer dem schon bekannten in T.B. 1) keine weiteren U-, Th-führenden Horizonte im Hangenden des Kieslagers angetroffen haben. In der Schlussbeurteilung von 1962 wurde vermerkt, dass es sich bei dem angetroffenen Biotit-Gneis-Horizont nicht um den Rest des im allgemeinen schon abgebauten Magnetkieslagers handelt. Er liegt zwar in der Nähe, nicht aber innerhalb des Erzkörpers; es wird deshalb angenommen, dass dieser Horizont noch weitgehend unverritz neben dem sulfidischen Erzlager vorhanden, aber nur gelegentlich aufgeschlossen ist. Da alle Stollen im Silberberg nur in der Sulfiderz-Lagerstätte aufgefahren sind, wird nur an einigen Stellen durch zufällige Abweichungen in der normalen Auffahrung die im Hangenden der Sulfiderz-Lagerzone liegende radioaktive Zone berührt, nicht aber von ihnen erschlossen. Mit den 1,5 m langen Bohrungen unter Tage konnte in der Regel die (vermutete) radioaktive Zone nicht immer erreicht werden; stattdessen wären dafür Bohrlängen von 10 m -15 m erforderlich gewesen. Die im Westfeld angesetzte Bohrung T.B. 1 durchhörte dabei den in der Johannesstollen-Anomalie von unter Tage aufgeschlossenen Schichtverband, die im Ostfeld angesetzte Bohrung T.B. 7 hätte die Verlängerung der Lagerzone im Hangenden des Johannesstollen antreffen sollen. Wegen dem Ausbleiben ergab sich als Schlussfolgerung, dass es sich um keinen zusammenhängenden, gleichmäßig über das Grubenfeld erstreckenden Horizont handelt, sondern um einzelne örtlich begrenzte Anreicherungen mit linsiger Ausbildung, deren Auffindung und Eingrenzung nur durch sehr dicht gestaffelte Bohrungen und begleiteter Geophysik möglich wäre. Wegen der Engräumigkeit und Zersplitterung der Lagerstätte wurde deswegen auf eine konkrete Erzvorratsberechnung hinsichtlich Uran und Thorium verzichtet (aus: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1951–1962).

Erkenntnisse aus der Untersuchungstätigkeit nach 1962 bis 1987:

Quelle der explorierten Uran-Thorium-Vererzung sind nach vorliegenden Untersuchungen überwiegend die Minerale Monazit und Cerianit, untergeordnet Zirkon und Thorianit. Diese Minerale finden sich offensichtlich konzentriert im Hangenden des Sulfiderzlagers in einem Biotit-reichen Gneis, was durch nachfolgende Untersuchungen konkretisiert werden konnte. Da qualitativ und quantitativ andere SEE-führenden Minerale wie Apatit und Granat im Lagerhorizont (Biotit - Gneis) fehlen, kann daher auch nur Monazit (sowie untergeordnet Cerianit, Thorianit und Zirkon) als potenzieller Uran-, Thorium- und SEE-Träger in Frage kommen (aus: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1951–1968; LINHARDT 1985; TROLL, LINHARDT & SKERIES 1987).

Ergebnisse aktueller Untersuchungen bis 2015:

Nach obigen Befunden sind die nachgewiesenen U-Th-Anomalien direkt korreliert mit dem Auftreten o.g. Minerale, die wiederum an den genannten Biotit-reichen Gneis (Biotit - Gneis) gebunden sind. D. h. je höher die gemessene Radioaktivität im Biotit - Gneis liegt, desto höher der prognostizierte Gehalt an Monazit und Cerianit (sowie von Thorianit und Zirkon) und desto höher ist auch der Gehalt an SEE. Diese Arbeitshypothese galt es anhand aktueller Arbeiten zu bestätigen.

Anhand neu genommener Proben aus der Lagerzone des Biotit - Gneises (Johannes-Stollen, Probeabbau) sowie mittels mineralogisch-geochemischer und radiometrischer Untersuchungen konnte dieser theoretische Zusammenhang durch die aktuellen, nachfolgend geschilderten Projekt-Arbeiten bestätigt werden (Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9 und Abb. 10).

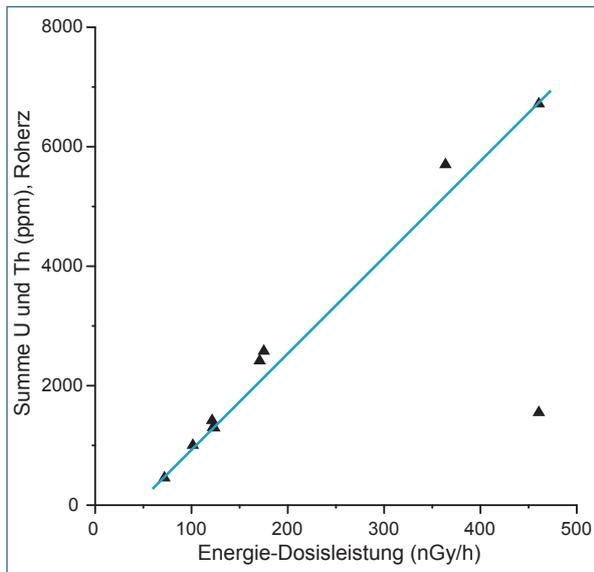


Abb. 7: Korrelation (U + Th, in ppm) vs. Energie-Dosisleistung in nGy/h (Abszisse).

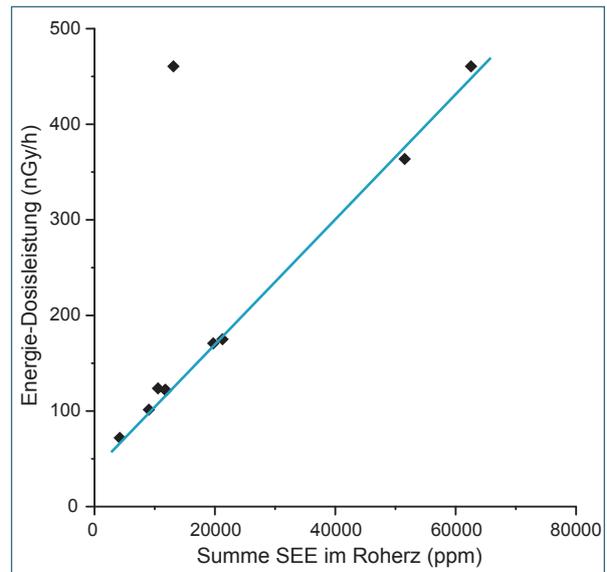


Abb. 8: Korrelation Energie-Dosisleistung (nGy/h) vs. Summe SEE im Roherz (ppm) (Abszisse).

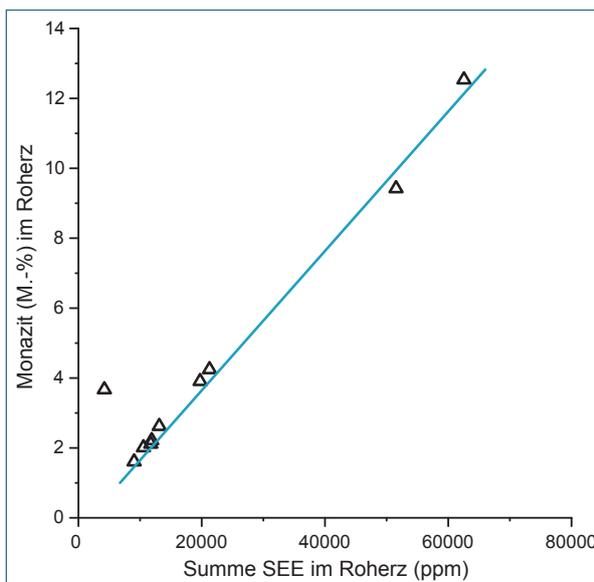


Abb. 9: Korrelation Monazit-Gehalte (M.-%) vs. Summe SEE (ppm) (Abszisse).

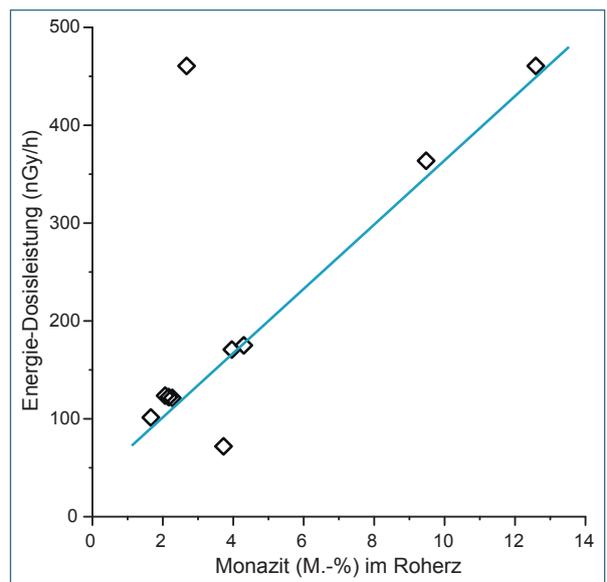


Abb. 10: Korrelation Monazit-Gehalte (M.-%) vs. Energie-Dosisleistung (nGy/h) (Ordinate).

Es findet sich demnach überwiegend eine sehr gute, lineare Korrelation von Radioaktivität (Gamma-Strahlung, Aktivität, Dosisleistung) mit unterschiedlichen Proben des Biotit - Gneises hinsichtlich der Gehalte von SEE-Mineralen (überwiegend Monazit), hinsichtlich der SEE-Gehalte (ppm) sowie hinsichtlich der U-/Th-Gehalte (ppm) in den untersuchten Proben. Damit lassen sich die ersten Explorations-Ergebnisse hinreichend gut bestätigen. Diese Erkenntnis zusammen mit dem relativ dichten radiometrischen Meßnetz (1958–1962, 2014) stellt nun die Grundlage für die Modellierung der SEE-Mineralisation im aktuellen Projekt (aufbauend auf den vorhandenen U-/Th-Explorations-Ergebnissen) dar (siehe Kap. 3.4).

Einschränkend dazu bleibt jedoch die Tatsache, dass offensichtlich zwischen den einzelnen Anomalien keine „direkten Verbindungen“ gefunden wurden bzw. dass auf Grundlage vorliegender Daten

ihre Existenz auch nicht ausgeschlossen werden kann. Ob und inwieweit es sich daher um einen geschlossenen Horizont handelt, der eventuell doch in weiterer Entfernung vom Erzhorizont liegt, aber vom hangenden Nebengestein abgeschirmt ist (und daher radiometrisch nicht nachweisbar ist) kann auf dieser Informations- und Arbeitsgrundlage nicht zweifelsfrei belegt werden. Ein dichter gestaffeltes Bohrnetz mit tieferen Bohrungen wäre nötig um darüber Klarheit zu bringen. Vom Projektvolumen und Zeitrahmen her war dies jedoch nicht leistbar. Deswegen werden hier nur die bislang radiometrisch dokumentierten Anomalien als inselartige Einzelvorkommen behandelt und so modelliert.

Da aus Sicherheitsgründen der Versuchsabbau in der Johannesstollen-Anomalie West aktuell (2014) nicht mehr begangen werden konnte, bilden die unveröffentlichten schriftlichen und zeichnerischen Aufnahmen (Monatsberichte) von TEUSCHER 1982 (Archivbestand BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, Akten 61,71, 72 und 74, 1951–1968) sowie die radiometrischen Untersuchungen dieser Zeit die Grundlage der Interpretation von Geologie, Verbandsverhältnissen und Gesteins-Mächtigkeiten für die Lagerstätten-Modellierung.

Petrographische Beschreibung und Verbandsverhältnisse:

Das Ziel aller bisherigen Untersuchungen, der sog. Biotit - Gneis wird stellenweise zwischen 10 cm und (lokal) 70 cm, im Mittel jedoch ca. 30 cm mächtig und besteht bis zu ca. 65 Vol.-% aus dunkelbraun-schwarzen, schuppigen, wenige mm (max. 3 mm) großen Biotit-Blättchen, die dem Gestein makroskopisch ein klein- bis mittelkörniges, homogen dichtes und richtungsloses bis stellenweise auch flaserig-welliges, kleingefaltetes Gefüge aufprägen (Abb. 17). Quarz, Feldspäte, Chlorit, Cordierit und Sillimanit sind in wechselnden Anteilen vertreten (zusammen maximal ca. 40 Vol.-%) und verändern lokal die Gesteinsfarbe von braun-schwarz hin zu grau-schwarzen Tönen. Schwerminerale wie Zink-Spinell, vor allem aber die SEE-Minerale Monazit neben Zirkon, Cerianit und Thorianit bilden den Rest von im Mittel ca. 4,7 Vol.-% (entsprechend ca. 7,3 M.-%). Übergangsbereiche des Biotit - Gneises zu den liegenden bzw. hangenden Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneisen (sog. GraCoSi-Metatexite) der Sulfiderzzone enthalten noch maximal ca. 20 bis ca. 30 Vol.-% Biotit zusammen mit den überwiegend auftretenden, teils lagig angereicherten Silikaten und Oxiden (Quarz, Cordierit, Kalifeldspat, Sillimanit und Spinell). Granat tritt im eigentlichen Biotit - Gneis im Gegensatz zu den Erzbegleitenden Gneisen im Liegenden und Hangenden stark zurück bzw. fehlt ganz (TROLL, LINHARDT & SKERIES 1987). In Erznähe nimmt der Gehalt an Zn-Spinell im Biotit - Gneis stellenweise rapide zu (bis auf ca. 20 Vol.-%), entsprechend reduziert sind dann die prozentualen Gehalte von Biotit. TEUSCHER (1982) stellt fest, dass dem Biotit-Gneis ein für Seifenlagerstätten typischer primärer Gehalt an Magnetit und/oder Ilmenit ganz fehlt. Nach Auffassung von TROLL, LINHARDT & SKERIES (1987) untermauert dieser Sachverhalt (neben anderen geochemischen Faktoren) die Einstufung des Biotit - Gneises als metamorphes, ehemals Tonmineral-reiches Sediment, an das prämetamorph SEE's adsorbiert wurden (und nicht als metamorphisierte Seifenlagerstätte).

Die erzbegleitenden Lithologien im Hangenden und Liegenden des Biotit - Gneises sind davon abweichend überwiegend als Plagioklas-(Kalzium-) arme bis freie GraCoSi-Metatexite ausgebildet und enthalten durchschnittlich ca. 15 Vol.-% Biotit; hier dominierend sind, neben Quarz und Kalifeldspat, die Hauptbestandteile Granat, Cordierit und Sillimanit in wechselnden Anteilen (TROLL, LINHARDT & SKERIES 1987).

Eine Auswahl charakteristischer Gesteinstypen aus dem unmittelbaren Sulfiderz-Horizont zwischen Silberberg (NW) und Brandtner Riegel (SE) ist in den nachfolgenden Abbildungen aufgeführt (Abb. 11 bis Abb. 16). Der Biotit - Gneis unterscheidet sich davon schon makroskopisch sehr stark (Abb. 17). Mikroskopisch fallen darin die durchschnittlich 0,2 mm großen, equigranular-xenoblastischen, mosaikartigen Monazit-Kristalle auf (Abb. 18).



Abb. 11: Quarzit-Horizont, Wolfgang-Stollen.



Abb. 12: Quarzit, Wolfgang-Stollen.



Abb. 13: Sillimanit-Gneis, Gießhübel-Zeche.



Abb. 14: Sillimanit-Gneis, Gottesgab-Zeche, Handstück.



Abb. 15: Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneis, Brandtner Riegel (DIN A4 Heft unten als Maßstab).



Abb. 16: Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneis, Bohrung 7, Silberberg, Kernstück bei 79,0m Teufe.



Abb. 17: Biotit-Gneis, Johannes-Stollen, Handstück.

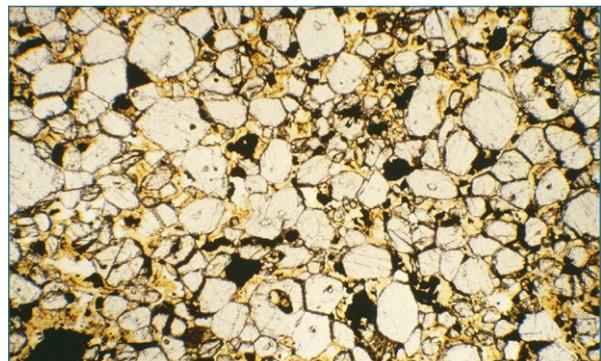


Abb. 18: Biotit-Gneis, Johannes-Stollen, Dünnschliff / Hellfeld, Bildbreite ca. 3,0 mm.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Grubenbefahrung, radiometrische Felduntersuchungen und Probennahme

Nach o. g. Vorinformation wurden unter und über Tage Vergleichsproben des Biotit-Gneises vom Haufwerk (Lagerbunker Johannesstollen) und von der Halde des Johannesstollen sowie aus dem Anstehenden (Lokation Gießhüblzeche) genommen (Abb. 19). An diesen Proben und an den bekannten radiometrischen Anomalien der Lagerzone (u. a. Johannesstollen-Niveau) erfolgte eine Neu-Vermessung der Strahlung (Abb. 20). Dazu wurden an lokalisierbaren Bohrlöchern des Johannesstollens (markierte Bohrloch-Nummern aus dem Zeitraum 1958–1962) jeweils im Liegenden, Hangenden und in der Firste die Strahlung (als Energie-Dosisleistung in nGy/h) sowohl im survey- als auch im assay- Modus bestimmt und die Ergebnisse dokumentiert. Die (halb-) quantitative nuklidspezifische Bestimmung von K (%), U und Th (jeweils in ppm) erfolgte dabei jeweils nach 3-minütiger Messzeit (assay-Modus). Die gezogenen Proben wurden dabei sowohl als unaufbereitete Rohproben vor Ort als auch als aufbereitete, homogenisierte Proben im Labor mit obigem Gerät nochmals standardisiert vermessen.

Die Messungen wurden jeweils mittels Gamma-Spektrometer „RS-230 BGO Super- Spec“ der Firma „Radiation Solutions“ durchgeführt. Es wiegt etwa 2 kg, ist 25 cm lang und 10 cm breit (Radiation Solutions 2008). Der in diesem Gerät verbaute Szintillationskristall besteht aus Bismutgermanat ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, als „BGO“ abgekürzt), mit einem Volumen von 103 cm^3 .

Das Gerät ermöglicht eine spektrale Aufnahme der Anteile von Kalium (in %), Uran und Thorium (beide in ppm), jeweils automatisch abgeleitet aus der Strahlung ihrer Zerfallsprodukte an der Gesamtstrahlung (GR total). Auftreffende Gammastrahlen erzeugen Lichtblitze im Kristall, die mit Hilfe eines Fotomultipliers in elektrische Signale umgewandelt werden. Die Anzahl der elektrischen Impulse pro Sekunde sowie deren Stärke werden vom Gerät erfasst. Die Impulsstärke wird geräteintern in 1024 Kanälen, die jeweils einen bestimmten Energiebereich abdecken, detektiert. Aus dem resultierenden Spektrum der auf den Detektor auftreffenden Strahlung über ein festgelegtes Zeitintervall werden dann intern die Gehalte der radioaktiven Elemente Uran, Thorium und Kalium bestimmt.

Im Gelände (über und unter Tage) sowie im Labor wurde das Gerät im Messbetrieb jeweils senkrecht zur Gesteinsoberfläche positioniert. Der Detektor, der vorne am Gerät liegt, sollte dazu direkt das Gestein berühren, da sich mit steigendem Abstand des Detektors zum Gestein je nach Stärke der Gamma-Strahlung der Messbereich vergrößert und die Ergebnisse verfälscht werden. Da das Gamma-Spektrometer, wenn es das Gestein berührt, über einen Bereich von etwa einem Meter Breite und bis zu 25 cm Tiefe integriert, muss darauf geachtet werden, dass es nicht über oder in Gesteinsklüften und (künstlichen) Hohlräumen (Stollen) platziert wird (was jedoch bei den Messungen unter Tage unvermeidlich ist), da dann die gemessenen Gehalte von Uran, Thorium und Kalium höher ausfallen als wenn es auf einer ebenen Gesteinsoberfläche platziert würde. Das Verhältnis von Uran, Thorium und Kalium bleibt in diesem Falle ähnlich, aber die bestimmten Gehalte von Kalium, Uran und Thorium sowie der Gesamtwert der gemessenen Strahlung erhöhen sich.

Zudem muss beachtet werden, dass das Gerät vor einer Reihe von Messungen etwa 5 Minuten lang gegen die örtliche Hintergrundstrahlung stabilisiert wird, was automatisch passiert und durch ein Symbol auf dem Display angezeigt wird. Da dies nach jedem Einschalten des Geräts erfolgen muss, empfiehlt es sich, das Gerät zwischen Messungen an einer Lokalität eingeschaltet zu lassen.

Das gewählte Messintervall im sogenannten „Assay“-Modus (einer Einzelmessung mit Bestimmung von Kalium-, Uran- und Thorium-Gehalt) betrug für jede Messung 180 Sekunden. Dies folgt den Empfehlungen des Herstellers (Radiation Solutions). Längere Messzeiten empfehlen sich bei nur

schwach strahlenden Gesteinen („Survey“-Modus: laufende Registrierung der Counts im Detektor pro Zeiteinheit).

Die über Tage in der Peripherie der Hauptvererzungszone (Gipfel-Bereich bis Gießhübl-Zeche) durch radiometrische Begehungen und Probenahme konkretisierten Anomalien wurden (da isoliert, punktuell und nicht mit den untertage aufgeschlossenen Anomalien direkt verbindbar) nur als einzelne Fundpunkte betrachtet, für die weitere Bearbeitung (Lagerstätten-Bilanzierung) aber nicht weiter berücksichtigt.

Die Probenahme- und Mess-Punkte im Grubengebäude des Silberbergs befinden sich in der eigentlichen Lagerzone des Sulfiderz-Vorkommens (Abb. 21, Grundriss; Tab. 1; Abb. D-2, Anhang).



Abb. 19: Probenahme unter Tage; Johannes-Stollen.



Abb. 20: Radiometrische Messung unter Tage; Johannes-Stollen.

Tab. 1: Lage der Beprobungspunkte sowie zugehörige Proben.

Probennummer	Lage (über Tage / unter Tage)	Stollen-Niveau	Höhenlage (m über NN)	Gestein	Gewicht Rohprobe (g)
JS-3	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	2.000
JS-4	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	1.400
JS-6	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	1.440
JS-7	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	2.560
JS-10	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	2.040
JS-11	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	3.080
JS-12	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	3.160
JS-16	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	1.640
JS-17	unter Tage	Johannes/ Versuchsabbau	828	Biotit-Gneis	660
SB 4	über Tage	Halde Johannesstollen	828	Biotit-Gneis	3.100

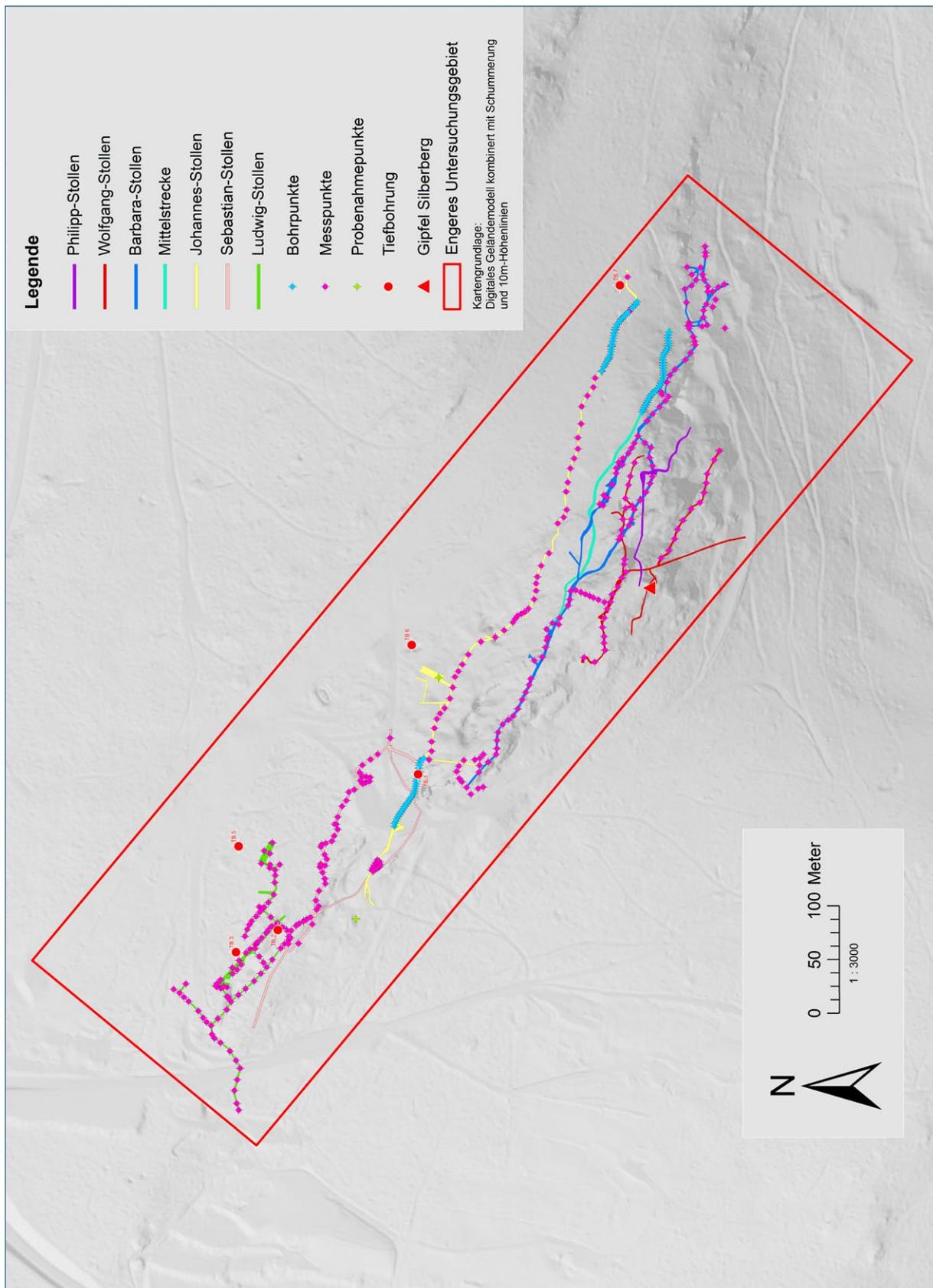


Abb. 21: Grundriss und Streckenverlauf Bergwerk Silberberg mit Mess- und Probenahmepunkten.

3.2 Auf- und Vorbereitung der Proben, Dichtentrennung

In einem ersten Schritt wurden die Rohproben von Anhaftungen (Verwitterungskrusten u. dgl.) befreit, gewaschen, bis zur Temperaturkonstanz getrocknet und darauf das jeweilige Trocken(-Roh-)gewicht bestimmt.

Anschließend wurde sowohl zur schonenden und effektiven Zerkleinerung der Rohproben als auch zur kompletten und weitgehend zerstörungsfreien Freisetzung der Schwerminerale aus dem Kornverband eine elektrodynamische Hochspannungs-Impulsfragmentierungs-Anlage (SELFRAG, Uni Frankfurt) eingesetzt. In einem Wasserbad werden dazu die (polymineralischen) Festproben Stromstößen mit Pulsanstiegszeiten von ca. 200 ns bei 110 kV bis 130 kV und 15 kA ausgesetzt (Energieeintrag des Impulses ca. 10 – 300 Joule / cm). Jede Sekunde werden dabei fünf Impulse in einem Hochspannungs-Pulsgenerator erzeugt (Frequenz 5 Hz; Pulszahl anfänglich 20, dann 200). Der entstehende Plasmakanal mit $T \sim 10^4$ K erzeugt eine Druckwelle mit ca. 10^{10} Pa Druck. Die Schockwellen und Stromschläge, die durch die sehr kurze Hochspannungsentladung entstehen, bewirken, dass sich die einzelnen Bestandteile an den Korngrenzen voneinander trennen und der ursprüngliche Festgesteins-Verband komplett aufgelöst wird. Die Entladung läuft direkt durch den Festkörper. Dabei fließen die Ströme bevorzugt auf Bahnen, die bei kristallinen Feststoffen (Gesteinen) entlang der Korngrenzen verlaufen. Durch den Druck, der sich im Inneren der Gesteinsproben aufbaut, zerspringen die Komponenten explosionsartig (AMMAN SCHWEIZ AG 2006; frdl. pers. Mitt. Labor Universität Frankfurt 2014). Nach der Bearbeitung, die pro Charge (Gesamt-Gewicht je Probe ca. 1000g, 3 einzelne Chargen à ca. 330g) nur wenige Sekunden dauert, liegen die mineralischen Komponenten getrennt, aber weitgehend in ihrer ursprünglichen Form und Größe vor (Abb. 22 und Abb. 23).

Je nach Probenmenge lag der Zeitbedarf pro Probe für die Präparationsschritte Waschen und Trocknen der Originalprobe, Sägen der Teilproben und Fragmentierung bei ca. 2 Tagen.



Abb. 22: Hochspannungs-Impulsfragmentierungs-Anlage (SELFRAG).



Abb. 23: Probe (Biotit-Gneis) nach Fragmentierung.

Von den so erhaltenen Korngemischen wurden anschließend aus entsprechenden Proben-Aliquoten (je Probe ca. 100 g – 350 g) im Sink-Schwimm-Verfahren mittels Diiodmethan (Dichte $3,325\text{ g/cm}^3$) die Schwerminerale (Dichte $> 3,325\text{ g/cm}^3$; BOENIGK 1983) in einem Scheidetrichter (500 ml Inhalt) von Biotit und weiteren Leichtmineralen weitgehend abgetrennt (Abb. 24). Diese Prozedur erfolgte wegen der bekannten Toxizität der Schwereflüssigkeit extern. Im vorliegenden Korngrößenbereich ($< 0,5\text{ mm}$) wurden hierzu mehrere Ansätze mit jeweils ca. 80 g Material pro Scheidetrichter getrennt, um eine Schwermineralausbeute $\geq 0,5\text{ g}$ zu erzielen. Zeitbedarf hierbei waren 2 Tage pro Ansatz (1 Tag Sedimentation sowie 1 Tag Filtration, Spül- und Trocknungsprozedur inkl. Wägung).



Abb. 24: Abtrennung von Schwermineralen mittels Sink-Schwimm-Verfahren im Scheidetrichter.



Abb. 25: Schwermineral-Konzentrate (Proben v.l.n.r.: JS-10, -7, -11, -3, Biotit – Gneis).

Die bei diesem Schritt noch nicht abgetrennten Biotite wurden anschließend mit einem Frantz-Magnetscheider (Trennmagnetstärke 0,6 A, Horizontalwinkel 5° , Vertikalwinkel 22°) komplett aus den Proben entfernt bis jeweils (makroskopisch) nur noch reine Schwermineralfraktionen vorlagen. Aus den Ein- und Auswaagen der einzelnen Abtrennschritte wurde darauf der jeweilige Schwermineralgehalt an den Gesamtproben absolut und prozentual bestimmt (Abb. 25; Tab. 2).

Tab. 2: Schwermineralgehalte untersuchter Proben.

Probennummer	Lage (über Tage / unter Tage)	Stollen-Niveau	Probenaliquot (g)	Gewicht Schwerminerale (g)	Gehalt Schwerminerale (M.-%)
JS-3	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	256	27,8	10,86
JS-4	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	241	27,1	11,24
JS-6	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	308	15,3	1,88
JS-7	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	292	4,9	0,92
JS-10	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	203	8,3	4,09
JS-11	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	101	27,9	26,33
JS-12	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	203	12,9	3,15
JS-16	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	310	17,2	5,55
JS-17	unter Tage	Johannes / Versuchsabbau	98	33,2	6,53
SB 4	über Tage	Halde Johannesstollen	230	5,7	2,26
				Mittelwert:	7,28

Alle Aufbereitungs-Schritte sowie die Trennvorgänge mit ihren gravimetrischen und makroskopischen Zwischenergebnissen sind probenbezogen in einer Projekt-Datenbank erfasst.

3.3 Mineralogie und Geochemie, radiometrische Laboruntersuchung

Die Analytik der gezogenen Proben hinsichtlich Geochemie (Haupt-, Neben- und Spurenelemente) mittels emissions- und massenspektrometrischer Analysenverfahren (ICP-OES bzw. ICP-MS) aus einem Schmelzaufschluß (Totalverfahren) sowie hinsichtlich quantitativer Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie (XRD) und Rietveld-Verfeinerung erfolgte LfU-extern.

Die Nachweisgrenzen der Multielementanalytik liegen dabei i.d.R. bei 0,01 Gew.-% für die Hauptelemente, für die Neben- und Spurenelemente werden i.d.R. 1 mg/kg erzielt und bei den SEE im Mittel 0,1 mg/kg erreicht.

Die Quantifizierung der potenziellen SEE-Mineralie (Angabe in Massen-Prozent, M.-%) sowie der Begleitminerale in den Gesamtproben wurde mittels Hauptelementgehalten aus der Geochemie (Angabe in Gewichts-Prozent, Gew.-%) LfU-intern plausibilisiert und ggf. korrigiert. Die Gehaltsangaben der einzelnen Schwermineral-Konzentrate wurden als gegeben übernommen und für die Auswertung verwendet. Dabei konnten auch die Güte der Aufbereitung (Abtrenngrad) bzw. Verluste im Zuge der Aufbereitung bilanziert werden. Absolutfehler der XRD-Gehaltsangaben liegen bei durchschnittlich 5 %, Nachweisgrenzen werden zwischen 0,5 und 3 M.-% angegeben. Analytisch berücksichtigt wurden neben den silikatischen Leichtmineralen Biotit, Chlorit, Quarz, Cordierit, Sillimanit, Alkalifeldspat und Plagioklas die Schwerminerale Rutil, Brookit, Magnetit, Hercynit und Kreitonit (Zink-Spinell), Granat, Zirkon, Apatit, Cerianit, Thorianit und Monazit sowie Sulfide (Pyrit, Pyrrhotin, Sphalerit, Chalkopyrit und Galenit) und deren Oxidationsprodukte (u. a. Goethit).

Jeweils ein aufgemahlenes Probenaliquot wurde ohne entsprechende Dichtentrennung hinsichtlich Gesamtgesteinschemie und –mineralogie mittels nachfolgend aufgeführten chemisch-mineralogischen Analysenverfahren parallel untersucht. Dies diente auch zur Plausibilisierung bzw. Validierung mineralogisch-geochemischer Daten aus den Separaten (Kontrolle der Schwermineralausbeute beider Fraktionen bzw. Verhältnis Leicht- zu Schwermineralen). Dazu wurden die fragmentierten Proben (Korngröße < 1 mm) mittels Achat-Kugelmühle bis zur Analysenfeinheit aufgemahlen und anschließend mittels quantitativer Röntgendiffraktometrie sowie emissions- und massenspektrometrischer Analysenverfahren (ICP-OES bzw. ICP-MS) aus einem Schmelzaufschluß (Totalverfahren) analysiert.

Weiterhin wurden die anhand der radiometrischen Vorabuntersuchung bzw. durch Laboruntersuchungen mittels Scintillometer (Gamma-Spektrometer „RS-230 BGO Super- Spec“, Firma „Radiation Solutions“) erhaltenen Gesteins-Aktivitäten (Tab. 3) unterschiedlicher Proben im Vergleich zu mineralogischen Gehalts-Angaben der jeweiligen Proben zu einer Eichreihe umgesetzt. Damit ließen sich schließlich die radiometrischen Untersuchungsergebnisse aus dem Zeitraum von 1958 bis 1962 über Korrelationen in M.-% SEE- Minerale (Monazit, Cerianit, Thorianit, Zirkon) bzw. direkt in Gehalte der SEE (als Oxide) umrechnen.

Tab. 3: Energie-Dosisleistungen untersuchter Proben.

Probennummer	Stollen-Niveau	Gewicht Rohprobe (g)	Radiometrische Messung Gelände (nGy/h)	Gewicht Laborprobe (g)	Radiometrische Messung Labor (nGy/h)
JS-3	Johannes-S. / Versuchsabbau	2.000	124,7	205	71,9
JS-4	Johannes-S. / Versuchsabbau	1.400	1.200	205	460,6
JS-6	Johannes-S. / Versuchsabbau	1.440	338,4	205	121,4
JS-7	Johannes-S. / Versuchsabbau	2.560	759	202	170,8
JS-10	Johannes-S. / Versuchsabbau	2.040	294,6	208	122,2
JS-11	Johannes-S. / Versuchsabbau	3.080	1.600	212	363,7
JS-12	Johannes-S. / Versuchsabbau	3.160	1.100	214	175,1
JS-16	Johannes-S. / Versuchsabbau	1.640	451,4	206	123,7
JS-17	Johannes-S. / Versuchsabbau	660	268,2	140	101,4
SB 4	Halde Johannes-Stollen	3.100	230,9	211	130,6

3.4 Auswertung der Analytik, Planimetrierung, Lagerstättenmodell und Bilanzierung

Im Vorfeld wurden zunächst Grubenpläne aus der letzten markscheiderischen Aufnahme des Bergwerkes Silberberg von 1962 mit verfügbaren Einzeldarstellungen und Detailkarten (u. a. Lagepunkte Tiefbohrungen, Einzelaufnahmen Profile sowie Lagepläne und Profile des Versuchsabbaus) georeferenziert und in ein GIS-Projekt übernommen. Auf dieser Kartengrundlage konnten anschließend über 440 Referenzpunkte (Bohr- und Messpunkte der Uran-Thorium-Prospektion von 1958–1962) für die weitere Berechnung übernommen und digitalisiert werden. Darauf aufsetzend wurden die gewonnenen mineralogisch-geochemischen sowie radiometrischen Daten der Biotit-Gneis-Proben zunächst punktbezogen dargestellt (ArcMap), GIS-technisch korreliert und ausgewertet.

Dazu wurden mit den unter Kapitel 3.3 erhaltenen Daten zu Mineralogie, Geochemie und Radiometrie der untersuchten Haufwerkproben zunächst Korrelationen zwischen Schwermineralgehalt und Gehalt an SEE-Mineralen (M.-%) sowie zu Gehalten von SEE (ppm) und Gesamtstrahlung (als Energie-Dosisleistung) durchgeführt.

Anschließend wurden Maximal- und Minimalwerte (Geochemie und Radiometrie) mit den Untertage-Messungen korreliert und auf das radiometrische Messnetz (als Stützpunkte) umgesetzt. Zur Interpolation der Strahlungswerte bzw. der korrespondierenden SEE-Konzentrationen wurde ein Schwellenwert der Energie-Dosisleistung von 0,3 mR/h festgelegt, d. h. Dosisleistungen unter 0,3 mR/h gelten nach dieser Auswertung als nicht relevant („Untergrund“) und liegen für die SEE-Gehalte gesprochen unterhalb anomaler Größenordnungen (< ca. 5.000 ppm SEE).

Auf dieser Grundlage konnte schließlich mit Hilfe des ArcGIS Erweiterungsmoduls „Geostatistical Analyst“ mittels Kriging-Verfahren (Wahrscheinlichkeits-Methode) ein 2-dimensionales Modell der Lagerstätte erarbeitet werden (Abb. 26).

Weiterhin wurden die SEE-Analysendaten schließlich mit den Mächtigkeitsangaben des Gneises zu einem dreidimensionalen Modell hinsichtlich Lagerstättengröße und –inhalt verrechnet und somit abschließend die gesamte, potenziell gewinnbare SEE-Menge (als wahrscheinliche Vorräte) in der Lagerstätte Silberberg bestimmt.

Auf Grundlage vorliegender Daten wird weitgehend von einem konform in den Gneiskörper eingebundenen Biotit-Gneis-Horizont ausgegangen, der trotz möglicher, punktueller tektonischer Sonderentwicklungen (Faltungen, Abscherungen, etc.) weitgehend dem Streichen und Fallen des Erzkörpers folgt und demnach ausschließlich im Hangenden des Erzkörpers liegt. Darin liegen mehrere unterschiedlich große, in linsig-plattige Einzelvorkommen aufgelöste Bereiche (jeweils durchschnittlich 0,3m mächtig) mit gestuften SEE-Konzentrationszonen (Maximum im Zentrum bis Minimum am Rand). Ein detaillierteres Modell konnte auf dieser Datengrundlage nicht sinnvoll erarbeitet werden.

Einschränkend für die Modellierung ist die überwiegend lineare Verteilung des zugrundeliegenden Bohr- und Messnetzes, da die ehemalige Prospektion von den vorhandenen Erschließungs- und Förderstrecken des Sulfidierz-Bergwerks aus unternommen wurde. Das weitgehende Fehlen von Stützpunkten dazwischen lässt zwar keine Aussagen zum Vorhandensein bzw. zu einer größeren Ausdehnung des Biotit-Gneises zu, kann sie aber auch nicht generell ausschließen. Das vorliegende Modell berücksichtigt daher nur die vorhandenen Stützpunkte und berechnet, radial davon ausgehend, die Wahrscheinlichkeit für ähnliche Konzentrationen in benachbarten Bereichen und dazwischen („wahrscheinlichste Häufungsdichten“).

Nach den vorliegenden radiometrischen und geologischen Befunden können insgesamt drei größere Einzelvorkommen und drei Häufungsbereiche kleinerer Vorkommen ausgewiesen werden, die sich auf das Grubengebäude von Nordwest nach Südost wie folgt verteilen (Abb. 26, Tab. 4).

Tab. 4: Einzelvorkommen (Anomalien) und Häufungsbereiche nach Auswertung.

Bezeichnung	Lage (Stollen-Niveau)	Anzahl Teilbereiche	Ausbildung	Bewertung
Bereich Nord-West	Sebastian- / Ludwig-Stollen	6	einzelne, isolierte kleine bis teilweise zusammenhängende Linsen	SEE-Maxima undeutlich ausgebildet
Anomalie West	Johannes-Stollen	1	isolierte, große Linse	SEE-Maximum sehr deutlich ausgebildet
Anomalie Mitte	Barbara-Stollen	1	isolierte, mittelgroße Linse	SEE-Maximum schwach ausgebildet
Bereich Ost I	Barbara-Stollen	4	isolierte, kleine Linsen	SEE-Maxima schwach ausgebildet
Anomalie Ost II	Johannes-Stollen	1	isoliertes, großes Vorkommen	Mehrere, mittelgradig ausgebildete SEE-Maxima
Bereich Süd-Ost	Barbara-Stollen / Mittel-Sohle	2	isolierte, kleine Linsen	Jeweils mittelgradig ausgebildetes SEE-Maximum

Für die modellhafte Berechnung der wahrscheinlichen Vorräte wurde zu Vergleichszwecken sowohl ein gestufter (gradiertes) als auch ein konservativ-integrierter Ansatz als Grundlage verwendet.

Im ersten Fall (gradiertes Ansatz) werden die abgeleiteten, gestuften SEE-Konzentrationen auf die jeweiligen Flächenanteile der Einzel-Anomalien bei jeweils konstant gesetzter Mächtigkeit umgerechnet.

Beim integrierten Ansatz werden die mittleren SEE-Gehalte des Roherzes, wie aus den Haufwerkproben erhalten, für die Gesamtflächen der jeweils ermittelten Anomalien bei konstant gesetzter Schichtmächtigkeit verrechnet.

Zur flächentreuen Darstellung und Berechnung des Lagerhorizontes wird unter Berücksichtigung des Fallwinkels (mittleres Einfallen 43° NE) seine Oberfläche quasi in die Horizontale rotiert (Lagerhorizont liegt dann parallel zur bzw. in der Darstellungsfläche).

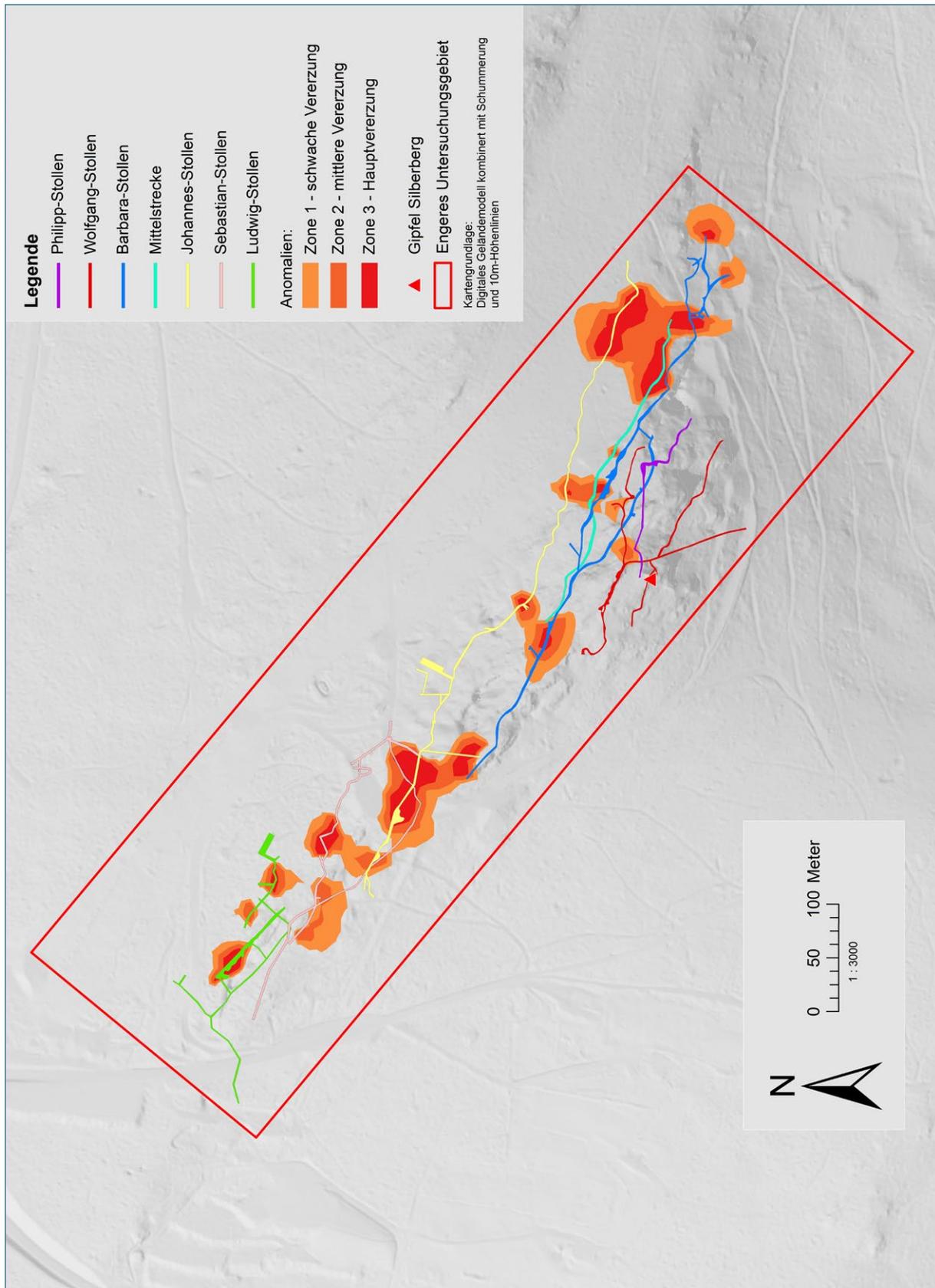


Abb. 26: Modell „SEE Silberberg“; SEE-Anomalien mit Gesamtausdehnung und Gradierungen innerhalb des engeren Untersuchungsgebietes unter Tage (Rahmen). Projektion auf Grundriss mit eingezeichneten Hauptstrecken (ohne Fallwert-Korrektur).

4 Ergebnisse

4.1 Detailbetrachtung hinsichtlich der Mineralogie und Geochemie

4.1.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Teilkapiteln werden die Untersuchungsergebnisse (u. a. **Geochemie des Gesamtgestein und des Schwermineralkonzentrats, SEE-Pattern, Schwermineral-Zusammensetzung und SEE-Gehalte des Roherzes**) einzeln vorgestellt und diskutiert, und schließlich mit den radiometrischen Daten in Zusammenhang gebracht.

Neben der Angabe der absoluten Konzentration von SEE-Gehalten dient das **Verteilungsmuster der Seltenerd-Elemente** in geologischen Matrices als wichtige und charakteristische Kenngröße für die Herkunft dieser Proben und erlaubt Rückschlüsse auf die Gesteinsgenese sowie das Umfeld der Proben (LINHARDT & DITTRICH 1999). Es wird im Folgenden als zusätzliches Kriterium zur genetisch-geochemischen Einstufung verwendet.

Aufgrund ihrer Ionenradien und ihrer bevorzugten Wertigkeiten können die SEE andere Elemente in weitverbreiteten, gesteinsbildenden Mineralen substituieren oder in eigenständigen, hier behandelten SEE-Mineralen, auftreten. So ersetzen u. a. die trivalenten SEE Ca^{2+} , Y^{3+} , Th^{4+} , U^{4+} , Mn^{2+} und Zr^{4+} , die bivalenten SEE (u. a. Eu^{2+}) dagegen Pb^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} und Na^{+} in vielen gesteinsbildenden Mineralen. Das wichtigste Werkzeug zur Interpretation von SEE-Daten stellt dabei das sog. Chondritnormalisierte SEE-Verteilungsmuster dar. Als X-Y-Grafik werden die mit aufsteigender Masse angeordneten SEE gegen ihre jeweiligen Konzentrationen in den untersuchten Gesteinen bzw. Mineralen dargestellt. Zur besseren Interpretierbarkeit werden dazu die zuerst unregelmäßigen, gezackt erscheinenden SEE-Häufigkeitsverteilungen (infolge elementspezifischer Fraktionierung der SEE in irdischen Systemen) „geglättet“. Dazu werden die ermittelten SEE-Konzentrationen auf externe Bezugssysteme normalisiert, wofür überwiegend kohlige, C-Chondrite dienen, die häufigste Klasse von primitiven, relativ unfraktionierten Meteoriten (LINHARDT & DITTRICH 1999).

Es gilt: SEE normalisiert = Konzentration SEE Probe / Konzentration SEE Chondrit (Gl.1)

Nach diesem „mathematischen“ Bearbeitungsschritt entstehen SEE-Verteilungsmuster (normalisierte Häufigkeiten der SEE) mit „typischen“ und „glatten“ Kurvenverläufen, die zur Untersuchung von Modellen über die Bildungsgeschichte von Gesteinen oder Gesteinsserien verwendet werden (z. B. Herkunft von Gesteinen aus einer oder mehreren Quellen, Zusammensetzung der Quelle(n); HENDERSON 1984).

Als eine wichtige, praktische Anwendung können auf dieser Grundlage ungewollte Fraktionierungen (infolge diverser Aufbereitungsschritte) von Gesamtgestein zu Teilfraktionen (Schwerminerale) bzw. durch Lösungsanalytik erkannt und in der Auswertung entsprechend berücksichtigt werden.

Tab. 5: Häufigkeiten (Konzentrationen, in ppm) der SEE in kohligen, chondritischen Meteoriten (C 1). Quelle: EVENSEN et al. (1978), in: HENDERSON (1984); sie entsprechen den Normalisierungsfaktoren für unten folgende Grafiken (siehe Abb. 29 und Abb. 30 sowie Gl. 1).

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0,2446	0,6379	0,09637	0,4738	0,1540	0,05802	0,2043	0,03745	0,2541	0,05670	0,1660	0,02561	0,1651	0,02539

Zur mineralogischen Beschreibung und zum Vergleich von Gesamtgestein und daraus gewonnem Schwermineralkonzentrat wurden nachfolgende Summenparameter gebildet und als Mittelwerte gegenüber gestellt und bewertet.

Die Gruppe „Leichtminerale“ enthält die Silikate Quarz, Feldspäte, Biotit, Chlorit, Sillimanit sowie Cordierit. Diese Minerale lagen vermutlich teilweise noch als Verwachsungen bzw. als Umwachsungen der Schwerminerale vor und konnten methodisch bedingt offensichtlich teilweise nur unvollständig abgetrennt werden. Die Gruppe der „Schwerminerale“ besteht aus den SEE-führenden Mineralen, den Titan-Mineralen, den Eisen-Mineralen (u. a. Goethit) sowie aus Granat. In der Gruppe der „SEE-Mineralen“ sind Zirkon, Monazit und Cerianit beinhaltet. Anatas und Rutil beschreiben die Gruppe der „Titan-Mineralen“. Die Gruppe „Sulfide“ besteht aus Pyrit, Magnetkies und Kupferkies. Die mineralogischen Einzel- und Mittelwerte sind in Tab. A-1 und Tab. A-2 (Anhang) aufgelistet.

Die potenziellen Ausbeuten (SEE sowie Zirkonium und Titan) an einer „mittleren Haufwerkszusammensetzung“ (= Roherz) sowie gradierte Erzzusammensetzungen (abgeleitet aus Radiometrie) werden zur besseren Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit nacheinander beschrieben und aufgeführt. Dazu werden sowohl die Summenparameter aus den Leichten SEE (LREE: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, als Oxide [kg]) und aus den Schweren SEE (HREE: Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, als Oxide [kg]) gebildet und dargestellt als auch die gewinnbaren Mengen Zirkonium und Titan jeweils als Menge gewinnbares Oxid [kg] aufgeführt. Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse finden sich in Tab. A-7 und Tab. A-8 (Anhang).

Lithochemische Eigenschaften und Besonderheiten des Roherzes bzw. des Schwermineralkonzentrates werden mittels Mittelwerten abschließend am Ende dieses Kapitels herausgestellt, zusammengefasst und bewertet.

4.1.2 Geochemie

Die nach radiometrischen und petrographischen Gesichtspunkten gezogenen Haufwerkproben (Rohgewicht jeweils zwischen ca. 1 kg und ca. 3 kg) aus dem Lagerbunker des Johannesstollens sollten einen repräsentativen Querschnitt des potenziellen Roherzes darstellen. Sie stammen augenscheinlich aus der Auffahrung in der Anomalie West des Johannesstollens von Ende 1960. Das dabei im Versuchsabbau gewonnene Roherz wurde in einer Entfernung von ca. 85 m SE' in einem Lagerbunker (sog. Wehrmachtskammer) aufgehaldet. Die Proben wurden dort 2014 vom Haufwerk nach minimalen bis maximalen Dosisleistungen ausgewählt, nachfolgend im Labor reproduzierbar in aufbereiteter und homogener Form, bei gleichem Gewicht und Messgeometrie erneut exakt hinsichtlich Dosisleistung vermessen und schließlich für die chemische und mineralogische Analytik präpariert.

Bei den Hauptelementen fallen die mittleren, relativ hohen Magnesium- und Titan-Gehalte (MgO 6,56 Gew.-%; TiO₂ 2,84 Gew.-%) auf, die damit auch die hohen Biotit-, Chlorit- und Rutil-Gehalte der Proben widerspiegeln. Die auffallend niedrigen Kalzium-Gehalte (CaO 0,81 Gew.-%) sowie das hohe Verhältnis von K₂O/Na₂O von ca. 5 entsprechen denen der übrigen Lithologien des unmittelbaren Sulfiderz-Horizontes. Die mittleren Spurenelement-Gehalte von Barium (1011 ppm), Chrom (316 ppm) und Vanadium (496 ppm) liegen bei sehr hohen Werten und übertreffen die Mittelwerte für Paragneise des Hinteren Bayerischen Waldes. Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse finden sich in Tab. A-3, Tab. A-4, Tab. A-5 und Tab. A-6 (Anhang).

Die mittleren und hohen Gehalte von Uran (128 ppm), Thorium (2346 ppm) sowie der SEE (Summe SEE inkl. Sc und Y) mit 21.559 ppm weisen die untersuchten Gesamtgesteins-Proben eindeutig der

Reicherzzone der Johannesstollen-Anomalie West zu. Sie liegen mit diesen Uran- und Thorium-Gehalten in den von TEUSCHER (1982) publizierten Größenordnungen.

Der Mittelwert der SEE-Gehalte (Summe SEE inkl. Sc und Y) in den daraus erzeugten Schwermineralkonzentraten beträgt 218.234 ppm, was einem mittleren Anreicherungsfaktor von 10,12 gegenüber den Rohproben (Biotit-Gneis) entspricht.

4.1.3 Mineralogie

Die gravimetrisch ermittelten Gehalte von Schwermineralen (Dichte > 3,325 g/cm³) im Gesamtgestein nach Aufbereitung, Präparation und Dichtentrennung liegen zwischen 0,92 M.-% (minimal) und 26,33 M.-% (maximal), der Mittelwert für eine durchschnittliche Haufwerkprobe beträgt 7,28 M.-%. Die mittleren Monazit-Gehalte von 4,5 M.-% sowie die von Cerianit mit 2,5 M.-% bestimmen darin die Hauptmenge der Schwerminerale, die Zirkon-Gehalte ($\leq 0,5$ M.-%) bilden den Rest. Das Gesamtgestein (Roherz, Mittel aus 10 Proben; in M.-%) setzt sich prozentual wie folgt zusammen (Abb. 27):

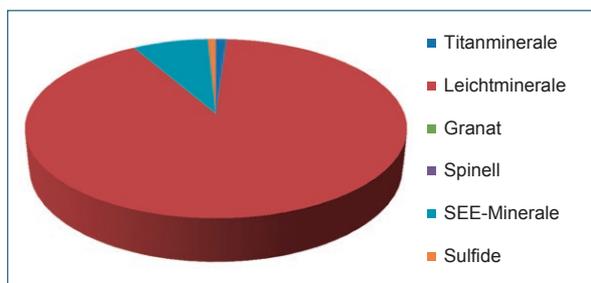


Abb. 27: Mittlere Verteilung der Leicht- und Schwerminerale in Haufwerkproben der Anomalie-West.

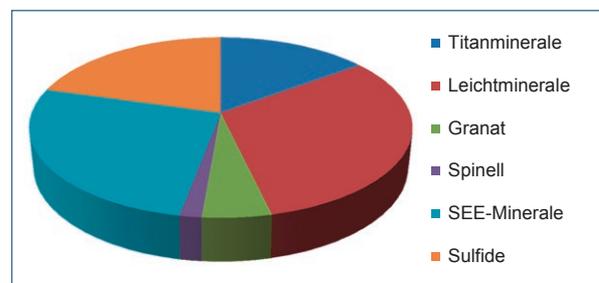


Abb. 28: Mittlere Schwermineralzusammensetzung im angereicherten Konzentrat dieser Haufwerkproben.

Dabei bedeuten:

Titanminerale: Rutil, Anatas; Leichtminerale: Quarz, Feldspäte, Sillimanit, Cordierit, Biotit, Chlorit; Granat: Almandin-betonter Granat; Spinell: Zn-Spinell; SEE-Minerale: Zirkon, Monazit, Cerianit; Sulfide: Pyrit, Magnetkies, Kupferkies.

Durch die labortechnische Aufbereitung und Präparation wurden demnach die SEE-Minerale (Monazit, Cerianit und Zirkon) um das 3,5 fache gegenüber dem Roherz angereichert, ihr mittlerer Gehalt im Schwermineral-Konzentrat beträgt 26,7 M.-%. In der Menge gefolgt werden sie von den Sulfiden (20,6 M.-%) und den Titan-Mineralen (14,9 M.-%). Die im Konzentrat unerwünschten Leichtminerale machen trotz aller Anreicherungsschritte noch durchschnittlich 31,5 M.-% aus (Abb. 28).

4.1.4 SEE-Pattern

Der Kurvenverlauf der SEE im Gesamtgestein (Abb. 29) und in der Schwermineralfraktion (Abb. 30) entspricht sich weitgehend, die normierten Verhältnisse der SEE im Gesamtgestein und der Schwermineralfraktion sind fast gleich; sie unterscheiden sich lediglich im Skalierungsfaktor (Ausdruck der gewollten Anreicherung der SEE-Minerale durch Dichtentrennung; der mittlere Anreicherungsfaktor beträgt 10,12). Abgeleitet (im positiven Sinne) ergibt sich daraus, dass sich im Zuge der Aufbereitung und Präparation keine ungewollten Einzelelement-Fraktionierungen mit Stoffverschiebungen ergeben haben bzw. dass auch die Analytik in beiden Fällen zu reproduzierbaren Er-

gebissen geführt hat. Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse (SEE) finden sich in Tab. A-7 und Tab. A-8 (Anhang).

Eine negative, charakteristische Europium-Anomalie ist sehr deutlich ausgebildet. Es herrscht eine sehr starke Anreicherung der Leichten SEE gegenüber den Schweren SEE vor.

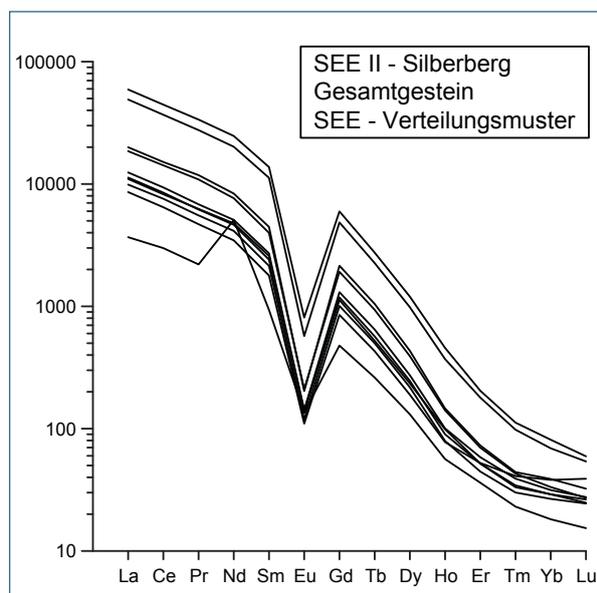


Abb. 29: SEE-Pattern Gesamtgestein (N = 10).

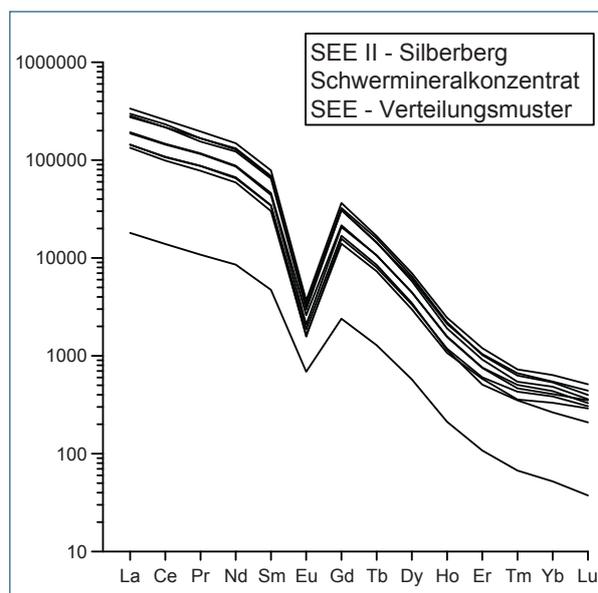


Abb. 30: SEE-Pattern Schwermineral-Konzentrate (N = 10).

4.1.5 Durchschnittliche SEE-Verteilung im Roherz

Aus zehn repräsentativen Haufwerkproben vom Versuchsabbau der Johannesstollen-Anomalie West leitet sich ein mittlerer Gehalt im Roherz von 21.559 ppm SEE (inkl. Sc + Y) sowie von 2.346 ppm Th und 128 ppm U ab. Prozentual und absolut sind darin die SEE (elementar) nach unten folgender Tabelle (Tab. 6) beteiligt. Die statistisch ausgewerteten Ergebnisse finden sich in Tab. B-1, Tab. B-2 und Tab. B-3 (Anhang).

Tab. 6: Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung des Roherzes (2. Zeile: %) und mittlere absolute SEE-Gehalte im Roherz (3. Zeile: ppm).

Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0,14	1,49	22,94	45,52	5,13	18,55	3,24	0,08	2,02	0,18	0,54	0,05	0,08	0,01	0,04	0,01
22	291	4984	9813	1115	4008	709	15	426	37	109	9	14	1	7	1

D. h. die Leichten SEE Lanthan, Cer und Neodym machen an der Summe der gewinnbaren SEE (elementar) insgesamt ca. 87 Gew.-% aus; Scandium, Yttrium, Praseodym und Samarium ebenfalls aus der Gruppe der Leichten SEE sind mit ca. 10% vertreten. Die Schweren SEE sind nur mit rund 3% beteiligt (Abb. 31).

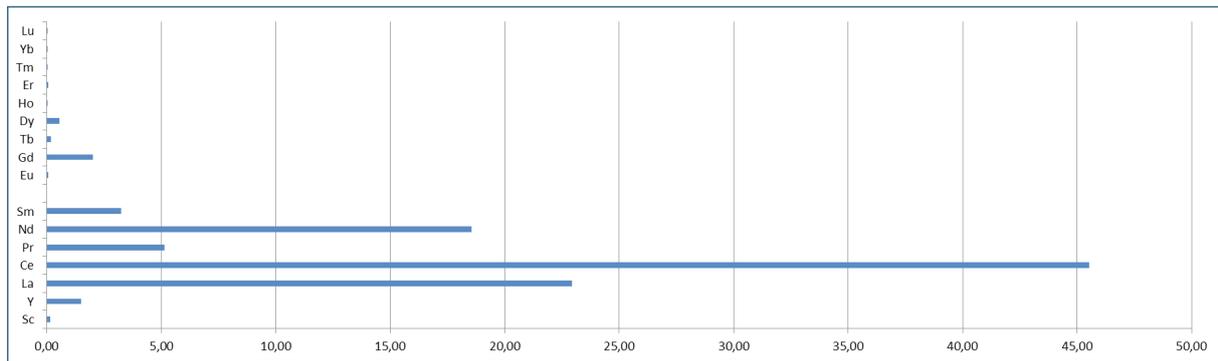


Abb. 31: Mittlere prozentuale SEE-Verteilung im Roherz.

Es handelt sich demnach um eine Cer-, Lanthan- und Neodym- betonte Zusammensetzung, bei der die anderen Leichten SEE stark untergeordnet vertreten sind. Die Schweren SEE spielen – mit einer Ausnahme beim Gadolinium – keine wesentliche Rolle.

4.1.6 Gradierte SEE-Zusammensetzung der Einzelanomalien

Auf Grundlage der vorhandenen Radioaktivitätsmessungen, der geochemischen und radiometrischen Labor-Untersuchungen sowie der erarbeiteten Korrelationen zwischen Radioaktivität, Gehalt SEE-Mineralen (M.-%) und Summe SEE (ppm) wurde eine gestufte Konzentrationskala abgeleitet und für die modellhafte Interpolation der SEE-Konzentration im Lagerhorizont verwendet. Demnach lassen sich die radiometrischen Angaben der Dosisleistung (Altmessungen in mR/h; Neumessungen in nGy/h) direkt in SEE-Konzentrationen umrechnen und aus den Flächenanteilen mit entsprechenden Gehaltsangaben ein gradierter SEE-Gehalt in den jeweiligen Anomalien ermitteln.

Der typische, vererzte Biotit-Gneis mit signifikant über dem Untergrund des Bergwerks liegenden Ionen-Dosisleistungen reicht nach alten Messungen von 0,3 mR/h bis zu Maximalwerten von 2,8 mR/h, entsprechend steigen die Energie-Dosisleistungen (korrespondierende Neumessung) von ca. 80 nGy/h bis maximal ca. 460 nGy/h. Dem gegenüber steht eine lineare Entwicklung der SEE-Gehalte im Roherz von ca. 5.000 ppm bis maximal ca. 65.000 ppm sowie ein linearer prozentualer Anstieg des Monazit-Gehaltes von ca. 1 M.-% bis maximal ca. 13 M.-% (bzw. ein Anstieg des Gesamtgehaltes aus allen SEE-Mineralen von ca. 2 M.-% auf ca. 21 M.-%); siehe dazu auch Tab. C-1, Anhang.

Die Lage der nachfolgend beschriebenen einzelnen Bereiche mit anomalen SEE-Gehalten (Abb. 33 bis Abb. 43; Tab. 7) ist in der Übersicht (Abb. 32) dargestellt.

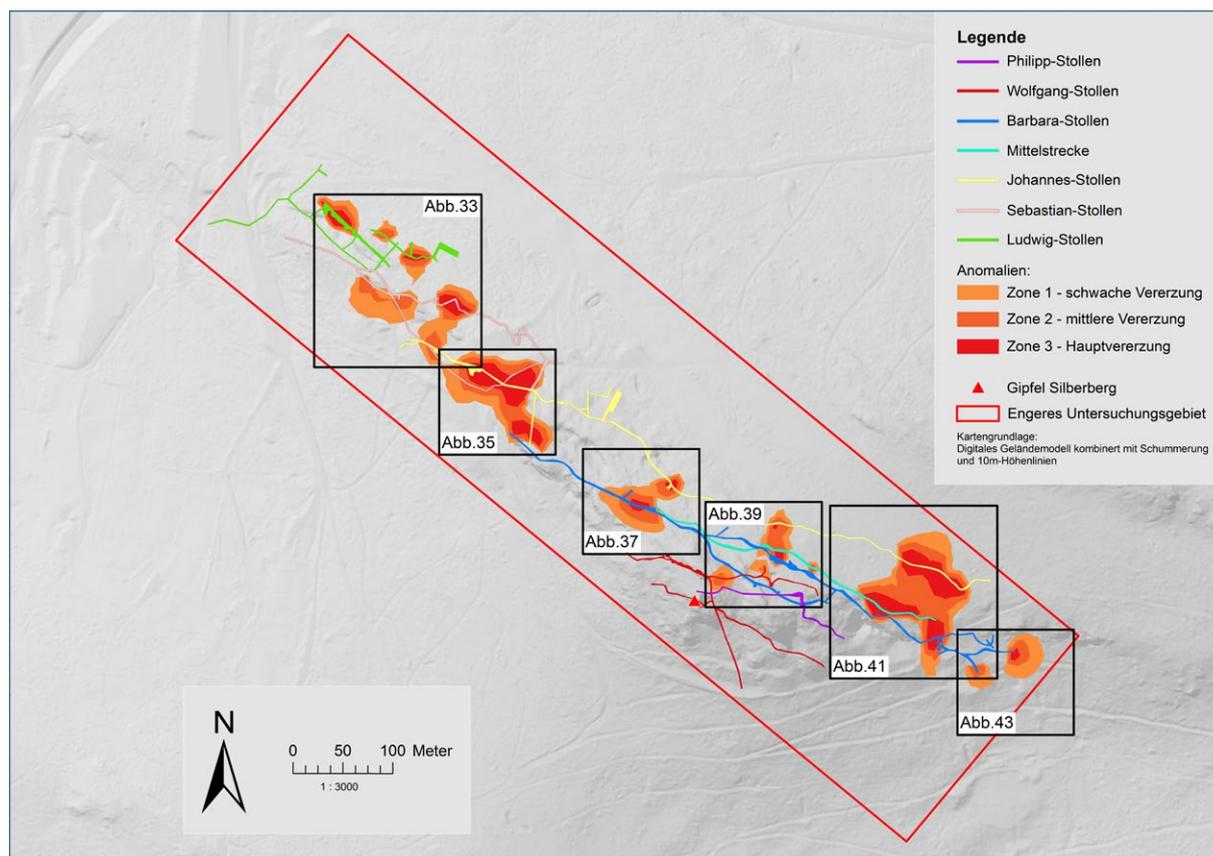


Abb. 32: Lage der Einzelanomalien.

Tab. 7: Flächenanteile aller Einzelanomalien.

Bezeichnung	Lage (Stollen-Niveau)	Anzahl Teilbereiche	Teilflächen (m ²) nach Kriging	Gesamtfläche (m ²) nach Kriging
Bereich Nord-West	Sebastian- / Ludwig-Stollen	6	Zone 1: 5.139 Zone 2: 2.762 Zone 3: 1.183	9.084
Anomalie West	Johannes-Stollen	1	Zone 1: 2.600 Zone 2: 2.660 Zone 3: 2.866	8.127
Anomalie Mitte	Barbara-Stollen	1	Zone 1: 2.100 Zone 2: 1.360 Zone 3: 370	3.829
Bereich Ost I	Barbara-Stollen	4	Zone 1: 1.762 Zone 2: 1.119 Zone 3: 136	3.016
Anomalie Ost II	Johannes-Stollen	1	Zone 1: 2.808 Zone 2: 4.559 Zone 3: 3.790	11.156
Bereich Süd-Ost	Barbara-Stollen / Mittel-Sohle	2	Zone 1: 1.856 Zone 2: 691 Zone 3: 109	2.656
Modellierte Gesamtfläche Biotit-Gneis (Fallwert-korrigiert) mit anomalen Konzentrationen zwischen ca. 5.000 und ca. 65.000ppm SEE				37.868 m ²

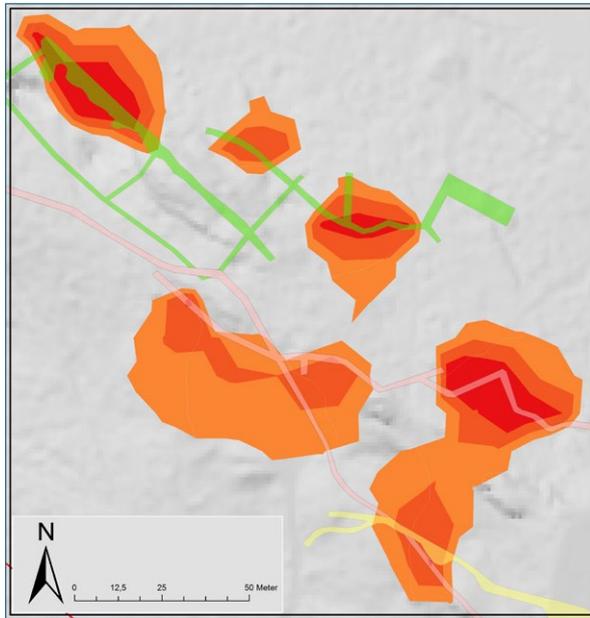


Abb. 33: SEE-Gradierung im Bereich Nord-West als Ausschnitt.

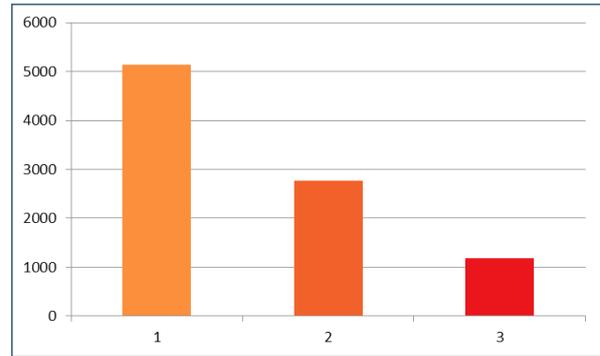


Abb. 34: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

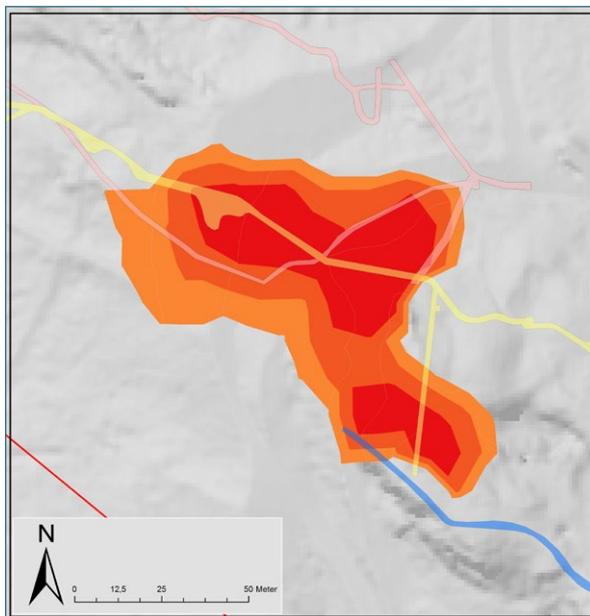


Abb. 35: SEE-Gradierung in Anomalie West als Ausschnitt.

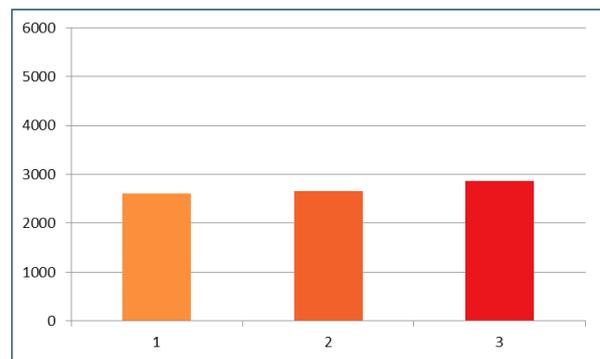


Abb. 36: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

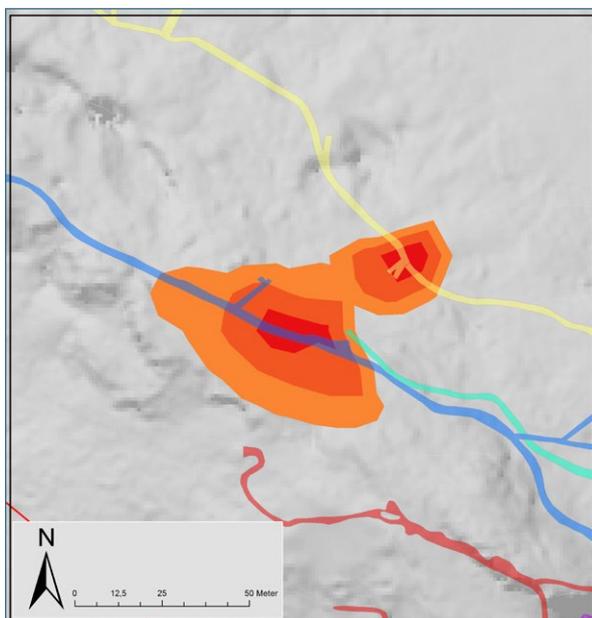


Abb. 37: SEE-Gradierung in Anomalie Mitte als Ausschnitt.

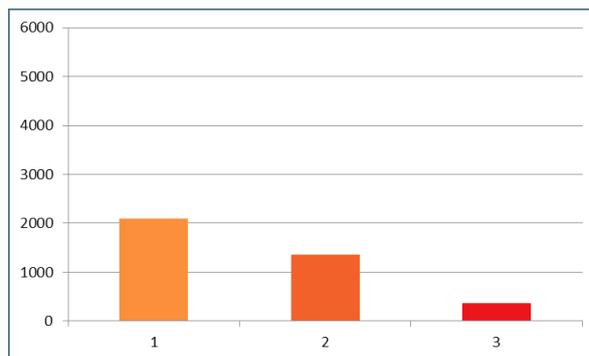


Abb. 38: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

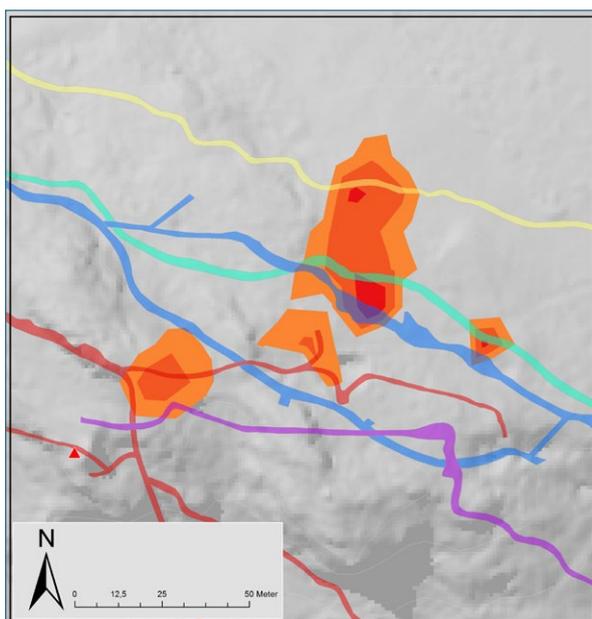


Abb. 39: SEE-Gradierung in Bereich Ost I als Ausschnitt.

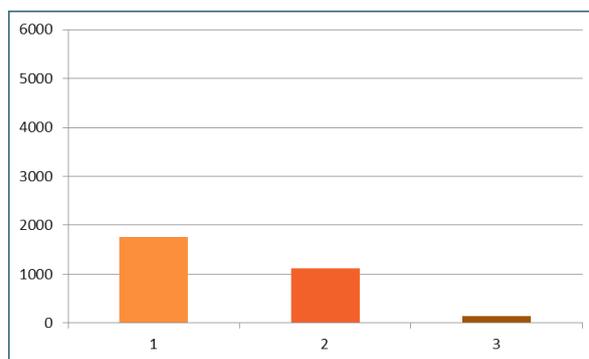


Abb. 40: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

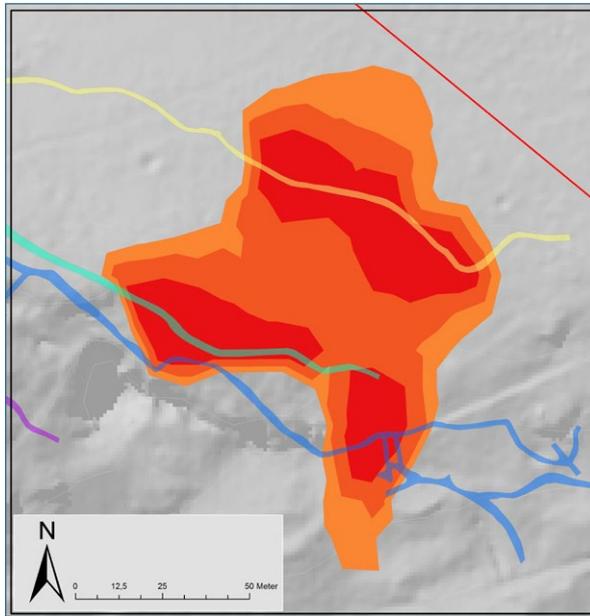


Abb. 41: SEE-Gradierung in Anomalie Ost II als Ausschnitt.

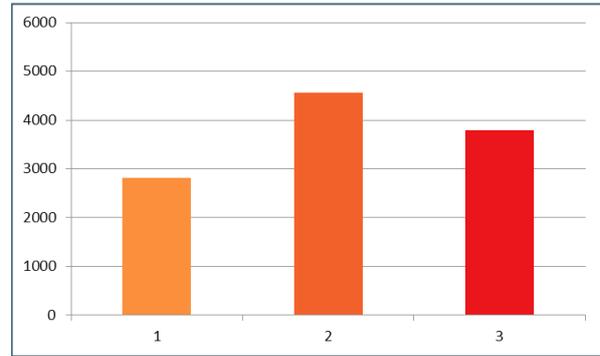


Abb. 42: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

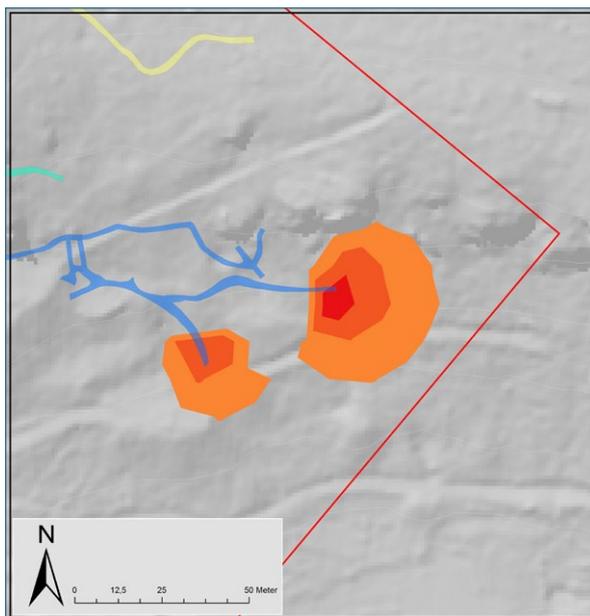


Abb. 43: SEE-Gradierung in Bereich Süd-Ost als Ausschnitt.

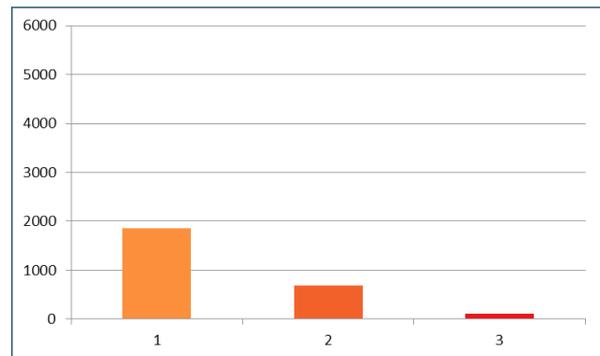


Abb. 44: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m²).

4.1.7 Gradiertes Ansatz zur Bestimmung des gesamten wahrscheinlichen SEE-Vorrats

Aus den unter 4.1.6 abgeleiteten Einzelflächen lassen sich im Wahrscheinlichkeits-Modell (Kriging) drei gestufte Konzentrationszonen mit entsprechenden Flächenanteilen ermitteln (Abb. 34, Abb. 36, Abb. 38, Abb. 40, Abb. 42 und Abb. 44). Nach diesem Ansatz enthalten die äußeren Zonen aller betrachteten Anomalien als Mittelwerte ca. 15.000 ppm SEE, die mittleren ca. 36.000 ppm SEE und die innersten ca. 54.000 ppm SEE (hierin punktuell bis ca. 65.000 ppm SEE). Übertragen auf die Flächenanteile ergibt sich mit diesem Ansatz eine Gesamtmenge von ca. 1.273 t SEE-Oxiden (Abb. 45, Tab. 8). Die nur lokal auftretenden Maximalwerte werden bei dieser Vorgehensweise stark abgeschwächt, stattdessen treten die gehäuft gefundenen intermediären Werte in den Vordergrund, was gegenüber dem integrierten Ansatz (Kap. 4.1.8) zu einem erhöhten wahrscheinlichen Gesamt-vorrat an SEE-Oxiden führt.

Eine Gegenüberstellung der verwendeten Berechnungsmodelle ist in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 45 und Abb. 46) dargestellt.

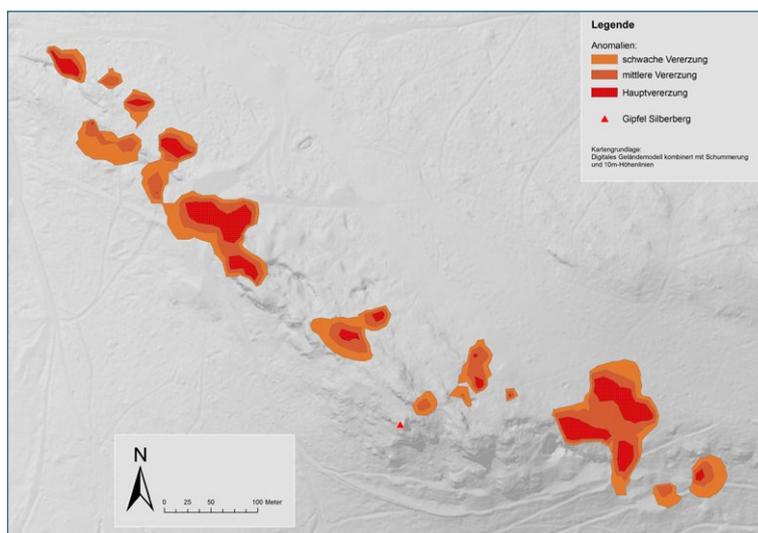


Abb. 45: Gradiertes Flächenansatz.

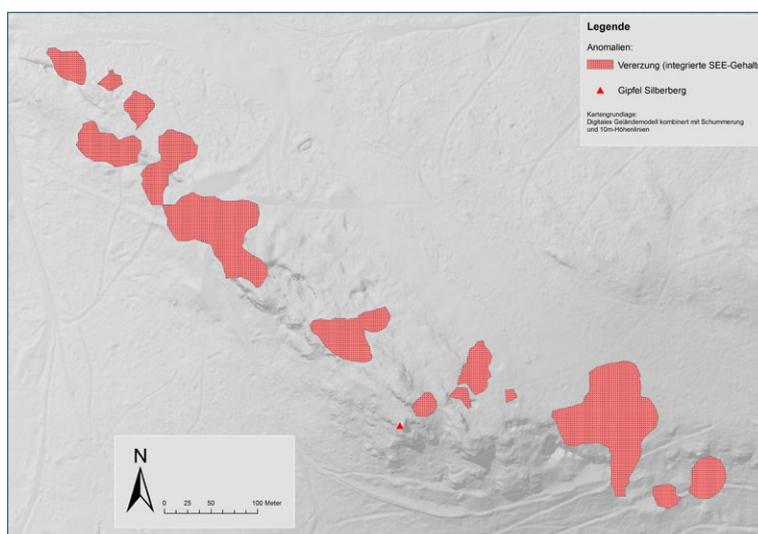


Abb. 46: Konservativer Flächenansatz.

Tab. 8: Gradiertes Flächenansatz mit Teilflächen aller Einzelanomalien.

Zone	Mittlere errechnete SEE-Konzentration (ppm)	Zonen-Fläche aller Anomalien (korrigiert)	Kubaturen in Zonen-Fläche (mittl. Mächtigkeit 0,3 m)	Tonnage Roherz (t)	Teilbetrag SEE-Oxide (t)
1	15.000	16.265 m ²	4.879 m ³	14.736	265
2	36.000	13.150 m ²	3.945 m ³	11.914	513
3	54.000	8.453 m ²	2.536 m ³	7.658	495
Modellierter wahrscheinlicher Gesamthalt SEE-Oxide (t):					1.273

4.1.8 Integrierter Ansatz zur Bestimmung des gesamten wahrscheinlichen SEE-Vorrats

Abgeleitet aus der mittleren Zusammensetzung des Roherzes (Kap. 4.1.5) lassen sich pro Tonne Biotit-Gneis ca. 25,08 kg Leichte und ca. 0,73 kg Schwere SEE-Oxide, gesamt ca. 25,81 kg SEE-Oxide (inkl. Sc und Y) nach Aufbereitung und Raffination gewinnen (s. a. statistische Maßzahlen in Tab. B-1, Anhang). Das Verhältnis der Leichten SEE-Oxide (Gew.-%) zu den Schwere SEE-Oxiden (Gew.-%) beträgt 34,35.

Darüber hinaus existiert pro Tonne Roherz ein weiteres, mittleres Potenzial an Titan- sowie Zirkonium-Oxid von ca. 28,4 kg bzw. rund 1,3 kg, das als Wertstoffe zusätzlich mit gewonnen werden könnte (Tab. B-2, Anhang).

Mit den unter 4.1.6 modellhaft bestimmten Gesamt-Flächen der Einzelanomalien ergibt sich in einem integrierten Ansatz mit gleicher mittlerer SEE-Konzentration, bei einer Fläche von ca. 27.681 m² (ohne Berücksichtigung des Fallwertes, Abb. 46) bzw. bei ca. 37.868 m² (Fallwert-korrigierte Fläche) und schließlich mit konstant gesetzter Mächtigkeit von 0,3 m eine Kubatur des abbaubaren Biotit-Gneises von ca. 11.360 m³. Mit der ermittelten, mittleren Rohdichte des Gesteins von 3,02 g/cm³ (Spannweite 2,94 – 3,09 g/cm³) leitet sich daraus eine Gesamt-Tonnage von 34.307 t Roherz mit einem wahrscheinlichen Gesamtvorrat von ca. 885 t SEE-Oxiden ab. Zusätzlich enthalten sind darin gesamt ca. 974 t gewinnbares Titan-Oxid sowie ca. 45 t Zirkonium-Oxid.

4.2 Wertung der Lagerstätten-Modellierung

Auf Grundlage der geophysikalischen, geologisch-mineralogisch und geochemischen Daten kann das wahrscheinliche, gewinnbare Oxid-Potenzial (SEE sowie Zr und Ti) als Gesamtbilanz angegeben werden. Wie bereits in den vorangegangenen Teilkapiteln 4.1.2 bis 4.1.8 aufgezeigt, ist die Güte der Vorratsberechnung sowohl abhängig von der Verteilung und Lagedichte der verwertbaren Stützpunkte als auch vom verwendeten Modell. Wegen der räumlichen Begrenztheit der Lagerzone und des relativ dichten radiometrischen Messnetzes darin ist die darauf aufgesetzte Modellierung dennoch als relativ „aussage-scharf“ zu werten, selbst wenn die Hangendbereiche zwischen den Strecken nicht flächenhaft mit entsprechenden Messpunkten abgebildet sind („geometrische Einschränkung“). Es ergibt sich je nach Modell eine wahrscheinliche Gesamtmenge von ca. 885 t bzw. ca. 1.273 t SEE-Oxide. Wegen der engräumigen numerischen Berücksichtigung der Stützpunkte im Fall des gradierten Ansatzes erscheint jedoch die höhere Gesamtmenge von rund 1.273 t SEE-Oxide insgesamt wahrscheinlicher (Tab. 9).

Tab. 9: Übersicht der wahrscheinlichen, gesamt gewinnbaren SEE-Oxidmengen auf Grundlage des gradierten Modells.

	Leichte SEE-Oxide (t)	Schwere SEE-Oxide (t)	SEE-Oxide gesamt (t)
wahrscheinliche Gesamt-Menge	1.237	36	1.273

4.3 Gesamtpotenzial der Lagerstätte

Die mineralogischen Befunde zeigen, dass die SEE der Lagerstätte Silberberg räumlich und mineralogisch in einem Biotit-Gneis-Horizont im Hangenden der Sulfiderz-Lagerstätte lokalisiert sind. Für eine Gewinnung und „Nutzbarmachung“ der SEE aus dem Roherz (Biotit-Gneis) muss dieser Gneis erst selektiv gewonnen, aufbereitet und die darin enthaltenen Ziel-Mineralen nachfolgend mechanisch abgetrennt und angereichert, anschließend chemisch aufgeschlossen sowie mittels Raffinations- und diverser metallurgischer Prozesse in die verwertbaren SEE-Oxide aufgetrennt werden. Es handelt sich dabei zwar um bekannte, weltweit praktizierte und beherrschbare Techniken, die aber wegen der dabei mitgewonnenen Uran- und Thorium-Oxidgehalte auch einen erhöhten Aufwand zur Einhaltung von Strahlenschutzbestimmungen erforderlich machen (ELSNER 2006, 2010). Eine eingehendere Würdigung dieser Problematik folgt dazu im Kapitel 4.4.

Die besondere Geochemie, im Besonderen das starke Überwiegen der Leichten SEE und hiervon besonders von Lanthan, Cer und Neodym zum einen und das beschränkte Potenzial der wahrscheinlichen Vorräte zum anderen machen eine künftige – rentable – Gewinnung eher unwahrscheinlich. Die vorhandenen, theoretisch mit nutzbaren Vorräte an Titan-Oxid und Zirkonium-Oxid können vor diesem Hintergrund die wirtschaftliche Gesamtsituation nicht verbessern.

4.4 SEE-Rohstoffe – mineralogische Bewertung

Die im Zuge der Untersuchung festgestellte SEE-Vererzung ist überwiegend an die Minerale Monazit und Cerianit gebunden. Eine Förderung und Nutzung des diese Minerale enthaltenden Roherzes ist aus technisch-bergbaulicher Sicht theoretisch zwar möglich aber aufgrund der begrenzten, bislang explorierten Mengen wirtschaftlich nur eingeschränkt sinnvoll.

Wie schon im Kapitel 4.3 aufgezeigt bedingt die chemisch-metallurgische Auftrennung von Monazit-dominierten Schwermineralkonzentraten bzw. Roherzen wie dem Biotit-Gneis hinsichtlich SEE sowie hinsichtlich Zirkonia bzw. metallischem Zirkonium auch die unerwünschte Mitgewinnung von Uran und Thorium. Nach heutiger Auffassung ist bei den Metallen Uran und Thorium weniger von einem verwertbaren Potenzial als vielmehr von radioaktiven Abfallstoffen auszugehen, die ökologisch unerwünscht und problematisch bei Transport, Aufarbeitung und Deponierung bzw. Endlagerung sind. Ob deswegen im Zuge einer künftigen Nutzung des sehr begrenzten Potenzials von SEE der erforderliche Aufwand zur Einhaltung von Strahlenschutzbestimmungen in Relation zu den Gewinnen bei Vermarktung vor allem von SEE-Oxiden (sowie von Zirkon- und Titanium-Oxid) steht, ist fraglich.

Auf Grundlage aller geochemischen Daten können Mittelwerte für die „mitgewonnenen“ Uran- und Thorium-Oxide angegeben werden. Demnach enthält eine Tonne Roherz im Mittel 2,7 kg Thorium-Oxid (als ThO_2) sowie ca. 0,15 kg Uran-Oxid (als UO_2).

4.5 Betrachtungen zur vorhandenen Bergbau-Infrastruktur

Der Lagerhorizont ist von den Gewinnungs- und Aufsuchungs- bzw. Erschließungsstrecken des ehemaligen Bergwerks her voll zugänglich. Im Falle eines konkreten Bergbau-Projektes wäre ein Miteinander von Besucherbergwerk und SEE-Abbau a priori ohne gegenseitige Beeinträchtigung möglich.

Lösung, Gewinnung und Abtransport des Roherzes könnte über den Johannesstollen erfolgen, allerdings müsste der verschlossene Stolleneingang wieder geöffnet und reaktiviert werden.

Da das Umfeld von Bodenmais verkehrstechnisch gut mit einem dichten Straßen- und Wegesystem erschlossen ist, könnte eine Abfuhr des Roherzes darüber und ggf. eine erforderliche Anbindung an überregionale Transportsysteme erfolgen.

Der Aufbau und Betrieb einer Aufbereitung vor Ort wäre jedoch sowohl wegen der Nähe zum Ort Bodenmais als auch wegen der Lage im Naturpark mit Fremdenverkehr und einer boomenden Touristikbranche unmöglich.

5 Vorräte und Wirtschaftlichkeit

5.1 Rohstoffpotenzial bei Ausschöpfung der explorierten Reicherz-Zonen

Zur Eingrenzung des kurzfristig nutzbaren Potenzials an SEE (und anderer verwertbarer Oxide) wurden in dieser Untersuchung weitgehend die vorhandenen Explorationsergebnisse hinsichtlich Uran und Thorium verwendet und darauf aufbauend die wahrscheinlichen SEE-Vorräte berechnet. Wie die Auswertung gezeigt hat, existieren noch große Informationslücken zwischen den lokalisierten Anomalien. Diese müssten durch ein enger gestaffeltes Bohrnetz von unter Tage und ggf. durch Tiefbohrungen von über Tage geschlossen werden, um die vermuteten, noch unbekanntem Lagerstättenteile mit erfassen und eine Gesamtbilanz durchführen zu können. Ob sich wegen der Begrenztheit des bekannten Vorkommens dieser zusätzliche Aufwand lohnt ist jedoch fraglich. Vielleicht würden durch Abbau und Erschließung der bekannten Reicherz-Zonen und dadurch erweiterter Kenntnis der Lagerstättensituation vor Ort auch die gezieltere Eingrenzung weiterer Potenziale im unmittelbaren Umgriff ermöglicht werden.

Wie die Vorratsberechnung jedoch gezeigt hat ist das wahrscheinliche Potenzial der Reicherz-Zonen aus heutiger Sicht vermutlich zu klein für weitere konkrete Projekte am Silberberg.

5.2 Möglichkeit weiterer SEE-Potenziale außerhalb der Lagerstätte Silberberg

Wie schon unter Kapitel 2.4 beschrieben wurde der Sulfiderz-Horizont über den Silberberg hinaus mit Unterbrechungen auf ca. 20 km Längserstreckung sowohl durch geologische Kartierungs- als auch mittels punktueller bergmännischer Erschließungsarbeiten nachgewiesen, erkundet und teilweise sogar bebaut (BLENDINGER & WOLF 1971). In keinem der untersuchten Projekte traten demnach Biotit-Gneise auf, die denen am Silberberg gleichen. Radiometrische Befahrungen im Zielgebiet konnten oberflächennah ebenfalls keine weiteren Anomalien in gleicher Ausbildung und in der bekannten Größenordnung auffinden. Unter Berücksichtigung des im gleichen Kapitel geschilderten Genesemodells waren in der streichenden Fortsetzung des Silberbergs offensichtlich nur kleinräumige Hydrothermen am ehemaligen Meeresboden aktiv, die neben geringmächtigen Sulfid- und lokal intensiveren Oxid-Ausfällungen keine weiteren (vulkanisch induzierten) Stoffumsätze mit SEE-Anreicherungen bewirkt haben. Ein zusätzliches, bislang unentdeckt gebliebenes Potenzial für SEE's innerhalb dieses Horizontes neben dem vom Silberberg scheint daher ausgeschlossen.

5.3 Positiv-Kriterien für eine SEE-Gewinnung aus der vorhandenen Abbaustelle

Die Gewinnung kann in einem vorhandenen, voll erschlossenen Bergwerk durchgeführt werden, sie ist damit unabhängig von weiteren untertägigen Erschließungsarbeiten.

Da untertägig, sind weitere Oberflächen-nahe Eingriffe in Naturraum bzw. Landschaft nicht notwendig.

Das noch vorhandene, explorierte rohstoffliche Potenzial kann nachhaltig und weitgehend vollständig ausgeschöpft, genutzt und vermarktet werden.

5.4 Negativ-Kriterien für die SEE-Gewinnung aus der vorhandenen Abbaustelle

Als Einschränkungen bzw. mögliche Ausschlusskriterien gelten demgegenüber:

Im Hinblick auf die Gewinnung, Aufbereitung und die Lagerung von Roherz über Zwischenprodukte bis zum Konzentrat werden organisatorisch-technische Maßnahmen zum Strahlenschutz erforderlich, die letztlich auch mit hohen finanziellen Aufwänden verbunden sind.

Zusätzliche Investitionen für eine komplett neue Anlage zur Aufbereitung des Roherzes und Abtrennung der Schwerminerale werden notwendig.

Für eine Nutzbarmachung bzw. anschließende Vermarktung der gewinnbaren Oxide ist der Aufbau und Betrieb einer Raffination zur Aufarbeitung des Roherzes erforderlich. Da diese Anlage und ihre langfristige Effizienz maßgeblich von der betriebswirtschaftlichen Gesamtsituation abhängen, ist dies in Anbetracht der Lagerstättengröße besonders kritisch zu werten. Der wirtschaftliche Betrieb dieser Anlage ist wiederum geknüpft an den erforderlichen, finanziell-organisatorisch-technischen Rahmen zum Strahlenschutz.

Die Rentabilität (von Gewinnung bis zur Raffination) ist zudem wesentlich abhängig von der künftigen Preis- und Angebots-Entwicklung von SEE- und anderen Oxiden auf den Weltmärkten.

5.5 Vergleich der Lagerstätte Silberberg mit Bedarfssituation und globaler Verfügbarkeit an SEE

Wie schon im Kapitel 4.2 aufgezeigt stellt die Lagerstätte Silberberg nur ein sehr begrenztes Potenzial an SEE- sowie für Titan- und Zirkonium-Oxid dar. Trotz vorhandener Infrastruktur und eines relativ guten Explorationsgrades aus alten und neuen Arbeiten kann dies nicht über die minimale Größenordnung der Lagerstätte hinweg täuschen. Gemessen am jährlichen Bedarf an SEE in Deutschland (und Bayern) und der entspannten Situation der Verfügbarkeit für SEE, der Größenordnungen erschlossener SEE-Lagerstätten weltweit sowie der mittlerweile beruhigten Preissituation für Leichte und Schwere SEE-Oxide stellt diese Lagerstätte momentan und sicher auch zukünftig kein wirtschaftlich nutzbares Potenzial dar. Aus heutiger Sicht erübrigt sich daher die Frage nach einer konkreten Nutzung. Letztlich bleibt daher nur die Vorhaltung dieses Potenzials als quasi „stille Reserve“.

5.6 Gesamtabwägung der Wirtschaftlichkeit

Wird die aktuelle und prognostische Preissituation für verwertbare Oxide (SEE, Titan und eventuell Zirkonium) auf den Weltmärkten betrachtet, muss neben vielen Hoch- und Tiefpreisphasen der letzten Jahre insgesamt von einem stetigen Aufwärtstrend vor allem bei den SEE gesprochen werden, der Ende 2010 infolge der Verringerung der chinesischen Exporte zu einer Preisexplosion führte. Da weiterhin von einem bedeutenden Nachfragewachstum für SEE ausgegangen werden muss, können künftig auch entsprechend gesteigerte Produktionsmengen aus laufenden Bergbauprojekten der östlichen und aus neuen der westlichen Welt erwartet werden. Vor diesem wirtschaftlich-strategisch-politischen Hintergrund werden zusätzlich auch ins Leben gerufene Maßnahmen zur effizienten Nutzung von SEE und deren Recycling mittelfristig greifen, so dass, insgesamt betrachtet, künftig von einer anhaltenden Normalisierung der Angebots- und Preissituation bei den SEE ausgegangen werden kann.

Nach Erhebung des Öko-Institutes 2011 (SCHÜLER 2011) importierte Europa 2008 insgesamt 23.013 t Metalle, Mischungen oder Legierungen als SEE-Oxide, 90 % davon stammten aus China. Deutschland nahm dabei für die eigene Wirtschaft ca. 8 % ab, d. h. ca. 1.841 t SEE-Oxide mit einem damaligen Wert von ca. 200 Mio. Euro. Eine lineare Bedarfs-Steigerungsrate von 4 % p. a. zugrunde gelegt, kann derzeit von einem Bedarf von ca. 2.422 t (2015) an SEE-Oxiden in Deutschland ausgegangen werden. Nach ELSNER (2011) richtet sich die globale Nachfrage überwiegend auf Yttrium, Samarium und Lanthan (Leichte SEE) sowie auf Europium, Terbium und Dysprosium (Schwere SEE). Die weltweite Nachfrage für 2015 wird hierbei prognostisch mit 12.700 t Y-Oxid, 1.400 t Sm-Oxid, 775 t Eu-Oxid, 500 t Tb-Oxid sowie 3.000 t Dy-Oxid angegeben (insgesamt ca. 7.600 t SEE-Metalle).

Aus dem in Kapitel 4.2. aufgeführten, potenziell vorhandenem, wahrscheinlichen Gesamtvorrat der Lagerstätte Silberberg mit insgesamt ca. 1.273 t SEE-Oxiden ließen sich insgesamt ca. 1.237 t LREE-Oxide und ca. 36 t HREE-Oxide gesamt produzieren. Diese Gesamtmenge entspricht demnach von der Größenordnung her der Hälfte des momentanen Jahresbedarfes von Deutschland.

In Anbetracht dieser Größenordnungen hinsichtlich Jahresbedarf und des verfügbaren Potenzials stellt die Lagerstätte Silberberg daher nur einen stark begrenzten Notvorrat für SEE dar.

6 Prognose

Ausgehend vom beschriebenen Genesemodell sind die untersuchten SEE-Mineralisationen am Silberberg offensichtlich nur im unmittelbaren Umfeld der (ehemaligen Erz-bringenden) Hydrothermen konzentriert und vermutlich auch nur randlich der massiveren Sulfidvererzungen („Trume“) anzutreffen. Das gemeinsame Auftreten von regelmäßig schichtig-lagigem Sulfiderz mit stärker vererztem Biotit-Gneis, wie auf dem Johannesstollen-Niveau offenkundig, könnte bei Bedarf ein zusätzliches Such- bzw. Einengungskriterium für künftige Untersuchungen darstellen (ehemalige, beruhigte Sedimentationsbereiche). Nach dieser Überlegung ist daher nur am Silberberg diese spezielle Lagerstätten-Entwicklung und auch da nur, wie die Untersuchungen gezeigt haben, in relativ beschränktem Umfang zu finden. Weiterhin ist davon auszugehen, dass im Fortstreichen der Sulfid-erz-Lagerstätte, wo nur noch geringstmächtige Sulfidvererzungen auftreten, eine SEE-Vererzung prognostisch unwahrscheinlich bis unmöglich ist.

Eine technische, kurz- bis mittelfristige Gewinnung von SEE aus dieser Lagerstätte ist zwar theoretisch möglich, nach heutigem Kenntnisstand aber nicht wirtschaftlich. Nur bei künftigen, weiteren negativen Preisentwicklungen für SEE und Verknappungen auf den Weltmärkten läge ein geringes, nutzbares Potenzial vor. Aus heutiger Sicht ist jedoch eine Gewinnung, besonders auch unter Investition in zusätzliche Gewinnungs- und Aufbereitungstechniken, nicht sinnvoll.

Nach Abwägung o.g. Positiv- und Negativ-Kriterien sowie aus heutiger wirtschaftlicher Sicht stellt daher die Lagerstätte Silberberg aktuell kein nutzbares SEE-Potenzial dar.

7 Zusammenfassung

Im Zuge der Untersuchung konnten begrenzt nutzbare Potenziale von Selten Erd Elementen und anderen gesuchten high-tech – Metalloxiden gefunden wurden, die jedoch in Anbetracht der Bedarfssituation sowie der weltweit verfügbaren Größenordnungen momentan als zu unbedeutend für eine wirtschaftliche Gewinnung eingestuft werden können.

Literatur

- AMMAN SCHWEIZ AG (2006): SELFRAG Labor Broschüre, 15 S., Langenthal, Schweiz.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1997): Geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000. – 6944, Blatt Bodenmais, München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1951–1962): Akt 74, Erze (Fe, U, Th) und Bohrungen, Bodenmais, Rohstoffarchiv (ex GLA, München), LfU, Hof.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1959–1961): Akt 72, Erze (Fe, U, Th) und Bohrungen, Bodenmais, Rohstoffarchiv (ex GLA, München), LfU, Hof.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1951–1962): Akt 71, Sulfiderzprospektion Bodenmais, Rohstoffarchiv (ex GLA, München), LfU, Hof.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1952–1968): Akt 61, Geophysik und Bohrungen, Raum Bodenmais, Rohstoffarchiv (ex GLA, München), LfU, Hof.
- BERGEAT, A. (1906): Die Erzlagerstätten.- Verlag A. Felix, S. 471–1330, Leipzig.
- BLENDINGER, H. & WOLF, H. (1971): Die Magnetkieslagerstätte Silberberg bei Bodenmais und weitere Erzvorkommen im Hinteren Bayerischen Wald. Aufschluß, Sonderheft 21, S.108–139, Heidelberg.
- BLENDINGER, H. & WOLF, H. (1981): Die Magnetkieslagerstätte Silberberg bei Bodenmais – Der Aufschluß, Sonderband 31, S. 75–89, Heidelberg.
- BLÜMEL, P. & PROPACH, G. (1978): Anthophyllite gneiss from the Silberberg Fe-sulfide deposit in high-grade metasediments near Bodenmais, E-Bavaria. – N.Jb.Mineral., 134, 1, S. 24–32, Stuttgart.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. – Enke, 152 S., Stuttgart.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1980): An introduction to the rock forming minerals. – Longman, 528 S., London.
- ELSNER, H. (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 12: Schwerminerale. – Geol.Jb. Reihe H, Heft 13, 143 S., Hannover.
- ELSNER, H. (2010): Heavy minerals of economic importance. – Assessment Manual, 218 S., 31 Abb., 125 Tab., BGR, Hannover.
- ELSNER, H. (2011): Commodity top news, Nr. 36; Kritische Versorgungslage mit Schweren Seltenen Erden – Entwicklung "Grüner" Technologien gefährdet ?. 8 S., BGR, Hannover.
- EVENSEN, N., M., HAMILTON, P., J., and O'NIONS, R., K. (1978): Rare earth abundances in chondritic meteorites. - Geochim. Cosmochim. Acta, 42, S. 1199–1212.

- FISCHER, G. (1939): Über das Grundgebirge der bayerischen Ostmark. Die Gneise nördlich des Bayerischen Pfahls. Jb.Preuss.geol.L. Anst., 59, 1938, S. 289–352, Berlin.
- FISCHER, G. (1967): Über das Moldanubikum der Bayerischen Oberpfalz und des Bayerischen Waldes. Aufschluß, Sonderheft 16, S. 27–111, Heidelberg.
- FLURL, M. (1792): Beschreibung der Gebirge von Baiern und der oberen Pfalz. 642 S., München.
- FREBOLD, G. (1929): Versuch einer genetischen Deutung der Kieslagerstätten von Lam und Bodenmais im Bayerischen Walde. Cbl. Min., Abt. A, S. 143–151, Stuttgart.
- GESELLSCHAFT ZUR AUFsuchUNG VON BODENSCHÄTZEN IN BAYERN MBH (GAB) (1963): Bericht über die Aufsuchung von Mineralien und Wasser in Bayern von 1951 bis 1962. 85 S., München.
- GRUBER, K. (1901): Der Schwefel und Magnetkiesbergbau am Silberberge bei Bodenmais. Abh. math.phys.Cl.Bayer.Akad.Wiss., Bd. 21, S. 337–348, München.
- GÜMBEL, C.W.V. (1868): Geognostische Beschreibung des Königreiches Bayern Zweite Abt., Geognostische Beschreibung des Ostbayerisches Grenzgebirges, 968 S., Ver. J. Perthes, Gotha.
- HALLER, R. (1971): Fragmente zur Geschichte des Schwefelkiesbergwerks am Silberberg bei Bodenmais. Aufschluß, Sonderband 21, S. 207–212, Heidelberg.
- HARTMANN, H. (1938): Vorläufige Mitteilung zur Geologie und Entstehungsgeschichte der Magnet- und Schwefelkies-Lagerstätten des Bayerischen Waldes bei Unterried, Bodenmais, Zwiesel, Maisried und Lam.- Unveröffentl. Manuskript, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- HEGEMANN, F. & MAUCHER, A. (1933): Die Bildungsgeschichte der Kieslagerstätte im Silberberg bei Bodenmais. Abh.Geol.Landesuntersuchung, Bayerisches Oberbergamt, Heft 11, S.1–36.
- HENDERSON, P. (ED.) (1984): Rare Earth Element Geochemistry. – Elsevier, 510 S., Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- KNEBEL, C. (2004): Untersuchungen zum Einfluss Seltener Erd-Citrate auf Leistungsparameter beim Schwein und die ruminale Fermentation im künstlichen Pansen (RUSITEC). - Dissertation, 146 S., LMU, München.
- LEHMANN, J. (1884): Untersuchung über die Entstehung der altkristallinen Schiefergesteine mit besonderer Bezugnahme auf das sächsische Granulitgebirge, Erzgebirge, Fichtelgebirge und bayer. böhm. Grenzgebirge. Mit fünf lithograph. Tafeln und einem Atlas, 267 S., Bonn.
- LINHARDT, E. (1985): Petrographische Untersuchungen am Silberberg bei Bodenmais im Hinblick auf den Stoffbestand der Rahmengesteine. Diplomarbeit Univ. München, 89 S., München.
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R. (1999): Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt; Teil III: Bestimmungen der Seltenerd-Elemente in Gesteinen und Mineralen aus Gesamtaufschlußlösungen mittels ICP-MS. - Geologica Bavarica 104, S. 105–116, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

- LORI, J.G. (1764): Sammlung des bayerischen Bergrechtes mit einer Einleitung in die Bergrechtsgeschichte, 643 S., München.
- OBERMÜLLER, T. (1993): Der Silberberg bei Bodenmais/Bayer. Wald.- Der Aufschluß, 44, S. 201–224, Heidelberg.
- RADIATION SOLUTIONS (2008): RS-230 BGO Super-Spec. – Brochure, # 1/08, 2 S., Mississauga, Canada.
- SCHÖNE, I. (2009): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Seltenen Erden beim Ferkel und Darstellung der gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich der Zulassung von Futtermittelzusatzstoffen. - Dissertation, 149 S., LMU, München.
- SCHREYER, W., KULLERUD, G. & RAMDOHR, P. (1964): Metamorphic conditions of ore and country rock of the Bodenmais, Bavaria, sulfide deposit. N.Jb.Min.Abh., 101, S. 1–26, Stuttgart.
- SCHRÖCKE, H. (1955): Petrotektonische Untersuchung des Cordieritgneisgebietes um Bodenmais im Bayerischen Wald und der eingelagerten Kieslagerstätten. Heidelberger Beitr.Mineral.Petr., 4, S. 464–503, Heidelberg.
- SCHÜLER, D. (2011): Hintergrundpapier Seltene Erden.- 7 S., Ökoinstitut, Berlin.
- STRUNZ, H. (1971): Mineralien und Lagerstätten des Bayerischen Waldes. - Der Aufschluß, Sonderheft 21, S. 15–29, Heidelberg.
- TEUSCHER, E.O. (1982): Thorium concentrations in the Bodenmais, Bavaria, Sulphide deposit.- Ore genesis - The state of the art, S. 465–468, Springer, Berlin.
- TROLL, G., LINHARDT, E. & SKERIES, R. (1987): Petrographic and geochemical studies on country rock of the Bodenmais (Bavaria) sulfide deposit. N.Jb.Geol.Palaeont., Mh., H.12, S. 726–752, Stuttgart.
- WEINSCHENK, E. (1901): Die Kieslagerstätte im Silberberg bei Bodenmais. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Falbänder. Abh.math. phys.CI.Bayer.Akad.Wiss., 21, 2.Abt., S. 349–410, München.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Geographische Lage der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg bei Bodenmais.	8
Abb. 2:	Gesamtansicht Silberberg von Bodenmais aus, Blickrichtung Südost.	8
Abb. 3:	Geologische Übersicht mit Lage der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg und engerem Untersuchungsgebiet (angepasster Ausschnitt aus GK25, Blatt 6944 Bodenmais, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1997).	10
Abb. 4:	Rhythmisch-gebändertes Sulfiderz, Firste Johannesstollen.	11
Abb. 5:	Massives Sulfiderz, Firste Mittelsohle / Ministerplatz.	11
Abb. 6:	Saiger- und Grundriß des Sulfiderz-Bergwerks Silberberg. Nach STRUNZ (1971).	11
Abb. 7:	Korrelation (U + Th, in ppm) vs. Energie-Dosisleistung in nGy/h (Abszisse).	14
Abb. 8:	Korrelation Energie-Dosisleistung (nGy/h) vs. Summe SEE im Roherz (ppm) (Abszisse).	14
Abb. 9:	Korrelation Monazit-Gehalte (M.-%) vs. Summe SEE (ppm) (Abszisse).	14
Abb. 10:	Korrelation Monazit-Gehalte (M.-%) vs. Energie-Dosisleistung (nGy/h) (Ordinate).	14
Abb. 11:	Quarzit-Horizont, Wolfgang-Stollen.	16
Abb. 12:	Quarzit, Wolfgang-Stollen.	16
Abb. 13:	Sillimanit-Gneis, Gießhübel-Zeche.	16
Abb. 14:	Sillimanit-Gneis, Gottesgab-Zeche, Handstück.	16
Abb. 15:	Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneis, Brandtner Riegel (DIN A4 Heft unten als Maßstab).	16
Abb. 16:	Granat-Cordierit-Sillimanit-Gneis, Bohrung 7, Silberberg, Kernstück bei 79,0 m Teufe.	16
Abb. 17:	Biotit-Gneis, Johannes-Stollen, Handstück.	16
Abb. 18:	Biotit-Gneis, Johannes-Stollen, Dünnschliff / Hellfeld, Bildbreite ca. 3,0 mm.	16
Abb. 19:	Probenahme unter Tage; Johannes-Stollen.	18
Abb. 20:	Radiometrische Messung unter Tage; Johannes-Stollen.	18
Abb. 21:	Grundriss und Streckenverlauf Bergwerk Silberberg mit Mess- und Probenahmepunkten.	19
Abb. 22:	Hochspannungs-Impulsfragmentierungs-Anlage (SELFRAG).	20

Abb. 23: Probe (Biotit-Gneis) nach Fragmentierung.	20
Abb. 24: Abtrennung von Schwermineralen mittels Sink-Schwimm-Verfahren im Scheidetrichter.	21
Abb. 25: Schwermineral-Konzentrate (Proben v.l.n.r.: JS-10, -7, -11, -3, Biotit – Gneis).	21
Abb. 26: Modell „SEE Silberberg“; SEE-Anomalien mit Gesamtausdehnung und Gradierungen innerhalb des engeren Untersuchungsgebietes unter Tage (Rahmen). Projektion auf Grundriss mit eingezeichneten Hauptstrecken (ohne Fallwert-Korrektur).	25
Abb. 27: Mittlere Verteilung der Leicht- und Schwerminerale in Haufwerkproben der Anomalie-West.	28
Abb. 28: Mittlere Schwermineralzusammensetzung im angereicherten Konzentrat dieser Haufwerkproben.	28
Abb. 29: SEE-Pattern Gesamtgestein (N = 10).	29
Abb. 30: SEE-Pattern Schwermineral-Konzentrate (N = 10).	29
Abb. 31: Mittlere prozentuale SEE-Verteilung im Roherz.	30
Abb. 32: Lage der Einzelanomalien.	31
Abb. 33: SEE-Gradierung im Bereich Nord-West als Ausschnitt.	32
Abb. 34: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	32
Abb. 35: SEE-Gradierung in Anomalie West als Ausschnitt.	32
Abb. 36: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	32
Abb. 37: SEE-Gradierung in Anomalie Mitte als Ausschnitt.	33
Abb. 38: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	33
Abb. 39: SEE-Gradierung in Bereich Ost I als Ausschnitt.	33
Abb. 40: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	33
Abb. 41: SEE-Gradierung in Anomalie Ost II als Ausschnitt.	34
Abb. 42: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	34
Abb. 43: SEE-Gradierung in Bereich Süd-Ost als Ausschnitt.	34
Abb. 44: Flächenanteile der Zonen 1, 2 und 3 (m ²).	34
Abb. 45: Gradierter Flächenansatz.	35

Abb. 46: Konservativer Flächenansatz.	35
Abb. D-1: Bildungsschema für Gesteine und Erze der Lagerstätte Silberberg	57
Abb. D-2: Blockbild Bergwerk Silberberg mit modellierten SEE-Anomalien. Räumliche Darstellung (Erstellung mittels ESRI-Software ArcScene), Blickrichtung Süd.	58

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Lage der Beprobungspunkte sowie zugehörige Proben.	18
Tab. 2:	Schwermineralgehalte untersuchter Proben.	21
Tab. 3:	Energie-Dosisleistungen untersuchter Proben.	23
Tab. 4:	Einzelvorkommen (Anomalien) und Häufungsbereiche nach Auswertung.	24
Tab. 5:	Häufigkeiten (Konzentrationen, in ppm) der SEE in kohligen, chondritischen Meteoriten (C 1). Quelle: EVENSEN et al. (1978), in: HENDERSON (1984); sie entsprechen den Normalisierungsfaktoren für unten folgende Grafiken (siehe Abb. 29 und Abb. 30 sowie Gl. 1).	26
Tab. 6:	Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung des Roherzes (2. Zeile: %) und mittlere absolute SEE-Gehalte im Roherz (3. Zeile: ppm).	29
Tab. 7:	Flächenanteile aller Einzelanomalien.	31
Tab. 8:	Gradiertes Flächenansatz mit Teilflächen aller Einzelanomalien.	36
Tab. 9:	Übersicht der wahrscheinlichen, gesamt gewinnbaren SEE-Oxidmengen auf Grundlage des gradierten Modells.	36
Tab. A-1:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Roherz-Proben (Biotit-Gneis).	52
Tab. A-2:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis.	52
Tab. A-3:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): Hauptelemente (Gew.-%).	52
Tab. A-4:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: Hauptelemente (Gew.-%).	53
Tab. A-5:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).	53
Tab. A-6:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).	53
Tab. A-7:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): SEE (ppm).	54
Tab. A-8:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: SEE (ppm).	54

Tab. B-1: Statistische Maßzahlen der Roherz-Zusammensetzung in ppm (N=10) sowie der mittleren Zusammensetzung in Gew.-% (als SEE-Oxide).	55
Tab. B-2: Statistische Maßzahlen der Roherz-Zusammensetzung: Neben- und Spurenelemente elementar (in ppm) und als Oxide (in Gew.-%, N=10).	55
Tab. B-3: Statistische Maßzahlen der mittleren prozentualen SEE-Zusammensetzung im Roherz (N=10).	55
Tab. C-1: Konversionstabelle zur Umsetzung radiometrischer Daten (Alt- und Neumessungen) mit geochemisch-mineralogischen Befunden.	56

Anhang

Tab. A-1: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Roherz-Proben (Biotit-Gneis).

Probe-Nr.	Titan-Minerale	Granat	Feldspäte	Biotit	Quarz	Chlorit	Spinell	Sillimanit	Cordierit	SEE-Minerale	Zirkon	Sulfid-Minerale
JS-6-G	1,5	0,0	15,0	52,0	0,0	11,7	0,0	16,0	0,0	3,3	< 1,0	0,0
JS-7-G	1,0	0,0	44,0	40,0	0,0	4,0	0,0	4,0	0,0	6,5	< 1,0	0,0
JS-3-G	0,0	0,0	16,5	40,0	0,0	21,0	0,0	8,0	0,0	7,0	< 1,0	8,0
SB-4-G	1,0	0,0	6,0	57,5	0,0	11,0	0,0	20,0	0,0	4,0	< 1,0	0,0
JS-17-G	1,0	0,0	5,0	65,5	0,0	15,0	0,0	10,0	0,0	3,0	< 1,0	0,0
JS-16-G	1,0	0,0	18,0	33,0	0,0	5,2	0,0	36,0	3,0	3,3	< 1,0	0,0
JS-4-G	1,0	0,0	7,0	37,5	3,0	18,0	0,0	13,0	0,0	20,0	< 1,0	0,0
JS-12-G	2,0	0,0	10,0	58,0	0,0	2,8	0,0	16,0	4,0	6,7	< 1,0	0,0
JS-11G	2,0	0,0	7,0	40,5	0,0	12,0	0,0	24,0	0,0	14,0	< 1,0	0,0
JS-10-G	0,0	0,0	8,0	54,0	10,0	2,0	0,0	15,0	7,0	3,5	< 1,0	0,0
Mittelwert	1,0	0,0	13,7	47,8	1,3	10,3	0,0	16,2	1,4	7,0	0,5	0,8

Titan-Minerale: Rutil, Anatas, Ilmenit;

Feldspäte: Mikroklin, Plagioklas;

SEE-Minerale: Monazit, Cerianit;

Sulfid-Minerale: Pyrit, Magnetkies, Kupferkies.

Tab. A-2: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis.

Probe-Nr.	Titan-Minerale	Granat	Feldspäte	Biotit	Quarz	Chlorit	Spinell	Sillimanit	Cordierit	SEE-Minerale	Zirkon	Sulfid-Minerale
JS-6-S	8,0	0,0	0,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	24,0
JS-7-S	6,0	0,0	< 1,0	18,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,0	1,0	11,0
JS-3-S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	71,0
SB-4-S	12,0	0,0	0,0	13,0	0,0	23,0	0,0	0,0	0,0	32,0	4,0	17,0
JS-17-S	54,0	0,0	0,0	5,0	0,0	13,0	0,0	0,0	0,0	10,0	2,0	17,0
JS-16-S	7,0	0,0	0,0	8,0	0,0	3,0	16,0	33,0	0,0	22,0	0,0	11,0
JS-4-S	12,0	0,0	0,0	9,0	5,0	36,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	24,0
JS-12-S	23,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	4,0	16,0
JS-11S	18,0	0,0	0,0	8,0	0,0	10,0	0,0	14,0	0,0	38,0	0,0	11,0
JS-10-S	9,0	50,0	0,0	12,0	5,0	6,0	0,0	0,0	0,0	13,0	0,0	4,0
Mittelwert	14,9	5,0	0,0	12,4	2,6	11,6	1,6	4,7	0,0	25,6	1,1	20,6

Titan-Minerale: Rutil, Anatas, Ilmenit;

Feldspäte: Mikroklin, Plagioklas;

SEE-Minerale: Monazit, Cerianit;

Sulfid-Minerale: Pyrit, Magnetkies, Kupferkies.

Tab. A-3: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): Hauptelemente (Gew.-%).

Probe-Nr.	SiO ₂ (Gew.-%)	Al ₂ O ₃ (Gew.-%)	Fe ₂ O ₃ (T) (Gew.-%)	MnO (Gew.-%)	MgO (Gew.-%)	CaO (Gew.-%)	Na ₂ O (Gew.-%)	K ₂ O (Gew.-%)	TiO ₂ (Gew.-%)	P ₂ O ₅ (Gew.-%)
JS-6-G	34,9	24,23	16,64	0,073	6,53	0,49	0,80	5,95	3,390	0,67
JS-7-G	45,73	19,78	9,80	0,034	4,54	2,99	3,55	4,48	2,701	1,17
JS-3-G	36,33	17,25	18,02	0,125	9,43	1,2	0,27	5,17	0,065	1,10
SB-4-G	37,36	25,93	12,23	0,085	6,72	0,14	0,46	6,37	3,088	0,79
JS-17-G	35,27	21,65	16,51	0,225	8,85	0,10	0,15	4,66	4,096	0,49
JS-16-G	39,52	31,33	9,66	0,065	4,05	1,33	1,80	3,75	2,219	0,61
JS-4-G	31,51	16,77	14,61	0,071	8,04	0,45	1,28	2,63	2,463	3,72
JS-12-G	35,79	23,48	16,78	0,074	6,65	0,52	0,62	6,31	4,276	1,27
JS-11-G	33,76	24,15	8,73	0,089	6,47	0,49	0,37	5,44	3,740	2,80
JS-10-G	46,57	22,16	12,45	0,096	4,27	0,40	0,65	5,14	2,388	0,64

Tab. A-4: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: Hauptelemente (Gew.-%).

Probe-Nr.	SiO ₂ (Gew.-%)	Al ₂ O ₃ (Gew.-%)	Fe ₂ O ₃ (T) (Gew.-%)	MnO (Gew.-%)	MgO (Gew.-%)	CaO (Gew.-%)	Na ₂ O (Gew.-%)	K ₂ O (Gew.-%)	TiO ₂ (Gew.-%)	P ₂ O ₅ (Gew.-%)
JS-6-S	8,71	9,63	17,06	0,048	0,66	0,66	0,16	0,72	5,117	9,69
JS-7-S	5,70	2,23	7,92	0,027	0,24	1,32	0,32	0,47	3,089	17,24
JS-3-S	4,84	2,62	26,37	0,035	1,53	0,65	0,07	0,41	0,046	1,71
SB-4-S	6,09	4,06	10,46	0,024	0,74	0,85	0,12	0,81	8,535	16,25
JS-17-S	5,13	2,32	9,23	0,026	0,79	0,5	0,06	0,52	35,56	5,50
JS-16-S	8,99	15,53	17,91	0,158	0,98	0,74	0,24	0,62	6,049	9,86
JS-4-S	9,29	6,64	20,37	0,040	2,12	0,66	0,21	0,87	7,445	8,83
JS-12-S	3,31	3,31	15,82	0,111	0,34	0,85	0,09	0,44	7,868	14,96
JS-11-S	5,10	5,86	5,31	0,024	0,77	1,07	0,05	0,69	9,212	16,75
JS-10-S	19,3	11,89	24,72	0,592	2,11	0,77	0,09	0,51	5,814	8,41

Tab. A-5: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).

Probe-Nr.	V (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
JS-6-G	674	420	170	1550	1600	1090	54	1380	67,9
JS-7-G	443	190	30	510	641	828	73	2340	107
JS-3-G	44	40	11400	370	141	1052	1530	462	24,6
SB-4-G	605	290	110	350	791	828	35	1500	80,8
JS-17-G	683	440	280	90	1852	662	827	976	56,4
JS-16-G	283	280	60	1380	1064	1043	47	1270	53,6
JS-4-G	334	320	1620	2770	1497	397	988	6380	368
JS-12-G	814	500	90	990	1034	1116	125	2470	138
JS-11-G	629	440	1240	4290	494	1910	188	5420	311
JS-10-G	452	240	20	450	621	1181	220	1260	70,2

Tab. A-6: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).

Probe-Nr.	V (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
JS-6-S	216	210	750	2750	838	148	156	23300	1090
JS-7-S	161	360	190	730	3944	58	180	42600	1820
JS-3-S	12	40	45800	880	676	94	482	2180	118
SB-4-S	327	130	390	780	2784	96	212	33400	1680
JS-17-S	1261	330	1120	100	4216	86	808	15500	836
JS-16-S	419	730	130	7780	904	237	163	24900	988
JS-4-S	438	410	2620	5940	444	154	806	18100	946
JS-12-S	372	960	290	1890	785	106	283	29400	1740
JS-11-S	540	390	3530	9570	2403	225	306	30800	1830
JS-10-S	393	260	110	920	507	100	3230	17700	855

Tab. A-7: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Roherz-Proben (Biotit-Gneis): SEE (ppm).

Proben	Sc (ppm)	Y (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)
JS-6-G	27	160	2760	5420	596	2200	371	8,21
JS-7-G	16	259	4540	9060	1050	3630	614	12,2
JS-3-G	3	103	899	1910	212	771	144	7,88
SB-4-G	24	189	3040	5980	658	2410	418	8,21
JS-17-G	22	155	2100	4120	452	1640	275	6,38
JS-16-G	21	149	2420	4830	534	1960	330	6,92
JS-4-G	22	814	14500	28400	3240	11700	2120	47
JS-12-G	28	281	4890	9650	1140	3960	687	11,8
JS-11-G	33	630	12000	23500	2660	9550	1730	33,2
JS-10-G	22	167	2690	5260	603	2260	397	7,79

Proben	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
JS-6-G	242	21,3	62,5	5,1	8,6	0,85	4,8	0,67
JS-7-G	391	35,1	99,4	8	11,6	1,1	5,5	0,69
JS-3-G	97,6	9,8	33,3	3,2	6	0,59	3	0,39
SB-4-G	267	24,2	69,4	5,7	9,7	1	5,2	0,7
JS-17-G	174	16,1	48,1	4,4	8,7	1,05	6,3	0,99
JS-16-G	206	18,7	55,3	4,5	7,4	0,77	4,4	0,62
JS-4-G	1220	103	305	25,9	33,9	2,87	13,4	1,51
JS-12-G	439	39,2	110	8,3	12,1	1,13	6,4	0,82
JS-11-G	991	84,6	250	21	29,8	2,51	11,4	1,37
JS-10-G	230	19,6	59,6	5,6	8,6	0,88	4,8	0,63

Tab. A-8: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Biotit-Gneis: SEE (ppm).

Proben	Sc (ppm)	Y (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)
JS-6-S	62	2754	47100	93600	11300	41500	7090	151
JS-7-S	91	4621	82200	164000	18900	70500	12100	213
JS-3-S	8	363	4410	8860	1040	4050	727	39,9
SB-4-S	83	3949	69400	138000	16100	60800	10400	186
JS-17-S	53	1799	32700	63100	7500	28000	4640	94,4
JS-16-S	77	2669	45800	91900	11100	40700	6780	121
JS-4-S	45	1967	35000	69000	8430	31600	5330	108
JS-12-S	82	3395	67100	138000	14900	57900	9980	172
JS-11-S	84	3773	72700	148000	16100	62400	10600	202
JS-10-S	137	2011	35300	68100	8370	30900	5280	91,2

Proben	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
JS-6-S	4400	397	1130	88,4	125	11,9	67,1	8,9
JS-7-S	7450	626	1780	139	199	18,6	105	13
JS-3-S	489	48,1	146	12	17,9	1,72	8,6	0,95
SB-4-S	6300	535	1560	120	173	17	90,1	11,2
JS-17-S	2860	274	758	60,8	96,7	9,16	54,7	7,37
JS-16-S	4220	399	1130	89,6	126	12,9	71,9	8,34
JS-4-S	3440	318	881	65	84,4	8,98	43,6	5,3
JS-12-S	6300	541	1470	108	152	13,9	79,8	9,14
JS-11-S	6610	592	1650	125	169	16,1	88,4	10,1
JS-10-S	3210	299	849	67,1	100	11	63,5	7,76

Tab. B-1: Statistische Maßzahlen der Roherz-Zusammensetzung in ppm (N=10) sowie der mittleren Zusammensetzung in Gew.-% (als SEE-Oxide).

	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Minimal	3	103	899	1910	212	771	144	6,38
Maximal	33	814	14500	28400	3240	11700	2120	47
Median	22	178	2900	5700	630,5	2335	407,5	8,21
Mittelwert (ppm)	21,8	290,7	4984	9813	1115	4008	708,6	14,96
	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃
Mittelwert (Gew.-%)	0,0033	0,0369	0,5845	1,2053	0,1304	0,4675	0,0822	0,0017

	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Minimal	97,6	9,8	33,3	3,2	6	0,59	3	0,39
Maximal	1220	103	305	25,9	33,9	2,87	13,4	1,51
Median	254,5	22,75	65,95	5,65	9,2	1,025	5,35	0,695
Mittelwert (ppm)	425,8	37,16	109,3	9,17	13,64	1,275	6,52	0,839
	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃
Mittelwert (Gew.-%)	0,0491	0,0043	0,0125	0,0011	0,0016	0,0001	0,0007	0,0001

Tab. B-2: Statistische Maßzahlen der Roherz-Zusammensetzung: Neben- und Spurenelemente elementar (inppm) und als Oxide (in Gew.-%, N=10).

	U (ppm)	Th (ppm)	Zr (ppm)	UO ₂ (Gew.-%)	ThO ₂ (Gew.-%)	TiO ₂ (Gew.-%)	ZrO ₂ (Gew.-%)
Minimal	24,6	462	141	0,00	0,05	0,07	0,02
Maximal	368	6380	1852	0,04	0,73	4,28	0,25
Median	75,5	1440	912,5	0,01	0,16	2,89	0,12
Mittelwert	127,8	2345,8	974	0,02	0,27	2,84	0,13

Tab. B-3: Statistische Maßzahlen der mittleren prozentualen SEE-Zusammensetzung im Roherz (N=10).

	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Minimal	0,04	1,22	21,39	44,82	5,01	18,16	3,05	0,06
Maximal	0,24	2,45	23,29	45,91	5,36	19,26	3,43	0,19
Median	0,16	1,38	23,09	45,60	5,10	18,52	3,21	0,07
Mittelwert	0,14	1,49	22,94	45,52	5,13	18,55	3,24	0,08

	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Minimal	1,92	0,16	0,49	0,04	0,05	0,00	0,02	0,00
Maximal	2,32	0,23	0,79	0,08	0,14	0,01	0,07	0,01
Median	1,97	0,18	0,52	0,04	0,07	0,01	0,04	0,01
Mittelwert	2,02	0,18	0,54	0,05	0,08	0,01	0,04	0,01

Tab. C-1: Konversionstabelle zur Umsetzung radiometrischer Daten (Alt- und Neumessungen) mit geochemisch-mineralogischen Befunden.

Aktivität (± 10 % abs., in cpm)	Ionen-Dosis-Leistung (± 10 % abs., in mR/h)	Energie-Dosis-Leistung (± 10 % abs., in nGy/h)	Summe SEE (± 10 % abs., in ppm)	Monazit (± 10 % abs., in M.-%)
10.000	0,1	50	<< 5000	<< 1
15.000	0,2	69	< 5000	< 1
20.000	0,3	72	5000	1
30.000	0,4	100	7000	
35.000	0,5	123	10000	2
40.000	0,6	138	13000	
45.000	0,7	153	15000	3
50.000	0,8	164	17000	
60.000	0,9	182	20000	4
70.000	1	197	23000	
75.000	1,1	211	25000	5
80.000	1,2	226	27000	
85.000	1,3	241	30000	6
90.000	1,4	255	33000	
100.000	1,5	270	35000	7
110.000	1,6	285	37000	
115.000	1,7	300	39000	
120.000	1,8	314	40000	8
125.000	1,9	329	43000	
130.000	2	343	45000	9
140.000	2,1	358	48000	
145.000	2,2	373	50000	10
150.000	2,3	388	52000	
155.000	2,4	402	54000	
160.000	2,5	417	55000	11
165.000	2,6	432	59000	
170.000	2,7	446	62000	12
180.000	2,8	461	65000	13

Anmerkung: Neben Monazit als (numerisch aufgeführter) Hauptbestandteil wird die Gesamtmenge der SEE-Mineralen jeweils durch Cerianit, Thorianit und Zirkon aufgestockt.

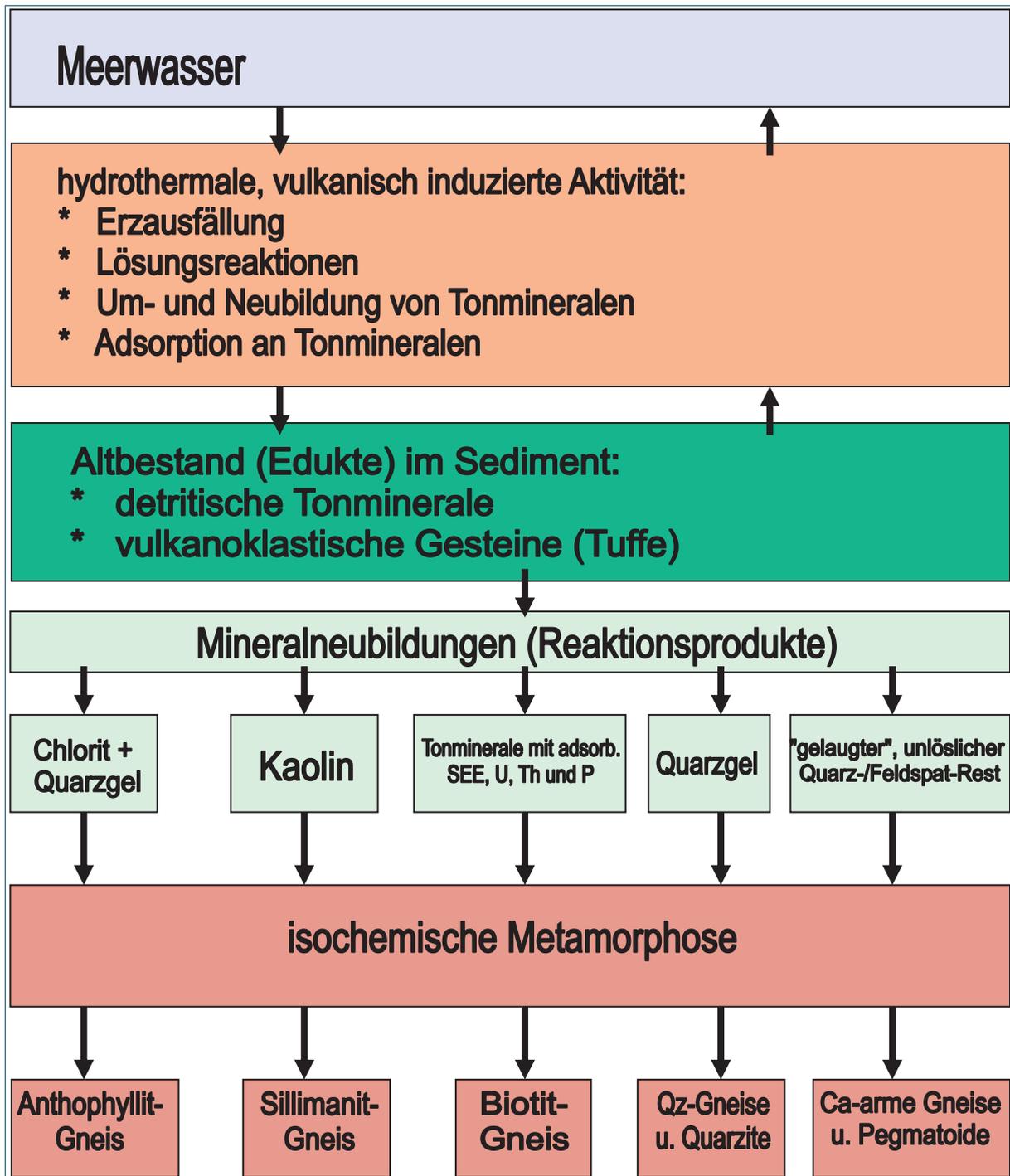


Abb. D-1: Bildungsschema für Gesteine und Erze der Lagerstätte Silberberg

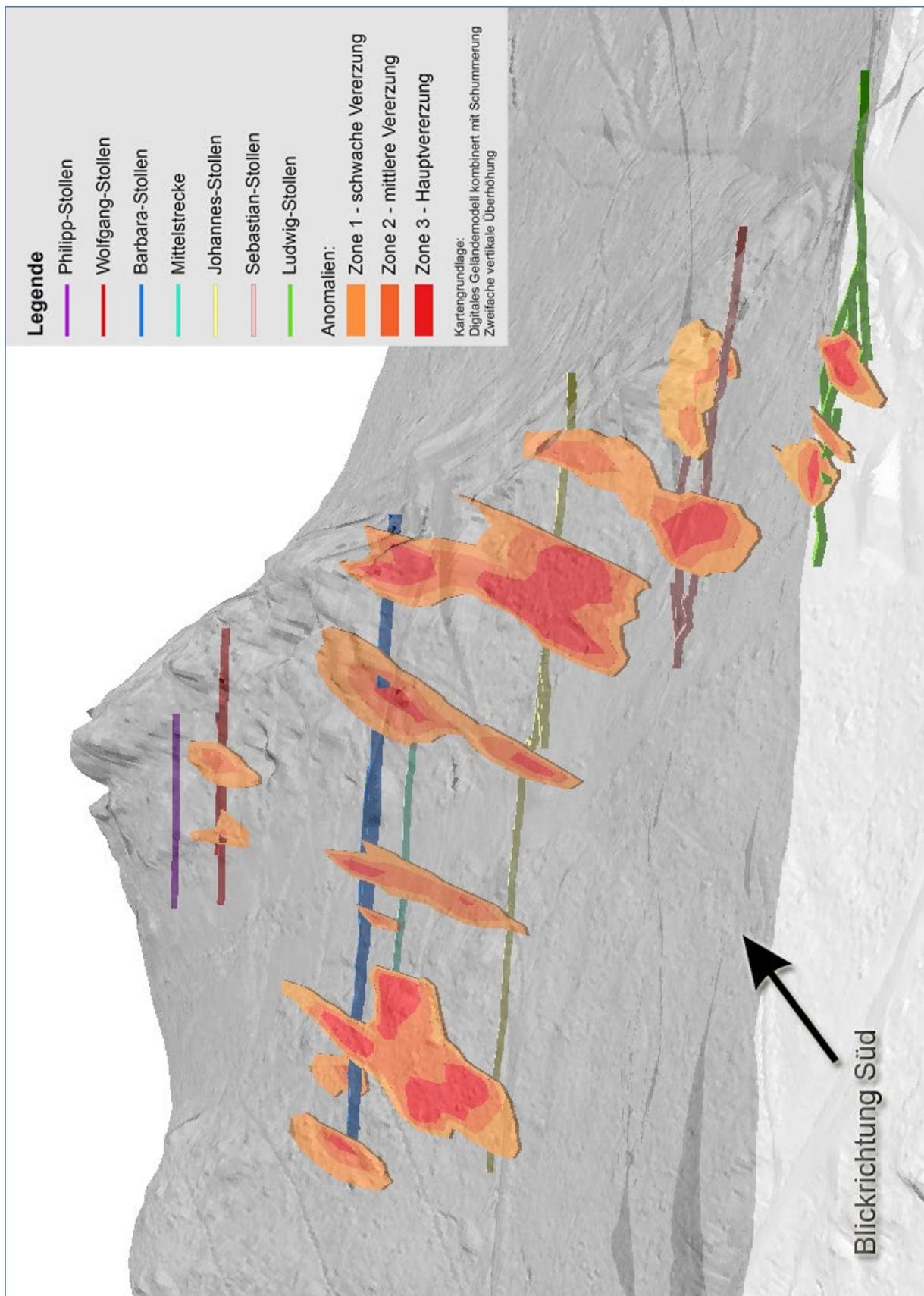


Abb. D-2: Blockbild Bergwerk Silberberg mit modellierten SEE-Anomalien. Räumliche Darstellung (Erstellung mittels ESRI-Software ArcScene), Blickrichtung Süd.