

# Geochemische Charakterisierung von mitteleuropäischen Kupfervorkommen zur Herkunftsbestimmung des Kupfers der Himmelscheibe von Nebra

## Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

vorgelegt der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg



von

Dipl. Geol. Manuela Frotzsch

Gutachter:

Prof. Dr. Gregor Borg

Prof. Dr. Ernst Pernicka

Halle (Saale), 09.11.2009

## Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Halle (Saale), 06.07.2009

Manuela Frotzcher

## Danksagung

Zuallererst möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Himmelsscheiben-Forschungsprojektes und damit die Ermöglichung der vorliegenden Arbeit danken.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Gregor Borg möchte ich für die Vergabe des interessanten Themas und die Unterstützung und Betreuung im Verlauf der Arbeit danken.

Prof. Dr. Ernst Pernicka sei gedankt für seine Ratschläge und für seine Bereitschaft zur Begutachtung der Arbeit, sowie allen Mitarbeitern des Curt-Engelhorn-Zentrums Archäometrie in Mannheim für ihre Unterstützung – allen voran Herrn Bernd Höppner, Dr. Joachim Lutz, Dr. Thorsten Schifer und Dr. Mike Haustein.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Jens Schneider für die Messung der Pb-Isotopenzusammensetzung einer Reihe von Proben und für eine Vielzahl von Hinweisen und Ratschlägen auf dem Gebiet der Pb-Isotopie.

Weiterer Dank gilt einer ganzen Reihe von Personen, ohne deren Unterstützung keine nennenswerte Anzahl an Proben zusammengekommen wäre. Dazu gehören Frau Dr. Angela Ehling und Herr Thomas Wiese von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Herr Thomas Sperling vom Bayerischen Landesamt für Umwelt, Frau Karin Rank von der TU Bergakademie Freiberg, Herr Hans Stühmer (Helgoland), Herr Jürgen Wesiger (Ilfeld), Herr Bernd Friedrich (Mansfeld), Herr Ulrich F. Hein (Göttingen), Herr Gerd Hintze (Bad Grund), Herr Uwe Lange (Bad Wildungen-Bergfreiheit), Herr Dr. Wilfried Ließmann (Göttingen) und Herr Felix Bieker (Marsberg).

Für die Unterstützung bei der Recherche danke ich Herrn Jürgen Heckner und Frau Dauterstedt vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Herrn Dr. Hermann Huckriede von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Frau Dr. Anna Vymazalova vom Tschechischen Geologischen Dienst, Herrn Prof. Dr. Bernhard Hänsel von der Freien Universität Berlin und Herrn Martin Roth vom Bergamt Nordbayern in Bayreuth.

Ich möchte auch Herrn Dieter Stoppel für seine Ratschläge und die fachliche Führung im Gebiet von Engelbach und Bad Wildungen-Bergfreiheit danken und Herrn Dr. Klaus Stedingk vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt für seine Hinweise und die Vermittlung von Kontakten.

Für ihre Hilfe bei der Probenaufbereitung und bei der Erstellung von Abbildungen danke ich Sebastian Stelter, Stephanie Klatt, Stefanie Heimerl und Marie-Luise Pecher.

Und großer Dank für die moralische Unterstützung, sowie fachliche Diskussionen gilt Sabine Walther.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1. Die Himmelscheibe von Nebra und ihre Beifunde	2
1.2. Das DFG-Projekt	3
1.3. Zielsetzung der Arbeit	3
<b>2. Bisherige vergleichbare Arbeiten</b>	<b>4</b>
<b>3. Methodik</b>	<b>5</b>
3.1. Die Probennahme	5
3.2. Die Probenaufbereitung	5
3.3. Rasterelektronenmikroskopie	6
3.4. Röntgenfluoreszenzanalyse	6
3.5. Neutronenaktivierungsanalyse	7
3.6. Pb-Isotopenbestimmung mittels Massenspektrometrie	8
3.7. Der Vergleich zwischen Artefakten und Erzen	8
<b>4. Die Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet</b>	<b>9</b>
4.1. Das Arbeitsgebiet	9
4.2. Überblick über Kupfervorkommen und Lagerstättentypen im Arbeitsgebiet und deren prähistorische Höflichkeit	10
<b>5. Die Ergebnisse</b>	<b>30</b>
5.1. Petrographische Charakterisierung von Erzen und Nebengestein	32
5.2. Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA)	75
5.3. Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalysen (INAA)	87
5.4. Ergebnisse der Pb-Isotopie	88
<b>6. Spurenelement- und Pb-Isotopendaten aus der Literatur</b>	<b>98</b>
6.1. Vergleich mit Spurenelementdaten aus der Literatur	98
6.2. Vergleich mit Pb-Isotopendaten aus der Literatur	103
<b>7. Der Vergleich von Erzen und Artefakten</b>	<b>109</b>
7.1. Vergleich der Kupfererze mit der Himmelscheibe und ihren Beifunden	111
7.2. Exemplarischer Vergleich mit frühbronzezeitlichen Artefakten aus Sachsen Anhalt (NW2)	123
<b>8. Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>133</b>
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
<b>Anhang</b>	

## **Zusammenfassung**

Die herausragende Bedeutung des Fundes der Himmelsscheibe von Nebra gab Anlass, in einem DFG-finanzierten interdisziplinären Forschungsprojekt verschiedenen archäologischen, archäometallurgischen, lagerstättenkundlichen und astronomischen Fragestellungen zur Himmelsscheibe selbst und zur Frühbronzezeit in Mitteleuropa nachzugehen. Eine dieser Fragen war die nach der Herkunft des in der Himmelsscheibe und ihren Beifunden verarbeiteten Kupfers.

So wurden in der vorliegenden Studie unter dem Thema „Geochemische Charakterisierung von mitteleuropäischen Kupfervorkommen zur Herkunftsbestimmung des Kupfers der Himmelsscheibe von Nebra“ 144 Erzproben von 58 Kupfervorkommen in einem Radius bis 400 km um Nebra (erz-)petrographisch und geochemisch untersucht. Die Proben stammen teils aus dem Gelände, vor allem aber aus Sammlungen, allen voran der Lagerstättensammlung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die Analysen umfassten Messungen der Pb-Isotopenzusammensetzung mittels Multi-Kollektor-ICP-MS und TIMS, sowie Messungen der Spurenelementzusammensetzung mittels RFA (Cu, Ag, As, Sb, Co, Ni, Bi) und bei einer Auswahl von Proben auch mittels NAA (Cu, Ag, As, Sb, Co, Ni, Au, Se).

Zu den untersuchten Kupfervorkommen gehören die Vererzung im Buntsandstein von Helgoland, Gangvererzungen im Harz und im Kyffhäuser, die Kupferschiefervererzung in der Umrandung des Harzes, am Kyffhäuser, bei Könnern, am Thüringer Wald und in der Nordsudetischen Mulde, Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld, Kamsdorf und Seligenthal, die Vererzung in karbonischen Schwarzschiefern bei Marsberg und Gangvererzungen im Rheinischen Schiefergebirge, Gangvererzungen im Thüringer Wald, im Thüringer Schiefergebirge, bei Caaschwitz und bei Chrieschwitz, die metamorph überprägten SHMS-Vorkommen bei Waldsassen und Bodenmais, sowie eine Reihe von Vererzungen auf dem Gebiet von Tschechien und Südwest-Polen.

Damit steht für diese Region erstmals eine umfangreiche und homogene Spurenelement- sowie Pb-Isotopendatenbank für geoarchäologische Provenienzuntersuchungen auch über den Rahmen dieser Promotionsschrift hinaus zur Verfügung.

Hierbei ist die Pb-Isotopenzusammensetzung das aussagekräftigere Kriterium, da sich die verschiedenen Kupfervorkommen und Erzdistrikte Pb-isotopisch weitaus besser differenzieren lassen als anhand der Spurenelementzusammensetzung. Diese ist dann als bestätigendes oder widerlegendes Kriterium anzuwenden, falls die Pb-Isotopendaten auf eine Übereinstimmung zwischen Erzen und Artefakten hinweisen bzw. um die Anzahl infrage kommender Kupfervorkommen einzuschränken. Unter Anwendung dieses Ausschlussverfahrens wurden die in vorliegender Arbeit untersuchten Erzproben mit den Artefakten des Hortfundes von Nebra, sowie exemplarisch mit weiteren frühbronzezeitlichen Artefakten aus Sachsen-Anhalt verglichen.

Im Ergebnis konnten die untersuchten Kupfervorkommen als Kupferquelle für die Himmelsscheibe von Nebra und ihre Beifunde ausgeschlossen werden. Zusätzliche Vergleiche der Artefakte mit in der Literatur publizierten geochemischen Daten erbrachten ebenfalls keine Übereinstimmung. Somit gilt (nach derzeitigem Untersuchungsstand) das von Pernicka untersuchte Erzvorkommen von Mitterberg in den Ostalpen, welches die größte geochemische und Pb-isotopische Ähnlichkeit mit den Nebraer Artefakten aufweist, als wahrscheinlichste Kupferquelle für die Nebraer Artefakte (Pernicka in Vorb.).

Im Gegensatz dazu ergab sich aus dem Vergleich mit den frühbronzezeitlichen Artefakten aus Sachsen-Anhalt eine Pb-isotopische Überschneidung und auch Ähnlichkeiten in der Spurenelementzusammensetzung von Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf mit Hortfunden von Naumburg und Schkopau, sowie in geringem Maße auch mit den Horten von Bennewitz, Kanena III und eventuell Dieskau III. Die Herkunft des Kupfers zumindest eines Teils der Artefakte von Naumburg und Schkopau aus den Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld oder auch Kamsdorf ist damit als möglich anzunehmen. Darüber hinaus ergab ein Vergleich dieser Artefakte mit Daten aus der Literatur eine Pb-isotopische Überschneidung zwischen Oberharzer Gangerzen, sowie dem Erzvorkommen vom Rammelsberg und den genannten Hortfunden, wenn auch die Ähnlichkeit in den Spurenelementzusammensetzungen nicht so ausgeprägt ist, wie im Falle der Mansfelder und Kamsdorfer Erze.

## 1. Einleitung

### 1.1. Die Himmelsscheibe von Nebra und ihre Beifunde

Die 1999 von Raubgräbern auf dem Mittelberg bei Wangen gefundene Himmelsscheibe von Nebra ist die älteste konkrete Himmelsdarstellung und damit einer der bedeutendsten Funde aus der Frühbronzezeit in Europa. Sie ist Bestandteil eines Bronze-Hortes (Abb.1.1.1), zu dem noch zwei Schwerter mit Goldverzierungen, zwei Randleistenbeile, ein Knickrandmeißel und Bruchstücke von Armspiralen gehören (Meller 2002, Pernicka in Vorb.).



Abb. 1.1.1: Die Himmelsscheibe von Nebra und ihre Beifunde (Foto: Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt).

Typologisch anhand der Beifunde und durch  $^{14}\text{C}$ -Analysen an Birkenrinde-Resten im Griff eines der Schwerter wurde die Niederlegung des Hortes auf das Ende der Frühbronzezeit datiert, auf etwa 1600 vor Christus (Meller 2002). Damit fällt der Fund zeitlich und räumlich in die Aunjetitzer Kultur (nach dem Ort Únětice bei Prag – Niederschlag et al. 2003). Diese ist mit der Circumharzer Gruppe während der gesamten Frühbronzezeit in der Region um Nebra verbreitet und erreicht in der mittleren Frühbronzezeit ihre größte Ausdehnung von Ostdeutschland und Westpolen über Böhmen und Mähren bis nach Niederösterreich und der Westslowakei (Krause 2003, Abb. 1.1.2).



Abb. 1.1.2: Das Verbreitungsgebiet der Aunjetitzer Kultur (Karte: Google Earth, Umriss des Verbreitungsgebietes nach Krause 2003).

Die etwa 30 cm durchmessende Himmelsscheibe besteht aus Bronze und zeigt verschiedene Goldauflagen, die mittels Tauschierung befestigt sind (Meller 2002). Die meisten der Goldauflagen sind leicht als astronomische Darstellungen erkennbar. Hierzu gehören eine Mondsichel, eine runde Scheibe, die entweder die Sonne, oder den Vollmond darstellt, eine Gruppe von sieben Sternen, die als Plejaden interpretiert wird (Schlosser 2002, 2003), sowie weitere 25 gleichmäßig verteilte Sterne. Ehemals zwei Bögen

an gegenüberliegenden Rändern der Scheibe, von denen nur noch einer erhalten ist, werden als Horizontbögen interpretiert. Der Winkel von etwa 82° zwischen den Enden dieser Bögen entspricht dem Winkel zwischen den Auf- und Untergangspunkten der Sonne zur Sonnen- und Wintersonnenwende in einem Breitenbereich, in dem Sachsen-Anhalt liegt (Schlosser 2002, Schlosser 2003, Pernicka et al. 2008). Ein stärker gekrümmter Bogen wird als stilisierte Schiffsdarstellung angesehen und ist offenbar ein mythisches Objekt. Es ähnelt etwa zeitgleichen Darstellungen aus Südosteuropa, aber auch späteren Darstellungen der Nordischen Bronzezeit (Meller 2002). Dieses Motiv vertritt wohl die mythologische Vorstellung von einer Reise der Sonne auf einer Himmelsbarke (Meller 2002). Eine alternative Interpretation wäre die des Milchstraßenbogens in der Nähe der Plejaden (Schlosser 2002, 2003). Unterschiede in der Goldzusammensetzung und die Überdeckung von Sternen durch die Horizontbögen bzw. der Versatz eines Sterns, weisen darauf hin, dass die Himmelscheibe über einen ungewissen Zeitraum hinweg in Benutzung war und mehrmals umgestaltet wurde (Pernicka & Wunderlich 2002, Pernicka et al. 2008). Zu einer ersten Phase gehören Sichelmond, Vollmond oder Sonne und die Sterne. Danach wurden die Horizontbögen hinzugefügt, wobei ein von einem Bogen teilweise verdeckter Stern versetzt und zwei vollständig verdeckte Sterne entfernt wurden. Die Barke wurde wiederum später aufgebracht. Schließlich wurde der Rand der Scheibe gelocht, wobei die Lochung durch die Goldauflagen hindurchgeht.

### **1.2. Das DFG-Projekt**

Die herausragende Bedeutung der Himmelscheibe war Anlass für das DFG-finanzierte interdisziplinäre Forschungsprojekt FOR550 "Der Aufbruch zu neuen Horizonten". Beteiligt sind das Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, die Friedrich-Schiller-Universität Jena, die Ruhr-Universität Bochum, die Ludwig Maximilians-Universität München und die Eberhard-Karls-Universität Tübingen (mit dem Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim als An-Institut). Das Projekt ist in mehrere Teilprojekte (Module) auf den Gebieten der Archäologie, Archäometallurgie, Astronomie und Lagerstättenkunde aufgegliedert. Die archäologischen Module befassen sich mit dem kulturellen Umfeld der Himmelscheibe, unter anderem mit bronzezeitlichen Kreisgraben-Anlagen, Siedlungen, Gräbern und Hortfunden. In den naturwissenschaftlichen Modulen geht es um die Bronzeverarbeitungstechniken, die Analyse der Zusammensetzung von Bronzeartefakten (Modul NW2), die Ermittlung potentieller Rohstoffquellen für die Himmelscheibe und ihre Beifunde, die Erstellung einer Gold-, Kupfer- und Zinnerzdatenbank, sowie die Entschlüsselung des astronomischen Bildinventars der Himmelscheibe. Die vorliegende Arbeit, in der es um die Kupfer-Thematik geht, ist Bestandteil des Moduls "Geochemische und archäometallurgische Untersuchungen zur prähistorischen Buntmetallgewinnung in Mitteldeutschland" (Kurzbezeichnung NW3).

### **1.3. Zielsetzung der Arbeit**

Nachdem im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Freiberg die Nebraer Artefakte spurenelement-geochemisch und Pb-Isotopisch untersucht worden waren (Nickel 2003; Publikation der Ergebnisse: Pernicka in Vorb.), wurden diese Daten von E. Pernicka mit Daten eigener Studien (Niederschlag et al. 2003, Pernicka in Vorb. und bisher noch nicht veröffentlichte Daten) an verschiedenen Kupfervorkommen in den Ostalpen, im Erzgebirge, im Westharz, in der Tschechischen Republik, der Lausitz, bei Mansfeld und bei Kamsdorf verglichen. Dabei ergaben sich Ähnlichkeiten der Nebraer Artefakte zum Kupfervorkommen vom Mitterberg in der Nördlichen Grauwackenzone, wo bronzezeitlicher Bergbau nachgewiesen ist (Eibner 1993). Für den mitteldeutschen Raum werden in der Literatur (Simon 1990 und 1993, Krause 2003) Spuren von Kupferverarbeitung teils in unmittelbarer Nähe von Erzvorkommen als Indiz für eine mögliche Gewinnung lokaler Kupfererze in der Frühbronzezeit betrachtet. Eine geochemische Datenbasis, die eine Aussage über die mögliche Verwendung dieser Erze als bronzezeitliche Rohstoffquelle erlauben würde, fehlte aber bisher. Dies gilt vor allem für die Spurenelemente, die für den Vergleich mit Artefakten üblicherweise herangezogen werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit und nachfolgender Arbeiten im Modul NW3 ist es, eine solche Datenbasis in Form einer Datenbank mit Spurenelement- und Pb-Isotopendaten möglichst vieler Kupfervorkommen zu

schaffen. Von Interesse waren dabei zuallererst die räumlich nahe liegenden Vorkommen, allen voran der mitteldeutsche Kupferschiefer. Diese Daten dienen zunächst für den Vergleich mit der Himmelscheibe und ihren Beifunden. Darüber hinaus stehen die Daten der Erze auch für Vergleiche mit anderen Bronze- und Kupferartefakten zur Verfügung, beispielsweise den in einem anderen Modul des DFG-Projektes (NW2) analysierten Bronzeartefakten aus Sachsen-Anhalt, oder auch Artefakten aus anderen Studien (beispielsweise der Studie „Frühe Metallurgie im zentralen Mitteleuropa“). Dabei ist im Falle einer fehlenden Übereinstimmung zwischen Erzen und Artefakten eine sicherere Aussage möglich, als im Falle einer Ähnlichkeit. In letzterem Fall kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass die Artefakte aus Erz der betreffenden Lagerstätte hergestellt wurden, solange nicht alle anderen Möglichkeiten ausgeschlossen wurden. Die vorliegende Arbeit hat daher vor allem den Ausschluss möglicher Rohstoffquellen in Mitteleuropa zum Ziel. Dabei kann in der begrenzten Zeit nicht flächendeckend zu jedem einzelnen Kupfervorkommen eine Aussage getroffen werden. Verbleibende Lücken zu schließen und den Radius des Arbeitsgebietes zu erweitern ist zukünftigen Arbeiten vorbehalten.

## **2. Bisherige vergleichbare Arbeiten**

Geochemische Untersuchungen an Kupfererzen mit Fragestellung nach der Rohstoff-Provenienz bronzezeitlicher Artefakte haben sich bisher eher wenig mit dem hier bearbeiteten Gebiet befasst. Bearbeitet wurden bisher vor allem Südost-, aber auch Süd- und Westeuropa. Als Beispiel für die Ägäis sei Pernicka (1987) genannt, für Zypern und Sardinien Gale (1999), oder für Bulgarien Gale et al. (2003).

Die bisher umfangreichste Studie zum mitteleuropäischen Raum ist die von Otto & Witter (1952). Sie baut auf früheren Arbeiten eines der Autoren (Witter 1938) auf und erweitert diese. Von mehr als 1400 vor allem frühbronzezeitlichen Artefakten aus Deutschland und teils aus anderen europäischen Ländern (von Irland und Dänemark bis Italien und von Spanien bis Rumänien), sowie einigen Schlacken wurden die Cu-, Sn-, Pb-, Ag-, Au-, Ni-, Co-, As-, Sb-, Bi-, Zn- und Fe-Gehalte spektralanalytisch (OES) bestimmt und die Artefakte in Metallgruppen eingeteilt. Diese Analysen werden mit dem Mineralbestand verschiedener Kupfervorkommen verglichen. Daraus und aus der Annahme, dass sich die Bronzherstellung nur dort entwickeln konnte, wo an der Oberfläche anstehende Kupfererze gemeinsam mit Zinnerzen auftreten, wird eine lokale Entwicklung der Metallurgie und die Verwendung mitteldeutscher Kupfervorkommen in der Kupfer- und frühen Bronzezeit abgeleitet. Die betrachteten Kupfervorkommen umfassen den Kupferschiefer an Harz und Kyffhäuser, im Harz die Gänge bei Morungen, Stolberg, Ilfeld und Lauterberg, sowie die Gänge von Wieda, Zorge und Hohegeiß bis Treseburg, den Kupferschiefer einschließlich der Gangvererzungen am Südrand des Thüringer Beckens, die Frankenwälder Sideritgänge, Kupferberg-Wirsberg an der Münchberger Gneismasse, den Kupferschiefer im Richelsdorfer Gebirge, bei Frankenberg und Korbach, die Gangvererzung im Kupferschiefer am Spessart, Gänge im Vogtland, Vorkommen im Vorland des Erzgebirges (bei Zwickau, Gersdorf, Hohenstein-Ernstthal), den polnischen Kupferschiefer (u.a. Nowy Kosciol), Miedzianka und Stara Gora bzw. Radzimowice. Aus Sn- und Ba-haltigen Schlacken wird geschlossen, dass Sn-Cu-Erze mit Baryt als Gangart prähistorisch verhüttet wurden, welche nach Kenntnis der Autoren nur am Rand des Thüringer Beckens vorkommen. Als „Fahlerzmetall“ klassifizierte Artefakte mit hohen Ag-, As- und Sb-Gehalten sollen aus dem Saalfeld-Kamsdorfer Revier stammen. Weitere Artefakte werden dem Frankenberger Kupferschiefer-Revier, oder Vorkommen bei Zwickau und Hohenstein-Ernstthal zugeordnet. Für einige Metall-Gruppen werden mehrere mögliche Quellen genannt, darunter der Harz, das Mansfelder Land oder das Vogtland und einige Gruppen können die Autoren nicht eindeutig zuordnen.

Jüngere Arbeiten befassen sich nur mit einzelnen Kupfervorkommen oder Regionen. Niederschlag et al. (2003) haben Pb-Isotopen-Analysen (Multikollektor-ICP-MS) und Spurenelement-Analysen (RFA und NAA) an Erzen und an Artefakten der Aunjetitzer Kultur (Deutschland, Böhmen und Polen) durchgeführt. Die Studie betrachtet hauptsächlich Erze aus dem Erzgebirge, wegen seiner Lage im Verbreitungsgebiet der Aunjetitzer Kultur und da sowohl Cu- als auch Sn-Vorkommen auftreten. Daneben wurden auch andere Kupfervorkommen untersucht, namentlich der Distrikt Schönbrunn-Bösenbrunn (Thüringer Schiefergebirge), die Distrikte Gottesberg-Mühlleithen und Klingenthal-Kraslice (Fichtelgebirge), die Vorkommen von Schönborn und Gersdorf (Granulitgebirge), Horni Slavkov, Příbram-Vrančice und Kutna Hora (Böhmen), der Rammelsberg, Clausthal und Lautenthal im Harz, der Kupferschiefer bei Eisleben

und Gänge bei Kamsdorf. Die Autoren können prähistorischen Abbau im Erzgebirge nicht nachweisen. Allerdings finden sie eine Pb-isotopische Ähnlichkeit zwischen den Erzen vom Rammelsberg und einigen der Artefakte aus Deutschland, Böhmen und Polen und damit einen Hinweis auf einen möglichen bronzezeitlichen Bergbau am Rammelsberg.

Nicht unmittelbar vergleichbar ist eine Reihe von Publikationen (Stühmer et al. 1978, Schulz 1979, Hänsel et al. 1980, Hänsel & Schulz 1980, Schulz 1981 und 1983), die sich vorrangig mit der Herkunft von vor Helgoland gefundenen und anhand von Holzkohle-Einschlüssen auf das Mittelalter datierten Rohkupferscheiben (Schwarzkupfer) befassen. Diese werden anhand der Spurenelemente Ni, Cr, Cd, Ag, Pb, As, Co, Mn, Fe, Zn, Bi und Sb den Helgoländer Kupfererzen zugeordnet, zu denen in einem statistischen Verfahren eine größere Ähnlichkeit ermittelt wird, als mit zunächst 50, später über 100 weiteren Kupfererzproben aus der ganzen Welt. Als weiterer Hinweis werden im Rohkupfer eingeschlossene kleine Gerölle von auf Helgoland anstehenden Gesteinen angesehen. Ein bronzezeitlicher Abbau wird aufgrund ehemals vorhandener frühbronzezeitlicher Grabhügel auf Helgoland und der Zusammensetzung und (früheren) leichten Erreichbarkeit der Erze für wahrscheinlich gehalten (siehe auch am Ende des Kapitels 4.2.). In einer der Publikationen (Schulz 1983) werden auch fünf kupferzeitliche Kupferartefakte aus Norddeutschland mit den Rohkupferscheiben verglichen und eine Ähnlichkeit zu vier der Artefakte gefunden. Daraus wird auf eine Nutzung der Erze von Helgoland bereits in der Kupferzeit geschlossen, wenngleich der Autor den unmittelbaren Vergleich von Erzen und Artefakten ohne den Umweg über das Zwischenprodukt für schwierig hält.

### **3. Methodik**

#### **3.1. Die Probennahme**

Da heute bis auf die Kupferschiefervererzung in der Vorsudetischen Monokline keines der Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet mehr im Abbau steht und die meisten alten Gruben nicht mehr zugänglich sind, ist es schwierig, quantitativ und qualitativ ausreichende Erzproben zu beschaffen. Somit bestimmten die Auffindbarkeit von Probenmaterial im Gelände und der Bestand der beprobten Sammlungen die Auswahl der bearbeiteten Kupfervorkommen. Insgesamt wurden 144 Proben von 58 Einzelvorkommen bzw. aus 28 Revieren im Rahmen dieser Studie genommen. Etwas mehr als ein Drittel stammt von den Kupfervorkommen vor Ort (meist Halden, seltener untertage). Diese Proben sind klar zugeordnet und ihr Fundpunkt mit Koordinaten belegt. Das übrige Material stammt aus Sammlungen, vor allem aus den Sammlungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), weiterhin aus den Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, des Geologischen Landesamtes von Bayern und des Institutes für Geowissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, sowie aus mehreren Privat-Sammlungen. Bei diesem Sammlungsmaterial handelt es sich meist um reich vererzte Stücke. Oft haben sie aber den Nachteil nur ungenauer Herkunfts-Angaben. Die Sammlungstücke wurden meist nach Ausleihe im Institut, teils auch schon vor Ort in der Sammlung beprobt. Stücke aus Privat-Sammlungen konnten vollständig verwendet werden.

#### **3.2. Die Probenaufbereitung**

Für die petrographische Charakterisierung der Proben wurden polierte Dünnschliffe bzw. Anschliffe angefertigt, allerdings nicht von jeder einzelnen Probe. So wurde darauf verzichtet, wenn von einem Vorkommen mehrere makroskopisch ähnliche Proben vorlagen, oder wenn Proben zu brüchig waren (z.B. „Feine und Grobe Lette“ des Kupferschiefers). Oft wurde ein eher gering vererzter Teil der Probe verwendet, um für die Analytik reichere Partien zur Verfügung zu haben. Der erste Schritt der Aufbereitung für die geochemischen Analysen bestand in einer Vorzerkleinerung der Probenstücke mit dem Hammer zwischen Papierblättern. Arme Erze mit makroskopisch noch erkennbarer Vererzung wurden nach der Grobzerkleinerung durch Auslesen von Gangart bzw. Nebengestein aufkonzentriert. Bei feiner Verwachsung war dies aber nur begrenzt erfolgreich und bei disseminierter Vererzung nicht möglich.

Anschließend wurden die Proben mit einer Scheibenschwingmühle der Firma Retsch im Wolframcarbidge-Topf aufgemahlen. Der Eintrag von Co durch das Material des Topfes wird gegenüber der Ungenauigkeit bei der Messung der Co-Gehalte mittels RFA (s. Kap. 3.4.) und auch wegen der begrenzten Verwendbarkeit als Provenienz-Indikator (vgl. Kap. 7.) als vernachlässigbar angesehen. Zur Vorbereitung der RFA-Messungen wurde von den Proben und Standards je nach Dichte 5g bis 8g eingewogen und mit Wachs (Ultrabind von SPEX-Certiprep) im Verhältnis 10:1 in einem Achatmörser homogenisiert. Das Gemisch wurde mit einer hydraulischen Laborpresse (Firma Weber) bei 200kN zu Tabletten gepresst. Wo zu wenig Material für eine Tablette ausreichender Dicke vorhanden war, wurde Borsäure als Trägermaterial verwendet. Die Probenvorbereitung für die Pb-Isotopie wurde vom Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie nach dem dort üblichen Aufbereitungsverfahren vorgenommen. Dazu gehören der Aufschluss mit Königswasser, die Abtrennung des Bleis von den anderen Proben-Bestandteilen und die Einstellung der Messlösung (Salpetersäure, mit Zusatz von Tl-Lösung) auf einen Pb-Gehalt von 200µg/l.

### **3.3. Rasterelektronenmikroskopie**

Das Rasterelektronenmikroskop (REM; Typ JSM-6300 von JEOL) am halleschen Institut für Geowissenschaften wurde neben der Durch- und Auflichtmikroskopie begleitend zur Bestimmung von Erz- und Nebengesteinsmineralen eingesetzt. Hierzu wurden die entsprechenden Dünnschliffe mit Kohlenstoff bedampft. Die Messungen (energiedispersive Röntgenspektren) sind halbquantitativ bis qualitativ, jedoch i.d.R. zur Mineralbestimmung gut geeignet. Probleme bereiteten dabei z.B. Galenit und Bi-haltige Sulfide durch Peaküberlagerungen zwischen S, Pb und Bi, die vom Auswerte-Programm nicht aufgelöst werden. Teils wurde auch nur wenige Sekunden gemessen, um die Vermutung auf ein bestimmtes Mineral zu bestätigen.

### **3.4. Röntgenfluoreszenzanalyse**

Die Elemente Mg, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Sn, Sb, Pb und Bi wurden mit der energiedispersiven RFA (ARL Quant'X der Firma Thermo) am CEZ in Mannheim gemessen. Für die verschiedenen Elemente wurden unterschiedliche Anregungsbedingungen gewählt: eine Anregungsspannung von 50kV für Ag, Sn und Sb, von 28kV für Mn, Fe, Co, Ni, Zn, As, Pb, Bi und Cu, sowie 8kV unter Vakuum für Mg, Al, Si, S, K und Ca. Zunächst wurden alle Proben und Standards mit einer kürzeren Messzeit von 250 Sekunden je Anregung gemessen. Später wurden die Standards und 74 von 145 Proben noch einmal mit längerer Messzeit (750 Sekunden für die hochenergetische Anregung, 1000 Sekunden für die mittlere Anregung und 500 Sekunden für die niedrigenergetische Anregung) gemessen, um genauere Ergebnisse zu erzielen. Auswahlkriterium für die Proben war hier einerseits eine gewisse Ähnlichkeit der Spurenelementgehalte mit den Nebraer Artefakten. Vor allem aber wurde versucht, die Lücken in der bisherigen Datenbasis zu schließen, da bei kurzer Messzeit viele Spurenelementgehalte unter der Nachweisgrenze lagen.

Die Nachweisgrenzen wurden anhand einer Testmessung an ausgewählten Standards mit Spurenelementgehalten in der Nähe der erwarteten Nachweisgrenze, sowie nach den Erfahrungen des Laborpersonals des CEZ (Dr. Joachim Lutz) abgeschätzt. Die folgende Tabelle gibt die Nachweisgrenzen bei langer Messzeit an. Für die kürzere Messzeit werden die doppelten Nachweisgrenzen angenommen. Die Anzahl der angegebenen Stellen der RFA-Ergebnisse orientiert sich an diesen Nachweisgrenzen.

Na <sub>2</sub> O, MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , S, K <sub>2</sub> O, CaO		0,1%
MnO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Co, Ni, Cu		0,01%
As, Sn, Sb		50µg/g
Ag		10µg/g
Pb, Bi		0,01%
Zn abhängig vom Cu-Gehalt	Cu>10%	0,1%
	Cu<10%, >1%	0,05%
	Cu<1%	0,01%

Tab. 3.4: Die Nachweisgrenzen für die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bei längerer Messzeit

Insgesamt wurden folgende Standards verwendet: JB-3, SARM-12, BCS-355, RTS-1 bis -4, CZN-1, PTC-1a, KC-1a, SU-2, CCU-1b, CD-1, CPB-1, MP-1a, HV-1, PR-1, SIEM-5, SIEM-10, IGS-21, IGS-24 und IGS-44 aus dem Bestand des CEZ, die neu erworbenen Standards VS-2888-84, DC-35005, DC-35006, CCU-1c, VS-2891-84 und einige künstliche Standards aus Laborsubstanzen im Bestand des CEZ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CuS, CuO und  $\text{SiO}_2$ ). Zunächst wurden alle Proben mit der vollständigen Standard-Liste kalibriert, um einen Überblick über ihre Zusammensetzung zu gewinnen. Dann wurden für Gruppen von Proben oder ggf. einzelne Proben die unähnlichsten Standards ausgesondert (als Orientierung diente die mittlere Abweichung zwischen den Gehalten der Hauptbestandteile von Probe und Standard) und neu kalibriert. Für einzelne Spurenelemente (vor allem Sb) war es aber nötig, auch eher unähnliche Standards zu verwenden, da nur für wenige der verfügbaren Standards Angaben zu diesen Elementen vorlagen. Eine verbesserte Abdeckung der unterschiedlichen Vererzungstypen durch weitere Standards sollte für zukünftige Untersuchungen angestrebt werden.

Die anhand von Mehrfachmessungen ermittelte Messungenauigkeit ist gering (d.h. die Reproduzierbarkeit ist hoch). Die prozentuale Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert von drei Messungen liegt meist deutlich unter 10%, sowohl für Haupt- als auch für Spurenelemente. Deutlich größer ist der Fehler, der aus der nicht idealen Abdeckung durch Standards entstand. Dieser wurde prozentual anhand dessen abgeschätzt, wie weit die Standards maximal im entsprechenden Konzentrationsbereich von der Kalibrierkurve entfernt liegen. Für die Hauptelemente liegt der Fehler im Mittel bei 10-30%, für die Buntmetalle und Spurenelemente aber oft auch deutlich höher (in der Nähe der Nachweisgrenze bis über 80%). Insbesondere bei Messungen nahe der Nachweisgrenze ist dies jedoch für die in dieser Studie wichtigen Aussagen zum Vorhandensein bzw. Fehlen einzelner spezifischer Elemente eher unerheblich. Die Co- und teils auch die Ni-Gehalte wurden wegen einer Überlagerung mit Cu- und Fe-Peaks meist etwas zu hoch ausgegeben. Dies konnte nicht ausreichend korrigiert werden, obwohl verschiedene Einstellungen für die Peakentflechtung im Auswertprogramm getestet und die günstigste davon gewählt wurde. Ebenso sind die As- und die Bi-Gehalte bei hohen Pb-Gehalten wegen der Peak-Überlagerungen zwischen diesen Elementen mit Vorsicht zu betrachten.

### **3.5. Neutronenaktivierungsanalyse**

Die instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) zur Messung der Gehalte an Cu, Fe, As, Sb, Co, Ni, Ag, Au, Zn, Sn und Se wurde ergänzend zu den RFA-Untersuchungen für 21 Proben eingesetzt. Diese wurden danach ausgewählt, ob sie im Diagramm  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  gegen  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (der in der Archäometrie gängigen und anfänglich auch in dieser Arbeit verwendeten Darstellung der Pb-Isotopenzusammensetzung) oder in der Spurenelementzusammensetzung in der Nähe der Nebraer Artefakte lagen und keine zu hohen Gehalte an Sb, As, Ag oder Co aufwiesen (Co und Ag < 0,05% und Sb und As unterhalb von einigen Prozent). Dabei fielen die Proben heraus, zu denen zum betreffenden Zeitpunkt noch keine geochemischen Daten vorlagen. Später wurde von der oben genannten Darstellung der Pb-Isotopenzusammensetzung abgerückt und stattdessen die Verhältnisse  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  in zwei getrennten Diagrammen betrachtet (s. Kapitel 3.7.). Hier zeigen die betreffenden Proben keine Ähnlichkeiten zu den Artefakten mehr, wodurch sich die Auswahl als ungeeignet erwies.

Probeneinwaage, Versand, Messung und Auswertung wurden von Dr. Thorsten Schifer (CEZ) vorgenommen. Die Bestrahlung fand im TRIGA-Reaktor am Institut für Kernchemie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz statt (Bestrahlungsdauer 6 Stunden mit thermischen Neutronen), und die Messung der Gamma-Spektren im CEZ auf Reinstgermanium-Detektoren (HPGe) der Firma Ortec. Dabei fand die erste Messung auf die Indikator nuklide  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{76}\text{As}$ ,  $^{122}\text{Sb}$  und  $^{198}\text{Au}$  mit einer Messdauer von einer Stunde je Probe nach einer Abklingzeit von 7 Tagen statt, und die zweite Messung auf  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{117\text{m}}\text{Sn}$  und  $^{124}\text{Sb}$  nach weiteren 20 Tagen Abklingzeit, bei einer Messdauer von sechs Stunden je Probe. Die verwendeten Standards waren NIST-SRM-400 (National Institute of Standards and Technology) und BAM-227 (Bundesanstalt für Materialforschung). Die Nachweisgrenzen wurden mittels Auswert-Programm (Gammavision von Ortec) anhand des Untergrundes bestimmt und liegen je nach Probenzusammensetzung meist im 10-er  $\mu\text{g/g}$  Bereich, für Ag und Se nahe  $1\mu\text{g/g}$  und für Au im 10-er  $\mu\text{g/kg}$ -Bereich. Vom Auswertprogramm werden auch Fehler ( $1\sigma$  in Prozent) ausgegeben, in die unter anderem Unsicherheiten bei Zählraten, Peak-Fläche, Peak-Geometrie und Peak-zu-Untergrund-

Verhältnis eingehen (pers. Mitteil. Dr. Thorsten Schifer). Für Fe liegen diese Fehler um 20%, für Cu meist um 2%, für As, Sb und Co unter 10%, für Ag, Zn und Se meist unter 20%. Für Ni, Au und Sn sind die Angaben sehr variabel und liegen oft über 30%, ein Hinweis, dass die Gehalte in den untersuchten Proben in der Nähe der Nachweisgrenze liegen.

### **3.6. Pb-Isotopenbestimmung mittels Massenspektrometrie**

Die Pb-Isotopenverhältnisse  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  wurden mit dem Multikollektor-ICP-MS (VG-Axiom) am CEZ gemessen, welches über 9 Detektoren (Faraday cups) zur gleichzeitigen Erfassung verschiedener Isotope verfügt. Es wurden keine Einzelminerale separiert, sondern die gleichen Probenpulver wie für die Spurenelement-Bestimmungen verwendet. Dies hatte vor allem den praktischen Grund, dass für die Messungen eine definierte Menge Pb (je nach Pb-Gehalt der Probe) eingewogen und aufgeschlossen werden muss. Die einfachste Bestimmung des Pb-Gehaltes war die Messung per RFA, die bereits durchgeführt wurde. Die Daten sind daher nicht immer mit denen in der Literatur vergleichbar (s. Kap. 6.2.). Messung und Auswertung der Pb-Isotopendaten wurden von Bernd Höppner (CEZ) durchgeführt. Als Standard wurde NBS-981 verwendet. Die Massenfraktionierung im Massenspektrometer wurde durch Messung der Isotope  $^{203}\text{Tl}$  und  $^{205}\text{Tl}$  korrigiert, die in bekanntem Isotopenverhältnis der Messlösung zugegeben werden und in gleicher Weise fraktionieren, wie Pb. Die Messungenauigkeit ( $2\sigma$ ) wurde mit Hilfe des Auswerteprogramms anhand von Mehrfachmessungen bestimmt (meist 3, seltener 2 Durchläufe mit je 20 Einzelmessungen, wobei Ausreißer vom Auswerteprogramm eliminiert wurden). Dieser Fehler liegt im Mittel für die Verhältnisse  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  bei 0,05%. Lediglich eine der gemessenen Proben (NdRosb-1) zeigt einen anormal hohen Fehler von rund 0,5%, für alle übrigen Proben lag der Fehler unter bzw. maximal knapp über 0,2%.

Durch das gemeinsame Interesse an Pb-Isotopendaten des Vorkommens von Marsberg im Rheinischen Schiefergebirge ergab sich eine Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Jens Schneider (Universität Genf). Es wurden freundlicherweise von Herrn Schneider an Proben von Marsberg (Mrs-1, Mrs-2, Mrs-a bis -h) und darüber hinaus auch einigen Proben von Bad Wildungen-Bergfreiheit (Bgfr-1 und -2), Engelbach (Engl-1), Helgoland (Hlg-6, -8 und -20) und aus dem Ostharz (Tres-1, TresTf-1 und -2, Hütt-1, Bret-1 und -2) die Pb-Isotopenzusammensetzung gemessen (Multikollektor-TIMS des mineralogischen Institutes der Universität Genf). Dafür wurden teils Kupfererzminerale unter dem Binokular aus Probenstücken separiert (Tres-1, TresTf-2, Hütt-1, Bret-1 und -2, Hlg-6, Bgfr-1 und -2, Engl-1, Mrs-1 und -2, Mrs-a, -f, -h und -g) und teils die Probenpulver verwendet (TresTf-1, Hlg-8 und -20, Mrs-a bis -h, Mrs-2).

### **3.7. Der Vergleich zwischen Artefakten und Erzen**

Die Auswahl der für den Vergleich zwischen Erzen und Artefakten herangezogenen Spurenelemente hält sich an die Arbeiten von Pernicka (1987, 1999), nach denen Ag, As, Co, Ni, Sb, Bi, Se, Te und Au diejenigen Elemente sind, die beim Verhüttungsprozess vom Erz weitgehend in das Rohkupfer übergehen und nicht in die Schlacke, oder gar verdampfen (wie z.T. Zn). Für einige der Elemente gilt dies jedoch mit gewissen Einschränkungen (s. Kap. 7.). Die Absolutgehalte der Spurenelemente in Erzen und Artefakten sind nicht vergleichbar, da bei der Verhüttung die unerwünschten Begleitelemente bzw. -minerale vom Kupfer getrennt werden (beispielsweise Gangart und der S- und Fe-Gehalt von Chalkopyrit) und die oben genannten chalkophilen Spurenelemente sich relativ anreichern. Deshalb werden die relativen Gehalte, bezogen auf den Kupfergehalt betrachtet, das heißt der Quotient aus dem Gehalt des jeweiligen Spurenelementes und dem Kupfergehalt. Eine vergleichbare Methode benutzt bereits Schulz (1981, sowie in späteren Publikationen) für die graphische Gegenüberstellung der Rohkupferscheiben und Erze von Helgoland, indem er die Spurenelementgehalte der Erze auf den Kupfergehalt der Rohkupferscheiben hochrechnet. Durch die Verwendung von Quotienten aus Spurenelementgehalt und Kupfergehalt ergibt sich auch eine zusammengesetzte Fehlerangabe, berechnet als Wurzel aus der Quadrate-Summe der Einzelfehler:

$$\text{Fehler}(a / b) = \sqrt{(\text{Fehler}(a))^2 + \text{Fehler}(b)^2}$$

Für die Pb-Isotopenzusammensetzung ist davon auszugehen, dass diese beim Verhüttungsprozess unverändert bleibt (Pernicka 1987, Pernicka 1990). Daher können die Pb-Isotopenverhältnisse von Erzen und Artefakten direkt verglichen werden. Für die Darstellung der Pb-Isotopenzusammensetzungen werden die in der Geologie üblichen Diagramme  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  verwendet. Im Gegensatz dazu ist in der Archäometrie die Darstellung  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  gegen  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  üblich (z.B. Niederschlag et al. 2003). Diese zeigt aber Überschneidungen zwischen den hier untersuchten Kupfererzen und den Nebraer Artefakten, die sich in den einzelnen Verhältnissen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  nicht zeigen. Diese gekoppelte Darstellung mehrerer radiogener Pb-Isotope wird daher hier nicht verwendet. Der Großteil der Spurenelementdaten (RFA), sowie die Pb-Isotopendaten von Himmelsscheibe und Beifunden, mit denen die Daten der Erze in dieser Arbeit verglichen werden, werden in Kürze von Pernicka (in Vorb.) publiziert. Darin nicht enthalten sind die NAA-Daten der Nebraer Artefakte. Diese wurden der Diplomarbeit von D. Nickel (Nickel 2003) entnommen.

#### **4. Die Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet**

Dass in Mitteleuropa kaum noch Kupfer abgebaut wird, vermittelt den Eindruck, es gäbe nur wenige Kupfervorkommen. Tatsächlich ist Kupfer aber weit verbreitet als Haupt- oder Nebenbestandteil von Vererzungen, die in historischer (und vielleicht auch prähistorischer) Zeit abgebaut wurden, heute aber ausgerzert oder nicht bauwürdig sind. Im Folgenden wird zuerst das Arbeitsgebiet vorgestellt und dann einen Überblick über die dort vorhandenen Kupfervorkommen gegeben.

##### **4.1. Das Arbeitsgebiet**

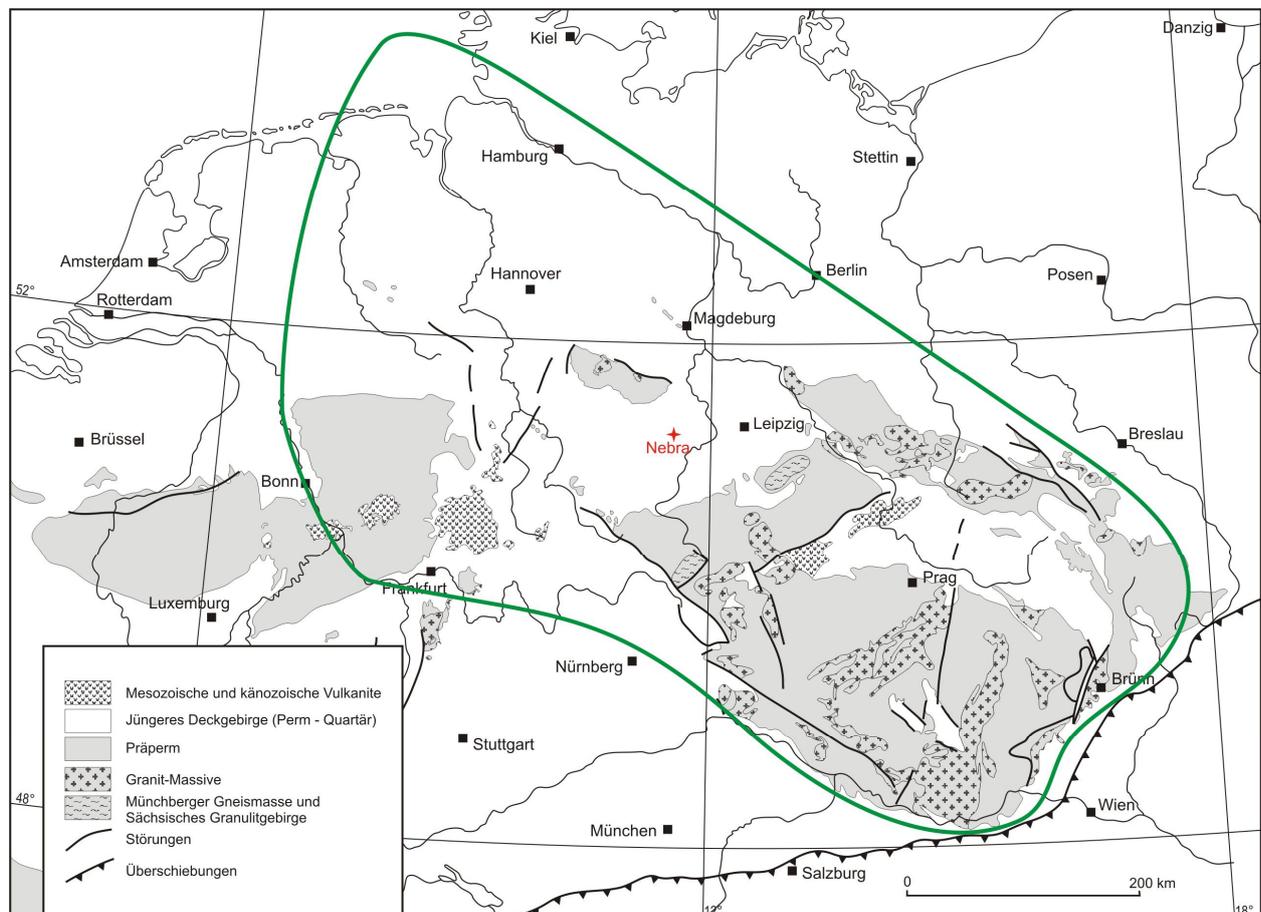


Abb. 4.1: Das Arbeitsgebiet (geologische Basis nach Walther & Dill 1992).

Im DFG-Antrag waren für die ersten drei Jahre im Modul NW3 folgende Zielgebiete vorgesehen: Ost-rheinisches Schiefergebirge, Kupferschiefervererzung im Harzvorland, am Südrand des Thüringer Beckens und in der Nordsudetischen Mulde, Thüringer Schiefergebirge, Erzgebirge, Vogtland, Böhmen und Nördliche Grauwackenzone (Ostalpen). Das letztendlich ausgewählte Arbeitsgebiet (Abb. 4.1) weicht hiervon etwas ab. Es umfasst in der Hauptsache die variszischen Grundgebirgseinheiten Böhmisches Massiv, Harz und östliches Rheinisches Schiefergebirge, sowie deren Vorland. Das nördlichste bearbeitete Kupfervorkommen ist Helgoland. Gegenüber dem Projektantrag ergaben sich damit an Änderungen vor allem, dass Helgoland mit seinen oberflächlich austreichenden oxidischen Erzen hinzu kam und das Ostalpin weggelassen wurde. Damit wurde ein Radius bis zu 400 km um Nebra abgedeckt, der sich mit dem Verbreitungsbereich der Aunjetitz-Kultur überschneidet (vgl. Abb. 1.1.2). Das Erzgebirge wurde ausgelassen, da schon zahlreiche seiner Kupfervorkommen von Niederschlag et al. (2003) bearbeitet worden sind.

#### **4.2. Überblick über Kupfervorkommen und Lagerstättentypen im Arbeitsgebiet und deren prähistorische Höflichkeit**

Im Folgenden werden die Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet regional geordnet nach den verschiedenen geologisch-tektonischen Großeinheiten vorgestellt; mit Ausnahme der im ganzen Arbeitsgebiet verbreiteten Kupferschiefervererzung. Der Überblick beschränkt sich auf Vererzungen, die oberflächlich austreichen und damit für bronzezeitliche Bergleute auffindbar und zumindest bei sekundärer Anreicherung auch potentiell gewinnbar waren. Da jedoch heutige Ansprüche an die Wirtschaftlichkeit einer Vererzung nicht für die Bronzezeit gelten, umfasst die Beschreibung auch kleine Kupfervorkommen, Vererzungen in denen Cu-Mineralneubengemengteile darstellen, aber neben anderen Erzen mit gewonnen wurden, sowie Vorkommen, zu denen die Literatur sekundäre Cu-Anreicherung erwähnt. Die folgende Abbildung zeigt die Vorkommen in einer geologischen Übersichtskarte.

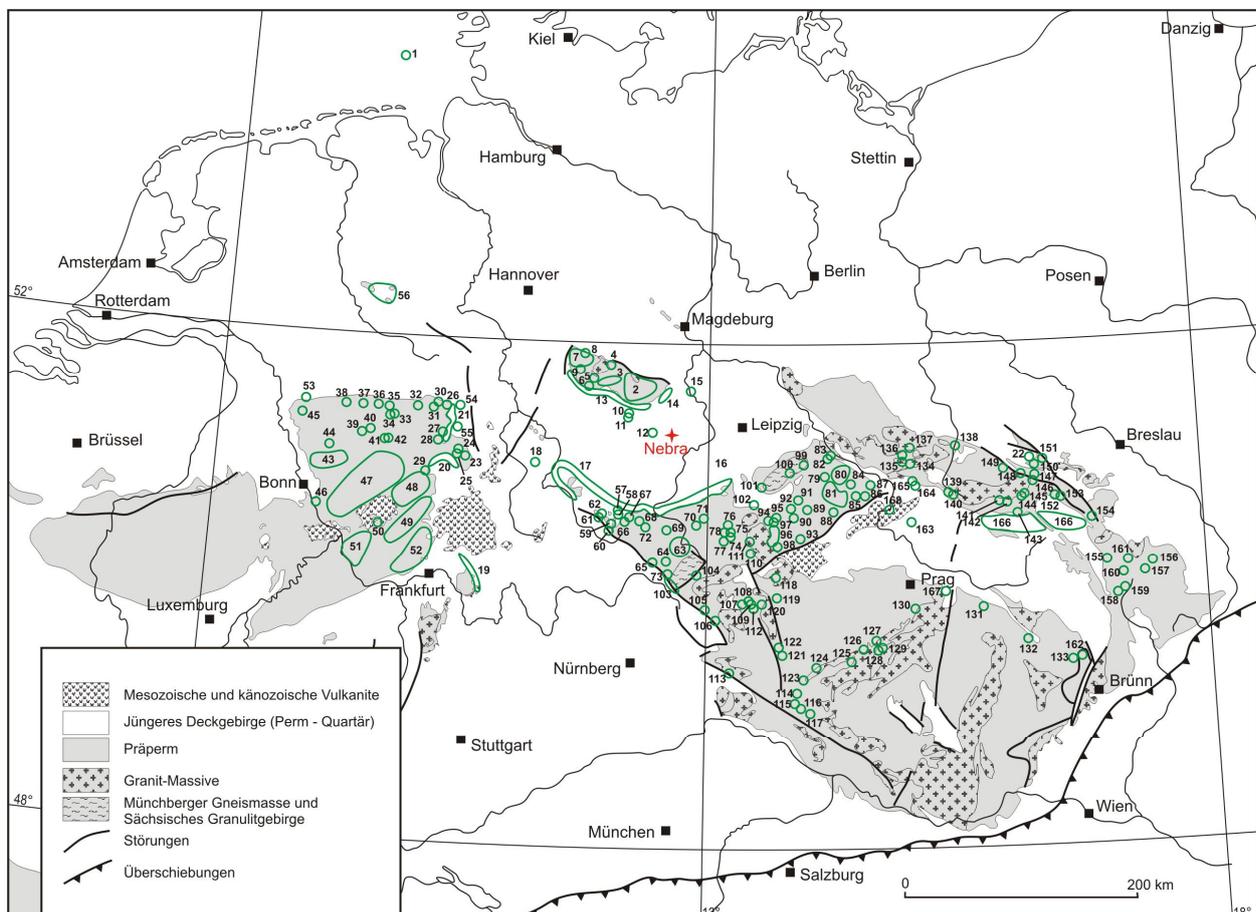


Abb. 4.2.1: Die Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet (geologische Basis nach Walther & Dill 1992): 1: Helgoland, 2: Gangbezirk

Ramberg-Auerberg, 3: Revier Trautenstein, 4: Hasserode, 5: St. Andreasberg, 6: Bad Lauterberg, 7: Oberharzer Gangrevier, 8: Rammelsberg, 9: Oberharzer Diabaszug, 10: Gänge im Kyffhäuser, 11: Kupferschiefer am Kyffhäuser, 12: Kupferschiefer bei Botendorf, 13: Kupferschiefer am Harz-Südrand, 14: Mansfelder Kupferschiefer, 15: Kupferschiefer bei Könnern, 16: Gang bei Caaschwitz, 17: Kupferschiefer am Thür. Wald und Thür. Schiefergebirge, 18: Kupferschiefer Richelsdorfer Gebirge, 19: Kupferschiefer am Spessart, 20: Kupferschiefer der Frankenberger Bucht, 21: Kupferschiefer der Korbacher Bucht, 22: Kupferschiefer Nordsudetische Mulde, 23: Bad Wildungen-Bergfreiheit, 24: Frebershausen, 25: Löhlbach, 26: Marsberg, 27: Korbach-Goldhausen, 28: Medebach, 29: Engelbach/Dexbach, 30: Gang bei Bleiwäsche, 31: „Segen Gottes“ bei Brilon, 32: Gänge bei Warstein, 33: „Blockenberg“ bei Visbeck, 34: „Justenberg“ bei Hagen, 35: Müschede, 36: Menden, 37: Iserlohn, 38: Kupferberg bei Letmathe, 39: Silberg bei Herscheid, 40: Plettenberg, 41: „Andreaszeche“ bei Meggen, 42: „Neuer Johannes“ bei Langenei, 43: Revier Bensberg, 44: Wipperfürth, 45: Revier Velbert, 46: Rheinbreitbach, 47: Siegerland, 48: Dillmulde, 49: Lahnmulde, 50: Langendernbach, 51: Distrikt Untere Lahn, 52: Taunus, 53: Ruhrgebiet, 54: Wrexen, 55: Twiste, 56: Osnabrück, 57: Floßberg-Stechberg-Gangzug, 58: Gang im Katzmannstal, 59: Gänge bei Neustadt am Rennsteig, 60: Brattendorf, 61: Gänge bei Suhl, 62: Pochwerksgrund bei Goldlauter, 63: Frankenwälder Sideritgänge, 64: Revier Wallenfels, 65: Rothenkirchen, 66: Kirchberg bei Böhlen, 67: Wildenspring, 68: Gelenkköpfe bei Unterweißbach, 69: Großer Silberberg bei Gahma, 70: Revier Schleiz, 71: Burgholz bei Löhma, 72: Lichte, 73: Gänge um Frankenreuth, 74: Tirpersdorf, 75: Zobes, 76: Jocketa, 77: Distrikt Schönbrunn, 78: Plauen, 79: Freiberg, 80: Freiberg – Östl. Randrevier, 81: Freiberg – Südl. Randrevier, 82: Munzig, 83: Scharfenberg, 84: Sadsdorf, 85: Zinnwald, 86: Löwenhainer Greisenzone, 87: Berggießhübel, 88: Seiffen, 89: Marienberg, 90: Annaberg, 91: Zschopau, 92: Ehrenfriedersdorf, 93: Měděnec, 94: Schneeberg, 95: Lößnitz, 96: Schwarzenberg, 97: Aue-Bockau, 98: Bozi Dar und Zlatý Kopec, 99: Gersdorf, 100: Schönborn, 101: Wolkenburg, 102: Zwickau, 103: Kupferberg-Wirsberg, 104: Sparneck, 105: Schwarzenberg bei Aign, 106: Erbdorf, 107: Waldsassen, 108: Neualbenreuth, 109: Höglstein, 110: Klingenthal-Kraslice/Tisova, 111: Gottesberg-Mühlleiten, 112: Mährling, 113: Wölsendorf, 114: Lam, 115: Unterried, 116: Bodenmais, 117: Zwiesel, 118: Horni Slavkov, 119: Michalovy Hory, 120: Tři Sekery, 121: Mutěnin, 122: Svržno, 123: Orlovicka Hora, 124: Pocinovice, 125: Újezd u Kasejovic, 126: Petrůvkova Hora, 127: Příbram, 128: Vrančice, 129: Cetyně und Smolotely, 130: Jílové, 131: Kutna Hora, 132: Stare Ransko, 133: Bukov, 134: Sohland, 135: Grenzland, 136: Dahrner Berg, 137: Bautzen, 138: Ludwigsdorf, 139: Panenská Hůrka, 140: Andelská Hora, 141: Rokytnice nad Jizerou, 142: Obří Důl, 143: Černý Důl, 144: Podgórze, 145: Kowary, 146: Miedzianka, 147: Radzimowice, 148: Jeżów Sudecki, 149: Pilchowice, 150: Chełmiec, 151: Mecinka, 152: Boguszów, 153: Dziećmorowice, 154: Przygorze, 155: Kletno, 156: Zlate Hory, 157: Ludvíkov, 158: Bohutín bei Šumperk, 159: Rubotín bei Šumperk, 160: Staré Město pod Sněžníkem, 161: Nýznerov, 162: Štěpánov Distrikt, 163: Maršovický vrch, 164: Doubice, 165: Brtniky, 166: Innersudetisches Becken, 167: Český Brod, 168: Rostoky nad Labem.

### Helgoland:

Auf Helgoland treten Kupfererze stratiform in den roten Sand- und Tonsteinen der Volpriehausen- und Detfurth-Folge auf (Mittlerer Buntsandstein, s. Abb. 4.2.2), wobei bevorzugt die hellen, cm- bis dm-mächtigen, kaum zementierten so genannten „Katersand“-Bänke mineralisiert sind (Schmidt-Thomé 1987, mdl. Mitteil. Stühmer). Nach Pratje (1923) und Schreiter (1932) ist die Mineralisation auch an Risse und Klüfte gebunden. Die mineralisierten Bänke streichen in den Klippen der Südwest-Küste aus (Pratje 1923), wobei nach Lorenzen (1965) der Kupfergehalt zur Nordwestspitze hin zunimmt.



Abb. 4.2.2: Nordwestspitze der Insel Helgoland mit der Langen Anna. Die Pfeile markieren die Grenze zwischen der Volpriehausen- (unten) und Detfurth-Folge (oben) (Foto: Mike Haustein).

Die Vererzung besteht vor allem aus Cu-Karbonaten und -Oxyden sowie gediegen Kupfer und daneben auch aus sekundären Cu-Sulfiden (Pratje 1923, Schreiter 1932, Lorenzen 1965, Fesser 1971, Weiß et al. 1990, Klänhardt 2005). Zimmermann (1993) gibt einen Durchschnittsgehalt von 10% Cu und Maximalgehalte bis 40% Cu an. Weiter östlich und stratigraphisch höher kommen im roten Sandstein Drusen mit Kalzit und Kupfersekundärmineralen vor (Schreiter 1932, Schmidt-Thomé 1987, Klänhardt 2005).

### Harz:

Im Harz besteht die Mehrzahl der Vererzungen aus Gängen.

Der Gangbezirk Ramberg-Auerberg umfasst zahlreiche NW-SE streichende Gänge und Gangzüge im Umkreis des Ramberg-Plutons und des Auerberges und im Osten bis Pansfelde und Tilkerode (Abb. 4.2.3).

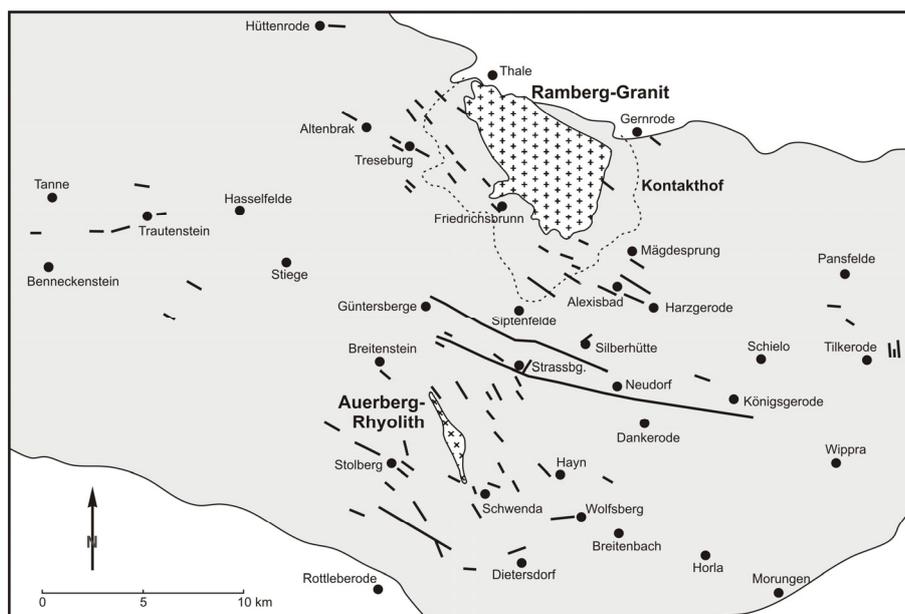


Abb. 4.2.3: Karte des Unterharzer Gangbezirkes um Ramberg und Auerberg und des Revieres Trautenstein (nach Mohr 1993).

Am bedeutendsten waren nach Mohr (1993) der Güntersberge-Biwender Gangzug (von Güntersberge bis nordwestlich von Neudorf, Abb. 4.2.3) und südlich davon der rund 15km lange Straßberg-Neudorfer Gangzug. Nach Hesemann (1930), Oelsner et al. (1958), Ließmann (1992) und Mohr (1993) begann der Abbau im Unterharz im 9. bis 10. Jahrhundert. Nach den Angaben in der Altbergbaukartei des LAGB (im Weiteren zitiert als „LAGB“) war die größte Anzahl von Gruben im 18. und 19. Jahrhundert aktiv. Im Umkreis des Ramberg-Plutons ist Kupfererz (Chalkopyrit) in einigen Gängen das Haupterz (v. a. im Revier Treseburg-Friedrichsbrunn, im Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode, im Gang an den Brettenbergen, im Ehrigsburger Gang und im Gangzug am Rautenkranz – Kuschka & Franzke 1974, Losse 1992, Mohr 1993, LAGB). Nach Mohr (1993) betrug z.B. die Gesamtförderung an Chalkopyrit auf dem Ehrigsburger Gang 12000t. Nach detaillierteren Gangbeschreibungen in Hesemann (1930), Schwanecke (1949) und LAGB sind die Gänge meist Quarzgänge mit nur wenigen anderen Gangarten wie Fluorit oder Karbonaten. Die Gänge erreichen Längen von einigen 100m bis wenigen Kilometern, sowie Mächtigkeiten von rund 1-2m (teils auch mehr) und bestehen meist aus einzelnen Erzlinsen. Bei Harzgerode, im Güntersberge-Biwender und Straßberg-Neudorfer Gangzug und bei Schwenda und Hayn sind Kupfersulfide (Chalkopyrit, selten Fahlerze) Nebenbestandteil neben (Ag-haltigem) Galenit, Sphalerit, Siderit und lokal Fluorit und Pyrit (Mohr 1993, LAGB), wurden aber mit gefördert. Nach Hesemann (1930) und LAGB lieferte z. B. die Grube „Neuhaus-Stolberg“ 1712-1744 zusammen mit zwei benachbarten Gruben 13000 Zentner (650000kg) Pb und 1300 Zentner (65000kg) Cu. Hesemann (1930) beschreibt den Güntersberge-Biwender Gangzug und den Straßberg-Neudorfer Gangzug als aufgeteilt in ein Haupttrum und hangende und liegende Nebenrümer. Der Straßberg-Neudorfer Zug erreicht an Scharungspunkten eine Mächtigkeit bis zu 60m. Im Bereich des Auerberges kommen Cu-Sulfide (zusammen mit Galenit, Sphalerit und Pyrit) mengenmäßig untergeordnet neben Siderit, Fluorit und teils Baryt vor (Mohr 1993, LAGB). Lokal wurde zeitweise Kupfer abgebaut (z.B. Flußschächter und Luiser Gangzug bei Stolberg, Gangzug am Kulmer Berg – Dahlgrün & Görz 1935, LAGB). Der „Flußschacht“ bei Rottleberode baute nach Dahlgrün &

Görz (1935) und LAGB auf dem Flußschachter Gang und dem aus mehreren Trümmern bestehenden Backköfener Gang. Zwischen Pansfelde und Tilkerode führen nach Hesemann (1930) einige Gänge Chalkopyrit (Bergbauggebiet Scharfe Höhe bzw. am Leineberg und am Horbeck – LAGB, Hesemann 1930). LAGB, Beyrich et al. (1882) und Vollstädt et al. (1991) nennen noch Baryt-Quarz-Gänge bei Morungen am Südrand des Harzes, auf denen auch Kupfererze (Chalkopyrit) gewonnen wurden.

Bei Trautenstein (Abb. 4.2.3) führen nach Mohr (1993) einige Gänge Chalkopyrit, Galenit, Sphalerit und Siderit; so nordwestlich von Trautenstein der Gang am Nassen Wolf und westlich von Trautenstein der Giepenbacher und der Schaafrichter Zug. Südöstlich von Trautenstein kommen Chalkopyrit-führende Gänge an der Bärenhöhe und im Bereich des Kupferberges vor, sowie östlich von Trautenstein bei Stiege. Der Gang an der Bärenhöhe steht nach Schriell (1928) und Mohr (1993) mit einem Porphyrgang in Zusammenhang. Bei Hohegeiß erwähnen Blömeke (1885) und Mohr (1993) ebenfalls Chalkopyrit-führende Gänge. Im Revier Hasserode führen nach Mohr (1993) einige kleinere Gänge Pb, Zn, Cu, Co, Ni, As und Bi. Blömeke (1885) erwähnt auf einzelnen Gängen reichere Cu-Erze (teils Zementationserze) und nach Erdmannsdörffer & Schroeder (1926) gab es Cu-Abbau auf einzelnen Gängen.

Das Ag-Erzrevier Andreasberg (Abb. 4.2.4) wird nach Mohr (1993) zuerst 1487 urkundlich erwähnt. Mohr (1993) gibt einen durchschnittlichen Gehalt der Gänge von 6% Pb, 2% Zn, 1% Cu, 0,03-0,1% Ag, 1% As+Sb und 1% Co+Ni an, sowie eine Gesamtförderung von 313t Ag, 12500t Pb und 2500t Cu. Blömeke (1885) beschreibt den Prinz Maximilian Gang als reinen Chalkopyritgang. Sonst treten Chalkopyrit und Fahlerz neben anderen Erzen auf. Nach Walther et al. (1986) wurden bis 1620 die Reicherze (Ag, Cu) der Zementationszone abgebaut, danach die Primärerze. Zwischen Andreasberg und Braunlage liegt das Engelsburg-Steinfeld Revier (Abb. 4.2.4) mit zahlreichen kleinen Pb-Cu-(Zn)-Erz-Gängen (Mohr 1993). Nach Blömeke (1885) wurde Kupfer vor allem im Steinfeld südwestlich von Braunlage abgebaut.

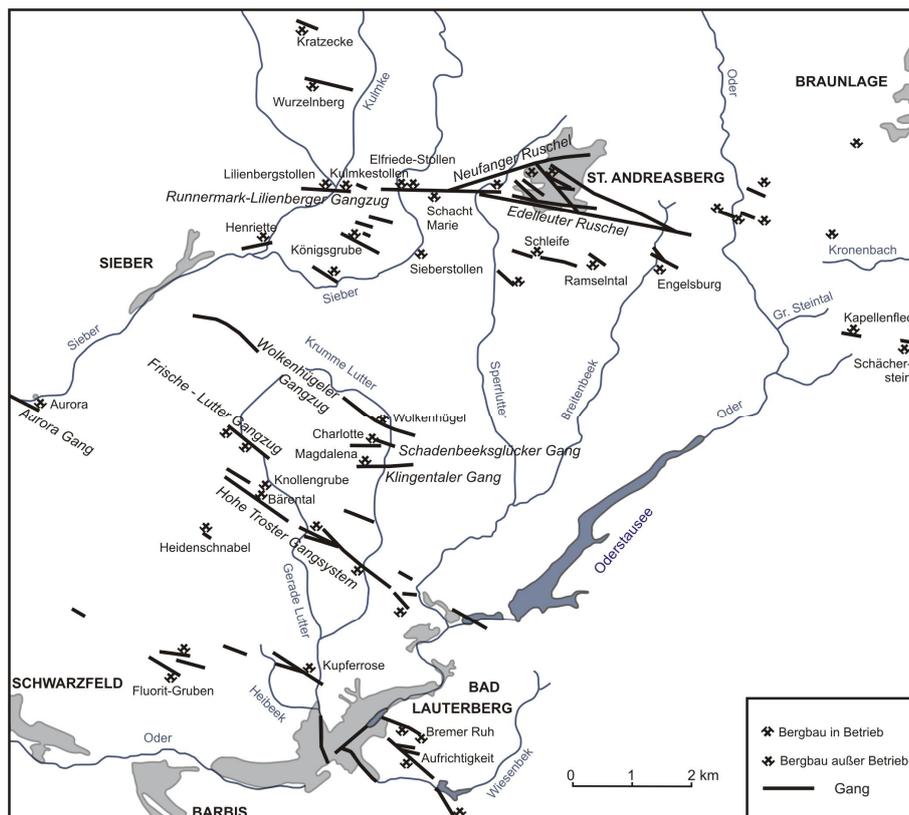


Abb. 4.2.4: Gangkarte der Reviere Sankt Andreasberg und Bad Lauterberg (nach Heberling & Stoppel 1988).

Bei Bad Lauterberg und weiter nördlich im Bereich der Krumpen und Geraden Lutter, sowie zwischen Sieber und Andreasberg (Abb. 4.2.4) kommen Baryt-Quarz-Cu-Sulfid-Gänge mit wenig Pb, Zn und Fe vor (Stoppel et al. 1983, Mohr 1993). Stoppel et al. (1983) beschreibt Kupfererze (meist Chalkopyrit, auch Bornit und Fahlerz), die in mehreren Generationen mit (oft sandigem) Quarz vergesellschaftet sind. Die Kupfererze im sandigen Quarz waren einfach zu gewinnen, wenn auch die Wasserführung den Gruben Schwierigkeiten bereitete (Stoppel et al. 1983, Ließmann 1992). Kupferabbau ist belegt von 1402 bis

1830. Dabei waren die wichtigsten Gänge der 7,5km lange Kupferroser Gangzug mit dem Kupferroser Gang westlich und dem Aufrichtigkeiter Gang östlich der Oder, sowie das Hohe Troster Gangsystem weiter nördlich (Stoppel et al. 1983). So hat z.B. im Zeitraum 1738-1836 die Grube „Louise Christiane“ und zwei weitere Gruben auf dem Hohe Troster Gangzug rd. 730t Kupfer geliefert und die „Kupferrose“ in ihrer Blütezeit (1704-1726) 624t Kupfer. Der Kupferroser Gangzug ist nach Stoppel et al. (1983) 1-2m mächtig und besteht aus zwei Haupt-Trümmern und weiteren abzweigenden Baryt-Trümmern. Die Kupfererze treten im sandigen Quarz in Nestern und unregelmäßigen Trümmern auf. Die Grube „Henriette“ bei Sieber, die nach Ließmann (1992) 1550-1749 in Betrieb war, baute nach Stoppel et al. (1983) auf dem westlichsten eines aus mehreren Erzmitteln bestehenden Baryt-Quarz-Gangzuges mit verschiedenen Cu-Sulfiden und Co-Erzen. Die Gangmächtigkeit liegt im dm- bis m-Bereich.

Im Oberharzer Gangrevier (Abb. 4.2.5) begann nach Mohr (1993) der Bergbau um 1200. Die Darstellung der Gangzüge weicht im Detail bei verschiedenen Autoren ab (Blömeke 1885, Hinze et al. 1976, Walther et al. 1986, Mohr 1993), aber im Großen und Ganzen sind das von Süd nach Nord der Laubhütter Gangzug, der Silbermaaler Gangzug, der Rosenhöfer Gangzug, der Zellerfelder Gangzug, der Burgstädter Gangzug, der Schatzkammer Gang und Schulthaler Gangzug, der Spiegelthaler Gangzug, der Haus Herzberger Gangzug, der Bockswiese-Festenburg-Schulenberger Gangzug, der Lautenthal-Hahnenkleer Gangzug, der Gegenthal-Wittenberger Gangzug, der Schleifsteintaler Gangzug, der Weiße Hirscher Gangzug, der Burghagener Gangzug, der Heimberg-Dröhneberger Gangzug und der Todtberger Gangzug. In den meisten Gängen sind Cu-Sulfide (v. a. Chalkopyrit) gegenüber Pb- und Zn-Sulfiden (Galenit, Sphalerit) untergeordnet (Mohr 1993). Höhere Cu-Gehalte finden sich nach Mohr (1993) vor allem im Todtberger Gangzug, aber auch im Burghagener Gangzug, dem Heimberg-Dröhneberger Gangzug, dem Weiße Hirscher Gangzug und dem Beste-Hoffnung-Gang, sowie lokal auf dem Zellerfelder, Burgstädter und Schultaler Gangzug. Der devonische Riffkalk des Iberges nördlich von Bad Grund ist ausgehend von Gängen mit Siderit und Baryt mineralisiert (Ließmann 1992).

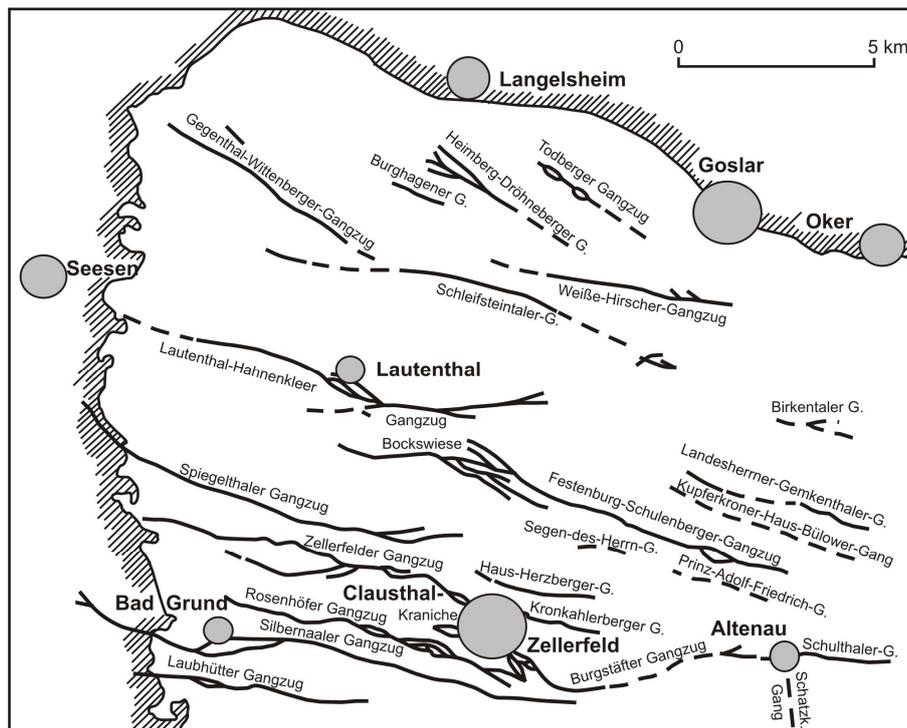


Abb. 4.2.5: Die Gangzüge des Oberharzer Gangbezirks nach Hinze et al. (1976).

Der Rammelsberg bei Goslar ist das bekannteste und bedeutendste Erzvorkommen im Harz. Die variszisch deformierte SHMS-Vererzung in den Wissenbacher Schiefen des unteren Mitteldevons besteht aus mehreren Erzkörpern, von denen das oberflächlich austreichende „Alte Lager“ und das nicht austreichende, später entdeckte „Neue Lager“ die wichtigsten sind (Mohr 1993, Large & Walcher 1999). Der Abbau erfolgte nach Mohr (1993) von 968 bis 1988. Das „Alte Lager“ hat rund 600m streichende Länge und ist um 12m mächtig. Das „Neue Lager“ erreicht durch Deformation Mächtigkeiten bis 40m. Das Erz ist massiv bis gebändert und besteht aus Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit und Baryt. Large &

Walcher (1999) geben für das Vorkommen insgesamt rund 27-30 Mio. t mit durchschnittlich 14% Zn, 6% Pb, 2% Cu, 1µg/g Au, 140µg/g Ag und 20% Baryt an. Walther (1980) nennt Durchschnittsgehalte von 19% Zn, 9% Pb und 1% Cu. Dabei sind die Metallgehalte innerhalb der Erzkörper variabel. Blömeke (1885) führt z.B. eine alte Analyse von „Reichen Kupfererzen“ mit 15,66% Cu, 4,88% Pb, 0,017% Ag, 25,32% Fe und 7,9% Zn auf.

Stedingk (1983) und Mohr (1993) beschreiben noch einige Kleinvorkommen im Oberharzer Diabaszug. In Roteisensteinlagern sind syngenetische Sulfidlagen (Cu, Fe) eingeschaltet, die lokal hohe Cu-Gehalte aufweisen (eine Probe der Fe-Grube „Juliuszeche“ bei Lerbach wies 7,25% Cu auf). Daneben gibt es geringmächtige Gänge mit Karbonat, Quarz und Cu- und Fe-Sulfiden.

Die Gang-Mineralisation im Harz verlief mehrphasig über einen langen Zeitraum. Viele Autoren haben Paragenese-Schemata für verschiedene Reviere aus gefügekundlich/strukturellen Untersuchungen abgeleitet oder Datierungen an Gangmineralen bzw. alteriertem Nebengestein vorgenommen. Franzke & Zerjadke (1993) kombinieren für den Osthartz ein Paragenese-Schema von Kuschka & Franzke (1974) mit Altersdaten verschiedener Autoren (Pb-Pb an Galeniten, Rb-Sr und K-Ar an Adularen). Danach reicht die Mineralisation von einer ersten nur lokal auftretenden Sulfid-armen variszischen Phase bis in die Kreide. Stedingk et al. (2002) geben für die variszische Phase im Osthartz ein Alter von 292 Ma an, gefolgt von zwei mesozoischen Phasen (mit mehreren Teilphasen) um 226 Ma und 206Ma. Schneider et al. (2003) unterscheiden im Unterharz fünf mesozoische Phasen (Rb-Sr Datierungen an Siderit und Fluorit, erste Phase um 226 Ma und vierte um 209 Ma). Im Westharz ist die Mineralisation nach Lüders & Möller (1993) ausschließlich mesozoisch. Nach Leveque & Haack (1993) sind alle untersuchten Harzer Gänge mesozoisch (Pb-Isotopie an Galeniten).

#### **Kyffhäuser:**

Nach den alten Erläuterungen zur geologischen Karte Blatt Kelbra (Schriel & Fulda 1926) kommen auf der Nordseite des Kyffhäusers im Bereich der Rothenburg Quarz-Chalkopyrit-Baryt-Gänge vor.

#### **Kupferschiefer:**

Die Kupferschiefervererzung umfasst mehrere Vererzungstypen. Eine schichtgebundene disseminierte Vererzung tritt in Mitteldeutschland im Kupferschiefer (bis 0,5m mächtiger mergeliger Schwarzschiefer an der Basis des Zechsteins), sowie in dessen Hangendem (Zechsteinkalk) und Liegendem (Weißliegend-Sandstein/Konglomerat) auf. Die disseminierte Vererzung im Kupferschiefer selbst wird in dieser Arbeit als Kupferschiefervererzung sensu stricto bezeichnet und bei Einbeziehung des Hangenden und Liegenden als Kupferschiefervererzung sensu lato. Am Westrand des Kupferschiefer-Beckens sind Kupferschiefer-Äquivalente der Beckenrand-Fazies bzw. stratigraphisch höher liegende Tonsteine im Zechstein mineralisiert. So gibt es nach Hausbrand (1938) bei Bieber Kupferletten im Mittleren Zechstein. Nach Clausen et al. (1989) und Stribrny (1989) ist in der Korbacher Bucht der Kupferschiefer durch graue Kupfermergel vertreten, die in bituminöse Stinkkalke eingeschaltet sind. Nach Walther et al. (1986) und Kulick et al. (1997b) ist bei Leitmar der Braunrote Salzton (Staßfurt Serie, Oberer Zechstein) als Leitmarer Kupferletten ausgebildet und nach Walther et al. (1986) gibt es in der Frankenberger Bucht Cu-Mineralisationen im Stätebergflöz (höherer Teil des Werra-Zyklus) und vor allem in den Geismarer Kupferletten (Oberer Zechstein). In Polen sind Mergel im unteren Zechstein mineralisiert, die deutlich mächtiger als der mitteldeutsche Kupferschiefer sind (nach Speczik et al. 1986 z.B. bei Nowy Kosciol Kupfermineralisation im mittleren Teil einer etwa 10m mächtigen Abfolge von Mergeln und Kalksteinen).

Der zweite Vererzungstyp sind in einer späteren Phase entstandene gangförmige Vererzungen, die so genannten „Mansfelder Rücken“, „Kobalt-Rücken“, oder auch „Zechstein Rücken“. Sie durchschlagen und versetzen den Kupferschiefer und sind teils bis ins Grundgebirge zu verfolgen (z.B. im Revier Kamsdorf und bei Marsberg – Beyschlag 1888, Hausbrand 1938, Stribrny 1989, Urban et al. 1995). Nach Beyschlag (1888), Gerlach (1989) und Siemroth & Witzke (1999) sind sie v. a. im Bereich des Kupferschiefers vererzt und von ihnen ausgehend ist das Nebengestein imprägniert.

Eine bauwürdige Kupferschiefervererzung tritt nur am Südrand des Zechstein-Beckens auf (West- und Mitteldeutschland bis nach Polen). Im Beckeninneren besteht nur eine geringe syndimentäre Pyrit-(Buntmetall-)Mineralisation. Die Kupferschiefervererzung sensu lato ist vertikal und lateral zoniert (Abb. 4.2.6) in Migrationsrichtung der erzbringenden Lösungen. Durch die mineralisierenden Lösungen

oxidiert und weitgehend erzfrei ist die Zone der „Roten Fäule“ (benannt nach der fleckigen Rotfärbung durch sekundären Hämatit). Daran schließen sich die Cu-, Pb- und Zn-Zonen an. Die Zonierung spiegelt sich auch in der räumlichen Verbreitung verschiedener Erzmineral-Assoziationen im Zechsteinbecken wieder (Rentzsch et al. 1997).

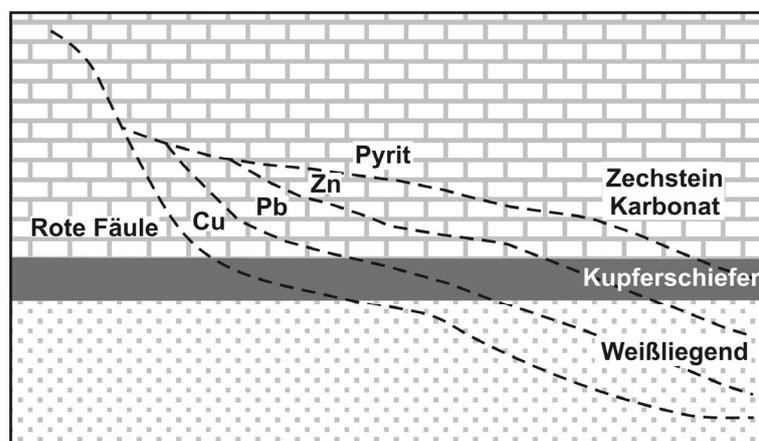


Abb. 4.2.6: Die Metallzonierung der Kupferschiefervererzung sensu lato (modifiziert nach Jowett et al. 1987).

Der Abbau des Kupferschiefers begann am Ausstrich: am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges, am Spessart, im Richelsdorfer Gebirge, in der Umrandung des Thüringer Waldes, am Nordrand des Thüringer Schiefergebirges, am Südrand des Kyffhäusers, bei Bottendorf, am Rand des Harzes, weiter östlich in einigen Aufschlüssen an der Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke und in in der Nordsudetischen Mulde (SW-Polen). In der Vorsudetischen Monokline in Polen ist der Abbau heute noch aktiv.

Der Erzmineralbestand der Kupferschiefervererzung sensu lato ist vielfältig. Hauptminerale sind nach Stedingk et al. (2002) Bornit, Chalkopyrit, Chalkosin, Covellin, Fahlerz, Galenit, Sphalerit, Pyrit und Markasit. Bauwürdige Metallgehalte liegen im Bereich einiger Prozent. Schriell & Fulda (1926) geben z.B. eine Analyse einer besonders erzeichen Probe vom Kyffhäuser mit bis 7,8% Cu im unmittelbar Liegenden, 5,2% in den unteren Lagen des Kupferschiefers und 1,5% im oberen Kupferschiefer an. Nach Boltz et al. (1995) wurde im Mansfelder Revier Kupferschiefer mit durchschnittlich 2-5% Cu gefördert, dazu mineralisierter Zechsteinkalk mit 0,4-2% Cu und Sanderz mit 5% Cu. Mochnacka et al. (1995) geben für die Nordsudetische Mulde 0,1-2,3% Cu für 2-3m mächtige Kupfermergel an.

Die gangförmigen Vererzungen waren oft die reicheren Erze. Nach Hausbrand (1938) waren z.B. am Thüringer Wald die Gänge wesentlich bedeutsamer als die Kupferschiefervererzung sensu lato. Aus den nach Beyschlag (1888), Zimmermann (1914) und Hausbrand (1938) dm- bis m-mächtigen Gängen des Kamsdorfer Reviers am Nordrand des Thüringer Schiefergebirges wurden von 1715 bis 1815 rund 6000t und von 1816 bis 1867 rd. 12800t Kupfererz gefördert; auf der „Königszeche“ bei Kaulsdorf nach Lange (2005) insgesamt 360t Cu- und Co-Erz. Dagegen wurden im Mansfelder Revier die Gänge mitgenommen wenn sie beim Kupferschieferabbau angetroffen wurden (Siemroth & Witzke 1999). Der Mineralbestand der Gänge ist ebenfalls vielfältig. Gangarten sind v. a. Karbonate, Baryt und Quarz. Erzminerale sind verschiedene Cu-Sulfide (Chalkosin, Chalkopyrit, Fahlerz u.a.) und Co-Ni-As-Minerale, dazu Ag-Sulfide, Galenit, Sphalerit und andere (Beyschlag 1888, Gerlach 1989, Rüger & Decker 1992, Siemroth & Witzke 1999). Abbauziel waren Cu, Ag (im Kamsdorfer Revier v. a. silberreiche Fahlerze – Rüger & Decker 1992), sowie Co und Ni.

#### Ostrheinisches Schiefergebirge:

Im Kellerwald gibt es nach Hein (1984) zahlreiche N-S bis NNW-SSE streichende Barytgänge. Sulfide treten meist nur untergeordnet neben Baryt auf und viele Gänge führen nur Baryt. Cu-mineralisiert sind die Gänge bei Bad Wildungen-Bergfreiheit, Frebershausen, Gellershausen und nach Denckmann (1902) auch bei Löhlbach. Zu Bad Wildungen-Bergfreiheit beschreiben Denckmann (1902) und Stoppel (1988) neben der gangförmigen Vererzung noch eine schichtgebundene disseminierte Cu-Vererzung in unterkarbonischen Tonschiefen und Kulm-Kieselschiefen, vergleichbar mit derjenigen in Marsberg (s. dort). Dagegen geht nach Urban et al. (1995) die disseminierte Vererzung nicht über die für Schwarzschiefer normale Metallanreicherung hinaus.

Am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges kommen einige schichtgebundene und gangförmige Kupfervorkommen in unterkarbonischen Schwarzschiefern vor. Dazu gehören Marsberg, Korbach-Goldhausen, Medebach, Engelbach und Dexbach (Abb. 4.2.7).

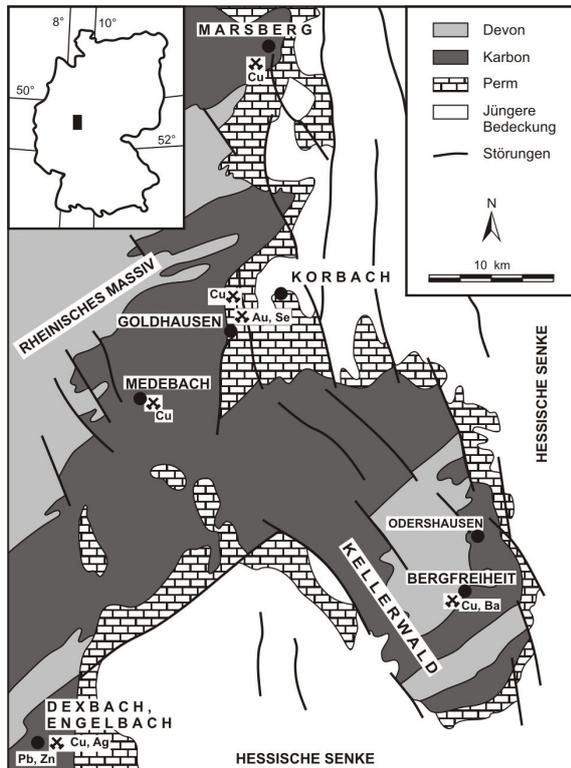


Abb. 4.2.7: Kupfervorkommen ähnlichen Typs wie Marsberg am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges (nach Urban et al. 1995).

Marsberg ist das bedeutendste Kupfervorkommen im Rheinischen Schiefergebirge. Es wird in zahlreichen Publikationen beschrieben (u.a. Schaeffer & Hein 1985, Walther et al. 1986, Stribrny et al. 1988, Clausen et al. 1989, Stribrny 1989, Urban et al. 1995). Danach begann der Abbau spätestens im 10. Jahrhundert, eventuell schon vor 800. Zunächst wurden lange Zeit nur oxidierte Erze im Tagebau gewonnen. Die Gesamtförderung der im 19. Jahrhundert aufgefahrenen und 1945 geschlossenen Gruben „Mina“, „Oskar“, „Wilhelm“ und „Friederike“ lag bei 3,23 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,6% Cu. Neben den genannten Gruben gab es noch einige Versuchsbaue mit geringer Erzproduktion (z.B. „Wiemecke“). Die Vererzung mit Cu-, Fe- und untergeordnet Pb- und Zn-Sulfiden tritt schichtgebunden in unterkarbonischen Schwarzschiefern auf (v. a. in den Unteren Alaunschiefern und Kulm-Lyditen); teils disseminiert und teils auf Störungen und in geklüfteten Bereichen innerhalb einer Sattelstruktur (Abb. 4.2.8).

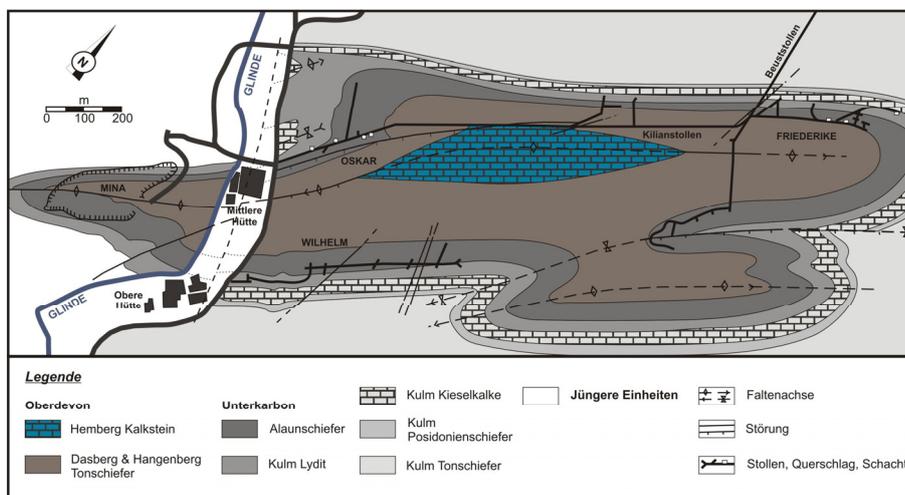


Abb. 4.2.8: Die Sattelstruktur des Marsberger Kupfervorkommens und die Lage der Grubenbaue nach Urban et al. (1995).

Abgebaut wurden vor allem die geklüfteten und gestörten Bereiche mit bis zu 16% Cu und die Gangvererzungen im Kupferschiefer, die auch in das Unterkarbon hineinsetzen. Die disseminierte Mineralisation erreicht meist nur in der Oxidations- und Zementationszone bauwürdige Gehalte. Das folgende Genesemodell wird u.a. von Stribrny (1989) und Urban et al. (1995) präsentiert: Eine geringe synsedimentäre und frühdiagenetische Mineralisation wurde während der variszischen Deformation mobilisiert und in Klüfte, Störungen und Zerrüttungszonen umgelagert. Im Rotliegend erfolgte eine erste supergene Anreicherung. Bei der Bildung der Gangvererzungen im Kupferschiefer fand nochmals eine Überprägung und Metallzufuhr statt und ab der Kreide wiederum eine supergene Anreicherung. Nach Schneider (1998b) weisen aber Pb-Isotopendaten disseminierter Erze und von Gangvererzungen im Kupferschiefer auf einen gemeinsamen epigenetischen Ursprung hin.

Das Vorkommen Korbach-Goldhausen ist nach Stribrny et al. (1988), Clausen et al. (1989), Stribrny (1989) und Urban et al. (1995) vom gleichen Typ wie Marsberg, in gleicher stratigraphischer und tektonischer Position und mit vergleichbarem Mineralbestand. Jedoch kam in Korbach auch Gold in abbauwürdiger Konzentration auf Störungen und Klüften vor und war Hauptabbauziel. Gangvererzungen im Kupferschiefer fehlen hier. In der Oxidations- und Zementationszone treten in Myloniten, Störungsbrekzien und Kluffüllungen Gehalte bis 1175µg/g Gold und lokal bis 13% Cu auf. In den Schwarzschiefern liegen die Cu-Gehalte bei 0,3-0,5% und sekundär angereichert bis 8%.

Die Cu-Grube Malachit bei Medebach findet nur kurze Erwähnung bei Urban et al. (1995).

Bei Engelbach baute die Grube „Elisabeth“ vom 16. bis 19. Jahrhundert auf Cu und Ag in Gängen und schichtgebunden in unterkarbonischen Alaunschiefern, Kieselschiefern und Diabas (Stoppel 1978, Stoppel 1988, Schmierer et al. 1992, Urban et al. 1995). Die schichtgebundenen Erze hatten nach Schmierer et al. (1992) Cu-Gehalte von 2-4%. Nicht weit entfernt liegt bei Dexbach ein schichtgebundenes Pb-Zn-Cu-Vorkommen in brekziösen Kiesel- und Alaunschiefer und den kieseligen Übergangsschichten des Unterkarbons. Die Oxidations- bis Zementationszone wurde in der Grube „Ludwig“ auf Cu abgebaut (Stoppel 1988, Stribrny et al. 1988, Urban et al. 1995). Stoppel (1978) hat in Kieselschiefer-Proben aus der Oxidationszone Cu-Gehalte bis rund 2,8% Cu nachgewiesen.

Die übrigen Vorkommen im Sauerland sind von eher geringer Bedeutung. Schnorrer (1997) beschreibt bei Bleiwäsche nordöstlich von Brilon einen Gang, auf dem Fahlerz und Chalkopyrit gegenüber Fe-, Zn- und Pb-Sulfiden überwiegen. Nach Weiß et al. (1990) gibt es bei Müschede im gleichnamigen Steinbruch einen Barytgang mit Pb- und Cu-Sulfiden, bei Menden im Steinbruch „Becke-Oese“ Pb-Cu-Erz-Gänge, bei Iserlohn (Grube „Erzgebirge II“) Pb-Cu-Erzlinsen und bei Warstein in mehreren Steinbrüchen Gänge mit Cu-, Fe-, Pb- und Zn-Sulfiden. Penkert (1976) beschreibt einen Quarz-Chalkopyrit-Gang im Steinbruch „Anna“ am Kupferberg bei Letmathe in devonischen Massenkalken. Nach Weiß et al. (1990) und Baumgarten (2006) wurden bei Plettenberg im „Bärenberger Stollen“ und in weiteren Gruben Quarzgänge mit Cu-Sulfiden abgebaut und am Silberg bei Herscheid Ag-haltiger Galenit und Cu-Sulfide. Straßburger (1996) gibt eine Liste von Gruben, die um 1890 im Sauerland bestanden. Davon bauten auf Kupfersulfide die „Andreaszeche“ bei Meggen, der „Neue Johannes“ bei Langenei, die Gruben „Bau auf Gott“, „Einigkeit“, „Elise I“ und „Paula“ bei Müschede, „Blockenberg“ bei Visbeck, „Justenberg“ bei Hagen und „Segen Gottes“ bei Brilon. Nach Schaeffer (1983) gibt es bei Warstein, Scharfenberg, Nuttlar, Endorf und Neheim-Hüsten Quarz-Chalkopyrit-Pyrit-Fahlerz-Gänge, die auf Cu und Ag abgebaut wurden.

Der bedeutendste Gang-Bezirk im Bergischen Land war der Bensberger Distrikt. Nach Wernicke (1960) und Wagner et al. (1998) wurden vor allem Pb und Zn, aber auch Cu aus Siderit-Quarz-Gängen gewonnen. Daneben gibt es nach Hesemann (1978) und Walther et al. (1986) Quarz-(Karbonat-Baryt)-Chalkopyrit-Gänge mit wenig Galenit. Hesemann (1978) und Walther et al. (1986) sprechen von mehr als 50 Gruben, die Kupfererze abbauten. Bei Wipperfürth baute nach Walther (1980) und Walther et al. (1986) die Grube „Danielszug“ auf einem Quarz-Chalkopyrit-Gang mit einer Gesamtproduktion von 2000t Cu. Das Revier Velbert ist nach Richter (1977) ebenfalls vor allem ein Pb-Zn-Gangrevier. Weiß et al. (1990) führt aber einige der Gänge als Pb-(Zn)-Cu-Erz-Gänge auf.

Bei Rheinbreitbach südlich von Bad Honnef bauten mehrere Kupfergruben auf sehr tiefreichend oxidierten Quarz-(Siderit)-Gängen mit Chalkopyrit und untergeordnet Pb-, Fe- und Zn-Sulfiden (Fenchel et al. 1985, Fuchs et al. 1986). Nach Fuchs et al. (1986) erreichte die Grube „Virneberg“ ihre höchste Produktivität um 1854 mit 2753t Kupfererz. Das Vorkommen wird von Walther et al. (1986) als das größte Cu-Gangvorkommen in Westdeutschland bezeichnet.

Der ausgedehnte Siegerland-Wied-Distrikt im Zentrum des Ostrheinischen Schiefergebirges umfasst nach Fenchel et al. (1985) die Erzbezirke Olpe-Müsen, Siegen und Wied. Hauptbestandteil der meisten Gänge ist Siderit. Untergeordnet kommen Pb-, Zn-, Cu-, Co- und Ni-Sulfide vor. Nach Rao (1967) fand Cu-Erz-Abbau (erstmalig 1298 erwähnt) vor allem in der Oxidations- und Zementationszone statt. So waren viele Gruben (z.B. bei Eiserfeld, die „Kupferkaute“, „Storch und Schöneberg“ und andere bei Gosenbach) zunächst vor allem Kupfergruben. Später wurden, bis auf relativ wenige Cu-reiche Gänge (z.B. Fahlerz-führende Gänge im Bezirk Olpe-Müsen), Cu-Erze nur neben Siderit mit gewonnen. Nach Walther et al. (1986) betrug in den 1950-er Jahren der durchschnittliche Cu-Gehalt im Haufwerk 0,1-0,3% und nach Fuchs et al. (1932) hat die Grube „Storch und Schöneberg“ von 1905-1929 3,7 Mio. t Siderit und knapp 16000 t Kupfererz gefördert. Neben den Sideritgängen gibt es nach Fenchel et al. (1985) auch Quarz-Chalkopyrit-Gänge vor allem bei Niederdreisbach und Schutzbach an der Daade, bei Biersdorf und Altenseelbach, sowie östlich von Olpe.

Zur Dillmulde, die vor allem als Typlokalität der Lahn-Dill-Eisenerze bekannt ist, gibt Stoppel (1988) einen ausführlichen Überblick. Danach wurden Fe, Cu, Ag, Pb, Zn, Mn, Ni und Baryt gewonnen. Der Beginn des Kupferbergbaus ist im 15. Jahrhundert belegt und die Blütezeit im 18. Jahrhundert.

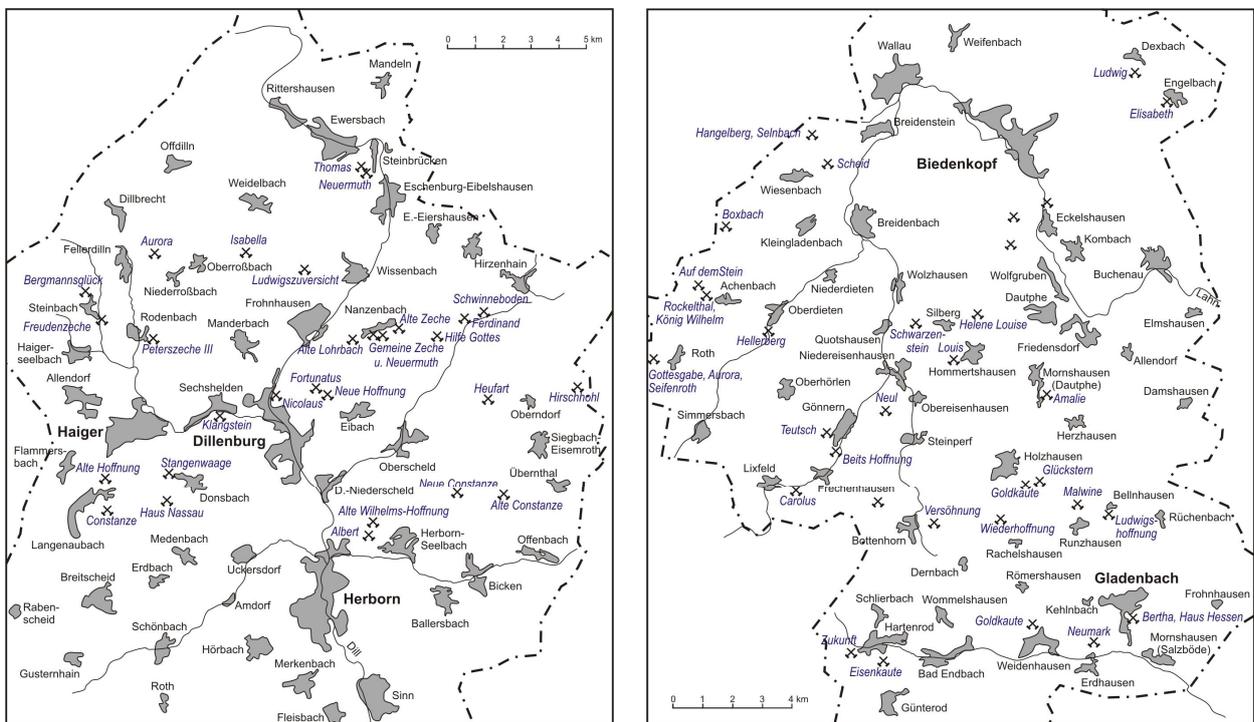


Abb. 4.2.9: Gruben der Kreise Dillenburg und Biedenkopf auf denen Kupfer gefördert wurde. (vereinfacht nach Stoppel 1988)

Die Grube „St. Nicolaus“ bei Dillenburg war eine der reichsten Gruben. Auch „Boxbach“ bei Hesselbach und „Gottesgabe“ bei Roth waren bedeutende Cu-Gruben. Die Vorkommen sind überwiegend W-E bis NNW-SSE streichende Gänge mit Erzmächtigkeiten im dm-Bereich. Im Norden bei Rodenbach gibt es einige Pb- und Cu-führende Sideritgänge, wie sie im Siegerland verbreitet sind. Die meisten Gänge sind Quarz-Kalzit-Gänge mit Cu-Sulfiden (v. a. Fahlerz und Chalkopyrit), Pyrit, Galenit und Sphalerit. Im Bereich von Diabasen führen einige Gänge auch Ni-Erze. Ein weiterer Vererzungstyp wird von Ludwig (1870) und Stoppel (1988) bei Bottenhorn und Bellnhausen beschrieben. Fe-, Cu-, Ni- und Co-Sulfide und Arsenide kommen disseminiert und auf kleinen Trümchen in alterierten Paläopikrit- und Diabasgängen vor. Stoppel (1988) gibt für Bottenhorn eine Förderung von Erz mit 0,3-4,1% Ni und 3,8% Cu (1925/16) an. Reich et al. (1935) beschreiben solch ein Vorkommen auch bei Simmersbach. Nach Walther et al. (1986) wurden in der Dillmulde insgesamt 5000t Cu gefördert und 1300t Pb und Zn.

Walther & Dill (1992) erwähnen allgemein für das Lahn-Dill-Gebiet, also auch für die Lahnmulde Quarz-Chalkopyrit-Gänge. Bei Kölschhausen beschreibt Schneider (1998b) ein Vorkommen gleichen Typs wie Marsberg in unterkarbonischen Schwarzschiefern. Bei Königsberg wurden nach Walther (1980) und Weiß et al. (1990) Pyrit-Cu-Sulfid-Gänge mit Hg neben Roteisensteinlagern abgebaut. Nach Walther (1980), Walther et al. (1986) und Walther & Dill (1992) ist bei Weilburg-Odersbach eine Ni-Cu-Vererzung

an mafische Gänge gebunden, die der bei Bottenhorn und Bellnhausen (Dillmulde) gleicht. Bei Vilmar beschreibt Weiß et al. (1990) mehrere Cu-Pb-(Ag-Zn-Fe)-Gangvorkommen. Bei Langendernbach sind nach Walther et al. (1986) Oligozän-Tone stratiform mit Ni, Co und Cu vererzt.

Der Gangdistrikt Hunsrück-Untere Lahn umfasst auf der rechten Rheinseite die Region des Unterlaufs der Lahn einschließlich des Emser Reviers und setzt sich links des Rheins fort. Nach Ehrendreich (1958), Herbst (1969) und Walther et al. (1986) gruppieren sich die Gänge zu mehreren NE-SW streichenden Gangzügen von denen die wichtigsten der Gangzug von Bad Ems (15 km von Arzbach bis Braubach – Abb. 4.2.10), der Holzappeler Gangzug (8 km lang) und der Werlau-Wellmicher Gangzug sind. Sie sind Pb-Zn-dominiert, aber nach Kayser (1892b) kommen lokal auch größere Cu-Gehalte vor, wie z.B. in der Grube „Leopoldine Louise“ bei Obernhof (Holzappeler Gangzug). Funde von Bergbaugeräten und Schmelzöfen aus der Römerzeit weisen auf bereits zu dieser Zeit aktiven Bergbau hin (Ehrendreich 1958). Von den um einige Meter mächtigen und teils einige 100m tief oxidierten Gängen des Emser Gangzuges (Abb. 4.2.10) war der der Grube „Neuhoffnung“ der bedeutendste (Ehrendreich 1958). Nach Herbst (1969), Walther et al. (1986) und Wagner et al. (1998) kommen bei Holzappel und auch bei Werlau so genannte „Weiße Gebirgsgänge“ vor, alterierte Diabasgänge, die zum Teil mit Sulfiden in Quarz vererzt sind. Walther et al. (1986) gibt folgende Produktionsdaten an: für die Grube „Holzappel“ (Holzappeler Gangzug) von 1740-1953 11334t Cu, 374009t Zn und 199121t Pb und für Werlau bis 1961 2430t Cu, 88000t Zn und 52000t Pb. Nach Ehrendreich (1958) werden bei Bad Ems die Pb-Zn-Gänge von Quarz-Chalkopyrit-Gängen durchschlagen.

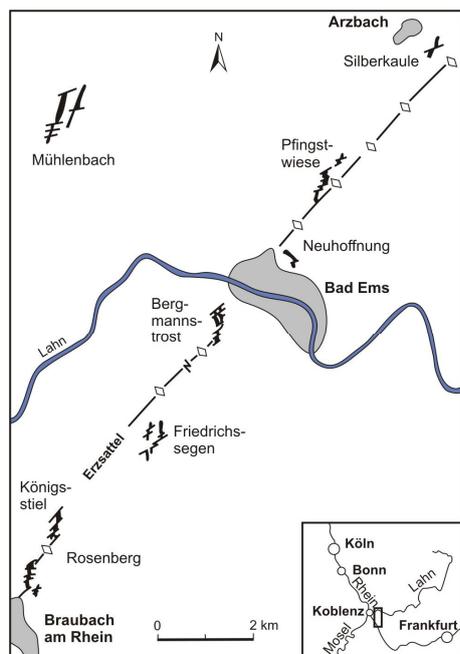


Abb. 4.2.10: Karte des Gangzuges von Bad Ems mit den wichtigsten Gang-Abschnitten nach Walther et al. (1986).

Im Taunus gab es nach Franzke & Anderle (1995) und Kirnbauer (1998a) Kupfererzabbau auf einigen Quarz-Cu-Sulfid-Gängen bei Königstein, Naurod, Ruppertshain und Vockenhausen. Verschiedene Autoren beschreiben weiter nordöstlich Quarzgänge mit Ag-haltigem Galenit, von denen einige auch größere Anteile von Chalkopyrit und teils Fahlerz führen und neben Ag und Pb auf Cu abgebaut wurden. Dazu gehören Heftrich (Weiß et al. 1990, Müller 1991, Kirnbauer 1998b) und die Gruben „Phillipseck“ bei Usingen (Dederscheck 1982, Weiß et al. 1990), „Amalie“ bei Cleeburg und „Silbersegen“ bei Espa (Weiß et al. 1990).

Die oben beschriebenen Gänge im Rheinischen Schiefergebirge gehören verschiedenen Mineralisationsereignissen an. Das älteste umfasst die Sideritgänge im Siegerland, die (Siderit)-Pb-Zn-Gänge von Bensberg und im Bezirk Untere Lahn, sowie einige Sideritgänge vom Siegerländer Typ in der nördlichen Dillmulde (Ehrendreich 1958, Herbst 1969, Fenchel et al. 1985, Stoppel 1988, Hein 1993, Wagner et al. 1998, Large 2003). Diese Gänge werden von vielen Autoren als variszisch eingestuft (z.B. Ehrendreich 1958, Herbst 1969, Fenchel et al. 1985, Walther et al. 1986, Hein 1993, Large 2003). Dagegen halten Brauns (1995), Kirnbauer et al. (1998) und Schnorrer et al. (2000) sie für prävariszisch (Übereinstimmung der Pb-Isotopensignatur mit der von Rammelsberg und Meggen, Datierungen mittels Rb-Sr-Isotopie).

Die von Franzke & Anderle (1995) und Kirnbauer (1998a) beschriebenen Gänge im Taunus (Königstein, Naurod, Ruppertshain und Vockenhausen) werden als synorogen eingestuft. Alle übrigen Gänge sind postvariszisch. Dazu gehören die Quarz-Chalkopyrit-Gänge von Rheinbreitbach (Fenchel et al. 1985, Walther et al. 1986), die Paragenesen der sog. „Nachphasen“ im Siegerland die u.a. auch selbständige Quarz-Chalkopyrit-Gänge bilden (Fenchel et al. 1985), die meisten Gänge der Dillmulde (Fenchel et al. 1985, Stoppel 1988), die Quarz-Chalkopyrit-Gänge bei Bad Ems (Ehrendreich 1958) und im Bensberger Revier (Wernicke 1960, Walther et al. 1986, Schneider 1998a), die Pb-Cu-Gänge im Taunus (Kirnbauer 1998b, Schneider 1998a) und die Gänge im Sauerland und im Bergischen Land (Schneider 1998a). Nach Hein (1984) sind die Barytgänge im Kellerwald und in der Dillmulde tertiären Alters.

#### **Östliches und nördliches Vorland des Rheinischen Schiefergebirges:**

Der Velberter Gangbezirk setzt sich nach Richter (1977) nach Norden in das Ruhrkarbon fort. Hier wurden Karbonat-Quarz-Baryt-Gänge vor allem auf Pb- und Zn-Sulfide, aber lokal (Zechen „Pluto“ und „Hannover“ auf dem Primus Gang) auch auf Chalkopyrit abgebaut (Richter 1977, Walther et al. 1986, Grabert 1998). Östlich des Rheinischen Schiefergebirges ist bei Wrexen, Twiste und weiteren Orten der Mittlere Buntsandstein (manche Autoren sprechen auch vom Oberen Buntsandstein) mit sulfidischen und oxidischen Kupfererzen und teils Uran mineralisiert (Meisl 1965, Walther 1980, Walther et al. 1986, Clausen et al. 1989). Die Mineralisation in Pflanzenreste-führenden Sandsteinen ist an Störungen gebunden. Zeitweise wurde Erz mit rund 0,8% Cu abgebaut. Bei Osnabrück, am Hüggel, Schafberg und Piesberg, beschreiben Walther (1980), Harms (1983) und Walther et al. (1986) metasomatische Sideriterze in Zechsteinkalk, sowie Baryt-Sulfiderz-Gänge (Pb, Zn, Cu, Fe). Ein Abbau fand vor allem auf Eisen (Siderit-Erze) und Pb-Zn-Erz, aber auch auf Kupfer statt.

#### **Thüringer Wald:**

Der Floßberg-Stechberg-Gangzug, wo nach Mitteilung von Dr. Huckriede (TLUG) der Fluorit-Abbau 2006 wieder aufgenommen wurde, ist das nördlichste einer Reihe von Gangvorkommen südlich von Ilmenau. Nach Schiemenz (2003) ist die Mineralisation mehrphasig mit mehreren Generationen von Fluorit, Baryt und Karbonaten. Cu-Sulfide kommen in geringen Mengen vor. Im Katzmannstal (am Silberberg) westlich von Möhrenbach wurde ein Kupfererzgang begleitet von einer imprägnativen Vererzung mit Cu-, Pb- und Zn-Sulfiden in mehreren Perioden vom 17. bis ins 19. Jahrhundert auf Cu und Ag abgebaut (Loretz et al. 1908, Kaemmel 1961, Reh & Schröder 1974, Meinel & Mädler 2003). Weiter südlich bei Neustadt am Rennsteig sind drei kleine Kupfervorkommen an eine NW-SE streichende Störung gebunden. Das nordwestlichste Vorkommen liegt am Kleinen Gabelskopf im Burgbachgrund (Loretz 1906). Nach Grimm et al. (1982) baute dort die Cu-Grube „Gott hilft gewiss“ auf einem Fluorit-Karbonat-Quarz-Cu-Sulfid-Gang mit Galenit. Weiter südöstlich liegt am Fuß des Tannenglasbachkopfes das Vorkommen Tannenglasbach. Dieses wird von Anspach (2002) als mehrphasige Mineralisation beschrieben, mit einer ersten metallarmen Phase, welche gleichen Alters wie die Störung ist. Dann folgen eine mesozoische Fluorit-Cu-Pb-Zn-Sulfid-Phase und eine zeitlich nicht näher eingeordnete Remobilisierung. Die Mineralisation in der ca. 5-8m mächtigen Störungszone besteht aus cm-mächtigen Linsen und Gängen und wurde im 19. Jahrhundert auf Cu abgebaut. Ein drittes Vorkommen liegt noch weiter südöstlich bei Gießübel am Querenberg (Loretz 1906).

Brattendorf bei Eisfeld am Südrand des Thüringer Waldes ist nach Huth (1955) und Reh & Schröder (1974) ein Cu-Vorkommen vom red bed Typ. In 0,7-1m Mächtigkeit sind Unterrotliegend-Konglomerate und -Sandsteine grünlichgrau gebleicht und mit Malachit und Cu-Oxiden, selten mit Cu-Sulfiden imprägniert. Reh & Schröder (1974) beschreiben auch Quarz-Trümchen mit Cu-Fe-Sulfiden in Vulkanitgeröllern und geben als maximalen Cu-Gehalt durch sekundäre Anreicherung bis 0,8% an. Ein Bericht aus dem Archiv der TLUG (Huth 1952) nennt dagegen einen Durchschnittsgehalt von 2% Cu. Bei Suhl kommen Quarzgänge mit Hämatit, Karbonaten, Baryt, Fluorit und untergeordnet Chalkopyrit vor. Sie wurden vor allem auf Fe abgebaut (Reh & Schröder 1974). Nach Zimmermann & Scheibe (1908) wurde aber in einzelnen Gruben Cu mit gewonnen. Im Pochwerksgrund bei Goldlauter treten nach Reh & Schröder (1974) in den Goldlauterer Schichten (Rotliegend), in den bituminösen Schwarzschiefern der Acanthodes-Schichten Erzröhren und Schmitzen von Fe-, As-, sowie Cu-, Pb- und Ag-Sulfiden auf. Abbauversuche gab es ab dem 16. Jahrhundert auf Cu, As und Ag.

**Thüringer Schiefergebirge:**

Die wichtigsten Kupfervorkommen im Thüringer Schiefergebirge sind die Frankenwälder Sideritgänge bei Bad Steben, Naila, Lobenstein und Hirschberg. Nach den Beschreibungen in Gumbel (1879), Zimmermann (1912), von Horstig et al. (1962), von Horstig (1972), Schmid et al. (1978), Dill (1985) und Dill et al. (2003) sind dies NW-SE streichende, wahrscheinlich tertiäre Gänge mit Mächtigkeiten zwischen 0,1m und mehreren Metern. Hauptbestandteil ist Siderit. Daneben kommen weitere Karbonate, Quarz, lokal Fluorit und Baryt vor. Chalkopyrit ist fast immer in wechselnden Mengen vorhanden und war in einigen Gängen Abbauziel (z.B. bei Griesbach und Marxgrün, Kupferbühler Gang bei Issigau, Friedensgrubener und Rückertsberger Gang, Gruben „Kupferplatte“ und „Kupferberg“ bei Lichtenberg, Gruben „Arme Hilfe“ und „Kupferzeche“ bei Hirschberg, Gänge bei Naila). Die Mineralisation ist nach von Horstig et al. (1962) und von Horstig (1972) zweiphasig mit Chalkopyrit als Durchläufer. Dill et al. (2003) unterscheidet eine größere Zahl von Abfolgen, ist aber grob vergleichbar.

Von eher geringer Bedeutung sind die Gänge um Wallenfels weiter südwestlich. Es sind Baryt-Quarz-Karbonat-Gänge mit Ag-haltigem Galenit und untergeordnet Zn- und Cu-Sulfiden von denen einige auf Cu abgebaut wurden (im Remschlitzgrund, im Hühnergrund, im Köstenbachtal, sowie „Katzenschwanz“, „Siebenstern“ und „Gottesgab“ bei Leupoldsberg – Gumbel 1879, Schmid et al. 1978, Dill 1983, Dill et al. 2003). Chinta (1983) führt als Cu-Grube auch die Grube „Barium“ bei Rothenkirchen auf, wo nach Dill (1983) einer der Baryt-Karbonat-Gänge Cu-Sulfide führt.

Der Kirchberg bei Böhlen, nordöstlich von Großbreitenbach, wird bei Reh & Schröder (1974) als Cu-Vorkommen genannt. Nach Loretz (1892) treten dort in kambrischen Quarz-Phylliten Knauern und Linsen bis Lagen aus Quarz, Karbonat und Chalkopyrit auf, die mit geringem Erfolg auf Kupfer abgebaut wurden. Nach Huth (1951) wurden in Schurfen dagegen Gänge mit Limonit-Mulm und Malachit angetroffen, sowie Malachit-Überzüge auf Klüften. Beides wird als sekundäre Bildungen nach Quarz-Ankerit-Chalkopyrit-Gängen betrachtet. Bei Wildenspring weiter nordöstlich führt nach Reh & Schröder (1974) ein Gang Fluorit, Baryt und untergeordnet Kupfererz und an den Gelenkköpfen südwestlich von Unterweißbach sitzen Quarzgänge mit Cu-Sulfiden und Pyrit in Rotliegend-Vulkaniten. Auf letzteren gab es nach Martini (1937) Cu-Bergbau in der Oxidationszone. Am Großen Silberberg bei Gahma wurden nach Vogel (1950), Reh & Schröder (1974), Meinel & Mädler (2003) und Lange (2005) geringmächtige Quarzgänge mit Arsenopyrit, Pyrit und Chalkopyrit abgebaut. Bei Schleiz kommen neben den Sb-Erzgängen auch Ankerit-Chalkopyrit-Gänge mit Quarz und Fahlerz vor, so zum Beispiel im Schacht „Roter Stern“ bei Pörmitz (Rösler 1957, Rösler 1958, Wiefel & Schlegel 1960, Schlegel & Wiefel 1998). Ein Baryt-Quarz-Gang mit Chalkopyrit und Fahlerz wurde im Burgholz bei Löhma nordöstlich von Schleiz auf Cu und Baryt abgebaut (Liebe 1881, Wiefel & Schlegel 1960, Reh & Schröder 1974). Einige Archivberichte (Tille 1929, Grimm et al. 1985) ergaben noch Hinweise auf einen Cu-Abbau bei Lichte im Ortsteil Bock und Teich. Danach wurden dort in der Grube „Getreuer Nachbar“ und anderen im 18. und 19. Jh. Pb-Cu-Erzgänge abgebaut. Bei Frankenreuth, Unterrehesberg, Bad-Holz und Losau-Wartenfels beschreibt Dill (1985) Sideritgänge mit Fe und Cu-Sulfiden als Mobilisate von Lahn-Dill-Fe-Erzen.

In der Region um Plauen kommen nach Baumann et al. (2000) verschiedene Mineralisationen vor. Dazu gehören bei Tirpersdorf an den Bergener Granit gebundene Wolframitgänge, die neben anderen Sulfiden (Fe, As, Zn, Pb) häufig Chalkopyrit führen. Bei Zobes kommen prävariszische syngenetische Fe-Cu-Sulfidlager vor. Im Revier Jocketa führen überwiegend Baryt-Fluorit-Karbonat-Gänge auch Chalkopyrit und untergeordnet Pb- und Zn-Sulfide. Im Distrikt Schönbrunn südlich von Plauen, zwischen Ölsnitz und Wiedersberg, kommen mehrphasige Sulfidgänge variierender Zusammensetzung vor. In diesem Revier gab es einen Abbau auf Fe, Cu, Pb, Co, Ni, Sn und Fluorit. Credner & Weise (1904) und Puffe (1939) beschreiben bei Plauen Siderit-Quarz-Kupfererz-Gänge.

**Erzgebirge, Granulitgebirge und unmittelbares Vorland (mit Elbtal-Schiefergebirge):**

Das Erzgebirge wird hier nur kurz behandelt, da es in dieser Studie nicht bearbeitet wurde. Niederschlag et al. (2003) schätzen die Gesamtproduktion an Kupfer für die Zeit vom 12. bis Ende des 20. Jh. auf 5000-10000t. Nach Baumann et al. (2000) ist im Erzgebirge ab dem Mittelalter Bergbau auf Ag, Sn und Cu nachgewiesen. Die Mehrzahl der Vererzungen sind polymetallische Sulfidgänge (merphasig, Cu tritt in mehreren dieser Phasen auf). Daneben gibt es auch metamorph überprägte stratiforme Vererzungen (SHMS) und Skarne. Cu-Abbau auf polymetallischen Gängen erwähnen Baumann et al. (2000) für folgende Bergbaudistrikte bzw. Reviere: Freiberg (hier Cu-reichere Paragenesen vor allem im Zentral-

revier und im südlichen und östlichen Randbereich), die Gangreviere Munzig und Scharfenberg nördlich von Freiberg, einige Gänge bei Zinnwald, die Distrikte Schmiedeberg-Sadisdorf, Marienberg (hier wurden zum Beispiel nach Baumann et al. 2000 rd. 4000t Sn, 790t Ag, 1000t Cu, 120t U und 45000t Fluorit ausgebracht, Seifert 1999 nennt ähnliche Zahlen bis auf Cu mit 5000t), die Löwenhainer Greisenzone östlich von Altenberg (neben Cu-führenden Greisen-Trümmern), den Distrikt Seiffen (mit dem Revier Hora Svate Kateřiny), Annaberg, Zschopau, Schneeberg-Schlema und das Revier Lößnitz nordöstlich von Aue. (Magnetit)-Buntmetallsulfid-Erzlager (metamorph überprägte SHMS und teils Skarne) mit einem nennenswerten Anteil von Cu-Sulfiden kommen im Revier Berggießhübel (Elbtal-Schiefergebirge), in den Distrikten Annaberg, Měděnec, Ehrenfriedersdorf, Schwarzenberg-Johanngeorgenstadt, zwischen Aue und Bockau, im Revier Lößnitz, sowie bei Bozi Dar und bei Zlatý Kopec nördlich von Jachymov vor. Niederschlag et al. (2003) haben auch zwei Kupfervorkommen im Granulitgebirge untersucht. Dies sind die Gänge bei Gersdorf und bei Schönborn, die auf Pb, Ag und Cu abgebaut wurden. Nach Pitschel (1993) wurden bei Wolkenburg Gänge auf Ag (Ag-haltiger Galenit, Fahlerz) und Cu abgebaut. Am Nordrand des Erzgebirges bei Zwickau beschreiben von Hoyningen-Huene (1959) und Tauscher (1997) im Rotliegend ein Kupfervorkommen, auf das mehrfach Bergbauversuche stattfanden. Es handelt sich danach um „handtellergröße Bleche von gediegenem Kupfer“ auf Klüften und zusammen mit Cuprit und Malachit als „Körnchen“ in Vulkaniten, sowie auf Zwickeln in Konglomeraten.

### **Südwest- und Südostrand der Münchberger Gneismasse:**

Am Südwestrand der Münchberger Gneismasse, zwischen Kupferberg und Wirsberg (Vorkommen Kupferberg-Neufang bzw. Kupferberg-Wirsberg) und weiter südöstlich bei Marktschorgast und Gössenreuth kommen nach Schmid et al. (1978) und Dill (1985) stratiforme Fe-Cu-Vererzungen vor. Dill (1985) und Walther & Dill (1992) vergleichen die Vorkommen mit dem Beschi-Typ (VHMS). Kupferberg-Neufang, das nach Urban & Vache (1972) das bedeutendste Kupfervorkommen Bayerns ist, besteht nach Schüssler (1993) aus einem 4km langen NW-SE orientierten Zug stratiformer Erz-Linsen (nach Urban & Vache 1972 bis 450m lang und bis 12m mächtig). Im Nordwesten bei Kupferberg sind Pyrit-Chalkopyrit-Erze in die vulkanosedimentäre „Randschieferserie“ eingeschaltet (Tonschiefer, Schwarzschiefer, Diabas-Tuff-Horizonte). Bei Neufang kommen Pyrit-Magnetit-Pyrrhotin-(Chalkopyrit)-Erze in der ebenfalls vulkanosedimentären „Prasinite-Phyllit-Serie“ vor. Emmert et al. (1960) und Schmid et al. (1978) beschreiben auch Chalkopyrit-Sphalerit-Quarz-Kalzit-Gänge, die die Kieslager teils konkordant teils diskordant durchschlagen. Nach Urban & Vache (1972) und Schmid et al. (1978) wurde vor allem die Oxidations- und Zementationszone mit bis zu 18% Cu abgebaut. Die noch vorhandenen Vorräte werden auf 360000t Kupferreicherz mit 4,5% Cu, 1% Zn, 50µg/g Ag und 2µg/g Au, sowie 325000t Cu-führendes Pyriterz mit 1,5% Cu, 1% Zn und 15µg/g Ag beziffert. Emmert et al. (1960) nennt einen durchschnittlichen Cu-Gehalt der Kieslager von 1,25%, Bernard (1991) dagegen nur 0,4% Cu im Primärerz und bei sekundärer Anreicherung 1,5-9,6% Cu.

Bei Sparneck am Südostrand der Münchberger Masse bestehen bis 0,5m mächtige, in mafische Metavulkanite (Prasinite) und Phyllite eingeschaltete stratiforme Erzkörper nach Stettner et al. (1964), Schmid et al. (1978) und Dill (1985) vor allem aus Pyrit, untergeordnet Chalkopyrit, Sphalerit und Galenit. Die Cu-Gehalte erreichen bis 4%.

### **Fichtelgebirge:**

Am Südwestrand des Fichtelgebirges, am Schwarzenberg bei Aign, kommt nach Schmid et al. (1978) und Chinta (1983) ein Quarz-Siderit-Gang mit Chalkopyrit und Pyrit vor. Weiter südöstlich bei Erbdorf wurde vor allem im 14. Jahrhundert am Silberrangen (Chinta 1983) bzw. Silberanger (Gümbel 1868) Bergbau auf Ag, Pb, Cu und Zn betrieben. Nach Dill (1985) sitzen hier Quarz-Karbonat-Baryt-Gänge mit Pb-, Zn- und Cu-Sulfiden sowohl im Grundgebirge, als auch im Perm. Walther (1980) und Walther et al. (1986) geben im Durchschnitt 5% und lokal bis 10% Chalkopyrit an.

Die Grube „Bayerland“ bei Waldsassen baute nach den Beschreibungen in Maucher (1939), Rechenberg (1953), von Ruffer & Friedrich (1973), Schmid et al. (1978) und Dill (1985) auf zwei Fe-Cu-Zn-Pb-Kieslagern (SHMS, metamorph überprägt) in oberkambrisch-unterordovizischen Metasedimenten (Phyllite, Quarzphyllite, Quarzite und Chloritschiefer). Die Lager sind 1-6m mächtig. Das so genannte „P-Lager“ ist dominiert von Pyrit. Hinzu kommen Zn-, Cu-, Pb- und As-Sulfide. Das „M-Lager“, in ca. 250m Entfernung parallel zum „P-Lager“ streichend, hat einen hohen Anteil Pyrrhotin. Der Cu-Gehalt liegt bei durch-

schnittlich 0,7%. Erste Abbaue auf Fe begannen 1799 im Eisernen Hut. Später baute man vor allem Pyrit ab, mit Cu als Nebenprodukt. Nach Walther (1980) wurde vor dem 2. Weltkrieg Cu-reiches Erz mit 45% S, 2,9% Cu, 6% Zn und 1,1% Pb gefördert. Maucher (1939), Rechenberg (1953) und Dill (1985) beschreiben auch querschlägige Quarzgänge mit Pb-, Sb-, As- und Cu-Sulfiden und -Sulfosalzen, wahrscheinlich Remobilisate der Kieslager.

Quarzgänge mit Wolframit, Cu-, Zn- und Mo-Sulfiden und Cassiterit bei Neualbenreuth und mit Galenit, Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit und Chalkosin bei Höglstein sind an einen variszischen Granit gebunden (Dill 1985). Am Westrand des Eibenstocker Granits bei Klingenthal-Kraslice/Tisova beschreiben Baumann et al. (2000) eine größere Anzahl syngenetischer Erzlager mit Fe-, As- und Cu-Sulfiden (bis rd. 1% Cu) und teils auch Magnetit. Sie sind metamorph überprägt und remobilisiert. Nach Bernard (1991) begann bei Tisova der Cu-Abbau im 12. Jh. und 1902-1910 wurden in Tisova und Klingenthal zusammen über 50000t Cu-Erz gefördert. Bei Gottesberg-Mühlleithen treten im Eibenstocker Granit Greisen mit Cassiterit, Wolframit und Fe-, As- und Cu-Sulfiden auf (Baumann et al. 2000).

### Oberpfälzer Wald:

Im Oberpfälzer Wald sind Kupfervorkommen wenig verbreitet. Bei Mähring gab es Bergbauversuche auf einen Quarz-Chalkopyrit-Gang (Gümbel 1868, Schmid et al. 1978). Das Nabburg-Wölsendorfer Fluorit-Revier umfasst nach Ziehr (1975), Schmid et al. (1978) und Dill (1985) zahlreiche Gänge mit Fluorit, Baryt und untergeordnet Quarz, Karbonaten und Erzmineralen. Unterschieden werden ältere Uranerz- und jüngere Pb-Zn-Cu-Sulfid-Paragenesen, die v. a. im Südosten verbreitet sind. Abgebaut wurden Fluorit, Ag-haltiger Galenit und lokal auch auf Cu-Erze (v. a. aus der Oxidations- und Zementationszone).

### Vorderer und Hinterer Bayrischer Wald:

In der Region Bodenmais-Lam-Zwiesel tritt eine Gruppe metamorph überprägter stratiformer Sulfidvererzungen (SHMS) in oberproterozoischen moldanubischen Gneisen auf, von denen das wichtigste das am Silberberg bei Bodenmais ist (Schmid et al. 1978, Dill 1985, Obermüller 1993). Nach Schmid et al. (1978), Dill (1985) und Obermüller (1993) besteht dieses Vorkommen aus zwei schichtparallelen linsenförmigen Erzkörper in Granat-Cordierit-(Sillimanit)-Gneis, die 0,5m bis 2m mächtig sind. Erzminerale sind vor allem Pyrrhotin und Pyrit, daneben Zn-, Cu- und Pb-Sulfide (u. a. Ag-haltiger Galenit) und auch Cassiterit, bei Durchschnittsgehalten von 40% Fe, 2,5% Zn, 0,2% Cu und 0,06% Pb. Bergbau ist erstmals 1313 erwähnt. Nach dem Abbau des Eisernen Hutes auf Fe und Ag-haltigen Galenit, wurde bis zu Schließung der Grube 1962 Cu neben Pyrit mit gewonnen. Bei Lam wurden nach Schmid et al. (1978) Pb, Ag und Cu abgebaut. Nach Gümbel (1868) waren hier und auch bei Unterried die Cu-Gehalte höher, als bei Bodenmais. Walther (1980) gibt aber auch nur einen Durchschnitt von 0,3% Cu an. Bei Lam kommen auch jüngere Fluoritgänge mit Pb-Zn-Cu-Sulfiden und Sulfosalzen vor (Schmid et al. 1978, Dill 1985).

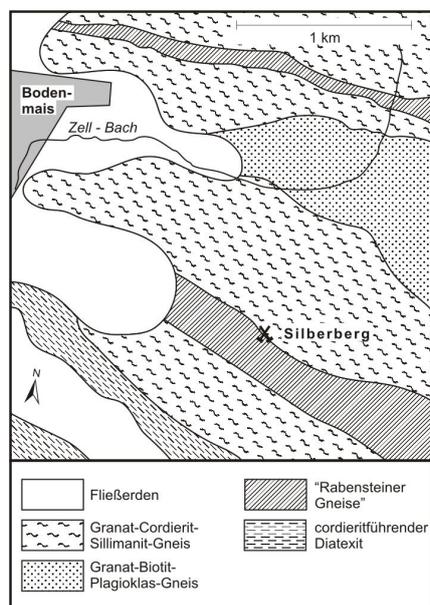


Abb. 4.2.11: Geologische Karte mit dem SHMS-Vorkommen von Bodenmais nach Pfaffl (1990).

**Tepla-Barrandium und Moldanubikum in Tschechien:**

Horní Slavkov (Bernard 1991) bzw. Slavkovský Les (Niederschlag et al. 2003) ist ein Sn-W-Greisen-Vorkommen mit Fe-, As-, Zn-, Cu- und Pb-Sulfiden. Chrt et al. (1966) beschreibt daneben auch Gänge mit Sn-W-Erzen und reichen Cu-, Ag- und Zn-Sulfiderzen. Michalovy Hory und Tři Sekery bei Mariánské Lázně sind Gangvorkommen. Bei Michalovy Hory wurden Pb-Zn-Sulfid-Gänge mit Cu-Sulfiden auf Pb, Zn und Cu abgebaut (Ilavský & Sattran 1980, Bernard 1991, Mrazek & Pouba 1995). Bei Tři Sekery sind dagegen Pb- und Zn-Sulfide gegenüber Cu-Sulfiden untergeordnet (Chrt et al. 1966, Ilavský & Sattran 1980). Bei Mutěnin wurden nach Pouba & Sattran (1980), Dill (1985) und Bernard (1991) Quarz-Karbonat-Chalkopyrit-Gänge abgebaut; Remobilisate einer relativ armen stratiformen Cu-Fe-(Zn)-Mineralisation. Bei Svržno und Orlovická Hora sind stratiforme Fe-Cu-Zn-Pb-Vorkommen gebunden an präkambrische Mafite und Ultramafite (Pouba & Sattran 1980, Bernard 1991, Mrazek & Pouba 1995). Pocinovice nahe Klatovy ist nach Pouba & Sattran (1980) ein kleines Vorkommen disseminierten Chalkopyrits (oberflächennah oxidiert) in Pyrit-führenden Schwarzschiefern. Auch Újezd u Kasejovic ist eine stratiforme Fe-Cu-Pb-Zn-Sulfid-Mineralisation in einer metamorphen vulkanosedimentären Abfolge (Bernard 1991). Bis 7m mächtige und bis 250m lange Erzkörper bestehen vor allem aus Pyrrhotin und Markasit, sowie aus Chalkopyrit, Sphalerit und Galenit und haben Metallgehalte von 0,1-2,1% Cu, 0,1-4,3% Zn, 1,3-36µg/g Ag und 0,1-2,2µg/g Au (Vana 1988). Petrůvkova Hora wird von Studničná & Zacharias (1996) als Au-Cu-W-(Ag-Bi-Mo)-Mineralisation vom Porphyry Typ beschrieben. Eine Au-betonte Mineralisation in Quarz-Äderchen mit untergeordnet Chalkopyrit und anderen Sulfiden (Au-Gehalt bis 23µg/g) ist gebunden an alterierten Granodiorit. Im Dacit ist Chalkopyrit Hauptmineral einer Cu-Ag-Bi-Sulfid-Paragenese (disseminiert und auf Äderchen, Cu-Gehalte 0,01-1,1%). Im Příbram Distrikt und bei Vrančice kommen nach Chrt et al. (1966), Pouba & Ilavský (1986) und Bernard (1991) mehrphasige polymetallische Quarz-Karbonat-Baryt-Gänge mit Fe-, Pb-, Zn-, Cu- und Ag-Sulfiden und U-Mineralen vor. In der letzten Phase dominieren Cu-Sulfide. Abgebaut wurden Ag, Au, Cu, Pb und Zn; erstere vor allem in der Oxidations- und Zementationszone. Zwei kleine stratiforme Fe-Cu-Pb-Zn-Sulfid-Mineralisationen in einer metamorphen vulkanosedimentären Abfolge liegen bei Cetyně und Smolotely. Bernard (1991) gibt einen Cu-Gehalt von 0,1-1% an. Der Jílové-Distrikt ist vor allem für Goldabbau bekannt. Nach Bernard (1991) und Mrazek & Pouba (1995) gibt es aber neben der Gangvererzung mit geringen Cu-Gehalten noch eine stratiforme Fe-Zn-Pb-Cu-Vererzung vom Typ VHMS.

Bei Kutná Hora wurden einige 100m bis einige km lange und mehrere m mächtige polymetallische Gänge ab dem Mittelalter vor allem auf sekundär angereicherter Ag und Cu und später auf Pb und Zn abgebaut (Pouba & Ilavský 1986, Bernard 1991, Hyršl 1991). Stare Ransko ist nach Pouba & Sattran (1980) und Bernard (1991) ein an die präkambrischen Mafite und Ultramafite des Ransko Massivs gebundenes Cu-Ni-Vorkommen. Die Sulfidlager, deren Nebengestein teils alteriert ist, bestehen vor allem aus Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pentlandit. Nach Pouba & Ilavský (1986) ist das Vorkommen primär allerdings geringgradig und nur der oxidierte Bereich wurde im 19. Jahrhundert auf Fe und Ni abgebaut. Bei Bukov beschreibt Bernard (1991) polymetallische Gänge mit U und einer nur aus Cu-Sulfiden bestehenden „post-Uran-Phase“. Außerdem nennt Bernard (1991) noch einen Quarz-Karbonat-Chalkopyrit-Gang bei Újezd Sv. Kříže mit 0,3% Cu.

**Lausitz und Westsudeten:**

Teils auf deutschem und teils auf tschechischem Gebiet liegt eine Gruppe von Ni-Cu-Vorkommen südlich von Bautzen. Dazu gehören Rožany, Kunratice, Sohland/Spree und einige kleinere Vorkommen (u.a. Grenzland, Dahrner Berg und Angstberg – Bernard 1991, Mochnacka et al. 1995). Rožany und Kunratice beschreiben Pašava et al. (2001) als Imprägnations- und Massiv-Erze in alterierten gabbroischen Gängen, die auf ein Alter von 400 Mio. Jahre datiert sind. Bei Kunratice fand ein Abbau ab dem 15. Jh. zunächst auf Ag und im 17. Jh. auf Cu statt. Bei Rožany wurde Anfang des 20. Jh. ein Erz mit ca. 3% Ni gefördert. Hier ist eine 1-2m mächtige Massiverzlinse von einer 1,5-2,5m mächtigen Imprägnationszone umgeben. Die Mineralisation besteht vor allem aus Fe-, Ni- und Cu-Sulfiden. Bei Sohland/Spree ist nach Oelsner (1954) ein mafischer Gesteinsgang, der den Lausitzer Granit durchschlägt, epigenetisch vor allem im Bereich von Störungszonen vererzt. Nach Beck (1903) und Walther & Dill (1992) hat das Reicherz bei Sohland Gehalte von 4-5% Ni und 2% Cu und für den Eisernen Hut nennt Beck (1903) bis zu 15% Cu. Nach Bernard (1991) wurde bei Sohland und Rožany ab dem 15. Jahrhundert Cu abgebaut.

Bei Görlitz beschreibt Petrascheck (1934) das Gangvorkommen von Ludwigsdorf mit mehreren bis 2m mächtigen Quarzgängen mit Cu-, Fe- und Pb-Sulfiden, Baryt und Karbonaten. Der primär geringe Cu-Gehalt ist durch eine tiefreichende Verwitterung stark erhöht (bis 39%).

Das bedeutendste Kupfervorkommen in den Westsudeten ist Miedzianka (dt. Kupferberg). Nach Zimnoch (1978) und Pieczka et al. (1988) ist dieses Gangrevier zwischen den Städten Miedzianka und Ciechanowice östlich des Karkonosze-Granites eingeteilt in vier Erzfelder: das westliche, das mittlere, das östliche und das nördliche (Abb. 4.2.12). Das Nordfeld nördlich der Bobr führt jedoch nur eine Pb-Vererzung. Ein Abbau fand vom 12. bis in das 20. Jh. vor allem auf Cu statt (Chalkopyrit ist Hauptbestandteil der Mineralisation). Daneben führen die Gänge As, Pb und untergeordnet Zn, Ag, Au und U. Das Nebengestein (altpaläozoische bzw. präkambrische metamorphe vulkanosedimentäre Gesteine wie Quarz-Glimmerschiefer, Phyllonite und Amphibolite) ist in Gangnähe chloritisiert. Die Mineralisation ist mehrphasig, wobei die Mehrzahl der Gänge als jünger als der oberkarbonische Karkonosze-Granit und dessen Gangfolge, aber älter als einige oberkarbonische Porphyrgänge eingestuft wird. Die älteste Vererzungsphase, eine metasomatische Magnetit-Mineralisation, tritt nur im Westfeld auf. Die polymetallische gangförmige Hauptmineralisation mit Cu-, Fe-, As-, Co-, Ag-, Zn-, Pb-Sulfiden und Sulfosalzen, Bi-Mineralen, versch. Arseniden, Cassiterit, U-Mineralen und zahlreichen verschiedenen Gangartmineralen unter denen Chlorit und Quarz dominieren, ist am weitesten verbreitet. Jüngere Paragenesen auf selbständigen Gängen oder in älteren Gängen bestehen aus Quarz, Galenit, wenig Cu-Erzen, Fluorit, Baryt und Karbonaten. Osika (1990) gibt eine Gesamtproduktion von 2300t Cu an.

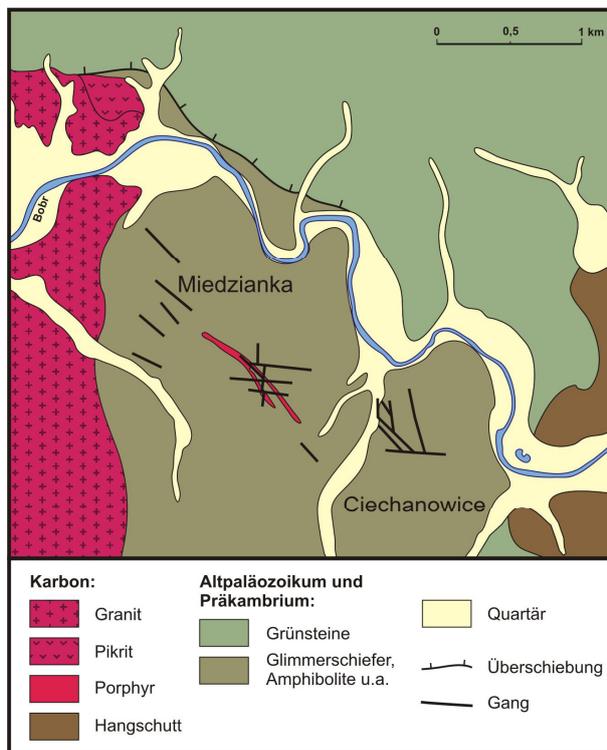


Abb. 4.2.12: Geologische Karte mit den verschiedenen Teilrevieren von Miedzianka ohne das Nordfeld (vereinfacht nach Zimnoch 1978).

Radzimowice bzw. Stara Gora (die Benennung variiert) wurde zuletzt von Mikulski (2005) beschrieben. Für dieses Au-As-Cu-Gangvorkommen im Südosten des Kaczawa Komplexes wird im 12. Jh. erstmals ein Abbau auf Au und Cu im Eisernen Hut erwähnt. Die Vererzung folgte auf die Intrusion eines oberkarbonischen Dacites in eine altpaläozoische, niedriggradig metamorphe vulkanosedimentäre Abfolge (Abb. 4.2.13). Die Mineralisation ist mehrphasig. Das Nebengestein (Dacit und Metamorphite) ist alteriert. Die goldreichsten der bis 1,4m mächtigen Quarz-(Karbonat)-Sulfid-Gänge haben einen durchschnittlichen Goldgehalt von  $18\mu\text{g/g}$ . Im Allgemeinen liegen die Metallgehalte bei 1-20% As, 0,8-8,2% Cu und  $40-400\mu\text{g/g}$  Ag. Im Dacit kommen teils auch „stockwork“- und disseminierte Vererzungen vor. Der Erzmineralbestand ist vielfältig und umfasst Cu-, Fe-, As-, Co-, Ni-, Zn- und Pb-Sulfide, Sulfosalze, gediegen Gold und Elektrum, Telluride und Bi-Mineralen.

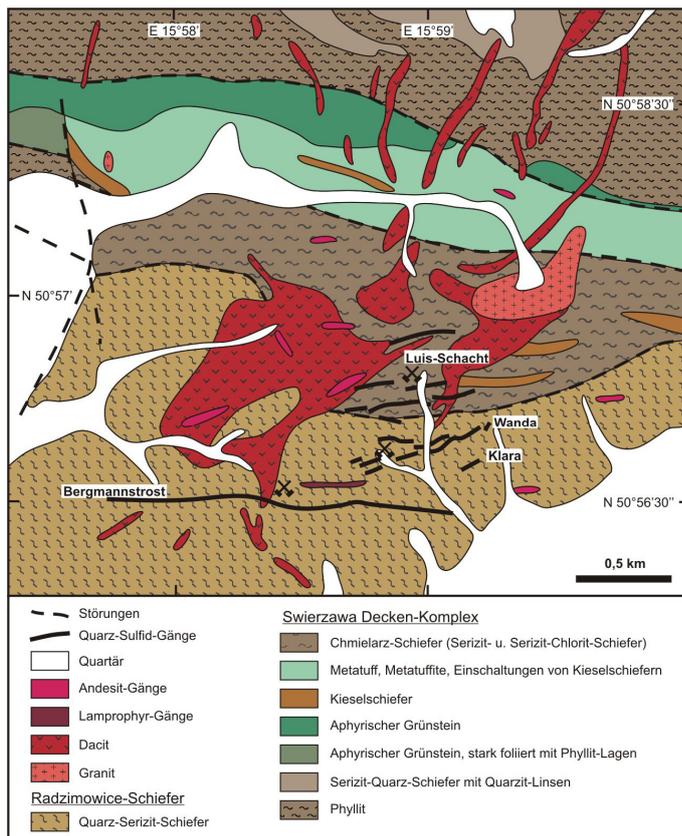


Abb. 4.2.13: Geologische Karte mit den wichtigsten Gängen von Radzimowice (vereinfacht nach Mikulski 2005).

An mehreren Stellen in den Westsudeten kommen polymetallische U-führende Gänge vor. Dies sind Kowary und Kletno (Fluorit-Karbonat-Quarz-Baryt-Gänge – Chrt et al. 1966, Jerzmanski 1976, Bernard 1991, Mochnacka et al. 1995), Černý Důl (mit U, Cu, Ag, Ni, Co und Bi – Bernard 1991, Mochnacka et al. 1995), am Südwestrand des Karkonosze-Granites Panenská Hůrka und Andelská Hora (mit U, Cu, Pb, Zn, Ag, As u. a. – Pošmourny 1970, Mochnacka et al. 1995), sowie Dzieńmorowice (Quarz-Baryt-Kalzit-Gänge mit Fe-, Pb-, Zn-, Co-, Cu-, Bi-, Ni und Sb-Sulfiden – Mochnacka et al. 1995). Bei Pilchowice beschreiben Mochnacka et al. (1995) polymetallische Quarz-Sulfid-Gänge. Mehrere stratiforme Vorkommen von Buntmetallsulfiden unsicherer Genese treten am Süd- und Südostrand des Karkonosze-Granites auf: Bei Obří Důl sind dies Fe-, As-, Cu- und Zn-Sulfide, Scheelit, sowie Cassiterit und bei Rokytnice nad Jizerou hauptsächlich Cu-, Pb- und Zn-Sulfide (Mochnacka et al. 1995). Bernard (1991) beschreibt Obří Důl als sulfidführenden Magnetitskarn mit hohen Cu-Gehalten und bei Rokytnice einen kleinmaßstäblichen Abbau auf Cu und Ag vom 16. bis zum 19. Jh. In den Baryt-Quarz-(Fluorit)-Gängen von Boguszów kommen untergeordnet Pb-, Zn- und Cu-Sulfide vor (Osika 1986, Bernard 1991, Mochnacka et al. 1995), wurden aber nach Paulo (1994) mit Unterbrechungen vom 15. bis zum 19. Jh. abgebaut. Bei Chełmiec führt einer von mehreren Baryt-Siderit-Hämatit-Gängen Chalkopyrit (5,7% Cu) und wurde auf Ag-haltigen Galenit und Cu-Erze abgebaut (Jerzmanski 1976, Osika 1986, Osika 1990). Medny vrch bei Nove Mesto ist nach Pouba & Sattran (1980) ein kleines Vorkommen disseminierten Chalkopyrits (oberflächennah gediegen Cu und Sulfate) in Pyrit-führenden Schwarzschiefern. Jerzmanski (1976) beschreibt noch einige Baryt-Gangvorkommen in den Westsudeten, in denen auch Cu-Sulfide auftreten. Dies sind Przygorze (Quarz, Baryt, Pb-, Zn-, Cu- Fe-Sulfide), Mecinka (Baryt, Siderit, Quarz, Zn-, Pb-, Cu-, Fe-Sulfide), Jeżów Sudecki (Baryt, Fluorit, Karbonat, Quarz, Pb-, Zn-, Cu-Sulfide) und Podgórze (Baryt-Fluorit-Kalzit-Quarz, Pb-, Zn-, Cu-, Fe-Sulfide).

#### Moravo-Silesikum:

Das bei Pouba & Sattran (1980), Pouba & Ilavski (1986), Bernard (1991) und Aichler et al. (1995) beschriebene Revier Zlate Hory umfasst mehrere Teilreviere: Zlate Hory Süd, Ost und West. Der Hauptteil der Mineralisation stratiform (Lagen und Linsen) in devonischen Quarziten, Graphitschiefern, Chloritschiefern, Chloritquarziten und Metavulkaniten (Abb. 4.2.14).

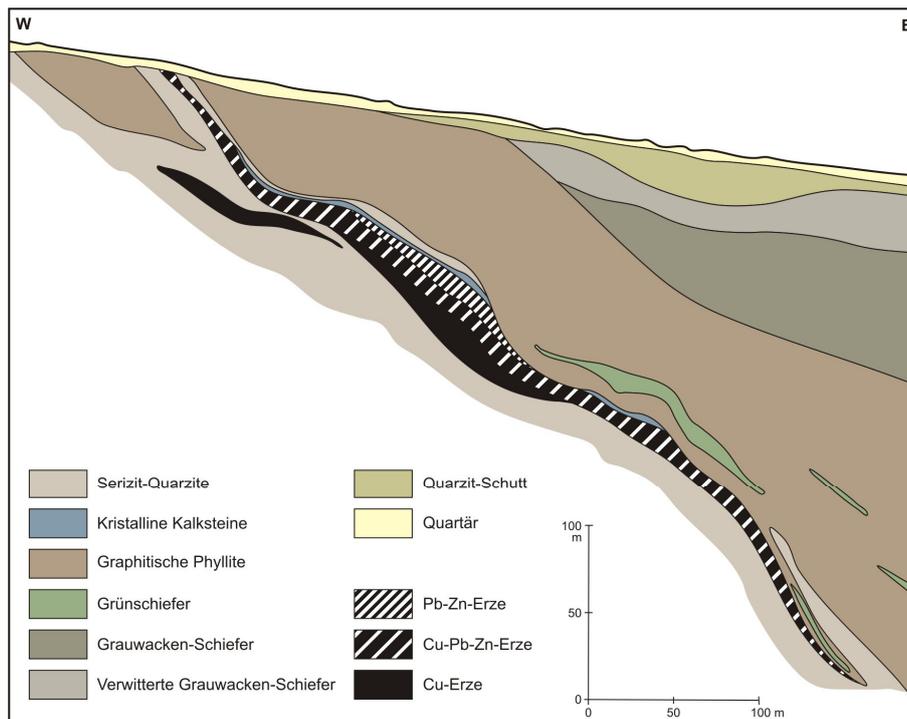


Abb. 4.2.14: Profil durch das Erzrevier Zlate Hory Ost nach Pouba &amp; Sattran (1980).

Haupterzminerale sind Fe-, Cu-, Pb- und Zn-Sulfide (meist disseminiert, selten massiv). Hinzu kommen gediegen Au, Pyrrhotin, Arsenopyrit und Tennantit. Im Revier Zlate Hory Süd dominieren Cu-Erze, Ost und West sind dagegen polymetallisch. Quarzgänge mit Chalkopyrit und monometallische Cu-Erzkörper in Zlate Hory Süd stellen Remobilisationen dar. Da sich Quarzite und Quarz-Keratophyre nur schwer unterscheiden lassen, ist unklar, ob die Mineralisation nur in den Metasedimenten oder auch in den Metavulkaniten auftritt und damit vom VHMS- oder SHMS-Typ ist. Seit dem 13. Jahrhundert wurden Cu und Au abgebaut, später auch Pb, Zn und Fe.

Die übrigen Vorkommen im Moravo-Silesikum sind Gangvorkommen. Bei Ludvíkov beschreibt Bernard (1991) mehrere Meter mächtige Cu-Sulfid-Gänge. Bei Bohutín nahe Šumperk kommen nach Bernard (1991) und Losos et al. (1994) Quarz-Karbonat-Chalkopyrit-Gänge mit Baryt vor. Aichler et al. (1995) stellen auf einer Karte zwischen Bohutín und Zlate Hory, sowie südwestlich von Jeseník noch zahlreiche Cu-Gangvorkommen dar. Bei Nýznerov und Staré Město pod Sněžníkem kommen nach Losos et al. (1994) Quarz-Karbonat-Baryt-Gänge mit Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit und Pyrit vor. Im Svatka Dom nordwestlich von Brünn liegt der Štěpánov Distrikt mit Pb-Zn-Cu-Ag-Sulfid-Gängen, von denen vor allem die bei Borovec, Švařec u Štěpánova, Koroužné und Horní Čepí höhere Cu-Gehalte aufweisen (Ilavský & Sattran 1980, Bernard 1991, Aichler et al. 1995).

#### Nordböhmisches Kreidesenke und Innersudetisches Becken:

Auch in der postvariszischen Bedeckung des Böhmisches Massivs gibt es Kupfervorkommen. Maršovický vrch bei Duba ist nach Pouba & Sattran (1980) und Bernard (1991) eine disseminierte Cu-Sulfid-Vererzung mit Pyrit in Paläorhyolithen und Porphyroiden. Bei Doubice und Brtniky erwähnen Pouba & Sattran (1980) und Mochnacka et al. (1995) Gangvorkommen mit Cu-Pb-Zn-Sulfiden in jurassischen Sedimenten. Im Innersudetischen Becken, bei Rudník, Okrzeszyn und Nowa Ruda, treten schichtgebundene disseminierte Cu-Mineralisationen im Oberkarbon und Rotliegend auf, die lokal auch auf Cu abgebaut wurden (Čadkova 1971, Ilavský & Sattran 1980, Pouba & Sattran 1980, Osika 1986, Bernard 1991, Mochnacka et al. 1995). Hierzu gehören Oberkarbon-Kohleflöze, die unterpermischen Schwarzschiefer der „Anthracosia Shales“ und andere teils bituminöse Ton- oder Sandsteine des Rotliegend. Die Cu-Gehalte in Form von Sulfiden und teils Karbonaten reichen von 0,1% bis 5% und die Mächtigkeiten der vererzten Lagen bis 1,5m. Lokal wird die Cu-Mineralisation von Zn, Pb und U begleitet. Sehr ähnlich sind die kleinen Cu-Vorkommen im Permokarbon bei Český Brod östlich von Prag (Chrt et al. 1966, Pouba & Sattran 1980, Bernard 1991). Bei Rožtoky nad Labem durchschlagen nach Ilavský & Sattran (1980) und Bernard (1991) Kalzit-Pb-Zn-Cu-Sulfid-Gänge die tertiären Vulkanite.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Kupfervorkommen gehören sehr verschiedenen Lagerstättentypen an, auf deren prähistorisches Nutzungspotential hier kurz eingegangen werden soll.

Grundsätzlich gilt, dass sich bei Ausstreichen an der Oberfläche sekundäre Kupferreicherze bilden können (Zementations- und Oxidationszone mit sekundären Sulfiden wie Chalkosin, sowie gediegen Kupfer, Kupferoxiden, Kupferkarbonaten). Diese können z.T. massive Krusten bilden und in der Bronzezeit auch dann genutzt worden sein, wenn die primäre Vererzung selbst nur ein geringes bronzezeitliches Abbaupotential besitzt. Die Handklaubung solcher Sekundärvererzungen an der Oberfläche hat unweigerlich zu einer sehr frühen und quantitativen Entfernung dieser Erze geführt. So dass von der heutigen geringen Häufigkeit solcher Oberflächenerze nicht auf ihre bronzezeitliche Verfügbarkeit geschlossen werden kann. Nicht nur hinsichtlich der Bildung von sekundären Reicherzen, sondern auch für die Auffindbarkeit der Vererzungen in der Bronzezeit ist Oberflächennähe ein wichtiges Kriterium, denn den bronzezeitlichen Bergleuten standen keine tiefreichenden modernen Explorationsmethoden zur Verfügung. Das auch heute noch im Richelsdorfer Gebirges zu beobachtende Auftreten von blauem Azurit, grünem Malachit und vor allem leuchtend pinkfarbiger Kobaltblüte (Erythrin) an der Oberfläche im Bereich von Gangvererzungen im Kupferschiefer vermittelt einen Eindruck davon, dass solche Sekundärerze in der Bronzezeit auffällig und weithin sichtbar gewesen sein dürften.

Gangerze, von denen es zahlreiche Beispiele im ganzen Arbeitsgebiet gibt, sind reiche Erze und liefern vielfach massives Kupfererz. Sie haben damit das höchste Potential für einen bronzezeitlichen Bergbau. Sulfid-Lager vom VHMS- und SHMS-Typ (z.B. Rammelsberg, Kupferberg-Neufang, Bodenmais, Zlate Hory, Měděnec) sind in der Zusammensetzung des Primärerzes variabel und sicher waren sie nicht als Ganzes in der Bronzezeit nutzbar. Oft gibt oder gab es aber Cu-reichere Lagen oder Erzkörper, die genutzt worden sein können. Aus der Beschreibung der Kupferschiefermineralisation weiter oben geht schon hervor, dass diese keinesfalls als einheitlich anzusehen ist. Die Gangvererzungen im Kupferschiefer sind Reicherze und haben damit den gleichen Stellenwert wie zum Beispiel die Gänge im Harz. Oft werden sie jedoch unter dem Sammelbegriff Kupferschiefer subsumiert. Die Kupferschiefervererzung *sensu lato* muss auch differenziert betrachtet werden. Die Metallzonierung macht diese nicht überall gleich hoffig, sondern vor allem bzw. nur in der Kupferzone, wo die Cu-Gehalte einige Prozent erreichen. Auch die stratigraphische Position, in der die höchsten Kupfergehalte auftreten, variiert und damit die Art des Nebengesteins (Sanderz, Weißliegendkonglomerat, Schwarzschiefer oder karbonatisches Gestein). Man kann also keine allgemein gültige Aussage zum Abbaupotential der Kupferschiefervererzung treffen, sondern nur für konkrete Erztypen und einzelne Vorkommen entlang des Kupferschieferausbisses.

Ähnlich differenziert sind die teils schichtgebundenen, teils gangförmigen Vererzungen in Schwarzschiefern im Rheinischen Schiefergebirge (z.B. Marsberg) zu betrachten, wobei hier die disseminierte Vererzung erst durch die sekundäre Anreicherung ein gewisses Abbaupotential erhält. Bei einigen Lagerstättentypen weist die Primärvererzung überhaupt eher geringe Cu-Gehalte auf. Bei sekundärer Anreicherung ist aber auch hier durchaus eine bronzezeitliche Nutzung vorstellbar. Hierzu gehören disseminierte Mineralisationen in Rotsedimenten des Buntsandsteins und des Rotliegend (z.B. Wrexen, Brattendorf, Zwickau) und in bituminösen Sedimenten (Innersudetisches Becken), der Typ Porphyry Copper (z.B. Petráčkova Hora), die an Diabase gebundenen disseminierten Cu-Ni-Vorkommen in Lahn- und Dillmulde und die Ni-Cu-Vorkommen (Imprägnations- und Massiv-Erze) um Sohland/Spree. Greisenvererzungen in oder im Umfeld von magmatischen Intrusionskörpern führen teils nennenswerte Mengen an Cu-Sulfiden (auch hier eher in Gängen, als in den disseminiert vererzten Greisenkörpern), so dass dieser Lagerstättentyp nicht außer Acht gelassen werden kann. Zu der stratiformen Vererzung im Oligozän bei Langendernbach macht die Literatur kaum Angaben, so dass dieses Vorkommen der Vollständigkeit halber in diesem Kapitel mit erwähnt ist, ihr bronzezeitliches Potential aber derzeit nicht eingeschätzt werden kann.

Zu Helgoland, wo in den Sandsteinen sekundäre Reicherze vorkommen, ist noch anzumerken, dass sowohl die Insel als auch das Kupfervorkommen selbst in prähistorischer Zeit wahrscheinlich leichter zu erreichen waren als heute. Zum einen wurde die Insel vor dem Bau der Uferbefestigungen vom Meer in erheblichem Maß abgetragen. Das heißt, die Kupfermineralisation strich noch in historischer Zeit leicht erreichbar im Oberland aus (Lorenzen 1965, Stühmer et al. 1978, Hänsel et al. 1980, Hänsel & Schulz 1980). Zum anderen drang die Nordsee nach Ende der letzten Eiszeit nur allmählich nach Süden vor, so dass Helgoland nach Osten hin noch eine Zeit lang Verbindung zum Festland hatte (Pratje 1923, Lorenzen 1965, Schmidt-Thomé 1987). Wie lange diese Verbindung bestand, darüber macht die Lite-

ratur keine genauen Angaben. In der Bronzezeit kann Helgoland also zumindest bei Niedrigwasser zeitweilig zu Fuß erreichbar gewesen sein, oder über eine Reihe von Inseln mit schmalen Meeresarmen dazwischen. Dass Helgoland für die Menschen des Neolithikums und der Bronzezeit erreichbar gewesen ist, darauf weisen nicht nur Funde von Werkzeugen und Rohmaterial aus Helgoländer Flint in Norddeutschland und den Niederlanden hin (Beuker 1988), sondern auch die schon in Kapitel 2 erwähnten bronzezeitliche Grabhügel (Stühmer et al. 1978, Hänsel et al. 1980, Beuker 1988).

## 5. Die Ergebnisse

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die beprobten Vorkommen. In Klammern stehen jeweils Probenanzahl, Vererzungstyp und eine Einschätzung des bronzezeitlichen Abbaupotentials. Eine Karte (Abb. 5) zeigt die Lage der Kupfervorkommen. Im Anhang ist in Tabelle A1 noch einmal zu allen Proben (in alphabetischer Reihenfolge) deren Herkunft angegeben.

- **Helgoland** (6; disseminiert in Sandstein, mögl. bronzezeitliche Nutzung: wahrscheinlich),
- **Harz: Gruben „Glückauf Tiefenbach“** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Prinz Karl“** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar) und **„Braunschweigische Zeche“ bei Treseburg** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Grube „Langes Holz“ an den Großen Brettenbergen** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Ostteil des Güntersberge-Biwender Gangzugs** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Straßberg-Neudorfer Gangzug** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Flußschacht“ bei Rottleberode** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Gang an der Bärenhöhe** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Kupferberg und „Herzog Ludwig unterm Unterberg“ bei Trautenstein** (je 2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Henriette“ bei Sieber** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **nicht näher bezeichnete Grube und „Kupferrose“ bei Bad Lauterberg** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Bad Grund** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
- **Kyffhäuser: Grube „Goldener Mann“** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
- **Kupferschiefervererzung sensu lato: am Harz bei Wettelrode** (8; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: übertage denkbar, untertage in Teufe der Probenahmeorte unwahrscheinlich), **bei Rottleberode** (3; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar) und **bei Bad Lauterberg** (2; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **am Kyffhäuser** (1; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **bei Dobis und Könnern** (je 4; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **am Südrand des Thüringer Waldes bei Epichnellen** (1; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **in der Nordsudetischen Mulde** (5; disseminiert, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
- **Gangvererzung im Kupferschiefer: bei Mansfeld** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **bei Kamsdorf** (4; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **am Südrand des Thüringer Waldes bei Seligenthal** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
- **Ostrheinisches Schiefergebirge: Bad Wildungen-Bergfreiheit** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Marsberg** (10; disseminiert in Schwarzschiefern und gangförmig, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Elisabeth“ bei Engelbach** (1; disseminiert in Schwarzschiefern und gangförmig, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Dillmulde mit „Gottesgabe“ bei Roth** (4; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Alter“ und „Neuer Constanze“ bei Eisemroth** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Amalie“ bei Amelose** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Boxbach“ bei Hesselbach** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Stangenwaage“ und „Eisenberg“ bei Donsbach** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Grube „Teutsch“ bei Gönnern** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **„Constanze“ bei Langenaubach** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Niederrossbach** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar) und **„Selnbach“ bei Wiesenbach** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Siegerland mit „Brüderbund“ bei Eiserfeld** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Grube „Storch und Schöneberg“** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),

- denkbar), „**Alte Dreisbach**“ (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar) und „**Silberwiese**“ bei **Oberlahr** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), sowie **Distrikt Untere Lahn mit Grube „Holzappel“** (3; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Gangzug Bad Ems-Braubach** (5; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar) und **Werlau** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
- **Thüringer Wald: Tannenglasbach** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), „**Kupferstollen**“ bei **Gießübel** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Katzmannstal bei Möhrenbach** (2; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Stechberg bei Gehren** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
  - **Thüringer Schiefergebirge: Kirchberg bei Böhlen** (1; Typ unsicher, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Frankenwälder Sideritgänge mit „Friedenszeche“ bei Bad Steben** (1), „**Friedrich-Wilhelm-Stollen**“ bei **Lichtenberg** (1) und einer **Halde bei Lichtenberg** (1) (Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar)
  - **weitere Vorkommen in Thüringen: Gangvererzung im Dolomitsteinbruch Caaschwitz bei Gera** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: unwahrscheinlich), **Chrieschwitz bei Plauen** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
  - **Fichtelgebirge: Grube „Bayerland“ bei Waldsassen** (2; SHMS, metamorph überprägt, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
  - **Hinterer Bayerischer Wald: Silberberg bei Bodenmais** (4; SHMS, metamorph überprägt, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
  - **Lausitz und Westsudeten: Rosenhain (Rožany) bei Sohland** (1; disseminiert bis massiv in mafischen Gängen, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Miedzianka** (4; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Radzimowice bzw. Stara Gora** (4; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar),
  - **Moravo-Silesikum: Rubotin bei Mährisch Schönberg (Šumperk)** (1; Gang, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar), **Zlate Hory** (1; VHMS?, mögl. bronzezeitliche Nutzung: denkbar)

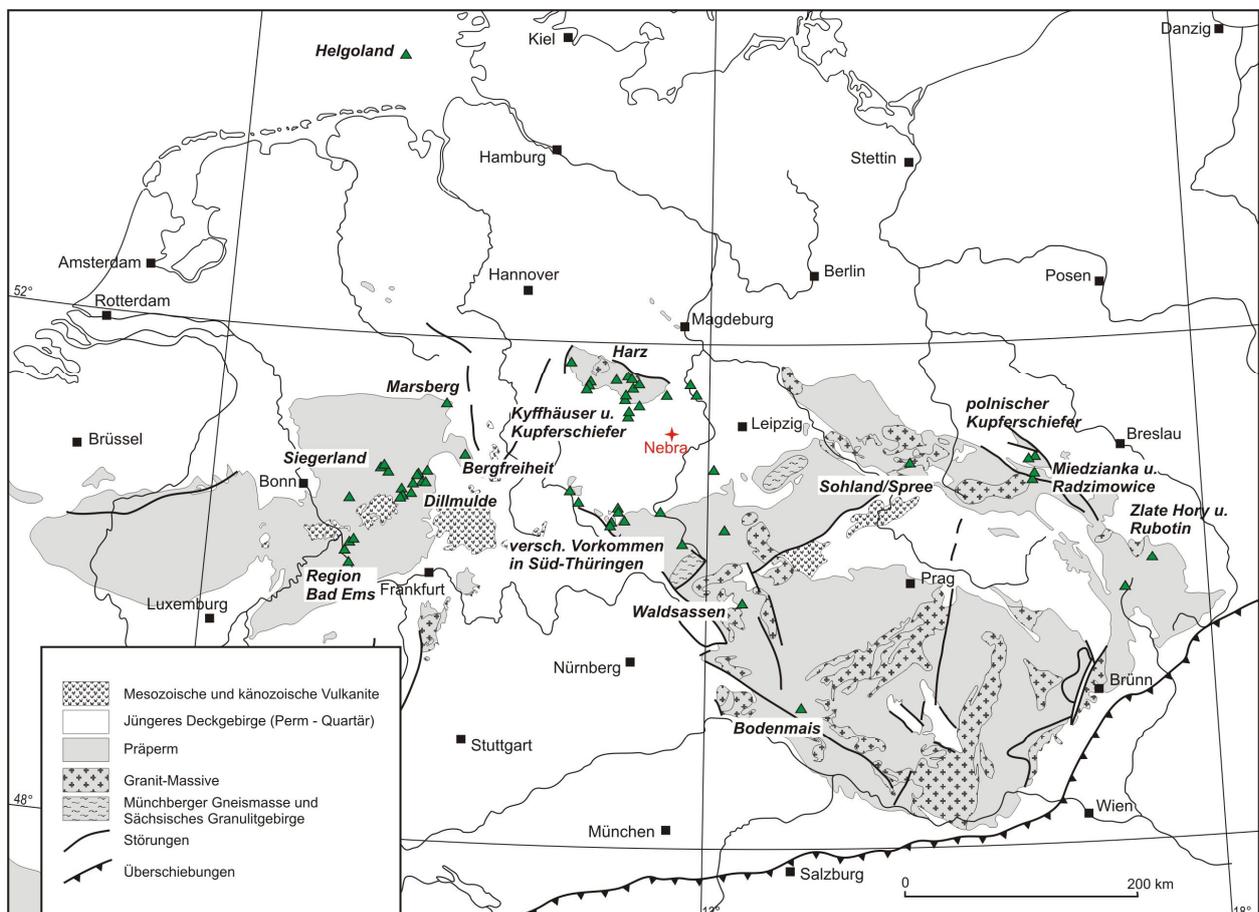


Abb. 5: Karte der beprobten Kupfervorkommen. (geologische Basis nach Walther & Dill 1992).

## **5.1. Petrographische Charakterisierung von Erzen und Nebengestein**

Im Folgenden wird das Probenmaterial makroskopisch und mikroskopisch beschrieben. In Einzelfällen wurden Minerale auch am REM bestimmt. Wo paragenetische Mineralisationsabfolgen erkannt wurden, wird auf deren zeitliche Abfolge eingegangen, ebenso auf die Herkunft der Proben (z.B. Sammlungsmaterial) und darauf, welchen Teil des Vorkommens sie jeweils repräsentieren.

### ▪ **Helgoland:**

Die Proben Hlg-6, Hlg-7, Hlg-8, Hlg-10, Hlg-17 und Hlg-20 stammen von der Nordwestspitze Helgolands, nahe der Langen Anna (Hlg-17 und -20 von einem lokalen Sammler). Nebengestein ist roter gleichkörniger Sandstein mit schlecht gerundeten Quarzkörnern, wechselnden Anteilen von Kalzit-Zement und tonigem Material und untergeordnet Feldspat und Hellglimmer. Sie zeigen teils Schrägschichtung, Trockenrisse, oder mm bis cm große grüngraue tonige Schmitzen. Die Mineralisation ist unregelmäßig-bandförmig bis wolkelig in cm bis dm mächtigen Lagen (Abb. 5.1.2). Der rote Sandstein ist einige cm um die Mineralisation gebleicht. Cuprit und Malachit sind fein verteilt in Zwickeln, oder bilden bis cm große Aggregate (Abb.5.1.1) bis massive Bänder. Cuprit umschließt oft gediegen Kupfer, das teils schon mit bloßem Auge erkennbar ist. Die mit Cuprit, Malachit und gediegen Kupfer vererzten Bereiche werden oft gesäumt von einer deutlich geringeren Mineralisation fein verteilten Malachits.

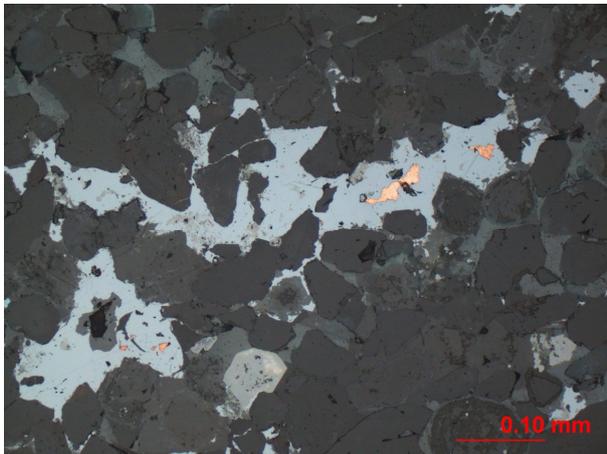


Abb. 5.1.1: Sandstein mit Cuprit (bläulich), gediegen Kupfer (orange) und Malachit (hellgrau) in Probe Hlg-6 (Auflicht).



Abb. 5.1.2: Foto eines Stückes der Probe Hlg-6.

### ▪ **Harz:**

#### **„Glückauf Tiefenbach“ bei Treseburg:**

Die Proben TresTf-1 und TresTf-2 (Abb. 5.1.3 und 5.1.4) kommen aus der Pinge von Schacht Max im Tiefenbachtal zwischen Treseburg und Friedrichsbrunn.



Abb. 5.1.3: Foto eines Stückes der Probe TresTf-1 (weißer Gangquarz mit Chalkopyrit).



Abb. 5.1.4: Foto eines Stückes der Probe TresTf-2. Es besteht zu einem großen Teil aus braun angelaufenem Pyrrhotin.

Es sind Stücke aus dem Gang, mit grobem weißen bis feinem grauen Quarz als Gangart. Darin sitzen bis cm große Aggregate aus Chalkopyrit, Pyrrhotin und Pyrit. In geringer Menge kommen auch gediegen Bi (in Probe TresTf-1, Abb. 5.1.5) und Arsenopyrit (in TresTf-2, Abb. 5.1.6) vor. In TresTf-1 herrscht Chalkopyrit vor, in TresTf-2 Pyrrhotin. In TresTf-2 ist der Pyrit zerbrochen mit Chalkopyrit auf den Rissen (Abb. 5.1.6). Nach LAGB, Hesemann (1930) und Schwanecke (1949) dominieren in den oberen Gangbereichen Chalkopyrit und Pyrit und in größerer Tiefe Pyrrhotin. Demnach stammt TresTf-1 aus dem oberen Bereich und TresTf-2 aus dem tieferen Bereich. In der Gangfüllung kommen zahlreiche Nebengesteins-Bruchstücke vor (dunkler Pyrit-haltiger Tonschiefer – nach LAGB und Schroeder et al. 1927 Wissenbacher Schiefer, unteres Mitteldevon).

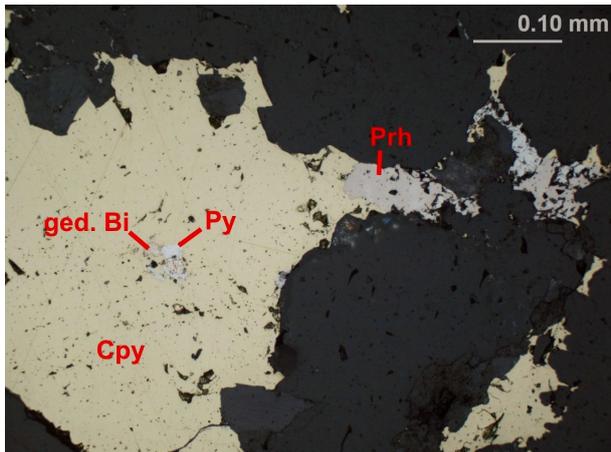


Abb. 5.1.5: Chalkopyrit (Cpy), Pyrrhotin (Prh), Pyrit (Py) und gediegen Bi im Auflicht (Probe TresTf-1).

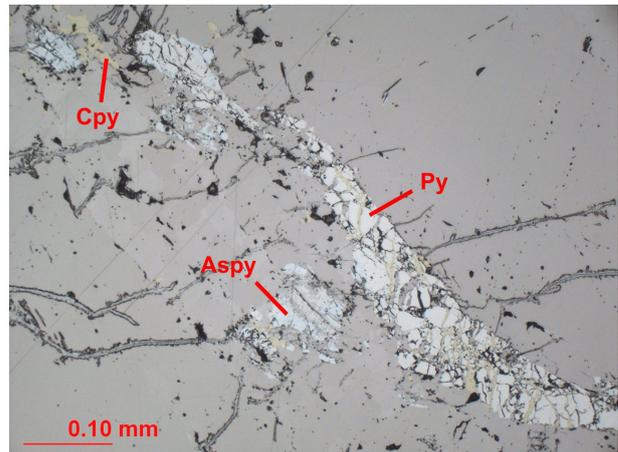


Abb. 5.1.6: Aggregate aus Pyrit (Py) und Arsenopyrit (Aspy) mit Chalkopyrit (Cpy) auf Rissen, daneben Pyrrhotin (Auflicht, Probe TresTf-2).

### „Prinz Karl“ bei Treseburg:

TresK-1 und TresK-2 stammen aus der Schachtpinge ca. 1,5km nordwestlich von Friedrichsbrunn, an der Straße zwischen Friedrichsbrunn und Thale. Sie ähneln den Proben von „Glückauf Tiefenbach“. TresK-1 ist ein Gangstück mit mm großen Chalkopyrit-Aggregaten (mit Covellin-Säumen, Abb. 5.1.7) und Pyrit in grobem weißem Gangquarz. TresK-2 besteht größtenteils aus einem Gemenge von feinem Quarz und grünem Chlorit mit meist idiomorphen Pyriten. Dies dürfte eine frühe Phase der Vererzung darstellen wie sie von Kuschka & Franzke (1974) beschrieben wird. Durchschlagen wird dieses Gemenge von Äderchen und unregelmäßigen Massen größerer weißen Quarzes mit Chalkopyrit-Aggregaten (oft mit Covellin-Saum) und untergeordnet Pyrit-Aggregaten. Verwitterungsbildungen auf Oberflächen und Rissen sind Limonit, Malachit und Azurit (Abb. 5.1.8).

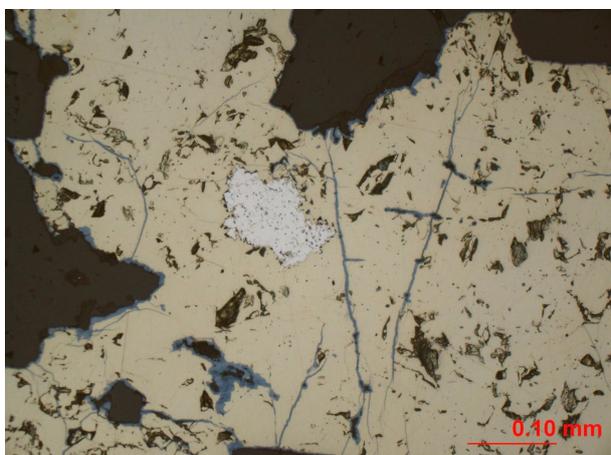


Abb. 5.1.7: Dünnschliff der Probe TresK-1 im Auflicht. gelb: Chalkopyrit, weiß: Pyrit, blau: Covellin.

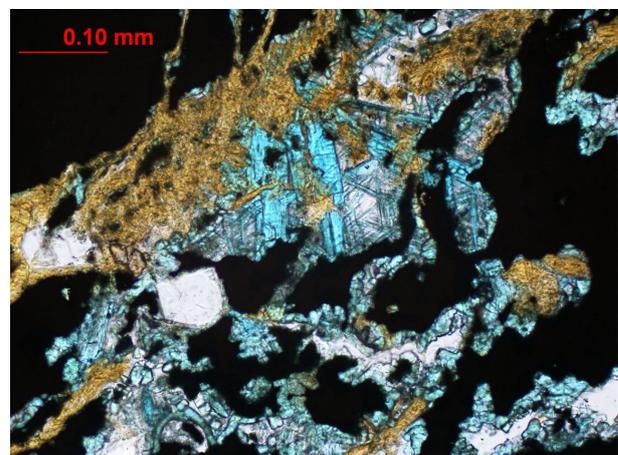


Abb. 5.1.8: Limonit (braun) und Azurit (blau) neben Erzmineralen (opak) in der Probe TresK-1 (Durchlicht).

**„Braunschweigische Zeche“ Treseburg:**

Tres-1 (Sammlungsstück) kommt von der Halde der „Braunschweigischen Zeche“ im Ort Treseburg. Die Probe besteht aus weißem Gangquarz mit zahlreichen bis einige cm großen schwarzen bis grauen Tonschieferklasten (nach LAGB Wissenbacher Schiefer) und bis cm großen Chalkopyrit-Aggregaten (oft Covellin-Säume). Nur mikroskopisch erkennbar sind wenige kleine, meist idiomorphe Pyrite (oft im Chalkopyrit eingeschlossen). Malachit, Azurit und Limonit überziehen verwitterte Oberflächen.



Abb. 5.1.9: Foto der Probe Tres-1. Im weißen Gangquarz sind vor allem die grauen Nebengesteinsklasten und die Kupfersekundärminerale zu erkennen.

**Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode:**

Östlich des Ortes Hüttenrode im Schöth-Tal liegt der Herzog-Carl-Gang mit der Halde, von der die Probe Hütt-1 nach Mitteilung des Privat-Sammlers stammt. Es handelt sich um ein Gangstück mit weißem Quarz und weißem bis blass grünem Fluorit als Gangarten. Darin sitzen bis 5mm große Pyrit-Aggregate, die teils umschlossen sind von bis 2cm großen Chalkopyrit-Aggregaten (Abb. 5.1.10). Der Chalkopyrit ist randlich zu Chalkosin verwittert (Abb. 5.1.11). Teils füllt Chalkosin zusammen mit Limonit Risse im Pyrit.



Abb. 5.1.10: Polierte Seite des Probenstückes. Die reiche Vererzung mit Chalkopyrit (dunkel gelb) und Pyrit (blassgelb) ist gut erkennbar.

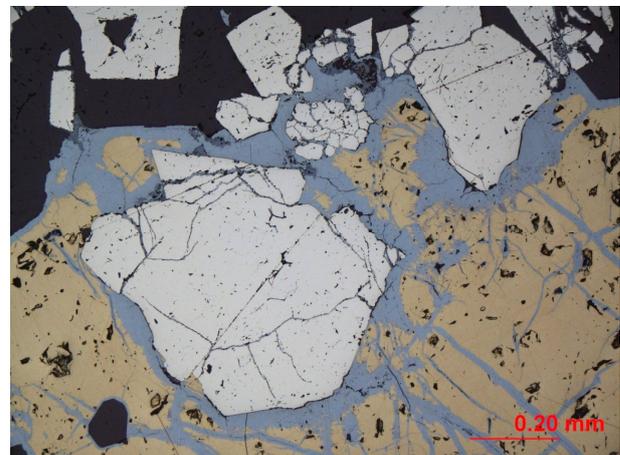


Abb. 5.1.11: Pyrit (weiß) wird von Chalkopyrit (gelb) umschlossen, der teilweise zu Chalkosin (bläulich) verwittert ist (Dünnschliff der Probe Hütt-1, Auflicht).

**Grube „Langes Holz“ an den Großen Brettenbergen:**

Die Probe Bret-1 ist ein Sammlungsstück. Bret-2 stammt aus der Pinge des rund 2,5km westlich von Mägdesprung im Tal des Brettenbergsbaches gelegenen Schachtes. Beide Proben sind Gangstücke mit Quarz als Gangart. Nebengesteinsklasten (makroskopisch dunkelgrau und leicht schiefbrig) bestehen in Bret-1 aus faserigem bis blättrigem grünem Chlorit und etwas Muskovit und Rutil und in Bret-2 aus feinem Quarz, Chlorit und Rutil. Es dürfte sich um Tonschiefer bis Quarzitschiefer des oberen Unterdevons handeln (LAGB, Dahlgrün 1928). Der Bestand an Erzmineralen umfasst bis cm große Chalkopyrit-Aggregate, untergeordnet Pyrit und sehr wenig Galenit. Diese treten oft in der Nähe von oder auf Äderchen in Nebengesteinsklasten (Abb. 5.1.12) auf. Ein wegen fehlender Kupfermineralisation nicht analysiertes Stück enthält Arsenopyrit in unregelmäßigen bis band-ähnlichen Aggregaten. Dabei sind die hyp-

idiomorphen Einzelkristalle in einigen Bereichen von xenomorphem Pyrit umwachsen (Abb. 5.1.13). Teils ist Arsenopyrit durch Chrysokoll, Limonit und Covellin verdrängt.

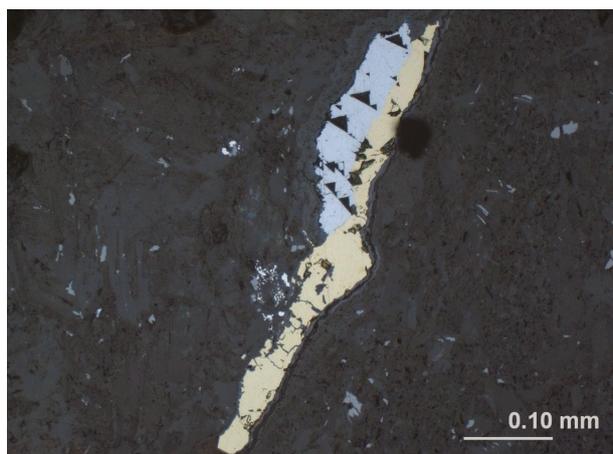


Abb. 5.1.12: Dünnschliff der Probe Bret-1 mit Chalkopyrit (gelb) und Galenit (hellgrau, leicht bläulich erscheinend) auf einem Äderchen in einem Nebengesteinsklast (Auflicht).

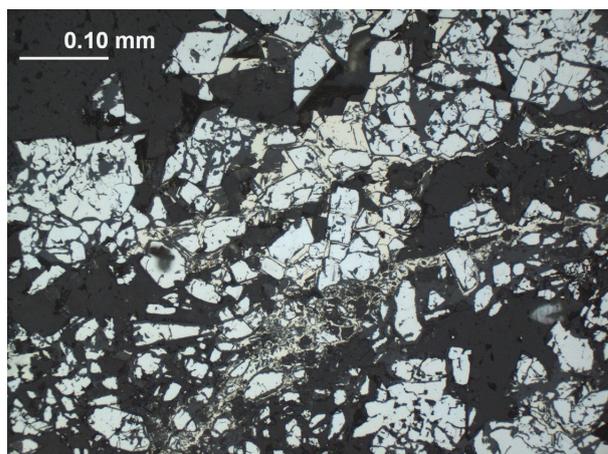


Abb. 5.1.13: Arsenopyrit (weiß) und Pyrit (cremefarben, v. a. oberhalb der Bildmitte) in einem nicht analysieren Probenstück vom Schacht „Langes Holz“ (Auflicht).

### Ostteil des Güntersberge-Biwender Gangzuges:

Der Fürst-Viktor-Friedrich-Zug bei Silberhütte, Teil des Güntersberge-Biwender Gangzuges, ist im Gelände gut an einem schmalen Pingenzug zu erkennen. Die östliche Fortsetzung, der Biwender Zug, wird von einem breiteren Pingefeld überdeckt. Die Proben Biw-1, Biw-2 und Biw-3 stammen aus der Pinge des „Glansschachtes“ (Biw-1), einer Pinge südöstlich davon (Biw-2) und im Falle des Sammlungsstückes Biw-3 von einer Pinge einige 100m nordöstlich vom Biwender Zug. Biw-1 ist ein Gangstück mit hellbraunem Siderit und weißem Quarz als Gangarten. Der Quarz durchschlägt den Siderit auf feinen Äderchen, an deren Rändern der Siderit verdrängt wird (Abb. 5.1.14). Erzminerale sitzen nur im Siderit. Pyrit und Chalkopyrit bilden mm große Aggregate. Bis cm große leistenförmige Markasit-Pyrit-Aggregate (Abb. 5.1.15) sind oft deformiert. Zwischen deren Einzelkristallen sitzt meist sehr feiner Quarz und teils Chalkopyrit. Solche Aggregate werden bei Oelsner et al. (1958) und bei Kuschka & Franzke (1974) als pseudomorph nach Pyrrhotin beschrieben. Biw-2 hat große Ähnlichkeit zu Biw-1. Markasit-Pyrit-Aggregate fehlen jedoch. Dagegen kommen Chalkopyrit und Pyrit selten auch randlich in den Quarz-Äderchen vor. Hinzu kommen schwarze Tonschieferklasten (nach Dahlgrün 1928 Tonschiefer des oberen Unterdevons). Bei Biw-3 tritt nur weißer Quarz als Gangart auf. Siderit oder ein anderes Karbonat war vorhanden, ist aber durch Limonit (der noch die Spaltrisse des Karbonates nachzeichnet), Malachit und Tenorit ersetzt. Erzminerale sind auch hier Chalkopyrit und Pyrit in mm großen Aggregaten. Auf der Halde der Grube „Fürst Viktor Friedrich“ fanden sich als weitere Gangarten noch Kalzit und blass grünlicher bis bläulicher Fluorit, sowie mit Galenit, Sphalerit, oder Arsenopyrit vererzte Stücke.



Abb. 5.1.14: Dünnschliff der Probe Biw-1. Quarz (grau) durchschlägt und verdrängt Siderit (braun).

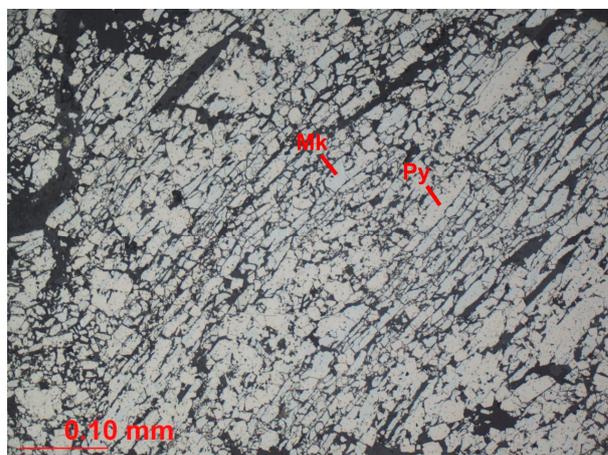


Abb. 5.1.15: Markasit-Pyrit-Aggregat (Markasit: Mk, Pyrit: Py) in der Probe Biw-1 (Auflicht).

Die Proben lassen sich nur schwierig in die Paragenese-Schemata von Kuschka und Franzke (1974) oder Stedingk et al. (2002) einordnen. Die leistenförmigen Pyrit-Markasit-Aggregate (Biw-1) werden als frühe Bildung beschrieben. Die Erzminerale im Siderit (Biw-1 und -2) dürften eine mittlere Stellung einnehmen und diejenigen auf querschlägigen Quarz-Äderchen (Biw-2) sind die jüngsten Bildungen (evtl. remobilisiert). In Biw-1 und -2 sind also wahrscheinlich insgesamt 3 Phasen der Vererzung anzunehmen. Das Verhältnis von Biw-3 zu Biw-1 und -2 ist unklar.

#### **Straßberg-Neudorfer Gangzug:**

Nd-1 bis -3 sind Sammlungsstücke. Nd-1 kommt aus dem „Glasebachschacht“ bei Straßberg, zu Nd-2 wird nur Neudorf als Herkunftsort angegeben und Nd-3 stammt von einer Halde der Grube „Neuhaus-Stolberg“ bei Straßberg. Nd-1 und -2 sind massive Gangerze. Nd-1 zeigt einen Wechsel von mm bis cm breiten, von Chalkopyrit bzw. Pyrit dominierten Bändern. Der Chalkopyrit umschließt oft den Pyrit und verdrängt diesen teilweise. Nd-2 besteht größtenteils aus Chalkopyrit (Abb. 5.1.16). Quarz (Nd-1) bzw. Quarz und Kalzit (Nd-2) in kleinen Aggregaten bilden die Gangart. Der Großteil der Probe Nd-3 besteht aus feinem Quarz und Tonmineralen. Der feine Quarz geht ohne deutliche Trennung in Aggregate größeren Quarzes über, die von Erzmineralen begleitet werden. Deutlicher abgrenzbar sind Tonschieferklasten. Im Quarz sitzen kleine Chalkopyrit-, Pyrit- und Arsenopyrit-Aggregate. Nicht mit Erzmineralen vergesellschaftet ist ein hellbraunes Karbonat, das teilweise zu Limonit verwittert ist. Limonit bildet mit Malachit und wahrscheinlich Brochantit kleine Aggregate und füllt Risse. Die Probe ist offenbar als eine Gangfüllung mit zahlreichen feinsten Nebengesteinseinschlüssen bis größeren Nebengesteinsklasten.



Abb. 5.1.16: Foto der Probe Nd-2.

#### **„Flußschacht“ bei Rottleberode:**

StoF-1 und StoF-2 sind Sammlungsstücke aus den Gängen des „Flußschachts“. Dieser steht an der Einmündung des Langen Tales in das Krummschlachtal, rund 3,5km nordöstlich von Rottleberode und rund 4km südöstlich von Stolberg. Gangarten sind Quarz und blassgrüner Fluorit. Darin eingesprengt sind cm große Chalkopyrit-Aggregate und im Chalkopyrit eingeschlossene idiomorphe Pyrit-Aggregate.



Abb. 5.1.17: Foto der Probe StoF-1 mit Chalkopyrit (gelb) in Fluorit (weiß).

### Bärenhöhe bei Trautenstein:

Knapp 4km südöstlich von Trautenstein liegt die Halde am Fuß der Bärenhöhe, von der die Probe TrtB-1 stammt. Die Probe besteht größtenteils aus Porphyry mit feiner grauer bis blass violetter Matrix und mehrere mm großen kaolinisierten Feldspateinsprenglingen. Unter dem Mikroskop zeigt sich aber nicht das typische porphyrische Gefüge, sondern das Gestein ist äußerst quarzreich und relativ grob. Weitere Gemengteile neben Quarz und vollständig durch Tonminerale ersetzten Feldspäten sind kleine Hellglimmer, Rutil und feine Schüppchen oder Aggregate von Hämatit. Der Porphyry der Bärenhöhe wird auch bei Schriel (1928) als mikrogranitischer Quarzporphyry beschrieben, der nur selten unzersetzt angetroffen wird. Die Vererzung ist im Nebengestein fein verteilt in Form von Chalkopyrit und wenig Pyrit auf feinen, meist nicht weit aushaltenden Äderchen (Abb. 5.1.19) und in kleinen Aggregaten. Größere Äderchen mit bis 1cm Breite (Abb. 5.1.18) sind auf der Halde selten. In den Äderchen tritt auch oft Gangquarz auf. Die Probe ist als imprägnativ vererztes Nebengestein anzusehen.



Abb. 5.1.18: Foto von einem Stück eines breiteren Chalkopyrit-Äderchens (Probe TrtB-1).

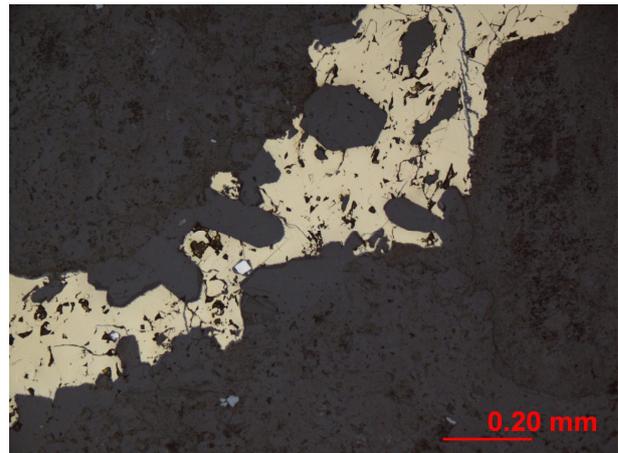


Abb. 5.1.19: Schmales Äderchen mit Chalkopyrit (gelb), Pyrit (weiß) und idiomorphem Quarz (dunkelgrau) im Auflicht.

### Halden am Kupferberg bei Trautenstein:

Von den Halden an einer Schachtpinge ca. 5km südsüdöstlich von Trautenstein, am Südwesthang des Kupferberges stammen die Proben TrtK-1 (von einem Sammler) und TrtK-2 (aus dem Gelände). TrtK-2 besteht aus Nebengestein mit Malachit (Abb. 5.1.21). Das Nebengestein, zeigt sich als hellbraune Grauwacke (nach Lossen & Beyrich 1928 Kulmgrauwacke) mit reichlich schlecht gerundeten Gesteinsbruchstücken in feiner Matrix, Quarzkörnern, Glimmern und vereinzelt Feldspat. Makroskopisch fallen bis mehrere cm große graue Ton-Schmitzen auf. Disseminierter, teils framboidaler Pyrit ist wahrscheinlich syndimentär. Malachit füllt zahlreiche Risse und Klüfte und bildet kleine Aggregate. TrtK-1 besteht dagegen aus ehemals massivem Chalkopyrit, der stark zu Limonit und Malachit verwittert ist (Abb.5.1.20). Im Chalkopyrit sitzen kleine eher xenomorphe Pyrit-Aggregate und wenige idiomorphe Gangquarze.

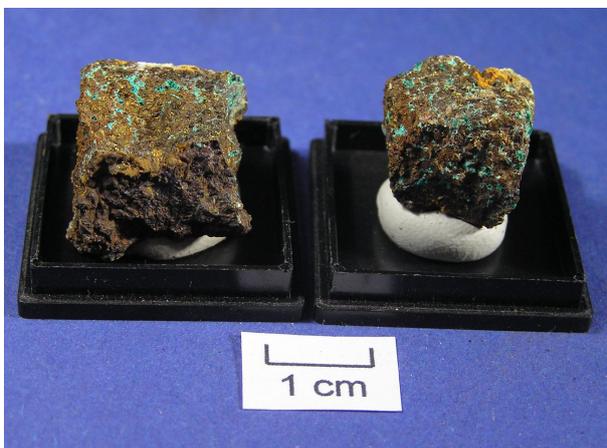


Abb. 5.1.20: Die beiden Stücke der Probe TrtK-1. Grüner Malachit und brauner Limonit sind gut zu erkennen.



Abb. 5.1.21: Malachitkruste auf einem Stück der Probe TrtK-2.

**„Herzog Ludwig unterm Unterberg“ bei Trautenstein:**

Rund 800m östlich vom Kupferberg, am Westhang des Unterbergs wurde die Halde der Grube „Herzog Ludwig“ durch eine neu gebaute Forststraße angeschnitten. Die von dort stammenden Proben TrtL-1 und TrtL-2 (Abb. 5.1.22 und 5.1.23) bestehen aus Nebengestein mit kleinen Erzadern, die wahrscheinlich vom eigentlichen Gang ablaufen. Das Nebengestein ist dunkelgrau, feinkörnig und schiefrig (Abb. 5.1.22). Hauptbestandteile sind Kalzit, feiner Quarz und organische Substanz. Die Anteile wechseln in cm bis mm mächtigen Lagen. Graue Kalzit-Adern durchschlagen das Gestein. Nach den Beschreibungen in den Erläuterungen zur geologischen Karte (Schriel 1928) dürfte es sich um die „dichten dunklen kieselligen Kalke“ handeln, die in die Tonschiefer der Stieger Schichten (Unterkarbon) eingeschaltet sind. Die Vererzung besteht aus mm bis cm breiten Äderchen (Abb. 5.1.22 und 5.1.23) mit weißem Kalzit, Quarz, Chalkopyrit (teils zu Malachit und Limonit verwittert) und Pyrit. Im Gestein verteilt sind kleine Pyrit- und Chalkopyrit-Aggregate. In Lagen, die reicher an org. Substanz sind, kommt auch framboidaler Pyrit vor (syndementär). Bei TrtL-2 ist das Gestein unregelmäßig rot gefärbt durch zahlreiche kleine Hämatit-Schüppchen und -Aggregate im Kalzit bzw. deutlich abgegrenzte Hämatit-Kalzit-(Quarz)-Äderchen (Abb. 5.1.23). Die hämatitisierten Bereiche werden von den Kupfererz-führenden Äderchen durchschlagen. Offenbar begann die Vererzung mit Hämatit-Äderchen bzw. einer Hämatitisierung des Nebengesteins.



Abb. 5.1.22: Foto von zwei Stücken der Probe TrtL-1 mit Chalkopyrit-führenden Äderchen (gelb).



Abb. 5.1.23: Foto zweier durch Hämatit rot gefärbter Stücke der Probe TrtL-2 mit weißen Kalzit-Chalkopyrit-Äderchen.

**„Henriette“ bei Sieber:**

Die Proben Sie-1 und Sie-2 stammen von der Halde der Grube „Henriette“, ca. 1,5km nordöstlich von Sieber und sind eher gering vererzte Gangstücke. Gangarten sind feiner weißer bis grober rosa Baryt, Quarz (teils eingeschlossen in große Baryt-Kristalle – Abb. 5.1.25) und an einem Stück auch bräunlicher Kalzit. Nicht sehr zahlreich sind darin wenige mm große Aggregate von Chalkopyrit und Bornit verteilt (Abb. 5.1.24 und 5.1.26).



Abb. 5.1.24: Stück der Probe Sie-1 mit Chalkopyrit (gelb) und Bornit (blauviolette Anlauffarbe).

Verwitterungsbildungen sind Limonit, Malachit, Cuprit und Covellin. Sie-1 enthält auch Nebengestein als bis cm große Klusten. Dieses besteht aus feinerer mittelgrauer bis gröberer hellgrauer Grauwacke, die teils auch unregelmäßig fleckig grünlichgrau und violettgrau ist. Im Dünnschliff zeigt sie Tonminerale, Quarz, untergeordnet Feldspäte, Hellglimmer und Rutil. Nach Schriel & Stahl (1938) und Stoppel et al. (1983) handelt es sich um Kulm-Grauwacke (Unterkarbon).

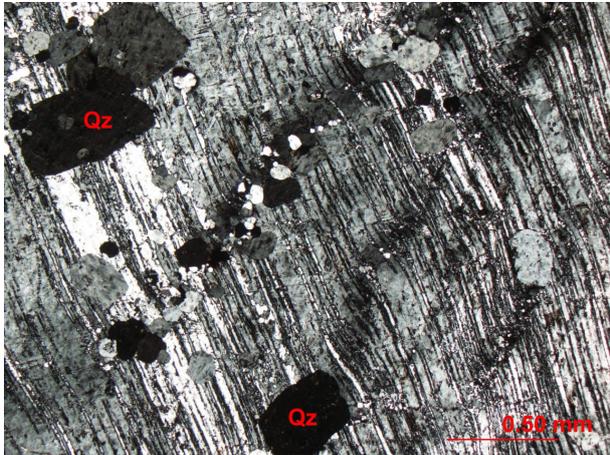


Abb. 5.1.25: Kleine Quarzkristalle (Qz) sitzen in grobem Baryt (Probe Sie-2, Dünnschliff, Durchlicht).

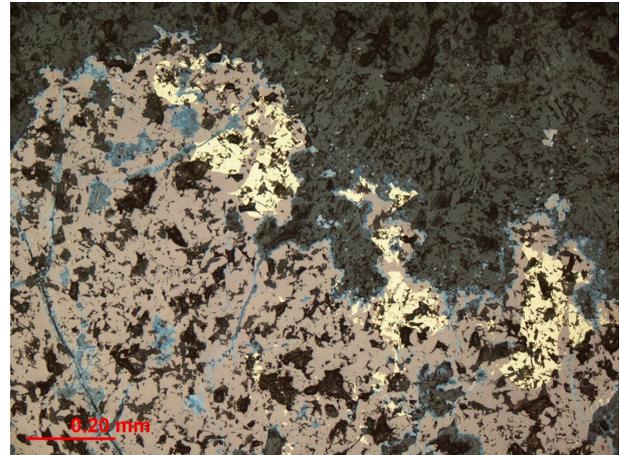


Abb. 5.1.26: Bornit-Chalkopyrit-Aggregat mit Covellin (blau) in der Probe Sie-1 (Dünnschliff, Auflicht).

### Bad Lauterberg:

Zu Laut-1 (Sammlungsstück) fehlt eine genaue Herkunftsangabe. Laut-3 und -5 sind von der Halde am Alten Schacht der „Kupferrose“ zwischen Großem und Kleinem Heibeekkopf, etwas mehr als 1km nordwestlich von Bad Lauterberg. Probe Laut-1 (Abb. 5.1.27) ist Gangerz mit cm großen Chalkopyrit-Aggregaten (randlich zu Limonit verwittert), Malachit-Aggregaten und als Gangarten Quarz (weiß) und Baryt (weiß). Bei Laut-3 und -5 handelt es sich um zwei verschiedene Ausschnitte der Gangvererzung, welche nach den Beschreibungen in Stoppel et al. (1983) aus verschiedenen alten Vererzungsphasen stammen (Laut-3 ist hiernach jünger als Laut-5). In Laut-3 sind teils zu Gips umgewandelter Anhydrit (weiße bis 2cm lange orientierte Nadeln), weißer Quarz und blassrosa Kalzit die Gangarten (Abb. 5.1.28). Eher spärlich sind mm große Chalkopyrit-Aggregate. Laut-5 enthält durch bräunlichen Kalzit zementierte Quarz-Aggregate mit geraden Kanten, so genanntes Sanderz bzw. „zerhackter Quarz“ (pers. Mitteil. Ließmann). Dies sind Gangpartien, wo tafeliger Kalzit in einer späten Mineralisationsphase weggelöst wurde. Übrig bleiben die Kupfererze und sandig zerfallender Quarz. (wird von Stoppel et al. 1983 für diese Grube beschrieben). Im Falle von Laut-5 ist offenbar wieder eine Zementation mit Kalzit erfolgt, denn die Quarzklusten sind nicht im ursprünglichen Zusammenhang zu sehen. In der Grundmasse aus Quarz und Kalzit sitzen wenige mm große Cuprit-Aggregate, teils mit gediegen Kupfer und vereinzelt xenomorphe Pyrit-Aggregate. Hohlräume füllen Malachit-Limonit-Aggregate.



Abb. 5.1.27: Foto der Probe Laut-1 mit Chalkopyrit (gelb), Limonit (braun) und Malachit (grün).



Abb. 5.1.28: Dünnschliff der Probe Laut-3 (Durchlicht): Gips bzw. Anhydrit (nadelige Kristalle), Kalzit (Klz) und Quarz (Qz).

**Bad Grund:**

Grund-1 und -2 sind Sammlungsstücke ohne genauere Ortsangabe. Grund-1 dürfte aus dem zuletzt bei Bad Grund aktiven Schacht stammen, was nach Ließmann (1992) der „Achenbach-Schacht“ ist (Silbernaaler Gangzug, Abb. 5.1.29). Grund-3 stammt nach Mitteilung des Sammlers aus einem im Kalksteinbruch „Winterberg“ am Iberg angeschnittenen Gang.

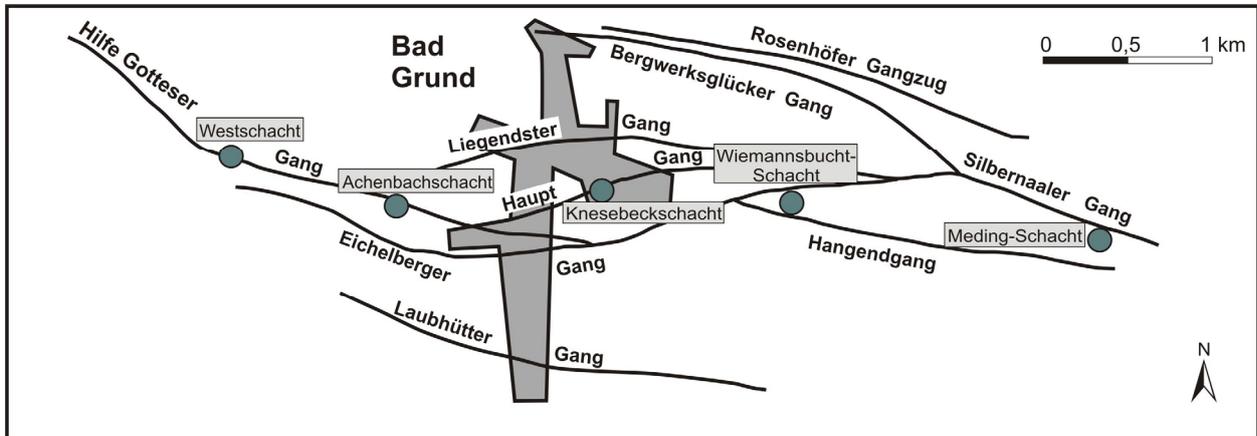


Abb. 5.1.29: Karte des Silbernaaler Gangzuges und der Gruben von Bad Grund nach Ließmann (1992).

Die Proben sind Gangstücke. Bei Grund-1 und -2 sind die Gangarten weißer Quarz und grober weißer Kalzit. An Erzmineralen treten in cm großen Aggregaten dunkelbrauner Sphalerit, Chalkopyrit und Galenit (Abb. 5.1.30 und 5.1.31), sowie untergeordnet kleine hypidiomorphe bis idiomorphe Pyrite auf. Grund-3 zeigt verschiedene Minerale, die idiomorph aufeinander aufgewachsen sind. Dazu gehört weitgehend massiver Chalkopyrit mit einigen darin eingeschlossenen idiomorphen Pyriten (Chalkopyrit von Korngrenzen und Rissen her zu Covellin, Limonit und Malachit verwittert). Auf dem Chalkopyrit sitzen weiße, bis ca. 1cm große, tafelige Baryt-Kristalle (mit Malachit und Limonit in Zwickeln – Abb. 5.1.32). Auf dem Baryt wiederum war offenbar ein Mn-haltiges Fe-Karbonat (wahrsch. Siderit) aufgewachsen, das vollständig durch Limonit und etwas Pyrolusit (fein verwachsen mit Limonit) ersetzt ist (Abb. 5.1.33). Auf den Limonit-Pseudomorphosen sitzt wiederum ein knolliger Malachit-Überzug, selten auch mit radialfaserig-büscheligen Pyrolusit-Aggregaten. Nach dem Paragenese-Schema von Buschendorf et al. (1971) und mehr oder weniger auch nach dem in Ließmann (1992) gehören Chalkopyrit, Pyrit, Baryt und Karbonat in Grund-3 in eine relativ späte Phase. Grund-1 könnte man in eine eher jüngere Abfolge der Hauptmineralisation einordnen, da Buschendorf et al. (1971) den Sphalerit der älteren Abfolgen als fast schwarz und den der jüngeren Abfolgen als braun beschreibt. Zu Grund-2 ist keine nähere Aussage möglich, da die Probe aus Durchläufermineralen besteht. Nebengestein tritt als Klasten im Gang in Grund-1 auf (mittelgrau, kalzithaltig, feinkörnig).



Abb. 5.1.30: Foto der Probe Grund-2.

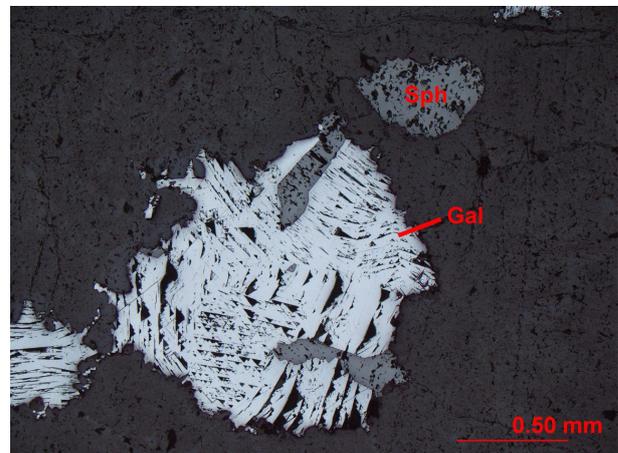


Abb. 5.1.31: Galenit (Gal) und Sphalerit (Sph) im Dünnschliff (Probe Grund-1, Auflicht).

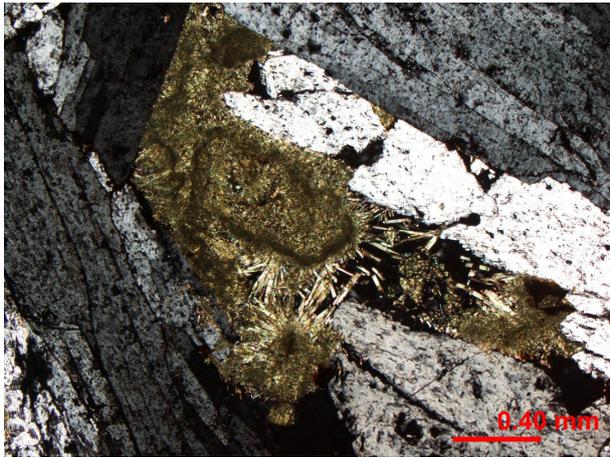


Abb. 5.1.32: Malachit (grün) ist radialstrahlig in einem Hohlraum zwischen Barytkristallen (grau) gewachsen (Probe Grund-3, Durchlicht).

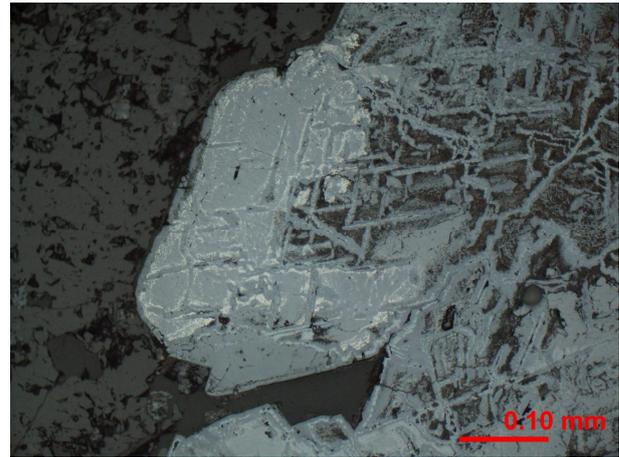


Abb. 5.1.33: Limonit (helles Grau) und Pyrolusit (weiß) pseudomorph nach Siderit (Probe Grund-3, Auflicht).

#### ▪ Kyffhäuser:

Nach Angaben des Sammlers stammt die Probe Kyf-1 aus der Grube „Goldener Mann“ auf der Nordseite des Kyffhäusers, etwa 1km südöstlich der Rothenburg. Es dürfte sich um ein Stück aus einem der Gänge im nördlichen Kyffhäuser handeln. Ein teils poröses Gemenge aus Malachit (Abb.5.1.34 und 5.1.35) und Quarz enthält bis 1cm große, größtenteils in Limonit umgewandelte Chalkopyrit-Aggregate (Abb. 5.1.34) mit eingeschlossenen ebenfalls weitgehend verwitterten idiomorphen Pyriten.



Abb. 5.1.34: Foto der Probe Kyf-1 mit Malachit (grün) und größtenteils zu Limonit verwitterten Chalkopyrit-Aggregaten.



Abb. 5.1.35: Dünnschliff der Probe Kyf-1 mit Limonit und traubig-nierigem Malachit (Durchlicht).

#### ▪ Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Harzes:

##### Wettelrode:

Die Proben CuSWet-1 bis -7 stammen aus dem „Röhrigschacht“ am nordwestlichen Ortsrand von Wettelrode. Dabei kommen CuSWet-1 bis -3 aus dem „Segen-Gottes-Stollen“ und CuSWet-4 bis -7 vom östlichen Abwetterflächen. CuSWet-8 und -9 stammen aus Aufschlüssen des Bergbau-Lehrpfades, etwa 0,5km weiter nordwestlich im Ausstrichbereich des Kupferschiefers. Die Proben sind aus dem Liegenden und verschiedenen Lagen des hier rund 35cm mächtigen Kupferschiefers, der im Mansfelder und Sangerhäuser Revier in Feine und Grobe Lette, Kammschale, Schieferkopf und Schwarze Berge gegliedert wird (Abb. 5.1.26). CuSWet-4 besteht aus einer ca. 4cm mächtigen Sandstein-Bank (Sanderz) dicht unterhalb des Kupferschiefers, von diesem durch ein etwa 1cm mächtiges Hornsteinbänkchen getrennt. Es handelt sich um einen hellgrauen Sandstein mit einer mm mächtigen, dunklen, tonigen Lage an der Oberseite der Bank und Rippeln an der Unterseite. Hauptbestandteil sind schlecht gerundete Quarzkörner, daneben Gerölle von Kieselschiefer und anderen Gesteinen. Die Matrix wird im unteren Teil der Bank dominiert von Kalzit-Zement und im oberen Teil von Tonmineralen. Hellglimmer und Rutil sind Akzessorien.



Abb. 5.1.36: Probenahmepunkt im „Segen-Gottes-Stollen“. Mächtigkeit des Kupferschiefers an dieser Stelle etwas weniger als 40cm. Schichtenfolge des Kupferschiefers: a = Grobe und Feine Lette, b = Kammschale, c = Schieferkopf, d = Schwarze Berge.

Die Vererzung nimmt in Richtung Kupferschiefer zu und besteht größtenteils aus fein disseminiertem Bornit (oft mit Chalkopyrit-Lamellen – Abb. 5.1.38) und Chalkopyrit. Chalkopyrit tritt auch auf feinen Rissen und verdrängend innerhalb von Geröllen auf. Die Feine und Grobe Lette sind vertreten durch die Proben CuSWet-1 und CuSWet-5. Im „Segen-Gottes-Stollen“ (CuSWet-1) sind beide zusammen etwa 6cm mächtig. Es sind feine Schwarzschiefer mit Anflügen von Malachit und Azurit und hohem Anteil von organischer Substanz (Abb. 5.1.37). Die Vererzung ist makroskopisch nicht erkennbar. Wegen der Brüchigkeit der Proben wurde auf Dünnschliffe verzichtet. CuSWet-6 ist aus der Kammschale, CuSWet-2 umfasst Kammschale und unteren Schieferkopf. CuSWet-3 und -7 stammen aus dem Schieferkopf. Diese Proben sind Schwarzschiefer, die zum Hangenden hin heller, bankiger und mergeliger werden. Tonminerale, Karbonat, Quarz und organische Substanz kommen in lagenweise wechselnden Verhältnissen vor und akzessorisch Hellglimmer. Das Gestein wird durchschlagen von schmalen Klüften mit weißem Kalzit. Die Vererzung zeigt einen fließenden Übergang von fein verteilter und makroskopisch nicht erkennbarer so genannter „Speise“ (Abb. 5.1.39) bis zu größeren Aggregaten, die sich in Lagen konzentrieren (Abb. 5.1.40). CuSWet-3 zeigt an Erzmineralen (teils framboidalen) Pyrit, Chalkosin, Chalkopyrit und etwas Sphalerit und Galenit. Sphäroide Pyrit-Aggregate (umkristallisierter framboidaler Pyrit) werden von Chalkosin verdrängt. CuSWet-6 enthält v. a. Bornit und Chalkopyrit (beide teils zu Covellin erwittert) und wenig Pyrit. Pyrit-Framboide werden oft von Kupfersulfiden umschlossen und verdrängt. CuSWet-8 und -9 sind Proben von oberflächennah anstehendem Kupferschiefer, der kleinstückig zerfällt.



Abb. 5.1.37: Foto eines Stückes der Probe CuSWet-5 (Feine bis Grobe Lette).

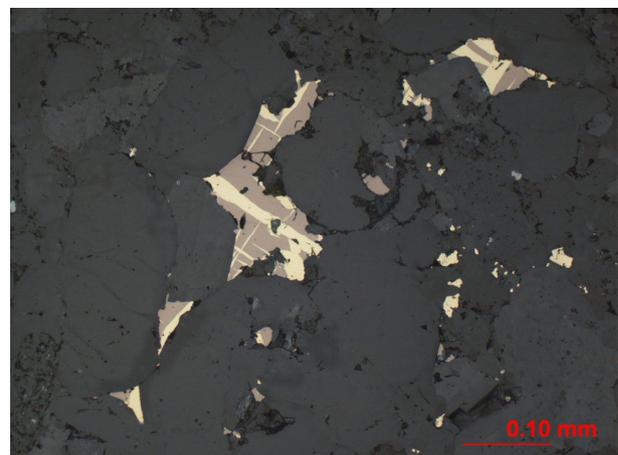


Abb. 5.1.38: Dünnschliff der Probe CuSWet-4 („Sanderz“) im Auflicht. Bornit (rosagrau) mit Chalkopyrit-Lamellen (gelb) in Zwickeln zwischen Quarzkörnern.

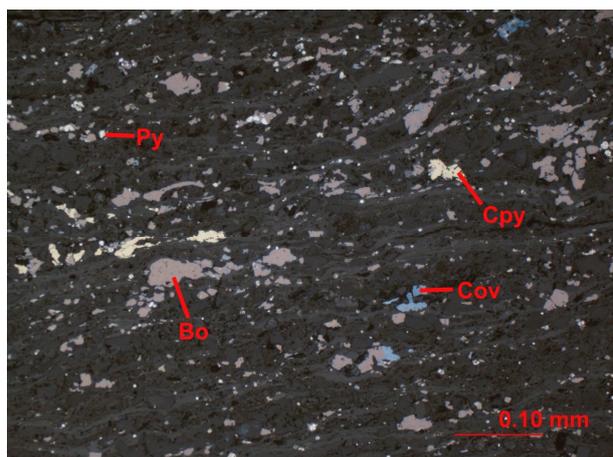


Abb. 5.1.39: Disseminierte Vererzung mit Bornit (Bo), Chalkopyrit (Cpy), Pyrit (Py) und sekundärem Covellin (Cov) in der Probe CuSWet-6 (Auflicht).

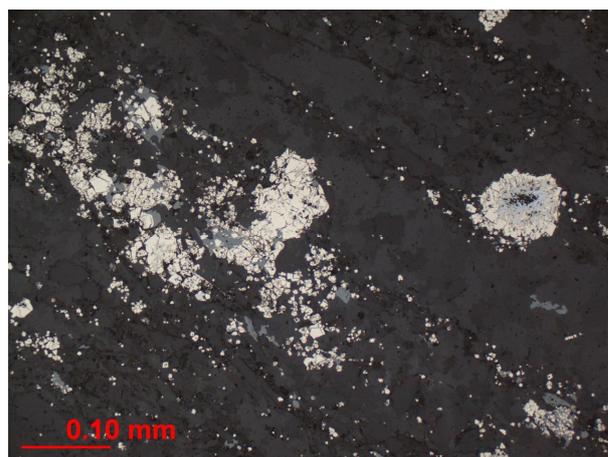


Abb. 5.1.40: Lage mit Sphalerit (mittelgrau) und umkristallisierten Pyrit-Framboiden (weiß) in Probe CuSWet-3 (Auflicht). Rechts wird Pyrit durch Chalkosin (hellblau) verdrängt.

### Rottleberode:

Die Proben CuSRot-1 bis -3 stammen von einer Kleinhalde rund 1,5km nordwestlich von Rottleberode und ca. 100-200m südlich des Kupferschiefer-Ausstrichs nach geologischer Karte (Dahlgrün 1934). Probe CuSRot-1 ist Kupferschiefer ähnlich den Proben CuSWet-2, -3, -6 und -7, jedoch karbonathaltiger. Ein etwa cm großes linsenförmiges von Nebengesteinsmineralen durchsetztes Pyrit-Aggregat enthält auch etwas Galenit. Die übrige Vererzung ist fein verteilt und Sphalerit dominiert gegenüber Galenit und teils framboidalem Pyrit (Abb. 5.1.41). CuSRot-2 und -3 sind mineralisiertes Weißliegend-Konglomerat, bestehend aus bis 2,5cm großen Geröllen verschiedenster Art (Gangquarz, Tonschiefer, Kieselschiefer und andere), Quarzkörnern, Kalzit-Zement und vereinzelt Zirkon, Rutil und Hellglimmern. Das Gestein ist durch Limonit bräunlich gefärbt. Die Mineralisation mit Chalkopyrit und untergeordnet framboidalem oder (hyp-)idiomorphem Pyrit (CuSRot-2 – Abb. 5.1.42) bzw. Galenit mit wenig Pyrit, Chalkopyrit und Sphalerit (CuSRot-3) sitzt vor allem in Zwickeln, verdrängt aber auch Gerölle.

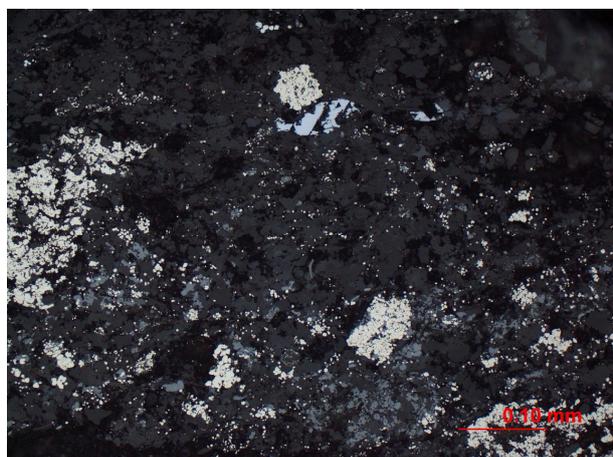


Abb. 5.1.41: Disseminierte Vererzung mit Pyrit (weiß), Sphalerit (grau) und Galenit (hellgrau) in CuSRot-1 (Auflicht).

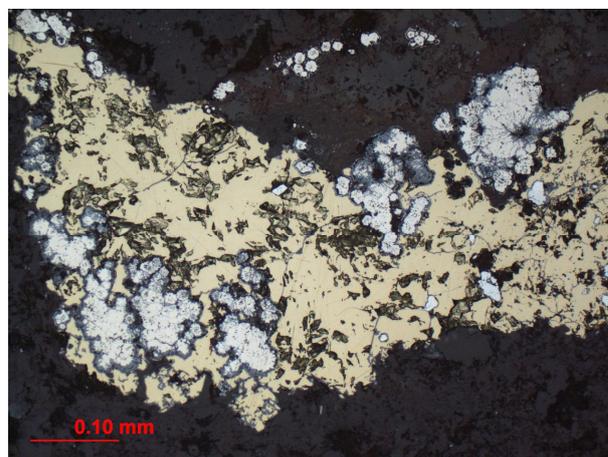


Abb. 5.1.42: Ein Chalkopyrit-Aggregat umschließt größtenteils framboidalen Pyrit (weiß) in der Probe CuSRot-2 (Auflicht).

### Bad Lauterberg:

Der Fundpunkt von CuSLaut-1 und CuSLaut-4 liegt in einem Seitental des Gläsnertales, etwa 1,5km nordwestlich von Bad Lauterberg und unmittelbar am Mundloch eines kleinen Stollens im Bereich des Kupferschiefer-Ausstrichs. Es sind dunkelgraue dolomitische Mergel mit organischer Substanz und nur wenig Quarz und Hellglimmern (Abb. 5.1.43). Mit dem REM konnte auch Baryt identifiziert werden. Die recht geringe disseminierte Vererzung besteht aus Chalkopyrit, meist framboidalem Pyrit, Markasit, Galenit und untergeordnet Sphalerit (Abb. 5.1.44). Einige größere Chalkopyrit-Aggregate sind makroskopisch erkennbar. Der hohe Karbonat-Anteil und die geringe Vererzung sind typisch für die Schwellenfazies des Kupferschiefers (Paul 1982).

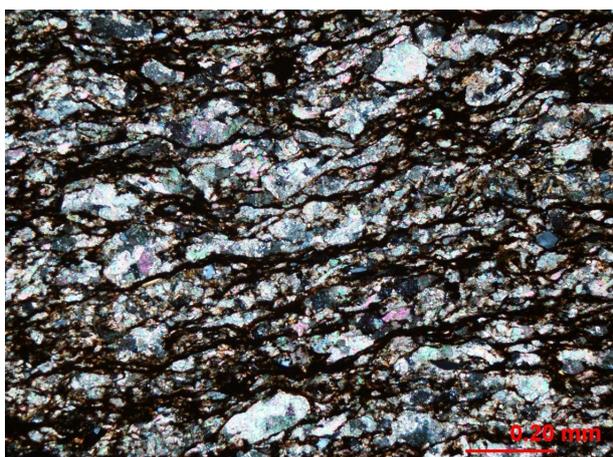


Abb. 5.1.43: Dolomit (blassbunte Interferenzfarben) und feine Laminae organischer Substanz (dunkel) in Probe CuSLaut-1 (Durchlicht).

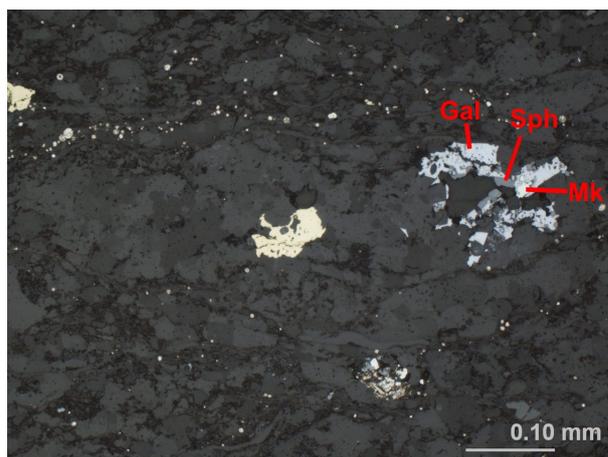


Abb. 5.1.44: Disseminierte Vererzung in Probe CuSLaut-1 mit Chalkopyrit (gelb), Pyrit (sehr fein, cremeweiß), Galenit (Gal), Sphalerit (Sph) und Markasit (Mk) (Auflicht).

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Kyffhäusers:**

Die Probe CuSKyf-1 ist ein Sammlungsstück und stammt aus dem „Kreuzschacht“ nahe des Großen Herrnkopfes bei Rottleben am Südrand des Kyffhäusers. Das mineralisierte Weißliegend-Konglomerat (Abb. 5.1.45) ist hellgrau, relativ fein, mit bis 3mm großen recht gut gerundeten Geröllen und schlecht gerundeten Quarz-Körnern in toniger Matrix. Malachit, Azurit und Limonit, daneben wenig Chalkopyrit, Pyrit (teils framboidal), Galenit, Cuprit und Covellin sitzen in Zwickeln, oder bilden mm große Aggregate bis fast geschlossene Lagen. Teils sitzen Malachit und Azurit und selten auch Pyrit auf Rissen in Geröllen (Abb. 5.1.46).



Abb. 5.1.45: Foto der Probe CuSKyf-1. Auf den Schichtflächen sind Malachit- und Azurit-Aggregate zu erkennen.

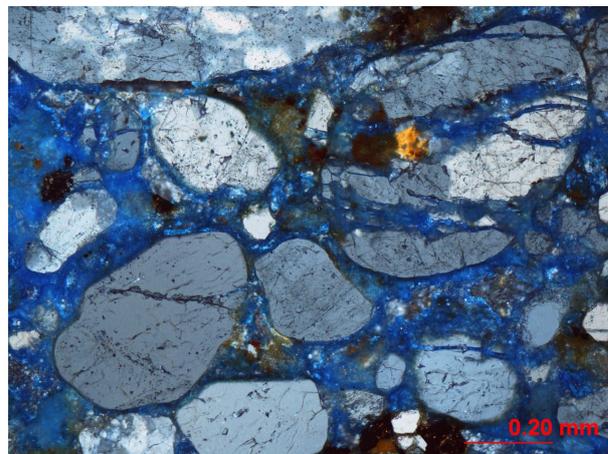


Abb. 5.1.46: Azurit (tiefblaue Innenreflexe) in Zwickeln zwischen und auf Rissen in Quarzen (Auflicht, gekreuzte Nicols).

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato bei Dobis und Könnern:**

CuSDo-1 bis -4 stammen von der „Weißen Wand“, einem Aufschluss am nördlichen Ortsrand von Dobis. CuSKön-1 bis -3 sind vom Saalberg, einem aufgelassenen Steinbruch etwas mehr als 1km westlich von Könnern. Die Proben wurden an der Böschung der Grube genommen, dort wo der Kupferschiefer anstehen sollte. CuSKön-4 kommt von einer Halde westlich von Gnölbzig und etwa 4km westlich von Könnern. CuSDo-1 und -2 sind mineralisiertes Weißliegend-Konglomerat unmittelbar unterhalb des Kupferschiefers. Sie bestehen aus recht gut gerundeten Geröllen bis 2cm Durchmesser und Kalzit-Zement. In Zwickeln und auf den Oberflächen der Gerölle sitzt Malachit (Abb. 5.1.47). CuSDo-3 entstammt den unteren 4cm des Kupferschiefers und CuSDo-4 ist Kupferschiefer von 12-16cm über dessen Basis. Beide sind dünn-schichtig, dunkelgrau und sehr mergelig. CuSKön-1 bis -4 sind dunkelgrauer, dünn-schichtiger, Kalzit-reicher Kupferschiefer ohne genauere stratigraphische Einordnung.



Abb. 5.1.47: Foto der Probe CuSDo-1 (Weißliegend-Konglomerat mit Malachit)

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Thüringer Waldes:**

Die Probe CuSEp-1 ist ein Sammlungsstück, zu dem die Herkunftsangabe nur auf Epichnellen lautet. Es handelt sich um mineralisiertes Weißliegend-Konglomerat, das makroskopisch große Ähnlichkeit mit CuSDo-1 und -2 zeigt. Gut gerundete Gerölle (darunter Granit), schlecht gerundete Quarz-Körner und untergeordnet Feldspäte und Rutil sind zementiert mit Kalzit (Abb. 5.1.48). Die Vererzung in Zwickeln bzw. im Kalzit ist gering und besteht aus Pyrit (Abb. 5.1.49), Malachit und wenig Chalkopyrit.



Abb. 5.1.48: Nebengestein in Probe CuSEp-1 mit Quarz, Geröllen (z.B. rechts Quarzit) und Kalzitcement (Klz) (Durchlicht).

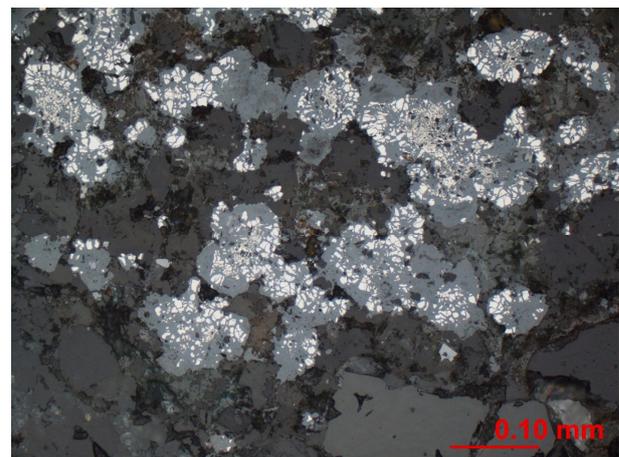


Abb. 5.1.49: Teilweise zu Limonit (mittelgrau) verwitterte un- kristallisierte Pyrit-Framboide (Auflicht).

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato in der Nordsudetischen Mulde:**

Alle Proben sind Sammlungsstücke, CuSHas-1 aus dem „Danielstollen“ bei Leszcyna (Haasel) südöstlich von Zlotaryja (Goldberg), CuSHas-2 und -3 aus dem Grubenfeld „Stilles Glück“ bei Leszcyna und CuSNowy-1 und -2 von Nowy Kosciol (Neukirch an der Katzbach) ohne genauere Ortsangaben (Abb. 5.1.52). CuSHas-1 bis -3 und CuSNowy-1 stammen aus dem Kupferschiefer und CuSNowy-2 aus dem Zechsteinkalk. CuSHas-1 und -2 sind dunkelgraue Mergel (Abb. 5.1.50) mit feinen leicht helleren Lagen bis Linsen. Sie bestehen aus Tonmineralen, feinem Quarz, Karbonat, welches oft kleine linsenförmige Aggregate bildet, organischer Substanz und einigen Hellglimmern. Die Vererzung ist disseminiert. Millimetergroße Chalkosin-Aggregate sind schon makroskopisch erkennbar. Daneben kommen Pyrit (vor allem framboidal), Bornit, Covellin und wahrscheinlich Digenit vor (Abb. 5.1.51). Die Kupfersulfide umwachsen oft die Pyrit-Framboide. CuSHas-3 ist weniger karbonatisch und durch Limonit braun gefärbt. Die Vererzung ist geringer und besteht vor allem aus stark angewittertem framboidalen Pyrit und nur wenig Chalkosin. Auf Schichtflächen sitzen zahlreiche mehrere mm große Azurit-Aggregate. CuSNowy-1 und -2 sind mergelig und hellgrau, mit feinen etwas helleren Lagen und Linsen. In der Schichtung liegen bei CuSNowy-1 Malachit- und bei CuSNowy-2 vor allem Azurit-Aggregate. Im Dünnschliff zeigt CuSNowy-1 nur eine geringe disseminierte Vererzung mit Pyrit (teils framboidal) und Chalkosin.



Abb. 5.1.50: Foto der Probe CuSHas-1.

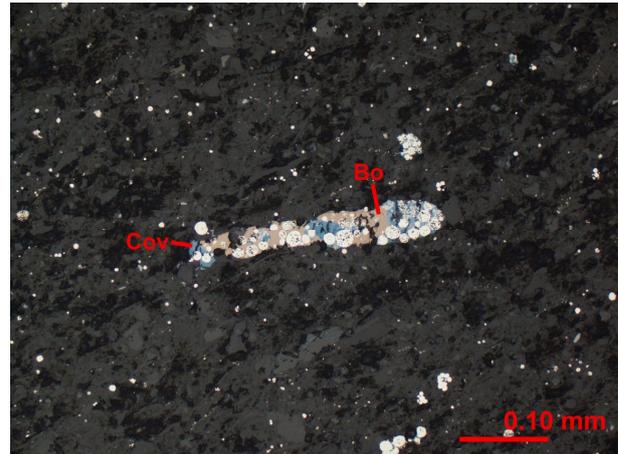


Abb. 5.1.51: Vererzung in CuSHas-1: Bornit (Bo), Covellin (Cov) und framboidaler Pyrit (weiß) (Auflicht).

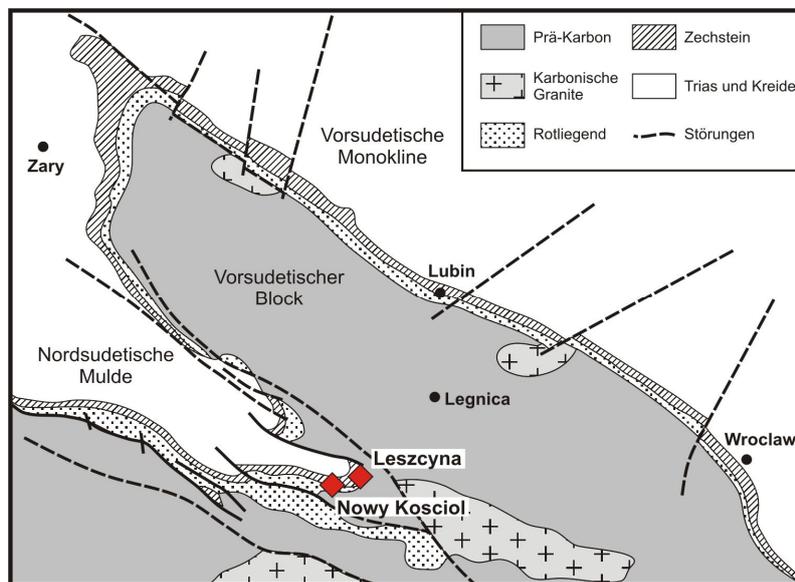


Abb.5.1.52: Abgedeckte Karte des Kupferschiefers in der Umrandung des Vorsudetischen Blockes in Südwest-Polen nach Wagner (1978). Die Positionen von Nowy Kosciol und Leszcyna wurden ergänzt.

▪ **Gangvererzungen im Kupferschiefer – „Mansfelder Rücken“:**

CuSMan-1 und CuSMan-2 sind Gangstücke aus einer Privat-Sammlung. CuSMan-1 stammt aus dem „Freiesleben-Schacht“ bei Mansfeld und CuSMan-2 von einem Aufschluss an der neu gebauten Umgehungsstraße B180n bei Großröhr.

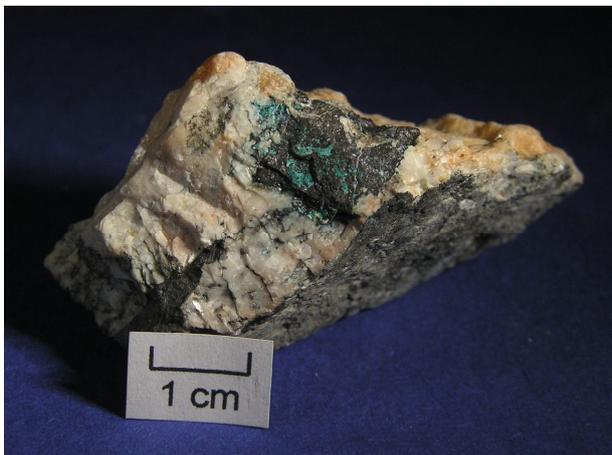


Abb. 5.1.53: Ein Stück der Probe CuSMan-1.



Abb. 5.1.54: Foto der Probe CuSMan-2.

CuSMan-1 besteht aus faserigem orangem Gips und weißem bis rosa Kalzit, in denen bis cm große Chalkosin-Bornit-Aggregate (Abb. 5.1.53 und 5.1.55) und mm große Chalkopyrit-Aggregate eingesprengt sind. Untergeordnet treten Pyrit und radialstrahlige Molybdänit-Aggregate auf (Abb. 5.1.56). Am Rand der Probe sitzen im Kalzit und Gips Bruchstücke von dunkelgrauem Nebengestein; wahrscheinlich Kupferschiefer (Abb. 5.1.53). Bei CuSMan-2 sind in hellbraunem Karbonat sehr kleine Chalkosin-Aggregate und wenig Chalkopyrit und Pyrit eingesprengt (Abb. 5.1.54). In Hohlräumen und auf Rissen sitzen Malachit, Chrysokoll und Azurit.

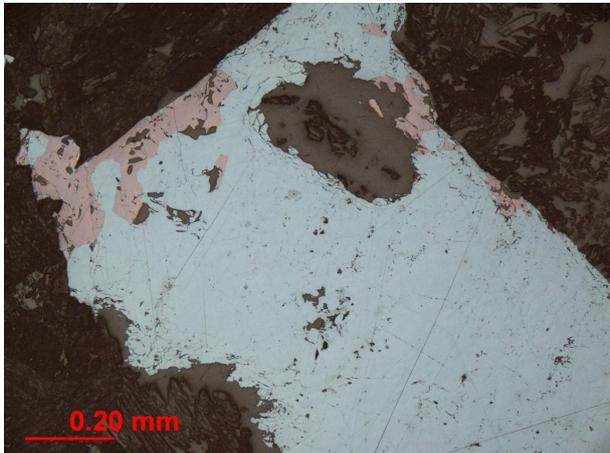


Abb. 5.1.55: Aggregat aus Chalkosin (bläulich) und Bornit (rosa) (Probe CuSMan-1, Auflicht).

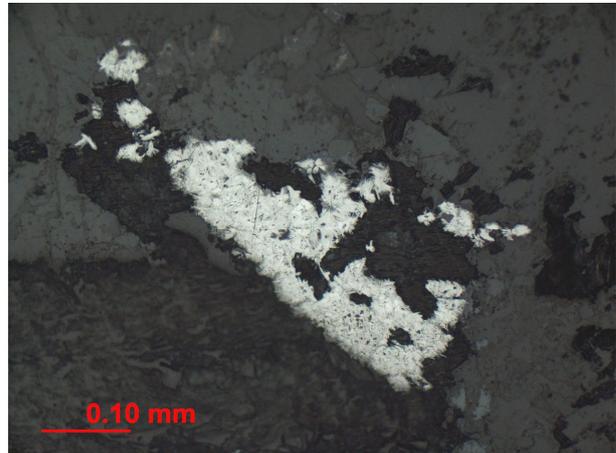


Abb. 5.1.56: Molybdänit-Aggregat (CuSMan-1, Auflicht).

▪ **Gangvererzung im Kupferschiefer am Nordrand des Thüringer Schiefergebirges – Revier Kamsdorf:**

Die „Königszeche“, aus der die Sammlungsstücke Kam-1 bis Kam-3 stammen, liegt am Roten Berg rund 2km nordwestlich von Kaulsdorf und südwestlich von Kamsdorf. Kam-4 ist ein Sammlungsstück aus der „Willizeche“ bei Bucha. Eine Grube dieses Namens konnte aber nicht lokalisiert werden. Bucha liegt rund 10km ost-südöstlich von Saalfeld. Alle Proben stammen aus den Gängen des Kamsdorfer Revieres. Kam-1 und -2 bestehen überwiegend aus Fahlerz (Abb. 5.1.57). In xenomorpher Verwachsung untereinander und mit Fahlerz kommen Aggregate von Chalkopyrit, Galenit und braunem Sphalerit vor (Abb. 5.1.59), in Kam-1 auch Pyrit. In Kam-2 füllt Galenit auch feine Äderchen. Gangart sind in Kam-1 cm große Aggregate von weißem Kalzit und einem hell bräunlichgrauen Karbonat. In Kam-2 (Abb. 5.1.62) wurde ein Karbonat durch Malachit, Azurit, Chrysokoll, Limonit und teils auch Covellin verdrängt.



Abb. 5.1.57: Stück der Probe Kam-1, welches v. a. aus Fahlerz besteht (grau, Metallglanz).



Abb. 5.1.58: Foto der Probe Kam-3.

Eine Seite von Kam-3 besteht aus beigem, relativ feinem Kalzit mit Limonit- und Malachit-Überzügen. Die andere Seite besteht aus Fahlerz-Resten (Abb. 5.1.60) in einem feinen olivgrün-bräunlichen Gemenge von Limonit, Malachit und Chrysokoll (Abb. 5.1.58). Beide Seiten werden von Malachit und Chrysokoll auf Rissen durchzogen. Am Rand des zersetzten Fahlerzes und in den Malachit-gefüllten

Rissen im Kalzit kommen kleine Aggregate aus Cuprit, Limonit und Pyrit vor (Gerlach 1989 beschreibt für die Gangvererzung d.h. die „Rücken“ der Mansfeld-Sangerhäuser Region Pyrit als sekundäre Bildung.). Kam-4 besteht vor allem aus Chalkopyrit, der randlich zu Limonit und Covellin verwittert ist. Darin eingeschlossen sind einzelne idiomorphe Pyrite, die vollständig zu Limonit verwittert sind (Abb. 5.1.61). Weißer tafeliger Baryt bildet cm große Aggregate. Quarz kommt in kleinen Aggregaten und mit Malachit und kleinen farblosen Gipskristallen auf Rissen oder Äderchen vor. Am Rand der Probe Kam-1 bildet mit Erzmineralen imprägnierter Tonschiefer das Nebengestein. Kam-2 enthält bis mehrere cm große Klaster eines durch Malachit grünlich gefärbten Konglomerates mit gut gerundeten Tonschiefer-Geröllen in einer Matrix aus feinem Quarz und Tonmineralen.

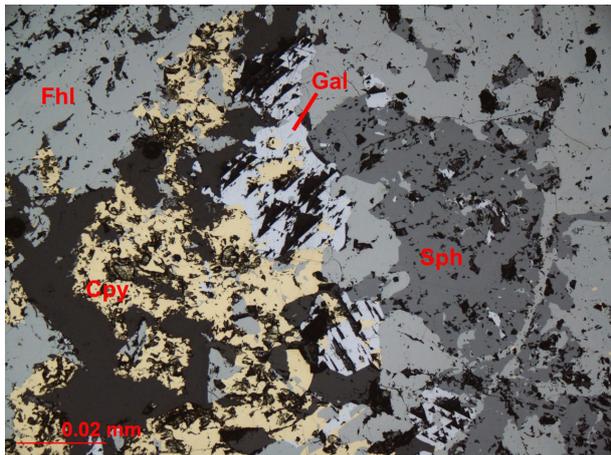


Abb. 5.1.59: Fahlerz (Fhl), Chalkopyrit (Cpy), Sphalerit (Sph) und Galenit (Gal) in Probe Kam-1 (Auflicht).

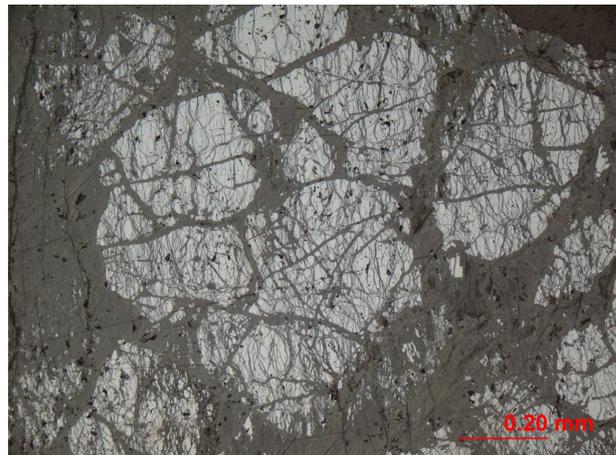


Abb. 5.1.60: Teilweise zu Limonit, Malachit und Chrysokoll verwittertes Fahlerz (hellgrau) in Probe Kam-3 (Auflicht).

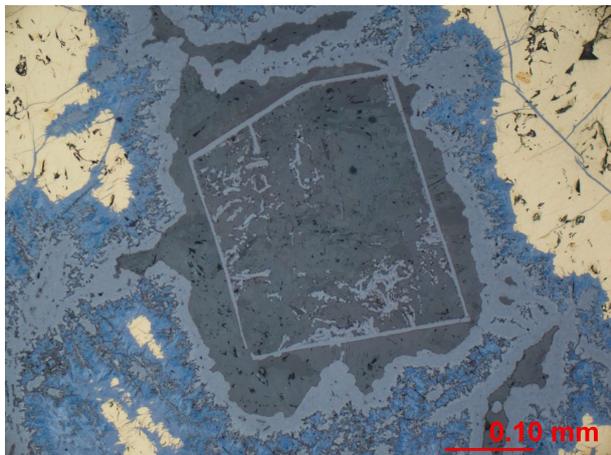


Abb. 5.1.61: Zu Limonit verwitterter Pyrit (Bildmitte), daneben Chalkopyrit (gelb) und Covellin (blau) (Kam-4, Auflicht)

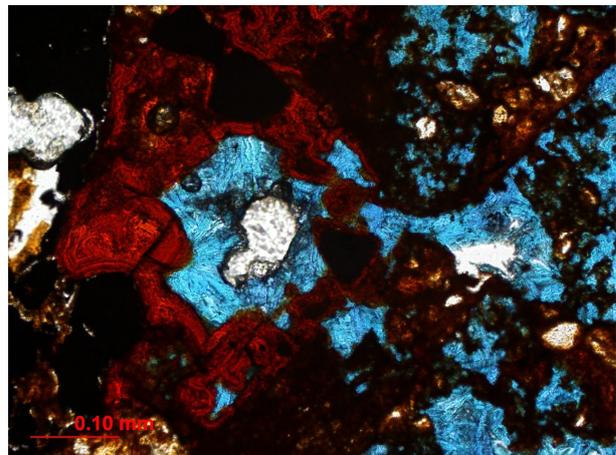


Abb. 5.1.62: Limonit (braun) und Azurit (blau) in Probe Kam-2 (Durchlicht).

#### ▪ Gangvererzungen im Kupferschiefer am Südrand des Thüringer Waldes:

Das Gangstück Selgt-1 aus einer Privatsammlung, stammt von einer Kupfergrube am Stahlberg (Abb. 5.1.63) rund 2km nordwestlich von Selgenthal (vermutlich von einer Halde).

In 1,5cm Breite von der vermutlichen Außenfläche des Ganges aus (gerade Begrenzungsfläche), enthält der weiße Gangquarz nur wenige Chalkopyrit-Aggregate mit Covellin-Säumen. Im Rest der Probe dominiert relativ massiver Chalkopyrit (stellenweise zu Limonit verwittert) mit wenigen Quarz-Aggregaten. Alles wird von jüngeren feinen Quarz-Äderchen durchschlagen. Der Chalkopyrit schließt wenige kleine hypidiomorphe Pyrite ein (Abb. 5.1.65). Der Dünnschliff aus dem Außenbereich des Ganges zeigt neben Quarz als Gangarten auch Fluorit und wahrscheinlich Baryt (Abb. 5.1.64), die xenomorph zwischen idiomorphen Quarzen sitzen und daher jünger sein dürften. Ihr Altersverhältnis zu den querschlägigen Quarz-Äderchen ist nicht erkennbar.

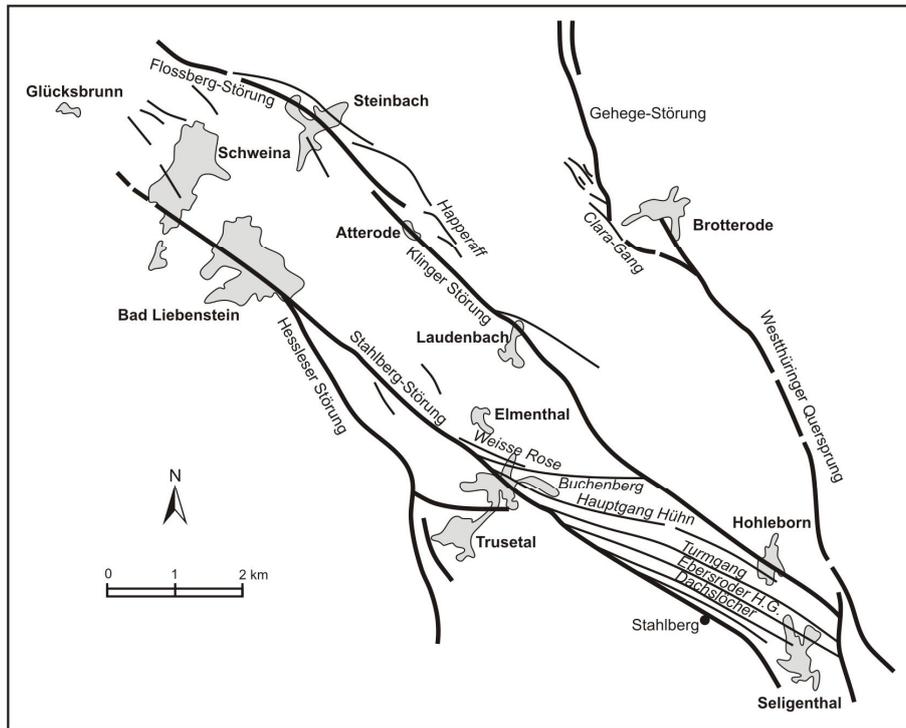


Abb. 5.1.63: Gangkarte des Schmalcalder Reviers nach Franzke & Rauche (2003)

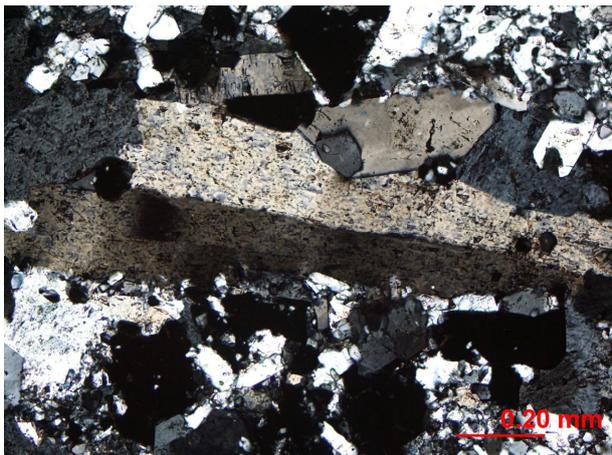


Abb. 5.1.64: Dünnschliff der Probe Selgt-1. Der verzwilligte Kristall in der Bildmitte ist wahrscheinlich Baryt, daneben Quarz (Durchlicht).

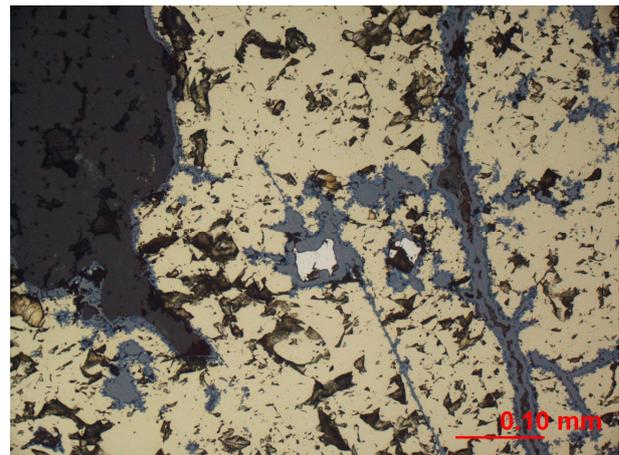


Abb. 5.1.65: Chalkopyrit (gelb) mit schmalen Covellin-Säumen und Pyrit (weiß) (Auflicht).

#### ▪ Rheinisches Schiefergebirge:

##### Grube „Bertsch“ bei Bergfreiheit im Kellerwald:

Die drei Proben Bgfr-1, Bgfr-2 und Bgfr-3 sind Gangstücke aus dem Besucherbergwerk „Bertsch“, ca. 0,5km südlich des Ortes Bergfreiheit im Urff-Tal, am Hang der „Kleinen Leuchte“. Bgfr-1 stammt aus einer eigenen Beprobung, Bgfr-2 und -3 wurden von einem früheren Bearbeiter des Vorkommens (Ulrich Hein) zur Verfügung gestellt. Bgfr-1 (Abb. 5.1.66) und Bgfr-2 bestehen aus Chalkopyrit, der randlich zu Limonit und Covellin verwittert ist. Der Chalkopyrit schließt bis einige mm große idiomorphe Pyrite ein, von denen viele mit Bravoit zonar verwachsen sind, sowie in einigen Fällen auch mit Arsenopyrit (Abb. 5.1.67). Hohlräume füllt hellbrauner lockerer teils knolliger Limonit und radialstrahliger Malachit. Kleine idiomorphe Gangquarze bilden Säume um Nebengesteinsklasten (hellgrauer Kieselschiefer). In Bgfr-3 sind Chalkopyrit und Pyrit dagegen kaum verwittert und Bravoit und Arsenopyrit wurden nicht beobachtet. Feiner farbloser Quarz und weißer Kalzit bilden die Gangart. Schwarzer Tonschiefer begrenzt den Gang beiderseits und kommt als kleine Klaster im Gang vor. Nach dem Paragenese-Schema von Hein (1984) dürften alle beobachteten Erzminerale einer Phase angehören.



Abb. 5.1.66: Ein Stück der Probe Bgrfr-1 mit Chalkopyrit (gelb), Limonit (braun), Malachit (grün) und Nebengesteinsklasten (hellgrau, rechts unten).

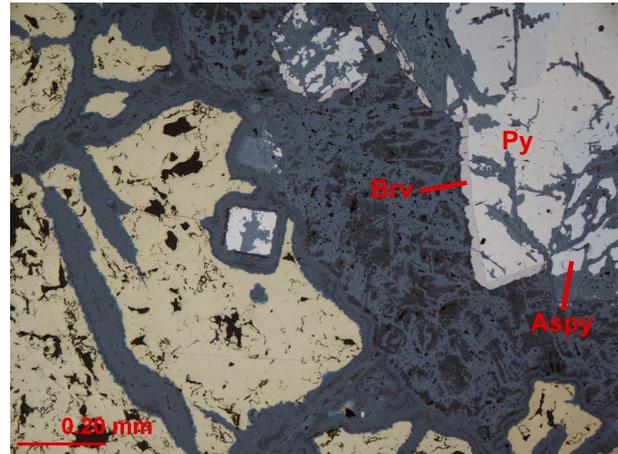


Abb. 5.1.67: Dünnschliff der Probe Bgrfr-1 im Auflicht mit Chalkopyrit (gelb), Pyrit (Py) der mit Arsenopyrit (Aspy) und Bravoit (Brv) verwachsen ist, sowie Malachit und Limonit.

### Gruben „Friederike“, „Oskar“ und „Wiemecke“ bei Marsberg:

Mrs-a bis -h stammen aus Grube „Friederike“, die über den Kilianstollen mit Grube „Oskar“ durchschlägig ist. Das Mundloch des Kilianstollens liegt am Jittenberg südöstlich vom Ortsteil Niedermarsberg. Mrs-a stammt von der Verbindungsstrecke zwischen „Alter“ und „Neuer Friederike“, Mrs-b, -c und -d vom Pulverkeller der „Neuen Friederike“, Mrs-e vom Bahnhof der „Neuen Friederike“, Mrs-f vom „Flügelort zum Weitungsbaue“ und Mrs-g und -h von einem „Erzpfiler im Abbau“. Mrs-1 und -2 sind Sammlungsstücke, Mrs-1 aus der Grube „Wiemecke“, ca. 2km südwestlich von Obermarsberg und Mrs-2 aus der Grube „Oskar“. Die Liegenden Alaunschiefer bestehen nach dem Probenmaterial (Mrs-a bis -h) v. a. aus schwarzen bis grauen Tonschiefern, meist sehr reich an organischer Substanz, deren Anteil in mm bis cm mächtigen Lagen bis Linsen variiert (Mrs-a, Mrs-c). Daneben kommen schwarze, teils leicht deformierte Radiolarite vor (Mrs-b – Abb. 5.1.70), bzw. Lydite (Kieselschiefer), in denen die Radiolarien nicht mehr erhalten sind (Mrs-d, Mrs-g). In Mrs-g ist in wechselndem Ausmaß das  $\text{SiO}_2$  der Grundmasse und der Radiolarien durch Karbonat verdrängt. Mrs-h ist ein hellgraues, feinkörniges, mergeliges Gestein. Das Nebengestein ist meist brekziiert mit einer Matrix aus Quarz und Karbonat (Mrs-b, Mrs-d, Mrs-f). In Mrs-f sind die Klasten intern gefaltet. Überzüge von Malachit, Azurit und anderen blaugrünen Kupfer-Sekundärmineralen auf Schichtflächen und Klüften weisen auf die Mineralisation hin (Abb. 5.1.69). Mrs-2 stammt aus dem Kulm-Lydite, einem dunkelgrauen Kieselschiefer.



Abb. 5.1.68: Gang, aus welchem die Probe Mrs-e entnommen wurde.



Abb. 5.1.69: Foto eines Stückes der Probe Mrs-g mit Malachit-Überzügen auf den Klufflächen.

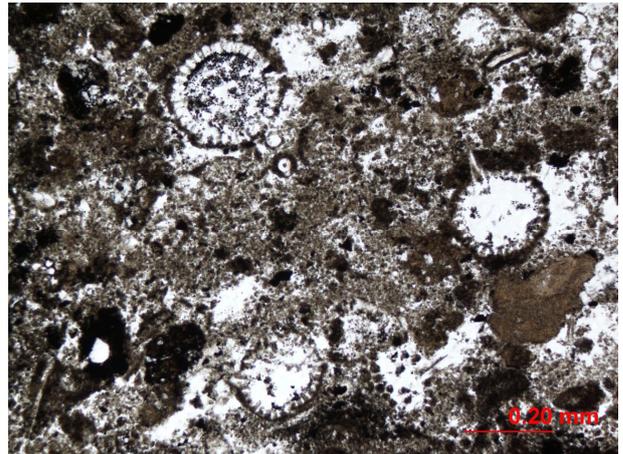


Abb. 5.1.70: Radiolarit mit gut erhaltenen Radiolarien (Dünnschliff der Probe Mrs-b, Durchlicht).

Mrs-a, -b, -c, -d, -f, -g, -h und -2 sind disseminiert und auf schmalen Äderchen mineralisiertes Nebengestein. Fein verteilt (Abb. 5.1.72) oder in lagig angeordneten Aggregaten (Abb. 5.1.73) kommen v. a. Pyrit (teils framboidal), sowie Chalkopyrit, Bornit, Covellin und wahrsch. Digenit vor. Dabei umwachsen die Cu-Sulfide oft den Pyrit und verdrängen ihn teilweise (Mrs-a, Mrs-g). In Mrs-f sind Pyrit-reiche Lagen mit verfaultet. Auf querschlägigen Äderchen mit Kalzit und Quarz kommen Bornit, Chalkopyrit, Pyrit, Chalkosin und Covellin vor (Abb. 5.1.74). Mrs-a zeigt zahlreiche sehr feine kurze Chalkopyrit-Äderchen (Abb. 5.1.72). Feinere erzführende Äderchen durchschlagen gröbere erzführende oder erzfreie Adern in brekziiertem Nebengestein. Pyrit kommt auch in der Matrix von Brekzien vor (nur im Karbonat; Mrs-f).

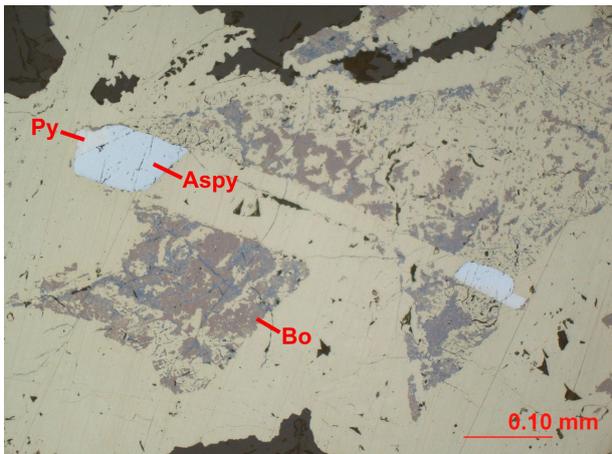


Abb. 5.1.71: Bornit (Bo), Chalkopyrit (gelb), sowie Pyrit (Py) und Arsenopyrit (Aspy) in Mrs-1 (Auflicht).

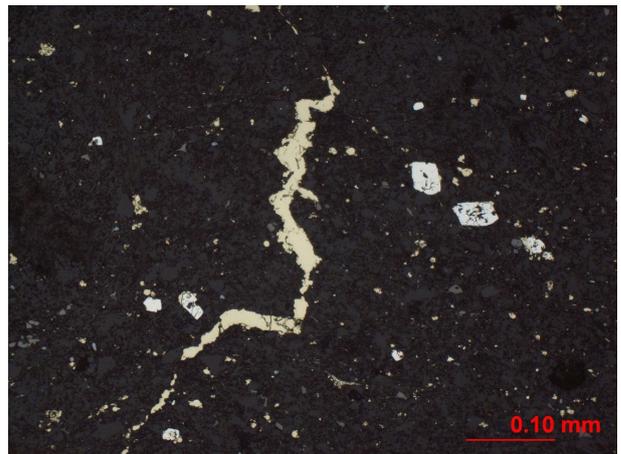


Abb. 5.1.72: Mrs-a mit disseminiertem Pyrit (weiß) und Chalkopyrit (gelb) auf feinsten Äderchen in (Auflicht).

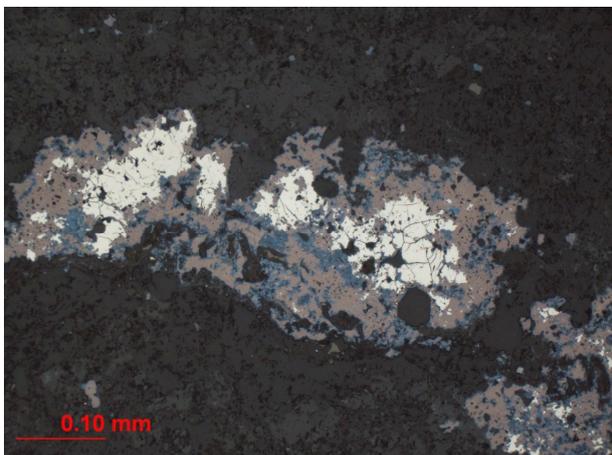


Abb. 5.1.73: Pyrit-Aggregate (weiß) werden durch Bornit verdrängt (rosagrau, mit blauem Covellin) (Mrs-g, Auflicht).

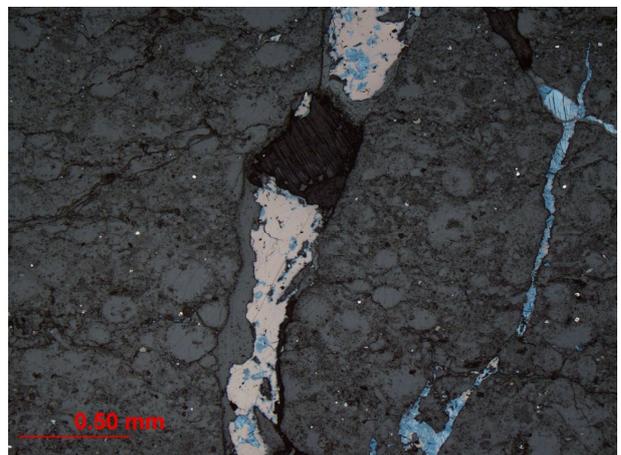


Abb. 5.1.74: Feine Äderchen in Probe Mrs-g mit Bornit (rosagrau), der teils zu Covellin (blau) verwittert ist.

Mrs-e und -1 sind Gangstücke. Mrs-e stammt aus einer ca. 5,5 cm breiten Kluft mit beigem bis blassrosa Kalzit als Gangart (Abb. 5.1.68). Auf beiden Seiten nah am Rand sind Pyrit, Chalkopyrit und untergeordnet Bornit, Chalkosin und Covellin im Kalzit eingesprengt oder frei auf Kalzit aufgewachsen. Mrs-1 besteht aus einer Verwachsung von tafeligem, weißem bis rosa Kalzit und bis cm großen Aggregaten aus Bornit, der von außen her durch Chalkopyrit verdrängt wird (Stribrny 1989 beschreibt die Bildung von Chalkopyrit aus Bornit während der Deformation). In diesen Aggregaten tritt auch etwas Pyrit verwachsen mit Arsenopyrit auf (Abb. 5.1.71). Nebengesteinsklasten bestehen aus schwarzem Kieselschiefer.

#### „Elisabeth“ bei Engelbach:

Die Probe Engl-1 stammt von einer Halde der Grube „Elisabeth“, ca. 0,5km westlich von Engelbach. Da die aus Nebengestein und einer relativ geringen Vererzung bestehende Probe sehr klein ist, ist sie schwer einzuordnen. Das Nebengestein ist Diabas mit zahlreichen makroskopisch gut erkennbaren Feldspäten (Abb. 5.1.75). Dabei handelt es sich vor allem um leistenförmige Albite, aber auch K-Feldspäte. Die Grundmasse besteht aus feinem faserigem grünem Chlorit mit Titanomagnetit, Rutil und Hämatit. Größere Hämatit-Aggregate bilden zusammen mit Chlorit Pseudomorphosen nach Olivin oder Pyroxen. Akzessorisch kommen Hellglimmer vor. Die Vererzung besteht aus schmalen Äderchen (Abb. 5.1.75) und einzelnen kleinen Aggregaten von Chalkopyrit, der teils zu Limonit und Malachit verwittert ist und wenige Pyrite einschließt (Abb. 5.1.76).



Abb. 5.1.75: Foto eines Stückes der Probe Engl-1 mit Nebengestein (v. a. links) und Vererzung auf unregelmäßigen Äderchen (rechte Hälfte des Stückes)

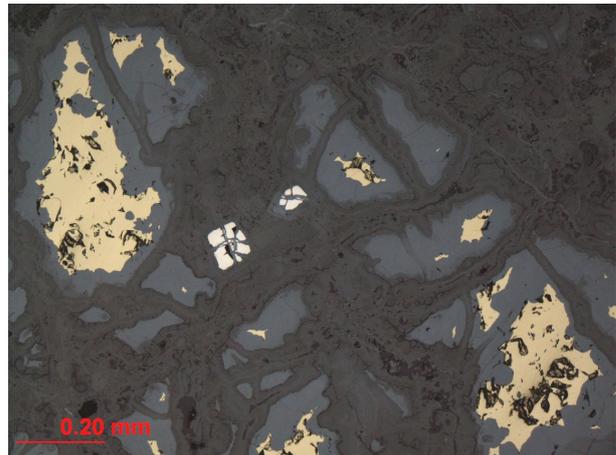


Abb. 5.1.76: Pyrit (weiß) und teilweise zu Limonit (grau) verwitterter Chalkopyrit (gelb) (Auflicht).

Alle folgenden Proben aus dem Rheinischen Schiefergebirge stammen aus Sammlungen.

#### ▪ Dillmulde:

##### Grube „Gottesgabe“ bei Roth:

Die Grube „Gottesgabe“, aus deren Gängen Roth-1 bis -4 kommen, liegt weniger als 1km südwestlich vom Ort Roth im Elbachtal. Roth-2 stammt von einem „Gang 4“. Roth-3 wird als „Huterz“ bezeichnet, erscheint aber kaum verwittert. Haupterzminerale und meist massiv ausgebildet sind Fahlerz (Abb. 5.1.77), Chalkopyrit und brauner Sphalerit. Untergeordnet kommen Pyrit, Arsenopyrit und Galenit vor. Gangarten sind weißer Quarz und ein braunes Karbonat. Die Cu-Sulfide sind teils zu Malachit, Azurit, Limonit, Tenorit, Cuprit, gediegen Cu oder Covellin verwittert (Abb. 5.1.79). In Roth-2 füllt Chalkopyrit Spaltrisse im Karbonat und verdrängt Sphalerit von Korngrenzen und Rissen her, vereinzelt begleitet von xenomorphem Galenit und etwas größerem hypidiomorphem Pyrit und Arsenopyrit (Abb. 5.1.78). Aggregate feinen xenomorphen Pyrites und Arsenopyrites scheinen ebenfalls von Chalkopyrit verdrängt zu werden (Abb. 5.1.78). Chalkopyrit, Galenit und ein Teil des Pyrites und Arsenopyrites sind also jünger. In Roth-3 sind in einem großen Chalkopyrit-Aggregat neben wenig Pyrit und Fahlerz auch Aggregate eingeschlossen, in denen verschiedene Erzminerale eng miteinander verwachsen sind (Abb. 5.1.80).

Dazu gehören Millerit, wahrscheinlich Polydymit, (Ferro-)Vaesit, Covellin und ein teilweise verwittertes Cu-Pb-Bi-Sulfosalz, das auch per REM nicht genauer identifiziert werden konnte. In Roth-2 und Roth-4 ist auch ein quarzitisches, schwarzes (Roth-2) oder hellgraues (Roth-4) Nebengestein vertreten.



Abb. 5.1.77: Foto der Probe Roth-1, bestehend aus Fahlerz (grau) und Quarz (weiß) mit Azurit (blau) und Malachit (grün).

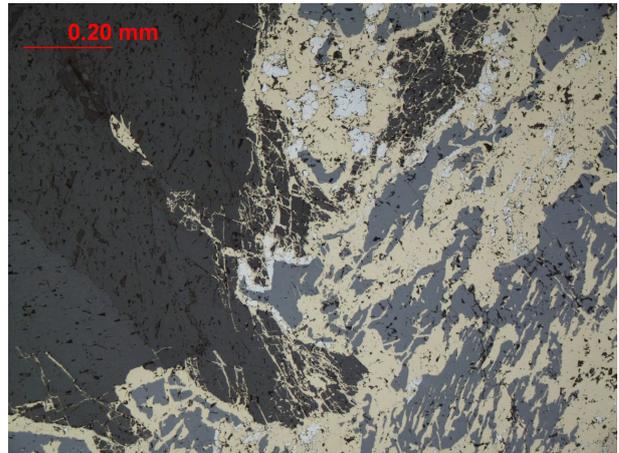


Abb. 5.1.78: Dünnschliff der Probe Roth-2 im Auflicht. Chalkopyrit (gelb) verdrängt Sphalerit (hellgrau) und Karbonat (dunkelgrau), sowie Pyrit-Arsenopyrit-Aggregate (weiß).

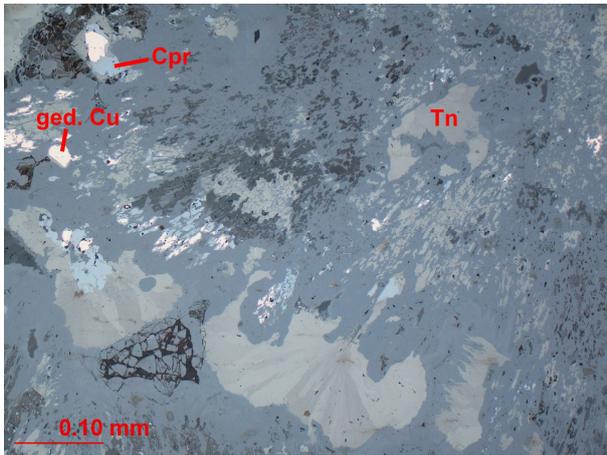


Abb. 5.1.79: Gemenge verschiedener Sekundärminerale in Probe Roth-3: gediegen Kupfer, Cuprit (Cpr), Tenorit (Tn), Malachit (dunkelgrau) und Limonit (heller grau) (Auflicht).

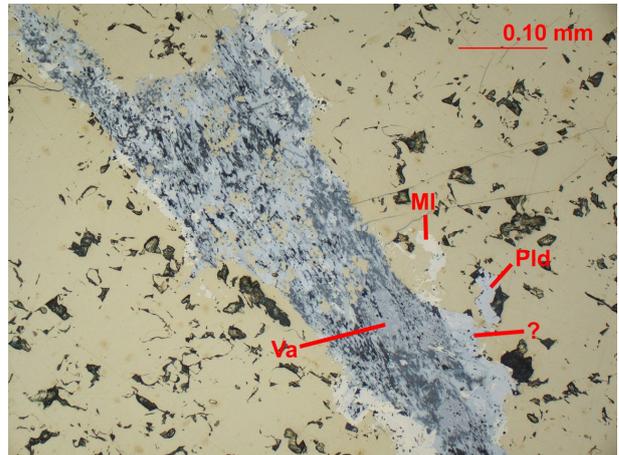


Abb. 5.1.80: Aggregat eng verwachsener Minerale in Probe Roth-3: Millerit (MI), Polydymit (Plid), (Ferro-)Vaesit (Va), Covellin und ein nicht identifiziertes Sulfosalz (?), daneben Chalkopyrit (gelb) (Auflicht).

### Grube „Boxbach“ bei Hesselbach:



Abb. 5.1.81: Foto der Probe Boxb-1 mit Chalkopyrit (gelb), Gangquarz (weiß) und Nebengesteinsklasten (grau).

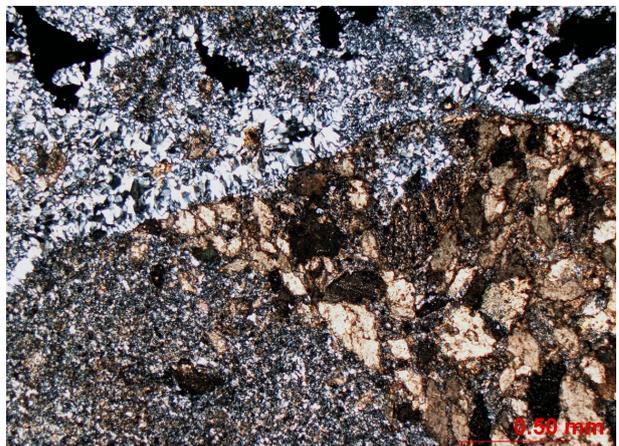


Abb. 5.1.82: Dünnschliff der Probe Boxb-1 im Durchlicht: unten: Nebengesteinsklast mit Karbonat (rechts), oben: Gangquarz (grau) mit Erzaggregaten (opak).

Die Probe Boxb-1 stammt aus der Grube „Boxbach“, die zwischen Hesselbach und Klein Gladenbach im Tal des Boxbaches liegt. Weißer Gangquarz enthält bis cm große Chalkopyrit-Aggregate und wenig Pyrit, sowie zahlreiche Nebengesteinsklasten (Abb. 5.1.81 – dunkelgrauer Tonschiefer – nach Reich et al. 1935 unterdevonischer Wissenbacher Schiefer). Randlich sitzen darin kleine Chalkopyrit-Aggregate. Viele Nebengesteinsklasten sind durchsetzt mit Aggregaten oder idiomorphen Einzelkristallen eines hellbraunen Karbonates. Feine Quarz-Äderchen mit Chalkopyrit und Pyrit durchschlagen Nebengesteinsklasten und Karbonat-Massen (Abb. 5.1.82). Das Karbonat (wahrsch. Siderit oder Ankerit) gehört also einer älteren Mineralisationsphase an, als Quarz, Chalkopyrit und Pyrit.

#### „Selnbach“ bei Wiesenbach:

Die Grube „Selnbach“ liegt auf der Nordseite des Elsbach-Tales, rund 1km nordöstlich von Wiesenbach und rund 3km südwestlich von Breidenstein. Die Probe Sel-1 scheint mehrere Phasen einer Gangfüllung zu enthalten. Zu einer ersten Phase gehört offenbar ein Gemenge aus einem äußerst feinem Material mit rundlichen oft radialstrahligen Siderit-Aggregaten (meist randlich verwittert – Abb. 5.1.83) und Tonschieferklasten; wahrscheinlich die bei Reich (1934) und Stoppel (1988) beschriebene Reibungsbrekzie. Dieses geht über in Massen hypidiomorphen Siderits, der teils zu Limonit und wahrscheinlich Manganit verwittert ist. Im Tonschiefer und der feinen Grundmasse sitzt fein disseminiert teils framboidal Pyrit. Jünger sind querschlägige Äderchen bis unregelmäßige Massen aus feinem Quarz und vereinzelt Karbonat mit Aggregaten von Fahlerz, Chalkopyrit und wenig Pyrit (Abb. 5.1.84). Im Quarz ist teils Siderit in Einzelkristalle aufgelöst oder Sideritkristalle sind zerbrochen.



Abb. 5.1.83: Rundliche Siderit-Aggregate in feiner Matrix durchschlagen von einem Quarz-Äderchen (Durchlicht).

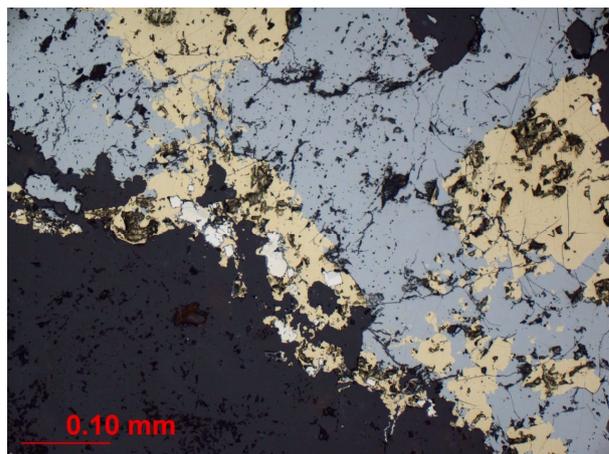


Abb. 5.1.84: Aggregat aus Fahlerz (hellgrau), Chalkopyrit (gelb und Pyrit (weiß) (Auflicht).

#### Grube „Teutsch“ bei Gönnern:

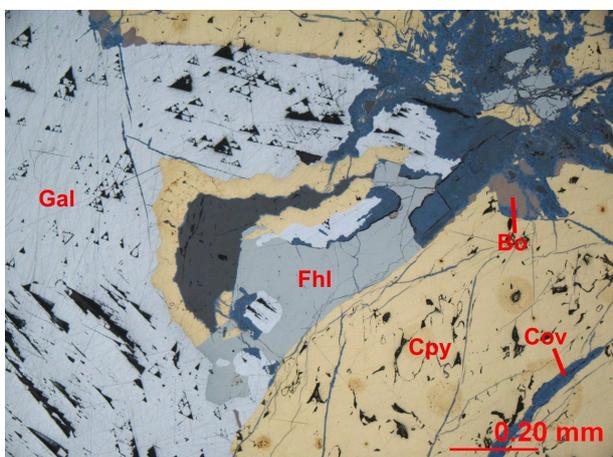


Abb. 5.1.85: Galenit (Gal), Fahlerz (Fhl), Bornit (Bo), Chalkopyrit (Cpy) und Covellin (Cov) im Dünnschliff (Auflicht).

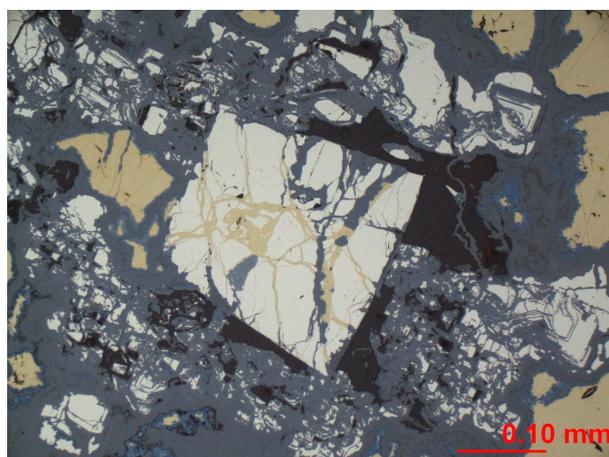


Abb. 5.1.86: Kataklastischer Pyrit mit Chalkopyrit (gelb) auf Rissen, sowie zonierte Pyrit, daneben Chalkopyrit (Auflicht).

Gön-1 stammt aus der Grube „Teutsch“ am westlichen Ortsrand von Gönnern. In massiven Chalkopyrit eingeschlossen sind mm große Pyrit-Aggregate (Abb. 5.1.86), in denen der Pyrit teils zoniert und teils zerbrochen ist (mit Chalkopyrit auf den Rissen). Weiterhin kommen kleine Bornit-Aggregate (mit Chalkopyrit-Entmischung) und bis cm große Galenit-Aggregate vor, die meist von etwas Fahlerz begleitet sind. Teils zeigt Galenit gegenüber Chalkopyrit gerade Außenflächen, teils ist er xenomorph und verwachsen mit Fahlerz und Bornit (Abb. 5.1.85). Covellin, Chalkosin und Limonit sind Verwitterungsbildungen nach Chalkopyrit, Bornit und Fahlerz und verdrängen auch zusammen mit Anglesit oder Cerussit von Spalt-rissen her den Galenit. Quarz und Karbonat als Gangarten sind nur in geringer Menge vertreten.

**„Amalie“ bei Amelose:**

Die Probe Amel-1 ist ein Gangstück mit Nebengesteinsklasten. Sie stammt aus der Grube „Amalie“ am östlichen Ortsrand von Amelose, einem Ortsteil von Mornshausen. In Gangquarz eingesprengt sind zahlreiche kleine Fahlerz-Aggregate, die teils zu Azurit, Malachit und Limonit, sowie zu Cuprit und gediegen Kupfer verwittert sind. Laut Beschriftung sollen noch Galenit und Kalzit vorkommen, die aber nicht beobachtet wurden. Das Nebengestein in den Klasten ist verwitterter oder alterierter Diabas (nach Stoppel 1988 Alteration des unterkarbonischen Deckdiabases im Zusammenhang mit Vererzung), in dem Plagioklase durch Karbonat ersetzt sind und Olivine oder Pyroxene durch ein faseriges grünes Mineral (evtl. Uralit). Die ehemaligen Plagioklase sind auch oft mit Malachit und Azurit imprägniert.

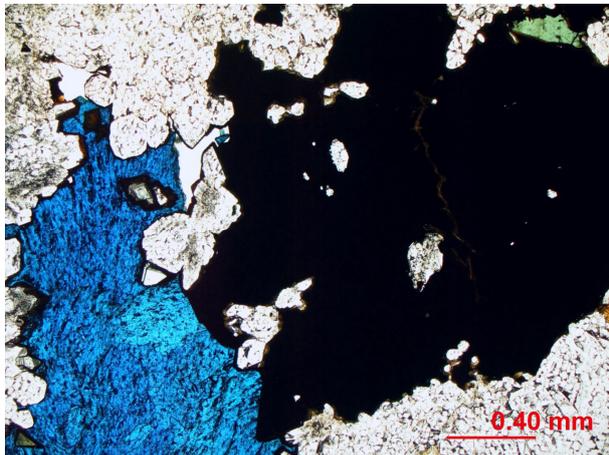


Abb. 5.1.87: Fahlerz (opak), Azurit (blau), Malachit (grün) und Gangquarz (farblos) im Dünnschliff der Probe Amel-1 (Durchlicht, Hellfeld). 0.40 mm

**„Alte“ und „Neue Constanze“ bei Eisemroth:**

AtKonst-1 und NKonst-1 kommen aus den Gängen der „Alten“ und denen der „Neuen Constanze“ (Abb. 5.1.90). Die „Alte Constanze“ liegt im Weibach- oder Weubach-Tal, rund 2km südwestlich von Eisemroth und die „Neue Constanze“ am Wasenberg etwa 1,5km westlich der „Alten Constanze“. Beide Proben bestehen aus wenig weißem Gangquarz und Chalkopyrit (Abb. 5.1.88), der relativ stark zu Limonit (Abb. 5.1.89), Malachit und untergeordnet Covellin und Hämatit verwittert ist.



Abb. 5.1.88: Foto der Probe NKonst-1.

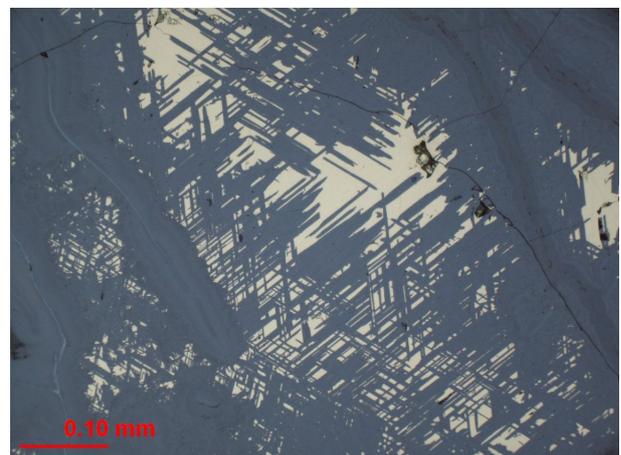


Abb. 5.1.89: Probe NKonst-1 im Auflicht. Chalkopyrit (gelb) ist orientiert zu Limonit (grau) verwittert. 0.10 mm

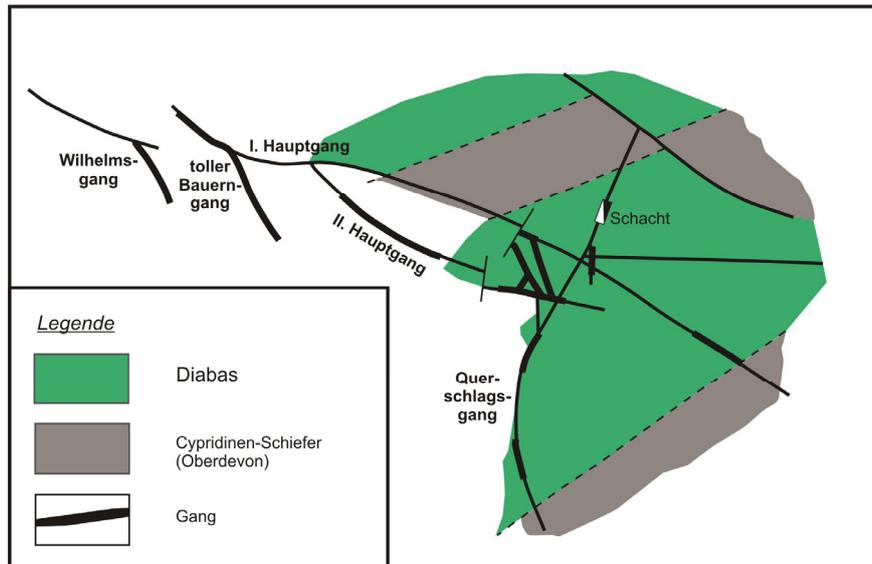


Abb. 5.1.90: Gangkarte der „Neuen Constanze“ nach Kayser & Lotz (1907b)

### „Stangenwaage“ und „Eisenberg“ bei Donsbach:

Donsb-1 stammt aus der Grube „Stangenwaage“, etwas mehr als 1km nordwestlich von Donsbach. Donsb-2 ist aus der Grube „Eisenberg“ bei Donsbach, die nach Kayser & Lotz (1907a) zu Haus Nassau südwestlich von Donsbach gehört. Donsb-1 zeigt einen 3-4cm breiten Gang (Abb.5.1.91), von dem kleine Äderchen beiderseits ins Nebengestein abzweigen (rötlicher Tonschiefer bis Sandstein – nach Beschreibungen in Kayser & Lotz 1907a wahrscheinlich Cyridien-Schiefer). Im Gang sitzen cm große Aggregate von Chalkopyrit und untergeordnet Pyrit in weißem Kalzit und Quarz. Donsb-2 ist ebenfalls ein Gangerz. Die Probe zeigt Chalkopyrit-Aggregate in weißem Gangquarz mit Malachit-Überzügen und -Aggregaten (Abb. 5.1.92). Der Chalkopyrit ist randlich zu Limonit, Covellin und Chalkosin verwittert.



Abb. 5.1.91: Foto der Probe Donsb-1. Die Sägefläche zeigt Chalkopyrit, Pyrit und weiße Gangart, sowie oben und unten rötliches Nebengestein.



Abb. 5.1.92: Foto der Probe Donsb-2.

### „Constanze“ bei Langenaubach:

Lang-1 stammt nach Beschriftung vom Säckelager(?) auf der 165m Sohle der wenig östlich von Langenaubach gelegenen Grube. Bei Stoppel (1988) wird die Grube als Fe-Grube mit Abbau von Lahn-Dill-Eisenerzen geführt, aber offenbar wurden auch Cu-Erzgänge angetroffen. Gangarten in der Probe sind grober weißer bis rosa Kalzit (Abb. 5.1.93) und untergeordnet Quarz. Haupterzmineral ist massiver Bornit (Abb. 5.1.93). Darin sitzen xenomorphe Chalkopyrit-Aggregate und einige kleine Pyrite. Vielfach entmischt der Bornit Chalkopyrit, teils an Risse gebunden, aber auch an Aggregate von hypidiomorphstengeligem bis xenomorphem Hämatit, die vor allem am Rand des Bornites sitzen (Abb. 5.1.94). Stellenweise ist der Bornit zu Covellin verwittert.

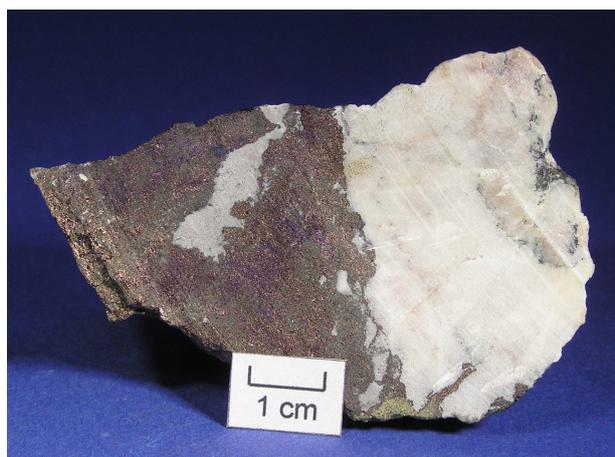


Abb. 5.1.93: Foto der Probe Lang-1. rechts: weißer Kalzit, links: überwiegend Bornit (violett angelaufen), am unteren Rand Chalkopyrit (gelb).

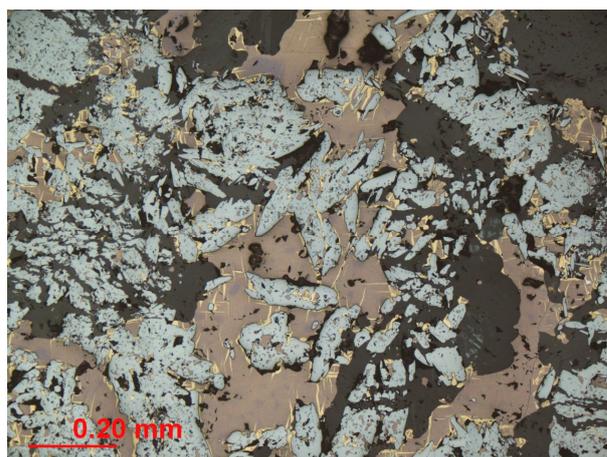


Abb. 5.1.94: Dünnschliff der Probe Lang-1 (Auflicht) mit Bornit (rosagrau, leicht angelaufen) welcher lamellar Chalkopyrit entmischt (gelb), sowie Hämatit (hellgrau).

### „Aurora“ (?) bei Niederrossbach:

Für NdRosb-1 wird zur Herkunft nur der Ort Niederrossbach angegeben. Die dem Ort am nächsten liegende, auf den geologischen und topographischen Karten eingetragene Grube ist die „Aurora“, etwas weniger als 1km nordwestlich von Niederrossbach. Die Probe besteht aus hellgrauem, leicht tonigem Quarzit (nach Stoppel 1988 Unterdevon), der von mm breiten Äderchen durchtrümpert wird. Diese führen ein braunes idiomorphes Karbonat (wahrscheinlich Siderit) und farblosen Quarz, sowie Fahlerz und untergeordnet Chalkopyrit und Pyrit (Abb. 5.1.95 und 5.1.96). Fahlerz und Chalkopyrit sind an wenigen Stellen zu Covellin verwittert. Die Erz-Äderchen können vom eigentlichen Gang ablaufende Trümer sein, oder die Probe stammt aus einem Gangbereich, der viel Nebengestein enthält.



Abb. 5.1.95: Foto der Probe NdRosb-1 mit Fahlerz (grau, Metallglanz) und hellgrauem Nebengestein.

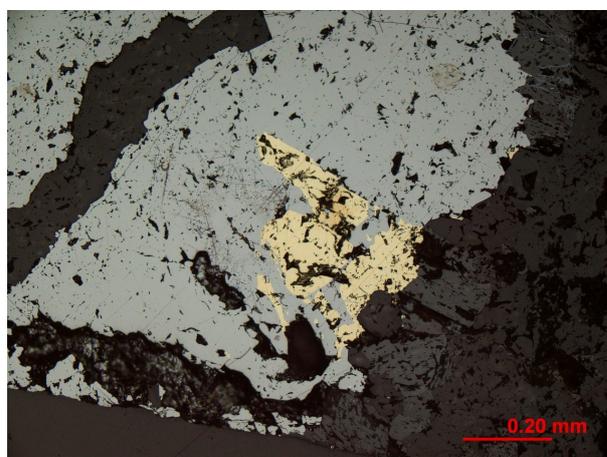


Abb. 5.1.96: Fahlerz (hellgrau) und Chalkopyrit (gelb) im Dünnschliff (Auflicht).

### ▪ Siegerland:

#### „Brüderbund“ bei Eiserfeld:

Nach Fenchel et al. (1985) ist die Grube „Brüderbund“ aus mehreren Gruben auf dem Pfannenberger Gangzug, ca. 6-7km südlich von Siegen konsolidiert. Eiserf-1 wurde einer Grube zugeordnet, die auf der geologischen Karte (Denckmann & Quiring 1930) unter dem Namen „Brüderbund“ eingezeichnet ist. Eiserf-2 stammt aus dem „Kaiser Wilhelm Schacht“, nahe am Ostrand des Blattes 5113 Freudenberg. Bei Eiserf-1 bildet relativ feiner hellbrauner Siderit die Grundmasse (Abb. 5.1.97) und als weitere Gangart tritt weißer Quarz auf. In Siderit und Quarz verteilt sind bis mehrere cm große Chalkopyrit-Aggregate (teils auch als kurze schmale Äderchen), sowie kleine Pyrit-Aggregate. Wenige kleine Galenit- und Sphalerit-Aggregate sind meist im Chalkopyrit eingeschlossen (Abb. 5.1.98). Eiserf-2 besteht aus fast massivem Chalkopyrit mit relativ wenig Pyrit, Siderit und Quarz.



Abb. 5.1.97: Foto der Probe Eiserf-1 mit Chalkopyrit (gelb, leicht angelaufen) in Siderit (beige).

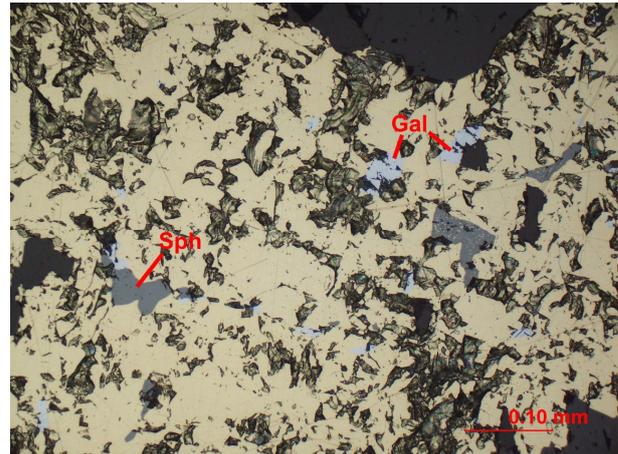


Abb. 5.1.98: Galenit (Gal) und Sphalerit (Sph) in Chalkopyrit (Dünnschliff der Probe Eiserf-1, Aufsicht).

**Grube „Storch und Schöneberg“:**

Storch-1 und -2 stammen aus der südwestlich von Siegen, auf dem Gosenbacher Gangzug gelegenen Grube. Beide Proben sind Gangerze aus massivem Chalkopyrit (Abb. 5.1.99) mit wenig Pyrit. Dieser bildet oft bandartig angeordnete hypidiomorphe Aggregate (Abb. 5.1.100), in denen der Pyrit teils kataklastisch mit Chalkopyrit auf den Rissen ist (ein Hinweis auf Deformation des Ganginhaltes). Wenig Gangart (hellbrauner Siderit und Quarz) bildet bis cm große Aggregate (Abb. 5.1.99).



Abb. 5.1.99: Foto der Probe Storch-1.

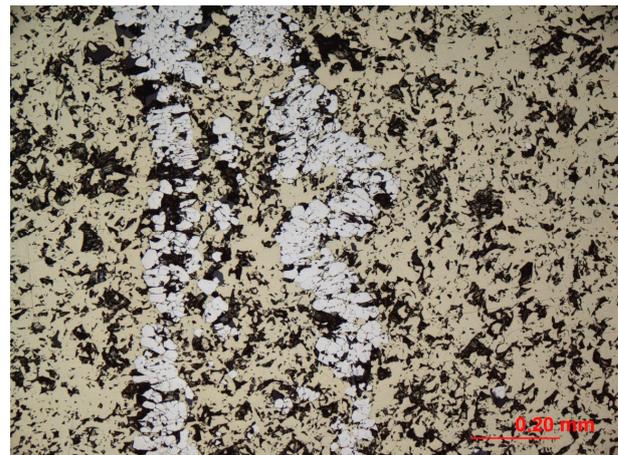


Abb. 5.1.100: Bandartige Pyrit-Aggregate (weiß) in Chalkopyrit (Dünnschliff der Probe Storch-1, Aufsicht).

**Grube „Alte Dreisbach“:**

AtDreis-1 kommt laut Beschriftung aus der Grube „Alte Dreisbach“ (Gosenbacher Gangzug) südwestlich von Siegen im Bereich des gleichnamigen Ortes. Die Probe (laut Beschriftung aus der Zementationszone) besteht aus massivem Chalkosin (Abb. 5.1.101) mit wenigen kleinen Quarz-Aggregaten und Hämatit



Abb. 5.1.101: Foto der Probe AtDreis-1.

**Grube „Silberwiese“ bei Oberlahr:**

Silb-1 kommt aus der Grube „Silberwiese“ nordwestlich von Oberlahr. Die Probe ähnelt denen von „Storch und Schöneberg“. Massiver Chalkopyrit enthält bis cm große, meist annähernd linsenförmige Aggregate von Pyrit und Siderit mit etwas Quarz. Unter dem Mikroskop sind auch kleine Fahlerz-Aggregate erkennbar (Abb. 5.1.102). Oft sitzt Chalkopyrit und teils auch Fahlerz auf Spaltrissen im Siderit. Fahlerz füllt vereinzelt auch zusammen mit Chalkopyrit Risse im Pyrit und durchzieht als feinste Äderchen den Chalkopyrit. Die Form der Pyrit- und der Siderit-(Quarz)-Aggregate weist auf eine Deformation der Gangfüllung hin.

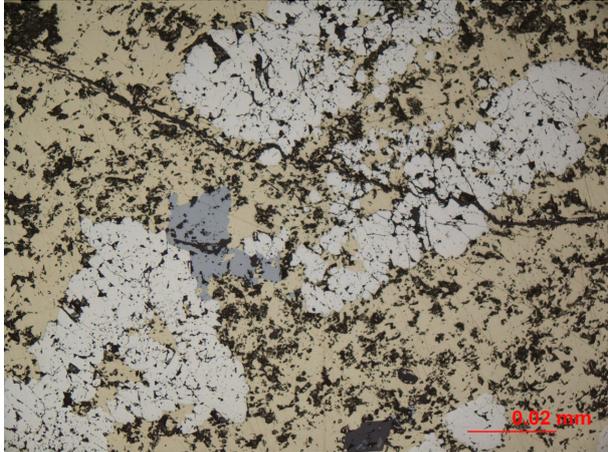


Abb. 5.1.102: Dünnschliff der Probe Silb-1 mit Pyrit (weiß) und Fahlerz (hellgrau) in Chalkopyrit (Auflicht).

Allgemein ist zu den Siegerländer Proben zu sagen, dass der Mineralbestand der Proben Eiserf-1 und -2, Storch-1 und -2 und Silb-1 zu den Beschreibungen der Paragenesen der „Hauptphase“ („Sideritphase“) und nachfolgenden „Sulfidphase“ bei Rao (1967) und Fenchel et al. (1985) passt, wobei der Pyrit eventuell auch aus der älteren „Vorphase“ stammen kann. Die Ergebnisse der Pb-Isotopen-Analysen (vgl. Kapitel 5.4. und 6.2.) deuten aber an, dass zumindest in den Proben aus der Grube „Storch und Schöneberg“ auch jüngere Paragenesen vertreten sind, das heißt dass der Chalkopyrit eventuell der Quarz-Chalkopyrit-Phase angehört (Fuchs et al. 1932 und Fenchel et al. 1985 beschreiben das Auftreten von jüngeren Paragenesen in der Grube).

▪ **Distrikt Untere Lahn:**

**Grube „Holzappel“:**

Die Grube, die auf dem Holzappeler Gangzug baute, liegt rund 1km südwestlich vom gleichnamigen Ort. Hlz-1 stammt vom „Ersten Hangenden Trum“ auf der 18. Tiefbausohle, Hlz-2 vom „Weißen Gebirgsgang“ und Hlz-3 vom „Ersten Hauptgang“ auf der 60m Sohle.



Abb. 5.1.103: Zwei Stücke der Probe Hlz-1, v. a. aus weißem Quarz, Chalkopyrit (gelb), Galenit und Sphalerit. bestehend.



Abb. 5.1.104: Foto der Probe Hlz-2. Gut erkennbar sind Chalkopyrit- und Galenit-Bänder (gelb bzw. grau und stark glänzend) neben Sphalerit (grau) und etwas Gangart (weiß).

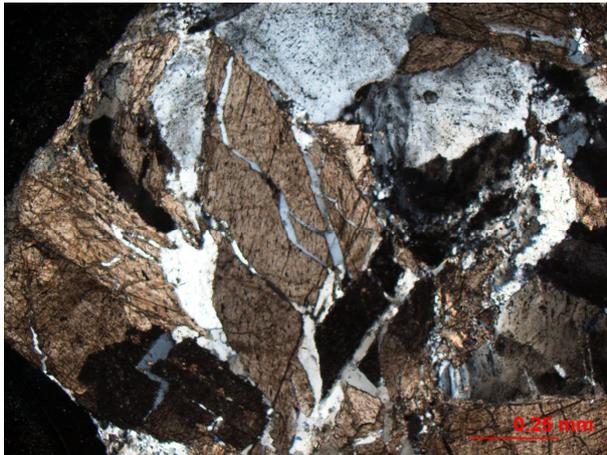


Abb. 5.1.105: Zerbrochener Siderit in Quarz (Probe Hlz-1, Durchlicht).

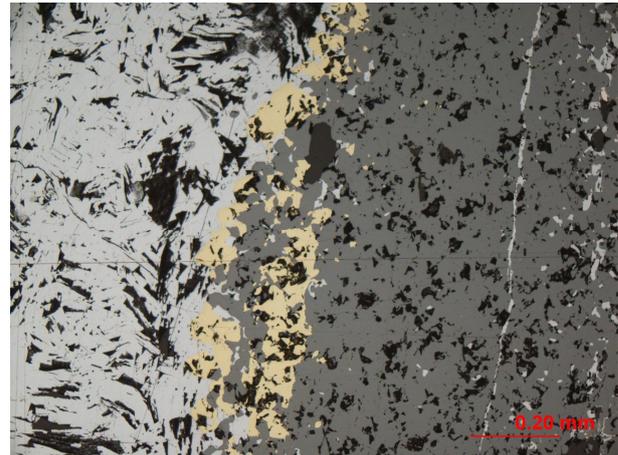


Abb. 5.1.106: Bänder von Galenit (hellgrau), Sphalerit (dunkelgrau) und Chalkopyrit (gelb) (Probe Hlz-2, Auflicht).

Hlz-1 und Hlz-3 sind sich sehr ähnlich, mit weißem (bei Hlz-3 auch grauem) Quarz und wenig hellbraunem Karbonat (wahrscheinlich Siderit) als Gangart. Darin kommen bis mehrere cm große Aggregate aus Chalkopyrit vor, sowie in geringerer Menge und oft im Chalkopyrit eingeschlossen Pyrit, Galenit und Sphalerit (Abb. 5.1.103). Sphalerit entmischt in Hlz-1 meist Chalkopyrit. In Hlz-1 ist der idiomorphe Siderit teils zerbrochen mit Quarz auf den Rissen (Abb. 5.1.105), also älter als der Quarz. Bei Hlz-2 bilden die Sulfide und wenig Gangart Bänder bis Linsen (Abb. 5.1.104). Der Ganginhalt wurde also deformiert. Gangarten sind weißer Quarz und untergeordnet Karbonat. Bei den Sulfiden dominieren Chalkopyrit, Galenit und Sphalerit (Abb. 5.1.106) über Pyrit und Fahlerz. Nach dem Paragenese-Schema von Herbst (1969) sind in den Proben die „Vorphase“ (Siderit) und „Hauptphase“ (übrige Minerale) vertreten. Nebengestein (dunkelgrauer Tonschiefer bzw. quarzitisch) kommt als Klasten in Hlz-1, -2 und -3 vor.

#### Gangzug Bad Ems-Braubach:

EmsF-1 stammt aus dem Hauptgang der Grube „Friedrichsegen“ (rund 3,5km südwestlich von Bad Ems), EmsM-1 aus der Grube „Merkur“ nordöstlich von Bad Ems (auf der Ostseite des Emsbach-Tales) und EmsN-1 aus der Grube „Neuhoffnung“ rund 1km nordöstlich von Bad Ems (mit Grube „Merkur“ konsolidiert). Die Grube „Merkur“ baute auf mehreren Ganggruppen auf der Ostseite des Emsbach-Tales. Das sind von Süd nach Nord der Neuhoffnungsgang mit der Grube Neuhoffnung, der Fahnenberger Gang und die Pfingstwieser Gänge (Kayser 1892a, Ehrendreich 1958). Die Zuordnung von Ems-1 ist unsicher. Das Stück ist beschriftet mit „Neuhoffnungsgang“. Einen Gang dieses Namens gibt es in der Grube „Merkur“ bzw. „Neuhoffnung“ und auch in der Grube „Friedrichsegen“ südwestlich von Bad Ems. Brau-1 stammt aus der Grube „Rosenberg“ am nordöstlichen Ortsrand von Braubach, aus der Hutzone des Ganges „3 Nord“, der zu den Hohler Gängen gehört.

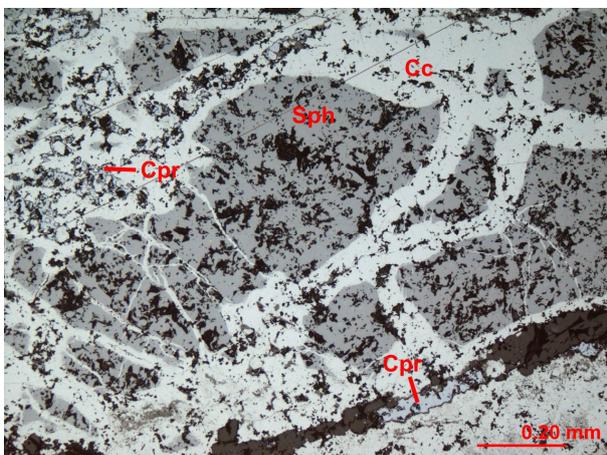


Abb. 5.1.107: Dünnschliff der Probe EmsF-1. Sphalerit (Sph) wird von Chalkosin (Cc) und Cuprit (Cpr) verdrängt (Auflicht).

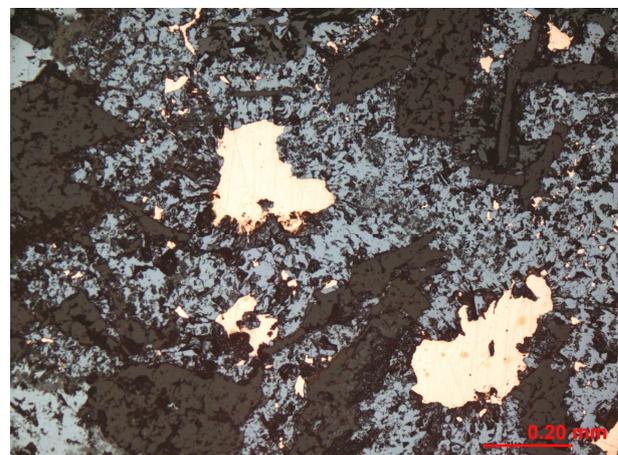


Abb. 5.1.108: Dünnschliff der Probe EmsF-1 im Auflicht: gediegen Kupfer (orange) mit Cuprit (bläulich).

EmsF-1 (Abb. 5.1.109) kommt offenbar aus der Oxidationszone. Gangart ist weißer Quarz. Dieser enthält Aggregate aus braunem Sphalerit, der von außen her durch ein Gemenge verschiedener Cu-Sekundärminerale verdrängt wird, die auch Risse im Quarz füllen. Dabei wird der Sphalerit zunächst von Chalkosin verdrängt (Abb. 5.1.107). Daran schließen sich Chalkosin in enger Verwachsung mit Cuprit und Tenorit an, dann Cuprit mit gediegen Kupfer (Abb. 5.1.108) und schließlich Malachit. Außer dem Sphalerit ist von der primären Vererzung nur noch sehr wenig Chalkopyrit und Pyrit erhalten. Hellgrauer Tonschiefer (nach Ehrendreich 1958 Unterdevon) tritt als Klasten im Gang auf.



Abb. 5.1.109: Foto der Probe EmsF-1 mit Sphalerit, Chalkosin (dunkel), Cuprit, ged. Cu (rötlich), sowie Quarz und Malachit.



Abb. 5.1.110: Foto der Probe EmsM-1.

EmsM-1 besteht aus weitgehend massivem Chalkopyrit (Abb. 5.1.110). Darin kommen in geringer Menge Pyrit und Galenit vor (auf kurzen Äderchen, also eventuell jünger), sowie wenig Quarz und ein bräunliches Karbonat (wahrscheinlich Siderit) als Gangarten. Das Karbonat wird von Spaltrissen her durch Quarz und Chalkopyrit verdrängt, ist also älter als diese (Abb. 5.1.111).

Bei EmsN-1 ist Chalkopyrit eingesprengt in weißem Gangquarz und hellbraunem Karbonat (wahrscheinlich Siderit) bis fast massiv. Teils im Chalkopyrit, teils in eigenen Aggregaten kommen Pyrit und Fahlerz (Tetraedrit) vor, sowie Aggregate in denen gediegen Bi eng mit zwei auch per REM nicht genau bestimmten Sulfiden verwachsen ist (Abb. 5.1.112). Eines ist ein Cu-Bi-(Pb?)-Sulfid (eventuell Cuprobismutit), das andere besteht aus Bi, Se und S und könnte auch nach den optischen Eigenschaften Laitakarit sein. Nebengesteinsklasten bestehen aus einem grauen glimmerführenden Tonschiefer (nach Ehrendreich 1958 Unterdevon).

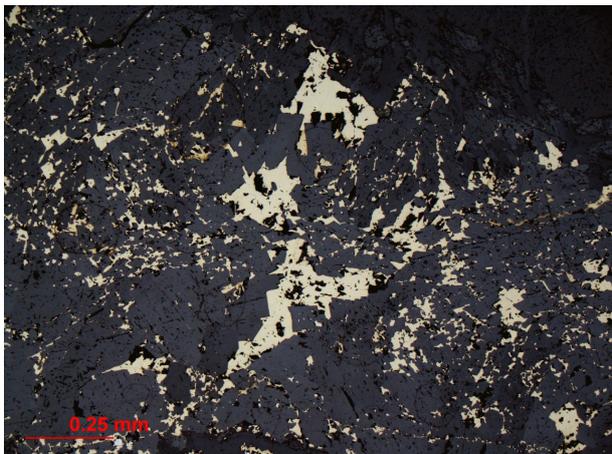


Abb. 5.1.111: Dünnschliff der Probe EmsM-1 mit Chalkopyrit (gelb) auf Spaltrissen im Karbonat (Auflicht).

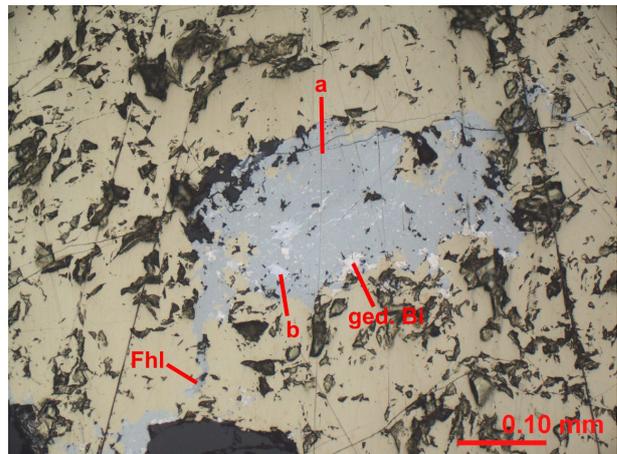


Abb. 5.1.112: Aggregat aus gediegen Bi, Cuprobismutit? (a), Laitakarit? (b) und Fahlerz (Fhl) im Auflicht (Probe EmsN-1).

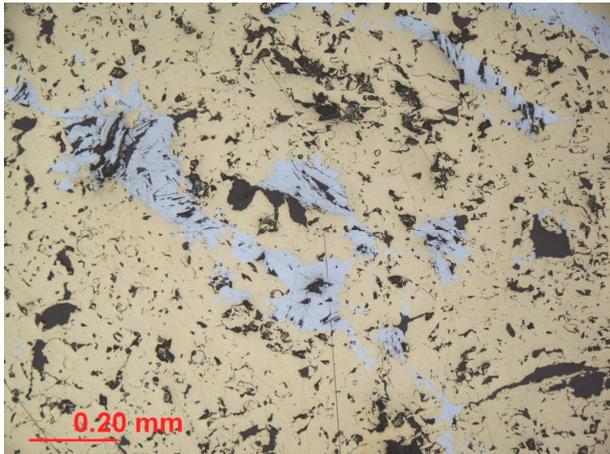


Abb. 5.1.113: Galenit-Aggregate (hellgrau, bläulich erscheinend) in Chalkopyrit (Probe Ems-1, Auflicht).

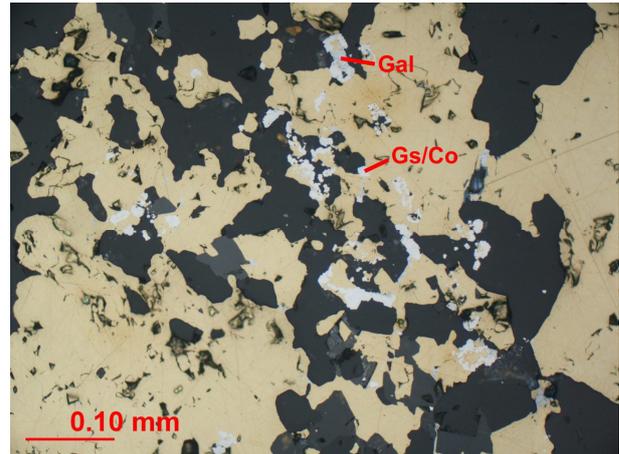


Abb. 5.1.114: Dünnschliff der Probe Ems-1 (Auflicht) mit Chalkopyrit (gelb), Galenit (Gal), einem Mineral mit einer Zusammensetzung zwischen Gersdorffit und Cobaltit (Gs/Co), sowie Quarz (dunkelgrau) und Karbonat (etwas heller grau).

Auch bei Ems-1 ist Chalkopyrit Hauptbestandteil. Darin kommen idiomorphe Pyrite vor, sowie oft durch Deformation lang gestreckte Aggregate von Galenit (Abb. 5.1.113) und Sphalerit (mit Chalkopyrit-Entmischung) bzw. schmale „Bänder“ mit Quarz, einem hellbraunen Karbonat (per REM als Mn-reicher Siderit bestimmt), kleinen Chalkopyrit-Aggregaten und untergeordnet auch Sphalerit, Galenit und Ullmannit, sowie Minerale mit einer mittels REM bestimmten Zusammensetzung zwischen Gersdorffit und Cobaltit (Abb. 5.1.114).

Brau-1 ist eine Probe aus der Oxidationszone eines Ganges. Es handelt sich um ein poröses Gemenge aus Quarz (Gangquarz), braunem Karbonat (wahrsch. Siderit), Malachit, Limonit und Azurit (Abb. 5.1.115). In einigen Stücken sind auch noch Aggregate von Sphalerit bzw. Galenit erhalten. Im Dünnschliff sind noch teilweise verwitterte Pyrit-Aggregate (Abb. 5.1.116) und vereinzelt Überreste von Chalkopyrit zu erkennen.



Abb. 5.1.115: Foto eines Azurit-reichen Stückes der Probe Brau-1.

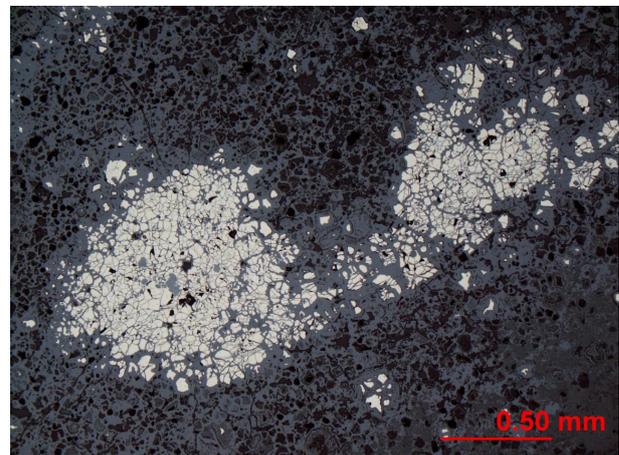


Abb. 5.1.116: Teilweise verwittertes Pyrit-Aggregat in der Probe Brau-1 im Auflicht.

### Werlau:

Als Herkunft für die Gangerze Wer-1 und Wer-2 wird nur der Ort Werlau genannt. Wahrscheinlich stammen die Proben aus der Grube „Werlau“ (Walther et al. 1986) bzw. „Gute Hoffnung“ (Holzapfel 1903). Bei Wer-1 (Abb. 5.1.117) ist die Grundmasse weißer Quarz. Darin sitzen Nebengesteinsklasten (grauer karbonathaltiger und glimmerreicher Tonschiefer mit wahrsch. synsedimentärem Pyrit) und Aggregate von blassbraunem Karbonat, sowie Chalkopyrit, Sphalerit und Galenit. Sphalerit und Galenit scheinen Chalkopyrit zu verdrängen (Chalkopyrit-Einschlüsse in Sphalerit als Verdrängungsreste interpretierbar, teils Sphalerit und Galenit auf Rissen im Chalkopyrit; Abb. 5.1.119). Wer-2 besteht vor allem aus blassbraunem Karbonat (laut REM ein Fe-Mn-Karbonat), Chalkopyrit und Galenit (Abb. 5.1.118).

Untergeordnet tritt als Gangart weißer Quarz auf. Chalkopyrit, Karbonat und Quarz bilden linsenförmige, teils verfaltete Aggregate; ein deutlicher Hinweis auf eine Deformation der Gangfüllung. Chalkopyrit füllt dabei Spaltrisse bzw. Äderchen im Karbonat (Abb. 5.1.118). Die Galenit-Aggregate dagegen schlagen quer durch die anderen Minerale. Galenit, Sphalerit und Pyrit kommen auch als kleine Aggregate im oder neben Chalkopyrit vor, des Weiteren auch ein Fe-Co-Ni-Sulfid der Linneit-Gruppe („Kobaltnickelkies“), das kristallographisch orientiert von Chalkopyrit und Galenit verdrängt wird (Abb. 5.1.120), sowie sehr kleine Aggregate eines Ag-Cu-Fe-Sb-Sulfids (evtl. Stephanit oder Polybasit).



Abb. 5.1.117: Foto eines Stückes der Probe Wer-1.



Abb. 5.1.118: Foto der Probe Wer-2 mit Chalkopyrit (gelb), teils auf Äderchen in Karbonat (Mitte), und Galenit (rechts).

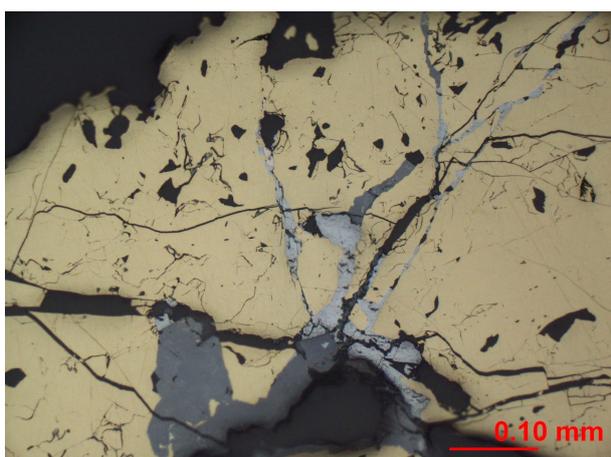


Abb. 5.1.119: Galenit (hellgrau) und Sphalerit (mittelgrau) auf Rissen im Chalkopyrit (Probe Wer-1, Auflicht).

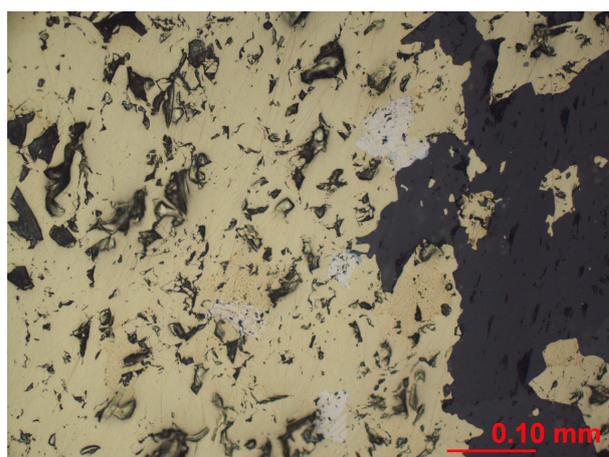


Abb. 5.1.120: „Kobaltnickelkies“ mit Galenit (hellgrau) in Chalkopyrit (Probe Wer-2, Auflicht).

Insgesamt sind folgende Altersverhältnisse zu beobachten: Das Karbonat ist älter als die Erzminerale. Sphalerit und Galenit sind jünger als Chalkopyrit. Der „Kobaltnickelkies“ scheint älter zu sein als Chalkopyrit und Galenit. Im Paragenese-Schema von Herbst (1969) gehört Siderit in die „Vorphase“ („Siderit-Phase“). Chalkopyrit kommt in zwei Generationen in der darauf folgenden „Hauptphase“ („Sulfid-Phase“) vor, wobei die erste jünger als Sphalerit und Galenit ist. Die Co-Ni-Minerale stellt Herbst (1969) an das Ende der „Hauptphase“. Demnach sollte die Verdrängung des „Kobaltnickelkieses“ Ergebnis einer späteren Remobilisierung von Chalkopyrit und Galenit (eventuell im Zuge der Deformation) sein.

▪ **Thüringer Wald:**  
**Tannenglasbach:**

Tann-1 und Tann-2 sind Sammlungsstücke. Sie stammen von der „Südost-Strecke“ der Grube „Tannenglasbach“, etwas mehr als 2,5km südwestlich von Neustadt am Rennsteig. Die beiden Gangstücke sind sich sehr ähnlich. Gangart sind vor allem violetter Fluorit (Abb. 5.1.121), untergeordnet Quarz und weißer Kalzit. Der Quarz begleitet die bis mehrere cm großen Erz-Aggregate und durchzieht sonst den Fluorit in feinen Äderchen, ist also jünger. Kalzit tritt nur unmittelbar im Bereich der Erz-Aggregate auf.

Diese bestehen bei Tann-1 vor allem aus Chalkopyrit und Fahlerz (leicht verwittert zu Limonit, Malachit und Covellin). Das Fahlerz umschließt den offenbar älteren Chalkopyrit und sitzt auf feinen Äderchen in diesem (Abb. 5.1.122). Im Chalkopyrit kommt vereinzelt Pyrit vor. Bei Tann-2 ist an Erzmineralen makroskopisch nur Chalkopyrit erkennbar. Wegen der Ähnlichkeit zu Tann-1 und der geringen Materialmenge wurde auf einen Dünnschliff verzichtet. Die oben beschriebenen Texturen stimmen überein mit dem Paragenese-Schema von Anspach (2002), wonach Fluorit, Chalkopyrit und Pyrit in eine jüngere Phase gehören, als Quarz und Kalzit. Dabei setzt die Bildung von Fahlerz im Anschluss an die des Chalkopyrites ein und reicht bis in die nachfolgende Phase (Remobilisierung), wobei das Fahlerz zunächst den Chalkopyrit umwächst und spätere Remobilisate auf Äderchen die älteren Minerale durchschlagen.



Abb. 5.1.121: Foto der Probe Tann-1 mit Fluorit (violett), Chalkopyrit (gelb) und Fahlerz (grau).

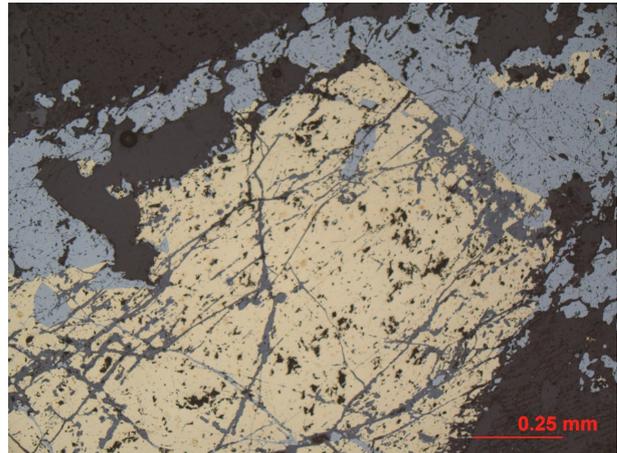


Abb. 5.1.122: Fahlerz (hellgrau) umwächst Chalkopyrit (gelb) und sitzt darin auf Äderchen (Probe Tann-1, Auflicht).

#### „Kupferstollen“ bei Gießübel:

Die Probe Gies-1 kommt von einer Halde am Mundloch des „Kupferstollens“, am Südwesthang des Querenberges bei Gießübel. Es handelt sich offenbar um eine Gangbrekzie mit zahlreichen bis cm großen Nebengesteinsklasten in einer Matrix aus rosa Kalzit und durch Kalzit teilweise verdrängten kleineren Überresten von Nebengestein. In der Matrix und auch in den Nebengesteinsklasten sitzen kleine, nur selten cm große Aggregate aus Bornit, der von außen her durch Chalkosin in lamellarer Verwachsung mit Digenit oder Djurleit verdrängt wird. Daneben kommen Pyrit und Chalkopyrit (teils zu Covellin verwittert) vor. Malachit bedeckt Kluftflächen und umgibt einige der Bornit-Aggregate. Das Nebengestein ist ein violettgrauer, teils weiß verwitterter oder alterierter Vulkanit, mit zahlreichen leistenförmigen Plagioklasen. Untergeordnet treten Quarz, idiomorphe Hellglimmer und Hämatit-Aggregate (teils mit Rutil) auf. Größere Plagioklas-Einsprenglinge zeigen oft beginnende Verdrängung durch Gangkalzit. Es dürfte sich nach den Beschreibungen in Loretz (1906) um den Glimmerporphyrit handeln, das heißt um einen paläozoischen intermediären Vulkanit (Wolf 1964).



Abb. 5.1.123: Foto der Probe Gies-1 mit Nebengesteinsklasten und Bornit-Chalkosin-Aggregaten (dunkel).

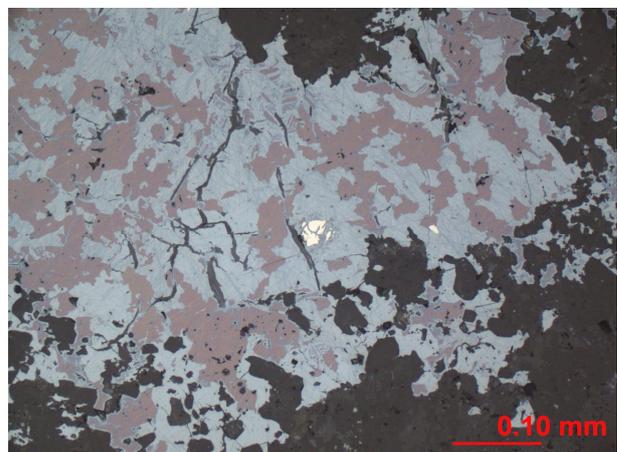


Abb. 5.1.124: Bornit-Chalkosin-Aggregat (rosagrau bzw. bläulich) mit Pyrit (weiß) (Probe Gies-1, Auflicht).

### Gang im Katzmannstal bei Möhrenbach:

Katz-1a und Katz-1b stammen von einer Halde am oberen Ende des Katzmannstales, ca. 2,5km südwestlich von Möhrenbach. Die Proben bestehen aus disseminiert vererztem Nebengestein; Ob aus dem Gang, oder dessen Umgebung, ist nicht klar. Bei Katz-1a ist das Nebengestein ein Vulkanit (nach Loretz et al. 1908 Porphyrit). Es ist insgesamt dunkelgrau. Größere Einsprenglinge bestehen aus Plagioklas, seltener aus Quarz oder K-Feldspat. Das Gestein ist relativ grob mit reichlich feinen leistenförmigen Feldspäten, Quarz und Chlorit. Schon makroskopisch erkennbar sind Hämatit-Aggregate. Bei Katz-1b handelt es sich eher um ein Sediment. Das Gestein ist rosa bis beige mit einer schwach erkennbaren Lagigkeit. In toniger bis kieseliger Matrix sitzen Gerölle von Quarzit, Vulkaniten (wie Katz-1a), oder Tonschiefer, einzelne teils zerbrochene Feldspäte (v. a. Plagioklas), sowie Glimmer, Quarz, Chlorit und vereinzelt Rutil. Erzaggregate, die denen in Gies-1 sehr ähneln, sind von einem Hämatit-Saum umgeben (Abb. 5.1.126). Weißer Kalzit bildet kleine Aggregate und feine Äderchen (Abb. 5.1.125). Malachit ist auf Rissen und Kluftflächen, und in Katz-1b auch in einem Hohlraum auf Chrysokoll gewachsen.

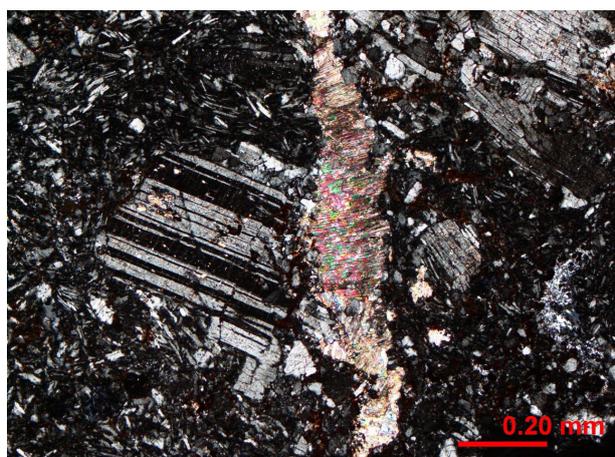


Abb. 5.1.125: Ein Kalzit-Äderchen (bunte Interferenzfarben) durchschlägt einen größeren Plagioklas (Katz-1a, Durchlicht).

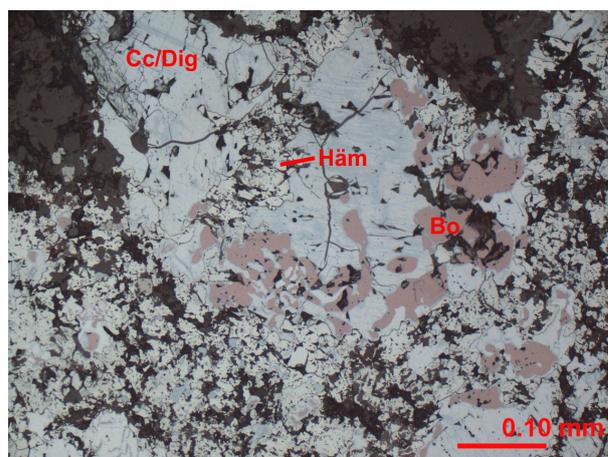


Abb. 5.1.126: Bornit-Chalkosin/Digenit?-Aggregat (Bo, Cc/Dig) mit Hämatit-Saum (Häm) (Probe Katz-1a, Auflicht).

### Stechberg bei Gehren:

Die Probe Stch-1 ist ein Sammlungsstück. Laut Beschriftung stammt sie vom Stechberg bei Gehren (südwestlich von Ilmenau und rund 3km westlich von Gehren), aus dem „Abbau 367“ auf der Floßberg-Stechberg-Störung. Die Probe ist ein Gangstück, deren Hauptgemengteile relativ feiner weißer Quarz und grüner Fluorit sind. Als weitere Gangart kommt weißer Kalzit vor, der zusammen mit fast linsenförmigen Chalkopyrit-Aggregaten in einem mehrere cm breiten unregelmäßigen Band auftritt. Mikroskopisch sehen Fluorit und Chalkopyrit (mit einigen eingeschlossenen Pyriten) zerbrochen aus, mit Quarz auf den Rissen (Abb. 5.1.127). Selten füllt Quarz auch Äderchen in größerem Kalzit. Sonst bilden Quarz und Kalzit ein feines Gemenge mit unregelmäßigen Korngrenzen. Der Quarz ist also jünger als die übr-

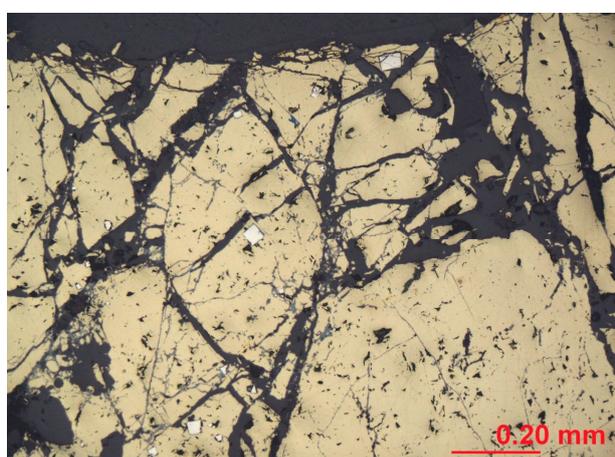


Abb. 5.1.127: Dünnschliff der Probe Stch-1 (Auflicht) mit Pyrit (weiß) und zerbrochen aussehendem Chalkopyrit.

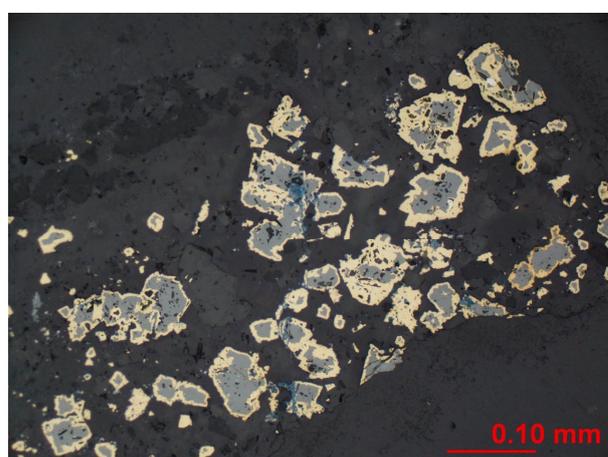


Abb. 5.1.128: Sphalerit (mittelgrau) mit Chalkopyrit-Saum (gelb) und Covellin (blau) (Probe Stch-1, Auflicht).

gen Minerale (laut Beschriftung ist die Probe „verkieselter Fluorit“ und Wolf 1964 und Schiemenz 2003 beschreiben eine jüngere Verquarzung). Teils ist der Chalkopyrit zu Covellin verwittert. Neben den Chalkopyrit-Aggregaten kommt auch Sphalerit vor, der von außen her durch Chalkopyrit verdrängt wird (Abb. 5.1.128).

▪ **Thüringer Schiefergebirge:**

**Kirchberg bei Böhlen:**

Böhl-1 ist ein Sammlungsstück aus einem Schurf am Südhang des Kirchbergs, 1km südöstlich von Böhlen bei Großbreitenbach. Die genaue Art der Lagerstätte geht aus der Literatur nicht hervor. Laut Beschriftung ist die Probe (Abb. 5.1.129) ein Kupfererz der Oxidationszone. Sie besteht aus weißem Quarz, Malachit-Chrysokoll-Aggregaten (Abb. 5.1.130) und nadeligem Hämatit, der teils eigene Aggregate bildet und teils mit Malachit und Chrysokoll fein verwachsen ist. Vereinzelt finden sich stark verwitterte Pyrite. Als Nebengestein kommt am Rand der Probe hellbrauner weicher Phyllit vor.



Abb. 5.1.129: Foto der Probe Böhl-1 mit Hämatit (rötlichgrau bis rot), Quarz und grünen Kupfer-Sekundärmineralen.

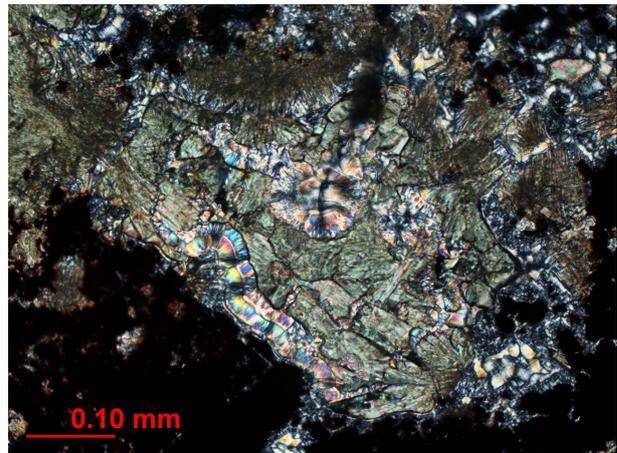


Abb. 5.1.130: Radialfaseriger Chrysokoll (bunte Interferenzfarben) und Malachit (grün) in der Probe Böhl-1 (Durchlicht).

**Frankenwälder Sideritgänge:**

Lich-1 bis -3 sind Sammlungsstücke. Lich-1 kommt von einer alten Halde am Bahnhof Lichtenberg, etwas mehr als 1km südwestlich von Blankenstein im Selbitztal. Wegen der räumlichen Nähe zum „Friedrich-Wilhelm-Stollen“ (rund 250 bis 300m Distanz zum Mundloch) ist es wahrscheinlich, dass die Halde zu diesem Stollen gehört. Lich-3 stammt vom „Gang 4“ des „Friedrich-Wilhelm-Stollens“. Lich-2 stammt aus der „Friedenszeche“ am Nordwestende des Mordlauer Gangzugs, 1,5km nordwestlich von Bad Steben.

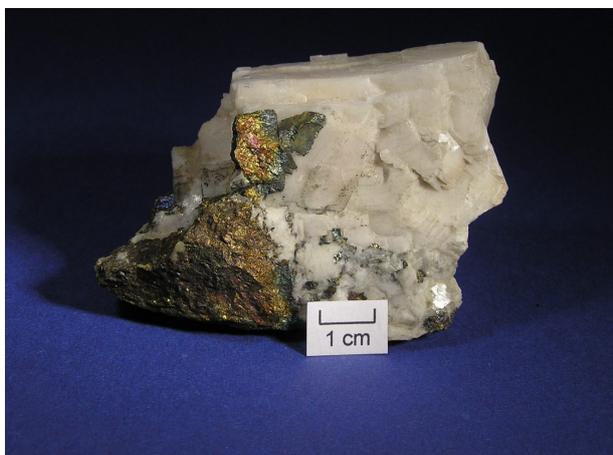


Abb. 5.1.131: Foto der Probe Lich-1. Gut erkennbar sind Chalkopyrit und weißer Kalzit.

Lich-1 und -3 sind Gangstücke ähnlicher Zusammensetzung. Gangart sind grober weißer Kalzit (Abb. 5.1.131) und feiner grauer Quarz. In cm großen Chalkopyrit-Aggregaten (Abb. 5.1.131) sind einzelne Pyrite eingeschlossen. Quarz tritt vor allem in der Nähe der Erz-Aggregate auf. Kalzit sitzt teils auf Rissen im Chalkopyrit und bei Lich-3 auch im Quarz (Abb. 5.1.132), ist also jünger als diese. Lich-3 enthält

Klasten eines mittelgrauen Tonschiefers (nach Gümbel 1879 und von Horstig et al. 1962 ordovizisch). Die Proben lassen sich in die ältere „Siderit-Kalzit-Fluorit-Abfolge“ bei von Horstig (1972) einordnen, in der Kalzit die älteren Minerale der Abfolge durchtrüert. Nach der detaillierteren Gliederung von Dill et al. (2003) gehören Quarz und Chalkopyrit, sowie Kalzit in zwei aufeinander folgende Gangmineralsukzessionen. Lich-2 ist ein Stück aus einem Gang mit Chalkopyrit, der teils zu Limonit, Malachit, Chrysokoll und Tenorit verwittert ist. Im Chalkopyrit bzw. im Limonit sitzen einige kleine Pyrite. Daneben kommt in mm großen Aggregaten feiner, teils idiomorpher Gangquarz vor. Ein Karbonat ist vollständig durch Malachit und Limonit verdrängt, wobei der Limonit die Spaltrisse nachzeichnet (Abb. 5.1.133).

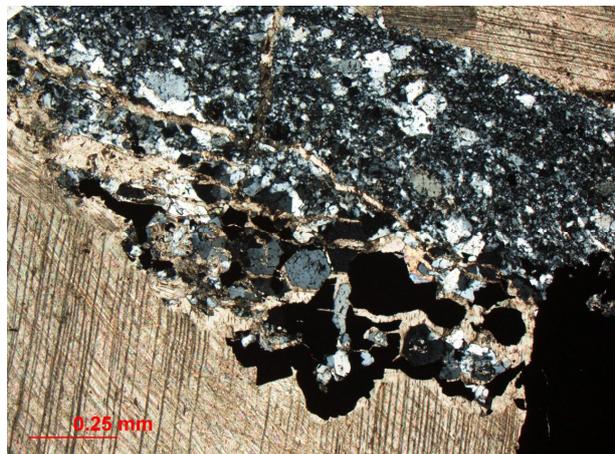


Abb. 5.1.132: Dünnschliff der Probe Lich-3 (Durchlicht). Kalzit (beige) sitzt auf Rissen in Quarz (grau) und Chalkopyrit (opak, v. a. rechts unterhalb der Bildmitte).

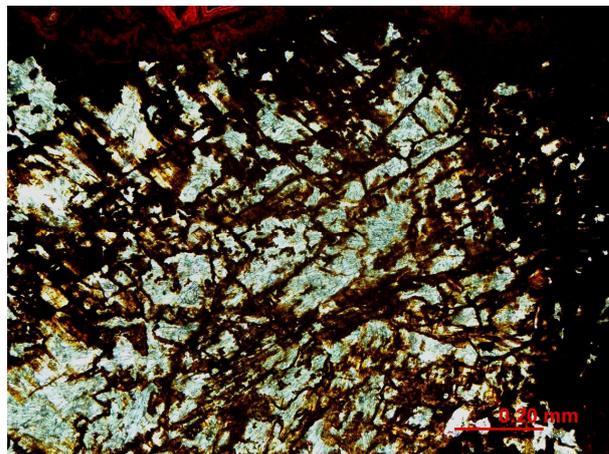


Abb. 5.1.133: Dünnschliff der Probe Lich-2. Malachit (grün) und Limonit (braun) haben ein Karbonat verdrängt.

#### Chrieschwitz bei Plauen:

Das Sammlungsstück Chrie-1 stammt vermutlich aus einem der von Credner & Weise (1904) und Puffe (1939) bei Plauen beschriebenen Siderit-Quarz-Kupfererz-Gänge. Die geologische Karte (Weise & Siegert 1902) stellt mehrere solcher Gänge im Bereich des Ortes Chrieschwitz unmittelbar nordöstlich von Plauen dar. Genaue Herkunftsangaben fehlen aber. Die Probe besteht größtenteils aus sehr stark zu Limonit und Malachit (Abb. 5.1.134) verwittertem Chalkopyrit mit Covellin-Säumen (Abb. 5.1.135), bis cm großen Quarz-Aggregaten und untergeordnet aus ebenfalls stark verwitterten idiomorphen Pyriten.



Abb. 5.1.134: Foto der Probe Chrie-1. Der (primäre) Chalkopyrit ist makroskopisch kaum noch erkennbar.

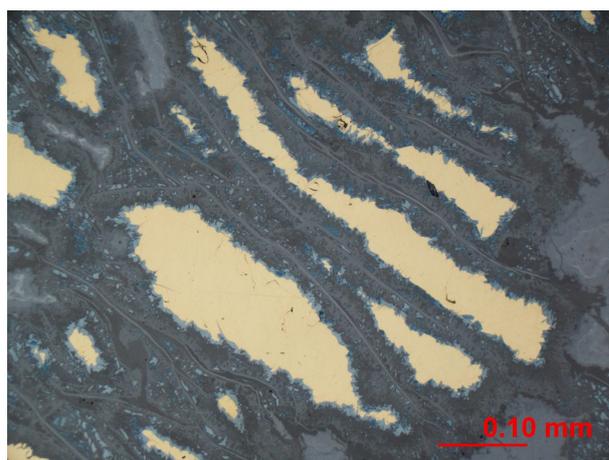


Abb. 5.1.135: Reste von Chalkopyrit (gelb) mit Covellin-Säumen (blau) in Limonit (Auflicht).

#### ▪ weitere in Thüringen: Gangvorkommen im Dolomitsteinbruch Caaschwitz bei Gera:

Caa-1 ist ein Sammlungsstück aus dem Dolomitsteinbruch am Louse-Berg westlich von Caaschwitz. Beim Abbau des Dolomits (Plattendolomit des Leine Zyklus – Hornig et al. 1981) wurde offenbar auch eine Cu-Mineralisation angetroffen, die aber keine Erwähnung in der Literatur oder in Archiv-Unterlagen des thüringischen geologischen Landesamtes findet. Es kann sich um eine Gangvererzung im Kupferschiefer

handeln. Massiver Chalkopyrit ist zunächst zu Chalkosin und Covellin, dann zu Limonit, Malachit und Azurit verwittert (Abb. 5.1.136). Einige Risse füllt auch Cerussit und vereinzelt Quarz. Teils sind Limonit und Cerussit miteinander verwachsen. Im Chalkopyrit bzw. in den Sekundärmineralen eingeschlossen sind wenige Pyrite und Arsenopyrite, sowie Enargit (Abb. 5.1.137). Das Nebengestein zeigt sich als einzelne cm große Klaster eines hellbraunen bis beige, recht weichen und brüchigen Dolomits.



Abb. 5.1.136: Das Foto der Probe Caa-1 zeigt Chalkopyrit (gelb), Limonit (braun), Malachit (grün) und Azurit (blau).

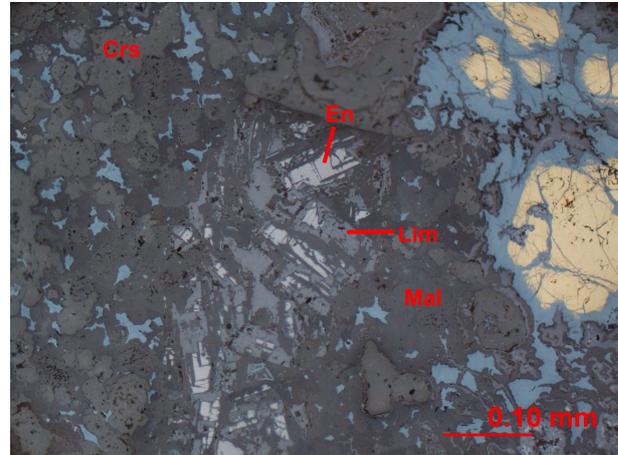


Abb. 5.1.137: Enargit (En) wird von Limonit (Lim) verdrängt, daneben Cerussit (Crs), Malachit (Mal) und Limonit, rechts Chalkopyrit mit einem Gemenge aus Chalkosin und Covellin (Caa-1, Auflicht).

▪ **Fichtelgebirge: „Bayerland“ bei Waldsassen:**

Die Grube liegt ca. 5km südöstlich von Waldsassen. Beide Proben sind Sammlungsstücke und stammen aus der „M-Lagerstätte“. Zu Wld-1 wird als Herkunft angegeben: „Querschlag, 1. Absatz“ und zu Wld-2: „Cu-haltige Zone, ansteigende Strecke gegen Nordost“. Das Nebengestein der stratiformen Vererzung ist bei beiden Proben Chlorit-Quarzit. Dabei lässt sich ein blass grüner, blättriger Chlorit mit blauen Interferenzfarben unterscheiden von einem sehr feinen faserig-büscheligen, intensiv grünen Chlorit oder anderen Schichtsilikat mit grauen bis gelblichen Interferenzfarben. Die Vererzung ist disseminiert bis fast massiv, wobei Wld-1 (Abb. 5.1.138) stärker als Wld-2 vererzt ist. Hauptbestandteil sind Pyrrhotin, Chalkopyrit und idiomorpher Pyrit (Abb. 5.1.139). In geringerer Menge kommen Sphalerit (mit Chalkopyrit-Entmischung) und Magnetit vor (Abb. 5.1.139). Bei Wld-2 ist der Pyrit-Anteil geringer als bei Wld-1. Pyrrhotin, Chalkopyrit und Sphalerit sind miteinander verwachsen. Sie füllen Risse im Pyrit (Abb. 5.1.140) und teils auch im Magnetit (Abb. 5.1.139), oder bilden kleine Einschlüsse in Pyrit. Stellenweise ragt das oben beschriebene faserige Silikat in Sphalerit und Chalkopyrit (Abb. 5.1.141), selten auch in Pyrrhotin hinein. Rechenberg (1953) beschreibt gleiches von Serizit als Resultat der metamorphen Überprägung und Deformation des Vorkommens.



Abb. 5.1.138: Foto der Probe Wld-1.

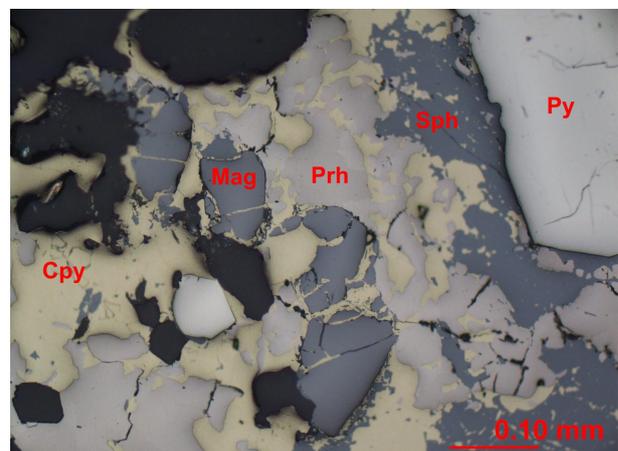


Abb. 5.1.139: Pyrit (Py), Sphalerit (Sph), Pyrrhotin (Prh), Magnetit (Mag) und Chalkopyrit (Cpy) in Probe Wld-1 (Auflicht).

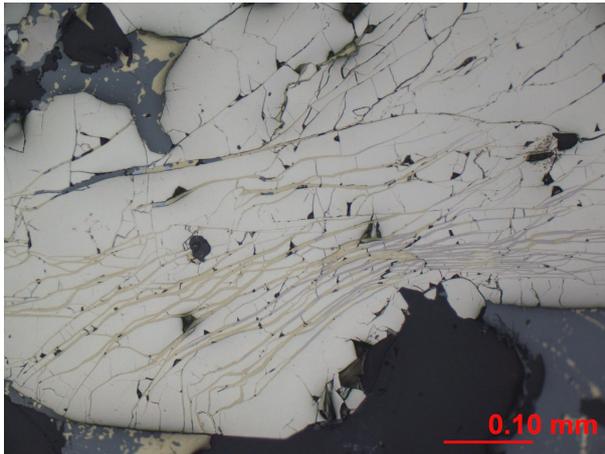


Abb. 5.1.140: Chalkopyrit (gelb), Pyrrhotin (leicht rosa) und Sphalerit (mittelgrau) auf Rissen im Pyrit (Wld-1, Auflicht).

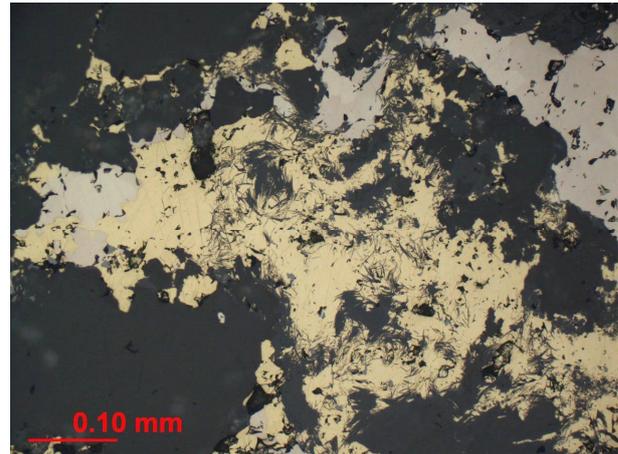


Abb. 5.1.141: Eines faseriges Silikat sitzt in Chalkopyrit (gelb), daneben Pyrrhotin (leicht rosa) (Wld-2, Auflicht).

▪ **Hinterer Bayerischer Wald: Silberberg bei Bodenmais:**

Bod-1 bis -4 sind Sammlungsstücke vom Silberberg rund 2km südöstlich von Bodenmais. Bod-2 stammt aus der Grube „Barbara“. Zu den anderen Stücken fehlen genauere Angaben. Bod-1 und -2 sind in Form von bis cm großen Erzaggregaten im Nebengestein (Abb. 5.1.143) und auf mm breiten Äderchen vererzt. Erzminerale sind vor allem Chalkopyrit, Pyrrhotin und Sphalerit neben wenig Pyrit. Teils füllen Chalkopyrit oder Pyrrhotin Risse in Mineralen des Nebengesteins. Nebengestein ist bei Bod-1 ein dunkler Gneis mit graugrünem Plagioklas, Quarz (oft in unregelmäßigen bis linsenförmigen Aggregaten) und grünem Kreittonit (nach Pfeufer 1976 und Dill 1985 hochmetamorph durch Mobilisierung von Zn aus Sphalerit gebildet). Untergeordnet kommen Kalifeldspat (teils in myrmekitischer Verwachsung mit Quarz, nach REM-Analysen Ba-haltig), wenig Biotit, Muskovit, Chlorit und akzessorisch Monazit und Apatit vor. Bod-2 zeigt einen Gneis ähnlich Bod-1, jedoch deutlich glimmerreicher mit Biotit und Muskovit (Abb. 5.1.142) und mehr K-Feldspat als Plagioklas. Bod-3 besteht aus massivem Erz (vor allem bis cm große Pyrit-Aggregate und Pyrrhotin) mit nur wenigen kleinen Nebengesteins-Einschlüssen. Pyrrhotin ist mit Chalkopyrit und Sphalerit (teils mit Chalkopyrit-Entmischung) verwachsen. Hinzu kommt Galenit. Risse im Pyrit füllt Chalkopyrit. Spindel- bis keilförmiger Markasit sitzt oft an Rissen im Pyrrhotin bzw. kleinere Pyrite durchschlagend (Abb. 5.1.144). Bod-4 gleicht weitgehend Bod-3. Hier ist jedoch Pyrit teils skelettartig mit Sphalerit verwachsen (Abb. 5.1.145). Chalkopyrit und Galenit füllen Spaltrisse in Biotit.



Abb. 5.1.142: Nebengestein der Probe Bod-2 im Dünnschliff (Durchlicht, Hellfeld) mit Biotit (braun), Kreittonit (grün) und Feldspat (farblos), sowie Erzminerale (opak).

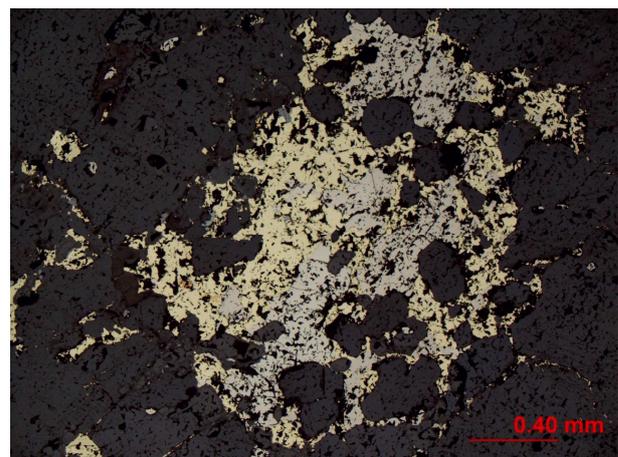


Abb. 5.1.143: Aggregat aus Chalkopyrit (gelb) und Pyrrhotin (rosa-beige) in Probe Bod-1 (Auflicht).

Der kataklastische Pyrit, Verwachsungen von Pyrit mit Sphalerit und die Mobilisierung von Erzmineralen in querschlägige Äderchen und auf Risse in Mineralen des Nebengesteins sind durch die Deformation der Vererzung bedingt. Pfeufer (1976) beschreibt Markasit wie in Bod-3 als retrograde metamorphe Bildung.

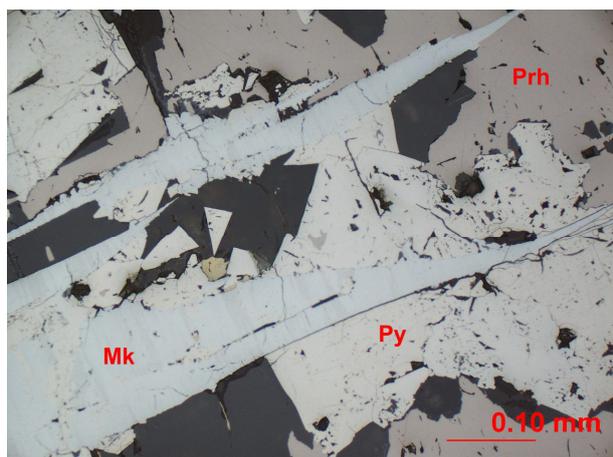


Abb. 5.1.144: Spindelförmige Markasite (Mk) sitzen in Pyrit (Py) und Pyrrhotin (Prh) (Probe Bod-3, Auflicht).

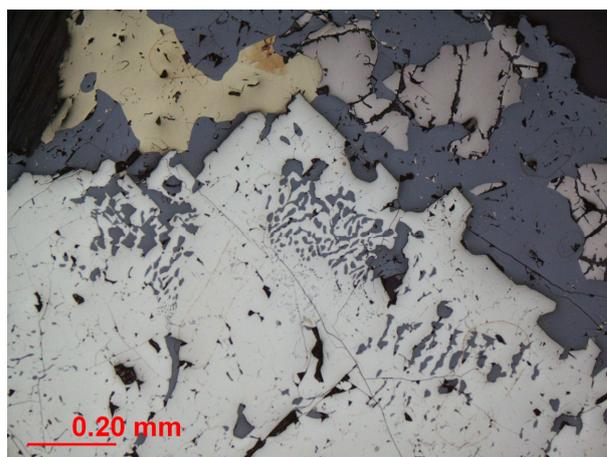


Abb. 5.1.145: Pyrit (weiß) verwachsen mit Sphalerit (grau), neben Chalkopyrit (gelb) und Pyrrhotin (Bod-4, Auflicht).

#### ▪ Lausitz/Westsudeten:

##### Rosenhain (Rožany) bei Sohland:

Zu Sohl-1 (Sammlungsstück) wird als Herkunft nur Rosenhain (Rožany) bei Sohland/Spree angegeben. Die Probe stammt offenbar aus einem massiven Bereich eines der an Mafite gebundenen Cu-Ni-Erzkörper. Sie besteht aus massivem Pyrrhotin mit orientierten, mm bis cm großen Linsen bis „Flasern“ von Chalkopyrit (offenbar deformiert – Abb. 5.1.146). Mikroskopisch sind im Pyrrhotin zahlreiche Magnetite erkennbar, die meist in Zwickeln des Pyrrhotins sitzen und oft auch mit Pyrrhotin graphisch verwachsen sind, sowie kleine xenomorphe Chalkopyrit-Aggregate und hypidiomorphe Pentlandite. Der Pyrrhotin zeigt stellenweise auch Pentlandit-Entmischungslamellen. Die makroskopisch sichtbaren Chalkopyrit-Flasern sind von einem Saum hypidiomorpher Pentlandite umgeben (Abb. 5.1.147). Oelsner (1954) beschreibt eine Verdrängung von Pyrrhotin durch Pentlandit und Chalkopyrit als jüngstes Erzmineral.



Abb. 5.1.146: Foto der Probe Sohl-1 mit Chalkopyrit-„Flasern“ in Pyrrhotin (bräunlich angelaufen).

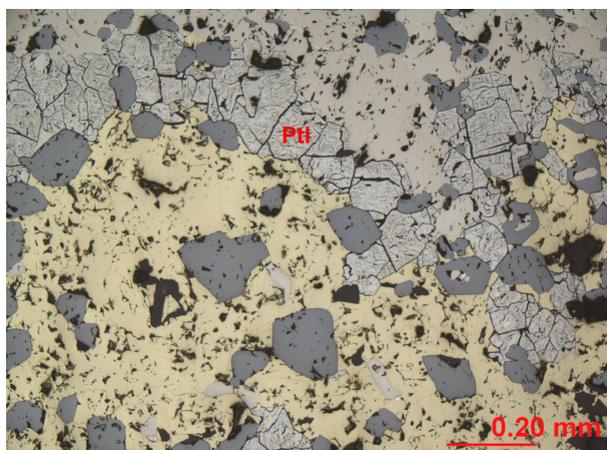


Abb. 5.1.147: Rand einer Chalkopyrit-„Flaser“ mit Pentlandit (Ptl) im Dünnschliff, oben Pyrrhotin (rosa-beige), Magnetit (grau) sitzt im Pyrrhotin und im Chalkopyrit (Auflicht).

##### Miedzianka:

Mied-1 bis -4 stammen aus Sammlungen. Mied-1 und -2 kommen aus dem Neuen Adler Gang im Ostfeld nahe Ciechanowice. Mied-3 stammt aus dem Roten Trum und Mied-4 aus dem Felix Gang, beide im mittleren Feld. Mied-1 besteht vor allem aus weitgehend massivem Chalkopyrit (Abb. 5.1.148) und nur einigen mm großen Gangart-Aggregaten (feiner dunkelgrüner Chlorit, wenig Quarz, Kalzit, Rutil und Zirkon). Eine mm breite querschlägige Ader führt weißen Kalzit (Abb. 5.1.148) und auf Rissen sitzt Malachit. Im Chalkopyrit eingeschlossen sind kleine Sphalerit-Aggregate (mit Chalkopyrit-Entmischung), zusammen mit gediegen Bi und Galenit (Abb. 5.1.149), sowie idiomorphe Arsenopyrite. Teils ist Sphalerit randlich verdrängt durch ein Mineral das mittels REM an einer Probe von Radzimowice als Mineral der Stannit-Gruppe identifiziert wurde (eventuell Stannoidit oder Kesterit).



Abb. 5.1.148: Foto der Probe Mied-1.

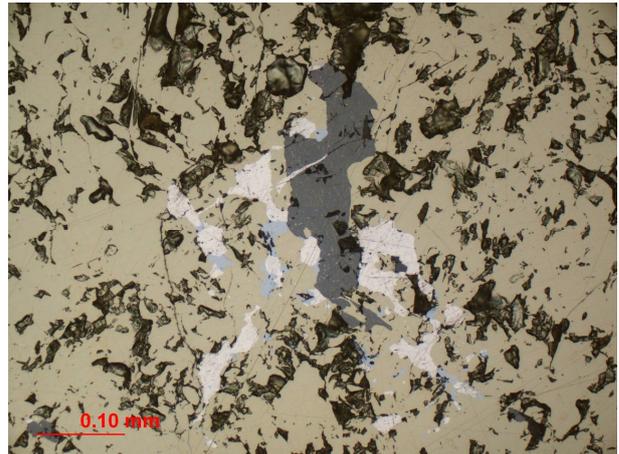


Abb. 5.1.149: Sphalerit (grau), gediegen Bi (weißlich) und Galenit (leicht bläulich) in Chalkopyrit (Mied-1, Auflicht).

In Mied-2 ist der Anteil an Gangarten höher. Diese sind zu gleichen Teilen dunkelgrüner Chlorit, Quarz, weißer Kalifeldspat, weißer Kalzit und grüner bis lila Fluorit. Die Chlorit-Aggregate sind meist von Quarz und idiomorphem K-Feldspat umgeben, auf dem oft kleine idiomorphe Quarze aufgewachsen sind (Abb. 5.1.150). Kalzit und Fluorit füllen grobspätig den restlichen Raum. Dabei hat der Kalzit den K-Feldspat teilweise verdrängt (Abb. 5.1.150). Die Erzminerale sitzen im Chlorit, Quarz und Kalifeldspat. Es sind Aggregate aus Chalkopyrit, Sphalerit (mit Chalkopyrit-Entmischung), Galenit und gediegen Bi, oft miteinander verwachsen. Daneben und teils von den anderen Erzmineralen umwachsen, kommen idiomorphe Pyrit-Aggregate zusammen mit Cobaltit-Aggregaten vor (Abb. 5.1.151).

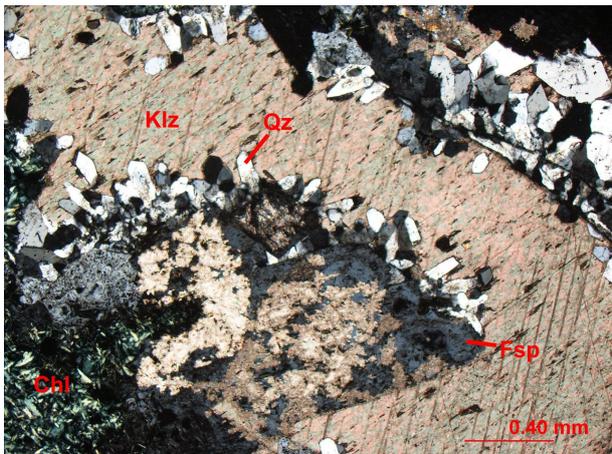


Abb. 5.1.150: K-Feldspat (Fsp, teils durch Kalzit verdrängt), Kalzit (Klz), Quarz (Qz), u. Chlorit (Chl) in Mied-2 (Durchlicht).

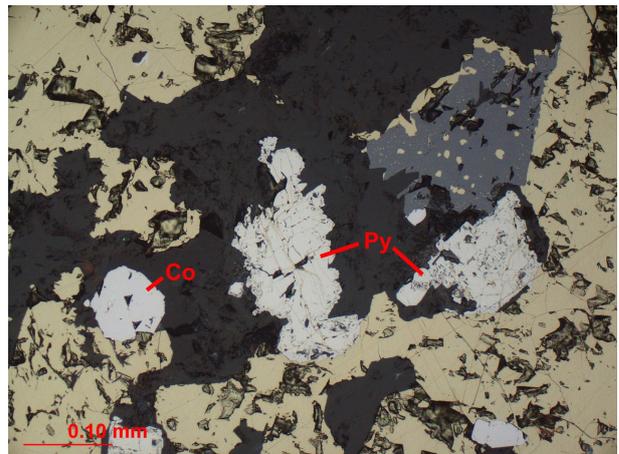


Abb. 5.1.151: Chalkopyrit (gelb), Sphalerit (grau), Cobaltit (Co) und Pyrit (Py) mit Chalkopyrit auf Rissen (Mied-2, Auflicht).



Abb. 5.1.152: Foto der Probe Mied-3 mit gut erkennbaren Bornit-Aggregaten (dunkel bis violett) auf der Sägefläche.

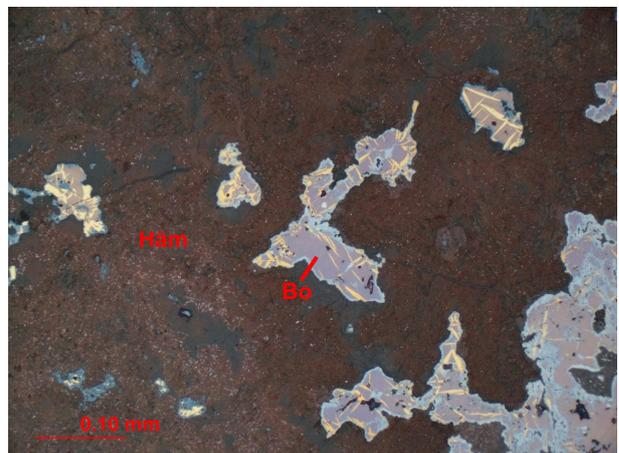


Abb. 5.1.153: Bornit (Bo) mit Chalkopyrit-Lamellen und Chalkosin-Säumen, daneben Hämatit (Häm) (Mied-3, Auflicht).

Pyrit ist kataklastisch, mit teilweiser Verdrängung durch Chalkopyrit und auch Sphalerit ausgehend von den Rissen. Mied-3 stammt aus einem verwitterten Gangbereich. In weißem bis farblosem Quarz und wenig Chlorit sitzen bis cm große Aggregate aus Bornit (Abb. 5.1.152), der randlich zu Chalkosin und Digenit oder Djurleit verwittert ist. Pyrit-Aggregate sind selten. Kleinere Bornit-Aggregate mit Chalkopyrit-Lamellen (Abb. 5.1.153) gehen über in Chalkopyrit-Aggregate mit Verdrängungsresten von Bornit. Neben Covellin treten als Sekundärminerale noch Hämatit (oft um Bornit- bzw. Chalkopyrit-Aggregate – Abb. 5.1.153) und auf Rissen Chrysokoll und Malachit auf. Mied-4 besteht aus weitgehend zu Limonit, Malachit, Chrysokoll (Abb. 5.1.154) und Covellin verwittertem Chalkopyrit. Darin sitzen Nebengesteinsklasten (feinkörniger, dunkelgrauer, Chlorit-reicher Schiefer – nach Zimnoch 1978 chloritisiertes Nebengestein) und geringe Mengen Gangquarz. Insgesamt sind folgende Altersverhältnisse zu beobachten: Kalzit und Fluorit (Mied-1, Mied-2) sind jünger als die übrigen Minerale. Auch Zimnoch (1978) beschreibt für die Adler Gänge dass Kalzit zusammen mit Fluorit und Dolomit jünger ist. Der Pyrit und wahrscheinlich auch der Cobaltit in Mied-2 scheinen älter zu sein als die anderen Erzminerale.

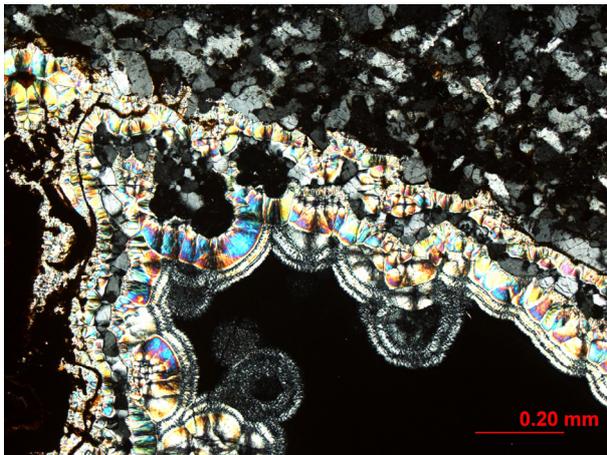


Abb. 5.1.154: In einem Hohlraum auf Quarz (oben) und Limonit (links) aufgewachsener Chrysokoll (Mied-4, Durchlicht).

#### Radzimowice/Stara Gora:

Radz-1 bis -4 sind ebenfalls Sammlungsstücke. Radz-1 stammt aus dem Marie-Förderung-Gang bei Altenberg (Stara Gora) und Radz-4 aus der Grube „Bergmannstrost“, wahrscheinlich eine Grube auf dem südlichsten und mit fast 2km längsten Gang, der nach Zimmermann (1941) und Mikulski (2005) diesen Namen trägt. Alle Proben sind offenbar Gangerze. Radz-1 führt als Gangarten farblosen Quarz und daneben Karbonat. Feiner büscheliger Muskovit dürfte aus dem Nebengestein stammen. Überwiegend besteht die Probe aus einem Gemenge von Chalkopyrit- und Pyrit-Aggregaten, meist idiomorphem Arsenopyrit, sowie kleinen Sphalerit-Aggregaten (mit Chalkopyrit-Entmischung). Stellenweise entmischt der Chalkopyrit sternförmig Sphalerit (vgl. Abb. 5.1.156).

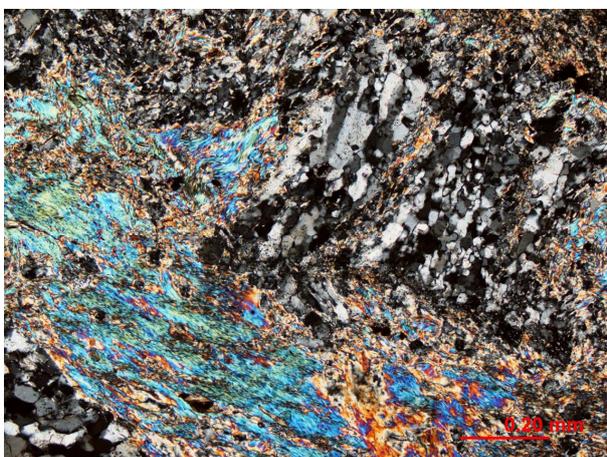


Abb. 5.1.155: Nebengestein der Probe Radz-2 im Dünnschliff (Durchlicht) mit Muskovit (v. a. blaue Interferenzfarben) und Quarz (grau).

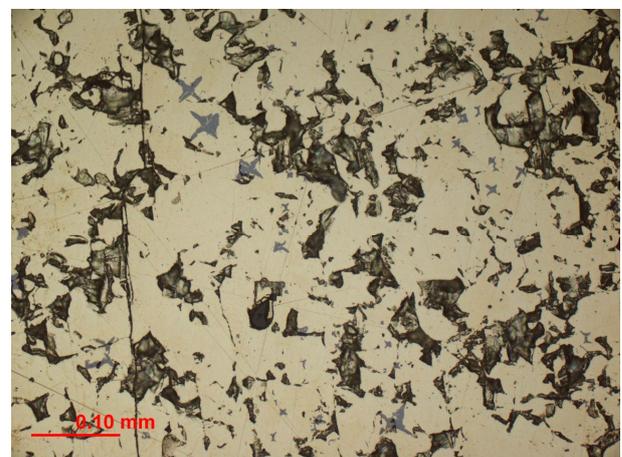


Abb. 5.1.156: Sternförmige Sphalerit-Entmischungen (grau) in Chalkopyrit (Probe Radz-2, Auflicht).

Radz-2 enthält Nebengesteinsklasten (Quarzphyllit – Abb. 5.1.155), die teils von feinen Chalkopyrit-Äderchen durchzogen sind. Das massive Erz setzt sich aus Chalkopyrit und großen idiomorphen Pyrit-Aggregaten zusammen. Hinzu kommen idiomorpher Arsenopyrit, Sphalerit (Chalkopyrit-Entmischung), Galenit, Fahlerz und Bournonit. Chalkopyrit und Fahlerz füllen Risse im Pyrit. Fahlerz enthält oft Verdrängungsreste von Chalkopyrit und scheint auch Galenit zu verdrängen. Bournonit tritt nur verwachsen mit Fahlerz oder Galenit auf (Abb. 5.1.157) und scheint v. a. Fahlerz aber auch Galenit zu verdrängen. Gangarten sind Karbonat und Quarz. Das Karbonat bildet teils grobspätige Aggregate und teils sitzt es auf Äderchen, die Quarz und Erzminerale durchschlagen. Bei Radz-3 (Abb. 5.1.158) sind bis cm große Pyrit-Aggregate umgeben von Chalkopyrit, Fahlerz, Bournonit und wenig Galenit (Abb. 5.1.159). Hinzu kommt Sphalerit (dunkelbraun, Chalkopyrit-Entmischung). Daneben sind in Karbonat und wenig Quarz lose Arsenopyrit-Aggregate eingesprengt. Die Beziehungen zwischen Fahlerz, Chalkopyrit, Bournonit und Galenit scheinen die gleichen zu sein, wie in Radz-2. Hier sitzen aber Fahlerz und Bournonit auch auf Äderchen im Chalkopyrit. Der Arsenopyrit ist vor allem mit einem feineren bräunlicheren Karbonat vergesellschaftet. Ein helleres gröberes Karbonat füllt teils Risse in Sphalerit.

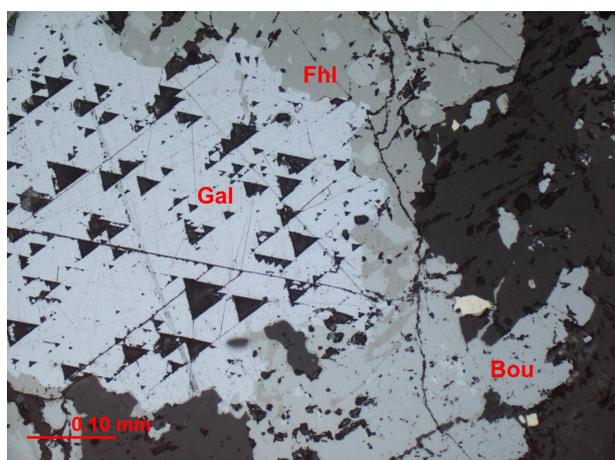


Abb. 5.1.157: Aus Galenit (Gal), Fahlerz (Fhl) und Bournonit (Bou) in Probe Radz-2 (Auflicht).



Abb. 5.1.158: Foto der Probe Radz-3. Gut erkennbar sind v. a. die blassgelben Pyrit-Aggregate.

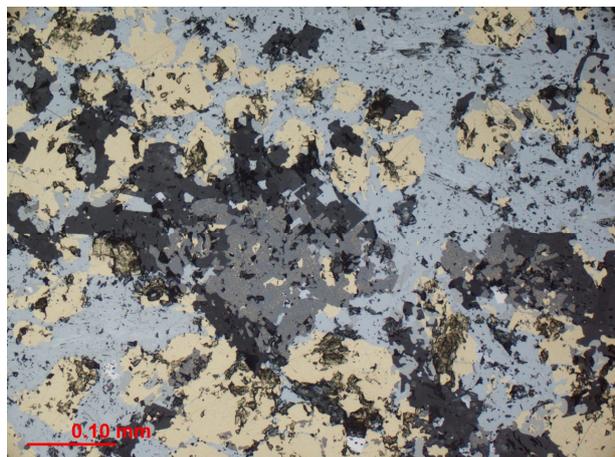


Abb. 5.1.159: Dünnschliff der Probe Radz-3 (Auflicht). Chalkopyrit (gelb) wird verdrängt von einem Gemenge aus Bournonit und etwas Fahlerz und Galenit, in der Bildmitte Sphalerit (mittelgrau).

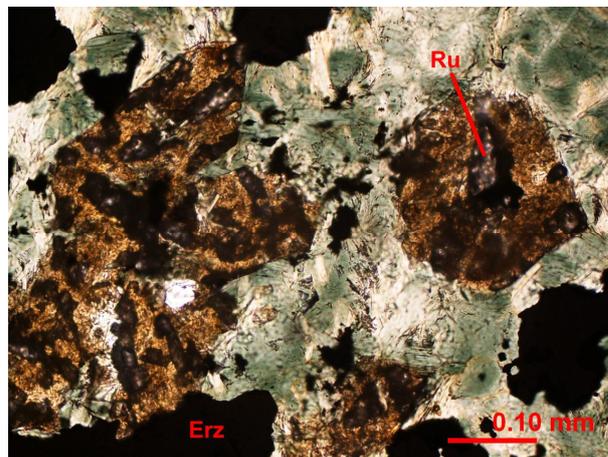


Abb. 5.1.160: Pseudomorphosen nach Biotit, bestehend aus Rutil (Ru) und einem braunen Chlorit, daneben grüner Chlorit (Chl) und Erzminerale (Probe Radz-4, Durchlicht, Hellfeld)

Radz-4 ähnelt Mied-1 und -2 von Miedzianka. Massiver Chalkopyrit enthält Aggregate aus dunkelgrünem Chlorit und teils Quarz. Im Chalkopyrit eingeschlossen sind Sphalerit (mit Chalkopyrit-Entmischung) und xenomorpher Galenit, meist zusammen mit gediegen Bi, Pearceit (mittels REM nicht sicher identifiziert) und einem nicht näher bestimmten Ag-Bi-Pb?-Sulfid. In Frage kommt am ehesten Pavonit, evtl. auch Matildit, Gustavit oder Treasurit. Mikulski (2005) beschreibt Minerale mit einer Zusammensetzung zw. Pavonit und Matildit und führt im Parageneseschema auch Gustavit und Treasurit mit Fragezeichen auf. Weiterhin kommen einzelne kleine Aggregate eines Minerals der Stannit-Gruppe (eventuell Stannoidit

oder Kesterit) und Arsenopyrit vor. Chalkopyrit entmischt sternförmig Sphalerit. Kataklastischer Pyrit mit Chalkopyrit auf den Rissen tritt zusammen mit Cobaltit auf (vgl. Abb. 5.1.152). Vereinzelt kommen Pseudomorphosen aus Rutil und einem braunen Mg-Fe-Chlorit vor (Abb. 5.1.160). Mikulski (2005) beschreibt solche Pseudomorphosen nach Biotit in alterierten Daciten, d. h. der grüne Chlorit ist alteriertes Nebengestein. Mikulski (2005) stellt eine 5-phasige Mineralisationsabfolge auf, nach der der Cobaltit und zumindest der Pyrit mit Sulfid-gefüllten Rissen aus der ersten Phase stammen. Bei dem Chalkopyrit dürfte es sich um den der Phase 2 handeln, für den Mikulski (2005) Sphalerit-Sternchen beschreibt. Ebenso gehören Sphalerit, Galenit und Fahlerz (letzte am Ende der Phase 2), sowie das Mineral der Stannit-Gruppe der Phase 2 an. Gediegen Bi wird in eine Phase 3 eingeordnet und Bournonit in eine Phase 4, ebenso wie die Ag-Bi-(Pb)-Sulfide Gustavit, Treasurit und Pavonit/Matildit. Pearceit wird von Mikulski (2005) nicht beschrieben.

#### ▪ Moravo-Silesikum:

##### **Rubotin bei Mährisch Schönberg (Šumperk):**

Sum-1 ist ein Sammlungsstück ohne genauere Angaben zur Herkunft. Ein Vorkommen bei Rubotin wird in der Literatur nicht explizit erwähnt, aber wahrscheinlich handelt es sich um eines der Cu-Gangvorkommen, die Aichler et al. (1995) in ihrer Karte zwischen Bohutín und Zlate Hory darstellen. Die Probe ist Teil eines Ganges mit weißem Quarz als Grundmasse und bis mehrere cm großen Chalkopyrit-Aggregaten, die randlich zu Covellin und Limonit verwittert oder vollständig in Limonit umgewandelt sind (Abb. 5.1.161). Außerdem kommen poröse hellbraune Limonit-Massen vor, in denen offenbar ein grobspätiges idiomorphes Karbonat weggelöst wurde, dessen Spaltrisse der Limonit nachzeichnet. Im Chalkopyrit bzw. Limonit eingeschlossen sind lose wie auf bestimmten Bahnen angeordnete Pyrit-Aggregate (Abb. 5.1.162). Malachit bildet Aggregate zusammen mit Chrysokoll, oder füllt Risse. Nebengestein kommt als Klasten vor und ist hell beige bis grünlich oder rötlich und geschiefert. Unter dem Binokular ist Quarz zu erkennen. Im Schliff wurden dagegen nur kleine Aggregate eines feinschuppigen Hellglimmers erfasst, die teils aufgelöst in einzelne Glimmerschüppchen im Gangquarz vorliegen.

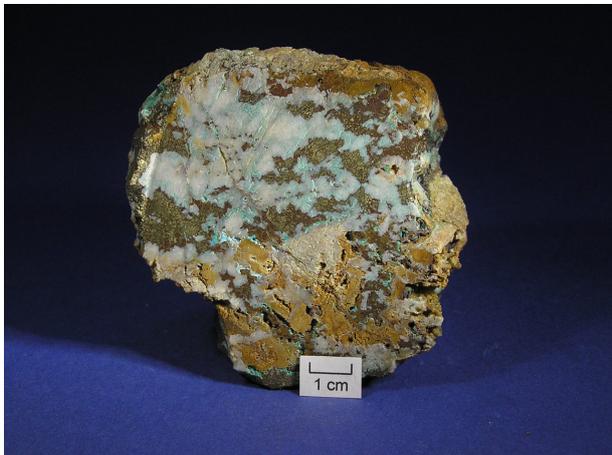


Abb. 5.1.161: Foto der Probe Sum-1.

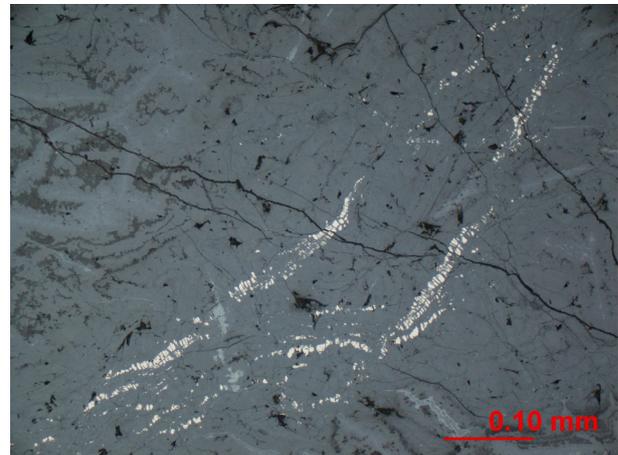


Abb. 5.1.162: Pyrit-Aggregate (weiß) im Limonit (Auflicht).

##### **VHMS(?) - Vorkommen Zlate Hory:**

Zlat-1 ist disseminiert vererztes Nebengestein (stratiforme Vererzung) und kommt laut Beschriftung des Sammlungsstückes aus dem „Sarkander Stollen“. Das Nebengestein, ein Chlorit-Quarzit, besteht etwa zu gleichen Teilen aus feinem Quarz und eingeregelttem grünem Chlorit (Abb. 5.1.163). Darin gleichmäßig verteilt sind zahlreiche bis cm große Pyrit-Aggregate, die eine leichte Plättung in Foliationsrichtung zeigen. Untergeordnet und teils den Pyrit umwachsend, teils in eigenen Aggregaten kommt Chalkopyrit begleitet von wenig Sphalerit vor (Abb. 5.1.164). Chalkopyrit und Sphalerit bilden auch sehr kleine Einschlüsse im Pyrit. Einzelne kleine Karbonat-Aggregate sind Teil des Nebengesteins oder Gangart (Bernard 1991 nennt unter anderem Karbonate als Gangart)

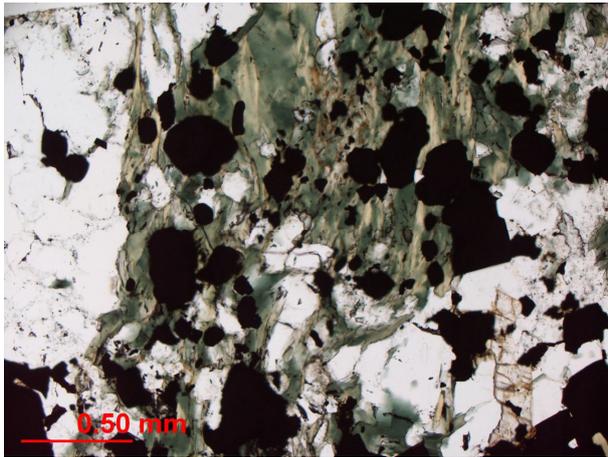


Abb. 5.1.163: Grüner Chlorit, Quarz (farblos) und Erzminerale (opak) (Probe Zlat-1, Hellfeld).

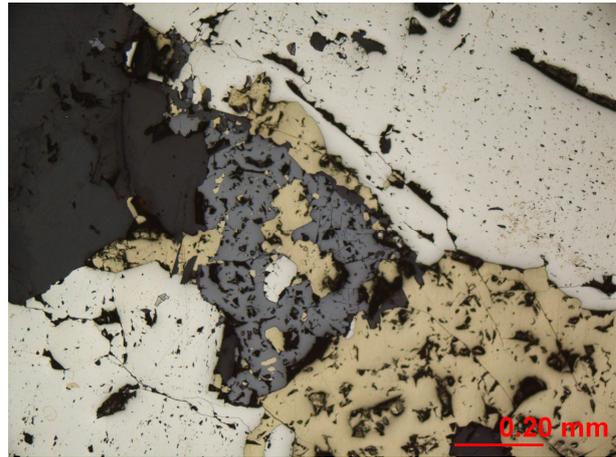


Abb. 5.1.164: Pyrit (weiß), Chalkopyrit (gelb) und Sphalerit (grau) im Dünnschliff (Auflicht).

## 5.2. Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA)

im Folgenden werden die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen für die einzelnen beprobten Vorkommen beschrieben. Dabei wird auf die zum Vergleich mit den Artefakten dienenden Spurenelemente eingegangen, sowie auf weitere Elemente, deren Gehalte mit der RFA bestimmt wurden und die die Proben charakterisieren. In Klammern ist zu jedem beschriebenen Vorkommen noch einmal angegeben, zu welchem Vererzungstyp es gehört. Einen Überblick über die gesamten RFA-Ergebnisse gibt eine Tabelle im Anhang (Tab. A2). Der Fe-Gehalt ist als  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  angegeben, auch dort wo Fe sulfidisch gebunden ist. Zum Teil kommen dadurch Summen über 100% zustande. Wie schon im Methodik-Kapitel erläutert, sind die Co- und wohl teils auch die Ni-Gehalte durch Peaküberlagerungen eher etwas zu hoch. Wo eine Beeinflussung der As- und Bi-Gehalte durch die Peaküberlagerung mit Pb anzunehmen ist, wird darauf hingewiesen. Zur besseren Lesbarkeit werden Gehalte ab 0,01% in Prozent angegeben und kleinere Gehalte in  $\mu\text{g/g}$  (entspricht der älteren Bezeichnung „ppm“). Bei letzteren handelt es sich wegen der im Methodik-Kapitel beschriebenen Rundung auf die Größenordnung der Nachweisgrenze immer um runde Zahlen.

### ▪ Helgoland (Typ: disseminiert in Sandstein):

Aufgrund der disseminierten Vererzung enthalten die Proben einen deutlichen Anteil Nebengestein (35,8-58,8%  $\text{SiO}_2$ , 1-14,8% CaO, geringe Gehalte an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{K}_2\text{O}$ ). Da die Vererzung aber aus Cu-reichen Sekundärmineralen besteht, ist der Cu-Gehalt (21,5-30,5%) trotzdem recht hoch. Der geringe Pb-Gehalt von 0,02% in Hlg-8 und Hlg-20 muss kein Hinweis auf das Vorkommen von Galenit sein (von Weiß et al. 1990 für Helgoland beschrieben). Er liegt in der Größenordnung, wie von Mempel (1960) für den unveränderten Sandstein auf Helgoland beschrieben. Bei den Spurenelementen fallen die teils hohen Ag- und As-Gehalte auf (0,015-1,549% Ag und 0,025-1,407% As). Ein Teil des Silbers kann im ged. Cu enthalten sein. Pratje (1923) und Weiß et al. (1990) erwähnen auch gediegen Ag. Nach Fesser (1971) kommt das Cu-Arsenat Domeykit vor und der Cuprit enthält bis zu einige Prozent As. Der Co-Gehalt ist nur in Hlg-7 und -8 mit 0,03 bzw. 0,04% oberhalb der Nachweisgrenze. Der Ni-Gehalt variiert von 0,01% bis 0,7%. Die Sb- und Bi-Gehalte sind durchweg unter der Nachweisgrenze.

### ▪ Harz:

#### „Glückauf Tiefenbach“ bei Treseburg (Typ: Gang):

Von der Probe TresTf-1 wurde ein Teil neu aufbereitet, nachdem die ersten RFA-Messungen nur einen sehr geringen Cu-Gehalt ergeben hatten. Bei dieser neuen Teilprobe TresTf-1b wurde versucht, die Erzminerale noch einmal stärker manuell anzureichern. Der Großteil der Spurenelementgehalte, die vorher unter der Nachweisgrenze lagen, liegt nun darüber, weshalb TresTf-1 bei deren Betrachtung durch TresTf-1b ersetzt wird. Der immer noch sehr hohe  $\text{SiO}_2$ -Anteil (79%) und der Cu-Gehalt von 4,48% zeigen aber, dass die Anreicherung nur begrenzt gelang. Auch bei TresTf-2 (20,3%  $\text{SiO}_2$ , 43,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 28,7% S)

ist Cu mit 1,33% nur ein Nebenbestandteil. In TresTf-2 sind alle Spurenelementgehalte unter der Nachweisgrenze. In TresTf-1b liegt nur der Sb-Gehalt darunter. Der Bi-Gehalt ist sehr hoch (0,12%, gediegen Bi im Dünnschliff beobachtet) und alle anderen Spurenelementgehalte liegen wenig oberhalb der Nachweisgrenze.

#### **„Prinz Karl“ bei Treseburg (Typ: Gang):**

Beide Proben werden von Gangquarz (85,7% bzw. 73,2% SiO<sub>2</sub>) dominiert. Der Chlorit in TresK-2 scheint Fe-reich zu sein, da 11,9% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nur wenig S (1%) gegenübersteht. Auch hier zeigt sich die eher geringe Chalkopyrit-Vererzung in geringen Cu-Gehalten (1,31% bzw. 0,43%). Die 0,01% As in beiden Proben und die 0,03% Co in TresK-1 können im Pyrit enthalten sein. TresK-1 zeigt weiterhin geringe Gehalte an Ag (20µg/g) und Bi (0,04%). Sonst liegen die Gehalte der Spurenelemente unter der Nachweisgrenze.

#### **„Braunschweigische Zeche“ Treseburg (Typ: Gang):**

Tres-1 hat mit 14,8% einen deutlich höheren Cu-Gehalt, als die meisten anderen Proben der Treseburger Gänge (neben 48,9% SiO<sub>2</sub> und 20,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 16,9% S). Die 0,05% Pb dürften auf eine geringe Vererzung mit Galenit hinweisen, die im Dünnschliff nicht erfasst wurde, aber zum Teil in der Literatur erwähnt wird (Blömecke 1885). Ansonsten liegt nur Ag mit 70µg/g und Co mit 0,03% über der Nachweisgrenze.

#### **Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode (Typ: Gang):**

Hauptbestandteile sind 20,6% SiO<sub>2</sub>, 22,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 26,4% S und 28,2% Cu. Ag mit 0,013% kann den Cu-Sulfiden und 0,07% As und 0,02% Co dem Pyrit als Spurenelement zugeordnet werden. Alle anderen Spurenelementgehalte liegen unter der Nachweisgrenze.

#### **Grube „Langes Holz“ an den Großen Brettenbergen (Typ: Gang):**

Wie bei den Treseburger Proben ist SiO<sub>2</sub> sehr dominant (66,7% bzw. 73,3%). Der CaO-Gehalt von 2,3% bzw. 13,1% weist darauf hin, dass eventuell Fluorit (nach LAGB und Dahlgrün 1929 in der Grube vorkommend) in den Proben vorhanden ist, aber in den Dünnschliffen nicht erfasst wurde. Auch hier sind die Cu-Gehalte gering (2,76% bzw. 1,14%). Der As-Gehalt mit 0,2% und der Bi-Gehalt mit 0,12% ist in Bret-2 recht hoch gegenüber Bret-1 mit 0,01% bzw. 0,04%. Eventuell kommt auch in Bret-2 Arsenopyrit vor. Der Bi-Gehalt kann nicht zugeordnet werden. Von den anderen Spurenelementen ist nur Ag in Bret-1 mit 20µg/g oberhalb der Nachweisgrenze.

#### **Ostteil des Güntersberge-Biwender Gangzugs (Typ: Gang):**

Die Cu-Gehalte sind auch bei den Proben vom Biwender Gangzug eher gering (0,61-8,38%), während der SiO<sub>2</sub>-Gehalt zwischen 20,3% und 50% variiert und der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt von 35,6% bis 56,4%. Der Siderit in Biw-1 und -2 ist offenbar Mn-reich (6,71% bzw. 6,3% MnO). Auffallend sind die As-Gehalte bei Biw-1 und -2 mit 0,96% bzw. 0,72%, wogegen Biw-3 nur 0,02% As enthält. Arsenopyrit wurde in nicht weiter untersuchten Stücken auf Halde gefunden und in Biw-1 kann er möglicherweise in den Markasit-Pyrit-Aggregaten übersehen worden sein, da er ähnliche optische Eigenschaften wie Markasit besitzt. Der Ag-Gehalt ist in Biw-1 und -2 unterhalb der Nachweisgrenze und in Biw-3 bei 0,011%. Dahlgrün (1929) und LAGB beschreiben Ag-reichen Galenit, hierzu ist aber der Pb-Gehalt in der Probe zu gering. Biw-1 weist darüber hinaus noch einen Sb-Gehalt nahe der Nachweisgrenze (50µg/g) auf.

#### **Straßberg-Neudorfer Gangzug (Typ: Gang):**

Nd-1 und -2 sind sich nicht nur makroskopisch und im Mineralbestand sehr ähnlich, sondern auch geochemisch. Es sind Reicherzproben mit etwas unterschiedlichen Cu-Gehalten (16,8% in Nd-1 und 21,2% in Nd-2). Dass auch Nd-2 Pyrit enthält, ergibt sich daraus, dass Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und S-Gehalte höher als der Cu-Gehalt sind. As, Co und Ni sind offenbar an den Pyrit gebunden (0,031% As, 0,04% Co und 0,06% Ni in der Pyrit-reicheren Nd-1 und 0,023% As, 0,03% Co und ein Ni-Gehalt unter der Nachweisgrenze in der Pyrit-ärmeren Nd-2). Die Ag-Gehalte sind gering (30µg/g bzw. 80µg/g) und die Gehalte an Bi und Sb unterhalb der Nachweisgrenze. Die sehr kleinen Erzaggregate in Nd-3 konnten bei der Aufbereitung nur begrenzt angereichert werden weshalb der Cu-Gehalt nur bei 5,11% liegt (gegenüber 71,3% SiO<sub>2</sub>). Die 0,02% Pb sind wahrscheinlich ein Hinweis auf eine geringe Vererzung mit Galenit (silberhaltiger Galenit

war nach LAGB das wichtigste Erz der Grube). Der Ag-Gehalt (50µg/g) und der As-Gehalt (0,01%) sind denen von Nd-1 und -2 relativ ähnlich. Die übrigen Spurenelementgehalte liegen unter der Nachweisgrenze.

**„Flußschacht“ bei Rottleberode (Typ: Gang):**

Die beiden Proben unterscheiden sich deutlich in der Gangart (in Stolf-1 31,6% CaO und 2,8% SiO<sub>2</sub> und in Stolf-2 34,5% SiO<sub>2</sub>) und in auch im Verhältnis Chalkopyrit-Pyrit (12,6% bzw. 25,3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 18,7% bzw. 24,1% S und 14,6% bzw. 19,7% Cu). Die Spurenelementgehalte sind jedoch bei beiden sehr ähnlich (und sehr gering). Nur Ag mit jeweils 10µg/g und Co mit 0,02% bzw. 0,03% weisen Gehalte über der Nachweisgrenze auf.

**Bärenhöhe bei Trautenstein (Typ: Gang):**

Bei dieser Probe gelang die Anreicherung der Erzminerale bei der Aufbereitung recht gut (21,7% Cu, 35,1% S, 34,4% Fe und nur 11,3% SiO<sub>2</sub> sowie geringe Gehalte an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und K<sub>2</sub>O), vor allem da ein mehrere cm großes Stück eines Chalkopyrit-Äderchens zur Verfügung stand. Von den Spurenelementen liegt nur Co mit 0,04% über der Nachweisgrenze.

**Halden am Kupferberg bei Trautenstein (Typ: Gang):**

TrtK-1 und -2 sind zwei sehr verschiedenen Proben. TrtK-1 ist ein angewittertes sulfidisches Reicherz mit 20,3% Cu, 19,1% S, 44,1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und wenig SiO<sub>2</sub> (2,5%). TrtK-2 ist Nebengestein (48,5% SiO<sub>2</sub>, 15,1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,5% K<sub>2</sub>O) mit geringer sekundärer Cu-Vererzung (7,3% Cu). Die Spurenelementgehalte sind aber ähnlich gering, wobei Co in TrtK-1 mit 0,04% und Ni mit 0,02% bzw. 0,01% über der Nachweisgrenze liegen.

**„Herzog Ludwig unterm Unterberg“ bei Trautenstein (Typ: Gang):**

Bei TrtL-1 sind Cu (21,9%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (33,4%) und S (30,7%) die Hauptbestandteile. TrtL-2 enthält dagegen auch größere Anteile an CaO (26,5%) und Nebengestein (vor allem SiO<sub>2</sub> mit 12,9%), während der Cu-Gehalt nur bei 11,3% liegt. Hier sind die Spurenelemente nur in Gehalten unter der Nachweisgrenze vertreten bis auf Co mit 0,03% in TrtL-1.

**„Henriette“ bei Sieber (Typ: Gang):**

Ähnlich wie schon zu anderen Proben beschrieben, macht die enge Verwachsung der relativ wenigen und sehr kleinen Erz-Aggregate mit der Gangart die Anreicherung schwierig (geringe Cu-Gehalte von 1,94% bzw. 0,17%). Dementsprechend sind auch die Spurenelementgehalte meist unter der Nachweisgrenze. Geringe Ag-Gehalte (80µg/g und 40µg/g) sind wahrscheinlich an den Bornit gebunden. Hinzu kommen in Sie-1 0,05% As. Die geringen Summen kommen dadurch zustande, dass vom Baryt, der neben Quarz (55,7% bzw. 6,6% SiO<sub>2</sub>) Hauptbestandteil ist, nur der Schwefel und nicht der wesentlich größere Masseanteil des Ba erfasst wurde.

**Bad Lauterberg (Typ: Gang):**

Je nach Vererzungsgrad und Gangart unterscheiden sich die drei Proben in ihren Hauptbestandteilen (u.a. SiO<sub>2</sub> und CaO). Laut-1 ist mit 21,6% Cu stark vererzt, Laut-3 und -5 dagegen mit 0,82% bzw. 0,79% nur gering (der hohe S-Gehalt von 28,2% in Laut-3 ist den Sulfaten zuzuordnen). Von den Spurenelementen liegt nur Co in Laut-1 mit 0,02% oberhalb der Nachweisgrenze.

**Bad Grund (Typ: Gang):**

Bei allen drei Proben konnte die Gangart recht gut abgetrennt werden und bei Grund-1 auch die Pb- und Zn-Sulfide (Cu-Gehalte von 17,2%, 20,7% bzw. 17,0%, hohe Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und S-Gehalte, in Grund-1 noch jeweils 2,3% Pb und Zn). Nur Grund-1 hat noch einen etwas höheren SiO<sub>2</sub>-Gehalt von 28,3%. In den Spurenelementen weisen die drei Proben ähnliche niedrige Gehalte auf. Der Ag-Gehalt variiert von 20µg/g (Grund-3) bis 80µg/g (Grund-1). Der Co-Gehalt liegt bei 0,02% (Grund-1) bzw. 0,03% (Grund-2 und -3), der As-Gehalt in Grund-2 bei 0,01% und in Grund-3 bei 90µg/g und der Ni-Gehalt in Grund-3 bei 0,02%. Die übrigen Werte sind unter der Nachweisgrenze.

▪ **Kyffhäuser (Typ: Gang):**

Dass die Probe stark verwittert ist, zeigt sich im sehr geringen S-Gehalt (0,5%) gegenüber 40,3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 25,5% Cu. Von den Spurenelementen wurden nur 0,024% As und 0,04% Co nachgewiesen.

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Harzes:**

**Wettelrode (Typ: disseminiert):**

Die Proben von Wettelrode sind insgesamt sehr ähnlich zusammengesetzt (40,8-57,4% SiO<sub>2</sub>, 13,2-19,4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,8-4,6% MgO, 1,2-5% K<sub>2</sub>O, 1-11,7% CaO) und zeigen die für die Kupferschiefervererzung sensu lato typische geringgradige Cu-Pb-Zn-(Fe)-Vererzung vom 0,1-er Prozentbereich bis zu einigen Prozent. Dabei dominieren (neben Fe) Cu mit Gehalten von 0,37-2,74% und Pb (0,13-5,24%, in CuSWet-4 unter der Nachweisgrenze) gegenüber Zn mit maximal 0,5%. Das Sanderz CuSWet-4 hebt sich dabei kaum von den anderen Proben ab. Die beiden Proben oberflächennahen Kupferschiefers (CuSWet-8 und -9) unterscheiden sich von den anderen Proben nur durch den hohen Pb-Gehalt (4,32% bzw. 5,24%), dessen Ursache eine sekundäre Anreicherung sein kann, da Galenit im supergenen Bereich häufig von neu gebildeten Anglesitüberzügen geschützt wird (Reichert & Borg 2008). Der Ag-Gehalt ist in CuSWet-4 mit 50µg/g am niedrigsten und liegt sonst bei 0,012-0,06%. Der As-Gehalt liegt in CuSWet-1 bei 0,04% und CuSWet-5 bei 0,03%, sonst unter der Nachweisgrenze. Die Co-Gehalte reichen von unterhalb der Nachweisgrenze bis 0,05%. Die Ni-Gehalte sind relativ hoch mit 0,06-0,11% (nur in CuSWet-4 unter der Nachweisgrenze). Ag-, Co-, Ni-, oder As-Mineralen wurden nicht beobachtet. Diese Elemente dürften daher als Spuren in Sulfiden vorkommen bzw. im Nebengestein. Die Bi- und Sb-Gehalte sind unterhalb der Nachweisgrenze.

**Rottleberode (Typ: disseminiert):**

Der hohe CaO-Gehalt (29,2%) und der niedrige SiO<sub>2</sub>-Gehalt (39,3%) in CuSRot-1 weisen darauf hin, dass die Probe aus dem oberen Kupferschiefer oder auch aus dem Zechsteinkalk stammt. CuSRot-2 und -3 sind Weißliegend-Konglomerat und dementsprechend SiO<sub>2</sub>-reich (65,5% bzw. 61,4%). Ansonsten ähneln die Proben denen aus Wettelrode. Die Cu-Gehalte sind aber gering, in CuSRot-2 0,76% Cu und in den anderen beiden Proben unter der Nachweisgrenze. Die Zn- und Pb-Gehalte sind dafür höher, mit 0,29-1,41% Zn, sowie 1,01% Pb in CuSRot-1, 0,49% Pb in CuSRot-2 und in der stark mit Galenit vererzten CuSRot-3 sogar 27,1% Pb. Da in letzterer allerdings die Summe bei 115% liegt könnte dieser Pb-Gehalt zu hoch sein. Die Proben stammen also nicht aus der Cu-Zone. Die Spurenelementgehalte sind gering. Nur Ag in CuSRot-1 und -2 (40µg/g bzw. 50µg/g), As in CuSRot-2 (0,02%), Ni in CuSRot-1 (0,05%) und Bi in CuSRot-3 (0,07%) liegen oberhalb der Nachweisgrenze. Der Bi-Gehalt von CuSRot-3 dürfte aber durch den hohen Pb-Gehalt verfälscht (zu hoch) sein.

**Bad Lauterberg (Typ: disseminiert):**

Die beiden Proben dolomitischen Mergels (30% bzw. 34,4% CaO, 16,9% bzw. 19,7% MgO und 26,4% bzw. 19,5% SiO<sub>2</sub>) weisen mit 0,13% bzw. 0,07% Cu, 0,15% bzw. 0,35% Pb und in CuSLaut-4 0,05% Zn insgesamt geringe Metallgehalte auf. CuSLaut-1 enthält 0,02% As (vergleichbar mit allen anderen Kupferschieferproben). Der As-Gehalt von CuSLaut-4 ist dagegen mit 0,18% relativ hoch, möglicherweise wurde Arsenopyrit neben Markasit übersehen. Außer As liegt nur noch Ni über der Nachweisgrenze (0,03% bzw. 0,07%).

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Kyffhäusers (Typ: disseminiert):**

CuSKyf-1 ist in den Hauptbestandteilen den Konglomerat-Proben von Rottleberode ähnlich (SiO<sub>2</sub>-Gehalt über 60%, geringe Gehalte an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO und K<sub>2</sub>O). Durch die sekundäre Cu-Mineralisation ist der Cu-Gehalt (6,14%) dagegen relativ hoch. Eine Mineralisation mit Galenit wurde im Dünnschliff beobachtet, ist aber so gering, dass der Pb-Gehalt unter der Nachweisgrenze liegt. Die geringen Gehalte an Ag (10µg/g), As (0,027%), Co (0,02%) und Ni (0,02%) sind vergleichbar den bisher beschriebenen Kupferschieferproben. Der Bi- und der Sb-Gehalt sind unterhalb der Nachweisgrenze.

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato bei Dobis und Könnern (Typ: disseminiert):**

Die Proben von Könnern unterscheiden sich von denen von Dobis durch den höheren CaO-Gehalt (30,4-36,2% bei Könnern, 10,8-18,3% bei Dobis). Insgesamt ist hier der Kupferschiefer mergeliger als am Süd-

rand des Harzes (Wettelrode, Rottleberode). Die Vererzung ist bei Könnern Pb-dominiert (0,95-1,7% Pb, 0,24-0,69% Zn und nur 0,09-0,17% Cu). Bei Dobis haben die Malachit-haltigen Proben CuSDo-1 und -2 einen höheren Cu-Gehalt (1,08% bzw. 0,75%) als die anderen beiden Proben (0,2% Cu). Der Pb-Gehalt ist sehr variabel von 0,01% bei CuSDo-1 bis 7,76% in CuSDo-4. Der Zn-Gehalt liegt dagegen meist unter der Nachweisgrenze. Bei den Proben von Könnern sind die Spurenelementgehalte sehr gering. Nur der Ag-Gehalt liegt mit 50-70µg/g etwas über der Nachweisgrenze. Bei den Proben von Dobis variiert der Ag-Gehalt von 30µg/g bis 0,092%, wobei er mit dem Cu-Gehalt korreliert (Bindung an Cu-Mineralen). Der Ni-Gehalt liegt im Bereich der Nachweisgrenze (nur in CuSDo-3 und -4 mit 0,03% bzw. 0,02% über dieser). Der Bi-Gehalt von 0,03% in CuSDo-4 ist wegen des hohen Pb-Gehaltes nicht verlässlich. As, Co und Sb weisen Gehalte unter der Nachweisgrenze auf.

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato am Südrand des Thüringer Waldes (Typ: disseminiert):**

CuSEp-1 ähnelt den bereits beschriebenen Weißliegend-Konglomeraten. Die Vererzung ist gering (0,16% Cu, Pb und Zn unter der Nachweisgrenze). Von den Spurenelementgehalten liegt nur der des Ag (20µg/g) über der Nachweisgrenze.

▪ **Kupferschiefervererzung sensu lato in der Nordsudetischen Mulde (Typ: disseminiert):**

CuSHas-1 bis -3 und CuSNowy-1 und -2 ähneln in ihrer Zusammensetzung den anderen Kupferschieferproben. CuSNowy-2 soll laut Beschriftung des Stückes Zechsteinkalk sein, hat aber dafür einen ungewöhnlich hohen SiO<sub>2</sub>- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (50,7% bzw. 13,9%) bzw. einen niedrigen CaO-Gehalt (9,3%). Die Cu-Gehalte (0,38-2,07%) ähneln denen der Wettelroder Proben, aber die Pb- und Zn-Gehalte sind gering (Pb-Gehalt bis 0,3% und Zn-Gehalt nur in CuSHas-1 mit 0,03% über der Nachweisgrenze). Auch in den Spurenelementen unterscheiden sich die Proben der Nordsudetischen Mulde nicht von den Kupferschieferproben des Harzvorlandes und von Thüringen. Die Ag-Gehalte variieren kaum (0,012-0,026%). As zeigt zum Teil Gehalte unter der Nachweisgrenze (CuSHas-2, CuSNowy-1 und -2) und zum Teil ist der Gehalt deutlich höher (0,03% in CuSHas-1 und 0,015% in CuSHas-3). Der Ni-Gehalt ist nur in CuSHas-3 etwas oberhalb der Nachweisgrenze (0,01%). CuSHas-1 hat einen Sb-Gehalt von 0,02% (eventuell ein Hinweis auf das akzessorische Vorkommen von Fahlerz). Ansonsten sind die Gehalte von Sb wie auch von Bi und Co unter der Nachweisgrenze.

▪ **Gangvererzungen im Kupferschiefer – „Mansfelder Rücken“ (Typ: Gang):**

Die beiden Proben sind vom Mineralbestand her und damit auch geochemisch sowohl in den Hauptbestandteilen als auch den Spurenelementen sehr unterschiedlich. Bei CuSMan-1 sind CaO (28,8%), S (22,3%) und Cu (23,8%) die Hauptbestandteile. Der Pb-Gehalt von 0,08% kann ein Hinweis darauf sein, dass in der Probe Galenit vorhanden ist, aber im Dünnschliff nicht erfasst wurde. Der Ag-Gehalt ist sehr hoch (0,134%). Ag-Mineralen werden in der Literatur für die Gangvererzung im Kupferschiefer beschrieben (Gerlach 1989, Vollstädt et al. 1991, Rentzsch et al. 1997, Siemroth & Witzke 1999), wurden aber nicht im Dünnschliff beobachtet. Wahrscheinlich sind die Cu-Sulfide, vor allem Chalkosin, Ag-reich. Der As-Gehalt liegt bei 0,01% und der Bi-Gehalt bei 0,02%. Co, Ni und Sb wurden nicht nachgewiesen. Bei CuSMan-2, welche hohe MgO- und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte von 30,1% bzw. 25,3% aufweist, konnten die feinen Aggregate der Cu-Mineralen nicht gut aufkonzentriert werden. Daher liegt hier der Cu-Gehalt nur bei 3,81%. Der As-Gehalt ist mit 2,23% auffallend hoch. Ein As-Sulfid oder ein Arsenid hätte im Dünnschliff beobachtet werden müssen. Denkbar ist, dass ein grünes Arsenat (z.B. Olivenit) neben den beschriebenen Cu-Sekundärmineralen übersehen wurde. Der Ag-Gehalt liegt bei 0,053%. Der Ni-Gehalt ist mit 0,06% auch relativ hoch (evtl. ein sowohl As- als auch Ni-haltiges Sekundärmineral). Der Sb-Gehalt liegt bei 0,02% und der von Bi und Co unterhalb der Nachweisgrenze.

▪ **Gangvererzung im Kupferschiefer am Nordrand des Thüringer Schiefergebirges – Revier Kamsdorf (Typ: Gang):**

Kam-1 und -2 sind sich recht ähnlich. Beide werden von Sb-Fahlerz dominiert (hohe Sb-Gehalte von 23,6% bzw. 18,4% gegenüber eher geringen As-Gehalten von 5,48% bzw. 6,33%, hinzu kommen hohe Cu-Gehalte von 33,3% bzw. 38,4%). Dabei sind die Sb-Gehalte als ungenau anzusehen (Abdeckung durch Standards problematisch). Das Fahlerz ist offenbar auch Ag-reich (0,523% bzw. 0,32% Ag). Der Co-Gehalt in Kam-1 ist mit 0,1% relativ hoch, in Kam-2 mit 0,04% dagegen deutlich niedriger. Beide Proben haben

einen Ni-Gehalt von 0,03%. Beyschlag (1888) und Rüger & Decker (1992) beschreiben Ni und Co in Fahlerzen. Der Bi-Gehalt liegt unter der Nachweisgrenze. Galenit und Sphalerit zeigen sich als geringe Pb- und Zn-Gehalte (0,07% bzw. 0,17% Pb und 2% bzw. 1,8% Zn). Die Zusammensetzung von Kam-3 wird von den Cu-Sekundärmineralen bestimmt (45,3% Cu, nur 0,6% S). Mit 2,09% ist der Pb-Gehalt deutlich höher, als bei den anderen Proben von Kamsdorf. Scheinbar ist Pb in dieser Probe sekundär angereichert. Der As-Gehalt ist mit 4,11% sehr hoch und fast so hoch wie der der Fahlerzproben Kam-1 und -2. Vermutlich liegt Arsen hier als Arsenat vor, welches neben Malachit und Chrysokoll übersehen worden sein kann. Der Sb-Gehalt wurde mit 0,48% bestimmt, könnte aber zu gering sein (siehe oben). Der Ag-Gehalt (0,097%) ist deutlich niedriger, als bei Kam-1 und -2. Im Co- und Ni-Gehalt (0,04% bzw. 0,05%) besteht Ähnlichkeit zu Kam-1 und -2. Der Bi-Gehalt (0,03%) ist wegen des hohen Pb-Gehaltes wahrscheinlich zu hoch. Kam-4 weicht in der Zusammensetzung von den Proben vom Roten Berg stark ab (26,5% Cu, 39% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 14,3% S). Bis auf den Co-Gehalt, der mit 0,03% denen von Kam-1 bis -3 ähneln, liegen die Spurenelementgehalte unter der Nachweisgrenze.

▪ **Gangvererzung im Kupferschiefer am Südrand des Thüringer Waldes (Typ: Gang):**

Zur Analyse wurde ein Ausschnitt des Gangstuckes mit massivem Chalkopyrit (20,9% Cu, 29,1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 30,5% S) und nur wenig Gangart (11,6% SiO<sub>2</sub>, 2,2% CaO) ausgewählt. Bis auf 0,03% Co liegen die Spurenelementgehalte unter der Nachweisgrenze.

▪ **Rheinisches Schiefergebirge:**

**Grube „Bertsch“ bei Bergfreiheit im Kellerwald (Typ: Gang):**

Alle drei Proben sind relativ reiche Erze (Cu-Gehalt 18,6%, 11,8% bzw. 18,1%). Die Gangart (1,1-5,7% SiO<sub>2</sub> und in Bgfr-3 noch 5,7% CaO) spielt eine untergeordnete Rolle. Die Spurenelementzusammensetzung zeigt eine gewisse, wenn auch nicht sehr große Variation. Der Ni-Gehalt ist in Bgfr-3 unter der Nachweisgrenze, in Bgfr-1 bei 0,04% und in Bgfr-2 mit 0,22% am größten (offenbar ein größerer Anteil Bravoit). Co zeigt die gleiche Verteilung wie Ni, mit dem kleinsten Gehalt (0,02%) in Bgfr-3 und dem größten Gehalt (0,19%) in Bgfr-2. Das gilt auch für As (unter der Nachweisgrenze in Bgfr-3, 70µg/g in Bgfr-1 und 0,03% in Bgfr-2). Die Sb- und Bi-Gehalte sind unter der Nachweisgrenze. Der Ag-Gehalt in Bgfr-1 und -2 liegt unter der Nachweisgrenze und in Bgfr-3 geringfügig darüber (10µg/g).

**Gruben „Friederike“, „Oskar“ und „Wiemecke“ bei Marsberg (Typ: disseminiert in Schwarzschiefern und gangförmig):**

Mrs-2, Mrs-a bis -d und Mrs-f bis -h sind Schwarzschiefer ähnlich dem Kupferschiefer, wenn auch mit gewissen Unterschieden zu diesem. So sind die Proben von Marsberg vor allem weniger mergelig (0,7-13,6% CaO) und SiO<sub>2</sub>-reicher (50,9-95,4%) und die Vererzung ist Cu-betont (Pb- und Zn-Gehalte größtenteils unter der Nachweisgrenze). Die Cu-Gehalte sind dem Kupferschiefer vergleichbar (von 0,18% in Mrs-b bis 4,69% in Mrs-g). Von Mrs-2 wurde kein Dünnschliff angefertigt. Der Pb-Gehalt von 0,11% geht also eventuell auf Galenit zurück, der von Stribny et al. (1988), Stribny (1989), Schnorrer-Köhler (1991) und Urban et al. (1995) beschrieben wird. Die Spurenelementgehalte sind wenig variabel und entsprechend der geringgradigen Vererzung niedrig. Mrs-2, -a, -c, -d und -f haben Ag-Gehalte von 10-70µg/g, Mrs-g und -h (Bornit-haltig) haben Ag-Gehalte von 0,042% bzw. 0,022%. Der As-Gehalt ist nur in Mrs-c, -d und -f über der Nachweisgrenze (0,02%, 0,05% bzw. 0,02%) und der Ni-Gehalt in Mrs-f mit 0,02%. Alle anderen Spurenelementgehalte sind unter der Nachweisgrenze. Bei den Gangerzen Mrs-1 und -e hat die Gangart einen hohen Anteil (40,4% bzw. 57% CaO, wobei bei Mrs-e der CaO-Gehalt wahrscheinlich etwas zu hoch ausfällt). Der Cu-Gehalt von Mrs-1 ist mit 12,3% relativ hoch, der von Mrs-e (v.a. mit Pyrit vererzt) liegt nur bei 0,12%. Mrs-1 enthält 0,015% Ag, das wahrscheinlich ähnlich wie in Mrs-g und -h an den Bornit gebunden ist. Der in Mrs-1 auftretende Arsenopyrit äußert sich in einem As-Gehalt von 0,018%. Ansonsten überschreiten die Gehalte der Spurenelemente die Nachweisgrenze nicht.

▪ **„Elisabeth“ bei Engelbach (Typ: disseminiert in Schwarzschiefern und gangförmig):**

Die Probe ist ein Gemisch aus Vererzung und Nebengestein, welches nur begrenzt ausgesondert werden konnte (21,2% SiO<sub>2</sub>, geringe Gehalte an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO und K<sub>2</sub>O). Die starke Verwitterung zeigt sich im

geringen S-Gehalt (2,4%) gegenüber 27,9% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 20,3% Cu. Von den Spurenelementen liegen nur Co und Ni mit jeweils 0,03% über der Nachweisgrenze.

#### ▪ Dillmulde:

##### **Grube „Gottesgabe“ bei Roth (Typ: Gang):**

Die Zusammensetzung der Proben von Roth ist in Abhängigkeit vom Mineralbestand sehr verschieden. Der Anteil von SiO<sub>2</sub> in den Proben variiert von 2,2% in Roth-2 bis 32% in Roth-4. Roth-3 hat einen hohen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (57,8%), sowie 13,3% S und 8,97% Cu. Die Chalkopyrit-reiche Probe Roth-2 (21,1% Cu, 38,2% S, 34,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) unterscheidet sich deutlich von den beiden Fahlerz-dominierten Proben Roth-1 und -4 (30,2% bzw. 27% Cu, 19,6% bzw. 18,4% S, nur geringe Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte). Die Zn-Gehalte sind offenbar vor allem an das Fahlerz gebunden und weniger an das Vorkommen von Sphalerit, denn die beiden Fahlerzproben Roth-1 und -4 haben die höchsten Zn-Gehalte (2,7% bzw. 2,2% gegenüber 0,5% in Roth-2 und einem Gehalt unter der Nachweisgrenze in Roth-3). Das Fahlerz ist eher ein Sb-Fahlerz da der As-Gehalt (1,22% bzw. 2,03%) niedriger ist als der Sb-Gehalt (4,31% bzw. 3,96%). Dabei besteht bei den Sb-Gehalten das bereits erwähnte Problem der begrenzten Anzahl von Sb-führenden Standards. Es wurden Standards gewählt, durch die die Sb-Gehalte eher etwas zu niedrig ausfallen und als Mindestwert betrachtet werden können. Roth-3 (geringer Fahlerz-Anteil) enthält 0,14% Sb und 0,08% As und Roth-2 70µg/g Sb und 0,011% As (vor allem Arsenopyrit). Der Ag-Gehalt variiert je nach Fahlerz-Anteil (0,384% bzw. 0,344% in Roth-1 und Roth-4, 0,034% in Roth-3 und unter der Nachweisgrenze in Roth-2). Auch Bi scheint an das Fahlerz gebunden zu sein (0,09% in Roth-1 und 0,04% in Roth-4) bzw. wurde es in Roth-3 (0,04% Bi) mittels REM in Form von nicht näher bestimmten Bi-Sulfiden nachgewiesen. Die Co-Gehalte sind nicht sehr verschieden (0,02-0,04%). Roth-3 (Ni-Sulfide) enthält 0,02% Ni und sonst ist der Ni-Gehalt unter der Nachweisgrenze.

##### **Grube „Boxbach“ bei Hesselbach (Typ: Gang):**

SiO<sub>2</sub> (33,6%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (24%), S (20,3%) und Cu (17,4%) sind die Hauptbestandteile der Probe. Der Nebengesteinsanteil wurde nicht vollständig ausgesondert (2,3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Der As- und der Ni-Gehalt sind auffallend hoch (0,421% bzw. 0,4%). Stoppel (1988) beschreibt für die Grube „Boxbach“ auch Gersdorffit (NiAsS), der sehr ähnliche optische Eigenschaften wie Pyrit hat und im Dünnschliff übersehen worden sein kann. Hinzu kommen noch geringe Gehalte an Co (0,02%) und Sb (50µg/g).

##### **„Selnbach“ bei Wiesenbach (Typ: Gang):**

Aufgrund der feinen Verwachsung konnte das Erz bei der Aufbereitung nur wenig angereichert werden. Daher hat Sel-1 vor allem einen sehr hohen Anteil SiO<sub>2</sub> (69%) und nur einen geringen Cu-Gehalt (3,04%). Auch Mn-reicher Siderit bzw. Limonit und Manganit, sowie Nebengestein haben einen deutlichen Anteil (14,1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,15% MnO, 2,4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Das Fahlerz ist Sb-betont (0,19% As und 1,59% Sb) und offenbar Ag-haltig (0,083%). Die Bi-, Co- und Ni-Gehalte sind unter der Nachweisgrenze.

##### **Grube „Teutsch“ bei Gönnern (Typ: Gang):**

Von der Probe Gön-1 wurde zur Analytik ein Bereich massiven Chalkopyrites mit eher geringem Anteil anderer Erz- bzw. Sekundärminerale ausgewählt (23,4% Cu, 29,2% S, 32,7% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,57% Pb). Der geringe Ag-Gehalt von 30µg/g kann an den Galenit gebunden sein. Der Co-Gehalt liegt bei 0,03% und der Ni-Gehalt bei 0,01%. Der Bi-Gehalt von 0,02% kann wegen des relativ hohen Pb-Gehaltes zu hoch sein. Fahlerz hat nur einen geringen Anteil und zeigt sich nicht in den RFA-Ergebnissen (As- und Sb-Gehalt unter der Nachweisgrenze).

##### **„Amalie“ bei Amelose (Typ: Gang):**

Auch bei dieser Probe ließ sich der Gangquarz nur unzureichend von den fein verteilten Erz-Aggregaten abtrennen (81,3% SiO<sub>2</sub>). Der Cu-Gehalt liegt bei 4,76%. Geringe Beimengungen von Nebengestein können mit enthalten sein (2,2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Wie auch bei den anderen Proben aus der Dillmulde, ist das Fahlerz Sb-betont (0,274% As und 2,097% Sb). Es ist Ag-reich (0,241%) und enthält vermutlich auch Bi (0,02%) und Zn (0,6%) – letzteres da kein Sphalerit beobachtet wurde. Der Co- und der Ni-Gehalt sind gering (0,01% bzw. 0,02%). Laut Beschriftung des Stückes soll die Probe Galenit enthalten. Dieser wurde nicht im Dünnschliff beobachtet, scheint aber doch in geringer Menge vorhanden zu sein (0,05% Pb).

**„Alte“ und „Neue Constanze“ bei Eismroth (Typ: Gang):**

Beide Proben sind sich nicht nur im Mineralbestand, sondern auch in der chemischen Zusammensetzung sehr ähnlich, obwohl sie von zwei getrennten Ganggruppen stammen. Die Gehalte der Hauptelemente sind nur wenig verschieden (11,5% bzw. 12,1% SiO<sub>2</sub>, 36,4% bzw. 39,8% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7,7% bzw. 13,4% S und 30% bzw. 23,3% Cu). Die Spurenelementgehalte sind niedrig und in beiden Proben ebenfalls ähnlich. Der Ag-Gehalt ist nahe der Nachweisgrenze (10µg/g) bzw. unterhalb davon. Ebenso der As-Gehalt (70µg/g in AtKonst-1). Der Co-Gehalt liegt bei 0,04% bzw. 0,03% und die Gehalte an Bi, Ni und Sb unter der Nachweisgrenze.

**„Stangenwaage“ und „Eisenberg“ bei Donsbach (Typ: Gang):**

Auch hier sind sich Proben verschiedene Gänge ähnlich. Beide Proben sind Reicherze mit eher geringen Beimengungen von Gangart (Donsb-1: 9,6% SiO<sub>2</sub> und 5,1% CaO und Donsb-2: 29,7% SiO<sub>2</sub>). Fe, S und Cu sind die Hauptbestandteile, bei Cu-Gehalten von 20,2% bzw. 21,2%. Bei Donsb-2 zeigt sich die teilweise Verwitterung im S-Gehalt (nur 8,5%). Bis auf den Co-Gehalt von jeweils 0,03% sind alle Spurenelementgehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

**„Constanze“ bei Langenaubach (Typ: Gang):**

Die geochemische Zusammensetzung von Lang-1 wird von Bornit, Chalkopyrit und Hämatit bestimmt (47,8% Cu, 19,9% S, 27% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Die Spurenelementgehalte sind gering und bis auf Ni und Co mit je 0,02%, sowie Ag mit 10µg/g unter der Nachweisgrenze. Ag ist vermutlich an den Bornit gebunden.

**„Aurora“ (?) bei Niederrossbach (Typ: Gang):**

Im Verhältnis zu den Anteilen an Nebengestein und Gangart (45,3% SiO<sub>2</sub>, 2,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 13,8% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,18% MnO) ist der Anteil an Cu-Mineralen eher gering (11,3% Cu). Der Zn-Gehalt von 1,7% ist zu hoch, um im Fahlerz enthalten zu sein. Sphalerit (beschrieben bei Kayser & Lotz 1907a, Stoppel 1988 und Weiß et al. 1990) ist aber nicht im Dünnschliff vertreten. Das Fahlerz ist Sb-betont (3,22% Sb, 0,57% As) und enthält Ag (0,59%) und wahrscheinlich auch Bi (0,02%). Ni ist mit 0,02% nahe und Co unterhalb der Nachweisgrenze.

**▪ Siegerland:**

**„Brüderbund“ bei Eisfeld (Typ: Gang):**

Eisfeld-2 ist massives Erz (20,8% Cu, 33,4% S, 34,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mit wenig Gangart (5,6% SiO<sub>2</sub>). Bei Eisfeld-1 waren dagegen die mit Mn-reichem Siderit (52,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10,5% MnO) verwachsenen Erzminerale nicht gut von diesem zu trennen, weshalb der Cu-Gehalt nur bei 6,35% liegt. In Eisfeld-1 wurden Sphalerit und Galenit beobachtet (1,12% Zn, 0,09% Pb). Von Eisfeld-2 gibt es keinen Dünnschliff aber hier scheinen die beiden Minerale auch vorzukommen (0,2% Zn, 0,03% Pb). Pb kann aber auch als Spurenelement im Chalkopyrit vorkommen (nach Mineralanalysen von Rao 1967 führt Chalkopyrit im Siegerland im Mittel 580µg/g Pb). In den Spurenelementen sind die beiden Proben nicht sehr verschieden. Eisfeld-1 enthält 30µg/g Ag und in Eisfeld-2 sind es 0,014%. Der Chalkopyrit dürfte also Ag enthalten (Rao 1967 gibt als Durchschnittswert für den Chalkopyrit der Siderit-Phase 225µg/g und für den der Sulfid-Phase 168µg/g Ag an). Der As-Gehalt liegt in Eisfeld-1 bei 0,14% und in Eisfeld-2 bei 0,082%. Die Bi-, Co- und Ni-Gehalte sind in Eisfeld-1 unter der Nachweisgrenze und in Eisfeld-2 bei 0,02%, 0,04% und 0,03%. Der Sb-Gehalt ist in beiden Proben unter der Nachweisgrenze. In Eisfeld-1 scheint wegen des hohen As-Gehaltes auch Arsenopyrit (von Fenchel et al. 1985 und Weiß et al. 1990 beschrieben) vorzukommen.

**Grube „Storch und Schöneberg“ (Typ: Gang):**

Storch-1 und Storch-2 sind sich sehr ähnlich. Der Cu-Gehalt liegt bei 19,2% bzw. 23,5%. Beimengungen von Gangart sind sehr gering (5,5% bzw. 1,3% SiO<sub>2</sub>). Der Pb-Gehalt in Storch-1 (0,08%) dürfte ein Hinweis auf Galenit sein. Der Ag-Gehalt liegt bei 30µg/g bzw. 50µg/g, der As-Gehalt bei 90µg/g bzw. unter der Nachweisgrenze, Co bei 0,02% bzw. 0,03% und Ni bei 0,02% bzw. unter der Nachweisgrenze. Bi und Sb wurden nicht nachgewiesen.

### **Grube „Alte Dreisbach“ (Typ: Gang):**

Die Probe AtDreis-1 hat als Zementationserz (Hauptbestandteil Chalkosin) einen hohen Cu-Gehalt von 57,8%, neben geringeren Anteilen von 6,9% SiO<sub>2</sub> und 11,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Im Chalkosin sind offenbar 0,022% Ag und wahrscheinlich auch 0,01% Co enthalten. Die anderen Spurenelementgehalte sind unter der Nachweisgrenze.

### **Grube „Silberwiese“ bei Oberlahr (Typ: Gang):**

Silb-1 gleicht nicht nur in Aussehen und Mineralbestand Storch-1 und -2, sondern ist auch geochemisch sehr ähnlich. Der Cu-Gehalt liegt bei 19,4%, der Ag-Gehalt bei 40µg/g, der As-Gehalt bei 80µg/g und der Co-Gehalt bei 0,03%. Fahlerz äußert sich in einem geringen Sb-Gehalt (0,12%). Die Bi- und Ni-Gehalte sind unter der Nachweisgrenze.

#### **▪ Distrikt Untere Lahn:**

### **Grube „Holzappel“ (Typ: Gang):**

Die drei Proben variieren im Mineralbestand und damit auch in ihrer Hauptelementzusammensetzung. Hlz-1 und -3 haben einen recht hohen Anteil SiO<sub>2</sub> (61,1% bzw. 48%), Hlz-2 dagegen einen eher geringen Anteil (8,7%). Das Karbonat ist Mn-reich (MnO-Gehalte von 0,07-1,79). Der Cu-Gehalt variiert von 5,32-12,4%. Hlz-2 ist sehr Pb-reich (37,2%), während Hlz-1 nur 0,01% und Hlz-3 0,61% Pb enthalten. Der Zn-Gehalt liegt in Hlz-1 und -2 bei 3,21% bzw. 7,94% und in Hlz-3 unter der Nachweisgrenze. Auch der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und der S-Gehalt sind variabel. Bei den Spurenelementen sind die Unterschiede jedoch gering. Der Ag-Gehalt ist relativ hoch (0,022-0,059%), steht aber nicht mit dem Pb-Gehalt in Zusammenhang. Der As-Gehalt liegt in Hlz-2 und -3 unter der Nachweisgrenze und in Hlz-1 bei 80µg/g. Nur die Fahlerz-führende Probe Hlz-2 hat einen Sb-Gehalt oberhalb der Nachweisgrenze (0,011%). Die Co- und Ni-Gehalte sind zum Teil über der Nachweisgrenze (Hlz-1: je 0,02% Co und Ni, Hlz-3: 0,01% Co). Der Bi-Gehalt ist in Hlz-2 und -3 gleich (0,05%) und in Hlz-1 unter der Nachweisgrenze, dabei ist er in Hlz-2 wegen des hohen Pb-Gehaltes eventuell zu hoch.

### **Gangzug Bad Ems-Braubach:**

Die beiden Oxiderze EmsF-1 und Brau-1 unterscheidet sich naturgemäß in den Hauptelementen deutlich von den anderen Proben der Emser Gänge und auch untereinander. Der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und der S-Gehalt sind in den oxidischen Erzen gering. EmsF-1 ist sehr Cu-reich (67,7% Cu, sonst 19,5-23,9%). Der Pb-Gehalt ist sehr variabel. Den höchsten Gehalt hat Brau-1 (27,8%). In den beiden Galenit-führenden Proben EmsM-1 und Ems-1 liegt er bei 0,19% bzw. 6,13% und in EmsF-1 und EmsN-1 ist er sehr niedrig (0,05% und unter der Nachweisgrenze). Die Zn-Mineralisation ist dagegen in allen Proben gering (Zn-Gehalt in EmsM-1 und EmsN-1 unter der Nachweisgrenze und sonst 0,2-0,7%).

Die Spurenelementzusammensetzung zeigt nur wenige Variationen. Die Ag-Gehalte liegen bei 0,012-0,05%, dabei hat EmsF-1 den höchsten Ag-Gehalt, der wohl an Cu-Sekundärminerale (vor allem Chalkosin) gebunden ist. Sonst könnte Galenit der Ag-Träger sein und in EmsN-1 wurde im nicht näher bestimmten Cu-Bi-(Pb?)-Sulfid Ag mittels REM nachgewiesen. Der As-Gehalt ist in Brau-1 und Ems-1 unter der Nachweisgrenze. In letzterer Probe zeigen sich die mittels REM nachgewiesenen As-Mineralen also nicht in den RFA-Ergebnissen. EmsF-1 enthält 0,02% As, EmsM-1 50µg/g und EmsN-1 0,015%. Der Sb-Gehalt ist nur in Brau-1 geringfügig über der Nachweisgrenze (50µg/g). Das Fahlerz in EmsN-1 (mittels REM als Sb-Fahlerz bestimmt) macht sich hier nicht bemerkbar. Die Co- und Ni-Gehalte sind unter der Nachweisgrenze oder nicht weit darüber (in Ems-1 0,02% Co, in EmsM-1 0,03% Co, in EmsF-1 und Ems-1 0,02% Ni und in EmsM-1 0,01% Ni). Co- und Ni-Mineralen wurden allerdings nur in Ems-1 beobachtet. Der Bi-Gehalt liegt schließlich in Brau-1 bei 0,06%, in Ems-1 und EmsN-1 bei 0,07% und in den anderen beiden Proben unter der Nachweisgrenze. Dabei sind in Brau-1 und Ems-1 vermutlich die Pb-Gehalte zu hoch für eine sichere Bestimmung des Bi-Gehaltes. In EmsN-1 wurden dagegen Bi-Mineralen beobachtet.

### **Werlau (Typ: Gang):**

Wer-1 und -2 haben ähnliche Cu-, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und S-Gehalte (21,1% bzw. 20,1%, 29,2% bzw. 33,2% und 32,9% bzw. 32%) und unterschiedliche Anteile von Gangart (in Wer-1 24,3% SiO<sub>2</sub>, in Wer-2 nur 1,4% SiO<sub>2</sub> sowie 4,92% MnO, d.h. ein offenbar Mn-reiches Karbonat). Der Galenit-reiche Teil von Wer-2 wurde bei der Aufbereitung ausgelassen, so dass die Pb-Gehalte (wie auch die Zn-Gehalte) in beiden Proben

niedrig sind (0,21% bzw. 0,19% Pb und in Wer-1 0,4% Zn). Unter den Spurenelementen liegen nur wenige Gehalte oberhalb der Nachweisgrenze. Der Ag-Gehalt ist in beiden Proben ähnlich (0,034% bzw. 0,022%). Holzapfel (1904) beschreibt den Galenit als Ag-reich. In Wer-2 wurde auch ein Ag-Cu-Fe-Sb-Sulfid beobachtet, da aber dort der Sb-Gehalt unter der Nachweisgrenze ist, dürfte dieses nicht zum Ag-Gehalt beitragen. Wer-1 enthält dagegen 0,01% Sb. In ähnlicher Weise macht sich das Co-Ni-Mineral in Wer-2 nicht im Co- und Ni-Gehalt bemerkbar, während Wer-1 0,04% Co enthält. Die As- und Bi-Gehalte sind unter der Nachweisgrenze.

#### ▪ Thüringer Wald:

##### **Tannenglasbach (Typ: Gang):**

Beide Proben sind ein Gemisch aus Erzmineralen und Gangart. Bei Tann-1 sind die Gehalte an Cu, S und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  etwas höher (24,1%, 16,6% bzw. 7,38%) als bei Tann-2 (15,5%, 6,9% bzw. 6,38%) und der Anteil der Gangart etwas niedriger (11,1%  $\text{SiO}_2$ , 21,8% CaO und 3,5% MgO gegenüber 38,1%  $\text{SiO}_2$ , 22,3% CaO und 2,6% MgO). Die geringen Zn-Gehalte (1,2% bzw. 0,3%) können Teil des Fahlerzes sein. Die Pb-Gehalte von 0,24% bzw. 0,08% weisen aber darauf hin, dass in den Proben auch der von Anspach (2002) aufgeführte Galenit vorkommt, wenn auch im Dünnschliff nicht beobachtet. Das Fahlerz, das offenbar auch in Tann-2 vorkommt, ist anders als die Fahlerze des Rheinischen Schiefergebirges oder von Kamsdorf ein As-Fahlerz (5,658% bzw. 3,44% As und nur 0,03% bzw. 0,02% Sb). Es enthält auch Ag (0,019% bzw. 0,013%) und eventuell Co (in beiden Proben 0,02%). Die Bi- und Ni-Gehalte liegen unter der Nachweisgrenze. Die beiden Proben Tann-1 und -2 sind sich damit in den Spurenelementen sehr ähnlich.

##### **„Kupferstollen“ bei Gießübel (Typ: Gang):**

Bei Gies-1 ist die Vererzung eng mit dem Nebengestein verwachsen, so dass die Probe nur wenig angereichert werden konnte. Daher sind die Bestandteile des Nebengesteins und der Gangart mit merklichen Gehalten vertreten (27,5%  $\text{SiO}_2$ , 5,8%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2,3% MgO, 7,2% CaO). Da die Probe mit Cu-reichen Mineralen vererzt ist, liegt der Cu-Gehalt trotzdem bei 21,9%. Die Spurenelementgehalte sind bis auf Ag und As unter der Nachweisgrenze. Der Ag-Gehalt von 0,03% dürfte an Bornit und Chalkosin gebunden sein. In welcher Form der As-Gehalt von 0,02% vorliegt, ist unklar.

##### **Gang im Katzmannstal bei Möhrenbach:**

Bei Katz-1a und Katz-1b, die der Probe Gies-1 ähneln, ist der Anteil der Vererzung noch geringer als dort. Die Cu-Gehalte liegen bei 4,72% und 10,9%. Die  $\text{SiO}_2$ -Gehalte sind mit 48% bzw. 60% sehr hoch. Auch die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte sind höher (10,4% bzw. 9,3%) als bei Gies-1. Der Zn-Gehalt von 0,29% in Katz-1a kann auf das Vorhandensein von Sphalerit hinweisen, der nach Kaemmel (1961) und Meinel & Mädler (2003) in dem Gang vorkommt. Auch in den Spurenelementen ähneln Katz-1a und -1b der Probe von Gießübel. Katz-1a enthält 0,038% Ag und die Cu-reichere Katz-1b 0,066%. Katz-1a weist noch einen Co-Gehalt von 0,01% auf. Alle übrigen Spurenelementgehalte liegen unter der Nachweisgrenze.

##### **Stechberg bei Gehren (Typ: Gang):**

Die Zusammensetzung der Probe wird von Gangart (31,6%  $\text{SiO}_2$ , 20,3% CaO) und Chalkopyrit (14,3% Cu, 14,6% S, 11,8%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) bestimmt. Der geringe Anteil Sphalerit äußert sich nicht in den RFA-Ergebnissen. Ansonsten liegt nur der geringe As-Gehalt (70  $\mu\text{g/g}$ ) über der Nachweisgrenze.

#### ▪ Thüringer Schiefergebirge:

##### **Kirchberg bei Böhlen (Typ: unsicher):**

Die Aufbereitung für die Analytik wurde auf die Hämatit-reichen Teile der Probe konzentriert, um eventuell noch primäre Cu-Vererzung oder sekundäre Cu-Sulfide zu erfassen. Der hohe  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt (86,6%) zeigt aber, dass Hämatit der Hauptbestandteil der Probe ist. Der Cu-Gehalt ist mit 4,31% eher gering. Die Spurenelementgehalte sind gering oder unter der Nachweisgrenze. Der Ag-Gehalt liegt bei 10  $\mu\text{g/g}$ . As (0,021%) und Co (0,01%) kann der Hämatit vom primären Pyrit übernommen haben.

##### **Frankenwälder Sideritgänge:**

In den Hauptbestandteilen ähneln sich Lich-1 und -3 (ähnlicher Mineralbestand), während Lich-2 in der Zusammensetzung abweicht. Lich-1 und -3 haben einen höheren Cu- und S-Gehalt (18% bzw. 20,6% Cu,

27,8% bzw. 35,9% S gegenüber 9,88% Cu und 5,9% S). Der Kalzit in Lich-1 und -3 resultiert in einem geringen CaO-Gehalt (14,8% bzw. 7,7%), während Lich-2 Fe-reich ist (62,7% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). In den Spurenelementen unterscheiden sich alle drei Proben kaum. Die Gehalte sind vielfach unter der Nachweisgrenze und sonst eher gering. Der Ag-Gehalt variiert von 40µg/g bis 70µg/g (wahrscheinlich an den Chalkopyrit gebunden). Der As-Gehalt liegt in Lich-2 bei 80µg/g und in den anderen beiden Proben unter der Nachweisgrenze und der Co-Gehalt liegt in Lich-1 und -3 bei 0,02%.

#### **Chrieschwitz bei Plauen (Typ: Gang):**

Bei Chrie-1 spiegelt sich die starke Oxidation im geringen S-Gehalt (2,3%) im Vergleich mit dem Cu-Gehalt (37%) und dem Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (45%) wieder. Der Bi-, der Ni- und der Sb-Gehalt sind unterhalb der Nachweisgrenze. Die Gehalte an Ag, As und Co sind gering (20µg/g Ag, 60µg/g As und 0,04% Co).

#### **▪ weitere in Thüringen: Gangvorkommen im Dolomitsteinbruch Caaschwitz bei Gera:**

Von Caa-1 wurde für die Analysen ein verhältnismäßig frischer Teil der Probe ohne Gangart oder Nebengestein verwendet. Cu mit 27,1%, S mit 26,1% und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit 34% sind die Hauptbestandteile. Von den Spurenelementen liegt nur der As-Gehalt mit 0,04% über der Nachweisgrenze. Dieser könnte aber wegen des hohen Pb-Gehaltes (2,64%) ungenau sein.

#### **▪ Fichtelgebirge: „Bayerland“ bei Waldsassen (Typ: SHMS, metamorph überprägt):**

Bei Wld-1 war die Anreicherung der disseminierten Vererzung erfolgreicher als bei Wld-2 (18% SiO<sub>2</sub> und 8,17% Cu in Wld-1 und 44,4% SiO<sub>2</sub> und 2,15% Cu in Wld-2), wobei aber Fe-Sulfide immer noch die Hauptmasse der Vererzung ausmachen (36,5% bzw. 24,3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 34,1% bzw. 23,2% S). Die Spurenelementgehalte sind in der stärker vererzten Probe Wld-1 etwas höher als in der anderen Probe, aber insgesamt gering. Der Ag-Gehalt liegt in Wld-1 bei 0,028% und in Wld-2 bei 70µg/g. Woran diese Gehalte gebunden sind ist unklar, wenn auch Maucher (1939) und Weiß et al. (1990) gediegen Ag beschreiben. Der As-Gehalt liegt bei 0,02% bzw. 0,01% und kann an die Fe-Sulfide gebunden sein, ebenso der Co-Gehalt von 0,04% in Wld-1. Die übrigen Spurenelementgehalte sind unter der Nachweisgrenze.

#### **▪ Hinterer Bayerischer Wald: Silberberg bei Bodenmais (Typ: SHMS, metamorph überprägt):**

Die Cu-Gehalte der vier Proben von Bodenmais sind relativ gering (2,62-9,33%). Bei Bod-1 und -2 vor allem aufgrund der disseminierten Vererzung und bei Bod-3 und -4 weil hier Fe-Sulfide dominieren (35,7% bzw. 36,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 41% bzw. 48,6% S). Alle Proben enthalten Anteile von Nebengestein (2,7-36,4% SiO<sub>2</sub>, 1,3-10,2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, in Bod-2 3,5% K<sub>2</sub>O). Die Zn-Gehalte sind in Bod-1 mit 6,2% am höchsten. Bei Bod-2 scheinen auch Pb-Minerale Teil der Vererzung zu sein (0,13% Pb), obwohl nicht im Dünnschliff beobachtet. In den Spurenelementen unterscheiden sich die Proben nicht sehr. Der Ag-Gehalt korreliert mit dem Cu-Gehalt (niedrigster Ag-Gehalt mit 0,034% in Bod-2, höchster Gehalt mit 0,091% in Bod-1). As wurde nur in Bod-4 in geringer Konzentration (60µg/g) nachgewiesen, ebenso Ni mit 0,02%. Der Co-Gehalt zeigt einen deutlichen Zusammenhang mit dem Anteil an Fe-Sulfiden (0,09% in Bod-3 und -4, in Bod-1 und -2 nur 0,02% bzw. 0,03%). Die Bi- und Sb-Gehalte sind in allen Proben unter der Nachweisgrenze.

#### **▪ Lausitz/Westsudeten:**

##### **Rosenhain (Rožany) bei Sohland (Typ: disseminiert bis massiv in mafischen Gängen):**

Bei der Aufbereitung der Probe gelang die Anreicherung des Chalkopyrites nur begrenzt (4,85% Cu im Vergleich zu 48,3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Der sehr hohe Ni-Gehalt von 3,78% ist im Pentlandit begründet. Der Co-Gehalt ist ebenfalls hoch (0,11%) und wahrscheinlich dem Pentlandit zuzuordnen. Sonst ist nur der Ag-Gehalt mit 20µg/g oberhalb der Nachweisgrenze.

#### **Miedzianka (Typ: Gang):**

So wie der Mineralbestand ist auch die Zusammensetzung der vier Proben von Miedzianka variabel. Das betrifft die Bestandteile der verschiedenen Gangarten (beispielsweise 0,2-45,5% SiO<sub>2</sub>), und auch der Erzminerale. Mied-1 hat einen Cu-Gehalt von 22,7%, Mied-2 von 15,8%, Mied-3 von 37,6% und Mied-4 von 31,2%. Zum Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (11,3-37%) tragen in verschiedenem Maße Chlorit, Chalkopyrit und in Mied-4 auch Limonit bei. Auch die Spurenelementgehalte sind teils recht variabel. Der Ag-Gehalt ist in der deut-

lich verwitterten Probe Mied-4 unter der Nachweisgrenze, in den anderen Proben jedoch relativ hoch (0,02-0,076%). Der höchste Gehalt in Mied-3 dürfte mit Bornit und Chalkosin in Zusammenhang stehen. Ähnlich variabel ist der As-Gehalt. In Mied-1 (Arsenopyrit beobachtet) liegt er bei 0,051%, in Mied-2 (Cobaltit) ist er mit 0,62% am höchsten. Ähnlich hoch ist er in Mied-4 (0,134% – eventuell As-haltige Sekundärminerale?). In Mied-3 ist der As-Gehalt mit 0,02% deutlich geringer. Der Co-Gehalt ist in Mied-2 (0,25% – Cobaltit) deutlich höher als in den anderen Proben (0,04% in Mied-1, 0,03% in Mied-4 und in Mied-3 unter der Nachweisgrenze). Der Ni-Gehalt ist nur in Mied-2 oberhalb der Nachweisgrenze (0,05% – eventuell an Cobaltit gebunden). Der Bi-Gehalt ist in Mied-4 unter der Nachweisgrenze, in Mied-1 und -3 bei 0,05% und in Mied-2 bei 0,03%. In Mied-1 und -2 zeigen die Dünnschliffe gediegen Bi. In welcher Form Bi in Mied-3 vorliegt, ist nicht bekannt. Der Sb-Gehalt ist unterhalb der Nachweisgrenze.

#### **Radzimowice/Stara Gora (Typ: Gang):**

Für die Analytik konnten reiche Partien der Proben verwendet werden, so dass die Hauptbestandteile der Proben  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (21,8-37,1%), S (32,9-47,9%) und meist Cu sind. Der Cu-Gehalt der Proben ist sehr variabel. Radz-1 enthält 11,5% Cu, Radz-2 15,5%, Radz-3 4,99% und Radz-4 20,3%. Zn spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle (0,3-1,1%). Radz-3 hat einen hohen Pb-Gehalt von 6,62%. Sonst haben auch die Pb-Sulfide nur einen geringen Anteil (0,05-0,26%), wobei solche in Radz-1 mit 0,05% Pb offenbar auch vorkommen. Die Spurenelementgehalte sind teils sehr und teils nur wenig variabel. Der Ag-Gehalt ist in allen Proben relativ ähnlich (0,012-0,058%), obwohl Ag an verschiedene Minerale gebunden ist. Die Unterschiede im As-Gehalt sind sehr groß. Radz-1 und -3 haben einen ähnlich hohen As-Gehalt von 1,8% bzw. 1,94%, in Radz-4 liegt der As-Gehalt bei 0,23% und in Radz-2 unter der Nachweisgrenze (bedingt durch wechselnde Anteile an Arsenopyrit, Cobaltit und Pearceit). Die beiden Fahlerz- und Bournonit-führenden Proben Radz-2 und -3 haben Sb-Gehalte von 0,02% bzw. 0,92%. In Radz-1 und -4 liegt der Sb-Gehalt unter der Nachweisgrenze. Der Co-Gehalt ist meist gering (0,05% bzw. 0,03% in Radz-1 und -2, unter der Nachweisgrenze in Radz-3). In Radz-4 liegt er jedoch bei 0,14% (Cobaltit). Ähnlich verhält sich der Ni-Gehalt, der in Radz-1 bis -3 unter der Nachweisgrenze liegt und in Radz-4 bei 0,04%. Der Bi-Gehalt in Radz-1 ist unterhalb der Nachweisgrenze, in Radz-2 und -3 bei 0,05% und in Radz-4 bei 0,02%. In Radz-4 wurden gediegen Bi und ein nicht genau bestimmtes Bi-Sulfid beobachtet. In Radz-2 und -3 kann Bi im Fahlerz vorkommen, wobei der Bi-Gehalt in Radz-3 (hoher Pb-Gehalt) wahrscheinlich ungenau ist.

#### **▪ Moravo-Silesikum:**

##### **Rubotin bei Šumperk (Typ: Gang):**

Sum-1 setzt sich vor allem aus  $\text{SiO}_2$  (26,3%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (35,5%), S (13%) und Cu (20,8%) zusammen. Die Gehalte an Spurenelementen sind gering. Nur der des Ag mit  $20\mu\text{g/g}$  und der des Co mit 0,03% sind oberhalb der Nachweisgrenze.

##### **Zlate Hory (Typ: VHMS?):**

Zlat-1 ist ein Gemisch aus Nebengestein (vor allem 21,9%  $\text{SiO}_2$  und ein geringer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt) und Vererzung (30,4%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 41% S und nur 2,23% Cu). Der Spalerit äußert sich nicht in den RFA-Ergebnissen (Zn-Gehalt unter der Nachweisgrenze). Von den Spurenelementen sind nur die Gehalte von As (0,013%) und Co (0,02%) über der Nachweisgrenze.

Die oben beschriebenen RFA-Ergebnisse zeigen, dass die Proben der untersuchten Kupfervorkommen in Abhängigkeit von (Erz-)Mineralbestand, sowie Vererzungsgrad und -typ mehr oder weniger deutlich verschiedene Spurenelementzusammensetzungen aufweisen. Vielfach treten allerdings Gehalte auf, die mittels RFA nicht mehr erfasst wurden. Die Frage, ob sich verschiedene Lagerstättendistrikte als ganzes anhand der Spurenelemente differenzieren lassen, kann auf der Basis der vorliegenden Probenanzahl nicht beantwortet werden. So treten vielfach innerhalb einzelner Regionen verschiedene Lagerstättentypen auf (z.B. Rammelsberg, Harzer Gänge), oder auch verschiedene Erzmineral-Paragenesen (z.B. Fahlerz- bzw. Chalkopyrit-dominierte Gänge in Siegerland oder Dillmulde) von denen nicht alle beprobt sind. Teils liegen auch nur Proben einiger weniger oder eines einzigen Vorkommens in einer Region vor (v. a. im Böhmischem Massiv). Zudem bestehen im Falle der Kupferschiefervererzung sensu lato kleinräumige Zonierungen und Variationen innerhalb von Revieren. Spurenelementgeochemisch inhomogene Lagerstättendistrikte als ganzes zu charakterisieren, ist mit Blick auf die Frage der Rohstoffherkunft

von Artefakten auch gar nicht sinnvoll. Vorausgesetzt die Probenanzahl ist groß genug, um die ganze Variationsbreite abzudecken, so ergeben sich ausgedehnte Punktwolken (in graphischer Darstellung) bzw. weite Konzentrationsintervalle. Sollten die Spurenelementsignaturen von Artefakten mit diesen zusammenfallen, so sagt das nichts darüber aus, ob denn ein konkretes Kupfervorkommen innerhalb des Lagerstättendistriktes als Rohstoffquelle in Frage kommen kann, oder nicht.

### 5.3. Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalysen (INAA)

Die Ergebnisse der ergänzend zu den RFA-Untersuchungen an einigen Proben vorgenommenen instrumentellen Neutronenaktivierungsanalyse (INAA) sind in einer Tabelle im Anhang (Tab. A3) angegeben und sollen hier nicht im Detail beschrieben werden. Es handelt sich um 21 Proben aus dem Rheinischen Schiefergebirge (Boxb-1, Donsb-1 und -2, Engl-1, Silb-1) und dem Harz (Bret-1 und -2, Grund-1 und -3, Hütt-1, Laut-1 und -5, Nd-1 und -2, Stolf-1 und -2, Tres-1, TresK-1 und -2, TresTf-1 und -2). Deren Auswahl beruhte wie bereits im Methodik-Kapitel erläutert, auf geochemischen und isotopischen Ähnlichkeiten zu den Nebraer Artefakten, so dass es von Interesse war, genauere Spurenelementdaten mit niedrigerer Nachweisgrenze zu erhalten als dies durch die RFA möglich war.

Vergleicht man die Ergebnisse der INAA und RFA, so zeigen sich Abweichungen, die verschiedene Ursachen haben. Die Hauptursachen sind sicherlich die unterschiedlichen Standards (s. Methodik-Kapitel) und dass die energiedispersive RFA eine weniger genaue Analysemethode ist als die INAA. Letzteres deutet sich offenbar auch in der Diplomarbeit von Nickel (2003) an, wo die mittels RFA und die mittels INAA bestimmten Spurenelementgehalte ebenfalls gewisse Abweichungen zeigen. Bei den Co-Gehalten (Abb. 5.3.3), die bei den RFA-Messungen systematisch zu hoch liegen, zeigt sich das Problem der ungenügenden Peakentflechtung von Co mit Fe und Cu durch das RFA-Auswerteprogramm. Diese systematische Abweichung ist daher beim Vergleich der RFA-Daten mit den Artefakten zu berücksichtigen. Die von Kuleff & Pernicka (1995) beschriebene Beeinflussung von Co durch den Cu-Gehalt (Zerfall von  $^{63}\text{Cu}$ ) liegt nur im Bereich von wenigen  $\mu\text{g/g}$  und ist in den Erzproben mit ihren deutlich höheren Co-Gehalten zu vernachlässigen. Bei den Sb-Gehalten gibt es ebenfalls große Abweichungen (Abb. 5.3.4), die wahrscheinlich durch zu wenige Sb-haltige und den Proben ähnliche Standards bedingt sind. Die Cu-Gehalte zeigen gewisse Abweichungen in beide Richtungen (Abb. 5.3.1). Bei den As-, Ni- und Ag-Gehalten ist die Übereinstimmung jedoch relativ gut (Abb. 5.3.2 und 5.3.4).

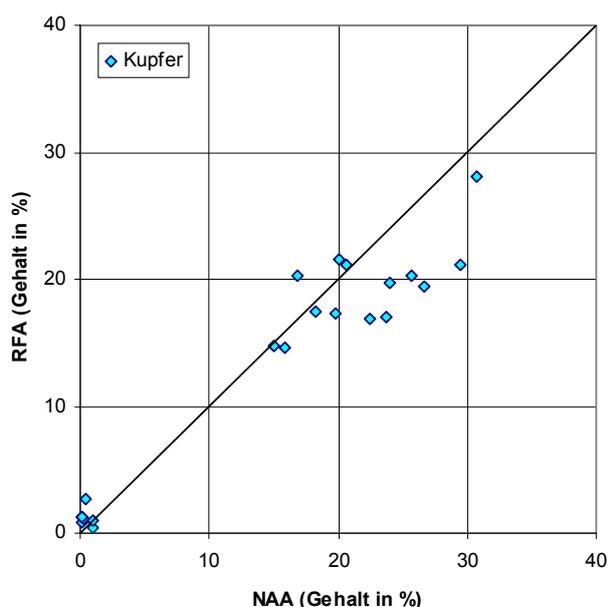


Abb. 5.3.1: Vergleich der per INAA und RFA ermittelten Cu-Gehalte. Die diagonale Linie markiert eine theoretische ideale Übereinstimmung. Die Messwerte zeigen eine gewisse Streuung um diese Linie.

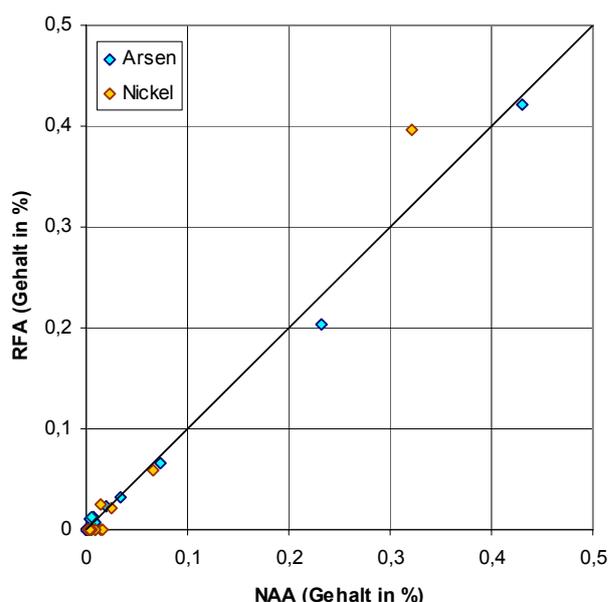


Abb. 5.3.2: Vergleich der per INAA und RFA ermittelten As- und Ni-Gehalte. Bei diesen Elementen ist die Übereinstimmung gut.

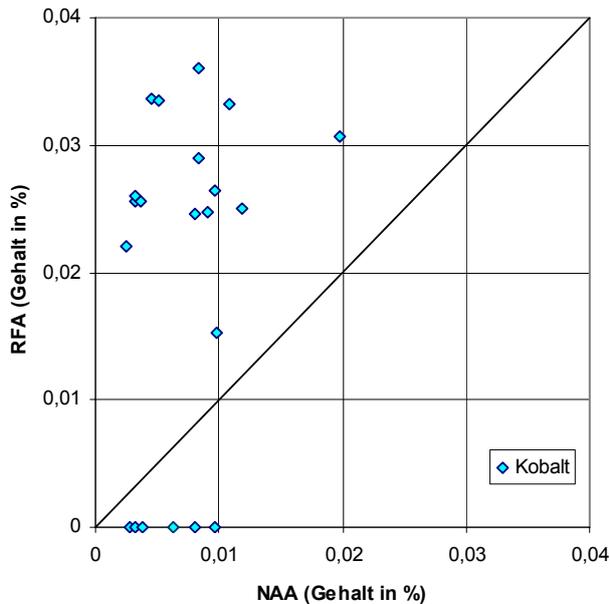


Abb. 5.3.3: Vergleich der per INAA und RFA ermittelten Co-Gehalte. Diese liegen bei der RFA systematisch zu hoch.

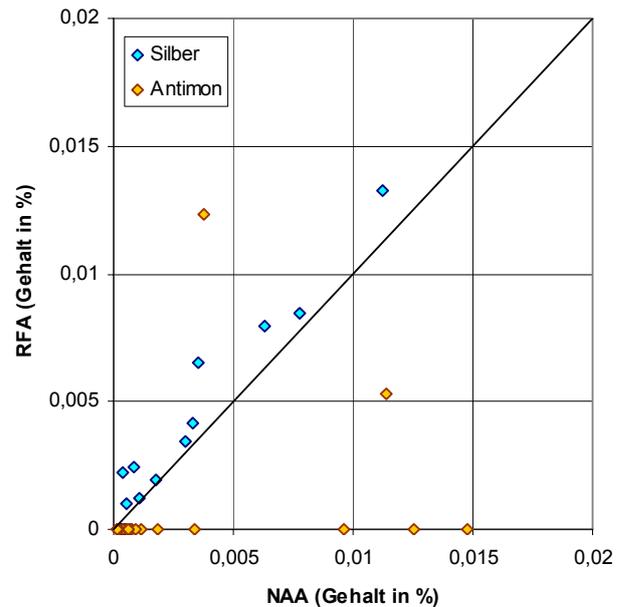


Abb. 5.3.4: Vergleich der per INAA und RFA ermittelten Ag- und Sb-Gehalte. Die Sb-Gehalte zeigen starke Abweichungen, die Ag-Gehalte stimmen jedoch bei RFA und INAA recht gut überein.

Zusammenfassend ist zu den exemplarischen INAA-Untersuchungen zu sagen, dass zwar erkennbare und z.T. auch systematische Unterschiede in den Analyseergebnissen der RFA bzw. INAA bestehen. Diese Abweichungen sind jedoch in der Regel gering genug, dass sie die aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit abgeleiteten Schlussfolgerungen nicht beeinflussen. Wo systematische Abweichungen zu höheren bzw. niedrigeren Werten vorlagen, wird dies bei der Auswertung und Interpretation entsprechend berücksichtigt.

#### 5.4. Ergebnisse der Pb-Isotopie

Die Pb-Isotopensignaturen der im Rahmen dieser Dissertation bearbeiteten Erzproben werden im folgenden regional gegliedert in Pb-Pb-Diagrammen der Typen  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  dargestellt und beschrieben. Zur Übersicht sind die Daten auch im Anhang alphabetisch nach Probenbezeichnungen tabelliert (Tab. A4). Da keine U- und Th-Gehalte der Proben bestimmt wurden, können über den Einfluss eventuellen U- und Th-Zerfalls in Erz oder Nebengestein bei niedrigen Pb-Gehalten und damit relativ hohen U/Pb- bzw. Th/Pb-Verhältnissen nur Vermutungen angestellt werden. Nach Pernicka (1987) äußert sich dies gegebenenfalls bei Kupfererzen mit einem Pb-Gehalt von  $<0,01\%$  in einer größeren Streuung der Pb-Isotopenverhältnisse.

##### **Helgoland:**

Die Kupfererzproben von Helgoland zeigen leicht radiogene Pb-Isotopenverhältnisse (s. Abb. 5.4.6), wobei das Mineralseparat von Hlg-6 (Cuprit verwachsen mit gediegen Kupfer) unter den Proben das höchste  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis aufweist. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Cu-Minerale Uran sowie etwas Thorium enthalten (Mempel 1960 hat Entfärbungshöfe im Helgoländer Buntsandstein analysiert und in deren Kern neben Anreicherungen von V, Cu und As bis über 0,3% U gefunden). Insgesamt bilden die Proben in den Diagrammen ein Cluster mit einer geringen Streuung.

##### **Harz:**

Insgesamt zeigen die Pb-Isotopendaten für den Harz eine weite Streuung. Sie scheinen in mehrere Cluster zu zerfallen, die sich vor allem im  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis unterscheiden (Abb. 5.4.1). Diese zeigen aber keine regionale Systematik und teils fallen auch Proben eines Vorkommens in verschiedene Cluster.

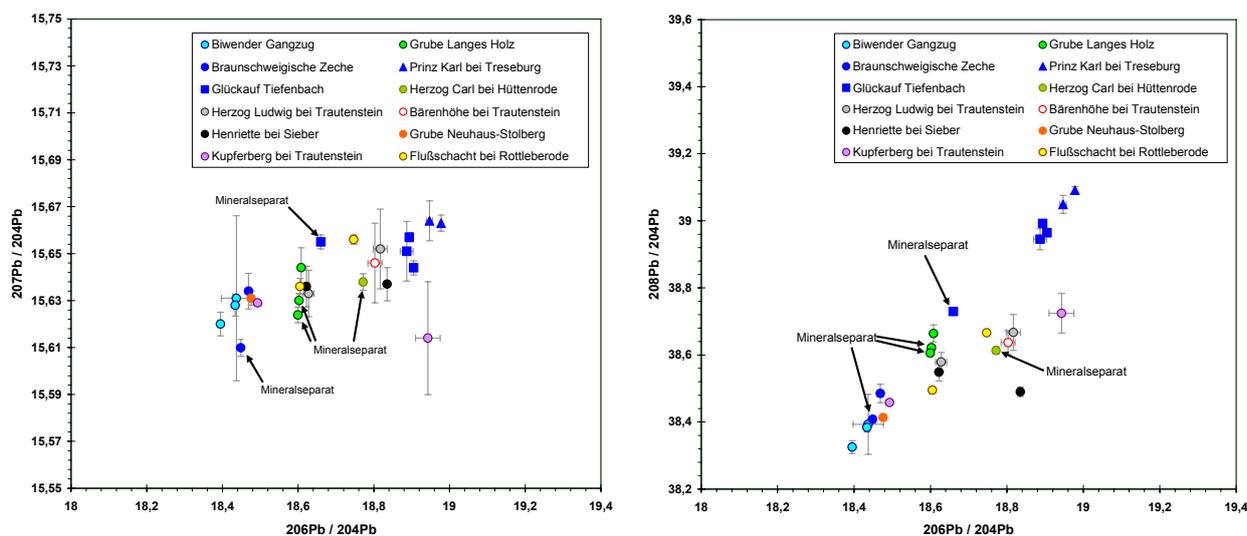


Abb. 5.4.1: Pb-Isotopensignatur von Gangvorkommen im Harz. Die Fehlerindikatoren geben die  $2\sigma$ -Fehler an. Mineralseparate sind markiert.

Die Proben vom Biwender Gangzug (Biw-1 bis -3) zeigen die niedrigsten Pb-Isotopenverhältnisse. Die Datenpunkte liegen nahe beieinander, also umfasst die in den Proben beobachtete Mehrphasigkeit (vgl. Kapitel 5.1.) keine Pb-isotopisch unterscheidbaren Mineralisationsereignisse. Nahe bei den Datenpunkten der Biwender Proben liegen die Punkte einer Probe vom Neudorfer Gangzug (Nd-3), der Probe von der „Braunschweigischen Zeche“ in Treseburg (Tres-1, Chalkopyritseparat und Gesamtprobe), sowie von einer der Proben vom Kupferberg bei Trautenstein. Das Mineralseparat der Probe Tres-1 unterscheidet sich von der Gesamtprobe durch deutlich niedrigere  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse, was auf unzureichende Korrektur der Massenfraktionierung im Messgerät (MC-ICP-MS) zurückzuführen sein dürfte (pers. Mitteil. Schneider). Die zweite Probe vom Kupferberg bei Trautenstein (TrtK-2) weicht von der ersten (TrtK-1) erheblich in Richtung höherer  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse ab. Ursache hierfür dürften erhöhte U-Th-Gehalte im Nebengestein sein, welches einen großen Anteil an der Zusammensetzung der Probe hat. Dadurch ist TrtK-2 als nicht repräsentativ für die Kupfervererzung anzusehen.

Mittlere Pb-Isotopenverhältnisse zeigen die Proben von der Grube an den Großen Brettenbergen (Chalkopyritseparate von Bret-1 und -2, Gesamtprobe Bret-1). Sie bilden eine homogene Population, wobei der Trend im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis wiederum in der Massenfraktionierung im Falle der mittels ICP-MS gemessenen Gesamtprobe Bret-1 (höchstes  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis) begründet ist. Von drei Vorkommen besitzt jeweils eine Probe Pb-Isotopenverhältnisse, die denen der Proben von den Großen Brettenbergen ähneln und die andere Probe weist höhere  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und teils auch höhere  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse auf. Es handelt sich um die Vorkommen vom „Flußschacht“ bei Rottleberode (StoIF-1 und -2), von der Grube „Herzog Ludwig“ bei Trautenstein (TrtL-1 und -2) und von der Grube „Henriette“ bei Sieber (Sie-1 und -2). Alle Proben haben geringe Pb-Gehalte (nur in Sie-1 mit 0,02% über der Nachweisgrenze der RFA), so dass eventuelle U- bzw. Th-Gehalte die Signatur beeinflussen können. Bei den Proben von Trautenstein könnten die Beimengungen von Nebengestein in TrtL-2 eine Rolle spielen, aber da die Pb-Isotopenzusammensetzung von TrtL-2 denen von StoIF-2 und Sie-2 relativ ähnlich ist, wo Nebengesteinsbeimengungen keine Rolle spielen dürften, ist dies eher unwahrscheinlich. Im Bereich der Pb-Isotopenverhältnisse der Proben TrtL-2, StoIF-2 und Sie-2 liegen auch diejenigen der Proben von der Bärenhöhe bei Trautenstein (TrtB-1) und des Chalkopyritseparats vom Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode. Bei TrtB-1 (Pb-Gehalt unter der Nachweisgrenze der RFA) könnten die Beimengungen von Nebengestein die Signatur beeinflussen. Als Mineralseparat repräsentiert Hütt-1 jedoch die Pb-Isotopensignatur der Cu-Vererzung.

Die Proben von den Gruben „Glückauf Tiefenbach“ (TresTf-1 und Neuaufbereitung TresTf-1b, Chalkopyritseparat mit Pyrrhotin-Beimengungen aus der Probe TresTf-2, Gesamtprobe TresTf-2) und „Prinz Karl“ (TresK-1 und -2) unterscheiden sich erheblich von der Probe aus der „Braunschweigischen Zeche“ (Tres-1). Vor allem die  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse sind deutlich höher. Dabei bildet das Mineralseparat einen einzelnen Datenpunkt in der Nähe derer der Brettenberger Proben. Dagegen

weisen die Gesamtproben, die eine leicht streuende Population bilden, sehr hohe Pb-Isotopenverhältnisse auf und unterscheiden sich deutlich von allen anderen Proben aus dem Harz. Die beobachteten Mineralisationsabfolgen (vgl. Kapitel 5.1.) spielen dabei Pb-isotopisch keine Rolle. Die Gesamtproben sind durch geringe Cu- und Pb-Gehalte gekennzeichnet. Bei der neu aufbereiteten Probe TresTf-1b mit ihren höheren Cu- und Pb-Gehalten (Pb-Gehalt mit 0,02% über der Nachweisgrenze der RFA) ergab sich aber keine signifikante Änderung der Pb-Isotopensignatur im Vergleich zu TresTf-1. Offenbar weisen die Gänge der beiden Gruben U- und Th-Gehalte auf (Nebengestein spielt in den Proben keine Rolle), die nicht an den Chalkopyrit (Separat von TresTf-2) gebunden sind. Die Gesamtprobe Tres-1 enthält dagegen offenbar kein U und Th, oder ist wegen des höheren Pb-Gehaltes nicht davon beeinflusst. Unabhängig davon weisen die großen Unterschiede in den Pb-Isotopenzusammensetzungen der Mineralseparate aus den Gängen um Treseburg (Tres-1, TresTf-2 und Hütt-1) auf mehrere Mineralisationsphasen hin.

Für einige Gangvorkommen im Harz wurde auf eigene Pb-Isotopenanalysen verzichtet, da bereits Daten dieser Vorkommen vorliegen (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993). Dies betrifft die Proben Nd-1 und -2 vom Neudorfer Gangzug, die Proben von Bad Lauterberg und die Proben von Bad Grund.

### Kupferschiefervererzung sensu lato und Gangvererzung im Kupferschiefer:

Die Proben der Kupferschiefervererzung sensu lato zeigen insgesamt betrachtet eine weite Streuung (Abb. 5.4.2), die durch erhöhte U/Pb- und U/Th-Verhältnisse und entsprechenden in-situ-Zuwachs radio-genen Bleis im Nebengestein bedingt ist. So geben Hammer et al. (1988) für die Sangerhäuser Mulde U-Gehalte von 6,8-673 $\mu\text{g/g}$  und Th-Gehalte von 8,7-17,2 $\mu\text{g/g}$  an, eine eigene Studie (Borg & Frotzcher 2004) ergab Gehalte bis 205 $\mu\text{g/g}$  U und 16 $\mu\text{g/g}$  Th. Dies betrifft die Proben CuSWet-4, CuSDo-1, CuSNowy-1, CuSHas-2 und -3, CuSKyf-1 und CuSEp-1. Betrachtet man dagegen Proben mit höheren Pb-Gehalten, so bilden einzelne Vorkommen enge Cluster mit leichten regionalen Unterschieden.

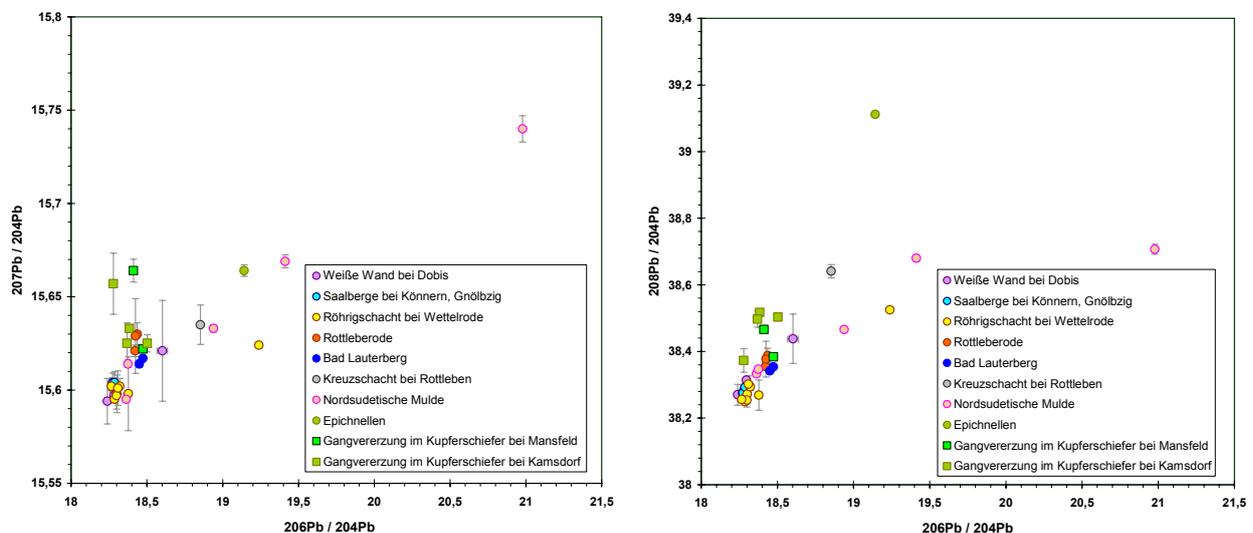


Abb. 5.4.2: Pb-Isotopensignaturen der Kupferschiefervererzung sensu lato und der Gangvererzung im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf. (Fehlerindikatoren =  $2\sigma$ -Fehler)

Die Proben von Wettelrode (mit Ausnahme der Pb-armen Probe CuSWet-4), Dobis (mit Ausnahme von CuSDo-1) und Könnern zeigen die niedrigsten Pb-Isotopenverhältnisse und ihre Isotopenpopulationen überschneiden sich stark. Deutlich von diesen verschieden sind die Proben von Rottleberode und Bad Lauterberg, die etwas höhere Pb-Isotopenverhältnisse zeigen und zwei nah beieinander liegende, aber doch unterscheidbare Cluster bilden. Von den Proben aus der Nordsudetischen Mulde sind wahrscheinlich nur CuSHas-1 und CuSNowy-2 als nicht von U- bzw. Th-Zerfall beeinflusst anzusehen. Die Datenpunkte dieser beiden Proben liegen zwischen den oben genannten Clustern und unterscheiden sich nur etwas im Verhältnis  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (evtl. Massenfraktionierung im Messgerät – pers. Mitteil. Schneider). Die übrigen Proben (CuSNowy-1, CuSHas-2 und -3) streuen sehr stark in Richtung radiogenerer Pb-Isotopensignaturen. Auch die beiden Proben vom Kyffhäuser (CuSKyf-1) und von Epichnellen (CuSEp-1) besitzen

Pb-Gehalte unter der Nachweisgrenze der RFA und zeigen radiogene Pb-Isotopensignaturen, sind also wahrscheinlich durch in-situ U- und Th-Zerfall beeinflusst.

Die Proben mit radiogener Pb-Isotopensignatur charakterisieren zwar nicht die Kupferschiefervererzung in metallogenetischer Hinsicht, wohl aber die mögliche bronzezeitliche „Lagerstätte Kupferschiefer sensu lato“. So befinden sich darunter zum Beispiel Proben mit sekundärer Cu-Mineralisation und relativ hohen Cu-Gehalten (CuSKyf-1 mit rund 6% Cu).

Die Gangvererzung im Kupferschiefer von Mansfeld und Kamsdorf sind einander in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung ähnlich. Sie bilden gemeinsam ein Cluster mit einer deutlichen Streuung, welches sich mit dem der Kupferschieferproben von Rottleberode leicht überschneidet (dass die Gangvererzung im Kupferschiefer von der Kupferschiefervererzung sensu lato derselben Region Pb-isotopisch deutlich verschieden ist, wird auch schon von Gerlach 1989 erwähnt). Kam-4, welche aus einer anderen Grube stammt als Kam-1 bis -3, unterscheidet sich von diesen nur sehr geringfügig im  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis. Der Unterschied zwischen Kam-1 und -2 und Kam-3 spiegelt wahrscheinlich die Variabilität innerhalb des Vorkommens wieder.

Zur Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal (Probe Selgt-1) liegen keine Pb-Isotopenergebnisse vor. Der Pb-Gehalt (mittels RFA nicht nachgewiesen) erwies sich auch nach mehreren Aufbereitungsversuchen als zu gering für eine Analyse.

### Rheinisches Schiefergebirge:

Zum Kupfervorkommen von Marsberg liegen ausreichend Pb-Isotopendaten vor, um ein differenziertes Bild der Vererzung zu zeigen (folgende Abbildung).

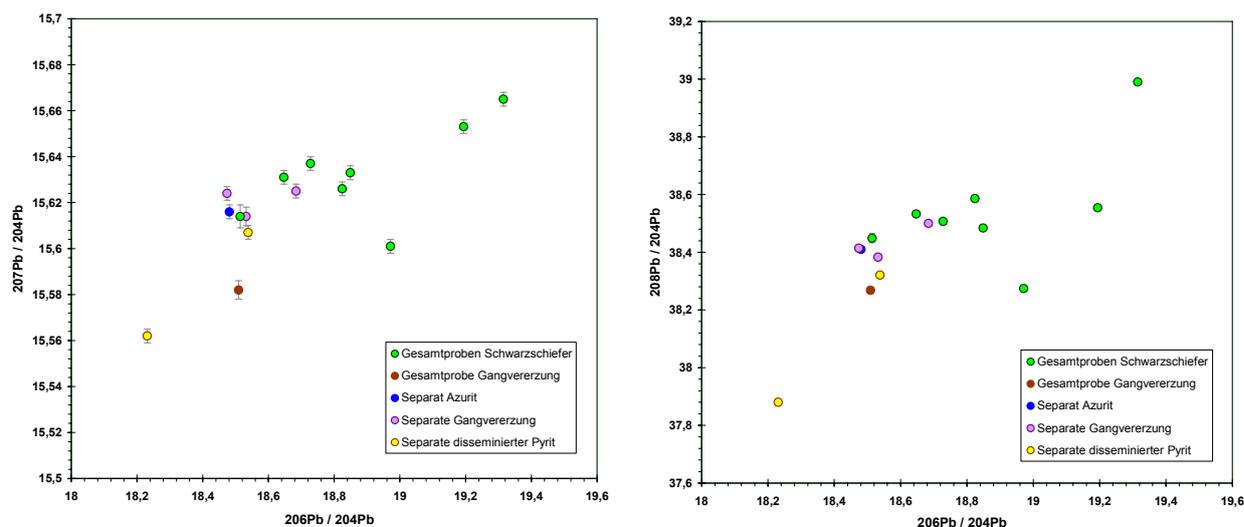


Abb. 5.4.3: Pb-Isotopensignatur des Kupfervorkommens von Marsberg differenziert nach Probenotyp. (Fehlerindikatoren =  $2\sigma$ -Fehler bzw. Fehlergrenzen kleiner als Symbole)

Die Mineralseparate aus schmalen Äderchen (Pyrit aus Mrs-a, Bornit aus Mrs-g) und aus einem Gang (Chalkopyrit aus Mrs-1) weisen unter den Marsberger Proben mittlere Pb-Isotopenverhältnisse auf und zeigen eine deutliche Streuung im  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis. Sie stimmen mit älteren Daten von Marsberger Gangvererzungen im Kupferschiefer überein (J. Schneider, Tab. A5 im Anhang). Die Gesamtprobe einer gangförmigen Vererzung (Mrs-e) weicht hiervon etwas in Richtung eines niedrigeren  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisses ab. Die beiden Separate von Pyriten der disseminierten Vererzung aus Mrs-f und Mrs-h zeigen deutlich unterschiedliche Pb-Isotopensignaturen. Pyrit der Probe Mrs-f besitzt die niedrigsten Pb-Isotopenverhältnisse aller Marsberger Proben. Diese dürften die synsedimentäre Vererzung repräsentieren und sind vergleichbar mit Daten vom Rammelsberg und von Meggen (pers. Mittelteil. Schneider). Pyrit der Probe Mrs-h dagegen gleicht in seiner Signatur den Gangvererzungen und dürfte Pb-isotopisch durch diese überprägt worden sein bzw. genetisch mit diesen zusammenhängen.

Die Gesamtproben der disseminiert und auf Äderchen vererzten Schwarzschiefer (Mrs-a, -b, -c, -d, -f, -g, -h und -2) streuen sehr stark in Richtung höherer Pb-Isotopenverhältnisse. Da sie mit Ausnahme von Mrs-2 geringe Pb-Gehalte aufweisen (in Mrs-a 0,02%, sonst unter der Nachweisgrenze der RFA), ist ihre Pb-Isotopensignatur mutmaßlich durch in-situ U- und Th-Zerfall im Nebengestein beeinflusst. Auf die Pb-

Isotopenzusammensetzung der Probe Mrs-2 dürfte dagegen der U- und Th-Zerfall im Nebengestein wegen des relativ hohen Pb-Gehaltes (0,11% Pb) keinen Einfluss haben. Diese Probe ähnelt in ihrer Pb-Isotopensignatur den Mineralseparaten von Mrs-1, -a und -h. Das Separat von Azurit aus Mrs-2 weist ganz ähnliche Pb-Isotopenverhältnisse wie die Gesamtprobe auf. Da der Pb-Gehalt der Probe nicht an den Azurit gebunden sein dürfte, bedeutet dies, dass dieses Sekundärmineral seine Pb-Isotopenzusammensetzung von der Primärvererzung übernommen hat.

Betrachtet man die wohl nicht von U- bzw. Th-Zerfall im Nebengestein beeinflussten Daten, so stehen diese eher mit den genetischen Interpretationen von Schneider (1998b) in Übereinstimmung (epigene-tische Cu-Mineralisation), als mit denen von Stribrny (1989) und Urban et al. (1995) (Mobilisierung und Anreicherung einer syngenetischen Cu-Mineralisation). Für eine Einbeziehung der stark streuenden Pb-Isotopendaten der Gesamtproben in diese Studie spricht das gleiche Argument, das schon für die Kupferschieferproben aufgeführt wurde, nämlich eine mögliche bronzezeitliche Nutzung von disseminierten Erzen (vor allem bei oberflächennaher sekundärer Kupferanreicherung in Chalkosin- oder Malachitreicherzen) mit einer vom Nebengestein beeinflussten Pb-Isotopensignatur. So weist zum Beispiel die Probe Mrs-g, die das radiogenste Blei zeigt, mit rund 4,7% Cu einen der höchsten Kupfergehalte der Marsberger Proben auf. Dagegen ist synsedimentärer Pyrit (Separat aus Mrs-f) für diese Fragestellung von geringem Interesse, da er nicht massiv auftritt und für sich genommen kein potentielles bronzezeitliches Erz darstellt.

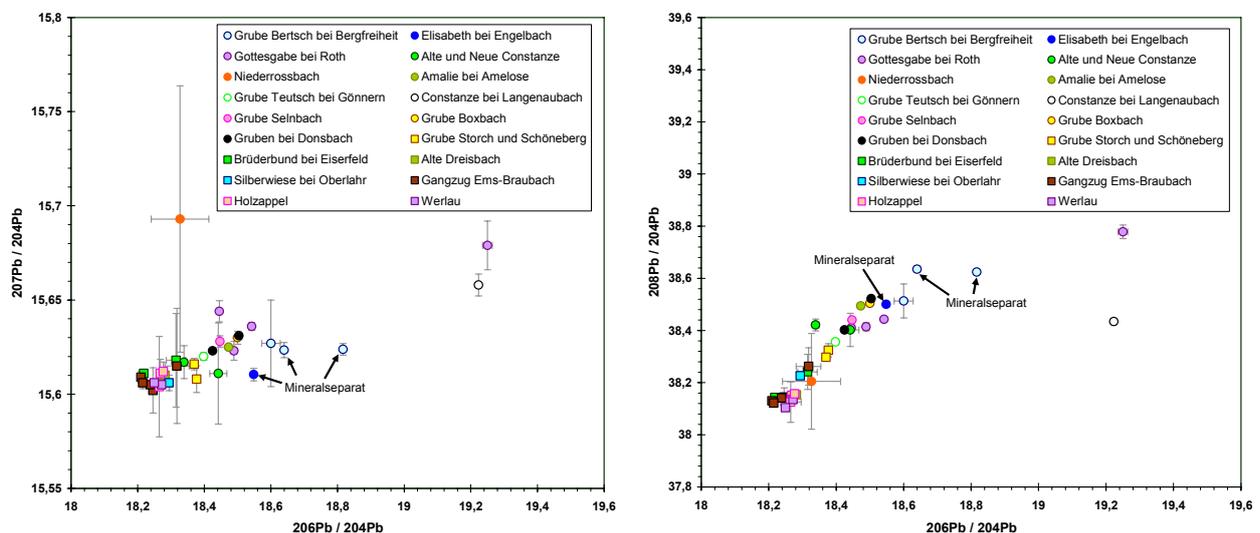


Abb. 5.4.4: Pb-Isotopensignatur der untersuchten Kupfervorkommen im Rheinischen Schiefergebirge (ohne Marsberg). (Fehlerindikatoren =  $2\sigma$ -Fehler, Mineralseparate markiert)

Von allen anderen Proben aus dem Rheinischen Schiefergebirge (Abb. 5.4.4) weisen die von Bad Wildungen-Bergfreiheit (Bgfr-1 bis -3) die höchsten Pb-Isotopenverhältnisse auf. Die beiden Chalkopyrit-Separate von Bgfr-1 und -2 und die Gesamtprobe Bgfr-3 bilden eine Population mit einer eher geringen Streuung. Dabei ist der Pb-isotopische Unterschied zwischen der Gesamtprobe Bgfr-3 und dem Chalkopyrit aus Bgfr-1 geringer als der zwischen den beiden Chalkopyrit-Separaten. Das Chalkopyrit-Separat der Probe von Engelbach (Engl-1) steht Pb-isotopisch zwischen den Proben von Bergfreiheit und denen der Dillmulde.

Drei der vier Proben von der Grube „Gottesgabe“ bei Roth (Roth-1, -3, -4) zeigen eine leichte Streuung in der gleichen Größenordnung wie die Proben von Bergfreiheit. Sie ähneln Pb-isotopisch den meisten anderen Proben aus der Dillmulde. Die Probe Roth-2 weicht jedoch erheblich zu einem höheren  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und in geringerem Maße auch zu höheren  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen ab. Eine relativ ähnliche Pb-Isotopensignatur besitzt die Probe Lang-1, wenn auch mit deutlich niedrigerem  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis. Nach persönlicher Mitteilung von Herrn Schneider liegen diese beiden Proben im Bereich einer Pb-Isotopenpopulation, der Kupfererze aus einigen Gängen der Dillmulde und auch die Roteisenerze vom Lahn-Dill-Typ angehören. Offenbar werden die Gangerze der Dillmulde teilweise von den Roteisenerzen Pb-isotopisch beeinflusst. Hierzu passt, dass die Probe Lang-1 Hämatit enthält, der vermutlich aus den Roteisenerzen stammt. Im Falle der Probe Roth-2 gibt es jedoch keinen solchen

erzpetrographischen Hinweis. Die Proben der Gruben „Boxbach“ bei Hesselbach (Boxb-1), „Amalie“ bei Amelose (Amel-1) und „Selnbach“ bei Wiesenbach (Sel-1), sowie die beiden Proben von den Gruben „Stangenwaage“ und „Eisenberg“ bei Donsbach (Donsb-1 und -2) sind in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung den Proben von Roth mit Ausnahme von Roth-2 sehr ähnlich. Die Proben von Donsbach zeigen ebenfalls eine leichte Streuung. Sie stammen aus zwei verschiedenen Gruben, die aber der räumlichen Nähe wegen hier gemeinsam betrachtet werden. Die Pb-Isotopenverhältnisse der Probe aus der Grube „Teutsch“ bei Gönnern (Gön-1) und der „Alten“ und „Neuen Constanze“ bei Eismroth (AtKonst-1, NKonst-1) sind nur wenig niedriger. Die einander geochemisch und im Mineralbestand sehr ähnlichen Proben AtKonst-1 und NKonst-1 unterscheiden sich etwas im  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis, streuen damit in der gleichen Größenordnung wie die Proben von Roth (ohne Roth-2) oder Donsbach. Die Pb-Isotopenverhältnisse der Probe NdRosb-1 von Niederrossbach sind mit erheblichen Messfehlern behaftet (mit fast 0,5% mehr als doppelt so groß wie die größten Fehler bei allen anderen Proben). Hier liegt offenbar keine zuverlässige Messung der Pb-Isotopenzusammensetzung vor, so dass diese Pb-Isotopendaten nicht verwendbar sind. Geringe Beimengungen von Nebengestein in einigen Proben der Dillmulde (z.B. Sel-1) oder beobachtete Mineralisationsabfolgen (z.B. Boxb-1, Sel-1) wirken sich offenbar nicht auf die Pb-Isotopenzusammensetzung aus, da die Proben der Dillmulde mehrheitlich eine leicht streuende aber doch geschlossene Population bilden und da sich auch die Streuung bei einzelnen Vorkommen nicht daraus erklärt.

Unter den Siegerländer Proben weisen die von Eiserfeld (Eiserf-1 und -2) die größte Streuung auf. Diese entspricht in Richtung und Betrag derjenigen der Proben von Donsbach (Dillmulde). Die beiden Proben aus der Grube „Storch und Schöneberg“ (Storch-1 und -2) unterscheiden sich Pb-isotopisch nur sehr wenig. Sie haben die höchsten Pb-Isotopenverhältnisse unter den Siegerländer Proben. Die Proben AtDreis-1 (Grube „Alte Dreisbach“) und Silb-1 (Grube „Silberwiese“) liegen in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung in etwa zwischen den beiden Eiserfelder Proben.

Die Proben aus dem Distrikt Untere Lahn bilden ein insgesamt wenig streuendes Cluster. Die einzelnen Vorkommen (Grube „Holzappel“ mit Hlz-1 bis -3, Gangzug Bad Ems-Braubach mit Brau-1, Ems-1, EmsM-1, Ems-N-1 und EmsF-1, sowie Werlau mit Wer-1 und -2) zeigen intern kaum Variationen in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung, wobei sich die jeweiligen Cluster überschneiden. Eine Ausnahme ist die Probe EmsN-1, die einzige Probe des Distriktes mit einem Pb-Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze der RFA. Diese Probe weist etwas höhere Pb-Isotopenverhältnisse auf als die übrigen Proben des Emser Gangzuges und besitzt eine Pb-Isotopenzusammensetzung sehr ähnlich der Probe Eiserf-2 aus dem Siegerland. Der Pb-isotopische Unterschied zwischen EmsN-1 und den anderen Proben vom Emser Gangzug ist jedoch nicht größer als beispielsweise zwischen Eiserf-1 und -2 (Siegerland).

#### **Kyffhäuser, Thüringer Wald und Thüringer Schiefergebirge mit Vorland:**

Abb. 5.4.5 zeigt, dass die beiden Proben von Tannenglasbach (Tann-1 und -2), die sich in Mineralbestand und geochemisch ähneln, auch Pb-isotopisch kaum Unterschiede aufweisen (Tann-1 hat ein etwas höheres  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis). Der Galenit, dem wahrscheinlich die Pb-Gehalte (0,24% bzw. 0,08%) zuzuordnen sind und der damit die Pb-Isotopensignatur bestimmt, gehört nach dem Paragenese-Schema von Anspach (2002) zur gleichen Mineralisationsphase wie Chalkopyrit und ist etwas jünger als dieser, wurde also teilweise gleichzeitig mit dem Fahlerz gebildet. Die Probe Gies-1 vom „Kupferstollen“ bei Gießübel unterscheidet sich von den Proben von Tannenglasbach nur geringfügig im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis. Beide Vorkommen liegen nur etwa 2,5 km voneinander entfernt und sind vom selben Vererzungstyp. Allerdings unterscheidet sich die Probe Gies-1 von Tann-1 und -2 darin, dass der Pb-Gehalt unter der Nachweisgrenze der RFA liegt und die Probe Beimengungen von Nebengestein enthält.

Die beiden Proben vom Katzmannstal (Katz-1a und 1b) unterscheiden sich nur im  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis von den Proben Gies-1 und Tann-1 und -2. Dabei weist die Probe Katz-1a nur ein geringfügig höheres  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis auf, während das der Probe Katz-1b deutlich höher ist. Beide Proben haben wie Gies-1 einen geringen Pb-Gehalt und Beimengungen von Nebengestein; bei Katz-1a ein Vulkanit und bei Katz-1b ein Sediment. Möglicherweise weisen die Vulkanite, die das Nebengestein bei Gies-1 und Katz-1a bilden, so geringe Pb-Gehalte auf, dass die Pb-Isotopensignatur der Proben trotz Nebengesteins-Beimengungen von der Vererzung bestimmt ist (Wedepohl 1969ff gibt für intermediäre Vulkanite typische Pb-Gehalte im Bereich von  $<10\mu\text{g/g}$  bis zu einigen 10-er  $\mu\text{g/g}$  an). Oder die Pb-Isotopenzusammensetzung der Vererzung (repräsentiert durch Tann-1 und -2) stimmt mit der der Vulkanite

(repräsentiert durch Gies-1 und Katz-1a) überein. In diesem Fall ist denkbar, dass das Pb der Vererzung aus dem Nebengestein mobilisiert worden ist oder das Nebengestein in unmittelbarer Nähe der Vererzung Pb-isotopisch von dieser überprägt wurde und sich danach beides aufgrund nur sehr geringer U/Pb- und Th/Pb-Verhältnisse in den Vulkaniten nicht merklich auseinander entwickelt hat. Die Pb-Isotopenzusammensetzung der Probe Katz-1b weist dagegen auf Th-Zerfall im (sedimentären) Nebengestein hin. Die Probe vom Stechberg weist erheblich höhere  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse auf, als die Proben der nur wenige Kilometer weiter südlich gelegenen Kupfervorkommen Tannenglasbach, Gießübel und Katzmannstal. Der Pb-Gehalt ist unterhalb der Nachweisgrenze der RFA. Eine Beeinflussung durch Nebengestein liegt nicht vor. Anhand nur einer Probe lässt sich nicht sagen, ob die Vererzung auf dem Floßberg-Stechberg-Gangzug tatsächlich Pb-isotopisch so verschieden von den benachbarten Vererzungen ist, oder ob ein Ausreißer vorliegt.

Die Proben der Frankenwälder Sideritgänge (Lich-1 bis -3) zeigen eine gewisse Streuung in ihren  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen. Dabei handelt es sich wahrscheinlich wie schon für einige Proben aus dem Harz beschrieben um einen Fraktionierungstrend im Massenspektrometer (pers. Mitteil. Schneider).

Die Kupfervorkommen bei Caaschwitz (Probe Caa-1), Chrieschwitz (Probe Chrie-1), Böhlen (Probe Böhl-1) und im Kyffhäuser (Proben Kyf-1) sind nur mit Einzelproben vertreten und untereinander oder mit den anderen Vorkommen nicht zu Distrikten zusammenzufassen. Sie zeigen sehr verschiedene Pb-Isotopensignaturen. Die Probe Caa-1 zeigt niedrigradiogene Pb-Isotopenverhältnisse, welche von Cerussit in der Probe bestimmt werden. Die Pb-Isotopenzusammensetzung liefert keinen Hinweis darauf, ob es sich um eine Gangvererzung im Kupferschiefer handelt, da die Probe Caa-1 ein deutlich niedrigeres  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis als die Kamsdorfer und Mansfelder Gänge aufweist und auch mit den Gangvererzungen im Kupferschiefer von Marsberg nicht übereinstimmt (Pb-Isotopensignatur wie die Mineralseparate aus den gangförmigen Vererzungen von Marsberg – s. oben). Das Kupfervorkommen von Chrieschwitz weist gewisse Parallelen zu den Frankenwälder Gängen auf: beide liegen im Thüringer Schiefergebirge und Hauptgangart ist Siderit. In der Pb-Isotopenzusammensetzung zeigt sich aber keine Übereinstimmung. Bei der Probe Böhl-1 fällt das sehr hohe  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis auf, das von den bisher beschriebenen Kupfervorkommen nur durch eine Probe des Kupferschiefers aus der Nordsudetischen Mulde (CuSHas-2) übertroffen wird. Ob der Messwert belastbar ist oder nicht, kann mangels Vergleichsproben derzeit noch nicht entschieden werden. Das Kupfervorkommen bei Böhlen ist vom Typ her auch nicht mit den anderen Thüringer Vorkommen zu vergleichen, falls es sich, wie bei Loretz (1892) beschrieben, um Erz-Linsen und -Lagen handelt.

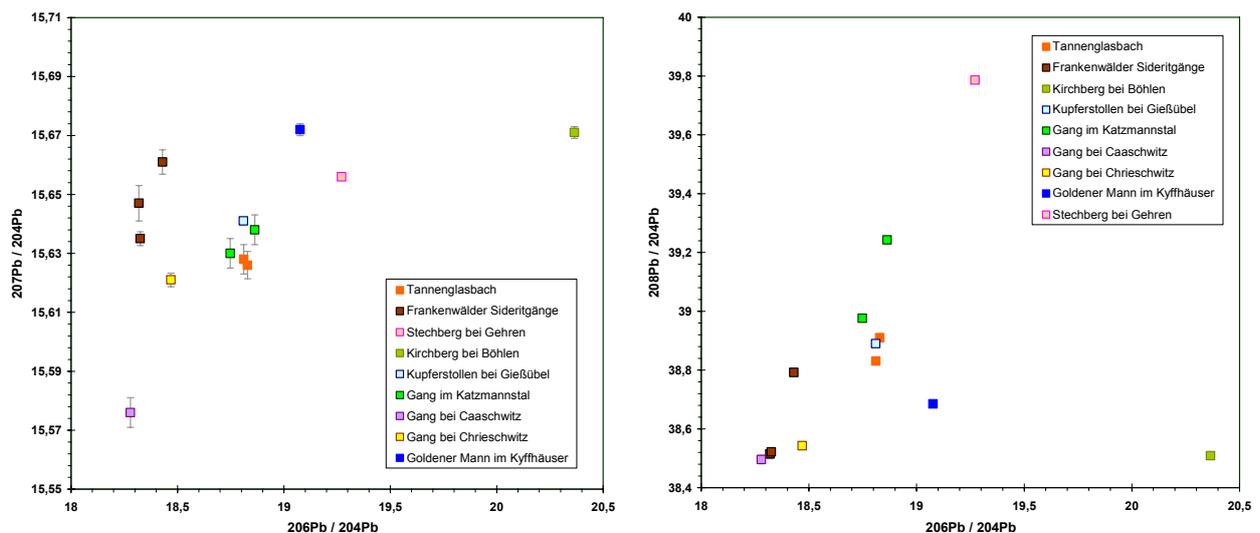


Abb. 5.4.5: Pb-Isotopensignatur von Kupfervorkommen im Kyffhäuser, Thüringer Wald und Thüringer Schiefergebirge mit Vorland. (Fehlerindikatoren = 2 $\sigma$ -Fehler bzw. Fehlergrenzen kleiner als Symbole)

#### Fichtelgebirge und Hinterer Bayrischer Wald:

Von den vier Proben aus dem SHMS-Vorkommen am Silberberg bei Bodenmais (Abb. 5.4.6) zeigen Bod-2 bis -4 kaum eine Streuung in der Pb-Isotopenzusammensetzung. Diese wird in Bod-2 bis -4 von Galenit

bestimmt (Pb-Gehalte von 0,02-0,13%). Die Probe Bod-1 weicht jedoch erheblich zu einem höheren  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis ab. Hier ist der Pb-Gehalt sehr gering (unter der Nachweisgrenze der RFA) und in der Probe wurde mittels REM Th-haltiger Monazit identifiziert. Das erhöhte  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis wird demnach durch Monazit verursacht und ist für die Vererzung nicht repräsentativ.

Die beiden Proben von der Grube „Bayerland“ bei Waldsassen (Wld-1 und -2) unterscheiden sich kaum in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung (Abb. 5.4.6) und weisen nur wenig niedrigere Pb-Isotopenverhältnisse als die Proben von Bodenmais auf. Im Gegensatz zu diesen ist der Pb-Gehalt zwar unterhalb der Nachweisgrenze der RFA, so dass die Signatur vom Nebengestein beeinflusst sein könnte. Dies ist aber wenig wahrscheinlich, da Dill (1985) für Erzproben von Waldsassen nur geringe U-Gehalte bis  $10\mu\text{g/g}$  angibt. Die Vererzungen bei Waldsassen und Bodenmais gleichen sich vom Typ her (SHMS, metamorph überprägt), sind aber verschieden alt und befindet sich in verschiedenen geotektonischen Einheiten (Bodenmais: oberproterozoische Gesteine des Moldanubikums, Waldsassen: oberkambrisch-unterordovizische Gesteine des Saxothuringikums; vgl. Kapitel 4.2.). Auch Höndorf & Dill (1986) beschreiben diese Ähnlichkeit (vgl. Kap. 6.2.) und führen sie auf eine gleiche Pb-isotopische Entwicklung (Separierung aus gleicher Pb-Quelle zur gleichen Zeit) zurück, was für das jüngere Vorkommen von Waldsassen die Mobilisation von Pb aus einer entsprechenden älteren Mineralisation bedeutet.

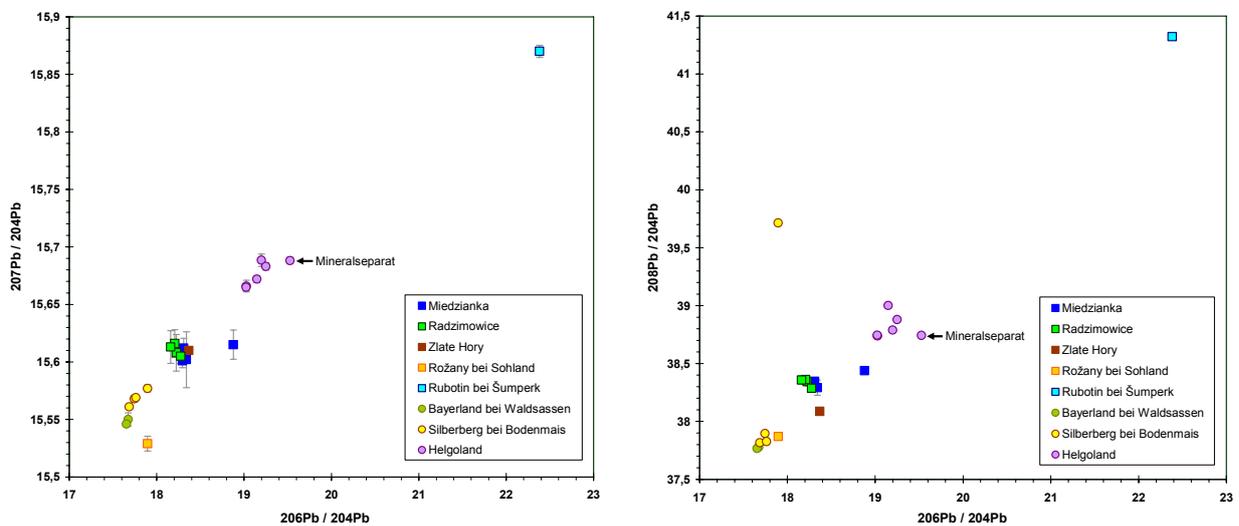


Abb. 5.4.6: Pb-Isotopensignatur von Kupfervorkommen in Polen und Tschechien, sowie von Helgoland, Waldsassen und Bodenmais. (Fehlerindikatoren =  $2\sigma$ -Fehler, Mineralseparate markiert)

### Lausitz/Westsudeten und Moravo-Silesikum:

Die Probe von Rosenhain bei Sohland (Sohl-1) weist ähnlich niedrigradiogene Pb-Isotopenverhältnisse auf wie die Proben von Bodenmais und Waldsassen (Abb. 5.4.6). Da die Vererzung an mafische Gesteinsgänge gebunden ist, entspricht eine wenig radiogene Pb-Isotopensignatur auch den Erwartungen.

Die beiden Gangvorkommen Miedzianka (Proben Mied-1 bis -4) und Radzimowice (Radz-1 bis -4) besitzen ähnliche Pb-Isotopensignaturen (Abb. 5.4.6). Mit Ausnahme der Probe Mied-4, die zu einem höheren  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis abweicht, bilden die Proben beider Vorkommen jeweils ein enges Cluster bei leicht verschiedenen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen. Über den Grund für die Abweichung von Mied-4 können nur Vermutungen angestellt werden. Mied-4 weist nur einen geringen Pb-Gehalt auf (unter der Nachweisgrenze der RFA), aber ebenso auch Mied-3. Auf eventuelle Beimengungen von Nebengestein liefern die RFA-Ergebnisse keinen klaren Hinweis. Da die Vererzung von Miedzianka in der Literatur als U-führend beschrieben ist (Zimnoch 1978, vgl. Kapitel 4.2.), könnte auch U im Erz die Ursache für die Abweichung sein. Es gibt also keinen sicheren Hinweis darauf, dass es sich bei Mied-4 um einen nicht repräsentativen Ausreißer handelt. Die beiden Vorkommen sind mehrphasig und bei den Proben Mied-1 und -2 und denjenigen von Radzimowice wurden Mineralabfolgen beobachtet. Die geringe Variation in der Pb-Isotopenzusammensetzung weist aber darauf hin, dass es sich nicht um unabhängige Mineralisationsereignisse (unterschiedliche Metallquelle) handelt. Wegen der geringen räumlichen Distanz der Vorkommen, dem teilweise ähnlichen Mineralbestand und der Pb-isotopischen Ähnlichkeit ließe sich sogar ein genetischer Zusammenhang zwischen beiden Kupfervorkommen vermuten.

Die Probe des VHMS(?)-Vorkommens von Zlate Hory (Zlat-1) hat eine ähnliche Pb-Isotopenzusammensetzung wie diejenigen von Miedzianka und Radzimowice (Abb. 5.4.6), wobei das  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis etwas niedriger ist. Da der Pb-Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze der RFA liegt und die Probe auch Nebengestein enthält, ist es wahrscheinlich, dass dieses die Pb-Isotopensignatur beeinflusst. Grundsätzlich dürfte aber der Einfluss des Nebengesteins für Pb-arme disseminierte Teile der Vererzung von Zlate Hory eine Rolle spielen. Da bisher nur eine Probe des Kupfervorkommens vorliegt, muss dieses Ergebnis zunächst nur ein Orientierungswert bleiben. Die Gangvererzung von Rubotin bei Šumperk ist durch eine Probe (Sum-1) mit extrem hohen Pb-Isotopenverhältnissen vertreten (Abb. 5.4.6). Von allen hier bearbeiteten Proben weist Sum-1 mit Abstand die höchsten Pb-Isotopenverhältnisse auf und auch die in der Literatur zu mitteleuropäischen Erzvorkommen publizierten Daten (siehe Kapitel 6) liegen nicht in diesem Bereich. Die RFA-Ergebnisse zu dieser Probe lassen keine Nebengesteinsbeimengungen erkennen. Tatsächlich beurteilen kann man die für diese Probe gemessene Pb-Isotopenzusammensetzung erst im Vergleich mit anderen Proben desselben Kupfervorkommens. Bis dahin gelten die Pb-Isotopendaten von Sum-1 als vorläufig.

Einen graphischen Überblick über alle oben beschriebenen Erzdistrikte bzw. Einzelvorkommen geben zwei Abbildungen im Anhang (Abb. A1 und A2). Im Folgenden werden exemplarisch die Pb-Isotopensignaturen einiger Erzdistrikte verglichen. Bei der Erstellung der Diagramme wurde wie folgt vorgegangen: Bei Vorkommen, von denen nur eine Probe vorliegt und die keinem Distrikt zugeordnet sind, ist diese Probe einzeln dargestellt (Caa-1, Chrie-1, CuSHas-1, CuSNowy-2, Böhl-1, Engl-1, Kyff-1, Sohl-1, Zlat-1). Bei allen übrigen Vorkommen oder Distrikten wurden Umrisse um die Datenpunkte mit den  $2\sigma$ -Fehlergrenzen gezeichnet. Einige Proben (Biw-1, Bgfr-3, CuSRot-3, CuSWet-6, Eiserf-2, EmsN-1, Hlz-2, NKonst-1) weisen allerdings im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis große Fehler auf, bei deren Einbeziehung der Umriss des betreffenden Vorkommens oder Distriktes deutliche Ausbuchtungen erhalten würde. Hier wurde die Grenze bei  $1\sigma$  gezogen, da es in einem solchen Fall wenig wahrscheinlich ist, dass ein für den Distrikt oder das Vorkommen repräsentativer Datenpunkt außerhalb dieser Distanz liegt. Die beiden verschiedenen Pb-Isotopenpopulationen, die innerhalb der Dillmulde festgestellt wurden, sind getrennt dargestellt. Ausreißer oder nicht repräsentative Proben (Bod-1, Katz-1b, NdRosb-1, TrtK-2, Pyritseparat aus Mrs-f) wurden nicht berücksichtigt. Die so erstellten Umrisse der Pb-Isotopenpopulationen sind sicher im Detail durch weitere Proben noch veränderbar, geben aber eine Orientierung zu Ähnlichkeiten oder Unterschieden zwischen den einzelnen Vorkommen bzw. Distrikten.

Einige Vorkommen bzw. Distrikte sind anhand der ermittelten Pb-Isotopenzusammensetzungen deutlich von allen anderen untersuchten Distrikten unterscheidbar (Abb. 5.4.7). Dazu gehören die Vorkommen von Waldsassen und Bodenmais, Rožany bei Sohland, Helgoland, Gänge im Thüringer Wald, Frankenwälder Sideritgänge, Zlate Hory, Kirchberg bei Böhlen und Caaschwitz, Rubotin bei Šumperk.

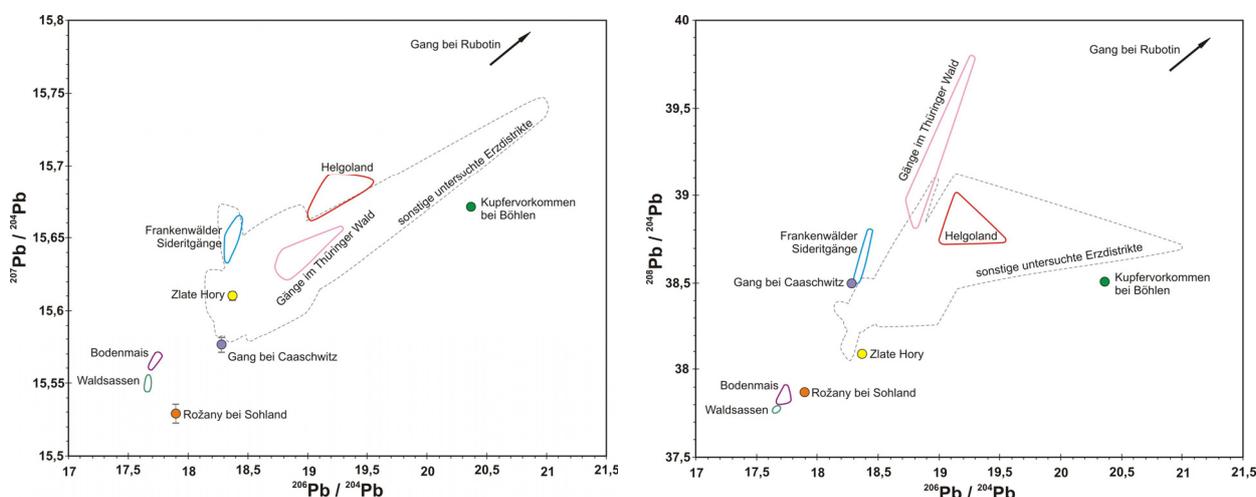


Abb. 5.4.7: Diagramme  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  derjenigen Erzdistrikte bzw. Kupfervorkommen, die sich Pb-isotopisch klar von allen anderen untersuchten Erzdistrikten unterscheiden (Waldsassen, Bodenmais, Rožany bei Sohland, Helgoland, Gänge im Thüringer Wald, Frankenwälder Sideritgänge, Zlate Hory, Kirchberg bei Böhlen, Caaschwitz, Rubotin bei Šumperk). Einzelne Datenpunkte sind mit  $2\sigma$ -Fehlergrenzen dargestellt.

Die übrigen Distrikte zeigen Überschneidungen untereinander, sind aber bei Betrachtung einzelner Beispiele durchaus unterscheidbar. So sind innerhalb des Rheinischen Schiefergebirges die untersuchten Lagerstättendistrikte (im Gegensatz zu denen des Harzes) Pb-isotopisch deutlich verschieden (Abb. 5.4.8), wobei sich die Distrikte Untere Lahn und Siegerland sehr stark überschneiden. Zwar wurden in den Distrikten Untere Lahn und Siegerland keine Quarz-Chalkopyrit-Gänge und in der Dillmulde keine Sideritgänge beprobt, so dass wegen der in der Literatur beschriebenen Altersverhältnisse (vgl. Kapitel 4.2.) dadurch noch eine Verwischung der Unterschiede zu erwarten ist. Aber diejenigen Gänge, die beprobt wurden, gehören jeweils dem dominanten Mineralisationsereignis innerhalb des Distriktes an. Lässt man einmal die beiden Proben Roth-2 und Lang-1 beiseite, welche einer gesonderten Pb-Isotopenpopulation innerhalb der Dillmulde angehören, so lassen die vorliegenden Daten zudem relativ gut die verschiedenen Gangveretzungsphasen im Rheinischen Schiefergebirge erkennen, mit den (präorogenen) Sideritgängen als metallogenetisch ältester, den (postorogenen) Gängen der Dillmulde als mittlerer und den Gängen von Bergfreiheit als jüngster Phase. Das Vorkommen Marsberg zeigt eine eigenständige Pb-Isotopensignatur. Die Vererzung von Engelbach steht ebenfalls für sich allein. Sie ist metallogenetisch vom gleichen Typ wie Marsberg und liegt räumlich am Rande der Dillmulde, lässt sich aber von der Pb-Isotopenzusammensetzung her keinem von beiden eindeutig zuordnen (Abb. 5.4.8).

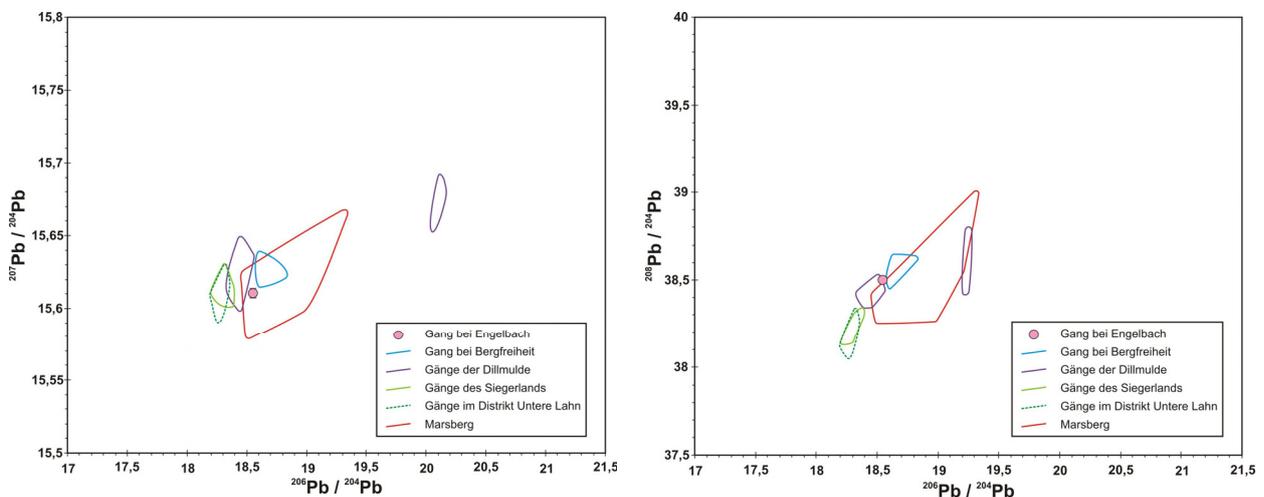


Abb. 5.4.8: Diagramme  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  der untersuchten Erzdistrikte und Einzelvorkommen im Rheinischen Schiefergebirge (Marsberg, Bergfreiheit, Engelbach, Dillmulde, Siegerland und Distrikt Untere Lahn).

Man kann als ein weiteres Beispiel (Abb. 5.4.9) auch die Kupfervorkommen betrachten, die den norddeutschen Raum umgeben (Helgoland, Harz, Kupferschiefervererzung sensu lato im Harzvorland, Gangvererzung im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf, sowie die Vorkommen Marsberg und Bergfreiheit im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge). Hierbei sind die Pb-Isotopenpopulationen von Helgoland und der Kupferschiefervererzung von Wettelrode bis Könnern klar von den anderen Pb-Isotopensignaturen abzugrenzen. Unter den übrigen Kupfervorkommen sind diejenigen von Bergfreiheit und Marsberg deutlich verschieden von der Kupferschiefervererzung sensu lato im südwestlichen Harzvorland und der Gangvererzung im Kupferschiefer. Die Gangvorkommen im Harz können teilweise Pb-isotopisch von den Gangvererzungen im Kupferschiefer bzw. von Marsberg unterschieden werden. Schwieriger ist die Unterscheidung zwischen Bergfreiheit und Marsberg bzw. der Gangvererzung im Kupferschiefer und der Kupferschiefervererzung sensu lato im südwestlichen Harzvorland, die sich zum Teil deutlich überschneiden. Auch liegen die Pb-Isotopenpopulationen des Vorkommens Bergfreiheit und der Kupferschiefervererzung sensu lato im südwestlichen Harzvorland (fast) vollständig innerhalb der Pb-Isotopenzusammensetzung der Harzer Gänge, so dass hier nur bei differenzierter Betrachtung einzelner Gangvorkommen im Harz noch eine Unterscheidbarkeit gegeben ist.

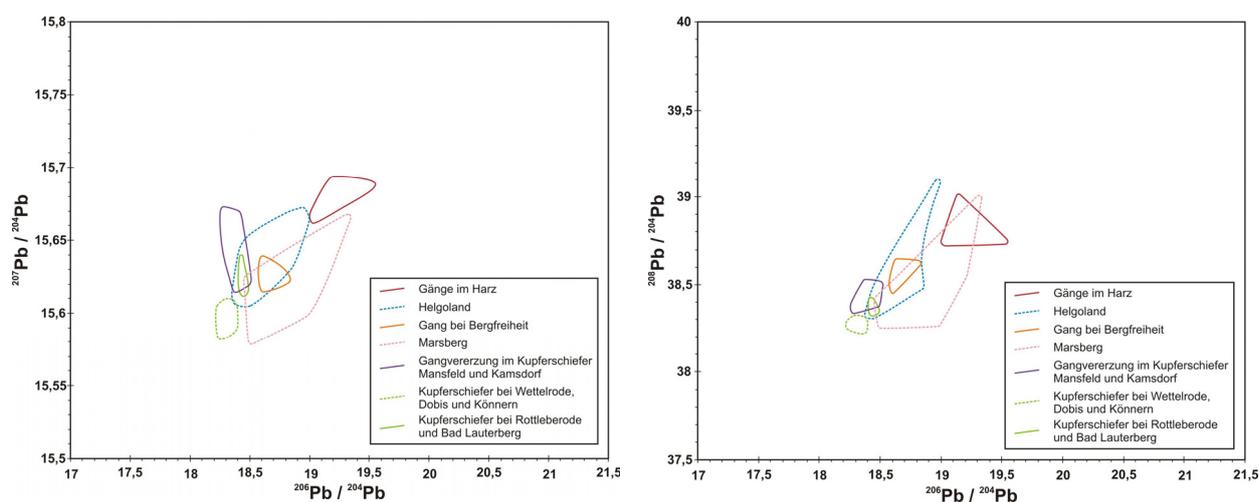


Abb. 5.4.9: Als Beispiel für eine mögliche archäologische Fragestellung ausgewählte Erzdistrikte bzw. Vorkommen (Helgoland, Marsberg, Bergfreiheit, Harz, sowie Harzvorland mit Kupferschiefervererzung sensu lato bzw. Gangvererzung im Kupferschiefer) im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm.

Diese Beispiele zeigen, dass trotz Überschneidungen in den Pb-Isotopensignaturen der untersuchten Kupfervorkommen die Pb-Isotopie ein erheblich besseres Werkzeug zur Differenzierung verschiedener Regionen, Erzdistrikte und Lagerstättentypen darstellt, als die Spurenelementzusammensetzung.

## **6. Spurenelement- und Pb-Isotopendaten aus der Literatur**

Im Folgenden werden Publikationen von Spurenelement- und Pb-Isotopendaten zu Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet vorgestellt und – soweit sich darunter Daten zu den auch in der vorliegenden Arbeit untersuchten Kupfervorkommen befinden – vergleichend betrachtet. Die Daten aus der Literatur werden dann später auch in den Vergleich mit den Artefakten einbezogen.

### **6.1. Vergleich mit Spurenelementdaten aus der Literatur**

Publikationen zur spurenelementgeochemischen Zusammensetzung von Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet liegen nur in geringem Umfang vor und vielfach werden nur zu einem Teil der für Untersuchungen zur Artefakt-Provenanz wichtigen Spurenelemente die jeweiligen Gehalte angegeben. Auf die Spurenelementdaten von Niederschlag et al. (2003) (vgl. Kapitel 2) soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sich unter den betreffenden Kupfervorkommen keine befinden, die auch in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden.

Mit der Kupferschiefervererzung sensu lato, vor allem im Harzvorland, haben sich mehrere Publikationen befasst. Boltz et al. (1995) geben Buntmetall- und Spurenelementgehalte für die einzelnen Schichten des Mansfelder Kupferschiefers an, darunter Cu, Ag, As, Sb, Co, Ni, Bi, Se und Te. Die Autoren machen aber keine Angaben zur Methodik und um was für eine Lokalität bzw. Profil es sich konkret handelt, oder ob die Daten Durchschnittsgehalte mehrerer Profile sind. In einer eigenen früheren Studie (Borg & Frotzschner 2004) wurden zwei Bohrungen aus dem Sangerhäuser Revier untersucht und für jeweils 12 Proben aus verschiedenen Lagen des Kupferschiefers, sowie dem Liegenden und Hangenden die Gehalte der Haupt- und zahlreicher Spurenelemente bestimmt. Zu den bestimmten Spurenelementgehalten gehören diejenigen von Ag, As, Sb, Co, Ni, Bi, Se und Au. Heppenheimer (1995) hat mittels RFA Kupferschieferproben aus der Niederrheinischen Bucht (mehrere Bohrungen), der Sangerhäuser Mulde (Schacht Niederröblingen) und aus dem Richelsdorfer Gebirge (mehrere Bohrungen) analysiert. Dabei ist die Niederrheinische Bucht hier nicht weiter von Interesse da der Kupferschiefer dort nicht ausstreicht und die Metallanreicherung nur gering und Pb-dominiert ist. Für das Richelsdorfer Gebirge werden von den hier interessierenden Elementen nur Cu-, Ag- und Se-Gehalte angegeben. Für die Proben aus dem Sangerhäuser Revier werden unter anderem die Gehalte von Cu, Co, Ni, Sb, As und Bi angegeben.

Hammer et al (1987b) haben in mehreren Profilen im Sangerhäuser Revier die einzelnen Lagen des Kupferschiefers und das unmittelbar Liegende und Hangende beprobt und mittels INAA analysiert. Die Autoren publizieren für jedes Profil arithmetische Mittelwerte und durch die Mächtigkeit der einzelnen Lagen gewichtete Mittel für  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $FeO$  und 23 Spurenelemente, darunter die für die vorliegende Arbeit wichtigen Elemente Ag, Co, Ni, Sb, As, Se. Angaben zu den Cu- und Bi-Gehalten fehlen jedoch. Au wurde nicht nachgewiesen oder es werden nur Näherungswerte angegeben. Wegen der fehlenden Angaben zum Cu-Gehalt können die Daten dieser Publikation nicht mit Artefakten verglichen werden (vgl. Kapitel 3.7.). Hammer et al. (1988) fassen Messungen an mehreren Profilen in der Sangerhäuser Mulde zu Konzentrationsintervallen für eine ganze Reihe von Elementen zusammen. Die Darstellung zeigt deutlich die Variationsbreite der Gehalte der verschiedenen Elemente in der Kupferschiefervererzung sensu lato, welche bei vielen Elementen über vier Größenordnungen reicht. Durali-Müller (2005) schließlich macht unter anderem Angaben zu den Cu-, As-, Co- und Ni-Gehalten in einem Kupferschieferprofil aus dem Revier Sangerhausen. Das von Durali-Müller (2005) untersuchte Profil von Oberkatze aus der Region der Rhön wird hier nicht betrachtet, da in dieser Region der Kupferschiefer nicht ausstreicht.

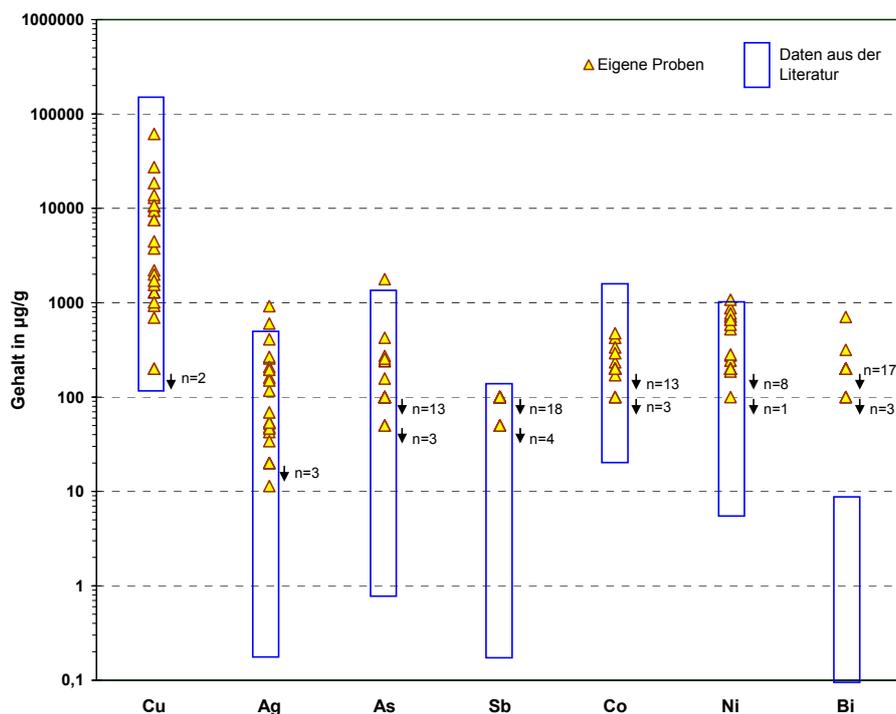


Abb. 6.1.1: Vergleich der Gehalte der für Provenanz-Untersuchungen wichtigen Elemente zwischen den in dieser Studie bearbeiteten Proben der Kupferschiefervererzung sensu lato im Harzvorland mit entsprechenden Daten derselben Region aus der Literatur (s. Text). Dabei wurden aus Hammer et al. (1987b) die gewichteten Mittelwerte verwendet. Für die über der Nachweisgrenze liegenden Spurenelementgehalte der in dieser Arbeit untersuchten Proben gelten als maximale Fehler für Cu 60%, für Ag 70%, für As 85%, für Co 35%, für Ni 80% und für Bi 45%. Werte unter der Nachweisgrenze der RFA sind mit Pfeilen markiert und ihre Anzahl vermerkt. Der Bi-Gehalt der von Stühmer et al. (1978) untersuchten Probe Mansfelder Kupferschiefers wurde ausgelassen, da er wahrscheinlich zu hoch ist (s. unten).

Die Proben der Kupferschiefervererzung sensu lato, die in dieser Arbeit mittels RFA analysiert wurden, zeigen insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den Daten der oben genannten Publikationen. Sehr gut illustriert dies Abb. 6.1.1 mit dem Vergleich zwischen den Proben aus dem Harzvorland im weiteren Sinn (CuSWet-1 bis -9, CuSRot-1 bis -3, CuSLaut-1 und -4, CuSKyf-1, CuSDo-1 bis -4 und CuSKön-1 bis -4) und entsprechenden Literaturdaten (Hammer et al. 1987b, Boltz et al. 1995, Heppenheimer 1995, Borg & Frotzcher 2004, Durali-Müller 2005, sowie die Publikation von Stühmer et al. 1978 auf die weiter unten noch eingegangen wird). Die Gehalte von Cu, Ag, As, Sb, Co und Ni stimmen gut überein, wobei ein Teil der in der Literatur angegebenen Gehalte niedriger ist, als die Nachweisgrenze der in vorliegender Arbeit eingesetzten RFA. Die hier untersuchten Proben weisen bei vielen Spurenelementen Gehalte unterhalb dieser Nachweisgrenze auf. Diese können nicht unmittelbar verglichen werden, sondern man kann nur sagen, dass der tatsächliche Gehalt irgendwo unterhalb der Nachweisgrenze liegt. Im folgenden und allen weiteren entsprechenden Diagrammen ist dies dadurch angedeutet, dass der betref-

fende Wert auf die Nachweisgrenze gesetzt wurde und ein Pfeil in Richtung des tatsächlichen Wertes weist. Damit dürften die oben erwähnten niedrigeren Gehalte auch in den hier untersuchten Proben vertreten sein. Die beiden hohen Bi-Gehalte sind jene der Proben CuSDo-4 und CuSRot-3. Sie werden als wahrscheinlich zu hoch eingeschätzt (s. Kap. 5.2.). Da in allen anderen Proben der Bi-Gehalt unter der Nachweisgrenze der RFA liegt, dürfte auch hier eine Übereinstimmung mit der Literatur gegeben sein.

Eine sehr ausführliche Arbeit zur Kupfervererzung von Marsberg stellt die Dissertation von Stribrny (1989) dar. Der Autor hat mehrere Profile disseminiert vererzten Nebengesteins detailliert beprobt und geochemisch analysiert (RFA für die Haupt- und meisten Spurenelemente, AAS für die Buntmetalle, sowie Co und Ni). Unter den angegebenen Elementen sind aber nur Cu, Co und Ni für den Vergleich mit Artefakten von Belang.

Mit den Co, Ni- und Cu-Gehalten der von Stribrny (1989) untersuchten Proben aus den Liegenden Alaunschiefern und Kulm-Lyditen sind die entsprechenden Daten (RFA) der in vorliegender Arbeit untersuchten Proben disseminiert vererzter Schwarzschiefer von Marsberg vergleichbar (Proben Mrs-a bis -d, -f bis -h und -2). Die Cu-Gehalte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung in ihrer Höhe und Variationsbreite (Abb. 6.1.2), wenn man unter den von Stribrny (1989) bearbeiteten Proben nur diejenigen mit einem Cu-Gehalt oberhalb von  $650\mu\text{g/g}$  betrachtet (diesen Gehalt definiert Stribrny 1989 als Untergrenze, ab der er die Schwarzschiefer als vererzt ansieht). Auch der Ni-Gehalt von 0,02% in Mrs-f liegt im Rahmen dessen was Stribrny (1989) angibt. Die Co- und Ni-Gehalte der in vorliegender Arbeit untersuchten Proben, welche unterhalb der Nachweisgrenze liegen, dürften ihre Entsprechung in den Co-Gehalten unter 0,01% bzw. den Ni-Gehalten unter 0,02% bei Stribrny (1989) haben.

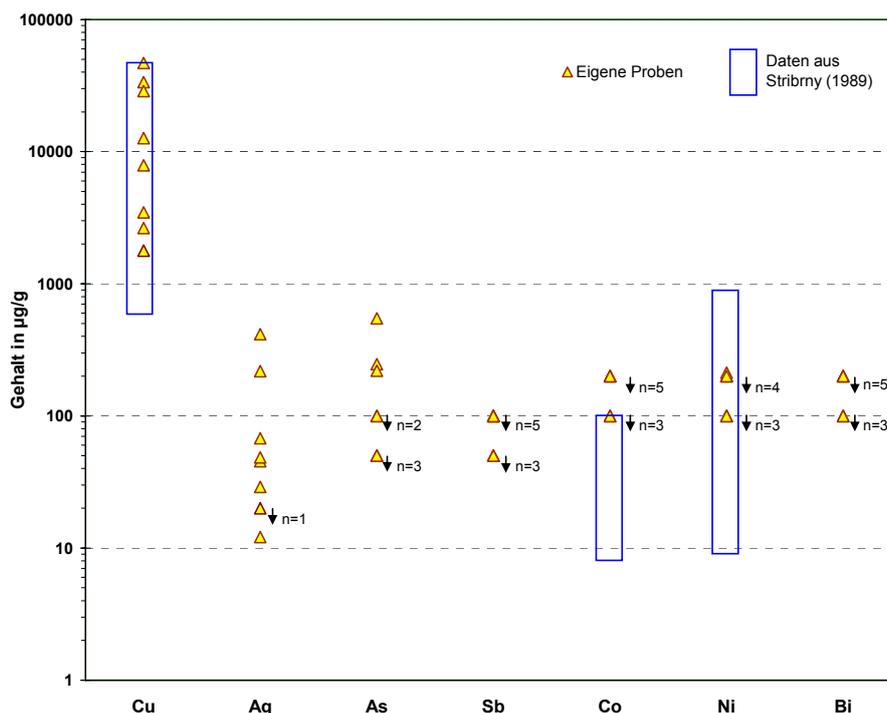


Abb. 6.1.2: Vergleich der Cu-, Ni- und Co-Gehalte der in dieser Studie bearbeiteten disseminiert vererzten Proben aus Marsberg mit Proben der Liegenden Alaunschiefer und Kulm-Lyditen verschiedener von Stribrny (1989) bearbeiteter Profile. maximale Fehler für die in dieser Arbeit untersuchten Proben: für Cu 55%, für Ag 70%, für As 85%, für Ni 15%.

In der Publikation von Dill (1985) zu den verschiedenen Vererzungen am Westrand des Böhmisches Massivs wird ein Überblick über die Haupt- und Spurenelementzusammensetzung „ausgewählter Proben“ der Kupfervorkommen Waldsassen (3 Proben), Kupferberg (9 Proben) und Marktschorgast-Gössenreuth (9 Proben) gegeben. Zu den aufgeführten Elementen gehören Cu, As, Co, Ni und Bi. Zur Methodik, mit der diese Daten gewonnen worden sind, werden aber keine Angaben gemacht.

Auf die Arbeit von Stühmer et al. (1978) wurde bereits im Kapitel 2 eingegangen. Eine Tabelle gibt die Zusammensetzungen von drei Erzproben von Helgoland und von weiteren 50 Kupfererzproben aus der ganzen Welt an (u.a. Gehalte von Cu, Ag, As, Sb, Co, Ni, Bi; Methodik: AAS). Unter diesen 50 Proben sind

einige von Kupfervorkommen, die im Arbeitsgebiet der vorliegenden Studie liegen und teilweise auch bearbeitet wurden. Zu letzteren gehören Miedzianka (1 Probe), der Mansfelder Kupferschiefer (1 Probe, vermutlich Kupferschiefervererzung sensu stricto), das Siegerland (3 Proben), Bodenmais (1 Probe), die Region Bad Ems (1 Probe), Zlate Hory (1 Probe), Bad Grund (2 Proben), Radzimowice (1 Probe) und Waldsassen (1 Probe). In der vorliegenden Studie nicht bearbeitet wurden die Vorkommen vom Rammselsberg, Altenau im Oberharz (den Oberharzer Gängen zuzuordnen), und dem „Sontra-Sandstein bei Kassel“ (Sanderz des Richelsdorfer Gebirges?). Die übrigen von Stühmer et al. (1978) untersuchten Kupfererzproben stammen aus Regionen in Europa, die nicht im Arbeitsgebiet der vorliegenden Studie liegen (Eifel, Hunsrück, Alpen, Skandinavien, Slowakei, „Schlesien“, Schwarzwald), sowie aus Südamerika, Afrika, Nordamerika und Israel. Dabei sind die von Stühmer et al. (1978) angegebenen Bi-Gehalte wahrscheinlich falsch. Die meisten von ihnen sind auffallend hoch (oberhalb von 0,1%) und mit Ausnahme des Wertes für die Probe von Bodenmais stehen sie im Widerspruch zu anderen Publikationen zu den betreffenden Kupfervorkommen bzw. zu den in der vorliegenden Arbeit bestimmten Bi-Gehalten. So sind die Bi-Gehalte der Helgoländer Erze um ein Vielfaches höher als der von Schulz (1981) angegebene Mittelwert (Schulz 1981 publiziert Mittelwerte der Helgoländer Erze zu den Elementen, die auch von Stühmer et al. 1978 analysiert wurden). Das gleiche gilt für die Proben von Mansfelder Kupferschiefer (Literatur hierzu s. oben) und von Waldsassen (Dill 1985).

Der Vergleich der in dieser Arbeit gewonnenen Spurenelementdaten mit denen von Stühmer et al. (1978), Schulz (1981) und Dill (1985) zu den entsprechenden Kupfervorkommen ergibt überwiegend Übereinstimmungen. Wo Abweichungen auftreten, weisen diese auf eine spurenelementgeochemischen Variationsbreite der Kupfervorkommen hin, die von der begrenzten Probenanzahl nur ungenügend abgedeckt wurde. Aus dem Vergleich mit der Literatur ergeben sich (eventuell mit Ausnahme des Vorkommens von Bad Grund) keine Hinweise auf systematisch zu hohe Co-Gehalte bei den Proben der vorliegenden Arbeit. Zu den Vorkommen, bei denen eine gute Übereinstimmung besteht, gehören Helgoland (Abb. 6.1.3), Miedzianka (Abb. 6.1.4), Radzimowice und Waldsassen (Abb. 6.1.3). Abweichungen sind gering und treten nur bei wenigen Elementen auf. So liegen die Sb-Gehalte der Helgoländer Proben aus vorliegender Arbeit unter der Nachweisgrenze der RFA während sie bei Stühmer et al. (1978) geringfügig höher sind (0,01-0,04%). Ähnlich ist es bei den Proben von Miedzianka (0,016% Sb nach Stühmer et al. 1978). Für die Probe von Radzimowice gibt Stühmer et al. (1978) einen As-Gehalt von ca. 5,5% an während derjenige der Proben aus vorliegender Arbeit nur 1,9% erreicht. Für die von Stühmer et al. (1978) untersuchte Probe von Waldsassen wird ein gegenüber den Proben der vorliegenden Arbeit geringfügig niedrigerer Ag-Gehalt angegeben (34µg/g) und ein wesentlich höherer Sb-Gehalt (0,472%), während Dill (1985) zu diesen Elementen keine Angaben macht. Dagegen dürften die Co-Gehalte unter der Nachweisgrenze der RFA bei den Helgoländer Proben den von Stühmer et al. (1978) angegebenen Gehalten unterhalb von 0,01% entsprechen und die Bi-Gehalte (ebenfalls unter der Nachweisgrenze der RFA) im Bereich des Mittelwertes von Schulz (1981) liegen (78µg/g). Ebenso verhält es sich mit den niedrigen Ni-Gehalten bei Stühmer et al. (1978) und Dill (1985) bzw. den Bi-Gehalten bei Dill (1985). Auch die Zusammensetzung der von Stühmer et al. (1978) untersuchten Proben aus dem Siegerland und von Bad Ems ähnelt sehr der von Proben aus vorliegender Arbeit, wobei aber ein direkter Vergleich schwierig ist, da die Proben nicht von denselben Gängen oder Gruben stammen bzw. Stühmer et al. (1978) keine genaueren Herkunftsangaben macht.

Geringer sind die Übereinstimmungen bei den Proben von Bodenmais, Bad Grund und Zlate Hory. Bei Bodenmais (Abb. 6.1.4) sind die von Stühmer et al. (1978) angegebenen Cu- und Ag-Gehalte erheblich niedriger (0,21% bzw. 1µg/g) und der As-Gehalt erheblich höher (0,165%) als in den Proben der vorliegenden Arbeit. Die Co-Gehalte sind ähnlich. Die Ni-Gehalte unter der Nachweisgrenze der RFA können im Bereich des von Stühmer et al. (1978) angegebenen Gehaltes von 4µg/g liegen. Zu Bad Grund gibt Stühmer et al. (1978) nur geringfügig höhere Cu- und Ag-Gehalte an (rund 2,5-3% bzw. 0,01-0,02%). Die As- und Sb-Gehalte sind dagegen bei Stühmer et al. (1978) deutlich höher (über 0,1% bzw. um 0,1% gegenüber den Proben der vorliegenden Arbeit mit As-Gehalten unter 0,01% bzw. mittels NAA bestimmten Sb-Gehalten um rund 0,014%). Ähnlich stark ist die Abweichung bei den Co-Gehalten (bei Stühmer et al. 1978 mit 7-8µg/g erheblich niedriger), während bei den Ni-Gehalten (18-88µg/g) wiederum eine Übereinstimmung mit Proben der vorliegenden Arbeit (Werte unter der Nachweisgrenze) bestehen kann. Für das Vorkommen von Zlate Hory schließlich liegen die von Stühmer et al. (1978) angegebenen Gehalte (bis auf einen annähernd identischen Co-Gehalt) meist um bis zu einer Größenordnung höher.

Da aber beides nur Einzelproben sind, vervollständigen die Unterschiede eher das „Bild“ von der Variationsbreite des Vorkommens, statt sich zu widersprechen. Die folgenden beiden Diagramme zeigen exemplarisch für vier der oben genannten Kupfervorkommen den Vergleich der Cu- und Spurenelementgehalte zwischen den Proben vorliegender Arbeit und entsprechenden Literaturdaten.

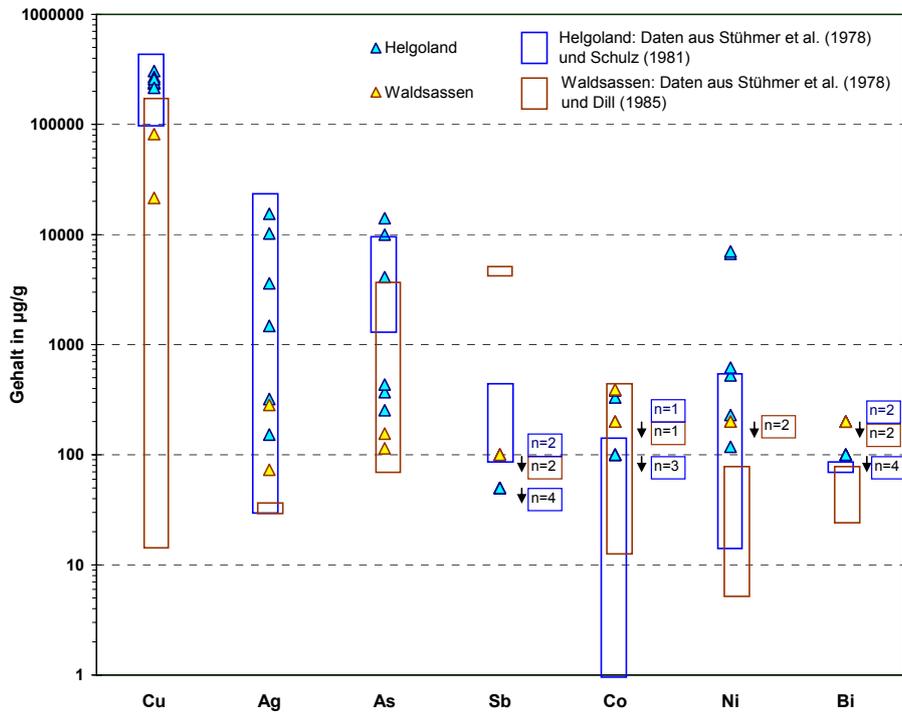


Abb. 6.1.3: Vergleich der Cu- und Spurenelementgehalte der in dieser Studie bearbeiteten Proben von Helgoland und Waldsassen (RFA) mit Daten aus Stühmer et al. (1978), Schulz (1981) und Dill (1985). Farbige Umrahmung bei Werten unter der Nachweisgrenze: braun: Waldsassen, blau: Helgoland. Maximale Fehler für die in dieser Arbeit untersuchten Proben: für Cu 35%, für Ag 40%, für As 80%, für Co 30% und für Ni 20%. Die Bi-Gehalte von Stühmer et al. (1978) wurden ausgelassen.

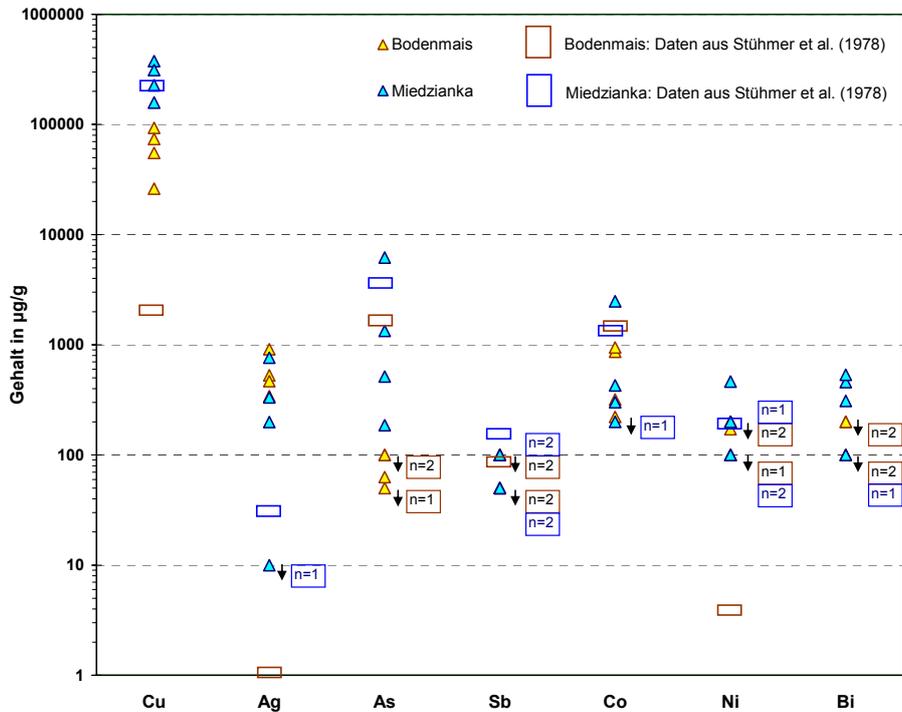


Abb. 6.1.4: Vergleich der Cu- und Spurenelementgehalte der in dieser Studie bearbeiteten Proben von Bodenmais und Miedzianka (RFA) mit Daten aus Stühmer et al. (1978). Darstellung von Werten unter der Nachweisgrenze wie oben. Maximale Fehler für die in dieser Arbeit untersuchten Proben: für Cu 35%, für Ag 10%, für As 80%, für Co 15%, für Ni 45% und für Bi 30%. Die Bi-Gehalte von Stühmer et al. (1978) wurden ausgelassen.

Insgesamt ergänzen die Spurenelementgehalte, welche zu einer Reihe von Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet dieser Studie publiziert sind, die entsprechenden Daten dieser Arbeit und vervollständigen die betreffenden geochemischen Signaturen. Dies ist vor allem dort von Bedeutung, wo die Gehalte einiger Elemente unterhalb der Nachweisgrenze der hier eingesetzten RFA liegen bzw. wo die Probenanzahl eher gering ist. Dabei besteht überwiegend eine gute Übereinstimmung zwischen den in dieser Arbeit ermittelten und den in der Literatur publizierten Gehalten.

## **6.2. Vergleich mit Pb-Isotopendaten aus der Literatur**

Publikationen von Pb-Isotopendaten zu Kupfer- und anderen Erzvorkommen im Arbeitsgebiet gibt es in deutlich größerer Zahl, als Publikationen über Spurenelementzusammensetzungen. Es sind fast durchweg Studien, die sich mit metallogenetischen Aspekten und den Altersbeziehungen zwischen den Vererzungen befassen. Dabei stammt der überwiegende Teil der Daten von Mineralseparaten (meist Galenit, teils auch andere Erzminerale wie Chalkopyrit, Bismuthinit, Stibnit, Bournonit, oder Boulangerit) und nur selten wurden Proben insgesamt analysiert (Kupferschieferproben bei Wedepohl et al. 1978). In der vorliegenden Arbeit wurden dagegen meist Mineralgemische (also Erze bzw. Erzkonzentrate) und nur in einigen Fällen einzelne Erzminerale analysiert, so dass sich beim Vergleich zum Teil Abweichungen ergeben. Trotzdem sind die Daten dieser Studie aussagekräftig, denn sie zielen nicht auf eine metallogenetische Charakterisierung der Vererzungen hin, sondern auf die Charakterisierung potentieller bronzezeitlicher Erze, welche in den seltensten Fällen aus monomineralischem Erz (also Einzelmineralen) bestanden haben dürften. So schreibt auch MacFarlane (1999), dass die in der geologischen Literatur publizierten Pb-Isotopendaten von Einzelmineralen nicht das prähistorisch verwendete Erz widerspiegeln müssen, da Erze Mineralgemische sind.

Wedepohl et al. (1978) vergleicht die Pb-Isotopenzusammensetzung von Erzen vom Rammelsberg und Bad Grund (sowie Meggen und Ramsbeck, die aber keine Kupfervorkommen und daher hier nicht weiter von Interesse sind) mit der Kupferschiefervererzung sensu stricto von Sangerhausen, Mansfeld, Walkenried (Südrand des Harzes), dem Richelsdorfer Gebirge, von Lubin (Vorsudetische Monokline), sowie dem nur gering (vermutlich nur synsedimentär) mineralisierten Kupferschiefer bei Linsburg nördlich von Hannover, am Hüggel, in den Niederlanden und in Großbritannien. Die letztgenannten, gering vererzten Vorkommen in NW-Deutschland, den Niederlanden und England werden hier nicht weiter betrachtet. Von Höhndorf & Dill (1986) wurden verschiedene stratiforme und gangförmige Erzvorkommen in dem auf Bayrischem Gebiet liegenden Teil des Böhmisches Massivs untersucht, darunter die Kupfervorkommen Waldsassen, Bodenmais, einige der Frankenwälder Sideritgänge, sowie Gänge bei Wallenfels, Erbdorf und Wölsendorf. Diedel & Baumann (1988) beschreiben in einer kurzen Zusammenfassung die Pb-Isotopenzusammensetzung von Galeniten aus zwei Gängen im Ruhrkarbon.

Eine sehr ausführliche, wenn auch nicht flächendeckende Untersuchung der Vererzungen im Harz und einzelner Vorkommen in dessen Vorland stellt die Arbeit von Leveque & Haack (1993) dar. Diese gibt Pb-Isotopendaten für die Erze des Rammelsbergs und zahlreicher Gangvorkommen an, darunter Bad Grund, Bad Lauterberg und der Neudorfer Gangzug. Außerdem wurde die Kupferschiefervererzung sensu stricto bei Bad Lauterberg (Butterberg) und sensu lato im Zechstein am Kyffhäuser untersucht. Hier nicht weiter von Interesse sind eine Pb-Vererzung im Zechstein bei Bad Lauterberg und Gangvorkommen im Flechtinger Höhenzug, die unter Bedeckung liegen. Das gleiche Untersuchungsgebiet bearbeiteten Tischendorf et al. (1993), jedoch bei deutlich geringerer Probenzahl und Anzahl einzelner Vorkommen (z.B. keine Kupferschiefervererzung). Leveque & Jakobus (1994) haben sich mit den postvariszischen Gängen im Osttaunus beschäftigt und Wagner & Schneider (2002) mit Sb-führenden Gangvererzungen in Sauerland, Siegerland und der Eifel. Die Daten von Wagner & Schneider (2002) stammen nicht von Kupfererzen, aber im Falle des Siegerlandes ergänzen sie die Pb-Isotopensignatur dieses Lagerstättendistriktes. In der Dissertation von Brauns (1995) wird neben anderen Untersuchungen die Pb-Isotopenzusammensetzung von Proben aus einer Reihe von Gruben des Siegerlandes bestimmt.

Durali-Müller (2005) untersucht in ihrer Dissertation die Pb-Isotopen- und teils auch die Cu-Isotopenzusammensetzung von Gangvorkommen aus dem Siegerland, der Dillmulde, dem Distrikt Untere Lahn und von linksrheinischen (d. h. nicht im Arbeitsgebiet der vorliegenden Arbeit befindlichen) Gangvorkommen (Hunsrück, Osteifel), sowie Erzen vom Maubach-Mechernich Typ in der Eifel. Außerdem

werden zwei Kupferschieferprofile untersucht (Sangerhausen, sowie Oberkatze im Gebiet der Rhön, wo der Kupferschiefer allerdings tief unter Bedeckung liegt). Es handelt sich dabei um eine geoarchäologische Provenienz-Studie, jedoch zur Metallherkunft römischer Blei-Artefakte, so dass die Arbeit nicht mit in Kapitel 2 aufgeführt ist. Die Publikation von Niederschlag et al. (2003) sei hier ebenfalls erwähnt, deren Pb-Isotopendaten zur Kupferschiefervererzung sensu stricto von Mansfeld und zur Gangvererzung im Kupferschiefer bei Kamsdorf in diesem Kapitel mit den Daten der entsprechenden eigenen Proben verglichen werden.

Einige Publikationen von Pb-Isotopenanalysen werden hier nicht mehr zum Vergleich herangezogen, da sie veraltet oder mit erheblichen analytischen Artefakten behaftet sind (pers. Mitteil. J. Schneider). Dazu gehören Pilot et al. (1970), Large et al. (1983), Tischendorf et al. (1985), Bielicki & Tischendorf (1987), Hammer et al. (1987a) und Bielicki & Tischendorf (1991). Da Schaeffer (1986) größtenteils die gleichen Daten publiziert wie Large et al. (1983), wird auch diese Arbeit nicht für Vergleiche verwendet. Auch die Daten von Legierski & Posmourny (1966) zu 11 Erzvorkommen in den Westsudeten (incl. Radzimowice) und von Legierski (1973) zu zahlreichen Vererzungen verschiedener Typen im Böhmischem Massiv mit Schwerpunkt im Gebiet von Tschechien werden als für Vergleichszwecke nicht verwendbar angesehen. Vergleiche zwischen den Daten von Legierski (1973) und denen von Höhndorf & Dill (1986) und Niederschlag et al. (2003) zeigen, dass die Ergebnisse von Legierski (1973) in den  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen systematisch zu hoch liegen. Die Daten von Legierski & Posmourny (1966), die in anderen Publikationen keine unmittelbaren Entsprechungen haben (die Vorkommen wurden von anderen Autoren nicht untersucht), zeigen eine vergleichbare Pb-Isotopenzusammensetzung.

### Vergleiche zur Kupferschiefervererzung sensu lato und zur Gangvererzung im Kupferschiefer:

Zwischen den nicht vom Nebengestein beeinflussten Pb-Isotopendaten der Kupferschiefervererzung sensu lato und entsprechenden Literaturdaten (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Niederschlag et al. 2003, Durali-Müller 2005) besteht eine gute Übereinstimmung (Abb. 6.2.1). Nur zwei der Werte bei Durali-Müller (2005), die von denen der übrigen Proben aus dem Sangerhäuser Revier abweichen, sowie die Probe von Lubin bei Wedepohl et al. (1978) haben Pb-Isotopenzusammensetzungen im Bereich der von Nebengestein beeinflussten Proben der vorliegenden Arbeit. Vermutlich besteht auch hier eine eher vom Nebengestein bestimmte Signatur. Die Pb-Isotopenzusammensetzung der Probe von Lubin kommt unter den aus Polen stammenden Proben dieser Arbeit derjenigen von CuSHas-3 (Leszczyna in der Nordsudetischen Mulde) am nächsten. Es ist aber zu beachten, dass Lubin in der Vorsudetischen Monokline liegt und die in dieser Arbeit untersuchten Proben aus der Nordsudetischen Mulde, also der südwestlichen Fortsetzung der Vererzung stammen.

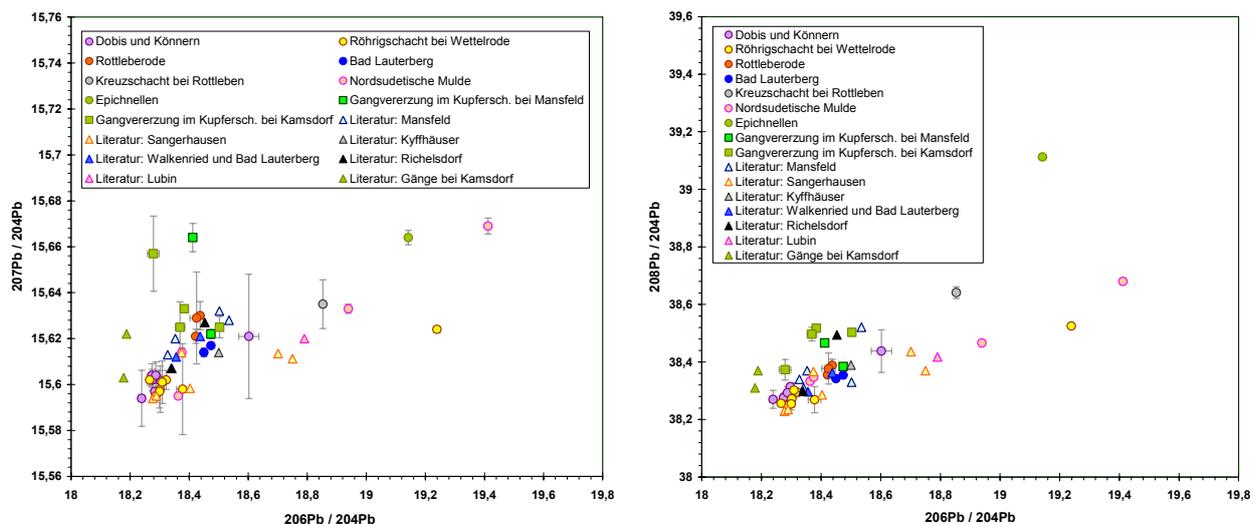


Abb. 6.2.1: Pb-Isotopendaten der Kupferschiefervererzung sensu lato und Gangvererzungen im Kupferschiefer aus vorliegender Arbeit (runde Symbole, mit  $2\sigma$ -Fehlergrenzen, s. auch Abb. 5.4.2) im Vergleich mit entsprechenden Literaturdaten (Dreiecke, Mansfeld aus Wedepohl et al. 1978 und Niederschlag et al. 2003, Sangerhausen aus Wedepohl et al. 1978 und Durali-Müller 2005, Kyffhäuser aus Leveque & Haack 1993, Walkenried aus Wedepohl et al. 1978, Lauterberg aus Leveque & Haack 1993, Richelsdorf aus Wedepohl et al. 1978, Lubin aus Wedepohl et al. 1978, Gänge bei Kamsdorf aus Niederschlag et al. 2003). Aus Darstellungsgründen wurde die Probe mit den höchsten Pb-Isotopenverhältnissen (CuSHas-2) ausgelassen.

Die Mehrheit der Literaturdaten (Mansfeld, Walkenried, Bad Lauterberg, Richelsdorfer Gebirge, Kyffhäuser und eine von Wedepohl et al. (1978) untersuchte Probe aus dem Sangerhäuser Revier) bildet ein relativ gering streuendes Cluster ohne regionale Differenzierbarkeit im Bereich der für die Proben dieser Arbeit aus Rottleberode und Bad Lauterberg ermittelten Pb-Isotopenzusammensetzungen (Abb. 6.2.1). Die von Durali-Müller (2005) untersuchten Sangerhäuser Proben stimmen dagegen bis auf die oben erwähnten Ausnahmen mit den Proben der vorliegenden Arbeit von Wettelrode (Sangerhäuser Revier) Pb-isotopisch überein. Somit werden durch die Literaturdaten die klaren Unterschiede zwischen den einzelnen Revieren, die sich bei der Betrachtung der Daten dieser Arbeit ergeben haben (Kap. 5.4.), teilweise verwischt und der an den hier untersuchten Proben erkennbare systematische Trend im Harzvorland von Ost nach West findet sich in den Literaturdaten nicht in ähnlicher Weise. Die Pb-Isotopenpopulation der Gangvererzungen im Kamsdorfer Revier wird durch Einbeziehung der zwei Proben von Niederschlag et al. (2003) etwas zu niedrigeren Pb-Isotopenverhältnissen hin erweitert. Die Gangvererzungen im Kupferschiefer bleiben aber von der Kupferschiefervererzung *sensu lato* klar unterscheidbar.

### Vergleiche zu den Gangvererzungen im Harz:

In Kapitel 5.4. wurde schon darauf hingewiesen, dass zu den Proben von Bad Grund, Bad Lauterberg und zwei von drei Proben vom Neudorfer Gangzug keine Pb-Isotopendaten bestimmt wurden, da schon umfangreiche Daten zu diesen Kupfervorkommen publiziert sind (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993). Die Pb-Isotopendaten der Harzer Proben aus vorliegender Arbeit werden daher hier nur allgemein mit den Literaturdaten aller Gangvererzungen im Harz (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993, Niederschlag et al. 2003) verglichen (Abb. 6.2.2). Danach liegt das Cluster von Proben aus vorliegender Arbeit mit den niedrigsten Pb-Isotopenverhältnissen (Biw-1 bis -3, Nd-3, Mineralseparat und Gesamtprobe von Tres-1) in der Punktwolke, welche den Hauptteil der Gangvererzungen im gesamten Harz umfasst (einschließlich Neudorfer Gangzug, Bad Grund und Bad Lauterberg, wobei ersterer tendenziell die geringsten  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse zeigt). Dabei stimmen die Pb-Isotopenverhältnisse der Biwender Proben gut mit den Literaturdaten zum Straßberg-Neudorfer Gangzug überein (Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993), wogegen die Probe Nd-3 von diesen etwas zu einem höheren  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und eventuell auch geringfügig zu einem höheren  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis abweicht. Ebenso verhält sich die Probe TrtK-1 vom Kupferberg zu den Literaturdaten anderer Gangvererzungen bei Trautenstein (Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993). Ein Fraktionierungstrend, wie er bei einigen Proben der vorliegenden Arbeit auftritt, findet sich im Übrigen auch in den Literaturdaten aus dem Harz wieder (beispielsweise diejenigen vom Neudorfer Gangzug – Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993).

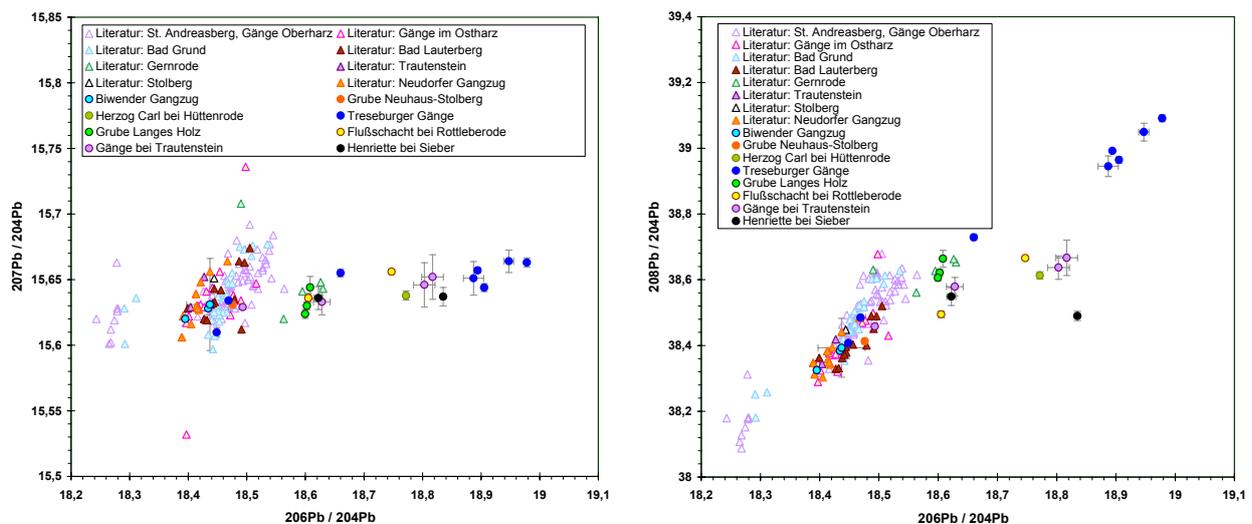


Abb. 6.2.2: Vergleich der Pb-Isotopenzusammensetzung von Proben dieser Arbeit (runde Symbole, mit 2σ-Fehlergrenzen, vgl. Abb. 5.4.1) mit den Literaturdaten aller Gangvererzungen im Harz (Dreiecke). Die unter den Begriffen "Literatur: St. Andreasberg, Oberharzer Gänge" und "Literatur: Gänge im Osthartz" zusammengefassten Daten beinhalten nicht die Daten der gesondert dargestellten Reviere bzw. Gangzüge. Die nicht repräsentative Probe TrtK-2 ist nicht mit dargestellt.

Die Proben der vorliegenden Arbeit mit mittleren Pb-Isotopenverhältnissen (Separate von Bret-1 und -2 und Gesamtprobe Bret-1, Proben Stof-1, Sie-1, TrtL-1 und Separat von TresTf-2) haben eine ähnliche Signatur wie Gänge bei Gernrode (Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993). Die Proben mit den höchsten Pb-Isotopenverhältnissen dagegen (Gesamtproben TresTf-1, -1b und -2, TresK-1 und -2, Sie-2, TrtL-2, Stof-2, TrtB-1 und Separat von Hütt-1) haben unter den Literaturdaten keine Entsprechung. Somit weichen die Proben von Sieber, Trautenstein und Stolberg von den Literaturdaten der entsprechenden Reviere (Bad Lauterberg und St. Andreasberg, hier nicht beprobte Gänge bei Trautenstein, Grube Silberner Nagel bei Stolberg – Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993) teils erheblich zu höheren  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen ab. Wie schon in Kapitel 5.4. erwähnt, ist hier ein Einfluss von U-Gehalten (teils im Erz und teils in Nebengesteinsbeimengungen) zu vermuten und offenbar gilt das in sehr begrenztem Maß auch für TrtK-1 und Nd-3. Die Gernröder Gänge werden nach Leveque & Haack (1993) anhand von K-Ar-Datierung von Adularen in den Gängen jünger als die übrigen Gangvorkommen eingestuft. Dass die Proben von den Großen Brettenbergen (Bret-1 und -2) und das Separat von TresTf-2 die gleiche Signatur haben, mag auf ein gleiches Alter der Gänge im unmittelbaren Umkreis des Ramberg-Plutons schließen lassen; mit Ausnahme des Ganges der „Braunschweigischen Zeche“ (Probe Tres-1; vgl. auch Kap. 5.4.). Dabei liegen die Signaturen der übrigen Proben der Gruben „Glückauf Tiefenbach“ und „Prinz Karl“ durch die schon in Kapitel 5.4. vermuteten U- und Th-Gehalte im Erz bei deutlich höheren Pb-Isotopenverhältnissen als die der Gernröder Gänge. Die Probe TrtK-2, deren Signatur als vom Nebengestein bestimmt und damit als nicht repräsentativ angesehen wird (vgl. Kap. 5.4.), wird nicht in den Vergleich einbezogen.

#### Vergleiche zu den Vorkommen von Waldsassen, Bodenmais und den Frankenwälder Sideritgängen:

Die Unterschiede zwischen den Pb-Isotopendaten von Höhndorf & Dill (1986) zu den Erzvorkommen von Waldsassen und Bodenmais (Galenit) und den entsprechenden Daten der vorliegenden Arbeit (ohne die Pb-isotopisch nicht repräsentative Probe Bod-1 – Abb. 6.2.3) sind nur gering und höchstwahrscheinlich Resultat einer unterschiedlichen Fraktionierungskorrektur (pers. Mitteil. Schneider). Die Pb-isotopische Übereinstimmung zwischen den beiden Vorkommen, welche sich in den Daten von Höhndorf & Dill (1986) zeigt, wurde schon in Kapitel 5.4. erwähnt.

Auch zwei Proben aus den Frankenwälder Sideritgängen wurden von Höhndorf & Dill (1986) untersucht (Abb. 6.2.3). Die Pb-Isotopenzusammensetzung eines Bismuthinit-Separates aus einem Gang bei Lichtenberg liegt sehr nahe bei denen der Proben Lich-1 und -2 der vorliegenden Arbeit (Halde bei Lichtenberg, „Friedenszeche“ bei Bad Steben). Ein Galenit-Separat von einem Gang bei Kemlas weist ein niedrigeres  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis auf, aber die Streuung zwischen den beiden Proben bei Höhndorf & Dill (1986) ist nicht größer, als die zwischen Lich-1/-2 und Lich-3 (vorliegende Arbeit).

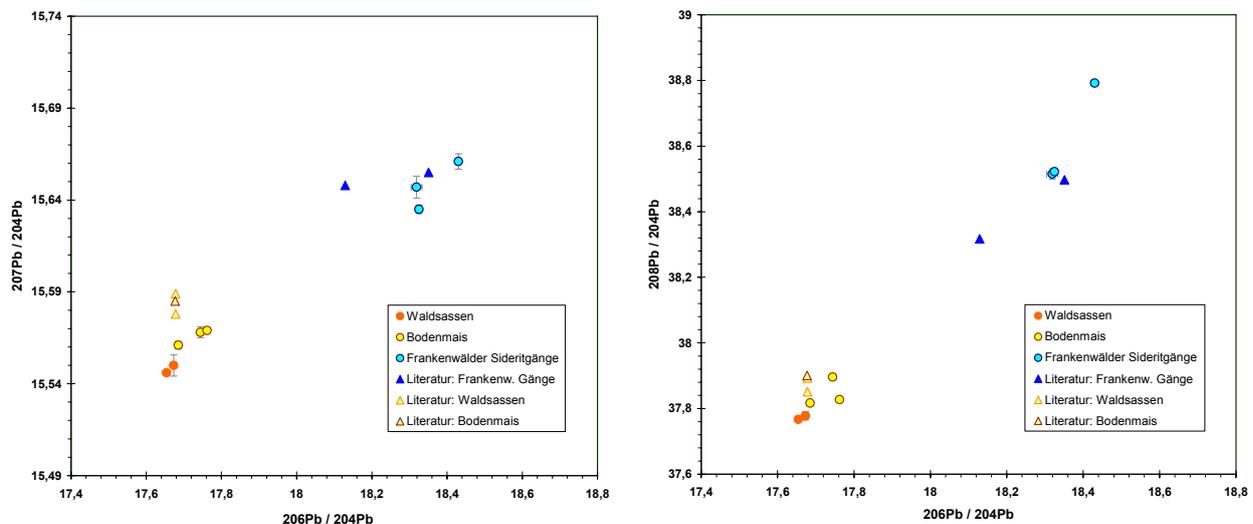


Abb. 6.2.3: Vergleich der Pb-Isotopenzusammensetzung der Proben aus vorliegender Arbeit von den Kupfervorkommen der Frankenwälder Sideritgänge und von Waldsassen und Bodenmais (runde Symbole, mit  $2\sigma$ -Fehlergrenzen) mit entsprechenden Daten aus Höhndorf & Dill (1986) (Dreiecke). Die nicht repräsentative Probe Bod-1 ist nicht mit dargestellt.

**Vergleiche zum Rheinischen Schiefergebirge:**

Eine Reihe von Proben der vorliegenden Arbeit aus der Dillmulde, dem Siegerland und dem Distrikt Untere Lahn zeigt vergleichbare Werte wie die aus Durali-Müller (2005) aus denselben Gruben (Abb. 6.2.4). Es handelt sich um die Gruben „Brüderbund“ und „Storch und Schöneberg“ im Siegerland, „Stangenwaage“ und „Boxbach“ in der Dillmulde, sowie die Gruben bei Werlau, Holzappel und Bad Ems („Friedrichsegen“, „Mercur“ und „Rosenberg“). Mit wenigen Ausnahmen besteht eine sehr gute Übereinstimmung sowohl mit den Chalkopyrit- als auch den Galenitseparaten von Durali-Müller (2005). Dies ist der Fall bei der Grube „Storch und Schöneberg“ (bei Durali-Müller 2005 ein Chalkopyritseparat), dem Gangvorkommen von Werlau (zwei Galenit- und zwei Chalkopyritseparate), bei der Grube „Mercur“ bei Bad Ems (das Galenitseparat weist ein nur geringfügig niedrigeres  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis auf), bei der Grube „Boxbach“ (Probe der vorliegenden Arbeit Pb-isotopisch innerhalb der geringen Streubreite zwischen Chalkopyrit- und zwei Galenitseparaten von Durali-Müller 2005) und bei der Grube „Stangenwaage“ bei Donsbach (beide Chalkopyritseparate von Durali-Müller 2005 liegen Pb-isotopisch zwischen den Werten der beiden Proben aus vorliegender Arbeit). Leichte Abweichungen gibt es bei Proben von Braubach und Holzappel. Das Chalkopyritseparat von Braubach ist Pb-isotopisch der Probe dieser Arbeit sehr ähnlich, aber das Galenitseparat zeigt deutlich höhere  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse. Von drei Galenitseparaten aus der Grube „Holzappel“ weist eines deutlich höhere  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse, sowie ein etwas geringeres  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis als die entsprechenden Proben dieser Arbeit auf. Bei den Proben der Grube „Brüderbund“ haben das Chalkopyrit- und das Galenitseparat von Durali-Müller (2005) und bei der Grube „Friedrichsegen“ das Galenitseparat deutlich höhere Pb-Isotopenverhältnisse, die in den Bereich der Isotopendaten der Dillmulde fallen. Hier wurden von Durali-Müller (2005) im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit offenbar jüngere Gänge oder jüngere Erzparagenesen in älteren Gängen beprobt.

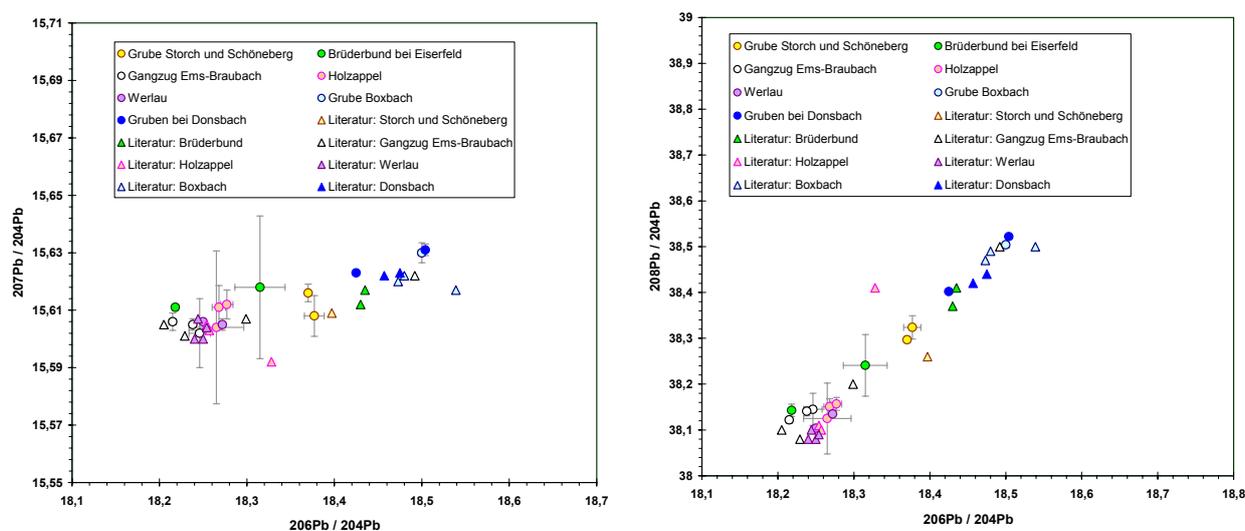


Abb. 6.2.4: Vergleich der Pb-Isotopenzusammensetzung von Proben einzelner Gruben im Siegerland, der Dillmulde und dem Distrikt Untere Lahn aus der vorliegenden Arbeit und von Durali-Müller (2005). runde Symbole mit  $2\sigma$ -Fehler-Darstellung: Proben dieser Arbeit, Dreiecke: Proben von Durali-Müller (2005).

Betrachtet man alle Daten der vorliegenden Arbeit und der Literatur zu den Distrikten Siegerland, Untere Lahn und Dillmulde (Wagner & Schneider 2002, Durali-Müller 2005), so ergibt sich folgendes (s. Abb. 6.2.5): Die weniger radiogene Pb-Isotopenpopulation der Dillmulde aus vorliegender Arbeit (d. h. ohne die Proben Roth-2 und Lang-1), ist fast deckungsgleich mit derjenigen der Daten von Durali-Müller (2005). Eine Ausnahme bildet eine der beiden Galenitproben von Durali-Müller (2005) aus der Freudenzeche, die so niedrige Pb-Isotopenverhältnisse hat, wie die Sideritgänge der Distrikte Siegerland und Untere Lahn. Durch die umfassendere Beprobung des Siegerlandes und des Distriktes Untere Lahn durch Durali-Müller (2005) schränkt sich allerdings deren Unterscheidbarkeit zur Dillmulde ein (vgl. Kap. 5.4.). Zahlreiche Proben aus dem Siegerland und einige aus dem Distrikt Untere Lahn zeigen bei Durali-Müller (2005) Signaturen von jüngeren Mineralisationsereignissen, die denen der Dillmulde gleichen. Dabei gibt es keine scharfe Grenze sondern einen Übergangsbereich mit Mischsignaturen aus „jungem“ und remobilisiertem „altem“ Blei, bzw. überprägten und dadurch zu höheren Isotopenverhältnissen

verschobenen älteren Signaturen (Schneider 1998a, Schnorrer et al. 2000). In diesen Übergangsbereich fallen auch einige der Proben aus vorliegender Arbeit (Storch-1 und -2, eventuell auch Eiserf-2 und EmsN-1), woraus sich schließen lässt, dass in den betreffenden Proben jüngere (Chalkopyrit?, Quarz?) und ältere Paragenesen zusammen auftreten (vgl. Kapitel 5.1.). Im Übrigen vergleicht Durali-Müller (2005) ihre Pb-Isotopendaten des Siegerlandes mit denen von Brauns (1995) und findet ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung. Wagner & Schneider (2002) haben Sb-führende Vererzungen im Siegerland untersucht, deren Signaturen teils zu denen der Sideritgänge passen (Durali-Müller 2005 und eigene Proben), wenn sie auch im Gegensatz zu diesen deutlich im Verhältnis  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  streuen und zu geringfügig höheren  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen tendieren. Die Autoren erklären diese Übereinstimmung dadurch, dass das Pb der untersuchten Vererzungen remobilisiertes Pb älterer Phasen ist.

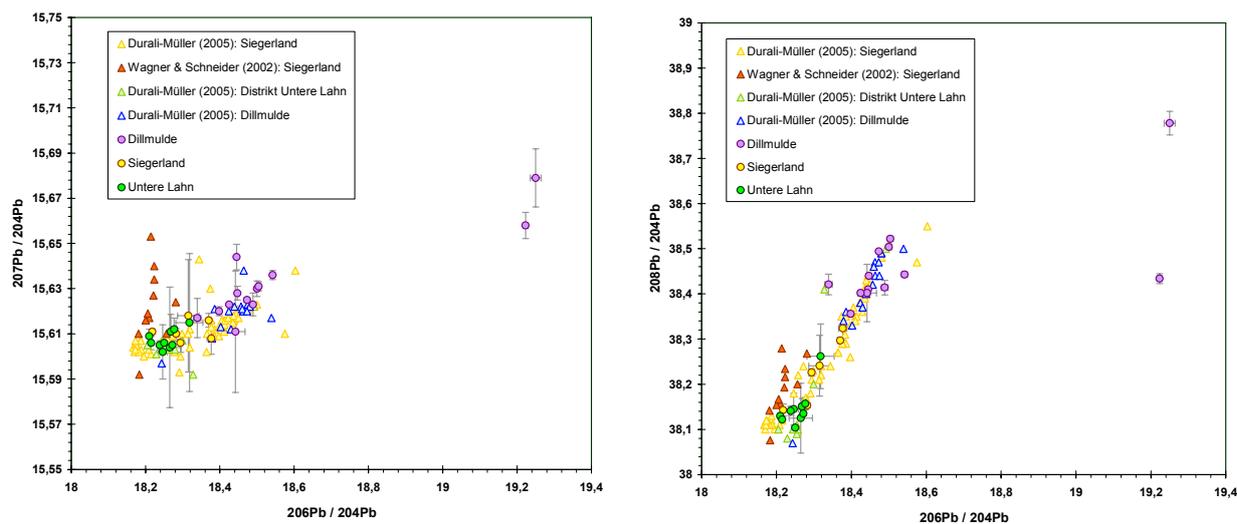


Abb. 6.2.5: Vergleich der Pb-Isotopensignaturen der Distrikte Siegerland, Untere Lahn und Dillmulde im Rheinischen Schiefergebirge. runde Symbole mit  $2\sigma$ -Fehler-Darstellung: Proben dieser Arbeit, Dreiecke: Daten aus Wagner & Schneider (2002) und Durali-Müller (2005). Aus Darstellungsgründen wurde die Gesamtprobe von Mrs-g (höchste Pb-Isotopenverhältnisse unter den Marsberger Proben) weggelassen. Falsche Distrikt-Zuordnungen einzelner Gruben durch Durali-Müller (2005) wurden korrigiert.

Insgesamt stehen die Pb-Isotopendaten dieser Arbeit weitgehend in Übereinstimmung mit Pb-Isotopendaten der betreffenden Erzdistrikte aus der Literatur, auch wenn der methodische Ansatz verschieden ist (hier Erzmineralgemische zur Charakterisierung von Erzen, in der Literatur Mineralseparate zur Charakterisierung von Mineralisationsereignissen). Deutlichere Abweichungen, deren vermutliche Ursachen weiter oben schon diskutiert sind, bestehen nur bei den Gängen des Harzes. Die Daten aus der Literatur stellen damit eine Ergänzung der Daten dieser Arbeit dar, vor allem im Harz, Siegerland, dem Distrikt Untere Lahn und der Dillmulde, wo durch die Beprobung dieser Arbeit nicht alle Mineralisationsphasen erfasst wurden bzw. nur mit jeweils wenigen Proben belegt sind. Die Unterschiede zwischen den Daten dieser Arbeit zu den Gängen im Harz und entsprechenden Literaturdaten zeigen dabei, dass Pb-Isotopendaten von Einzelmineralen (wie in der Literatur publiziert) nicht in jedem Fall die Bestimmung der Pb-Isotopenzusammensetzung von Mineralgemischen (was Erze fast immer sind) ersetzen können. Dies gilt vor allem dann, wenn es um Artefakte geht, bei denen eine stark streuende Pb-Isotopenzusammensetzung auf teilweise radiogenes Blei im Kupfererzstoff hinweist (Beispiel: Nebraer Artefakte – Pernicka in Vorb.)

Bezieht man nun in die Darstellung der Pb-Isotopenzusammensetzungen der verschiedenen Erzdistrikte und Kupfervorkommen die oben diskutierten Daten aus der Literatur mit ein, so ergibt sich jeweils eine mehr oder weniger deutliche Ausweitung der betreffenden Populationen. Die Darstellung ist im Anhang (Abb. A3 und A4) der entsprechenden Abbildung ohne Pb-Isotopendaten aus der Literatur (Abb. A1 und A2) gegenübergestellt (vgl. dazu Kapitel 5.4.). Die Pb-Isotopenpopulationen der Vorkommen von Waldsassen und Bodenmais überschneiden sich nach Einbeziehung der Daten aus der Literatur, sind aber noch immer sehr verschieden von allen anderen untersuchten Vorkommen. Die Pb-Isotopenpopulation der Frankenwälder Gänge zeigt eine sehr geringe Überschneidung mit der der Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Kamsdorf. Die in Kapitel 5.4. erwähnte klare Pb-isotopische Abgrenzbarkeit der

Kupfervorkommen Waldsassen, Bodenmais, Rožany bei Sohland, Helgoland, der Gänge im Thüringer Wald, der Frankenwälder Sideritgänge, sowie Zlate Hory, Kirchberg bei Böhlen, Caaschwitz und Rubotin bei Šumperk von allen anderen untersuchten Vorkommen besteht auch nach Hinzunahme der Literaturdaten.

Im Rheinischen Schiefergebirge sind, wie weiter oben schon erwähnt, die Distrikte Siegerland, Untere Lahn und die geringer radiogene Population der Dillmulde voneinander Pb-isotopisch nicht mehr unterscheidbar, aber sehr wohl noch von den Vorkommen Marsberg, Bergfreiheit und Engelbach. Insgesamt ergeben sich durch die Ausweitung der Pb-Isotopenpopulationen der Distrikte Dillmulde, Siegerland, Untere Lahn, der Gänge im Harz, der Gänge im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf, sowie durch die Zusammenfassung der beiden Pb-Isotopenpopulationen der Kupferschiefervererzung sensu lato zu einer Population teilweise stärkere Überschneidungen untereinander und mit anderen Distrikten. Ein Beispiel ist die stärkere Überschneidung zwischen Harzer Gängen und Gängen im Kupferschiefer. Die Pb-Isotopenpopulationen des Siegerlandes und des Distriktes Untere Lahn, sowie eine der Populationen der Dillmulde liegen sogar fast vollständig innerhalb derjenigen der Harzer Gänge, was in geringerem Maß auch für die Kupferschiefervererzung sensu lato zutrifft. Hier müssen gegebenenfalls einzelne Gänge oder einzelne Lokalitäten der betreffenden Distrikte bzw. bestimmte Mineralisationsphasen betrachtet werden, deren Pb-Isotopensignaturen dann begrenzte Ausschnitte der Pb-Isotopenpopulation des Distriktes darstellen. Man kann jedoch sagen, dass auch bei Hinzunahme der Pb-Isotopendaten aus der Literatur zu den Daten dieser Arbeit die Pb-isotopische Unterscheidung der verschiedenen Distrikte und Einzelvorkommen mit den genannten Ausnahmen grundsätzlich möglich ist.

## **7. Der Vergleich von Erzen und Artefakten**

In den folgenden Kapiteln werden die in dieser Studie gewonnenen Spurenelement- und Pb-Isotopendaten mit denen der Artefakte von Nebra (Himmelscheibe und Beifunde), sowie exemplarisch mit denen von frühbronzezeitlichen Bronzegegenständen aus Sachsen-Anhalt (analysiert in Modul NW2) verglichen. Zunächst sind aber noch eine Reihe von Vorbemerkungen zu machen.

Eine Voraussetzung für einen Vergleich von Kupfererzen und Bronzeartefakten ist die Tatsache, dass die geochemische Charakteristik der Bronze vom Kupfer und nicht vom Zinn bestimmt wird (Pernicka & Wunderlich 2002, Pernicka in Vorb.). So hat Zinn zum Beispiel in den Artefakten von Nebra nur einen Anteil zwischen rund 2,5% und 10% und Zinn-Erze sind im Allgemeinen wesentlich Pb-ärmer als Cu-Erze, so dass die Zinn-Beimengung in Bronze nicht zu deren Pb-isotopischer Charakteristik beiträgt (Pernicka in Vorb.). Noch wichtiger ist aber die Voraussetzung bzw. Annahme, dass bei der Herstellung der Artefakte nicht Kupfer verschiedener Herkunft vermischt oder „recycelt“ wurde, z.B. in Form von Barren aus Erzen verschiedener Kupfervorkommen, oder durch Wiederaufschmelzen von Altmetall. In dem Fall läge die Signatur der Artefakte zwischen denen der verschiedenen Erze. Man geht allerdings davon aus, dass eine solche Mischung in der Frühbronzezeit noch nicht üblich war (Pernicka 1987, Pernicka & Wunderlich 2002) und damit für die Artefakte von Nebra und die in Modul NW2 analysierten Artefakte eher unwahrscheinlich ist. Nach Pernicka (in Vorb.) weist auch die relativ geringe Variationsbreite in der Spurenelementzusammensetzung der Nebraer Artefakte auf die Herkunft aus einer Lagerstätte hin (jedoch nicht aus einer gemeinsamen Metallcharge, d.h. einem Guss).

Eine grundsätzliche Schwierigkeit, die bei Provenanz-Studien in Regionen ohne aktiven Bergbau immer wieder auftritt und auf die auch schon in der Literatur hingewiesen wurde (z.B. Pernicka 1999), besteht in der Anzahl der Proben. Eine Probe zeigt nur einen kleinen Ausschnitt der Vererzung, so dass je nach Homogenität oder Inhomogenität des Erzvorkommens eine mehr oder weniger große Anzahl von Proben zur Charakterisierung nötig bzw. wünschenswert ist. Für eine Pb-isotopische Charakterisierung sind nach Pernicka (1990) meist mindestens fünf Proben, bei stark streuenden Lagerstätten mehr Proben nötig. Für die spurenelementgeochemische Charakterisierung ist eine große Probenanzahl noch wichtiger, vor allem wenn in einem Vorkommen Zonierungen oder verschiedene Erzmineral-Paragenesen auftreten. Pernicka (1990) weist in den von ihm bearbeiteten Erzproben eine Variationsbreite der Spurenelemente innerhalb einzelner Vorkommen von meist zwei Größenordnungen nach und weist darauf hin,

dass im Allgemeinen die Streuung über vier Größenordnungen reicht. Die Aufschlussverhältnisse in Regionen ohne aktiven Bergbau setzen aber hinsichtlich der Probenanzahl und -qualität Grenzen, da nur selten alte Gruben noch zugänglich sind. So muss man meist auf Haldenmaterial oder einzelne Stücke aus Sammlungen zurückgreifen. Oft sind auch die oberflächennahen Oxidations- und Zementationszonen, die wahrscheinlich bevorzugtes Ziel der bronzezeitlichen Bergleute waren, inzwischen vollständig abgebaut und somit einer heutigen Beprobung entzogen. Das ist zwar für die Pb-Isotopie nicht von Belang, wohl aber für die Betrachtung der Spurenelemente. Die Abdeckung der hier untersuchten Kupfervorkommen mit Proben ist also nicht als ideal, sondern vielmehr als aus der realen Situation und Praxis heraus gegeben anzusehen. Daher ist bei der Diskussion und Interpretation der Ergebnisse stets die Proben- und Datenlage zu berücksichtigen. Am besten stellt sich die Probensituation bei dem Vorkommen von Helgoland, der Kupferschiefervererzung bei Wettelrode und der disseminierten Vererzung von Marsberg dar. Andererseits geht es um die Charakterisierung von Kupfererzen, so dass es nicht unbedingt nötig ist, die gesamte Variationsbreite einer Lagerstätte zu erfassen. Zum Beispiel sind Erzmineralparagenesen, in denen Kupferminerale fehlen oder nur akzessorisch vorkommen, hier nicht von Belang. Und auch wenn nur wenige oder einzelne Proben von Kupfervorkommen vorliegen, so geben diese eine Orientierung zur Pb-isotopischen und teils auch spurenelementgeochemischen Charakteristik des Vorkommens. So kann man im Fall der Pb-Isotopenzusammensetzung davon ausgehen, dass wenn diese deutlich verschieden von den betrachteten Artefakten ist, auch eventuelle weitere Proben eher nicht mit den Artefakten übereinstimmen. Dies bedeutet, dass auch bei eingeschränkter Probenlage bei Nichtübereinstimmung die Ausschlusskriterien für einzelne Vorkommen oder sogar Lagerstätten- bzw. Bergbaudistrikte belastbare Aussagen ermöglichen.

Zwei unbekannte Größen, deren Auswirkungen auf die Spurenelement- und Pb-Isotopensignaturen der im Folgenden betrachteten Artefakte hier nicht quantifiziert werden können und auf die deswegen nur hingewiesen wird, ist die Prozessführung bei der Verhüttung und die eventuelle Wahl von Zuschlagstoffen. Vor allem hängt beides von der Erzzusammensetzung ab, aber auch von den metallurgischen Fähigkeiten bzw. Traditionen der jeweiligen Entstehungszeit der Artefakte, deren Herkunft geklärt werden soll. Pernicka (1987) beschreibt mehrere grundsätzliche Möglichkeiten der Prozessführung, unter anderem das reduzierende Schmelzen von Oxiderzen, oder das teilweise Rösten (Oxidieren) von Sulfiderzen, wobei dann das entstandene Oxid das noch nicht oxidierte Sulfid oxidiert und dabei selbst reduziert wird (Röstreaktionsprozess). Als Zuschläge zur Schlackebildung (Flussmittel) bei der Verhüttung können je nach Erzzusammensetzung vor allem Fe-Oxide (beispielsweise aus dem Eisernen Hut – Pernicka 1987) oder Quarz verwendet worden sein. Bartelheim et al. (2002) fanden in kupferzeitlichen Schlacken in Österreich Überreste von dolomitischem Nebengestein und Quarz. Tylecote et al. (1977) verwendeten in ihren Experimenten zur bronzezeitlichen Kupferverhüttung je nach Gangart der Erze Fe-Oxide oder Quarzsand. Vor allem Fe-Erz-Zuschläge können unter Umständen die Spurenelementsignatur verändern. Pernicka (1987) erwähnt Verhüttungsexperimente, bei denen Co und Ni mit den Fe-Erzen eingeschleppt wurden. Auch die Pb-Isotopensignatur kann bei Pb-armen Erzen beeinflusst werden, falls die Zuschläge Pb-isotopisch „fremd“ sind (z.B. Fe-Erze mit einer anderen Signatur als die Cu-Erze). In verschiedenen Publikationen werden auch einige Elemente, die sich in Abhängigkeit von Erzzusammensetzung und Art des Verhüttungsprozesses bei der Verhüttung verschieden verhalten können, als mit Vorsicht zu betrachten eingestuft. So sind As und Sb bei hohen Gehalten (wie in Fahlerzen) teilweise flüchtig, d.h. es verdampft (Pernicka 1999). Nach Pernicka (1987) ist auch Bi bei der Verhüttung sulfidischer Erze teilweise flüchtig. Die Verluste werden aber bei primitiven Bedingungen als wahrscheinlich nicht sehr groß eingeschätzt. Tylecote et al. (1977) halten Bi wegen einer bei den Experimenten beobachteten teilweisen Flüchtigkeit dagegen für ungeeignet zum Vergleich von Artefakten und Erzen. Co kann nach Pernicka (1987) bei einer Raffination oder einer bestimmten Prozessführung (bei hohem Sauerstoff-Partialdruck) teilweise entfernt bzw. verschlackt werden, weshalb das Element als nur eingeschränkt nutzbar betrachtet wird. Einen Verlust von Co bei der Raffination beschreiben auch Tylecote et al. (1977). Nach Pernicka (1987) gibt es auch geringe Verluste von Se und Te bei einem bestimmten Verhüttungsverfahren, dessen Anwendung für die Kupfergewinnung von Mitterberg vermutet wird. Diese möglichen Einschränkungen muss man beim Vergleich der Spurenelemente von Erzen und Artefakten berücksichtigen. Man kann aber insgesamt nicht sagen, ob und in welchem Ausmaß sich einer der beschriebenen Faktoren auswirkt; abgesehen von der Flüchtigkeit von As und Sb bei Fahlerzen.

Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen ist nun beim Vergleich von Kupfererzen und Artefakten wie folgt vorzugehen: Die Pb-Isotopenzusammensetzung, die schon bei einer geringeren Probenzahl als die Spurenelemente aussagefähig ist und sich, wie in Kapitel 5.4. gezeigt wurde, weitaus besser zur Unterscheidung verschiedener Erzdistrikte und -Vorkommen eignet, ist das primäre (Ausschluss)-Kriterium. Dies ist sehr gut anwendbar für Erzdistrikte, die Pb-isotopisch klar von allen anderen abgegrenzt sind; in geringerem Maße aber auch für Distrikte deren Pb-Isotopenpopulationen sich überschneiden. Findet sich nun eine Übereinstimmung der Pb-Isotopenzusammensetzungen zwischen einem Erzdistrikt und den Artefakten, so sind als nächstes die Spurenelemente zu betrachten: Besteht hier auch eine Übereinstimmung mit den Artefakten? Gibt es eventuell unter den Erzvorkommen des Distriktes einzelne, die in den Spurenelementen nicht mit den Artefakten übereinstimmen und daher ausgeschlossen werden können? Schließlich kann man als letztes Ausschlusskriterium eventuell noch geographisch-naturräumliche Faktoren, wie die Lage der Vorkommen, oder die Nähe zum Fundort der Artefakte heranziehen, oder auch solche Faktoren wie zum Beispiel, dass ein Vorkommen nachgewiesenermaßen erst zu einem späteren Zeitpunkt entdeckt und abgebaut wurde. Die folgende Abbildung illustriert diesen Ausschluss-Prozess anhand eines theoretischen Idealfalls, in dem ein einziger Erzdistrikt mit den Artefakten Pb-isotopisch übereinstimmt und innerhalb dieses Distriktes einzelne Kupfervorkommen anhand der Spurenelemente und eines weiteren Kriteriums ausgeschlossen werden können.

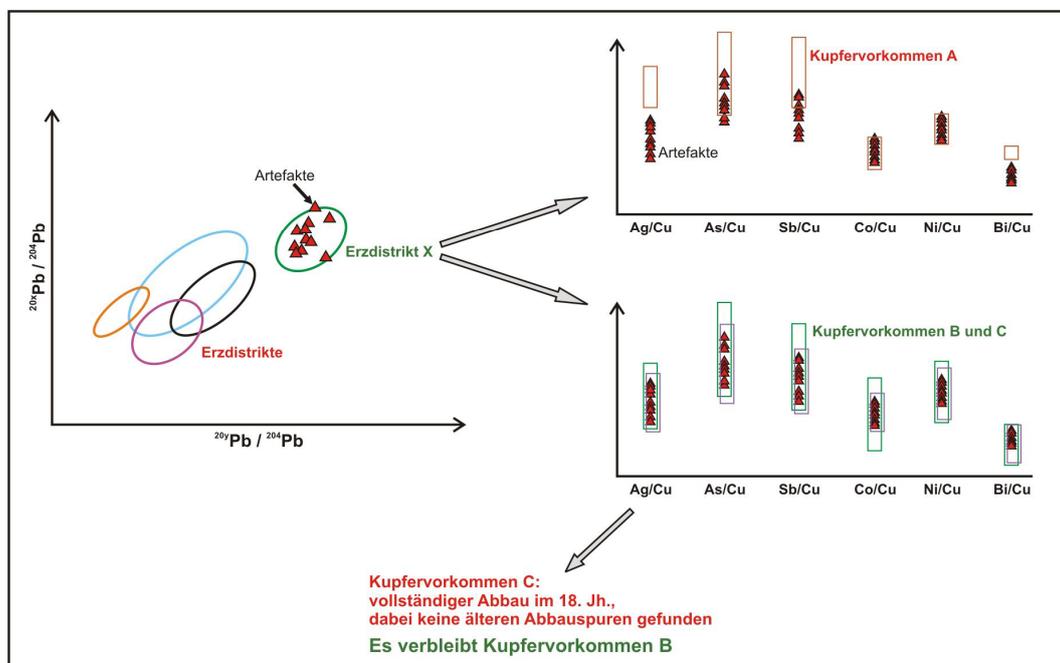


Abb. 7: Skizzenhafte Darstellung des Ausschlusses möglicher Kupferquellen für eine Gruppe von Artefakten. Als Beispiel wurde der Idealfall der Identifikation eines einzelnen Kupfervorkommens als mögliche Rohstoffquelle gewählt. Auszuschließende Kupfervorkommen sind mit roter Schrift und in Frage kommende Kupfervorkommen in grüner Schrift bezeichnet.

In den folgenden beiden Kapiteln findet dieses Verfahren als Ausschlusskriterium für die untersuchten Kupfervorkommen erfolgreich Anwendung. Auch eine positive Übereinstimmung – wenn auch nicht identisch mit dem Ablauf in Abb. 7 – kann nachgewiesen werden (Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf und in Modul NW2 untersuchte Artefakte).

### **7.1. Vergleich der Kupfererze mit der Himmelscheibe und ihren Beifunden**

Da die Pb-Isotopie wie bereits erwähnt das Haupt(ausschluss)kriterium für die Frage nach der Rohstoffherkunft von Artefakten ist, wird hier mit den Pb-Isotopenzusammensetzungen von Erzen und Nebraer Artefakten begonnen.

Zur Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal kann über eine Pb-isotopische Ähnlichkeit oder Unähnlichkeit zu den Artefakten von Nebra keine Aussage gemacht werden, da von diesem Vorkommen keine Pb-Isotopendaten vorliegen (Pb-Gehalt zu gering für eine Messung, vgl. Kap. 5.4.).

Bei allen übrigen in dieser Arbeit untersuchten Erzdistrikte bzw. einzelnen Kupfervorkommen ist keine Pb-isotopische Übereinstimmung mit den Nebra Artefakten festzustellen. Sie kommen somit nicht als Rohstoffquelle für die Nebra Artefakte in Frage. Für die drei jeweils durch eine Probe repräsentierten Kupfervorkommen vom Stechberg bei Gehren (Gangvererzung im Thüringer Wald), Kirchberg bei Böhlen (Thüringer Schiefergebirge) und Rubotin bei Šumperk (Moravo-Silesikum in Tschechien) ist diese Aussage eher vorläufiger Natur. Wie im Kapitel 5.4. beschrieben, weichen die Proben in ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung deutlich von anderen Kupfervorkommen der jeweiligen Regionen ab. Die fehlende Pb-isotopische Übereinstimmung der untersuchten Erzdistrikte und -vorkommen mit den Artefakten von Nebra illustrieren gut die drei folgenden Abbildungen (Abb. 7.1.1 bis 7.1.3), in denen beide gegenübergestellt sind. Die Darstellung der Distrikte entspricht den Abbildungen A3 und A4 im Anhang (vgl. auch Kap. 6.2.); zur besseren Übersicht aufgeteilt in mehrere Teildiagramme. Das heißt, in den Pb-Isotopenpopulationen von Waldsassen, Bodenmais, der Kupferschiefervererzung sensu lato, den Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf, sowie der Gänge im Harz, der Dillmulde, dem Siegerland und dem Distrikt Untere Lahn sind auch die im Kapitel 6.2. beschriebenen Pb-Isotopendaten aus der Literatur enthalten. Detailliertere Gegenüberstellungen der einzelnen Proben von den in vorliegender Arbeit untersuchten Vorkommen mit den Artefakten befinden sich im Anhang (Abb. A5 bis A10 – die Diagramme entsprechen denen, die in Kapitel 5.4. abgebildet sind).

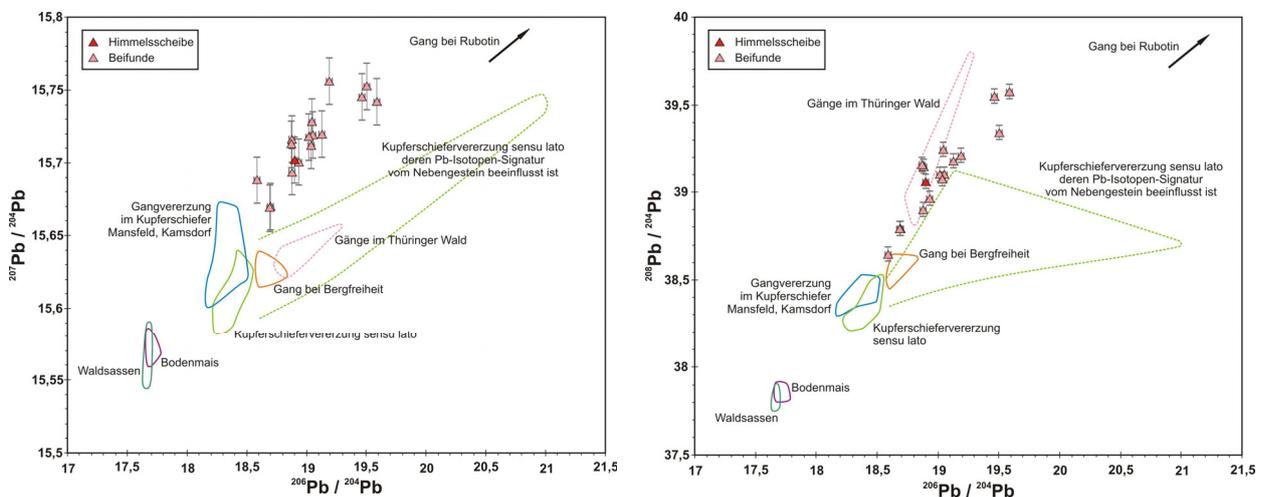


Abb. 7.1.1: Vergleich der Artefakte von Nebra (Dreiecke) mit der Kupferschiefervererzung sensu lato\*, der Gangvererzung im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf\*, den Gängen im Thür. Wald und bei Bergfreiheit, dem Gangvorkommen bei Rubotin, sowie den SHMS-Vorkommen von Waldsassen\* und Bodenmais\* (\* ergänzt mit Literaturdaten).

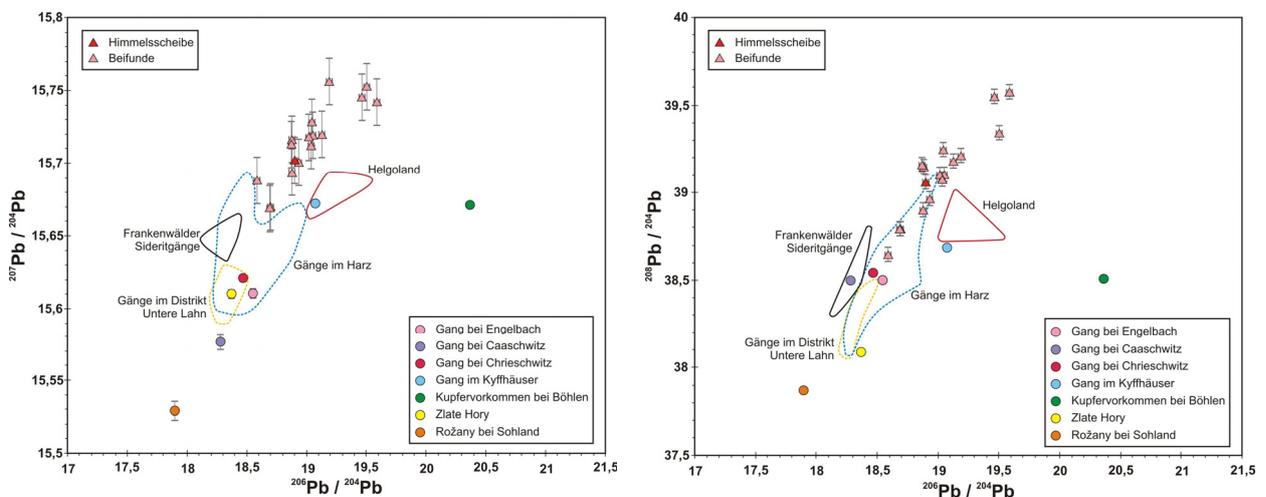


Abb. 7.1.2: Vergleich der Artefakte von Nebra (Dreiecke) mit der Kupfervererzung im Buntsandstein von Helgoland, den Gängen im Harz\*, den Franckenwälder Sideritgängen\* und den Gängen im Distrikt Untere Lahn\*, sowie den Einzelproben der Vorkommen von Zlate Hory, Böhlen und aus den Gängen von Engelbach, Caaschwitz, Chrieschwitz, Rožany bei Sohland und dem Kyffhäuser (\* ergänzt mit Literaturdaten)

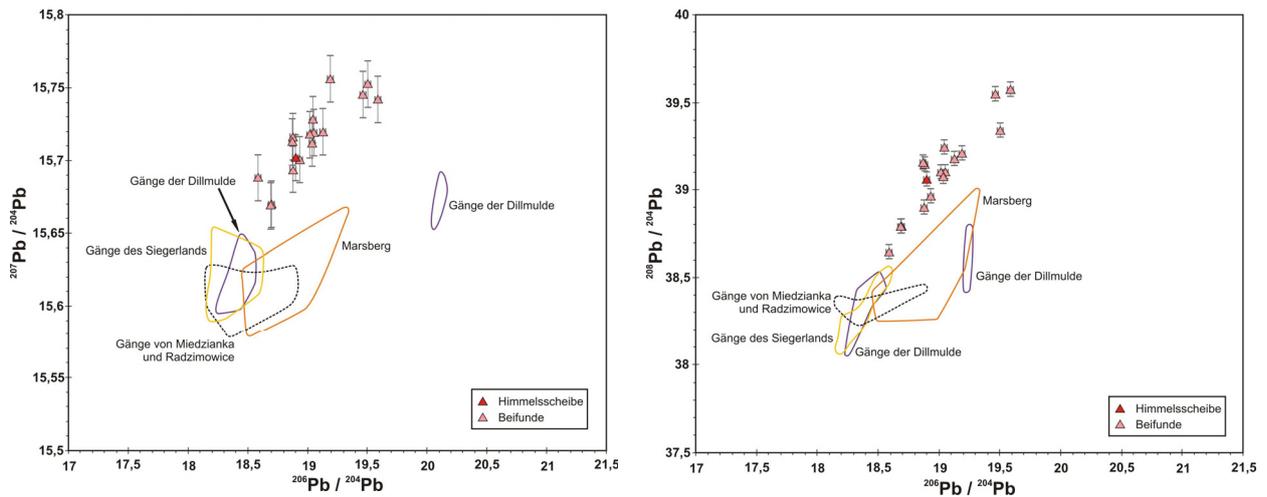


Abb. 7.1.3: Vergleich der Artefakte von Nebra (Dreiecke) mit dem Kupfervorkommen von Marsberg und den Gängen aus Dillmulde\*, Siegerland\* und von Miedzianka und Radzimowice (\* ergänzt mit Literaturdaten).

Die Gänge im Thüringer Wald und im Harz überschneiden sich nur in einzelnen Pb-Isotopenverhältnissen mit den Artefakten von Nebra. Damit ist keine Übereinstimmung gegeben. Bei allen übrigen Distrikten und Vorkommen bestehen keinerlei Überschneidungen. Zum Gangvorkommen von Niederrossbach (Dillmulde) selbst liegen keine verlässlichen Pb-Isotopenverhältnisse vor. Jedoch ist zu erwarten, dass die Pb-Isotopenzusammensetzung in eine der beiden Populationen der Dillmulde fällt, welche nicht mit derjenigen der Nebraer Artefakte übereinstimmen.

Die Pb-Isotopenpopulation der Gänge im Harz zeigt im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm eine Einbuchtung im Bereich der Pb-Isotopenzusammensetzungen einiger Nebraer Artefakte, so dass nur eine geringe Überschneidung mit den Fehlergrenzen der Daten einiger Beifunde besteht. Diese Form kommt durch die unterschiedlichen Trends in den Daten dieser Studie (vermutlich teilweise von Uran beeinflusst) und den Daten aus der Literatur zustande. Das folgende Diagramm zeigt noch einmal klarer, dass in diesem Bereich keine Datenpunkte liegen und wegen der verschiedenen Trends auch eher keine weiteren Datenpunkte zu erwarten sind.

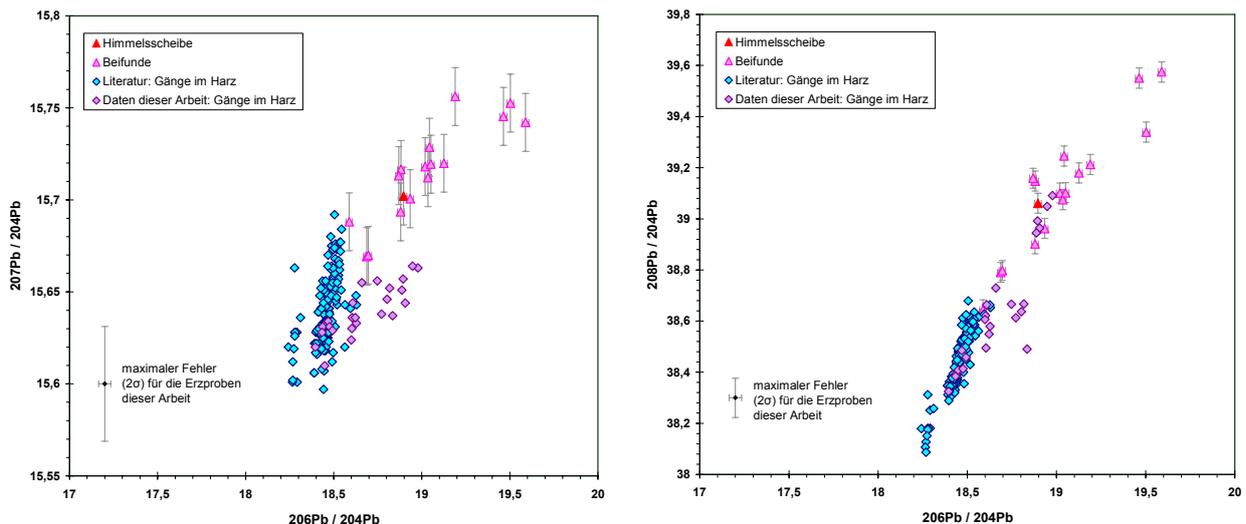


Abb. 7.1.4: Pb-Isotopenpopulationen der Proben dieser Arbeit und der Literaturdaten von Gängen im Harz im Vergleich mit den Artefakten von Nebra. Der für die Proben dieser Arbeit angegebene maximale Fehler trifft nur auf eine Probe zu. Die Proben, die im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm „unterhalb“ der Artefakte liegen, zeigen deutlich kleinere Fehler, so dass nur in zwei Fällen eine minimale Überschneidung mit den Fehlergrenzen zweier Artefakte besteht.

Die folgende Abbildung vergleicht die Pb-Isotopenzusammensetzung der Artefakte von Nebra mit in der Literatur publizierten Pb-Isotopendaten verschiedener Kupfervorkommen innerhalb des Arbeitsgebietes, die in der vorliegenden Studie nicht bearbeitet wurden. Dazu gehören Daten des SHMS-Vorkommens vom Rammelsberg im Harz (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993) und Daten von Gängen im Ruhrkarbon (Diedel & Baumann 1988), im Taunus (Leveque & Jakobus 1994), bei Wallenfels im Thüringer Schiefergebirge, Erbdorf im Fichtelgebirge und Wölsendorf im Oberpfälzer Wald (alle drei aus Höhndorf & Dill 1986). Daten aus Niederschlag et al. (2003) sind nicht mit abgebildet. Sie wurden bereits durch Pernicka mit den Nebraer Funden verglichen und zeigen keine Übereinstimmungen (Pernicka in Vorb.). Die Pb-Isotopie der genannten Kupfervorkommen weist keine Übereinstimmung mit derjenigen der Nebraer Artefakte auf, auch wenn ein Datenpunkt des Gangvorkommens von Wölsendorf am Rand der Artefaktpopulation liegt. Dabei sind die einzelnen Vorkommen Pb-isotopisch gut unterscheidbar; mit Ausnahme von Erbdorf und Wölsendorf. Es ist allerdings zu beachten, dass die genannten Pb-Isotopendaten aus der Literatur, bei denen es sich um Daten von Erzmineralseparaten handelt, nur begrenzt mit den Artefakten von Nebra zu vergleichen sind, wenn sie nicht durch Daten von Erzen (Mineralgemische) ergänzt werden.

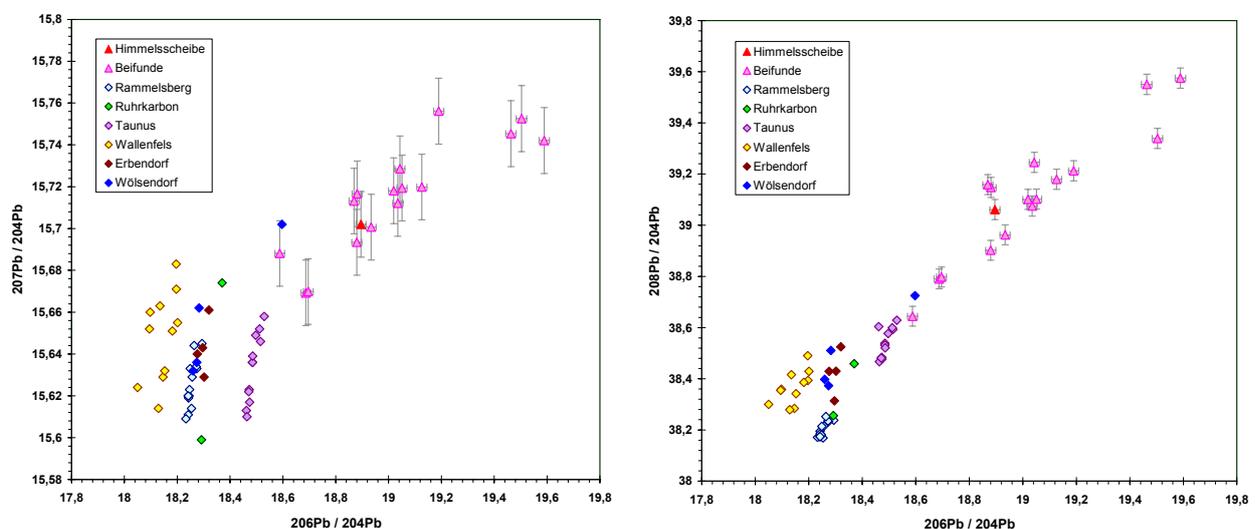


Abb. 7.1.5: Vergleich der Pb-Isotopendaten der Nebraer Artefakte mit Daten aus der Literatur zu einigen hier nicht bearbeiteten Kupfervorkommen im Arbeitsgebiet.

Da fast alle bisher untersuchten Kupfervorkommen anhand ihrer Pb-Isotopensignaturen als Rohstoffquelle für die Nebraer Artefakte ausgeschlossen werden können (abgesehen von fehlenden Daten zur Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal), wird die jeweilige Spurenelementzusammensetzung hier nicht im Detail mit der der Artefakte von Nebra verglichen. Entsprechende Diagramme befinden sich im Anhang (Abb. A11 bis A34). Diese vergleichen jeweils die mittels RFA und die mittels INAA bestimmte Spurenelementzusammensetzung von Erzen dieser Arbeit und den Artefakten von Nebra (Nickel 2003, Pernicka in Vorb.); jeweils umgerechnet auf relative Gehalte bezogen auf Kupfer. Diese Trennung zwischen den Methoden wurde vorgenommen, da nicht nur bei den Erzproben dieser Arbeit, sondern auch bei den Artefakten von Nebra teils mehr, teils weniger deutliche Abweichungen zwischen den RFA- und INAA-Ergebnissen auftreten. Da jedoch Nickel (2003) mittels INAA keine Kupfergehalte bestimmt hat, werden zur Berechnung der relativen Gehalte aus den INAA-Daten die mittels RFA bestimmten Kupfergehalte herangezogen.

Im Folgenden wird nur auf einzelne Aspekte der Spurenelementzusammensetzungen der Erze im Vergleich zu den Nebraer Artefakten eingegangen.

Die relativen Spurenelementgehalte der Probe Selgt-1 von der Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal (Abb. 7.1.6) zeigen keine Übereinstimmung mit denen der Artefakte von Nebra. Die relativen Ag-, Sb- und Bi-Gehalte (Gehalt jeweils unter der Nachweisgrenze) können zwar mit denjenigen relativen Gehalten in den Artefakten zusammenfallen, die unter der Nachweisgrenze liegen, aber die Gehalte an As und Ni sind deutlich zu niedrig. Der relative Co-Gehalt ist deutlich höher als der der Artefakte, auch dann noch, wenn man von einem eher zu hohen Messwert ausgeht (vgl. Kap. 3.4. und

5.2.). Allerdings wird der relative Co-Gehalt hier und im Weiteren wegen der möglichen Veränderlichkeit bei bestimmten Verhüttungsprozessen nicht als belastbares Kriterium behandelt. Die Spurenelementzusammensetzung lässt das Kupfervorkommen von Seligenthal also eher nicht als potentielle Rohstoffquelle für die Nebraer Artefakte erscheinen, aber bei Selgt-1 handelt es sich um eine Einzelprobe und Pb-Isotopendaten liegen nicht vor, so dass eine endgültige Aussage darüber nicht gemacht werden kann.

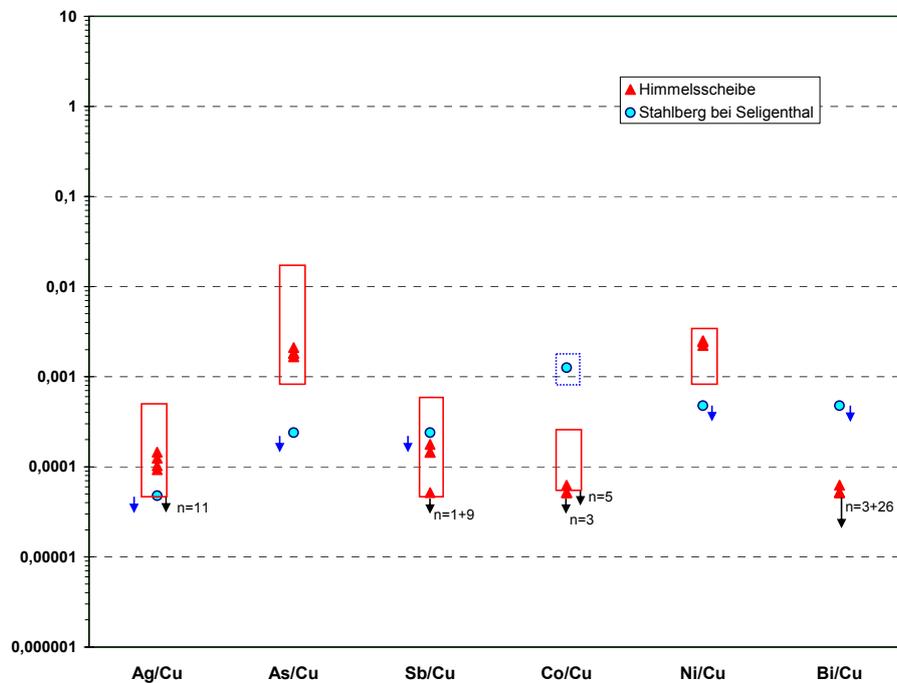


Abb. 7.1.6: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte (RFA-Daten) der Probe aus der Gangvererzung von Seligenthal mit den Nebraer Artefakten. Die roten Dreiecke stellen die Proben der Himmelscheibe dar und die roten Rechtecke deuten die Variationsbreite der Beifunde an. Werte unterhalb der Nachweisgrenze sind mit Pfeilen markiert, die in Richtung des tatsächlichen Wertes weisen (blau: Erzprobe, schwarz: Artefakte, bei Mehrfachnennungen steht die erste Zahl für die Himmelscheibe und die zweite für die Beifunde). Das blaue Rechteck gibt die Fehlergrenzen für das betreffende Spurenelement in der Erzprobe an.

Unter den übrigen Erzproben sind einige in ihren relativen Spurenelementgehalten deutlich verschieden von den Nebraer Artefakten. Dazu gehören unter anderem (mit Ausnahme von CuSKyf-1 vom Kyffhäuser) die Proben der Kupferschieferversetzung *sensu lato*, die vor allem zu Ag-reich sind. Die Proben von Wettelrode sind hierfür ein gutes Beispiel (Abb. 7.1.7). Diese weisen wesentlich höhere relative Gehalte an Ag und Ni auf als die Nebraer Artefakte, wenngleich bei As eine Überschneidung besteht und die Sb- und Bi-Gehalte, die alle unter der Nachweisgrenze der RFA liegen, mit den entsprechenden relativen Gehalten der Artefakte zusammenfallen können. Im Übrigen sind die Proben der Kupferschieferversetzung bei Rottleberode, Bad Lauterberg und Könnern, welche sich als sehr Cu-arm erwiesen haben, nicht unmittelbar als potentielles Erz für die Bronzezeit anzusehen (die Proben gehören der Pb- bzw. Zn-Zone an). Sie charakterisieren aber die Kupferschieferversetzung in der betreffenden Region Pb-isotopisch.

Weitere Beispiele für deutlich von den Nebraer Artefakten verschiedene Erze sind die Proben von Gangerzen der „Alten“ und „Neuen Constanze“ (Dillmulde), den beiden Gruben bei Donsbach (Dillmulde) und die Probe von Rožany bei Sohland (Lausitz). Die Proben von der „Alten“ und „Neuen Constanze“ sind vor allem ärmer an Sb und Ni und die Probe von Rožany (Cu-Ni-Vererzung) ist erheblich zu Ni-reich (Abb. 7.1.7). Bei den Proben von Donsbach sind besonders die mittels INAA bestimmten Spurenelementzusammensetzungen klar von denen der Nebraer Artefakte unterscheidbar (Abb. 7.1.8).

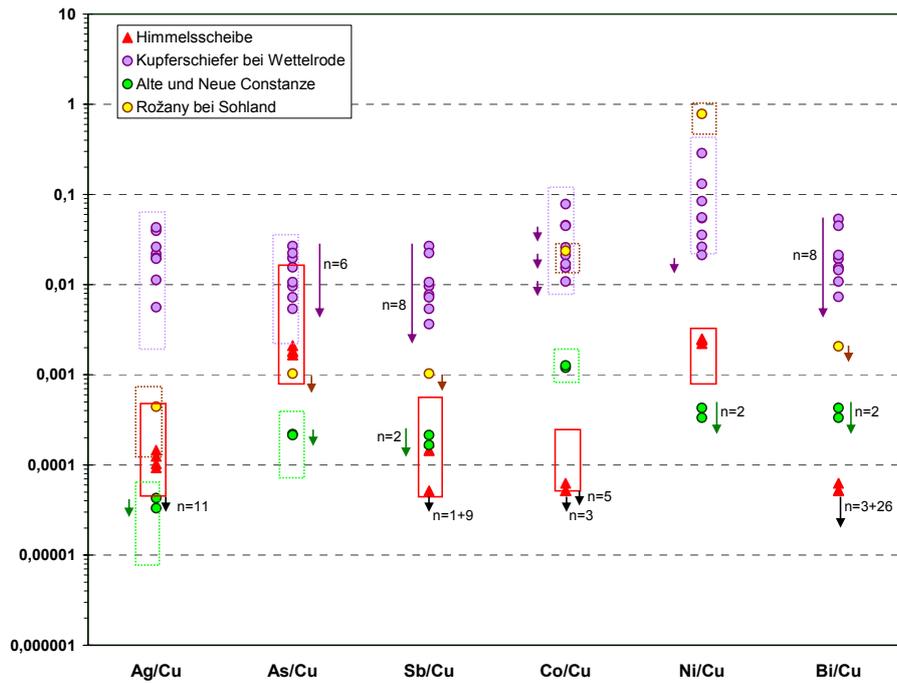


Abb. 7.1.7: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte (RFA-Daten) der Proben von der Kupferschiefervererzung sensu lato bei Wettelrode (8 Proben), sowie der Proben von der „Alten“ und „Neuen Constanze“ in der Dillmulde (2 Proben) und von Rožany bei Sohland (1 Probe) mit entsprechenden Daten der Nebraer Artefakte. Die Darstellungsweise entspricht der in Abb. 7.1.6. Die gestrichelten Rechtecke geben jedoch die Variationsbreite aller Proben eines Vorkommens einschließlich der Fehlergrenzen an, wobei Werte unterhalb der Nachweisgrenze nicht berücksichtigt sind.

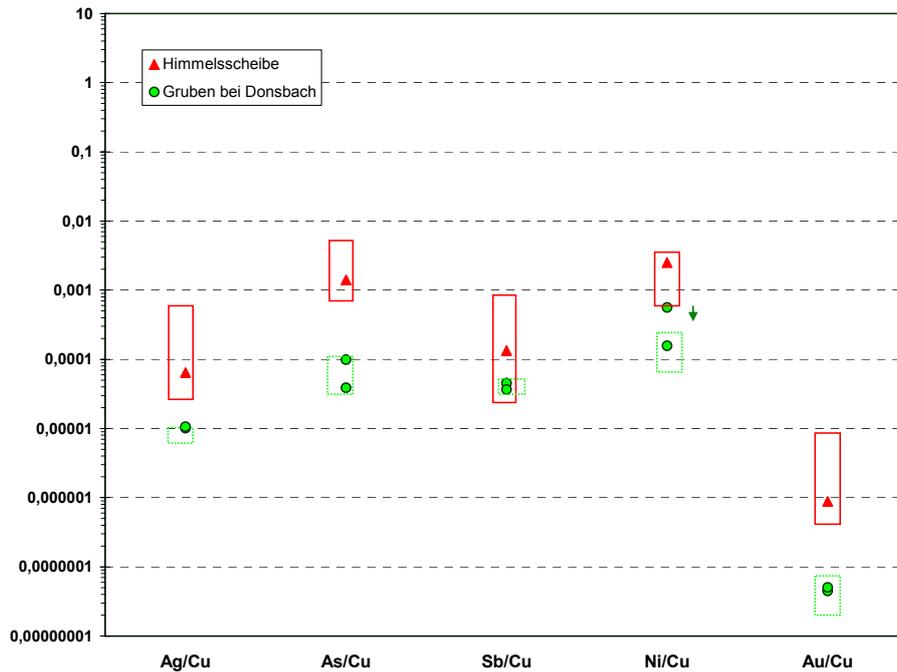


Abb. 7.1.8: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte (INAA-Daten) der Proben von Donsbach in der Dillmulde (2 Proben) mit entsprechenden Werten der Nebraer Artefakte. Darstellungsweise wie oben.

Andere Erzproben sind den Artefakten von Nebra relativ ähnlich, zum Beispiel diejenigen der Kupferschiefervererzung sensu lato am Kyffhäuser (Abb. 7.1.9), die Proben vom Neudorfer Gangzug im Harz (Abb. 7.1.9 und 7.1.10), vom Gangvorkommen Bad Lauterberg im Harz (Abb. 7.1.10), oder von den Gängen bei Eiserfeld im Siegerland (Abb. 7.1.9). Dazwischen existiert ein ganzes Spektrum verschieden starker Überschneidungen bei einzelnen oder mehreren Elementen.

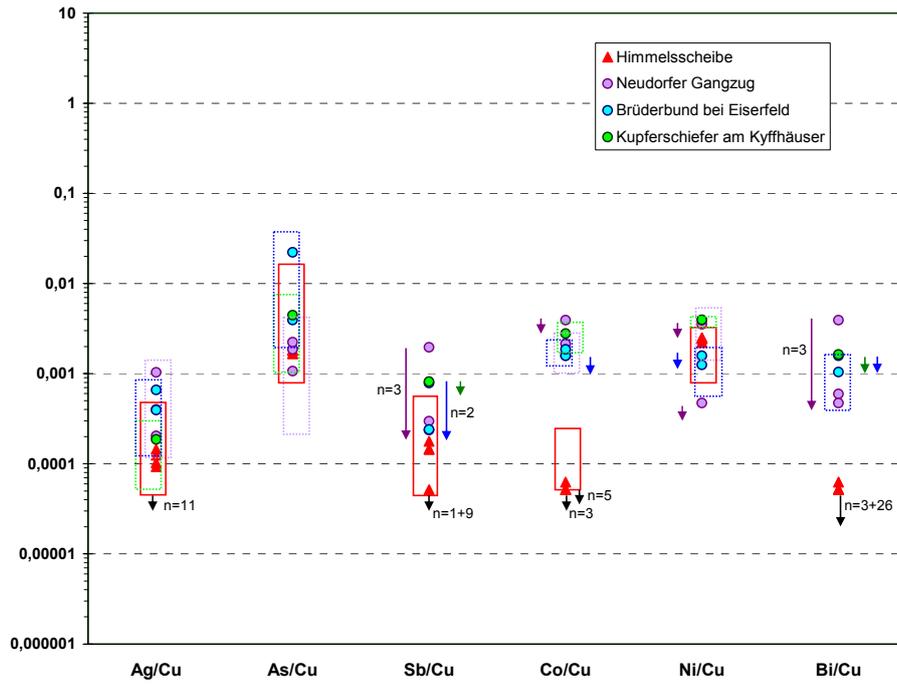


Abb. 7.1.9: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte (RFA-Daten) der Probe von der Kupferschiefervererzung sensu lato am Kyffhäuser, der Proben vom Neudorfer Gangzug und von der Grube „Brüderbund“ im Siegerland mit den Nebraer Artefakten. Darstellungsweise wie oben

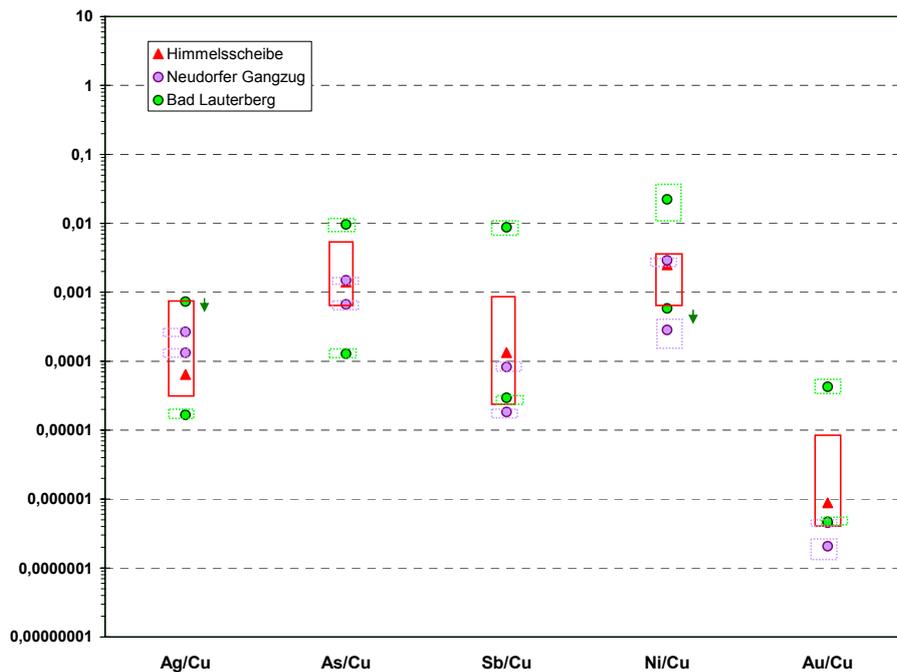


Abb. 7.1.10: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte (INAA-Daten) von jeweils zwei von drei Proben aus dem Neudorfer Gangzug (Nd-1 und -2) und von den Gängen bei Bad Lauterberg (Laut-1 und -5) mit den Nebraer Artefakten. Darstellungsweise wie bisher; hier aber mit dem Unterschied, dass die gestrichelten Rechtecke nur jeweils die Fehlergrenzen der Datenpunkte markieren, da nicht alle Probe der beiden Erzvorkommen im Diagramm enthalten sind.

Betrachtet man die Erzproben dieser Arbeit hinsichtlich der verschiedenen Haupt-Kupfererzminerale, so sind die Artefakte von Nebra in ihrer Spurenelementzusammensetzung eher mit silberarmen Chalkopyriterzen als mit den relativ silberreichen Fahlerzen vergleichbar (Abb. 7.1.11 und 7.1.12). Dabei zeigen sich Co, Ni und Bi als eher indifferent. Die hohen relativen As- und Sb-Gehalte der Fahlerze sind, wie schon erwähnt, nur begrenzt interpretierbar, wegen der teilweisen Flüchtigkeit beim Verhütten. Sie dürften aber trotz dieser Einschränkung eher zu hoch sein. Das klarste Kriterium ist aber der relative Silbergehalt, der bei den Fahlerzen tendenziell höher als bei den Chalkopyrit-Erzen und deutlich zu hoch

für die Nebraer Artefakte ist. Eine Zusammenstellung nach anderen Probenarten wie Bornit/Chalkosin- oder Malachit/Cu-Oxid-Proben zeigt dagegen kein so klares Bild.

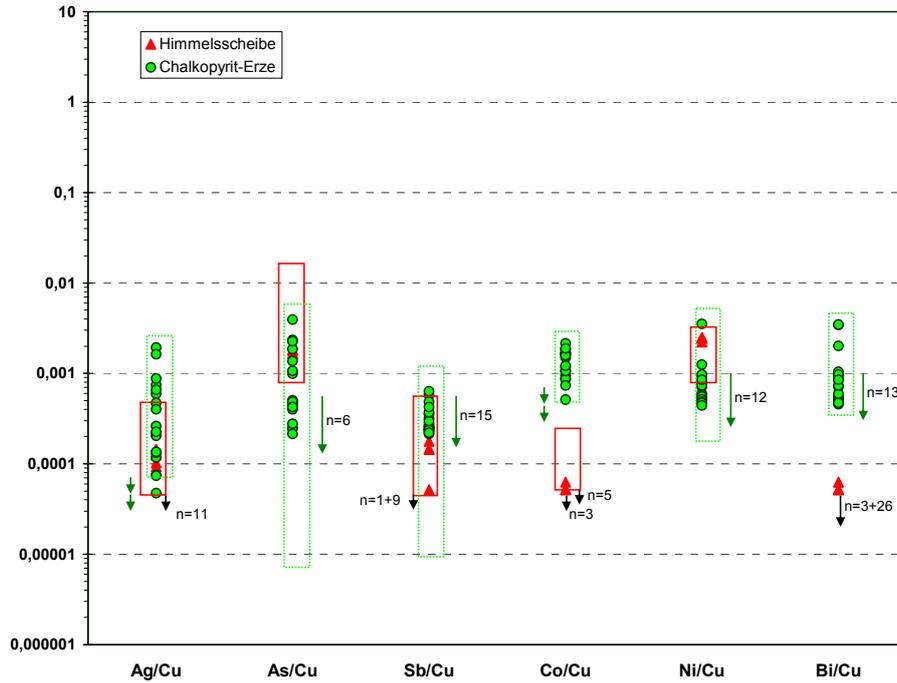


Abb. 7.1.11: Vergleich von Chalkopyrit-Proben aus dem ganzen Arbeitsgebiet (Bgfr-3, Caa-1, Eiserf-2, Ems-1, EmsM-1, EmsN-1, Gön-1, Grund-2, Hütt-1, Lich-3, Mied-1, Nd-1, Nd-2, Roth-2, Silb-1, Storch-1, Storch-2, Wer-1) mit den Nebraer Artefakten. Darstellungsweise wie bisher. Zu den relativen Bi-Gehalten ist anzumerken, dass sie teilweise eventuell zu hoch sind (vgl. Kapitel 5.2. zu den jeweiligen Proben)

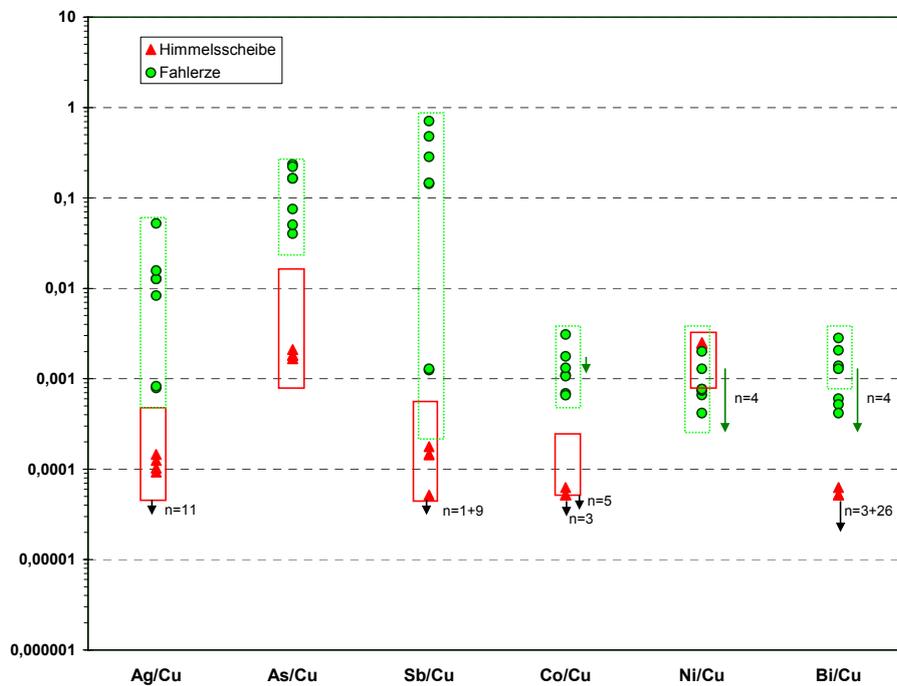


Abb. 7.1.12: Vergleich von Fahlerzproben aus verschiedenen Regionen des Arbeitsgebietes (Kam-1, Kam-2, NdRosb-1, Roth-1, Roth-4, Tann-1, Tann-1) mit den Nebraer Artefakten. Darstellungsweise wie bisher. Die Sb-Gehalte bei Kam-1 und -2 sind allerdings ungenau und bei Roth-1 und -4 eher zu klein (vgl. Kapitel 5.2.)

Im Folgenden werden auch in der Literatur publizierte Spurenelementgehalte mit denen der Artefakte von Nebra verglichen (Stühmer et al. 1978, Schulz 1981, Dill 1985, Stribny 1989, Boltz et al. 1995, Heppenheimer 1995, Borg & Frotzcher 2004, Durali-Müller 2005). Dies umfasst die Daten, die in Kapitel 6.1. mit entsprechenden Daten der vorliegenden Arbeit verglichen wurden und weitere Daten aus den

betreffenden Publikationen zu einigen hier nicht bearbeiteten Kupfervorkommen. Die als zu hoch identifizierten Bi-Gehalte aus Stühmer et al. (1978) werden nicht mit einbezogen. Die Literaturdaten wurden mit verschiedenen Methoden gewonnen und umfassen Elemente, die an den Nebraer Artefakten teils mit INAA und teils nur mit RFA bestimmt wurden (Nickel 2003, Pernicka in Vorb.). Daher werden zum Vergleich mit den Nebraer Artefakten deren mittels INAA bestimmte Spurenelementgehalte durch die mittels RFA bestimmten Co-, Se- und Bi-Gehalte ergänzt.

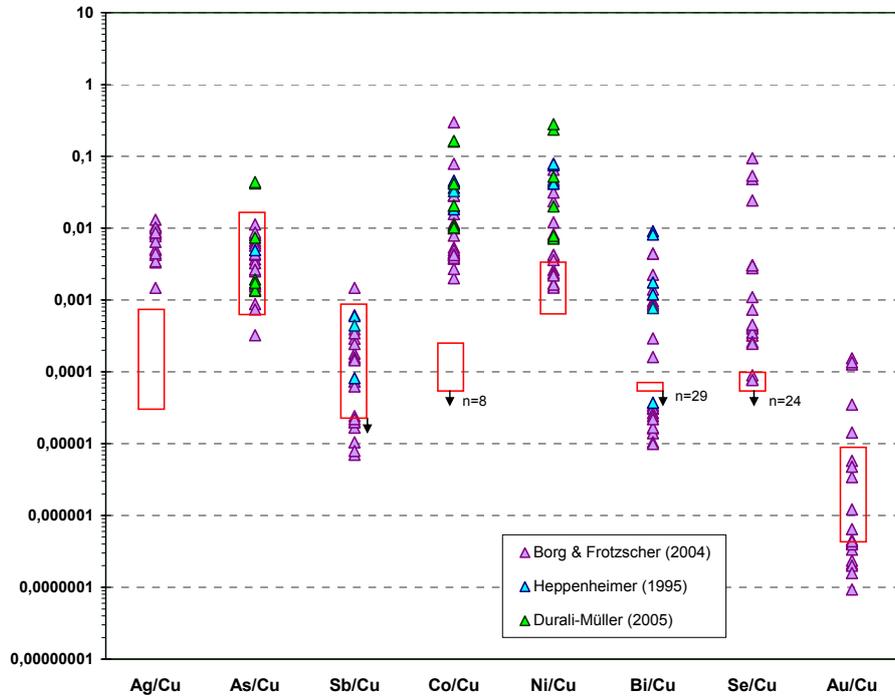


Abb. 7.1.13: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte von Proben der KupferschiefERVERERZUNG sensu lato im Sangerhäuser Revier (Heppenheimer 1995, Borg & Frotzcher 2004, Durali-Müller 2005; insgesamt 33 Proben) mit den Nebraer Artefakten.

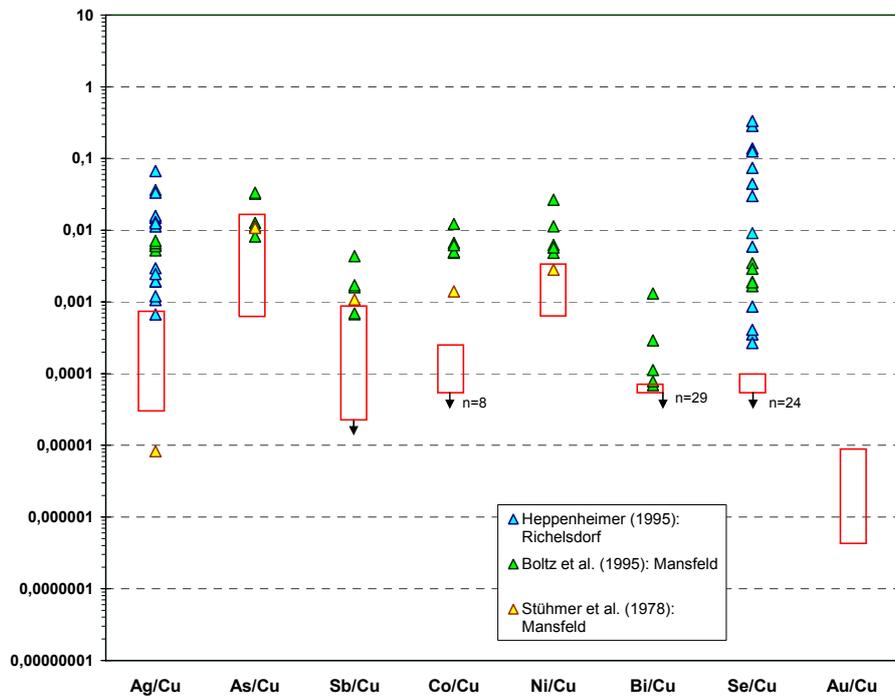


Abb. : 7.1.14: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte von Proben der KupferschiefERVERERZUNG sensu lato im Mansfelder und Richelsdorfer Revier (aus Stühmer et al. 1978, Boltz et al. 1995, Heppenheimer 1995; insgesamt 16 Proben von Richelsdorf und 6 Proben von Mansfeld) mit den Nebraer Artefakten.

Die Kupferschieferverserzung *sensu lato* in den Revieren Sangerhausen (Abb. 7.1.13 – Heppenheimer 1995, Borg & Frotzscher 2004, Durali-Müller 2005), sowie Mansfeld und Richelsdorf (Abb. 7.1.14 – Stühmer et al. 1978, Boltz et al. 1995, Heppenheimer 1995) zeigt, wie auch die Proben der vorliegenden Arbeit, deutlich höhere relative Ag-Gehalte als die Nebraer Artefakte. Einzige Ausnahme ist eine Probe aus dem Mansfelder Revier bei Stühmer et al. (1978), deren Ag-Gehalt von 1 µg/g allerdings vermutlich unter der Nachweisgrenze liegt. Bei den übrigen Elementen gibt es zum Teil Überschneidungen mit den Artefakten, jedoch sind ihre Gehalte meist eher zu hoch (ähnlich wie in entspr. Proben dieser Arbeit).

Vom Kupfervorkommen Marsberg stehen aus der Literatur (Stribny 1989) nur Co- und Ni-Gehalte zum Vergleich zur Verfügung. Diese ergänzen gut die Spurenelementdaten der Proben dieser Arbeit, bei denen die Co-Gehalte und ein Teil der Ni-Gehalte unter der Nachweisgrenze der RFA liegen. Die aus den Daten von Stribny (1989) berechneten relativen Co-Gehalte sind unter dem schon genannten Vorbehalt zu betrachten. Bei den Ni-Gehalten gibt es eine Überschneidung mit denen der Nebraer Artefakte, sie sind aber überwiegend zu hoch (Abb. 7.1.15). Zusammen mit den Daten dieser Studie (s. Abb. A19 im Anhang) ergibt sich, dass das Kupfervorkommen von Marsberg in der Spurenelementzusammensetzung den Nebraer Artefakten doch eher unähnlich ist.

Die Spurenelementdaten aus Stühmer et al. (1978) und Schulz (1981) zu Kupfererzen von Helgoland zeigen wie auch die Daten dieser Arbeit Überschneidungen mit den Nebraer Artefakten bei allen betrachteten Elementen, wobei aber ein Großteil der relativen Ag-Gehalte höher ist als bei den Artefakten (Abb. 7.1.15).

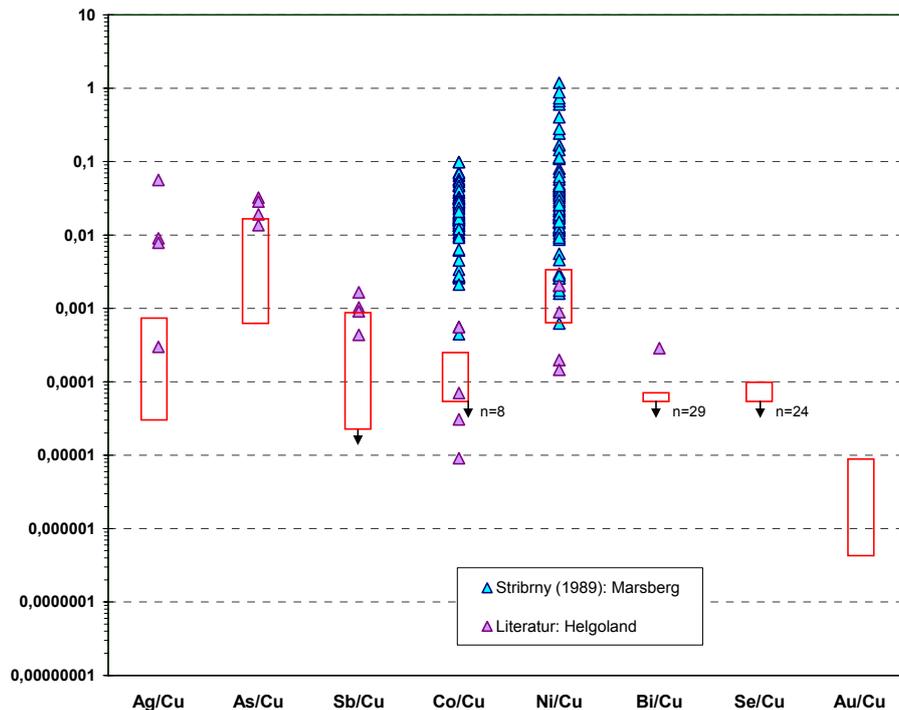


Abb. 7.1.15: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte in Erzproben von Helgoland und Marsberg (Stühmer et al. 1978, Schulz 1981, Stribny 1989; 4 Proben von Helgoland und 68 Proben von Marsberg) mit denen der Nebraer Artefakte.

Die relativen Spurenelementgehalte, die auf den Daten von Stühmer et al. (1978) und Dill (1985) zu den Erzvorkommen von Waldsassen (insgesamt 3 Proben) und Bodenmais (1 Probe) basieren, sind denjenigen der Nebraer Artefakte eher unähnlich. Dagegen kommen die relativen Spurenelementgehalte des Erzvorkommens von Zlate Hory (Stühmer et al. 1978; 1 Probe) denen der Artefakte relativ nahe (Abb. 7.1.16 und zum Vergleich Abb. A28 und A30 im Anhang).

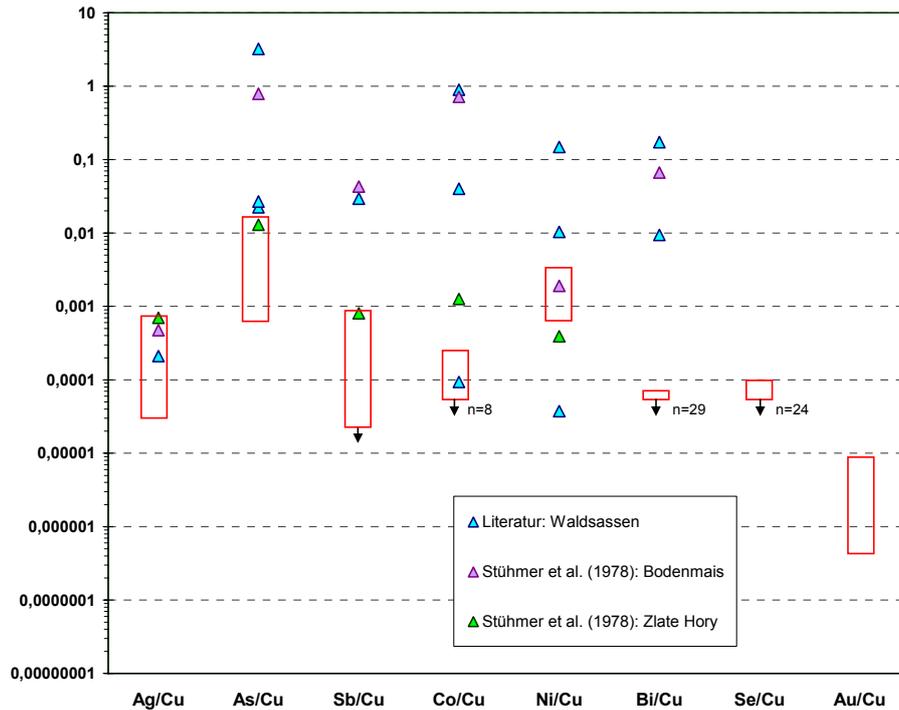


Abb. 7.1.16: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte in Erzproben vom Silberberg bei Bodenmais, der Grube „Bayerland“ bei Waldsassen und von Zlate Hory (Stühmer et al. 1978, Dill 1985) mit denen der Nebraer Artefakte.

Die Kupfervorkommen, deren relative Spurenelementgehalte im folgenden Diagramm (Abb. 7.1.17) dargestellt sind (Daten aus Stühmer et al. 1978), zeigen bis auf die Gangvererzung von Radzimowice einige Ähnlichkeiten mit den Nebraer Artefakten, jedoch keine Übereinstimmung. Die Probe von Radzimowice ist dagegen deutlich verschieden von den Artefakten. Die Daten aus der Literatur ergeben damit das gleiche Bild wie die Daten der vorliegenden Arbeit. Die sehr niedrigen Ag-Gehalte und der niedrige Co-Gehalt der Proben aus dem Siegerland liegen dabei vermutlich unter der Nachweisgrenze (von Stühmer et al. 1978 mit jeweils  $1\mu\text{g/g}$  angegeben).

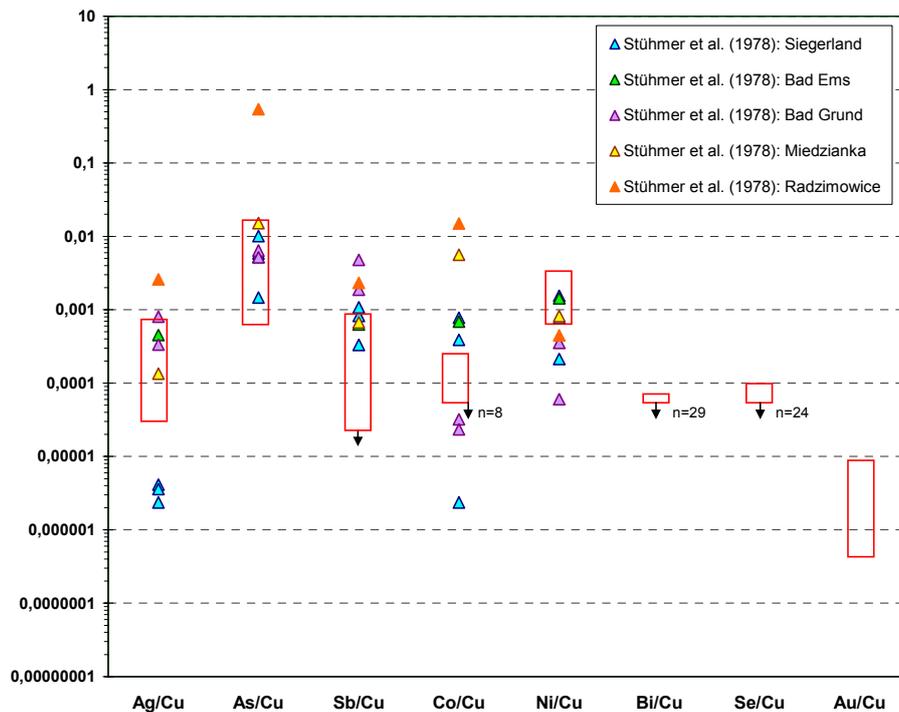


Abb. 7.1.17: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte in Erzproben der Gangvorkommen im Siegerland (3 Proben), bei Bad Ems (1 Probe), bei Bad Grund im Harz (2 Proben), sowie von Miedzianka und Radzimowice in Südwest-Polen (je 1 Probe) mit denen der Nebraer Artefakte. Daten zu den Erzen aus Stühmer et al. (1978).

Schließlich folgen noch zwei Diagramme mit den Spurenelementzusammensetzungen einiger Kupfervorkommen, die in dieser Studie nicht bearbeitet wurden. Dies umfasst Daten aus Stühmer et al. (1978) zum Rammelsberger Vorkommen im Harz (2 Proben), zu einem Gang bei Altenau im Oberharz (1 Probe) und zum „Sontra-Sandstein“ (1 Probe), bei dem es sich vermutlich um Sanderz (Kupferschieferversetzung sensu lato) handelt, sowie um Daten aus Dill (1985) zu zwei Kupfervorkommen des Erzdistriktes von Kupferberg an der Münchberger Gneismasse (Kupferberg selbst mit 9 Proben und Marktschorgast mit 7 Proben). Unter diesen Vorkommen zeigt keines eine Übereinstimmung mit den Nebraer Artefakten.

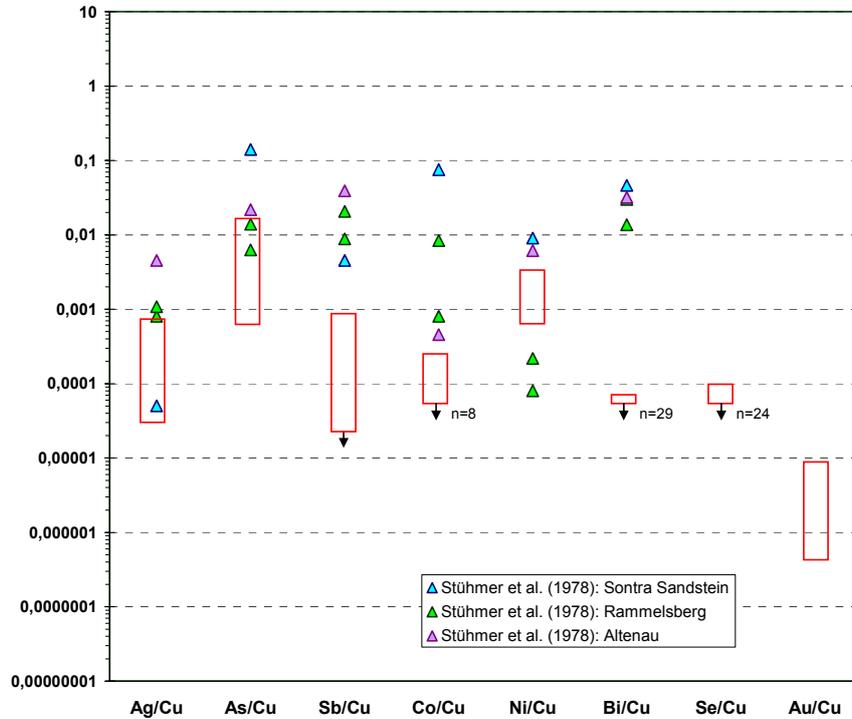


Abb. 7.1.18: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte in Erzproben vom Rammelsberg, einem Gang bei Altenau und dem „Sontra Sandstein“ (Stühmer et al. 1978) mit denen der Nebraer Artefakte.

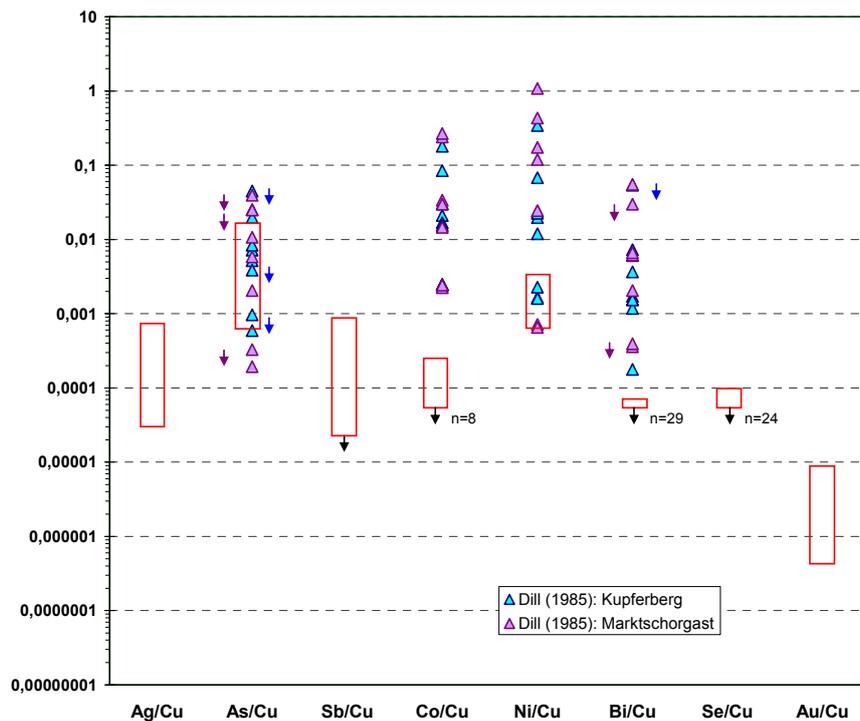


Abb. 7.1.19: Vergleich der relativen Spurenelementgehalte in Erzproben der Kupfervorkommen Kupferberg und Marktschorgast (Dill 1985) mit denen der Nebraer Artefakte. Werte unter der Nachweisgrenze sind mit Pfeilen markiert.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die in dieser Studie bearbeiteten Kupfervorkommen als Rohstoffquelle für die Artefakte von Nebra weitestgehend auszuschließen sind. Unsicher ist die Aussage zu der Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal, da keine Pb-Isotopendaten vorliegen. Die Spurenelementzusammensetzung der Probe ist aber den Nebraer Artefakten eher unähnlich. Bei den Erzvorkommen zu denen sowohl Pb-Isotopen- als auch Spurenelementdaten aus dieser Studie oder aus der Literatur vorliegen, sind die Pb-Isotopenzusammensetzungen klar verschieden von den Nebraer Artefakten, während die Spurenelementzusammensetzungen den Artefakten meist unähnlich, teils aber auch ähnlich sind.

Einige Erzvorkommen, zu denen nur Pb-Isotopendaten aus der Literatur vorliegen (Gangvorkommen im Ruhrkarbon, im Taunus, bei Wallenfels, Erbdorf und Wölsendorf), sind anhand dieser Daten klar als Rohstoffquelle für die Artefakte von Nebra auszuschließen. Weitere Vorkommen, zu denen aus der Literatur nur Spurenelementdaten vorliegen (ein Gang bei Altenau im Oberharz, der so genannte „Sontra-Sandstein“, sowie Kupferberg und Marktschorgast), weisen eher keine Ähnlichkeit zu den Artefakten von Nebra auf, allerdings ist wegen der geringen Probenzahl und dem Fehlen des primären Kriteriums Pb-Isotopie eine endgültige Aussage nicht möglich.

## 7.2. Exemplarischer Vergleich mit frühbronzezeitlichen Artefakten aus Sachsen Anhalt (NW2)

Neben dem Vergleich von Erzen mitteleuropäischer Kupfervorkommen mit den Artefakten von Nebra bestand eine grundsätzliche Aufgabe der vorliegenden Arbeit in der Erstellung einer Datenbasis für Vergleiche mit Kupfer- und Bronzeartefakten für den Raum Mitteleuropa. Innerhalb des DFG-Projektes wurden in einem weiteren Modul (Kurzbezeichnung NW2) frühbronzezeitliche Bronzegegenstände aus Sachsen-Anhalt untersucht. Die vom Bearbeiter Dr. Joachim Lutz zugänglich gemachten Spurenelement- und Pb-Isotopendaten der Artefakte werden hier exemplarisch mit den Erzdaten aus vorliegender Arbeit und mit Pb-Isotopen- und Spurenelementdaten aus der Literatur verglichen. Abb. 7.2.1 stellt die Pb-Isotopenzusammensetzung aller hier untersuchten Erzproben den Artefakten aus Modul NW2 gegenüber. Nur wenige Erzproben zeigen eine Pb-isotopische Überschneidung mit den Artefakten.

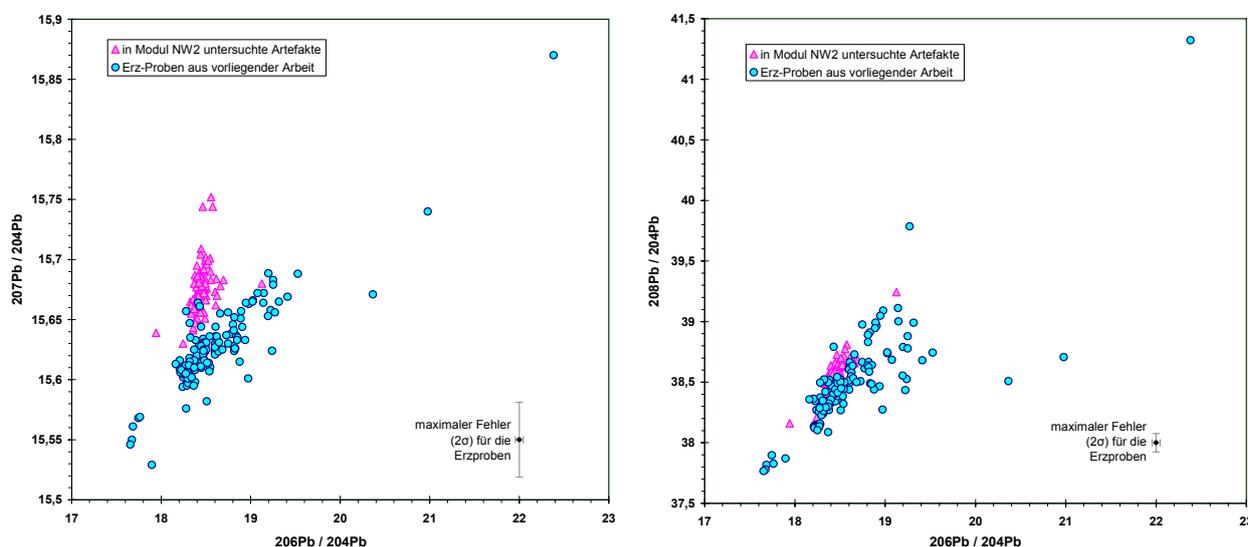


Abb. 7.2.1: Pb-isotopischer Vergleich aller Erzproben dieser Arbeit mit den in Modul NW2 untersuchten Artefakten. Der maximale Fehler für die Erzproben ist angegeben.

Bei Aufgliederung nach einzelnen Artefakt-Fundorten bzw. Horten, sowie einzelnen Kupfervorkommen ergibt sich folgendes: Es besteht eine deutliche Überschneidung zwischen den Proben aus den Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf und den Horten von Naumburg und Schkopau. Eine geringere Überschneidung bzw. eine Berührung der Pb-Isotopenpopulationen gibt es zwischen den genannten Gangvorkommen und den Artefakten von Bennewitz und Kanena III bzw. zwischen den Erzproben von Kamsdorf und den Artefakten von Dieskau III. In diese Betrachtung (Abb. 7.2.2) sind auch die Pb-Isotopendaten von zwei Proben des Kamsdorfer Reviers aus Niederschlag et al. (2003) einbezogen, die den genannten Artefakten aber Pb-isotopisch nicht nahe kommen.

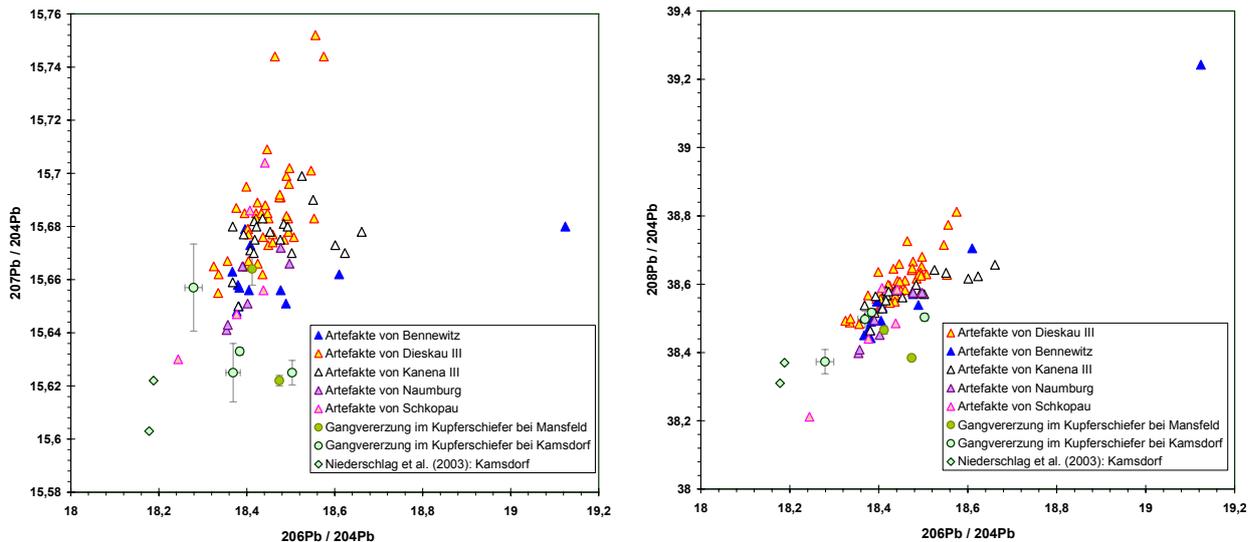


Abb. 7.2.2: Pb-isotopischer Vergleich der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf mit den Artefakten von Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau. Für die Erzproben sind jeweils die Fehlergrenzen angegeben. Die Daten zu Kamsdorf wurden ergänzt um Daten aus Niederschlag et al. (2003).

Betrachtet man die Spurenelementzusammensetzungen (RFA-Daten), so ergeben sich auch hier signifikante Ähnlichkeiten. Die folgenden Diagramme vergleichen die Spurenelementzusammensetzungen der Proben aus beiden Gangvorkommen mit den Artefakten der genannten Horte. Dabei sind auch die Artefakte einbezogen, von denen keine Pb-Isotopendaten vorliegen. Zwischen den Erzen von Mansfeld und den Artefakten von Naumburg und Schkopau (Abb. 7.2.3 und 7.2.4) besteht eine sehr gute Übereinstimmung der relativen Ag-Gehalte. Die relativen As-Gehalte der Artefakte liegen zwischen den stark differierenden Werten der beiden Proben von Mansfeld, damit aber innerhalb der Variationsbreite der Vererzung. Bei den relativen Sb-, Ni- und Bi-Gehalten gibt es deutliche Überschneidungen.

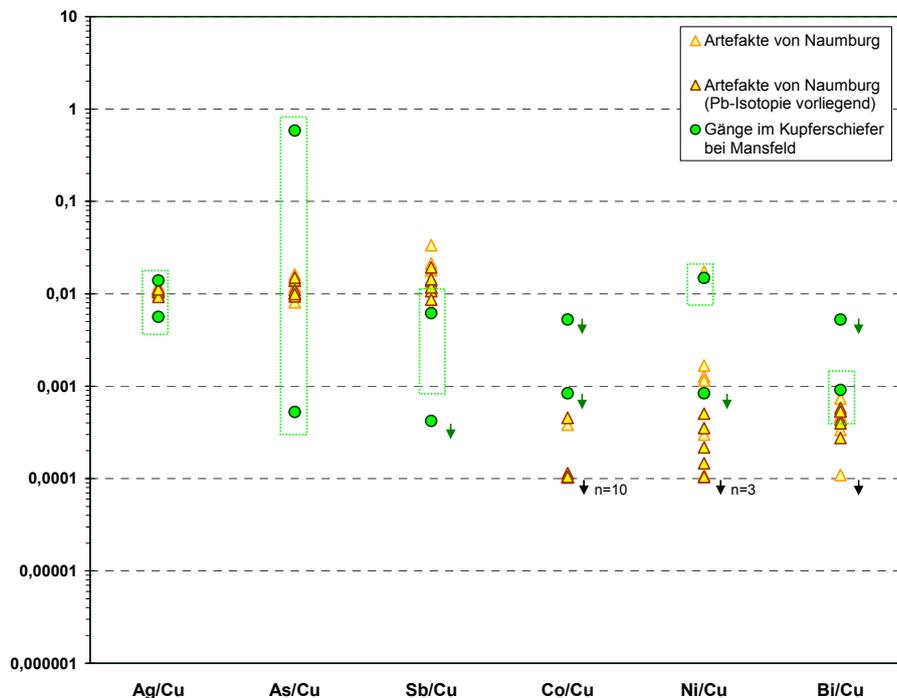


Abb. 7.2.3: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld mit den Artefakten von Naumburg. Die Darstellungsweise gleicht der in entsprechenden Diagrammen des vorangegangenen Kapitels. Die Artefakte zu welchen auch Pb-Isotopendaten vorliegen sind von den übrigen Artefakten leicht verschieden dargestellt.

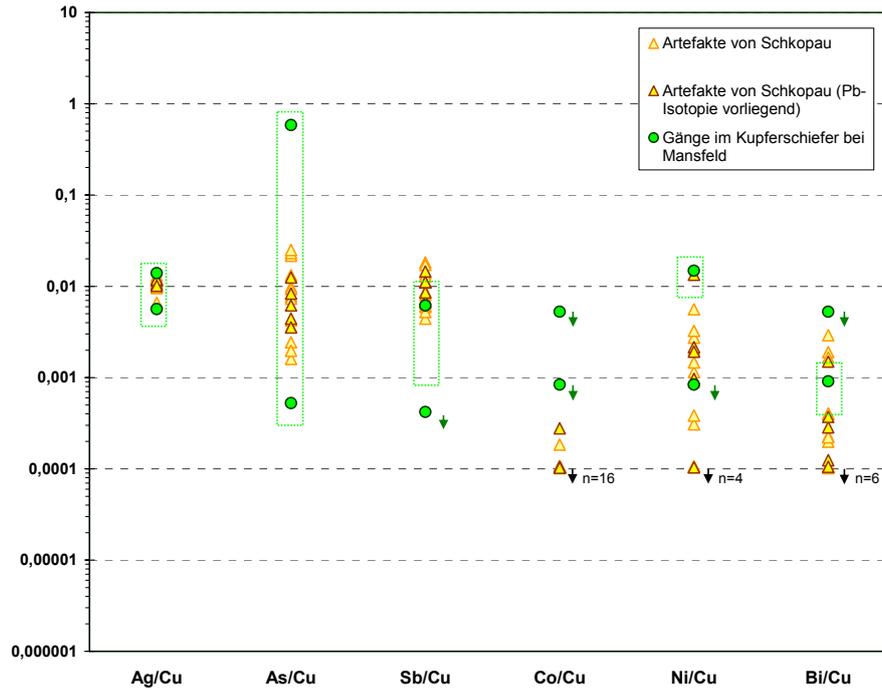


Abb. 7.2.4: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld mit den Artefakten von Schkopau.

Die Erze von Mansfeld zeigen auch mit den Artefakten von Bennewitz und Kanena III sehr starke Überschneidungen in allen betrachteten Spurenelementgehalten (Abb. 7.2.5 und 7.2.6).

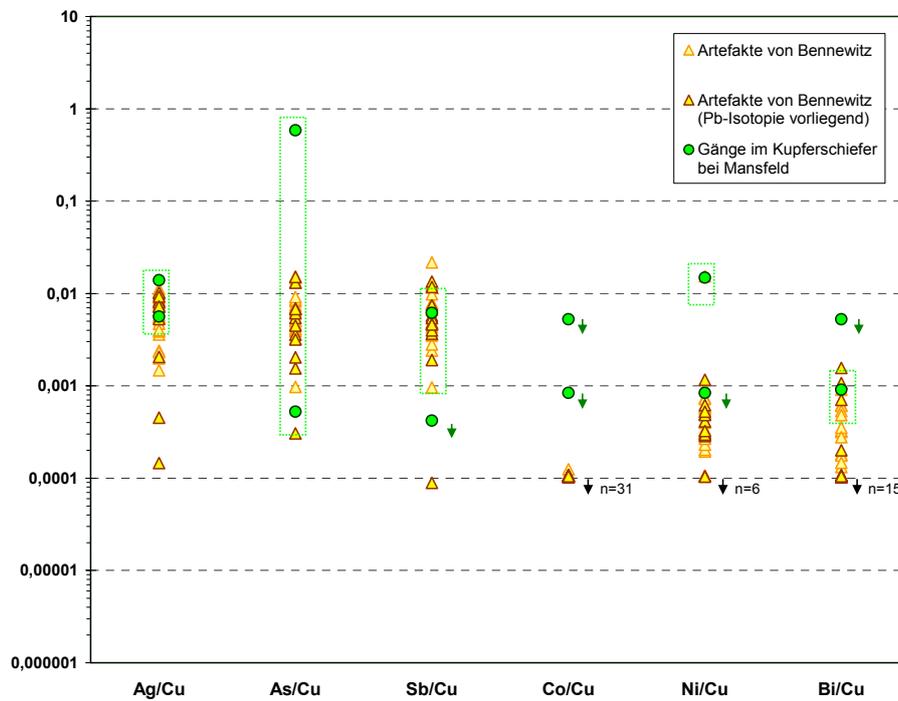


Abb. 7.2.5: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld mit den Artefakten von Bennewitz.

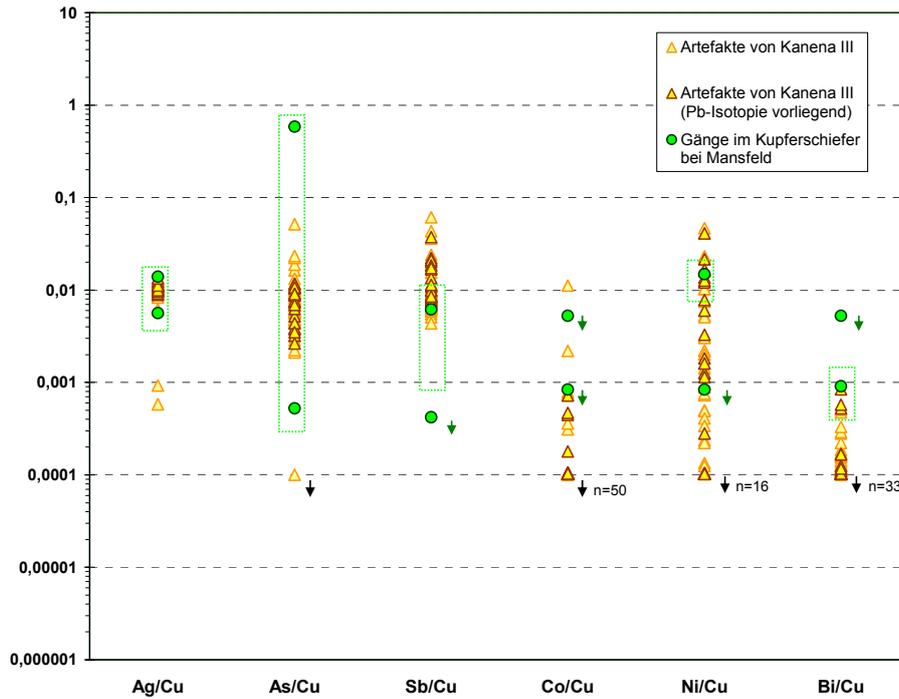


Abb. 7.2.6: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld mit den Artefakten von Kanena III.

Im Vergleich der Erzproben aus den Gängen bei Kamsdorf mit den Artefakten von Naumburg und Schkopau (Abb. 7.2.7 und 7.2.8) besteht eine gute Übereinstimmung der relativen Ag-Gehalte. Die relativen As-Gehalte der Artefakte fallen nicht unmittelbar mit denen der Erzproben zusammen, liegen aber zwischen denen der Fahlerzproben und der Chalkopyritprobe Kam-4. Auch in den Sb-Gehalten liegen die Artefakte von Naumburg und Schkopau innerhalb der Variationsbreite der Erzproben. Der Sb-Gehalt von Kam-3 ist dabei eventuell zu gering und diejenigen von Kam-1 und -2 (höchste Gehalte) sind ungenau (s. Kap. 5.2.). Zwar sind, da es sich bei Kam-1 bis -3 um Fahlerzproben bzw. Fahlerz-haltige Proben handelt, deren As- und Sb-Gehalte nur in begrenztem Maß interpretierbar. Aber es handelt sich um Sb-Fahlerz, so dass eher der Sb- als der As-Gehalt von einer Flüchtigkeit bei der Verhüttung betroffen sein dürfte.

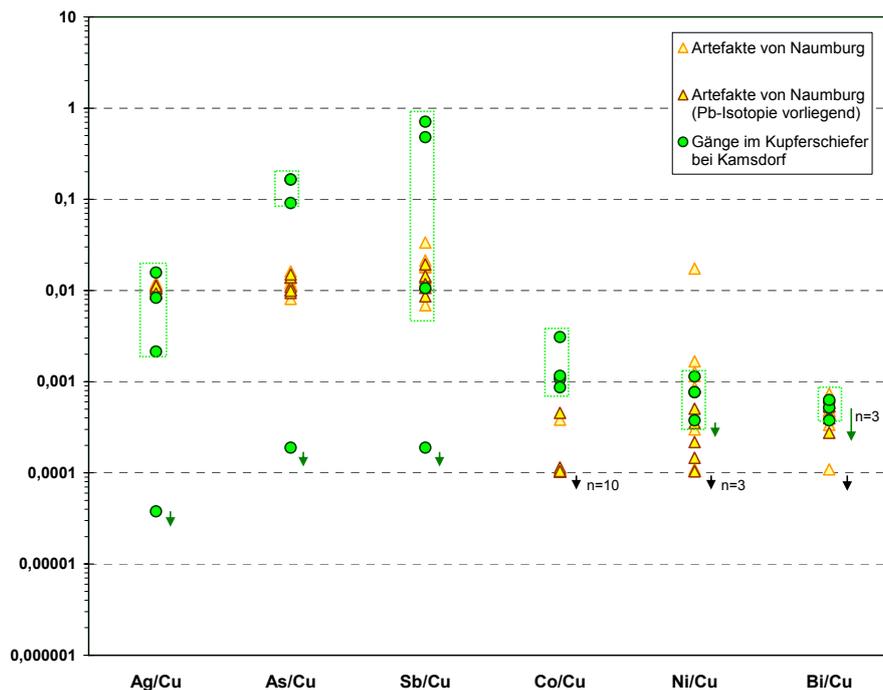


Abb. 7.2.7: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Kamsdorf mit den Artefakten von Naumburg.

Da der Sb-Gehalt von Kam-3 eventuell zu klein ausfällt und die Artefakte in ihren relativen Sb-Gehalten im selben Bereich wie diese Probe liegen, könnte hier trotzdem eine Ähnlichkeit bestehen. Eine Überschneidung besteht auch bei den relativen Ni- und Bi-Gehalten. Die relativen Co-Gehalte der Erzproben sind höher als die der Artefakte, sind aber kein verlässliches Kriterium (vgl. Kap. 3.4., 7. und 7.1.).

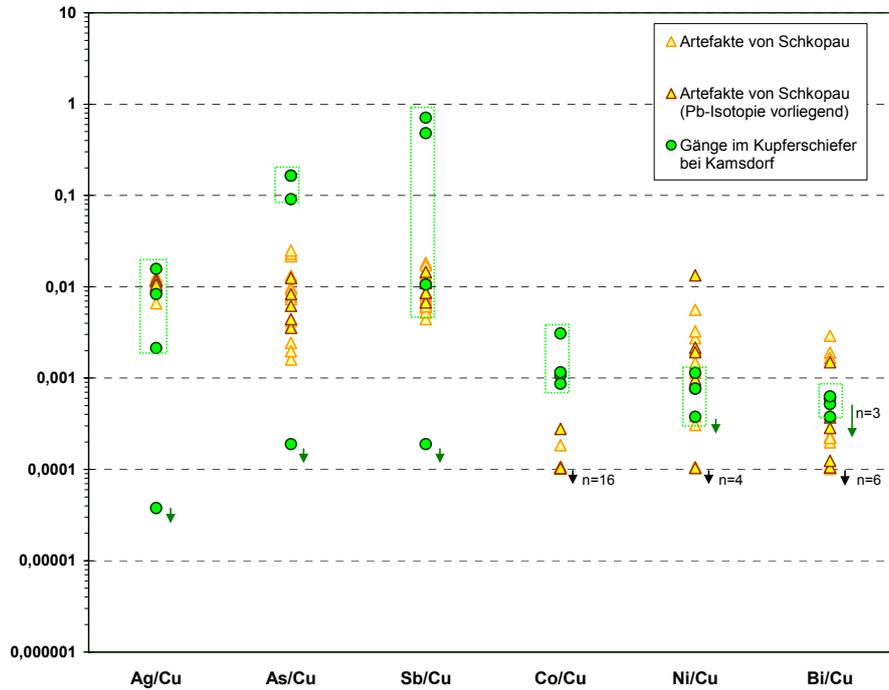


Abb. 7.2.8: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Kamsdorf mit den Artefakten von Schkopau.

Im Vergleich mit den Artefakten von Bennewitz und Kanena III (Abb. 7.2.9 und 7.2.10) ergibt sich ein ähnliches Bild, jedoch bei einer größeren Streuung der Artefaktzusammensetzungen.

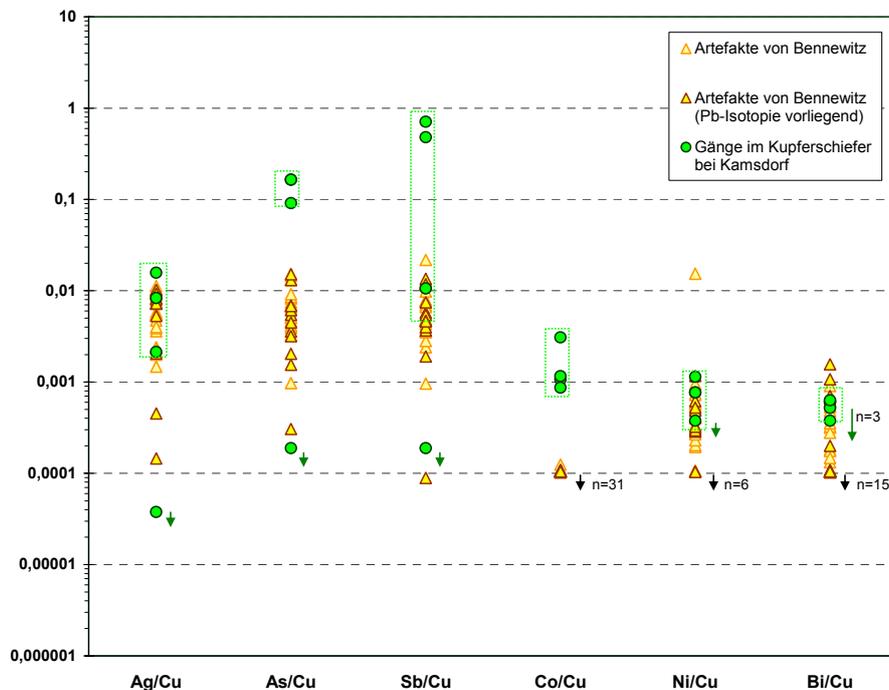


Abb. 7.2.9: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Kamsdorf mit den Artefakten von Bennewitz.

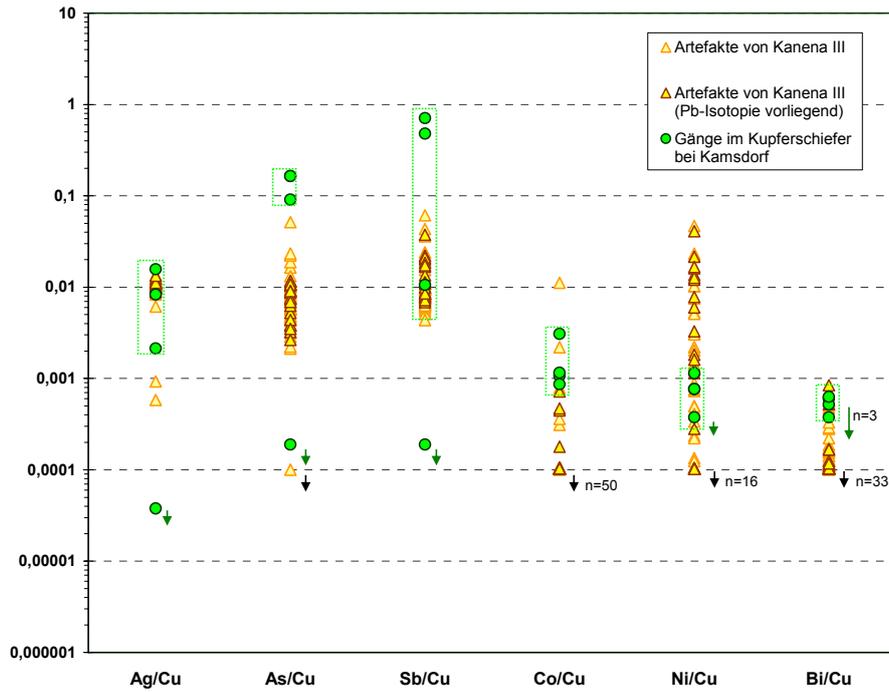


Abb. 7.2.10: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Kamsdorf mit den Artefakten von Kanena III.

Auch zwischen den Erzen von Kamsdorf und dem Hort Dieskau III gibt es starke Überschneidungen in den Spurenelementen. Allerdings ist der rel. Ni-Gehalt der Artefakte höher als der der Erze (Abb. 7.2.11).

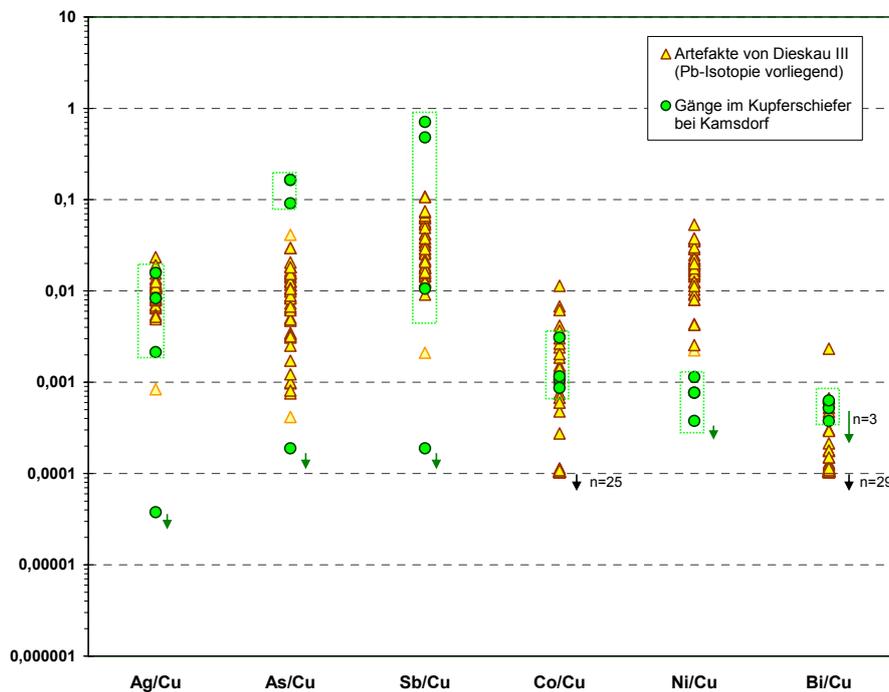


Abb. 7.2.11: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der Erzproben aus den Gängen im Kupferschiefer bei Kamsdorf mit den Artefakten von Dieskau III. Um die Abbildung übersichtlich zu halten werden nur Artefakte dargestellt, von denen auch Pb-Isotopendaten vorliegen, sowie zwei weitere, die die Variationsbreite kennzeichnen.

Man kann also sagen, dass zumindest ein Teil der Artefakte von Naumburg und Schkopau aus Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld oder eventuell auch Kamsdorf stammen könnte, denn diese weisen eine deutliche Pb-isotopische Überschneidung mit den Artefakten und auch Ähnlichkeiten in der Spurenelementzusammensetzung auf. Im Vergleich dazu ist die Ähnlichkeit der Gangvorkommen mit den Artefakten von Bennewitz, Kanena III und besonders Dieskau III v. a. in den Pb-Isotopen deutlich

geringer, so dass hier erst einmal noch nicht von einer möglichen Rohstoffherkunft auszugehen ist. Da allerdings die Datenbasis der vorliegenden Arbeit für Mansfeld (2 Proben) und Kamsdorf (4 Proben) noch unzureichend ist, wurden die Gangvererzungen beider Reviere nachbeprob.

Beim Vergleich der Pb-Isotopendaten der Artefakte aus Modul NW2 mit Pb-Isotopendaten von Erzen aus der Literatur ergab sich ein weiterer interessanter Aspekt (Abb. 7.2.12): Es gibt eine Pb-isotopische Überschneidung der Horte Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau mit Literaturdaten von Gängen im Oberharz und bei St. Andreasberg (Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993, Niederschlag et al. 2003). Außerdem ähnelt eines der Schkopauer Artefakte Pb-isotopisch dem Erz vom Rammelsberg (Daten aus Wedepohl et al. 1978, Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993, Niederschlag et al. 2003). Keine Überschneidung besteht dagegen mit Literaturdaten (Leveque & Haack 1993, Tischendorf et al. 1993), sowie Proben der vorliegenden Arbeit von Gängen im Osthaz und bei Bad Lauterberg (Abb. 7.2.13).

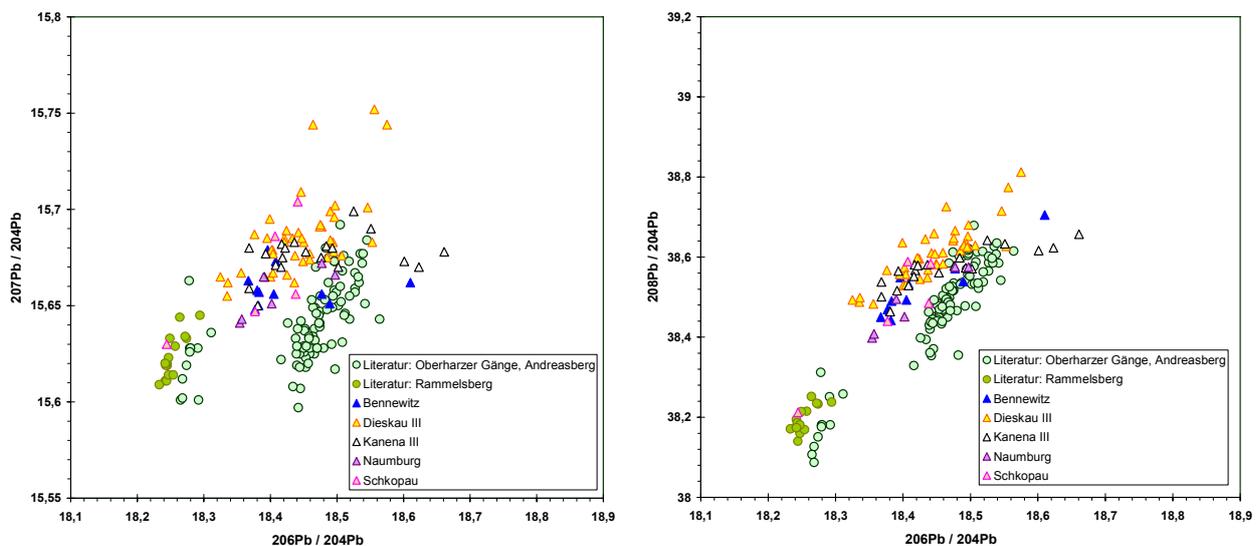


Abb. 7.2.12: Pb-isotopischer Vergleich der Artefakte von Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau mit Literaturdaten von Oberharzer Gängen und Gängen bei St. Andreasberg, sowie vom Rammelsberg. Aus Darstellungsgründen wurde ein Artefakt von Bennewitz mit sehr hohen Pb-Isotopenverhältnissen ausgelassen.

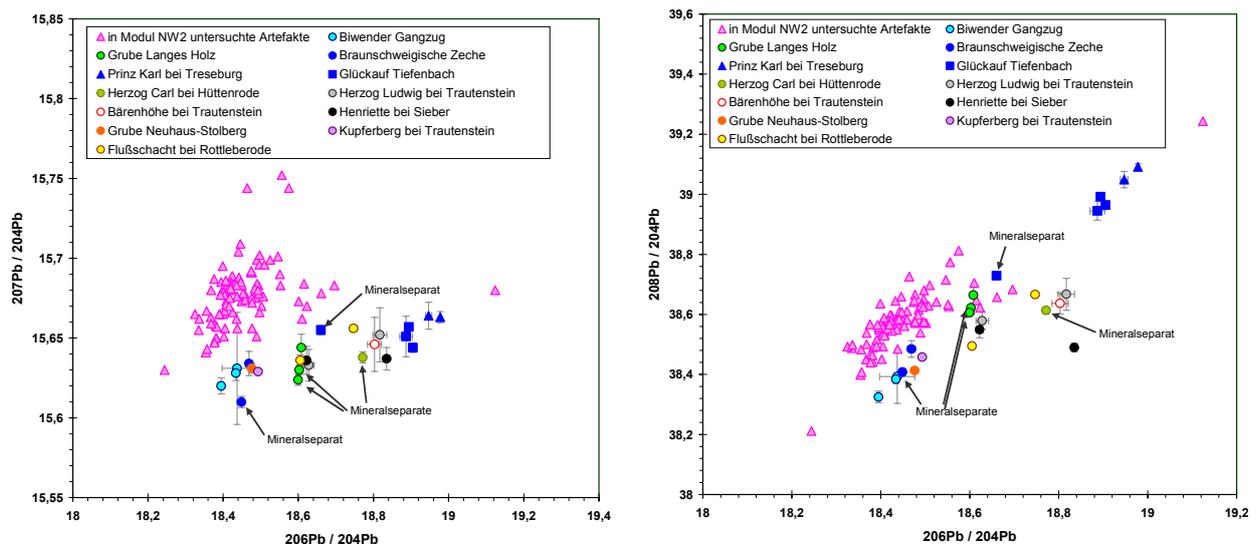


Abb. 7.2.13: Pb-isotopischer Vergleich der Artefakte aus Modul NW2 mit den Erzproben dieser Arbeit aus Gängen im Harz.

Vergleicht man die Spurenelementzusammensetzung des Pb-isotopisch den Rammelsberger Erzen ähnlichen Schkopauer Artefakts mit Spurenelementdaten dieser Erze aus der Literatur (Stühmer et al. 1978, Niederschlag et al. 2003), so ergeben sich vielfach Überschneidungen (Abb. 7.2.14). Jedoch ist der Ag-Gehalt des Artefaktes etwas höher und der Bi-Gehalt etwas niedriger als bei den Erzen.

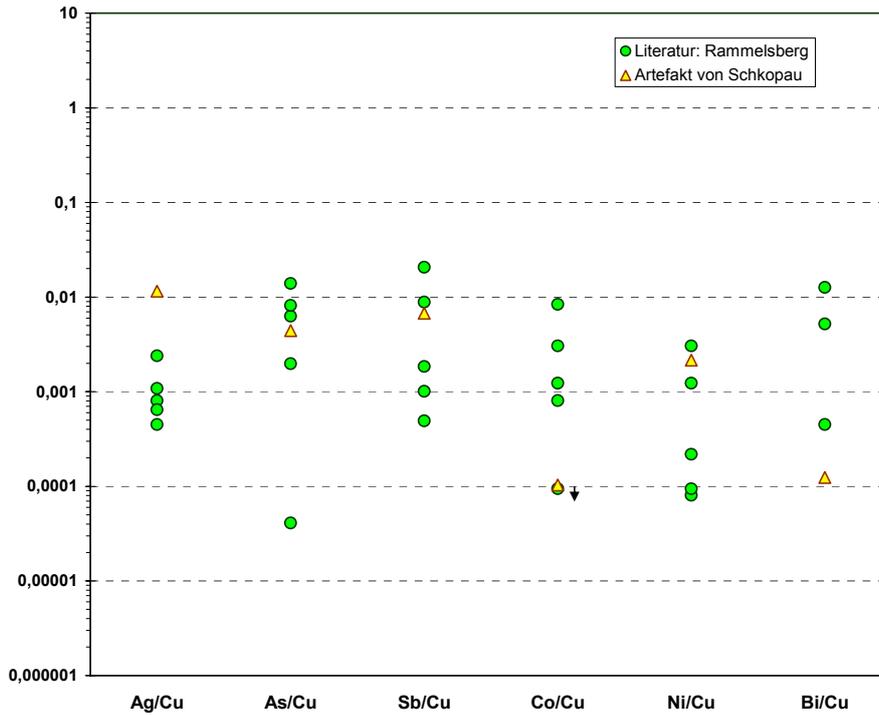


Abb. 7.2.14: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Erzen des Rammelsberges mit dem Pb-isotopisch den Erzen ähnlichen Artefakt von Schkopau. Die vermutlich zu hohen Bi-Gehalte bei Stühmer et al. (1978) wurden ausgelassen.

Spurenelementdaten von Oberharzer Gängen liegen eher spärlich vor (drei Proben von Bad Grund aus vorliegender Arbeit, bei Stühmer et al. 1978 zwei Proben von Bad Grund und eine Probe von Altenau). Im Folgenden werden die Artefakte von Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau mit diesen Daten verglichen. Dabei werden die Artefakte von Schkopau nur mit den Daten der Gangvererzung bei Altenau verglichen, da keine Überschneidung der Pb-Isotopenpopulation der Schkopauer Artefakte mit den Erzen von Bad Grund besteht.

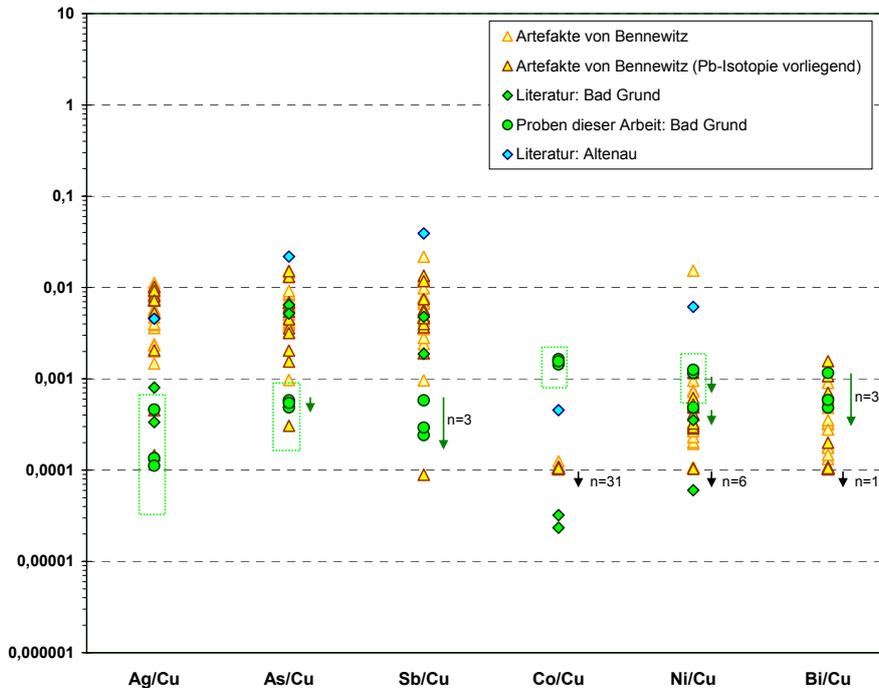


Abb. 7.2.15: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Gangerzen aus Bad Grund und Altenau (eigene Daten und Literaturdaten) mit den Artefakten von Bennewitz. Darstellungsweise für die Erzproben aus vorliegender Arbeit wie in Kapitel 7.1. Die vermutlich zu hohen Bi-Gehalte aus Stühmer et al. (1978) wurden ausgelassen.

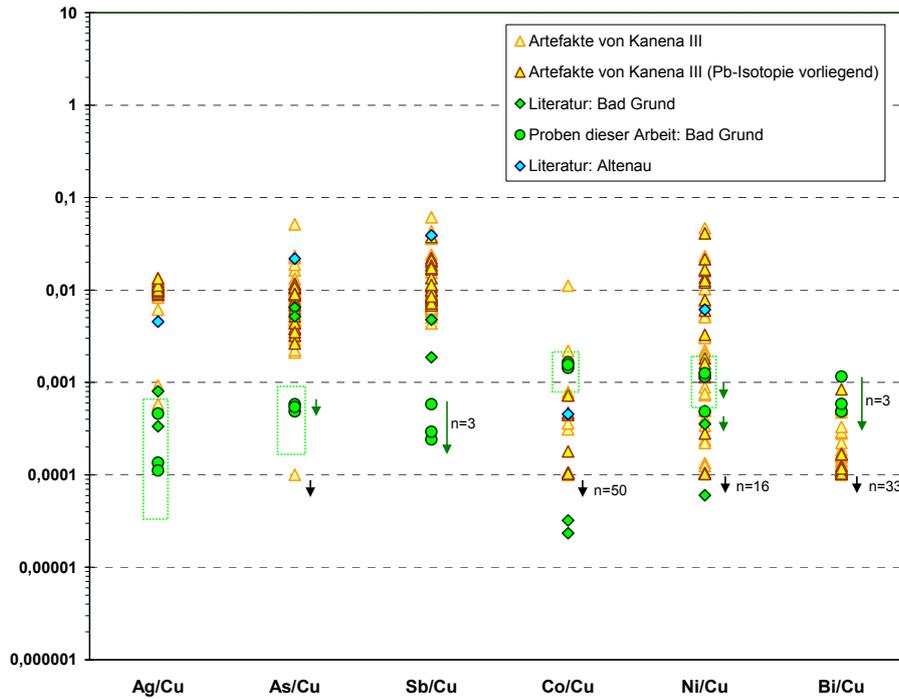


Abb. 7.2.16: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Gangerzen aus Bad Grund und Altenau mit den Artefakten von Kanena III. Darstellungsweise wie oben.

Abgesehen vom schwierig zu interpretierenden Co-Gehalt gibt es in allen Spurenelementen eine relativ gute Übereinstimmung der Erze von Bad Grund (RFA-Daten dieser Studie und Daten aus Stühmer et al. 1978) mit den Artefakten von Bennewitz (Abb. 7.2.15). Im Vergleich mit den Artefakten von Kanena III (Abb. 7.2.16) sind die relativen Ag- und Sb-Gehalte der Erze von Bad Grund doch eher niedriger und im Vergleich zu den Artefakten von Dieskau III (Abb. 7.2.17) auch die relativen Ni-Gehalte bzw. im Falle der Naumberger Artefakte (Abb. 7.2.18) die relativen As-Gehalte.

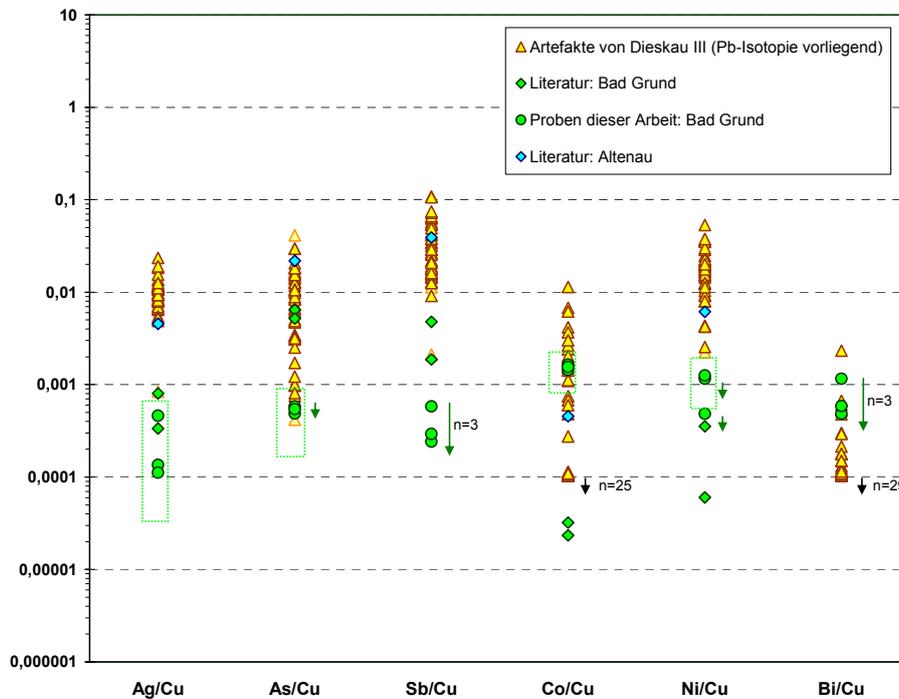


Abb. 7.2.17: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Gangerzen aus Bad Grund und Altenau mit den Artefakten von Dieskau III. Darstellungsweise wie oben.

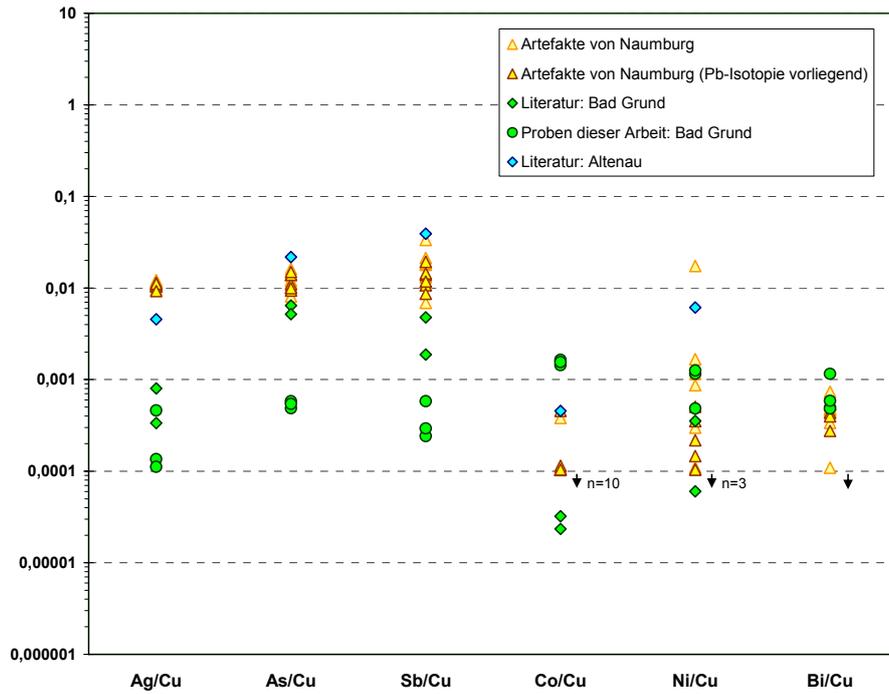


Abb. 7.2.18: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Gangerzen aus Bad Grund und Altenau mit den Artefakten von Naumburg. Darstellungsweise wie oben.

Das Erz aus einem der Oberharzer Gänge bei Altenau (Stühmer et al. 1978) weist Überschneidungen in allen betrachteten relativen Spurenelementgehalten mit den Artefakten von Bennewitz (Abb. 7.2.15), Dieskau III (Abb. 7.2.17), Kanena III (Abb. 7.2.16), Naumburg (Abb. 7.2.18) und Schkopau (Abb. 7.2.19) auf, bzw. kommt den relativen Spurenelementgehalten den Artefakten sehr nahe. Jedoch muss beachtet werden, dass es sich nur um eine einzelne Erzprobe handelt.

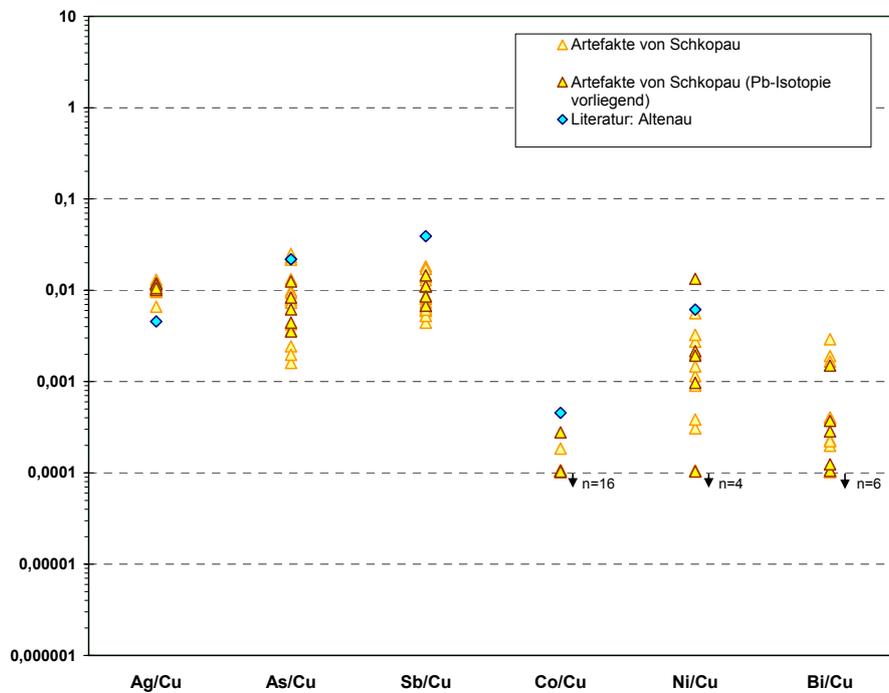


Abb. 7.2.19: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung von Gangerzen aus Altenau mit den Artefakten von Schkopau.

Die Ähnlichkeit eines der Schkopauer Artefakte mit Erzen vom Rammelsberg (Daten aus der Literatur) ist nicht vollkommen, also diskutierbar. Sie ist jedoch groß genug, dass sie nicht ohne weiteres übergangen werden kann. Gleiches gilt für die Erze von Bad Grund (Daten teilweise aus der Literatur) und die Artefakte von Dieskau III, Kanena und Naumburg. Im Falle des Rammelsberges kommt hinzu, dass bereits

Niederschlag et al. (2003) Hinweise auf eine mögliche Nutzung Rammelsberger Erze für die Herstellung von Artefakten der Aunjetitzer Kultur gefunden haben (s. Kap. 2). Etwas deutlicher ist die Ähnlichkeit zwischen den Erzen von Bad Grund und den Artefakten von Bennewitz, sowie zwischen dem Erz von Altenau als einzigem anderen mit Spurenelementdaten (aus der Literatur) belegten Oberharzer Gang und den Artefakten von Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau. Hier deutet sich die Möglichkeit einer Herkunft des Kupfers aus den genannten Vorkommen an.

Die vergleichenden Betrachtungen der Pb-Isotopen- und Spurenelementdaten von Kupferlagerstätten und Artefakten aus Sachsen-Anhalt legen somit die Herkunft der Metallrohstoffe für einige der Hortfunde aus der Region nahe. Dabei zeigt sich, dass nicht nur die (wohl nicht verwunderliche) Lagerstättenprovinz der Harzer Gangerze, sondern auch Erze aus Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf in der bronzezeitlichen Metallurgie Verwendung gefunden haben dürften. Hier bietet die neu geschaffene Datenbasis Platz für weiterführende Studien.

## **8. Schlussfolgerungen und Ausblick**

Für die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Region Mitteleuropas steht nun erstmals eine umfangreiche und homogene Erzdatenbank mit detaillierter Probandokumentation und Spurenelement- und Pb-Isotopendaten für geoarchäologische Provenienzuntersuchungen auch über den Rahmen dieser Promotionsschrift hinaus zur Verfügung. Einige der Proben der Kupferschiefervererzung sensu lato sind allerdings wegen ihrer eher geringen Cu-Gehalte nicht direkt als potentielleres Erz anzusehen, charakterisieren aber den betreffenden Lagerstättendistrikt zumindest Pb-isotopisch. Dazu gehören die Proben von Rottleberode, Bad Lauterberg und Könnern. Ähnliches gilt für die Proben aus dem „Röhrigschacht“ bei Wettelrode (Proben CuSWet-1 bis -7). Sie stammen aus mehreren 100 Metern Teufe, welche von bronzezeitlichem Bergbau höchstwahrscheinlich nicht erreicht wurden.

Zur Frage nach der Kupferherkunft der Himmelsscheibe von Nebra und ihrer Beifunde lässt sich folgendes sagen: Die in dieser Studie bearbeiteten Kupfervorkommen lassen sich sehr klar anhand ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung und teils auch anhand der relativen Spurenelementgehalte (bezogen auf Kupfer) als Rohstoffquelle für den Hortfund von Nebra weitestgehend ausschließen. Dabei kann zur Gangvererzung im Kupferschiefer bei Seligenthal noch keine sichere Aussage gemacht werden, da keine Pb-Isotopendaten vorliegen. Die Spurenelementzusammensetzung der Probe ist aber den Nebraer Artefakten eher unähnlich. Somit wurden eine ganze Reihe von Erzvorkommen als mögliche Kupferquelle ausgeschlossen – allen voran einige dem Fundort der Himmelsscheibe räumlich nahe gelegenen Lagerstättendistrikte, wie der Harz oder der mitteldeutsche Kupferschiefer. Damit werden auch Spekulationen bezüglich einer Metallherkunft aus diesen Kupfervorkommen beendet.

Ein Teilergebnis des Spurenelementvergleichs besteht auch darin, dass die Artefakte von Nebra eher mit silberarmen Chalkopyrit-Erzen vergleichbar sind und nicht mit den relativ silberreichen Fahlerzen. Bornit-Chalkosin- oder Malachit-Kupferoxid-Proben lassen dagegen keine Systematik erkennen.

Zusätzlich wurden in der Literatur publizierte geochemische Daten zu den in der vorliegenden Studie bearbeiteten, sowie zu weiteren Kupfervorkommen innerhalb des Arbeitsgebietes mit den Daten der Nebraer Artefakte verglichen und auch hier wurde keine Übereinstimmung gefunden. Zu den letztgenannten Kupfervorkommen gehören jenes vom Rammelsberg und Gangvorkommen im Ruhrkarbon, im Taunus, bei Wallenfels, Erbdorf und Wölsendorf, zu denen Pb-Isotopendaten vorliegen. Weitere Vorkommen, zu denen aus der Literatur nur Spurenelementdaten vorliegen (ein Gang bei Altenau im Oberharz, der so genannte „Sontra-Sandstein“, sowie Kupferberg und Marktschorgast), sind den Artefakten von Nebra eher unähnlich, allerdings fehlen für eine endgültige Aussage entsprechende Pb-Isotopendaten.

Nach derzeitigem Untersuchungsstand weist also das von Pernicka untersuchte Erzvorkommen von Mitterberg in den Ostalpen die größte geochemische und Pb-isotopische Ähnlichkeit mit den Nebraer Artefakten auf (Pernicka in Vorb. und mdl. Mitteil. Pernicka). Eine Herkunft des Kupfers aus dem Mitterberger Lagerstättendistrikt ist damit derzeit nicht nur aufgrund dieser Ähnlichkeit als wahrscheinlich anzunehmen, sondern auch durch den in der vorliegenden Arbeit erfolgten Ausschluss diverser räumlich nahe liegender Kupfervorkommen.

Der weiterführende exemplarische Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit frühbronzezeitlichen Artefakten aus Sachsen-Anhalt (in Modul NW2 der Forschergruppe untersucht) erbrachte einige sehr wahrscheinlich positive Zuordnungen von Lagerstätten zu Artefakten: Die Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf zeigen sowohl eine Pb-isotopische Überschneidung als auch Ähnlichkeiten in der Spurenelementzusammensetzung mit den Artefakten von Naumburg und Schkopau, in geringem Maße auch mit den Artefakten von Bennewitz, Kanena III und eventuell Dieskau III. Hier kann die Herkunft des Kupfers zumindest eines Teils der Artefakte von Naumburg und Schkopau aus den Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld oder auch Kamsdorf als gut möglich angenommen werden. Die betreffenden Gangvorkommen wurden kürzlich nachbeprobte, um die Datenbasis zu vergrößern und zu testen, ob sich die Ähnlichkeiten bestätigen.

Ein Vergleich der frühbronzezeitlichen Artefakte aus Sachsen-Anhalt (NW2) mit Pb-Isotopendaten aus der Literatur ergab außerdem signifikante Ähnlichkeiten zwischen Oberharzer Gängen und den Gängen von St. Andreasberg mit den Artefakten von Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau, sowie der Vererzung am Rammelsberg und einem der Artefakte von Schkopau. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Ähnlichkeiten der eher spärlichen Spurenelementdaten der betreffenden Erze (Bad Grund, Altenau, Rammelsberg) weniger ausgeprägt sind als die der Isotopendaten (am ehesten zwischen Bad Grund und Bennewitz, sowie zwischen Altenau und Bennewitz, Dieskau III, Kanena III, Naumburg und Schkopau). Zudem ist zu beachten, dass die Pb-Isotopenzusammensetzung von den Autoren der verschiedenen Publikationen meist (mit Ausnahme von Niederschlag et al. 2003 und zum Teil Wedepohl et al. 1978) an Galenit-Separaten bestimmt wurden, welche repräsentativ für bronzezeitliche Erze sein können, keineswegs aber sein müssen. Trotzdem dürfte es lohnend sein, diesen Indizien weiter nachzugehen, das heißt hier ergibt sich ein lohnendes zukünftiges Forschungsfeld, für das die neu produzierten Daten genutzt werden können.

Die Ergebnisse aller Module des DFG-Projektes FOR550 werden derzeit in der Fachgruppe Geofern-erkundung am haleschen Institut für Geowissenschaften im Rahmen einer GIS-verlinkten Datenbank zusammengefasst. Hier finden auch die in dieser Studie bearbeiteten Erzproben mit ihren Spurenelement- und Pb-Isotopendaten, den Probenfotos und den Koordinaten der Fundpunkte Eingang. Auf diese Art können die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einerseits raumbezogen zusammen mit Ergebnissen der archäologischen Module ausgewertet werden. Darüber hinaus werden sie auch für zukünftige Vergleiche mit Kupfer- und Bronzeartefakten zur Verfügung stehen. Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Vergleiche (Artefakte von Nebra, in Modul NW2 untersuchte Artefakte) sind hier nur ein erster Schritt und die gefundenen Überschneidungen zwischen einigen Erzen dieser Studie und einigen Artefakten aus Sachsen-Anhalt sind ermutigend.

In der bereits begonnenen zweiten DFG-Projektphase werden durch andere Bearbeiter die Untersuchungen an Kupfererzen auch auf West- und Südwesteuropa (u.a. Cornwall und Iberische Halbinsel), sowie auf Südosteuropa ausgeweitet. Dadurch wird die Datenbasis der Erze überregional vergrößert und die neuen Daten sind auch für den Vergleich mit Artefakten der betreffenden Regionen von Interesse.

**9. Literaturverzeichnis**

- Aichler, J., Fojt, B. & Vanecek, M. (1995)** Metallogenesis. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W. & Weber, K. (Hrsg.) Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe. Springer-Verlag, Berlin, S. 512-517
- Anspach, O. (2002)** Untersuchungen zur Genese der Selenführenden Gangvererzung bei Tannenglasbach, Thüringen. Diplomarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 80 S.
- Bartelheim, M., Eckstein, K., Huijsmans, M. Krauß, R & Pernicka, E. (2002)** Kupferzeitliche Metallgewinnung in Brixlegg, Österreich. In: Bartelheim, M., Pernicka, E. & Krause, R. (Hrsg.) Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt. Leidorf, Rahden, S. 33-82
- Baumann, L., Kuschka, E. & Seifert, T. (2000)** Lagerstätten des Erzgebirges. Enke Verlag, Stuttgart, 300 S.
- Baumgarten, H. (2006)** Geologie erleben – Museen, Schauhöhlen, Besucherbergwerke, Lehr- und Wanderpfade in NRW und Umgebung. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 127 S.
- Beck, R. (1903)** Die Nickelerzlagerstätte von Sohland a. d. Spr. und ihre Gesteine. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 55, S. 296-330
- Bernard, J. H. (1991)** Empirical types of ore mineralizations in the Bohemian Massif. Czech Geological Survey, Prag, 181 S.
- Beuker, J. R. (1988)** Die Verwendung von Helgoländer Flint in der Stein- und Bronzezeit. Die Kunde N.F. 39, S. 93-116
- Beyschlag, F. (1888)** Die Erzlagerstätten der Umgebung von Kamsdorf in Thüringen. Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt, S. 329-377
- Bielicki, K. H. & Tischendorf, G. (1987)** Lead isotopic investigations of galenas of the fluorbarytic lead association Halsbrücke (Ore Mountains, GDR). Chemie der Erde 46, S. 237-245
- Bielicki, K. H. & Tischendorf, G. (1991)** Lead isotope and Pb-Pb model age determinations of ores from Central Europe and their metallogenic interpretation. Contributions to Mineralogy and Petrology 106, 4, S. 440-461
- Blömeke, C. (1885)** Über die Erzlagerstätten des Harzes und die Geschichte des auf demselben geführten Bergbaues. Nachdruck 1986 im Doris Bode Verlag, Haltern, 144 S.
- Boltz, G., Eisenacher, W., Gerlach, R., Grunow, H.-J., Fischer, R., Kahmann, H.-J., Knitschke, G., Langelüttich, H.-J., Mirsch, R. & Westermann, E. (1995)** Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. GDMB-Informationsges., Clausthal-Zellerfeld, 366 S.
- Borg, G. & Frotzcher, M. (2004)** Übersichtsuntersuchung (Pilotstudie) zu Gehalten und Verteilung der Edelmetalle (Au und PGE) in Bohrkernproben des Kupferschiefers sowie hangender und liegender Bereiche. unveröffentlichter Bericht für das Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
- Brauns, C. M. (1995)** Isotopenuntersuchungen an Erzen des Siegerlandes. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, 144 S.
- Buschendorf, F., Dennert, H., Hannak, W., Hüttenhain, H., Mohr, K., Sperling, H. & Stoppel, D. (1971)** Die Blei-Zink-Erzgänge des Oberharzes – Lieferung 1: Geologie des Erzgang-Reviers, Mineralogie des Ganginhalts und Geschichte des Bergbaus im Oberharz. Beihefte zum Geologischen Jahrbuch 118, 212 S.
- Čadkova, Z. (1971)** Genesis of the Permian stratiform Cu-deposit at Horní Věrnéřovice. Sborník Geologických Věd, řada LG 14, S. 65-90
- Chinta, R. (1983)** Die Erzvorkommen im nordöstlichen Teil von Bayern. Geologische Blätter für Nordost-Bayern 33, 1-2, S. 64-82
- Chrt, J., Bolduan, H., Bernstein, K.-H., Drbohlavova, J., Hora, Z., Hösel, G., Mrna, F., Pokorny, L., Sippel, H. & Strnad, J. (1966)** Die postmagmatische Mineralisation des Westteils der Böhmisches Masse. Sborník Geologických Věd, řada LG 8, S. 113-192
- Dederscheck, D. (1982)** Die historische Grube Philippseck bei Münster im Taunus. Emser Hefte 4, 2, S. 42-48
- Diedel, R. & Baumann, A. (1988)** Sr- und Pb-Isotopenmuster als Indikatoren für intraformationale Stoffumlagerungen. Fortschritte der Mineralogie 66, Beiheft 1, S. 24
- Dill, H. (1983)** Zur Geologie und Mineralogie der Schwespatvorkommen in N-Bayern. Geologisches Jahrbuch, Reihe D 61, S. 93-145
- Dill, H. (1985)** Die Vererzung am Westrand der Böhmisches Masse – Metallogenese in einer ensialischen Orogenzone. Geologisches Jahrbuch D 73, S. 3-461
- Dill, H., Frobel, B. & Techmer, A. (2003)** Schlackenfunde nahe der Grube Beschert Glück und der Kupferplatte – Ein Hinweis auf den Beginn des Erzbergbaus bei Lichtenberg? Geologische Blätter für Nordost-Bayern 53, 1-4, S. 133-146
- Durali-Müller, S. (2005)** Roman lead and copper mining in Germany their origin and development through time, deduced from lead and copper isotope provenance studies. Dissertation an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 128 S.
- Ehrendreich, H. (1958)** Stratigraphie, Tektonik und Gangbildung im Gebiet der Emser Blei-Zinkerzgänge. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 110, S. 561-582
- Eibner, C. (1993)** Urzeitliche Bergbautechnik in den Ostalpen. In: Steuer, H. & Zimmermann, U. (Hrsg.) Montanarchäologie in Europa. Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen, S. 83-88
- Fenchel, W., Gies, H., Gleichmann, H.-D., Hellmund, W., Hentschel, H., Heyl, K. E., Hüttenhain, H., Langenbach, U., Lippert, H.-J., Lusznat, M., Meyer, W., Pahl, A., Rao, M. S., Reichenbach, R., Stadler, G., Vogler, H. & Walther, H. W. (1985)** Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagerstätten: I. Eisenerze im Grundgebirge (Varistikum), 1. Die Siederitzerzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt. Geologisches Jahrbuch D 77, 517 S.
- Fesser, H. (1971)** Kupfer-Mineralien auf Helgoland. Der Aufschluss, 22, 7-8, S. 221-225
- Franzke, H. J. & Anderle, H. J. (1995)** Metallogenesis. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W. & Weber, K. (Hrsg.) Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe. Springer-Verlag, Berlin, S. 138-150

- Franzke, H. J. & Rauche, H. (2003)** Geohydraulische Aspekte bei der Bildung der spät- und postvariszischen hydrothermalen Gangstrukturen des Thüringer Waldes. Beiträge zur Geologie von Thüringen, N. F. 10, S. 201-216
- Franzke, H. J. & Zerjadtke, W. (1993)** Structural Control of Hydrothermal Vein Mineralizations in the Lower Harz Mountains. Monograph Series on Mineral Deposits 30, S. 13-33
- Fuchs, H. J., Kalbhenn, S. & Muhr, M. (1986)** Rheinbreitbach – Mit Schlägel und Eisen: Bergbaugeschichte, Geologie, Mineralien. Doris Bode Verlag, Haltern, 48 S.
- Gale, N. H. (1999)** Lead Isotope Characterization of the Ore Deposits of Cyprus and Sardinia and its Application to the Discovery of the Sources of Copper for Late Bronze Age Oxhide Ingots. BAR International Series 792, S. 110-121
- Gale, N. H., Stos-Gale, Z., Raduncheva, A., Panayotov, I., Ivanov, I., Lilov, P. & Todorov, T. (2003)** Early Metallurgy in Bulgaria. In: Craddock, P. & Lang, J. (Hrsg.) Mining and metal production through the ages. British Museum Press, London, S. 122-173
- Gerlach, R. (1989)** Kluftgebundene Mineralisationen im subsalinaren Tafeldeckgebirge des SE-Harzvorlandes - Typ Mansfelder Rücken. Freiburger Forschungshefte C 437, S. 38-58
- Grabert, H. (1998)** Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. Schweizerbart, Stuttgart, S.221-260
- Grimm, Meusel, Rothe, Telle (1982)** Bergschadenkundliche Einschätzung Kupfererzgrube „Gott hilft gewiss“ am Burgbach in der Nähe der Oberen Gabel (Forst Schönbrunn). unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2052)
- Grimm, Meusel, Telle, Rothe (1985)** Bergschadenkundliche Einschätzung Kupfererzbergbau bei Lichte, Ortsteil Bock und Teich. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2076)
- Gümbel, C. W. (1868)** Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern – Zweite Abtheilung: Geognostische Beschreibung des Ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges. Verlag Justus Perthes, Gotha, 968 S.
- Gümbel, C. W. (1879)** Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern – Dritte Abtheilung: Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges mit dem Frankenwalde und dem westlichen Vorlande. Verlag Justus Perthes, Gotha, 698 S.
- Hammer, J., Hengst, M., Pilot, J. & Rösler, H. J. (1987a)** Pb-Isotopenverhältnisse des Kupferschiefers der Sangerhäuser Mulde; Neue Untersuchungsergebnisse. Chemie der Erde 46, 3-4, S. 193-211
- Hammer, J., Rösler, H. J., Gleisberg, B. & Niese, S. (1987b)** Untersuchungen von Kupferschiefer-Profilen mittels instrumenteller Neutronenaktivierungsanalyse. Zeitschrift für Angewandte Geologie 33, 2, S. 40-45 und 33, 3, S. 64-67
- Hammer, J., Rösler, H. J. & Niese, S. (1988)** Besonderheiten der Spurenelementführung des Kupferschiefers der Sangerhäuser Mulde und Versuche ihrer Deutung. Zeitschrift für Angewandte Geologie 34, 11, S. 339-343
- Hänsel, B. & Schulz, H. D. (1980)** Frühe Kupferverhüttung auf Helgoland. Spektrum der Wissenschaft 2/1980, S. 11-20
- Hänsel, B., Schulz, H. D. & Stühmer, H. H. (1980)** Frühe Kupferverhüttung auf Helgoland. Sonderdruck aus dem Jahrbuch für den Kreis Pinneberg, Beig Verlag, Pinneberg, S. 27-44
- Harms, F. J. (1983)** Exkursion A4 am 13. April 1983 – Postvaristische Mineralisation am Hüggel und Schafberg bei Osnabrück. In: GDMB (Hrsg.) Alter, Genese und wirtschaftliche Bedeutung der postvaristischen Gangmineralisation in Mitteleuropa (Oberperm bis Tertiär): Kurzfassungen der Vorträge und Exkursionsführer. Gesellschaft Deutscher Metallhuetten- und Bergleute, Clausthal-Zellerfeld, S. 137-146
- Hausbrand, O. (1938)** Der ehemalige Kobaltbergbau auf den sogenannten Zechsteinrücken. Zeitschrift für das Berg-, Hütten und Salinenwesen 86, S. 127-152
- Heberling, E. & Stoppel, D. (1988)** Vom Schwerspat- und Kupfererzbergbau um Bad Lauterberg und über die historische Schwerspatgewinnung bei Bad Grund, Sieber und St. Andreasberg. Doris Bode Verlag, Haltern, 64 S.
- Hein, U. (1984)** Die tertiäre Gangmineralisation am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. In: GDMB (Hrsg.) Postvaristische Gangmineralisation in Mitteleuropa – Alter, Genese und wirtschaftliche Bedeutung. Gesellschaft Deutscher Metallhuetten- und Bergleute, Clausthal-Zellerfeld, S. 65-77
- Hein, U. F. (1993)** Synmetamorphic Variscan siderite mineralisation of the Rhenish Massif, Central Europe. Mineralogical Magazine, 57, S. 451-467
- Heppenheimer, H. (1995)** Vergleichende geochemische und petrologische Untersuchungen am Kupferschiefer – ein Beitrag zur Klärung der Metallogenese. Dissertation an der RWTH Aachen, 214 S.
- Herbst, F. (1969)** Über die im Raum Holzappel-Nassau aufsetzenden Blei-Zinkerzgänge. Gewerkschaft Mercur, Bad Ems, 60 S.
- Hesemann, J. (1930)** Die Erzbezirke des Ramberges und von Tilkerode im Harz. Archiv für Lagerstättenforschung der Preußischen Geologischen Landesanstalt 46, 92 S.
- Hesemann, J. (1978)** Der Blei-Zink-Erzbezirk des Bergischen Landes (Rheinisches Schiefergebirge) als Prototyp einer frühorogenen und palingenen Vererzung. Decheniana 131, S. 292-299
- Höhndorf, A. & Dill, H. (1986)** Lead isotope studies of strata-bound, vein-type, and unconformity-related Pb, Sb, and Bi ore mineralizations from the western edge of the Bohemian Massif (F. R. Germany). Mineralium Deposita 21, 4, S. 329-336
- Huth, R. (1951)** Objektakte Kupfererzvorkommen Böhlen/Thüringen. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2112)
- Huth, R. (1952)** Geologischer Situationsbericht Kupfererz Brattendorf. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2203)
- Huth, R. (1955)** Brattendorf – eine kleine Red-Bed- Lagerstätte im Thüringer Wald. Zeitschrift für Angewandte Geologie 1, 3-4, S. 123-125
- Hyrs, J. (1991)** Die Lagerstätte Kutna Hora in Böhmen und ihre Mineralien. Lapis 16, 12, S. 25-34

- Jerzmanski, J. (1976)** Barite and fluorite mineralization and its position in the metallogenic development of the Lower Silesia area. In: Fedak, J. (Hrsg.) The current metallogenic problems of Central Europe. Wydawnictwa Geologiczne, Warschau, S. 227-250
- Jowett, E. C., Rydzewski, A. & Jowett, R. J. (1987)** The Kupferschiefer Cu-Ag ore deposits in Poland: a re-appraisal of the evidence of their origin and presentation of a new genetic model. Canadian Journal of Earth Sciences 24, 10, S. 2016-2037
- Kaemmel (1961)** Bericht Nr. 120/61 – Bericht über Katzmannstaler Erze aus den Bohrungen Nr. 7, 14, 15, 18, 19. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2574)
- Kimbauer, T. (1998a)** Synorogene Mineralisationen. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 146-150
- Kimbauer, T. (1998b)** Pseudomorphosen- und Kappenquarzgänge. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 176-184
- Kimbauer, T., Schneider, J. & Schwenzler, S. P. (1998)** Überblick. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 84-97
- Klänhardt, K. (2005)** Exkursion nach Helgoland. Der Aufschluss 56, 4, Beilage, S. 3
- Krause, R. (2003)** Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. Verlag Marie Leidorf, Rahden, 338 S.
- Kuleff, I. & Pernicka, E. (1995)** Instrumental neutron activation analysis of native copper: Some methodological considerations. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 191, 1, S. 145-161
- Kulick, J., Meisl, S. & Theuerjahr, A.-K. (1997a)** Die Goldlagerstätte des Eisenberges südwestlich von Korbach. Geologische Abhandlungen Hessen 102, 139 S.
- Kuschka, E. & Franzke, H. J. (1974)** Zur Kenntnis der Hydrothermalite des Harzes. Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 2, 12, S. 1417-1436
- Lange, P. (2005)** Zur Geschichte des Erzbergbaus in Thüringen – Eine Übersicht. Beiträge zur Geologie von Thüringen, N.F. 12, S. 5-39
- Large, D. (2003)** The tectonic setting of base-metal mineralisation in the Rhenohercynian terranes of Central Europe. In: Kelly, J. G., Andrew, C. J., Ashton, J. H., Boland, M. B., Earls, G., Fucsiardi, M. B. & Stanley, G. (Hrsg.) Europe's Major Base Metal Deposits. Irish Association for Economic Geology, Dublin, S. 155-168
- Large, D., Schaeffer, R. & Höhndorf, A. (1983)** Lead isotope data from selected galena occurrences in the North Eifel and North Sauerland, Germany. Mineralium Deposita 18, S. 235-243
- Large, D. & Walcher, E. (1999)** The Rammelsberg massive sulphide Cu-Zn-Pb-Ba-deposit, Germany: an example of sediment-hosted, massive sulphide mineralisation. Mineralium Deposita 34, 5-6, S. 522-538
- Legierski, J. (1973)** Model ages and isotopic composition of ore leads of the Bohemian Massif. Časopis pro Mineralogii a Geologii 18, 1, S. 1-23
- Legierski, J. & Posmourny, K. (1966)** Izotopické složení olova některých rudních výskytů v české části Západních Sudet. Časopis pro Mineralogii a Geologii 11, 2, S. 169-176
- Leveque, J. & Haack, U. (1993)** Pb Isotopes of Hydrothermal Ores in the Harz. Monograph series on mineral deposits 30, S. 197-210
- Leveque, J. & Jakobus, R. (1994)** Bleisotope in Galeniten der postvaristischen Quarz- und Mineralgänge des Osttaunus. Geologisches Jahrbuch Hessen 122, S. 75-80
- Ließmann, W. (1992)** Historischer Bergbau im Harz – Ein Kurzführer. Verlag von Loga, Köln, 320 S.
- Lorenzen, W. (1965)** Helgoland und das früheste Kupfer des Nordens – Ein Beitrag zur Aufhellung der Anfänge der Metallurgie in Europa. Niederelbe-Verlag, Ottendorf, 120 S.
- Losos, Z., Hladikova, J. & Fojt, B. (1994)** Mineralogy, trace element- and sulphur isotope-geochemistry of sulphide mineralizations related to hercynian plutonism in the NE margin of the Bohemian Massif (Czech Republic). In: Seltmann, R., Kämpf, H. & Möller, P. (Hrsg.) Metallogeny of collisional orogens, focussed on the Erzgebirge and comparable metallogenic settings. Czech Geological Survey, Prag, S. 350-356
- Losse, G. (1992)** Der Bergbau auf Kupfererze bei Hüttenrode/ Harz. Fundgrube 28, 3, S. 130-136
- Lüders, V. & Möller, P. (1993)** Geochemie hydrothermalmer Gangmineralisationen des Harzes. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil 1, 9/10, S. 1329-1349
- MacFarlane, A. (1999)** The lead isotope method for tracing the sources of metal in archaeological artefacts: strengths, weaknesses and application in the Western Hemisphere. BAR International Series 792, S. 310-316
- Martini (1937)** Geologisches Gutachten über das Kupfererzvorkommen an den Gelenkköpfen bei Oberweißbach. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2061)
- Maucher, A. (1939)** Über die Kieslagerstätte der Grube "Bayerland" bei Waldsassen in der Oberpfalz. Zeitschrift für Angewandte Mineralogie 2, 2 S. 219-275
- Meinel, G. & Mädler, J. (2003)** Erze. In: Seidel, G. (Hrsg.) Geologie von Thüringen. Schweizerbart, Stuttgart, S. 454-464
- Meisl, S. (1965)** Meta-Zeunerit in uranföhrnden vererzten Pflanzenresten im Oberen Buntsandstein bei Wrexen/Waldeck (Nordhessen). Notizblätter des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 93, S. 266-280
- Meller, H. (2002)** Die Himmelscheibe von Nebra – ein frühbronzezeitlicher Fund von außergewöhnlicher Bedeutung. Archäologie in Sachsen-Anhalt 1/2002, S. 7-20
- Mempel, G. (1960)** Neue Funde von Uran-Vanadium-Kernen mit Entfärbungshöfen. Geologische Rundschau 49, 1, S. 263-276

- Mikulski, S. Z. (2005)** Geological, mineralogical and geochemical characteristics of the Radzimowice Au-As-Cu deposit from the Kaczawa Mountains (Western Sudetes, Poland): an example of the transition of porphyry and epithermal style. *Mineralium Deposita* 39, S. 904-920
- Mochnacka, K., Banas, M., Kramer, W. & Posmourny, K. (1995)** Metallogenesis. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W. & Weber, K. (Hrsg.) *Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe*. Springer-Verlag, Berlin, S. 360-372
- Mohr, K. (1993)** *Geologie und Minerallagerstätten des Harzes*. Schweizerbart, Stuttgart, 496 S.
- Mrazek, P. & Pouba, Z. (1995)** Metallogenesis. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W. & Weber, K. (Hrsg.) *Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe*. Springer-Verlag, Berlin, S. 411-414
- Müller, D. (1991)** Die gangförmigen Buntmetallvererzungen (Pb, Cu, Zn und Ag) im Bereich des ehemaligen Bergwerks Hannibal bei Heftrich im Rheinischen Schiefergebirge (Taunus). *Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde* 113, S. 33-44
- Nickel, D. (2003)** Archäometrische Untersuchungen zum Hortfund von Nebra. unpublizierte Diplomarbeit an der TU Freiberg, 156 S.
- Niederschlag, E., Pernicka, E., Seifert, T. & Bartelheim, M. (2003)** The determination of lead isotope ratios by multiple collector ICP-MS: A case study of early bronze age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge. *Archaeometry* 45, 1, S. 61-100
- Obermüller, T. (1993)** Der Silberberg bei Bodenmais/Bayr. Wald – Ein Beitrag zur Bergbaugeschichte und Mineralogie. *Der Aufschluss* 44, 4, S. 201-224
- Oelsner, O. (1954)** Bemerkungen zur Genese der Magnetkies-Pentlandit-Lagerstätte Sohland/Spree. *Freiberger Forschungshefte C* 10, S. 33-45
- Oelsner, O., Kraft, M. & Schützel, H. (1958)** Die Erzlagerstätten des Neudorfer Gangzuges. *Freiberger Forschungshefte C* 52, S. 1-114
- Osika, R. (1986)** Poland. In: Dunning, F. W. & Evans, A. M. (Hrsg.) *Mineral Deposits of Europe – Volume 3: Central Europe*. Institution of Mining and Metallurgy & Mineralogical Society, London, S. 55-97
- Osika, R. (1990)** *Geology of Poland: Volume VI – Mineral deposits*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 314 S.
- Otto, H. & Witter, W. (1952)** *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa*. Barth Verlag, Leipzig, 222 S.
- Pašava, J., Vavřin, I. & Jelinek, E. (2001)** Distribution of PGE in rocks and Ni-Cu ores of the Rozany and Kunratice deposits (Lusatian Massif, Bohemian Massif). In: Piestrzynski, A., Speczik, S., Pasava, J., Gize, A. P., Sass-Gustkiewicz, M., Leach, D. L., Muchez, P., Oszczepalski, S., Brown, A., Blundell, D. J., Kotlinski, R., Herzig, P., Plimer, I., Kozłowski, A., Mikulski, S. Z., Seltmann, R., Heinrich, C. A., Kucha, H., Stumpfl, E. F., Thalhammer, O. A. R., Wiszniewska, J., Borg, G., Milesi, J. P., Mochnacka, K., Cook, N. J., Garlicki, A., Zabinski, W., Prochaska, W., Helios-Rybicka, E., Niec, M., Buchanan, D., Podemski, M., Peryt, T., Nokleberg, W. J. & Obolenskiy, A. A. (Hrsg.) *Mineral deposits at the beginning of the 21st century*. Balkema, Lisse, S. 627-630
- Paul, J. (1982)** Zur Rand- und Schwellen-Fazies des Kupferschiefers. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 133, 3, S. 571-605
- Paulo, A. (1994)** Geology of barite veins in the Polish Sudetes. In: Seltmann, R., Kämpf, H. & Möller, P. (Hrsg.) *Metallogeny of collisional orogens, focussed on the Erzgebirge and comparable metallogenic settings*. Czech Geological Survey, Prag, S. 383-390
- Penkert, P. (1976)** Das Kupfererzvorkommen im Steinbruch "Anna" am Kupferberg bei Letmathe/ Sauerland. *Der Aufschluss* 27, 7-8, S. 283-284
- Pernicka, E. (1987)** Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum: Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 34, 2, S. 607-714
- Pernicka, E. (1990)** Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 37, S. 21-129
- Pernicka, E. (1999)** Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance?. *BAR International Series* 792, S. 163-171
- Pernicka (in Vorb.)** Archäometallurgische Untersuchungen am und zum Hortfund von Nebra. In: Meller, H. & Bertemes F. (Hrsg.) *Der Griff nach den Sternen – Wie Europas Eliten zu Macht und Reichtum kamen*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, Bd. 2/2009, Halle
- Pernicka, E. & Wunderlich, C.-H. (2002)** Naturwissenschaftliche Untersuchungen an den Funden von Nebra. *Archäologie in Sachsen-Anhalt* 1/2002, S. 24-31
- Pernicka, E., Wunderlich, C.-H., Reichenberger, A., Meller, H. & Borg, G. (2008)** Zur Echtheit der Himmelsscheibe von Nebra – eine kurze Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 38, 3, S. 331-352
- Petrascheck, W. E. (1934)** Die Kupferlagerstätte von Ludwigsdorf bei Görlitz. *Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz* 32, 2, S. 55-61
- Pfaffl, F. (1990)** Die Mineralien der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg bei Bodenmais, Bayerischer Wald. *Mineralien-Welt* 1, 3, S. 49-55
- Pfeufer, J. (1976)** Das Schwefelerzvorkommen am Silberberg bei Bodenmais (Bayerischer Wald). *Erzmetall* 29, 7/8, S. 340-355
- Pieczka, A., Pieczonka, J. & Piestrzynski, A. (1988)** Minerals of the weathering zone of Miedzianka polymetallic deposit, Rudawy Janowickie (Lower Silesia, Poland). *Mineralogia Polonica* 19, 1, S. 75-91
- Pilot, J., Legierski, J. & Rösler, H. J. (1970)** Pb- und S-Isotopen-Untersuchungen an Freiberger und anderen Erzlagerstätten. *Geologie* 19, 1, S. 41-55
- Pitschel, M. (1993)** Das Wolkenburger Bergbauggebiet und seine Mineralien. *Mineralien-Welt* 4, 5, S. 6
- Pošmourny, K. (1970)** Polymetallické žily v Ještědském pohoří. *Sborník Geologických Věd, řada LG* 11, S. 7-38

- Pouba, Z. & Ilavsky, J. (1986)** Czechoslovakia. In: Dunning, F. W. & Evans, A. M. (Hrsg.) Mineral Deposits of Europe – Volume 3: Central Europe. Institution of Mining and Metallurgy & Mineralogical Society, London, S. 117-174
- Pouba, Z. & Sattran, V. (1980)** Copper mineralization in the Bohemian Massif (Areal and time distribution and metallogeny). SGA Special Publication 1, S. 229-236
- Pratje, O. (1923)** Geologischer Führer für Helgoland und die umliegenden Meeresgründe. Sammlung geologischer Führer 23, 128 S.
- Puffe, E. (1939)** Die Minerallagerstätten des südwestlichen Vogtlandes. Berichte der Freiburger Geologischen Gesellschaft 17, S. 26-36
- Rao, M. S. (1967)** Die Kupfererzparagenesen im Siegerland-Wieder-Spateisensteinbezirk, ihre Verbreitung und Genese. Dissertation an der Technischen Hochschule Clausthal, 75 S.
- Rechenberg, H. (1953)** Neue Untersuchungen über die Lagerstätte der Grube Bayerland in der Bayrischen Oberpfalz. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen 85, 3, S. 395-466
- Reh, H. & Schröder, N. (1974)** Erze. In: Hoppe, W. & Seidel, G. (Hrsg.) Geologie von Thüringen. Verlag Hermann Haack, Gotha, S. 867-897
- Reichert, J. & Borg, G. (2008)** Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits. Ore Geology Reviews 33, 2, S. 134-151
- Rentzsch, J., Franzke, H. J. & Friedrich, G. (1997)** Die laterale Verbreitung der Erzmineralassoziationen im deutschen Kupferschiefer. Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 25, 1-2, S. 141-149
- Richter, D. (1977)** Ruhrgebiet und Bergisches Land. Sammlung geologischer Führer 55, 186 S.
- Rösler (1957)** Bericht Nr. 70/57 – Kupfergehalt eines Kupferkies-Ankeritganges in Pörmitz. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2286)
- Rösler (1958)** Bericht Nr. 64/58 – Spurenelemente in Kupferkiesen der Eisenerzlagerstätte von Schleiz-Pörmitz. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2461)
- Rüger, F. & Decker, H. (1992)** Bergbaugeschichte, Geologie und Mineralien des Saalfeld-Kamsdorfer Bergreviers in Ostthüringen. Emser Hefte 13, 4, S. 7-70
- Schaeffer, R. (1983)** Late Mesozoic to Tertiary Mineralization in the North-Eastern Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge, Western Germany). SGA Special publication 3, S. 329-334
- Schaeffer, R. (1986)** Geochemische Charakteristik und Genese der jungmesozoisch-tertiären Vererzung im Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge). Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen 34, S. 337-381
- Schaeffer, R. & Hein, P. (1985)** Der Kupfererzbergbau bei Marsberg im Sauerland. Der Aufschluss 36, 4, S. 105-116
- Schiemenz, F. (2003)** Beiträge zur gangförmigen Hydrothermalmineralisation am Nordostrand des Thüringer Waldes zwischen Arlesberg und Gehren. Beiträge zur Geologie von Thüringen, N.F. 10, S. 159-200
- Schlosser, W. (2002)** Zur astronomischen Deutung der Himmelscheibe von Nebra. Archäologie in Sachsen-Anhalt 1/2002, S. 21-23
- Schlosser, W. (2003)** Die Himmelscheibe von Nebra – Ein früherer Blick des Menschen ins Universum. <http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/nebra>
- Schmid, H., Weinelt, W. & Vidal, H. (1978)** Lagerstätten in Bayern. Geologica Bavarica 77, 160 S.
- Schmidt-Thomé, P. (1987)** Helgoland – Seine Düneninsel, die umgebenden Klippen und Meeresgründe. Sammlung geologischer Führer 82, 111 S.
- Schneider, J. (1998a)** Buntmetallerz- und Barytmineralisationen. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 184-188
- Schneider, J. (1998b)** Schichtgebundene Bunt- und Edelmetallmineralisationen. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 189-193
- Schneider, J., Haack, U. & Stedingk, K. (2003)** A Sr isotope study on fluorite and siderite from post-orogenic mineral veins in the eastern Harz Mountains, Germany. Mineralium Deposita 38, S. 984-991
- Schnorrer, G. (1997)** Die Sekundärmineralisation des Malachitdomes bei Bleiwäsche im Sauerland. Mitteilungen des Verbandes Deutscher Höhlen- und Karstforscher 43, 1, S. 6-12
- Schnorrer, G., Schneider, J., Pfeiffer, F. & Hiller, V. (2000)** Die Minerale der Grube Wildermann bei Müsen im Siegerland – Erstnachweis eines primären, sowie zweier sekundärer Uran-Mineralen im Rheinischen Schiefergebirge. Der Aufschluss 51, 2, S. 71-123
- Schnorrer-Köhler, G. (1991)** Die Minerale der ehemaligen Kupfererzlagerstätte Nieder-Marsberg – 2. Teil. Lapis 16, 12, S. 13-21
- Schreiter, R. (1932)** Kupfererze im Buntsandstein von Helgoland. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 84, 1, S. 1-17
- Schulz, H. D. (1979)** Kupfer-Verhüttung auf Helgoland zur Wikinger-Zeit. Umschau in Wissenschaft und Technik 79, 12, S. 390-391
- Schulz, H. D. (1981)** Die Kupferverhüttung auf Helgoland im Mittelalter. OFFA 38, S. 365-376
- Schulz, H. D. (1983)** Zuordnung von Kupfer-Metall zum Ausgangserz – Möglichkeiten und Grenzen der Methode. Prähistorische Zeitschrift 58, S. 1-14
- Schüssler, U. (1993)** Zur geologischen Situation der Erzlagerstätte Kupferberg-Neufang in der Umrahmung der Münchberger Gneismasse. Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 21, 1-2, S. 231-236
- Schwanecke, H. (1949)** Über einige kleine Kupfer- und Schwefelkiesvorkommen im Mittel- und Unterharz. Hallesches Jahrbuch für Mitteldeutsche Erdgeschichte 1, S. 7-15
- Seifert, T. (1999)** Relationship between late Variscan lamprophyres and hydrothermal vein mineralization in the Erzgebirge. In: Stanley, C. J., Rankin, A. H., Bodnar, R. J., Naden, J., Yardley, B. W. D., Criddle, A. J., Hagni, R. D., Gize, A. P., Pasava, J., Fleet, A. J., Seltmann, R., Halls, C., Stempok, M., Williamson, B., Herrington, R. J., Hill, R. E. T., Prichard, H. M., Wall, F., Williams, C. T., McDonald, I.,

- Wilkinson, J. J., Cooke, D., Cook, N. J., Marshall, B. J., Spry, P. G., Zaw, K., Meinert, L. D., Sundblad, K., Scott, P. W., Clark, S. H. B., Valsami, J. E., Beukes, N. J., Stein, H. J., Hannah, J. L., Neubauer, F., Blundell, D. J., Alderton, D. H. M., Smith, M. P., Mulshaw, S. & Ixer, R. A. (Hrsg.) *Mineral deposits: processes to processing*. Balkema, Rotterdam, S. 429-432
- Siemroth, J. & Witzke, T. (1999)** Die Minerale des Mansfelder Kupferschiefers. Schriftenreihe des Mansfeld-Museums 4, S. 1-66
- Simon, K. (1990)** Höhengiedlungen der älteren Bronzezeit im Elbsaalegebiet. *Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte* 73, S. 287-330
- Simon, K. (1993)** Zum ältesten Erzbergbau in Ostthüringen und Sachsen – Argumente und Hypothesen. In: Steuer, H. & Zimmermann, U. (Hrsg.) *Montanarchäologie in Europa*. Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen, S. 89-104
- Speczik, S., Skowronek, C., Friedrich, G., Diedel, R., Schumacher, C. & Schmidt, F. P. (1986)** The environment of generation of some base metal Zechstein occurrences in Central Europe. *Acta Geologica Polonica* 36, 1-3, S. 1-35
- Stedingk, K. (1983)** Zur Mineralisation des Oberharzer Diabasuzuges bei Lerbach. *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Goslar* 1, S. 9-28
- Stedingk, K., Rentzsch, J., Knitzschke, G., Schenke, G., Heinrich, K. & Scheffer, H. (2002)** Potentiale der Erze und Spate in Sachsen-Anhalt. *Mitteilungen zur Geologie von Sachsen-Anhalt, Beiheft* 5, S. 75-131
- Stoppel, D. (1978)** Untersuchungen auf der ehemaligen Kupfererzgrube Ludwig südlich Dexbach (Stadt Biedenkopf/Hessen). unveröffentlichter Bericht im Archiv der BGR, Hannover, 16 S.
- Stoppel, D. (1988)** Auf Erzsuche – Zur Geschichte des Silber-, Kupfer- und Schwespatbergbaus im Raum Biedenkopf-Dillenburg. Doris Bode Verlag, Haltern, 168 S.
- Stoppel, D., Gundlach, H., Heberling, E., Heinrich, G., Hüser, M., Kallies, H.-B. & Schaeffer, R. (1983)** Schwer- und Flußspatlagerstätten des Südwestharzes. *Geologisches Jahrbuch, Reihe D* 54, S. 3-269
- Straßburger, M. (1996)** Die Gruben des Sauerlandes um 1890. In: Senger, M. (Red.) *Bergbau im Sauerland*. Westfälisches Schieferbergbaumuseum, Schmallenberg-Holthausen, S. 267-278
- Stribny, B. (1989)** Die Kupfererzlagerstätte Marsberg im Rheinischen Schiefergebirge – ein Beispiel intraformationaler Lagerstättenbildung innerhalb der unterkarbonischen Schwarzschieferserie. Habilitation an der J.W. Goethe-Universität Frankfurt, 193 S.
- Stribny, B., Urban, H. & Weber, H. (1988)** The Lower Carboniferous black shale formation, a possible source for noble and base metal deposits in the NE Rhenish Massif, Federal Republic of Germany. *Mineralogy and Petrology* 39, 2, S. 129-143
- Studnična, B. & Zacharias, J. (1996)** The porphyry ore deposit with Au-Cu-W mineralization on the Petračkova hora Mt. near Vacikov. In: Moravek, P. (Hrsg.) *Gold deposits in Bohemia*. Czech Geological Survey, Prag, S. 57-78
- Stühmer, H. H., Schulz, H. D., Willkomm, H. & Hänsel, B. (1978)** Rohkupferfunde vor Helgoland. *OFFA* 35, S. 11-35
- Tauscher, H. (1997)** Vorkommen von gediegenem Kupfer im Raum Zwickau/Sachsen. *Mineralien-Welt* 8, 6, S. 27-29
- Tille (1929)** Auszug der auf Kupfererze verliehenen Felder aus den Akten des Thüringer Bergamtes Saalfeld. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2084)
- Tischendorf, G., Amov, B., Bielicki, K.-H. & Baldijeva, T. (1985)** Isotopic composition of lead in some galenas and clausthalite from the GDR. *Chemie der Erde* 44, S. 259-267
- Tischendorf, G., Bielicki, K.-H. & Franzke, H. J. (1993)** On the Genesis of Permian and Post-Permian Hydrothermal Mineralizations in the Harz Mountains according to new Pb-Isotope Measurements. *Monograph series on mineral deposits* 30, S. 65-76
- Tylecote, R. F., Ghaznavi, H. A. & Boydell, P. J. (1977)** Partitioning of Trace Elements Between the Ores, Fluxes, Slags and Metal During the Smelting of Copper. *Journal of Archaeological Science* 4, S. 305-333
- Urban, H., Stribny, B., Zereini, F. & Ye, Y. (1995)** Geochemistry and metallogenesis of Lower Carboniferous black shale-hosted ore deposits, NE Rhenish Massif, FR Germany. *Ore Geology Reviews* 9, 5, S. 427-443
- Urban, H. & Vache, R. (1972)** Die Kupfererzlagerstätten von Kupferberg-Wirsberg (Oberfranken) im Lichte neuer Aufschlüsse. *Geologica Bavarica* 65, S. 74-106
- Vana, T. (1988)** Stratiformni kyzova polymetalicka mineralizace kasejovickeho metamorfovaneho ostrova. *Geologicky Pruzkum* 30, 7, S. 198-201
- Vogel (1950)** Arsenkieslagerstätte am großen Silberberg bei Gahma. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2044)
- Vollstädt, H., Siemroth, J. & Weiß, S. (1991)** Mineralfundstellen – Ostharz, Sachsen-Anhalt und Lausitz. Christian Weise Verlag, München, 128 S.
- von Horstig, G. (1972)** Mineralabfolge und Tektonik in den flußspatführenden Mineralgängen des Frankenwaldes. *Geologica Bavarica* 65, S. 160-184
- von Hoyningen-Huene, E. (1959)** Zur Geologie der Kupfererzlagerstätten im Rotliegenden von Zwickau. *Freiberger Forschungshefte C* 58, S. 93-105
- von Ruffer, C. & Friedrich, K. (1973)** Die Schwefelkiesgrube Bayerland. *Erzmetall* 26, 4, S. 167-169
- Wagner, H. (1978)** Polen. Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte 19, 144 S.
- Wagner, T. & Schneider, J. (2002)** Lead isotope systematics of vein-type antimony mineralization, Rheinisches Schiefergebirge, Germany – a case history of complex reaction and remobilization processes. *Mineralium Deposita* 37, S. 185-197
- Wagner, T., Jochum, J. & Schneider, J. (1998)** Buntmetallerzgänge. *Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband* 1, S. 136-145
- Walther, H. W. (1980)** Copper deposits in Western Central Europe – a Review. *SGA Special Publication* 1, S. 222-228

- Walther, H. W. & Dill, H. G. (1992)** Bodenschätze Mitteleuropas – Ein Überblick. In: Walter, R. (Hrsg.) Geologie von Mitteleuropa. Schweizerbart, Stuttgart, S. 410-466
- Walther, H. W., Emmermann, K.-H., Fenchel, W., Fuchs, W., Gudden, H., Gunzert, G., Gussone, R., Hesemann, J., Hofrichter, E., Lehmann, H., Lippert, H.-J., Luszkat, M., Maus, H., Pilger, A., Podufal, P., Ree, C., Schachner, D., Schaeffer, R., Schneider, H.-J., Simon, P., Sperling, H., Stadler, G., Stolze, F., Teuscher, E. O., Weinelt, W., Wimmenauer, W. & Ziegler, J. H. (1986)** Federal Republic of Germany. In: Dunning, F. W. & Evans, A. M. (Hrsg.) Mineral Deposits of Europe – Volume 3: Central Europe. Institution of Mining and Metallurgy & Mineralogical Society, London, S. 175-301
- Wedepohl, K. H. (1969ff)** Handbook of geochemistry. Volumes I bis V, Springer Verlag, Berlin
- Wedepohl, K. H., Delevaux, M. H. & Doe, B. R. (1978)** The potential source of lead in the Permian Kupferschiefer Bed of Europe and some selected Paleozoic mineral deposits in the Federal Republic of Germany. Contributions to Mineralogy and Petrology 65, 3, S. 273-281
- Weiß, S., Hochleitner, R., Rewitzer, C., Schmeltzer, H. & Schnorrer-Köhler, G. (1990)** Atlas der Mineralfundstellen in Deutschland West. Christian Weise Verlag, München, 320 S.
- Wemicke, F. A. (1960)** Beitrag zur Kenntnis des Bensberger Zink-Bleierz-Reviers. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen 93, 3, S. 257-323
- Wiefel & Schlegel (1960)** Bericht 2/60 über Kupfererzvorkommen im Gebiet von Schleiz-Zeulenroda und das Schwerspat-Kupfer-Erzvorkommen vom Burgholze bei Löhma. unveröffentlichter Bericht im Archiv der TLUG in Weimar (Archiv-Nr. 2021)
- Witter, W. (1938)** Die älteste Erzgewinnung im nordisch-germanischen Lebenskreis, Band 1: Die Ausbeutung der mitteldeutschen Erzlagerstätten in der frühen Metallzeit. Mannus Bucherei 60, 275 S.
- Wolf, M. (1964)** Der Floßberggangzug bei Ilmenau und Gehren. Freiburger Forschungshefte C 148, S. 1-157
- Ziehr, H. (1975)** Das Wölsendorfer Fluorit-Revier. Der Aufschluß, Sonderband 26, S. 207-242
- Zimmermann, U. (1993)** Urgeschichtlicher Metallergbergbau in Mitteleuropa. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 1993, S. 48-54
- Zimnoch, E. (1978)** Mineralizacja kruszcowa złoza Miedzianka w Sudetach. Biuletyn Instytutu Geologicznego 308, S. 91-134
- geologische Karten und Erläuterungen:**
- Beyrich, E., Lossen, K.A., Weiss, E. & Moesta, F. (1882)** Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, Blatt Wippra. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 84 S.
- Clausen, C. D., Deutloff, O., Knapp, G., Kühn-Velten, H., Michel, G., Müller, H. & Skupin, K. (1989)** Erläuterungen zu Blatt C 4718 Korbach. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 104 S.
- Credner, H. & Weise, E. (1904)** Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen, Section Plauen-Pausa. Königliches Finanz-Ministerium, Leipzig, 71 S.
- Dahlgrün, F. (1928)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2454 Harzgerode. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Dahlgrün, F. (1929)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2454 Harzgerode. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 72 S.
- Dahlgrün, F. (1934)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2526 Stolberg am Harz. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Dahlgrün, F. & Görz, G. (1935)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2526 Stolberg am Harz. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 58 S.
- Denckmann, A. (1902)** Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Kellerwald. nachgedruckt 1995 für die Behelfsausgabe der Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 4920 Armsfeld. Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 84 S.
- Denckmann, A. & Quiring, H. (1930)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2978 Siegen, Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Emmert, U., von Horstig, G., Weinelt, W., Berger, K & Brunnacker, K. (1960)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt 5835 Stadtsteinach. Bayrisches Geologisches Landesamt, München, 279 S.
- Erdmannsdörffer, O. H. & Schroeder, H. (1926)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2305 Wernigerode. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 78 S.
- Fuchs, A., Quiring, H. & Schmidt, W. E. (1932)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2977 Freudenberg. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 63 S.
- Hinze, C., Büchner, K.-H., Duphorn, K., Fauth, H., Grimmelmann, W., Heinemann, B., Maier, R., Simon, P., Sperling, H. & Stein, V. (1976)** Erläuterungen zu Blatt Seesen Nr 4127 – Geologische Karte von Niedersachsen 1:25000. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, 161 S.
- Holzapfel, E. (1903)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt St. Goarshausen. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt und Bergakademie, Berlin
- Holzapfel, E. (1904)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt St. Goarshausen. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt und Bergakademie, Berlin
- Hornig, W., Puff, P., Schlegel, G., Seidel, G. & Steinmüller, A. (1981)** Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25000, Blätter 5037 Eisenberg und 5038 Langenberg. Zentrales Geologisches Institut, Berlin, 201 S.

- Ilavsky, J. & Sattran, V. (1980)** Metallogenetic Map of Czechoslovakia 1:500000 – Explanatory text and legend. Geologicky ustav Dionyza Stura, Bratislava, 144 S.
- Kayser, E. (1892a)** Erläuterungen zur Geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Ems. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 42 S.
- Kayser, E. (1892b)** Erläuterungen zur Geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Schaumburg. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 52 S.
- Kayser, E. & Lotz, H. (1907a)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Dillenburg. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 119 S.
- Kayser, E. & Lotz, H. (1907b)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Oberscheld. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 125 S.
- Kulick, J., Kütke, H., Kutscher, F., Matthes, G., Meisl, S., Nieschalk, A., Nieschalk, C., Rabien, A., Semmel, A. & Wendler, R. (1997b)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 4719 Korbach. Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 288 S.
- Liebe, K. T. (1881)** Erläuterungen zur Geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Zeulenroda. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 54 S.
- Loretz, H. (1892)** Erläuterungen zur Geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Gross-Breitenbach. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 44 S.
- Loretz, H. (1906)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Masserberg. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 88 S.
- Loretz, H., Scheibe, R. & Zimmermann, E. (1908)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Ilmenau. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 185 S.
- Lossen, K. A. & Beyrich, E. (1928)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2452 Benneckenstein. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Ludwig, R. (1870)** Erläuterungen zur geologischen Specialkarte des Grossherzogtums Hessen und der angrenzenden Landesgebiete im Maasstabe von 1:50000, Section Gladenbach. Mittelrheinischer Geologischer Verein, Darmstadt, 131 S.
- Reich, H. (1934)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2917 Laasphe. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 41 S.
- Reich, H., Kegel, W., Ebert, A. & Correns, C. W. (1935)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2980 Eibelshausen. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 34 S.
- Schlegel, G. & Wiefel, H. (1998)** Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25000 von Thüringen, Blätter Knau 5336 und Schleiz 5436. Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar, 346 S.
- Schmierer, T., Blum, R., Correns, C. W., Hölting, B., Holtz, S., Horn, M., Rosenberg, F. & Sabel, K.-J. (1992)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5017 Biedenkopf. Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 125 S.
- Schriel, W. (1928)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2452 Benneckenstein. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 43 S.
- Schriel, W. & Fulda, E. (1926)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2600 Kelbra. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 55 S.
- Schriel, W. & Stahl, A. (1938)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2377 Riefensbeek. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Schroeder, H., Erdmannsdörffer, O. H., Siegert, L., Fliegel, G. & Dahlgrün, F. (1927)** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt 2381 Quedlinburg. Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- Stettner, G., Bader, K., Gudden, H., Kohl, F. & Reißmann, M. (1964)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt 5837 Weißenstadt. Bayrisches Geologisches Landesamt, München, 194 S.
- von Horstig, G., Stettner, G., Berger, K. & Brunnacker, K. (1962)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt 5636 Naila. Bayrisches Geologisches Landesamt, München, 192 S.
- Weise, E. & Siegert, L. (1902)** Geologische Specialkarte des Königreichs Sachsen, Section Plauen-Pausa. Königliches Finanz-Ministerium, Leipzig
- Zimmermann, E. (1912)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Hirschberg a. d. Saale. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 211 S.
- Zimmermann, E. (1914)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Saalfeld a. d. Saale. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 130 S.
- Zimmermann, E. (1941)** Erläuterungen zur Geologischen Karte des Deutschen Reiches 1:25000, Blatt Kauffung. Reichsstelle für Bodenforschung, Berlin, 95 S.
- Zimmermann, E. & Scheibe, R. (1908)** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Suhl. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 158 S.

**weitere Quellen:**

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) Altbergbau-Kartei

## **Anhang**

### **Tabellen:**

Tab. A1: Probenübersicht

Tab. A2: RFA-Ergebnisse

Tab. A3: INAA-Ergebnisse

Tab. A4: Ergebnisse der Pb-Isotopenanalysen

Tab. A5: Pb-Isotopendaten des Kupfervorkommens Marsberg (Schneider)

### **Abbildungen:**

Abb. A1 und A2: Pb-Isotopenpopulationen der untersuchten Erzdistrikte

Abb. A3 und A4: Pb-Isotopenpopulationen der untersuchten Erzdistrikte ergänzt um Literaturdaten

Abb. A5 bis A10: Vergleich der Pb-Isotopenzusammensetzung der untersuchten Erzproben mit den Artefakten von Nebra

Abb. A11 bis A30: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (RFA-Daten) der untersuchten Erzproben mit den Artefakten von Nebra

Abb. A31 bis A34: Vergleich der Spurenelementzusammensetzung (INAA-Daten) der untersuchten Erzproben mit den Artefakten von Nebra

Anhang

Tabelle A1: Übersicht über die Proben und ihre Herkunft

Probe	Region	Lokalität
Amel-1	Dillmulde	Grube „Amalie“ bei Amelose
AtDreis-1	Siegerland	Grube „Alte Dreisbach“ bei Siegen
AtKonst-1	Dillmulde	Grube „Alte Constanze“ bei Eisemroth
Bgfr-1	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Bertsch“, Bad Wildungen-Bergfreiheit
Bgfr-2	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Bertsch“, Bad Wildungen-Bergfreiheit
Bgfr-3	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Bertsch“, Bad Wildungen-Bergfreiheit
Biw-1	Harz	Pinge des „Glansschachtes“ bei Silberhütte
Biw-2	Harz	Pinge, Biwender Gangzug bei Silberhütte
Biw-3	Harz	Pinge am Biwender Gangzug bei Silberhütte
Bod-1	Hinterer Bayrischer Wald	Silberberg bei Bodenmais
Bod-2	Hinterer Bayrischer Wald	Grube „Barbara“, Silberberg bei Bodenmais
Bod-3	Hinterer Bayrischer Wald	Silberberg bei Bodenmais
Bod-4	Hinterer Bayrischer Wald	Silberberg bei Bodenmais
Böhl-1	Thüringer Schiefergebirge	Schurf am Kirchberg bei Böhlen
Boxb-1	Dillmulde	Grube „Boxbach“ bei Hesselbach
Brau-1	Distrikt Untere Lahn	Grube „Rosenberg“ bei Braubach
Bret-1	Harz	Grube „Langes Holz“ bei Mägdesprung
Bret-2	Harz	Grube „Langes Holz“ bei Mägdesprung
Caa-1	Südrand d. Thüringer Beckens	Dolomitsteinbruch bei Caaschwitz
Chrie-1	Thüringer Schiefergebirge	Chrieschwitz bei Plauen
CuSDo-1		Weißer Wand bei Dobis
CuSDo-2		Weißer Wand bei Dobis
CuSDo-3		Weißer Wand bei Dobis
CuSDo-4		Weißer Wand bei Dobis
CuSEp-1	Südrand des Thüringer Waldes	Epichnellen
CuSHas-1	Nordsudetische Mulde	„Danielstollen“ bei Leszczyna (Haasel)
CuSHas-2	Nordsudetische Mulde	Grubenfeld „Stilles Glück“ bei Leszczyna
CuSHas-3	Nordsudetische Mulde	Grubenfeld „Stilles Glück“ bei Leszczyna
CuSKön-1		Saalberg bei Könnern
CuSKön-2		Saalberg bei Könnern
CuSKön-3		Saalberg bei Könnern
CuSKön-4		Halde bei Gnölbzig nahe Könnern
CuSKyf-1	Südrand des Kyffhäusers	„Kreuzschacht“ bei Rottleben
CuSLaut-1	Südrand des Harzes	Stollenmundloch am Gläsnertal bei Bad Lauterberg
CuSLaut-4	Südrand des Harzes	Stollenmundloch am Gläsnertal bei Bad Lauterberg

Probe	Region	Lokalität
CuSMan-1	Revier Mansfeld	„Freiesleben-Schacht“ bei Mansfeld
CuSMan-2	Revier Mansfeld	Aufschluss bei Großörner
CuSNowy-1	Nordsudetische Mulde	Nowy Kosciol
CuSNowy-2	Nordsudetische Mulde	Nowy Kosciol
CuSRot-1	Südrand des Harzes	Halde bei Rottleberode
CuSRot-2	Südrand des Harzes	Halde bei Rottleberode
CuSRot-3	Südrand des Harzes	Halde bei Rottleberode
CuSWet-1	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-2	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-4	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-5	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-6	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-7	Südrand des Harzes	„Röhrigschacht“ bei Wettelrode
CuSWet-8	Südrand des Harzes	Bergbaulehrpfad bei Wettelrode
CuSWet-9	Südrand des Harzes	Bergbaulehrpfad bei Wettelrode
Donsb-1	Dillmulde	Grube „Stangenwaage“ bei Donsbach
Donsb-2	Dillmulde	Grube „Eisenberg“ bei Donsbach
Eiserf-1	Siegerland	Grube „Brüderbund“ bei Eiserfeld
Eiserf-2	Siegerland	„Kaiser Wilhelm Schacht“, „Brüderbund“
Ems-1	Distrikt Untere Lahn	Neuhoffnungsgang bei Bad Ems
EmsF-1	Distrikt Untere Lahn	Grube „Friedrichsegen“ bei Bad Ems
EmsM-1	Distrikt Untere Lahn	Grube „Merkur“ bei Bad Ems
EmsN-1	Distrikt Untere Lahn	„Grube Neuhoffnung“ bei Bad Ems
Engl-1	Rheinisches Schiefergebirge	Halde der Grube „Elisabeth“ bei Engelbach
Gies-1	Thüringer Wald	Halde am „Kupferstollen“ bei Gießübel
Gön-1	Dillmulde	Grube „Teutsch“ bei Gönnern
Grund-1	Harz	Bad Grund
Grund-2	Harz	Bad Grund
Grund-3	Harz	Steinbruch „Winterberg“ am Iberg
Hlg-6	Helgoland	Nordwestküste
Hlg-7	Helgoland	Nordwestküste
Hlg-8	Helgoland	Nordwestküste
Hlg-10	Helgoland	Nordwestküste
Hlg-17	Helgoland	Nordwestküste
Hlg-20	Helgoland	Nordwestküste
Hlz-1	Distrikt Untere Lahn	Grube „Holzappel“ bei Holzappel
Hlz-2	Distrikt Untere Lahn	Grube „Holzappel“ bei Holzappel

## Anhang

Fortsetzung Tabelle A1

Probe	Region	Lokalität
Hlz-3	Distrikt Untere Lahn	Grube „Holzappel“ bei Holzappel
Hütt-1	Harz	Halde am Herzog-Carl-Gang bei Hüttenrode
Kam-1	Südrand d. Thüringer Beckens	„Königszeche“ bei Kaulsdorf
Kam-2	Südrand d. Thüringer Beckens	„Königszeche“ bei Kaulsdorf
Kam-3	Südrand d. Thüringer Beckens	„Königszeche“ bei Kaulsdorf
Kam-4	Südrand d. Thüringer Beckens	„Willizeche“ bei Bucha
Katz-1a	Thüringer Wald	Halde im Katzmannstal bei Möhrenbach
Katz-1b	Thüringer Wald	Halde im Katzmannstal bei Möhrenbach
Kyf-1	Kyffhäuser	Grube „Goldener Mann“
Lang-1	Dillmulde	Grube „Constanze“ bei Langenaubach
Laut-1	Harz	Bad Lauterberg
Laut-3	Harz	Halde der „Kupferrose“ bei Bad Lauterberg
Laut-5	Harz	Halde der „Kupferrose“ bei Bad Lauterberg
Lich-1	Thüringer Schiefergebirge	Halde am Bahnhof Lichtenberg
Lich-2	Thüringer Schiefergebirge	„Friedenszeche“ bei Bad Steben
Lich-3	Thüringer Schiefergebirge	„Friedrich-Wilhelm-Stollen“ bei Lichtenberg
Mied-1	Westsudeten	Neuer Adler Gang bei Miedzianka
Mied-2	Westsudeten	Neuer Adler Gang bei Miedzianka
Mied-3	Westsudeten	Roter Trum bei Miedzianka
Mied-4	Westsudeten	Felix Gang bei Miedzianka
Mrs-1	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Wiemecke“ bei Marsberg
Mrs-2	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Oskar“ in Marsberg
Mrs-a	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-b	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-c	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-d	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-e	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-f	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-g	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Mrs-h	Rheinisches Schiefergebirge	Grube „Friederike“ in Marsberg
Nd-1	Harz	„Glasebachschacht“ bei Straßberg,
Nd-2	Harz	Neudorf
Nd-3	Harz	Halde der Grube „Neuhaus-Stolberg“ bei Straßberg
NdRosb-1	Dillmulde	Grube „Aurora“? bei Niederrossbach
NKonst-1	Dillmulde	„Neue Constanze“ bei Eisemroth
Radz-1	Westsudeten	Marie-Förderung Gang, Radzimowice

Probe	Region	Lokalität
Radz-2	Westsudeten	Radzimowice
Radz-3	Westsudeten	Radzimowice
Radz-4	Westsudeten	Grube „Bergmannstrost“, Radzimowice
Roth-1	Dillmulde	Grube „Gottesgabe“ bei Roth
Roth-2	Dillmulde	Grube „Gottesgabe“ bei Roth
Roth-3	Dillmulde	Grube „Gottesgabe“ bei Roth
Roth-4	Dillmulde	Grube „Gottesgabe“ bei Roth
Sel-1	Dillmulde	Grube „Selnbach“ bei Wiesenbach
Selgt-1	Südrand des Thüringer Waldes	Grube am Stahlberg bei Seligenthal
Sie-1	Harz	Halde der „Henriette“ bei Sieber
Sie-2	Harz	Halde der „Henriette“ bei Sieber
Silb-1	Siegerland	Grube „Silberwiese“ bei Oberlahr
Sohl-1	Lausitz	Rožany bei Sohland/Spree
Stch-1	Thüringer Wald	Stechberg bei Gehren
StoF-1	Harz	„Flußschacht“ bei Rottleberode
StoF-2	Harz	„Flußschacht“ bei Rottleberode
Storch-1	Siegerland	Grube „Storch und Schöneberg“
Storch-2	Siegerland	Grube „Storch und Schöneberg“
Sum-1	Moravo-Silesikum	Rubotin bei Šumperk
Tann-1	Thüringer Wald	„Tannenglasbach“ bei Neustadt am Rennsteig
Tann-2	Thüringer Wald	„Tannenglasbach“ bei Neustadt am Rennsteig
Tres-1	Harz	Halde, „Braunschweigische Zeche“, Treseburg
TresK-1	Harz	Pinge der Grube „Prinz Karl“ bei Treseburg
TresK-2	Harz	Pinge der Grube „Prinz Karl“ bei Treseburg
TresTf-1b	Harz	Pinge, „Glückauf Tiefenbach“ bei Treseburg
TresTf-2	Harz	Pinge, „Glückauf Tiefenbach“ bei Treseburg
TrtB-1	Harz	Halde an der Bärenhöhe bei Trautenstein
TrtK-1	Harz	Halde am Kupferberg bei Trautenstein
TrtK-2	Harz	Halde am Kupferberg bei Trautenstein
TrtL-1	Harz	Halde, „Herzog Ludwig unterm Unterberg“
TrtL-2	Harz	Halde, „Herzog Ludwig unterm Unterberg“
Wer-1	Distrikt Untere Lahn	Werlau
Wer-2	Distrikt Untere Lahn	Werlau
Wld-1	Fichtelgebirge	Grube „Bayerland“ bei Waldsassen
Wld-2	Fichtelgebirge	Grube „Bayerland“ bei Waldsassen
Zlat-1	Moravo-Silesikum	„Sarkander Stollen“, Zlate Hory

Anhang

Tabelle A2: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenz-Analysen, fett: lang gemessene Proben, normal: kurz gemessene Proben, blau: Spurenelemente, die für den Vergleich mit den Artefakten verwendet werden. Alle Angaben sind in Prozent. (zur Zuordnung der Proben vgl. Tabelle A1)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	S	Ag	As	Bi	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn	Summe
<b>Amel-1</b>	81,3	2,2	0,77	<0,01	0,4	<0,1	0,2	2,9	0,241	0,274	0,02	0,01	4,76	0,02	0,05	2,097	<0,005	0,60	95,69
<b>AtDreis-1</b>	6,9	0,8	11,4	<0,01	0,8	<0,1	<0,1	14,4	0,022	<0,005	<0,01	0,01	57,8	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	92,13
<b>AtKonst-1</b>	11,5	0,9	36,4	0,03	<0,1	0,5	<0,1	7,7	0,001	0,007	<0,01	0,04	30,0	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	86,97
<b>Bgfr-1</b>	5,7	1,4	46,7	0,28	0,5	<0,1	<0,1	15,4	<0,001	0,007	<0,01	0,05	18,6	0,04	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	88,71
<b>Bgfr-2</b>	1,1	1,0	47,7	0,25	<0,1	<0,1	<0,1	25,6	<0,001	0,030	<0,01	0,19	11,8	0,22	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	87,83
<b>Bgfr-3</b>	4,5	2,0	30,2	0,48	1,4	5,7	0,2	28,5	0,001	<0,005	<0,01	0,02	18,1	<0,01	<0,01	<0,005	0,011	<0,1	90,91
<b>Biw-1</b>	20,3	0,9	51,7	6,71	0,9	0,6	<0,1	8,1	<0,001	0,960	<0,01	<0,01	1,16	<0,01	<0,01	0,005	<0,005	<0,05	91,20
Biw-2	50,0	1,7	35,6	6,30	0,6	1,2	0,3	1,2	<0,002	0,72	<0,02	<0,02	0,61	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	98,26
Biw-3	25,3	1,0	56,4	0,79	<0,2	<0,2	<0,2	3,0	0,011	0,02	<0,02	<0,02	8,38	<0,02	<0,02	<0,01	0,02	<0,1	94,94
Bod-1	36,4	6,8	26,1	0,16	0,9	<0,2	<0,2	18,5	0,091	<0,01	<0,02	0,02	9,33	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	6,2	104,49
<b>Bod-2</b>	32,7	10,2	25,5	0,08	1,5	0,1	3,5	15,3	0,034	<0,005	<0,01	0,03	2,62	<0,01	0,13	<0,005	0,007	2,42	94,03
Bod-3	13,7	2,0	35,7	0,08	0,8	<0,2	<0,2	41,0	0,053	<0,01	<0,02	0,09	5,52	<0,02	0,03	<0,01	0,04	1,8	100,86
<b>Bod-4</b>	2,7	1,3	36,5	0,12	0,4	<0,1	<0,1	48,6	0,047	0,006	<0,01	0,09	7,39	0,02	0,02	<0,005	0,050	1,83	99,02
<b>Böhl-1</b>	8,4	1,1	86,6	0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,001	0,021	<0,01	0,01	4,31	<0,01	<0,01	<0,005	0,033	<0,05	100,67
<b>Boxb-1</b>	33,6	2,3	24,0	0,30	0,2	0,2	0,2	20,3	<0,001	0,421	<0,01	0,02	17,4	0,40	<0,01	0,005	<0,005	<0,1	99,39
<b>Brau-1</b>	37,6	1,8	1,04	<0,01	0,2	<0,1	0,3	3,2	0,029	<0,005	0,06	<0,01	23,9	<0,01	27,8	0,005	0,013	0,2	96,09
Bret-1	66,7	5,0	13,1	0,05	0,4	2,3	0,6	4,8	0,002	0,01	0,04	<0,02	2,76	<0,02	0,03	<0,01	<0,01	<0,1	95,80
Bret-2	73,3	4,8	7,02	0,03	1,5	13,1	0,5	2,5	<0,002	0,20	0,12	<0,02	1,14	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,1	104,19
Caa-1	0,3	0,9	34,0	<0,02	0,2	<0,2	<0,2	26,1	<0,002	0,04	<0,02	<0,02	27,1	<0,02	2,64	<0,01	<0,01	<0,2	91,23
<b>Chrie-1</b>	3,3	0,7	45,0	0,04	0,3	0,1	<0,1	2,3	0,002	0,006	<0,01	0,04	37,0	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	88,82
<b>CuSDo-1</b>	50,9	7,8	0,94	0,25	1,7	15,0	2,3	0,2	0,092	<0,005	<0,01	<0,01	1,08	<0,01	0,01	<0,005	<0,005	<0,05	80,19
CuSDo-2	58,0	8,8	1,20	0,25	1,1	18,3	2,7	0,2	0,019	<0,01	<0,02	<0,02	0,75	<0,02	0,11	<0,01	<0,01	<0,02	91,35
<b>CuSDo-3</b>	43,6	13,6	3,14	0,23	3,9	10,8	4,1	0,2	0,003	<0,005	<0,01	<0,01	0,22	0,03	0,40	<0,005	<0,005	<0,01	80,14
<b>CuSDo-4</b>	38,8	10,9	2,57	0,26	2,5	17,6	2,6	0,8	0,015	<0,005	0,03	<0,01	0,20	0,02	7,76	<0,005	<0,005	0,08	84,14
<b>CusEp-1</b>	65,9	10,1	1,27	0,12	1,5	8,8	3,1	0,1	0,002	<0,005	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	91,03
CuSHas-1	50,9	18,5	4,48	0,15	4,1	4,7	7,2	2,3	0,026	0,03	<0,02	<0,02	0,70	<0,02	0,20	0,02	<0,01	0,03	93,43
<b>CuSHas-2</b>	35,1	11,2	1,69	0,23	4,1	18,8	5,0	0,9	0,019	<0,005	<0,01	<0,01	2,07	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	78,92
<b>CuSHas-3</b>	43,8	17,5	6,41	0,05	4,2	0,6	6,6	0,1	0,018	0,015	<0,01	<0,01	1,22	0,01	0,02	<0,005	<0,005	<0,05	80,54
CuSKön-1	33,7	10,0	1,69	0,19	2,9	35,1	2,9	0,5	0,005	<0,01	<0,02	<0,02	0,09	<0,02	1,32	<0,01	<0,01	0,24	88,58
CuSKön-2	36,6	10,6	1,93	0,20	3,0	30,5	3,1	0,5	0,005	<0,01	<0,02	<0,02	0,10	<0,02	1,70	<0,01	<0,01	0,69	89,02
CuSKön-3	37,5	11,1	2,09	0,27	4,2	30,4	3,1	0,4	0,005	<0,01	<0,02	<0,02	0,15	<0,02	1,33	<0,01	<0,01	0,61	91,08
CuSKön-4	33,8	10,0	1,60	0,23	3,1	36,2	2,6	1,0	0,007	<0,01	<0,02	<0,02	0,17	<0,02	0,95	<0,01	<0,01	0,57	90,15
CuSKyf-1	66,5	8,5	3,25	0,01	0,5	1,8	1,7	2,3	0,001	0,027	<0,01	0,02	6,14	0,02	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	90,78
CuSLaut-1	26,4	4,4	1,82	0,19	16,9	30,0	1,0	2,1	<0,002	0,02	<0,02	<0,02	0,13	0,03	0,15	<0,01	<0,01	<0,02	83,17
CuSLaut-4	19,5	4,6	1,80	0,21	19,7	34,4	0,8	1,5	<0,002	0,18	<0,02	<0,02	0,07	0,07	0,35	<0,01	<0,01	0,05	83,10
CuSMan-1	3,7	2,3	2,32	0,51	3,9	28,8	<0,2	22,3	0,134	0,01	0,02	<0,02	23,8	<0,02	0,08	<0,01	<0,01	<0,2	87,96

## Anhang

Fortsetzung Tabelle A2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	S	Ag	As	Bi	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn	Summe
CuSMan-2	2,4	1,4	25,3	1,47	30,1	0,4	0,6	0,9	0,053	2,23	<0,02	<0,02	3,81	0,06	<0,02	0,02	<0,01	<0,1	68,80
<b>CuSNowy-1</b>	40,4	11,2	2,42	0,12	2,6	18,9	4,2	0,2	0,015	<0,005	<0,01	<0,01	0,38	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	80,32
CuSNowy-2	50,7	13,9	3,88	0,09	3,0	9,3	5,4	<0,2	0,012	<0,01	<0,02	<0,02	1,21	<0,02	0,30	<0,01	<0,01	<0,1	87,77
CuSRot-1	39,3	11,3	1,98	0,58	2,0	29,2	3,0	2,2	0,004	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	1,01	<0,01	<0,01	1,41	91,88
CuSRot-2	65,5	11,1	7,13	0,58	2,4	6,3	0,7	1,9	0,005	0,02	<0,02	<0,02	0,76	<0,02	0,49	<0,01	<0,01	0,29	97,07
CuSRot-3	61,4	10,1	5,09	0,31	1,0	4,4	0,6	5,0	<0,002	<0,01	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	27,1	<0,01	<0,01	0,31	115,24
CuSWet-1	48,8	19,4	3,71	0,07	2,1	2,3	5,0	3,2	0,060	0,04	<0,02	0,04	2,74	0,07	2,22	<0,01	<0,01	<0,1	89,65
CuSWet-2	41,7	13,2	3,84	0,18	2,0	11,7	3,3	5,8	0,041	<0,01	<0,02	0,05	1,04	0,09	2,13	<0,01	<0,01	0,5	85,60
CuSWet-4	57,4	15,2	2,03	0,26	4,6	9,6	1,2	0,7	0,005	<0,01	<0,02	<0,02	0,94	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	91,91
CuSWet-5	50,0	19,0	2,65	0,08	2,2	2,2	4,9	2,1	0,026	0,03	<0,02	0,03	1,30	0,07	2,10	<0,01	<0,01	<0,1	86,65
CuSWet-6	40,8	14,0	3,21	0,07	2,8	3,4	3,2	6,6	0,027	<0,01	<0,02	0,02	1,38	0,08	0,13	<0,01	<0,01	<0,1	75,70
CuSWet-7	46,9	14,7	3,26	0,16	3,6	7,3	3,6	3,7	0,016	<0,01	<0,02	0,03	0,37	0,11	0,52	<0,01	<0,01	<0,02	84,33
CuSWet-8	48,6	16,2	4,12	0,24	2,3	1,9	4,0	1,6	0,012	<0,01	<0,02	<0,02	0,45	0,06	4,32	<0,01	<0,01	0,21	84,08
CuSWet-9	45,9	14,8	7,42	0,32	1,8	1,0	3,8	1,4	0,021	<0,01	<0,02	<0,02	1,85	0,07	5,24	<0,01	<0,01	0,2	83,75
<b>Donsb-1</b>	9,6	1,3	27,5	0,10	0,6	5,1	<0,1	31,9	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	20,2	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	96,28
<b>Donsb-2</b>	29,7	0,8	33,6	<0,01	0,4	<0,1	<0,1	8,5	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	21,2	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	94,21
<b>Eiserf-1</b>	3,4	1,1	52,5	10,5	1,1	0,2	<0,1	12,4	0,003	0,140	<0,01	<0,01	6,35	<0,01	0,09	<0,005	<0,005	1,12	88,77
<b>Eiserf-2</b>	5,6	1,0	34,5	0,62	0,4	<0,1	<0,1	33,4	0,014	0,082	0,02	0,04	20,8	0,03	0,03	<0,005	0,007	0,2	96,64
<b>Ems-1</b>	2,4	0,8	28,4	0,19	0,3	<0,1	<0,1	34,4	0,039	<0,005	0,07	0,02	20,0	0,02	6,13	<0,005	0,009	0,5	93,20
<b>EmsF-1</b>	19,9	0,9	0,35	<0,01	0,5	<0,1	0,2	3,6	0,050	0,020	<0,01	<0,01	67,7	0,02	0,05	<0,005	0,012	0,7	93,98
<b>EmsM-1</b>	2,3	0,9	35,0	0,31	0,7	<0,1	<0,1	35,6	0,016	0,005	<0,01	0,03	21,9	0,01	0,19	<0,005	0,006	<0,1	96,91
<b>EmsN-1</b>	9,8	1,0	33,6	1,09	0,2	<0,1	<0,1	29,8	0,012	0,019	0,07	<0,01	19,5	<0,01	<0,01	<0,005	0,006	<0,1	95,12
<b>Engl-1</b>	21,2	5,4	27,9	0,11	1,8	0,7	1,6	2,4	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	20,3	0,03	<0,01	<0,005	<0,005	0,1	81,56
Gies-1	27,5	5,8	5,94	0,15	2,3	7,2	0,8	5,8	0,030	0,02	<0,02	<0,02	21,9	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	77,36
<b>Gön-1</b>	1,0	1,0	32,7	<0,01	0,4	<0,1	<0,1	29,2	0,003	<0,005	0,02	0,03	23,4	0,01	3,57	<0,005	0,007	<0,1	91,30
<b>Grund-1</b>	28,3	1,0	21,4	0,03	0,8	2,0	<0,2	28,5	0,008	<0,01	<0,02	0,02	17,2	<0,02	2,32	<0,01	<0,01	2,3	103,95
<b>Grund-2</b>	9,0	0,7	32,7	0,02	0,2	<0,1	<0,1	35,5	0,003	0,010	<0,01	0,03	20,7	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	98,64
<b>Grund-3</b>	1,6	1,0	51,0	0,09	<0,1	0,2	<0,1	12,2	0,002	0,009	<0,01	0,03	17,0	0,02	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	83,28
<b>Hlg-6</b>	37,7	3,5	0,56	0,09	3,1	11,9	1,3	0,3	0,148	1,407	<0,01	<0,01	24,0	0,02	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	83,94
<b>Hlg-7</b>	54,9	4,6	0,69	0,03	0,9	1,0	1,6	0,6	1,549	0,04	<0,02	0,03	25,8	0,67	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	92,35
<b>Hlg-8</b>	47,1	4,5	0,86	0,04	1,3	1,2	1,6	0,5	1,022	0,044	<0,01	0,04	21,5	0,70	0,02	<0,005	<0,005	<0,1	80,34
<b>Hlg-10</b>	47,4	4,4	0,67	0,04	1,6	4,8	1,5	0,1	0,015	0,025	<0,01	<0,01	30,5	0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	91,11
<b>Hlg-17</b>	35,8	3,4	0,50	0,10	3,0	14,8	1,1	0,2	0,032	0,997	<0,01	<0,01	27,0	0,05	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	86,88
<b>Hlg-20</b>	58,8	5,6	0,98	0,05	2,8	3,5	2,0	<0,2	0,361	0,41	<0,02	<0,02	23,5	0,06	0,02	<0,01	<0,01	<0,2	98,09
<b>Hlz-1</b>	61,1	0,8	15,0	1,79	0,4	0,1	<0,1	11,2	0,022	0,008	<0,01	0,02	5,32	0,02	0,01	<0,005	0,015	3,21	98,99
<b>Hlz-2</b>	8,7	1,0	9,14	0,07	0,3	<0,1	<0,1	27,8	0,030	<0,005	0,05	<0,01	8,51	<0,01	37,2	0,011	0,005	7,94	100,71

## Anhang

Fortsetzung Tabelle A2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	S	Ag	As	Bi	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn	Summe
<b>Hlz-3</b>	48,0	1,1	21,9	0,69	0,4	<0,1	<0,1	16,5	0,059	<0,005	0,05	0,01	12,4	<0,01	0,61	<0,005	0,010	<0,1	101,82
Hütt-1	20,6	0,8	22,4	<0,02	0,3	4,1	<0,2	26,4	0,013	0,07	<0,02	0,02	28,2	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	102,81
Kam-1	2,0	0,8	4,42	0,13	4,7	2,1	<0,2	24,2	0,523	5,48	<0,02	0,10	33,3	0,03	0,07	23,60	<0,01	2,0	103,59
Kam-2	2,5	0,7	7,48	<0,02	4,9	<0,2	<0,2	21,9	0,320	6,33	<0,02	0,04	38,4	0,03	0,17	18,40	<0,01	1,8	102,99
Kam-3	4,4	0,5	7,17	0,31	7,9	9,4	<0,2	0,6	0,097	4,11	0,03	0,04	45,3	0,05	2,09	0,48	<0,01	0,9	83,36
<b>Kam-4</b>	9,1	0,9	39,0	<0,01	0,5	<0,1	<0,1	14,3	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	26,5	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	90,38
<b>Katz-1a</b>	48,0	10,4	15,1	0,38	3,2	0,9	0,9	1,1	0,038	<0,005	<0,01	0,01	4,72	<0,01	<0,01	<0,005	0,056	0,29	85,00
Katz-1b	60,0	9,3	6,17	0,14	1,2	0,3	2,0	1,3	0,066	<0,01	<0,02	<0,02	10,9	<0,02	<0,02	<0,01	0,04	<0,2	91,31
<b>Kyf-1</b>	16,9	0,7	40,3	<0,01	0,3	<0,1	<0,1	0,5	<0,001	0,024	<0,01	0,04	25,5	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	84,33
<b>Lang-1</b>	1,9	0,8	27,0	0,01	0,8	1,4	<0,1	19,9	0,001	<0,005	<0,01	0,02	47,8	0,02	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	99,48
Laut-1	20,8	0,7	28,7	<0,02	0,2	0,4	<0,2	7,0	<0,002	<0,01	<0,02	0,02	21,6	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	79,32
Laut-3	14,4	2,3	0,82	0,13	0,7	27,3	<0,2	28,2	<0,002	<0,01	<0,02	<0,02	0,82	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	74,58
<b>Laut-5</b>	48,5	2,0	1,15	0,08	0,6	27,5	<0,1	0,3	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	0,79	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	80,86
<b>Lich-1</b>	3,2	1,6	22,3	0,21	0,7	14,8	<0,1	27,8	0,007	<0,005	<0,01	0,02	18,0	<0,01	<0,01	<0,005	0,025	<0,1	88,56
<b>Lich-2</b>	10,6	1,0	62,7	2,45	<0,1	0,3	<0,1	5,9	0,004	0,008	<0,01	<0,01	9,88	<0,01	<0,01	<0,005	0,023	<0,05	92,87
Lich-3	7,0	1,7	27,9	0,10	0,6	7,7	<0,2	35,9	0,005	<0,01	<0,02	0,02	20,6	<0,02	<0,02	<0,01	0,04	<0,2	101,51
<b>Mied-1</b>	0,2	1,0	33,4	<0,01	0,2	0,3	<0,1	36,4	0,020	0,051	0,05	0,04	22,7	<0,01	0,04	<0,005	0,141	0,3	94,80
Mied-2	13,9	5,6	34,0	0,14	1,8	1,5	0,3	25,9	0,033	0,62	0,03	0,25	15,8	0,05	0,22	<0,01	0,05	0,6	100,80
Mied-3	45,5	1,6	11,3	0,04	2,0	<0,2	<0,2	11,7	0,076	0,02	0,05	<0,02	37,6	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	109,88
<b>Mied-4</b>	9,5	1,0	37,0	0,09	0,7	0,3	<0,1	15,0	<0,001	0,134	<0,01	0,03	31,2	<0,01	<0,01	<0,005	0,038	<0,1	94,83
<b>Mrs-1</b>	2,4	2,5	7,79	0,42	0,7	40,4	<0,1	12,8	0,015	0,018	<0,01	<0,01	12,3	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	79,33
<b>Mrs-2</b>	72,5	7,8	0,86	<0,01	0,7	1,7	1,0	0,1	0,001	<0,005	<0,01	<0,01	3,36	<0,01	0,11	<0,005	<0,005	<0,05	88,12
<b>Mrs-a</b>	62,2	11,1	2,85	0,07	1,5	2,9	2,5	1,4	0,005	<0,005	<0,01	<0,01	1,27	<0,01	0,02	<0,005	<0,005	<0,05	85,83
<b>Mrs-b</b>	95,4	4,7	0,96	0,04	0,7	2,0	0,8	0,8	<0,002	<0,01	<0,02	<0,02	0,18	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	105,53
<b>Mrs-c</b>	63,2	17,1	2,95	0,05	1,6	2,8	3,9	2,7	0,007	0,02	<0,02	<0,02	0,35	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	94,68
<b>Mrs-d</b>	86,9	9,1	2,79	0,09	1,6	2,6	1,6	2,1	0,003	0,05	<0,02	<0,02	0,26	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	107,05
<b>Mrs-e</b>	3,7	3,5	3,29	0,34	0,4	57,0	<0,1	3,8	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	72,11
<b>Mrs-f</b>	58,7	9,1	3,93	0,44	3,8	9,3	2,3	4,6	0,005	0,02	<0,02	<0,02	0,79	0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	93,01
<b>Mrs-g</b>	80,1	6,6	0,77	0,01	0,8	0,7	1,0	1,1	0,042	<0,005	<0,01	<0,01	4,69	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	95,80
<b>Mrs-h</b>	50,9	9,5	4,55	0,70	6,0	13,6	1,4	2,5	0,022	<0,01	<0,02	<0,02	2,87	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,1	92,03
<b>Nd-1</b>	4,0	1,0	34,0	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	36,5	0,003	0,031	<0,01	0,04	16,8	0,06	<0,01	<0,005	0,014	<0,1	92,53
<b>Nd-2</b>	6,1	0,9	31,7	<0,01	0,5	<0,1	<0,1	31,3	0,008	0,023	<0,01	0,03	21,2	<0,01	<0,01	<0,005	0,006	<0,1	91,65
<b>Nd-3</b>	71,3	2,4	11,5	0,98	0,4	<0,2	0,5	3,6	0,005	0,01	<0,02	<0,02	5,11	<0,02	0,02	<0,01	0,01	<0,1	95,89
<b>NdRosb-1</b>	45,3	2,5	13,8	1,18	1,9	<0,2	0,3	9,7	0,590	0,57	0,02	<0,02	11,3	0,02	<0,02	3,22	<0,01	1,7	92,07
<b>NKonst-1</b>	12,1	0,9	39,8	<0,01	0,6	0,3	<0,1	13,4	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	23,3	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	90,31
<b>Radz-1</b>	3,5	1,3	36,8	<0,02	2,2	2,2	<0,2	47,9	0,012	1,80	<0,02	0,05	11,5	<0,02	0,05	<0,01	0,03	0,5	107,83
<b>Radz-2</b>	4,0	2,0	37,1	0,04	0,4	0,4	0,3	43,6	0,058	<0,01	0,05	0,03	15,5	<0,02	0,26	0,02	0,03	0,8	104,54

## Anhang

Fortsetzung Tabelle A2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	S	Ag	As	Bi	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn	Summe
<b>Radz-3</b>	0,6	1,8	21,8	2,25	7,6	10,5	<0,2	32,9	0,039	1,94	0,05	<0,02	4,99	<0,02	6,62	0,92	0,02	1,1	93,20
Radz-4	6,9	2,8	35,2	0,07	0,9	<0,2	<0,2	34,4	0,030	0,34	0,02	0,14	20,3	0,04	0,09	<0,01	0,06	0,3	101,61
Roth-1	15,8	0,7	1,49	<0,02	1,3	<0,2	<0,2	19,6	0,384	1,22	0,09	0,02	30,2	<0,02	<0,02	4,31	<0,01	2,7	77,74
<b>Roth-2</b>	2,2	1,1	34,5	0,06	0,4	<0,1	<0,1	38,2	<0,001	0,011	<0,01	0,03	21,1	<0,01	<0,01	0,007	<0,005	0,5	98,02
Roth-3	21,1	1,1	57,8	0,12	<0,2	<0,2	<0,2	13,3	0,034	0,08	0,04	0,04	8,97	0,02	<0,02	0,14	<0,01	<0,1	102,78
Roth-4	32,0	0,6	3,25	<0,02	1,9	<0,2	<0,2	18,4	0,344	2,03	0,04	0,03	27,0	<0,02	<0,02	3,96	<0,01	2,2	91,95
Sel-1	69,0	2,4	14,1	1,15	1,2	<0,2	0,6	3,7	0,083	0,19	<0,02	<0,02	3,04	<0,02	<0,02	1,59	<0,01	0,5	97,46
<b>Selgt-1</b>	11,6	0,8	29,1	0,01	0,2	2,2	<0,1	30,5	<0,001	<0,005	<0,01	0,03	20,9	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	95,29
Sie-1	55,7	2,4	1,03	0,02	0,6	<0,2	0,5	7,2	0,008	0,05	<0,02	<0,02	1,94	<0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,1	69,53
<b>Sie-2</b>	6,6	1,7	0,21	0,04	0,5	<0,1	<0,1	13,4	0,004	<0,005	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	22,61
<b>Silb-1</b>	0,2	0,9	37,0	0,79	0,6	<0,1	<0,1	32,6	0,004	0,008	<0,01	0,03	19,4	<0,01	<0,01	0,012	0,039	<0,1	91,55
<b>Sohl-1</b>	0,3	1,0	48,3	0,02	<0,1	<0,1	<0,1	37,9	0,002	<0,005	<0,01	0,11	4,85	3,78	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	96,19
<b>Stch-1</b>	31,6	1,9	11,8	0,06	0,6	20,3	<0,1	14,6	<0,001	0,007	<0,01	<0,01	14,3	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	95,15
<b>StoIF-1</b>	2,8	2,2	12,6	<0,01	<0,1	31,6	<0,1	18,7	0,001	<0,005	<0,01	0,02	14,6	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	82,50
<b>StoIF-2</b>	34,5	0,7	25,3	<0,01	0,3	0,1	<0,1	24,1	0,001	<0,005	<0,01	0,03	19,7	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	104,67
<b>Storch-1</b>	5,5	0,9	36,3	0,79	0,6	<0,1	<0,1	33,0	0,003	0,009	<0,01	0,02	19,2	0,02	0,08	<0,005	0,027	<0,1	96,35
<b>Storch-2</b>	1,3	1,2	35,8	<0,02	0,3	<0,2	<0,2	44,1	0,005	<0,01	<0,02	0,03	23,5	<0,02	<0,02	<0,01	0,01	<0,2	106,15
<b>Sum-1</b>	26,3	0,9	35,5	0,04	0,2	<0,1	<0,1	13,0	0,002	<0,005	<0,01	0,03	20,8	<0,01	<0,01	<0,005	0,015	<0,1	96,69
<b>Tann-1</b>	11,1	1,1	7,38	0,12	3,5	21,8	<0,1	16,6	0,019	5,658	<0,01	0,02	24,1	<0,01	0,24	0,030	<0,005	1,2	92,76
<b>Tann-2</b>	38,1	1,0	6,38	0,02	2,6	22,3	<0,2	6,9	0,013	3,44	<0,02	0,02	15,5	<0,02	0,08	0,02	<0,01	0,3	96,63
<b>Tres-1</b>	48,9	1,2	20,5	<0,02	0,3	<0,2	<0,2	16,9	0,007	<0,01	<0,02	0,03	14,8	<0,02	0,05	<0,01	<0,01	<0,2	102,76
<b>TresK-1</b>	85,7	0,6	2,94	<0,01	0,2	0,1	<0,1	2,1	0,002	0,011	0,04	0,03	1,31	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	93,02
<b>TresK-2</b>	73,2	4,5	11,9	0,08	1,3	<0,2	<0,2	1,0	<0,002	0,01	<0,02	<0,02	0,43	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	92,38
<b>TresTf-1b</b>	79,0	0,9	9,51	0,01	0,5	<0,1	<0,1	6,3	0,005	0,010	0,12	0,02	4,48	0,01	0,02	<0,005	0,010	<0,05	100,95
<b>TresTf-2</b>	20,3	1,1	43,1	<0,02	<0,2	0,3	<0,2	28,7	<0,002	<0,01	<0,02	<0,02	1,33	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,1	94,80
<b>TrtB-1</b>	11,3	2,6	34,4	0,16	<0,2	<0,2	0,4	35,1	<0,002	<0,01	<0,02	0,04	21,7	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	105,68
<b>TrtK-1</b>	2,5	0,8	44,1	0,04	<0,1	<0,1	<0,1	19,1	<0,001	<0,005	<0,01	0,04	20,3	0,02	<0,01	<0,005	<0,005	<0,1	86,95
<b>TrtK-2</b>	48,5	15,1	3,08	0,04	1,1	0,2	3,5	<0,1	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	7,30	0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	78,83
<b>TrtL-1</b>	4,2	1,1	33,4	0,15	0,3	2,7	<0,2	30,7	<0,002	<0,01	<0,02	0,03	21,9	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	94,36
<b>TrtL-2</b>	12,9	2,6	13,1	1,02	3,9	26,5	0,3	11,4	<0,002	<0,01	<0,02	<0,02	11,3	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,2	83,01
<b>Wer-1</b>	24,3	0,9	29,2	0,02	0,7	<0,2	<0,2	32,9	0,034	<0,01	<0,02	0,04	21,1	<0,02	0,21	0,01	<0,01	0,4	110,00
<b>Wer-2</b>	1,4	0,9	33,2	4,92	0,4	0,3	<0,1	32,0	0,022	<0,005	<0,01	<0,01	20,1	<0,01	0,19	<0,005	<0,005	<0,1	93,33
<b>Wld-1</b>	18,0	1,2	36,5	0,04	<0,2	<0,2	<0,2	34,1	0,028	0,02	<0,02	0,04	8,17	<0,02	<0,02	<0,01	0,06	1,9	100,08
<b>Wld-2</b>	44,4	0,8	34,3	0,02	<0,2	<0,2	<0,2	23,2	0,007	0,01	<0,02	<0,02	2,15	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,2	105,05
<b>Zlat-1</b>	21,9	2,6	30,4	0,09	1,4	1,1	0,1	41,0	<0,001	0,013	<0,01	0,02	2,23	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,05	100,80

Anhang

Tabelle A3: Ergebnisse der INAA, blau: Spurenelemente, die für den Vergleich mit den Artefakten verwendet werden. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den RFA-Ergebnissen wurde der Fe-Gehalt auf Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> umgerechnet. (zur Zuordnung der Proben vgl. Tabelle A1)

	Cu (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ag (µg/g)	As (µg/g)	Au (µg/g)	Co (µg/g)	Ni (µg/g)	Sb (µg/g)	Se (µg/g)	Sn (µg/g)	Zn (µg/g)
Boxb-1	18,2	11	4,3	4307	0,19	118	3208	114	2	< 96	23
Bret-1	0,4	5	8,6	80,2	< 0,04	28	39	1,2	2	< 64	132
Bret-2	0,2	3	5,0	2316	0,05	97	44	6,4	2	< 67	44
Donsb-1	25,7	14	2,6	25,4	0,01	32	40	11,6	11	43	10
Donsb-2	20,6	12	2,2	8,00	0,01	37	< 116	7,5	4,1	< 67	8
Engl-1	16,8	10	3,9	13,1	< 0,02	32	146	1,2	7,1	< 36	1202
Grund-1	19,7	20	63	28,7	0,06	91	< 203	125	13	< 76	25379
Grund-3	23,7	42	18	68,8	< 0,03	97	246	148	40	< 114	316
Hütt-1	30,7	21	112	735	< 0,03	80	48,7	6,6	18	< 94	14
Laut-1	20,0	21	3,3	25,7	0,09	25	< 117	5,9	13	< 71	14
Laut-5	0,1	1	< 0,8	10,5	0,05	32	24	9,6	1,0	< 56	17
Nd-1	22,5	34	30	334	0,10	84	652	18,5	12	113	45
Nd-2	29,4	23	78	196	0,06	46	83	5,4	1,2	78	819
Silb-1	26,6	27	33	82,4	0,94	52	137	376	133	364	249
StoIF-1	15,8	13	5,4	3,3	0,03	98	62	5,9	30	< 38	25
StoIF-2	24,1	18	11	22,5	0,07	109	< 147	96	176	< 88	49
Tres-1	15,1	12	35	20,6	0,09	83	87	33,8	3	< 104	362
TresK-1	0,1	1	3,6	34,9	0,02	198	< 115	4,1	5	< 40	27
TresK-2	< 0,3	6	1,9	51,2	0,04	63	< 113	2,1	5	< 44	37
TresTf-1	< 0,2	1	3,1	7,9	0,01	80	< 85	2,5	13	< 71	23
TresTf-2	0,2	36	6,8	8,8	0,01	38	167	1,5	19	< 57	45

## Anhang

Tabelle A4: Ergebnisse der Pb-Isotopenanalysen. kursiv: TIMS-Daten (J. Schneider), sonst: MC-ICP-MS-Daten. Bei Mineralseparaten ist das Mineral angegeben. (Probenzuordnung s. Tab. A1)

	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Probentyp
<b>Amel-1</b>	18,473	15,625	38,494	Mischerz
<b>AtDreis-1</b>	18,282	15,610	38,153	Mischerz
<b>AtKonst-1</b>	18,339	15,617	38,421	Mischerz
<i>Bgfr-1</i>	18,640	15,623	38,635	Chalkopyrit
<i>Bgfr-2</i>	18,816	15,624	38,624	Chalkopyrit
<b>Bgfr-3</b>	18,600	15,627	38,513	Mischerz
<b>Biw-1</b>	18,437	15,631	38,393	Mischerz
<b>Biw-2</b>	18,395	15,620	38,325	Mischerz
<b>Biw-3</b>	18,434	15,628	38,384	Mischerz
<b>Bod-1</b>	17,895	15,577	39,714	Mischerz
<b>Bod-2</b>	17,744	15,568	37,896	Mischerz
<b>Bod-3</b>	17,685	15,561	37,817	Mischerz
<b>Bod-4</b>	17,762	15,569	37,827	Mischerz
<b>Böhl-1</b>	20,365	15,671	38,509	Mischerz
<b>Boxb-1</b>	18,500	15,630	38,504	Mischerz
<b>Brau-1</b>	18,215	15,606	38,122	Mischerz
<b>Bret-1</b>	18,608	15,644	38,664	Mischerz
<i>Bret-1</i>	18,603	15,630	38,622	Chalkopyrit
<i>Bret-2</i>	18,600	15,624	38,606	Chalkopyrit
<b>Caa-1</b>	18,279	15,576	38,496	Mischerz
<b>Chrie-1</b>	18,469	15,621	38,543	Mischerz
<b>CuSDo-1</b>	18,602	15,621	38,438	Mischerz
<b>CuSDo-2</b>	18,297	15,602	38,314	Mischerz
<b>CuSDo-3</b>	18,284	15,597	38,285	Mischerz
<b>CuSDo-4</b>	18,239	15,594	38,270	Mischerz
<b>CuSEp-1</b>	19,142	15,664	39,112	Mischerz
<b>CuSHas-1</b>	18,363	15,595	38,333	Mischerz
<b>CuSHas-2</b>	20,978	15,740	38,707	Mischerz
<b>CuSHas-3</b>	18,939	15,633	38,466	Mischerz
<b>CuSKön-1</b>	18,276	15,602	38,278	Mischerz
<b>CuSKön-2</b>	18,275	15,602	38,272	Mischerz
<b>CuSKön-3</b>	18,274	15,604	38,276	Mischerz
<b>CuSKön-4</b>	18,287	15,604	38,293	Mischerz
<b>CuSKyf-1</b>	18,853	15,635	38,641	Mischerz
<b>CuSLaut-1</b>	18,474	15,617	38,354	Mischerz

	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Probentyp
<b>CuSLaut-4</b>	18,450	15,614	38,342	Mischerz
<b>CuSMan-1</b>	18,474	15,622	38,384	Mischerz
<b>CuSMan-2</b>	18,412	15,664	38,466	Mischerz
<b>CuSNowy-1</b>	19,412	15,669	38,680	Mischerz
<b>CuSNowy-2</b>	18,375	15,614	38,347	Mischerz
<b>CuSRot-1</b>	18,422	15,621	38,355	Mischerz
<b>CuSRot-2</b>	18,437	15,630	38,388	Mischerz
<b>CuSRot-3</b>	18,425	15,629	38,377	Mischerz
<b>CuSWet-1</b>	18,302	15,598	38,272	Mischerz
<b>CuSWet-2</b>	18,287	15,595	38,249	Mischerz
<b>CuSWet-4</b>	19,239	15,624	38,525	Mischerz
<b>CuSWet-5</b>	18,322	15,602	38,294	Mischerz
<b>CuSWet-6</b>	18,378	15,598	38,269	Mischerz
<b>CuSWet-7</b>	18,300	15,597	38,254	Mischerz
<b>CuSWet-8</b>	18,266	15,602	38,256	Mischerz
<b>CuSWet-9</b>	18,309	15,601	38,302	Mischerz
<b>Donsb-1</b>	18,504	15,631	38,522	Mischerz
<b>Donsb-2</b>	18,425	15,623	38,402	Mischerz
<b>Eiserf-1</b>	18,218	15,611	38,143	Mischerz
<b>Eiserf-2</b>	18,315	15,618	38,241	Mischerz
<b>Ems-1</b>	18,210	15,609	38,130	Mischerz
<b>EmsF-1</b>	18,238	15,605	38,141	Mischerz
<b>EmsM-1</b>	18,246	15,602	38,145	Mischerz
<b>EmsN-1</b>	18,318	15,615	38,262	Mischerz
<i>Engl-1</i>	18,548	15,610	38,500	Chalkopyrit
<b>Gies-1</b>	18,810	15,641	38,890	Mischerz
<b>Gön-1</b>	18,398	15,620	38,356	Mischerz
<i>Hlg-6</i>	19,526	15,688	38,743	Cuprit und gediegen Cu
<b>Hlg-7</b>	19,022	15,665	38,746	Mischerz
<i>Hlg-8</i>	19,026	15,666	38,738	Mischerz
<b>Hlg-10</b>	19,147	15,672	39,002	Mischerz
<b>Hlg-17</b>	19,250	15,683	38,880	Mischerz
<i>Hlg-20</i>	19,198	15,689	38,789	Mischerz
<b>Hlz-1</b>	18,268	15,611	38,151	Mischerz
<b>Hlz-2</b>	18,265	15,604	38,125	Mischerz
<b>Hlz-3</b>	18,277	15,612	38,157	Mischerz
<b>Hütt-1</b>	18,772	15,638	38,613	Chalkopyrit

## Anhang

Fortsetzung Tabelle A4

	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Probentyp
<b>Kam-1</b>	18,384	15,633	38,517	Mischerz
<b>Kam-2</b>	18,369	15,625	38,497	Mischerz
<b>Kam-3</b>	18,279	15,657	38,373	Mischerz
<b>Kam-4</b>	18,503	15,625	38,503	Mischerz
<b>Katz-1a</b>	18,748	15,630	38,976	Mischerz
<b>Katz-1b</b>	18,863	15,638	39,243	Mischerz
<b>Kyf-1</b>	19,076	15,672	38,685	Mischerz
<b>Lang-1</b>	19,223	15,658	38,434	Mischerz
<b>Lich-1</b>	18,319	15,647	38,515	Mischerz
<b>Lich-2</b>	18,325	15,635	38,522	Mischerz
<b>Lich-3</b>	18,430	15,661	38,792	Mischerz
<b>Mied-1</b>	18,295	15,601	38,298	Mischerz
<b>Mied-2</b>	18,341	15,602	38,292	Mischerz
<b>Mied-3</b>	18,309	15,612	38,347	Mischerz
<b>Mied-4</b>	18,877	15,615	38,439	Mischerz
<i>Mrs-1</i>	18,474	15,624	38,414	Chalkopyrit
<i>Mrs-2</i>	18,481	15,616	38,410	Azurit
<i>Mrs-2</i>	18,514	15,614	38,449	Mischerz
<i>Mrs-a</i>	18,728	15,637	38,507	Mischerz
<i>Mrs-a</i>	18,532	15,614	38,383	Pyrit aus Äderchen
<i>Mrs-b</i>	19,194	15,653	38,554	Mischerz
<i>Mrs-c</i>	18,647	15,631	38,533	Mischerz
<i>Mrs-d</i>	18,824	15,626	38,586	Mischerz
<i>Mrs-e</i>	18,509	15,582	38,268	Mischerz
<i>Mrs-f</i>	18,971	15,601	38,274	Mischerz
<i>Mrs-f</i>	18,231	15,562	37,880	synsedimentärer Pyrit
<i>Mrs-g</i>	19,315	15,665	38,990	Mischerz
<i>Mrs-g</i>	18,684	15,625	38,500	Bornit aus Äderchen
<i>Mrs-h</i>	18,849	15,633	38,484	Mischerz
<i>Mrs-h</i>	18,538	15,607	38,321	synsedimentärer Pyrit
<b>Nd-3</b>	18,476	15,631	38,413	Mischerz
<b>NdRosb-1</b>	18,327	15,693	38,205	Mischerz
<b>NKonst-1</b>	18,442	15,611	38,402	Mischerz
<b>Radz-1</b>	18,224	15,608	38,344	Mischerz
<b>Radz-2</b>	18,207	15,616	38,362	Mischerz
<b>Radz-3</b>	18,161	15,613	38,358	Mischerz
<b>Radz-4</b>	18,275	15,605	38,286	Mischerz
<b>Roth-1</b>	18,542	15,636	38,443	Mischerz

	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Probentyp
<b>Roth-2</b>	19,250	15,679	38,778	Mischerz
<b>Roth-3</b>	18,489	15,623	38,414	Mischerz
<b>Roth-4</b>	18,445	15,644	38,410	Mischerz
<b>Sel-1</b>	18,447	15,628	38,440	Mischerz
<b>Sie-1</b>	18,622	15,636	38,549	Mischerz
<b>Sie-2</b>	18,835	15,637	38,490	Mischerz
<b>Silb-1</b>	18,294	15,606	38,226	Mischerz
<b>Sohl-1</b>	17,896	15,529	37,870	Mischerz
<b>Stch-1</b>	19,271	15,656	39,786	Mischerz
<b>StoIF-1</b>	18,605	15,636	38,495	Mischerz
<b>StoIF-2</b>	18,747	15,656	38,666	Mischerz
<b>Storch-1</b>	18,377	15,608	38,324	Mischerz
<b>Storch-2</b>	18,370	15,616	38,297	Mischerz
<b>Sum-1</b>	22,383	15,870	41,322	Mischerz
<b>Tann-1</b>	18,829	15,626	38,910	Mischerz
<b>Tann-2</b>	18,811	15,628	38,831	Mischerz
<b>Tres-1</b>	18,469	15,634	38,485	Mischerz
<i>Tres-1</i>	18,449	15,610	38,408	Chalkopyrit
<b>TresK-1</b>	18,978	15,663	39,091	Mischerz
<b>TresK-2</b>	18,947	15,664	39,049	Mischerz
<i>TresTf-1</i>	18,905	15,644	38,964	Mischerz
<b>TresTf-1b</b>	18,894	15,657	38,992	Mischerz
<i>TresTf-2</i>	18,660	15,655	38,729	Chalkopyrit und etwa 10% Pyrrhotin
<b>TresTf-2</b>	18,887	15,651	38,945	Mischerz
<b>Trt-B-1</b>	18,803	15,646	38,637	Mischerz
<b>TrtK-1</b>	18,493	15,629	38,458	Mischerz
<b>TrtK-2</b>	18,943	15,614	38,724	Mischerz
<b>TrtL-1</b>	18,628	15,633	38,579	Mischerz
<b>TrtL-2</b>	18,817	15,652	38,667	Mischerz
<b>Wer-1</b>	18,272	15,605	38,135	Mischerz
<b>Wer-2</b>	18,250	15,606	38,104	Mischerz
<b>Wld-1</b>	17,673	15,550	37,778	Mischerz
<b>Wld-2</b>	17,654	15,546	37,767	Mischerz
<b>Zlat-1</b>	18,368	15,610	38,088	Mischerz

Anhang

Tabelle A5: Pb-Isotopendaten des Kupfervorkommens Marsberg, die von Herrn Dr. Jens Schneider für Vergleichszwecke zugänglich gemacht wurden.

	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
MSB 01 pyr	18,542	15,631	38,479	Rückenvererzung: Pyrit
MSB 01 bn	18,522	15,618	38,443	Rückenvererzung: Bornit
MSB 02 bn	18,59	15,621	38,42	Rückenvererzung: Bornit
MSB 014	18,564	15,62	38,419	Rückenvererzung: Chalkosin
MSB 015	18,559	15,614	38,401	Rückenvererzung: Chalkosin
MSB 018	18,658	15,628	38,466	Rückenvererzung: Chalkosin
MBB 010	18,569	15,625	38,44	Rückenvererzung: Chalkosin
MSB 011	18,573	15,628	38,468	Rückenvererzung: Chalkosin
MSB Mal	17,486	15,479	37,881	Malachit
MSB 012	18,6	15,64	38,511	Azurit
MSB 013	18,594	15,626	38,456	Azurit
MSB 016	18,594	15,628	38,452	Azurit
MSB 19	18,079	15,578	37,959	Zementkupfer
MSB1	18,54	15,616	38,438	Rückenvererzung: Galenit
MSB3	18,54	15,615	38,434	Rückenvererzung: Galenit
MSB5	18,541	15,621	38,454	Rückenvererzung: Galenit
MSB7	18,549	15,622	38,459	Rückenvererzung: Galenit
MSB9	18,543	15,621	38,458	Rückenvererzung: Galenit
MSB10	18,543	15,623	38,461	Rückenvererzung: Galenit
ZMB 1	18,316	15,63	38,244	Zementkupfer
ZMB 1.2	18,343	15,623	38,252	Zementkupfer
ZMB 2	18,381	15,621	38,295	Azurit/Malachit
ZMB 2.1	18,382	15,623	38,303	Azurit/Malachit

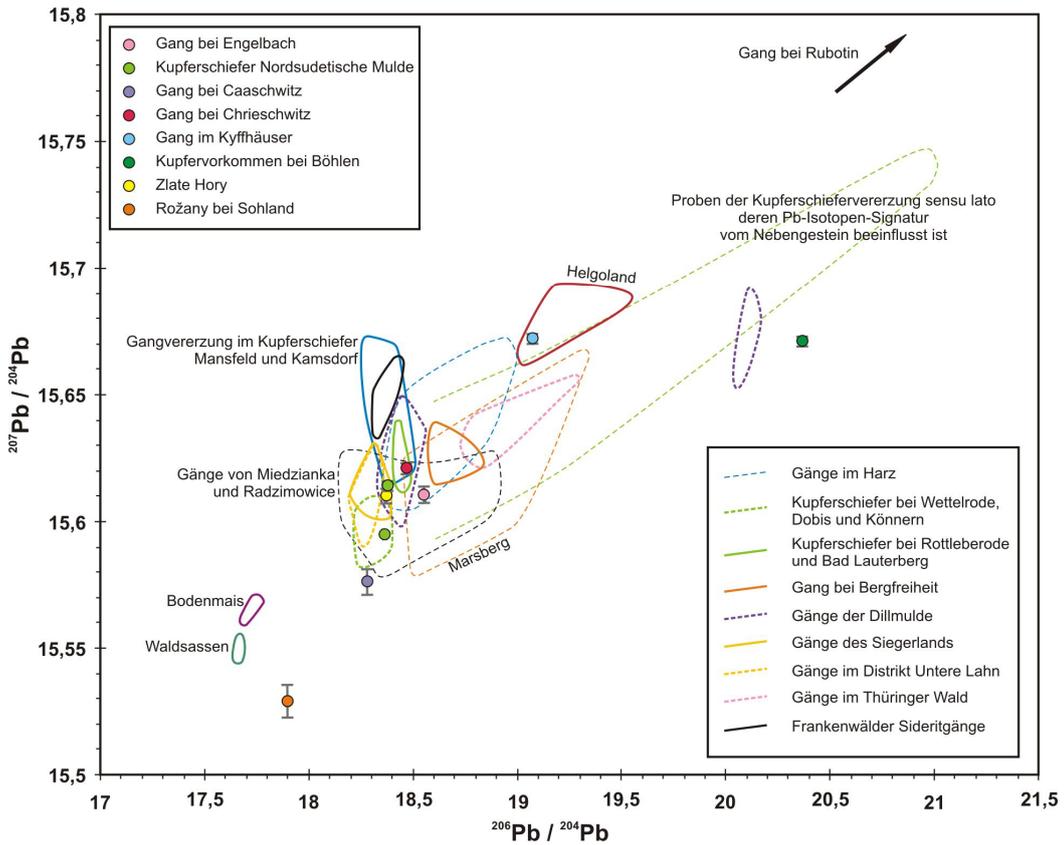


Abb. A1: Überblick aller untersuchten Erzdistrikte und Einzelvorkommen im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm. (Darstellung von Einzelproben als Datenpunkt mit  $2\sigma$ -Fehlerindikatoren)

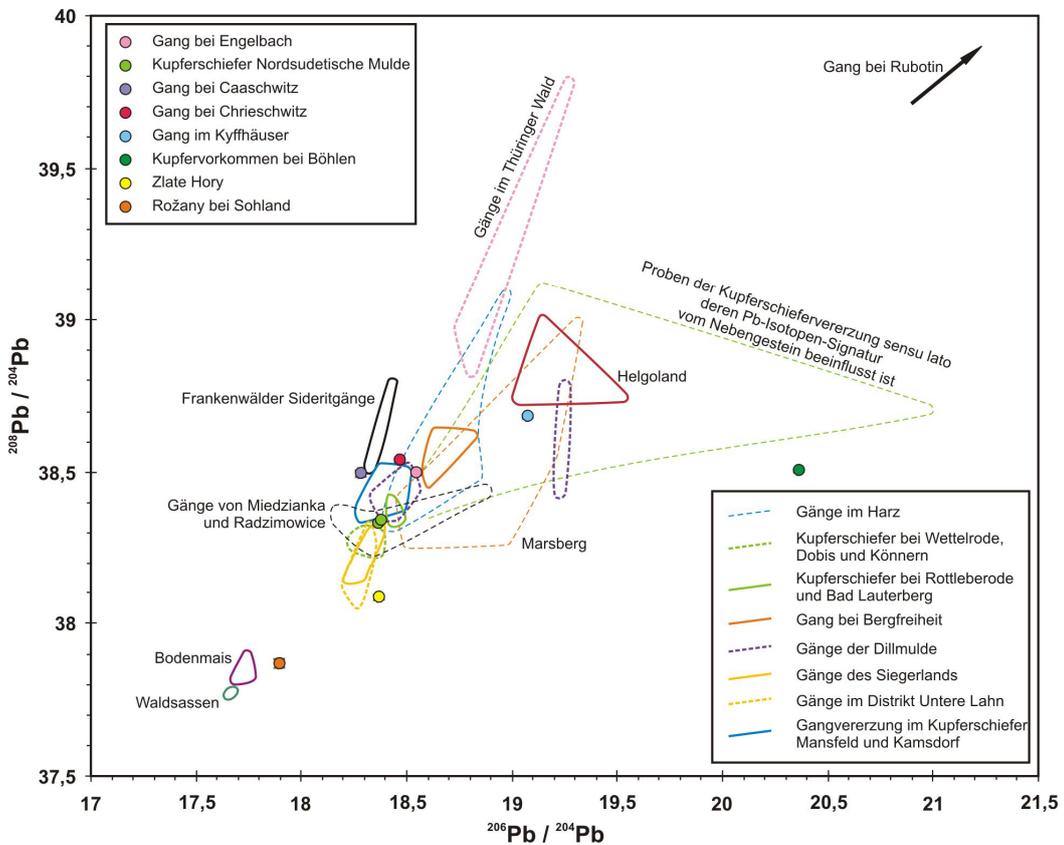


Abb. A2: Überblick aller untersuchten Erzdistrikte und Einzelvorkommen im  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  gegen  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm. (Darstellung von Einzelproben als Datenpunkt mit  $2\sigma$ -Fehlerindikatoren)

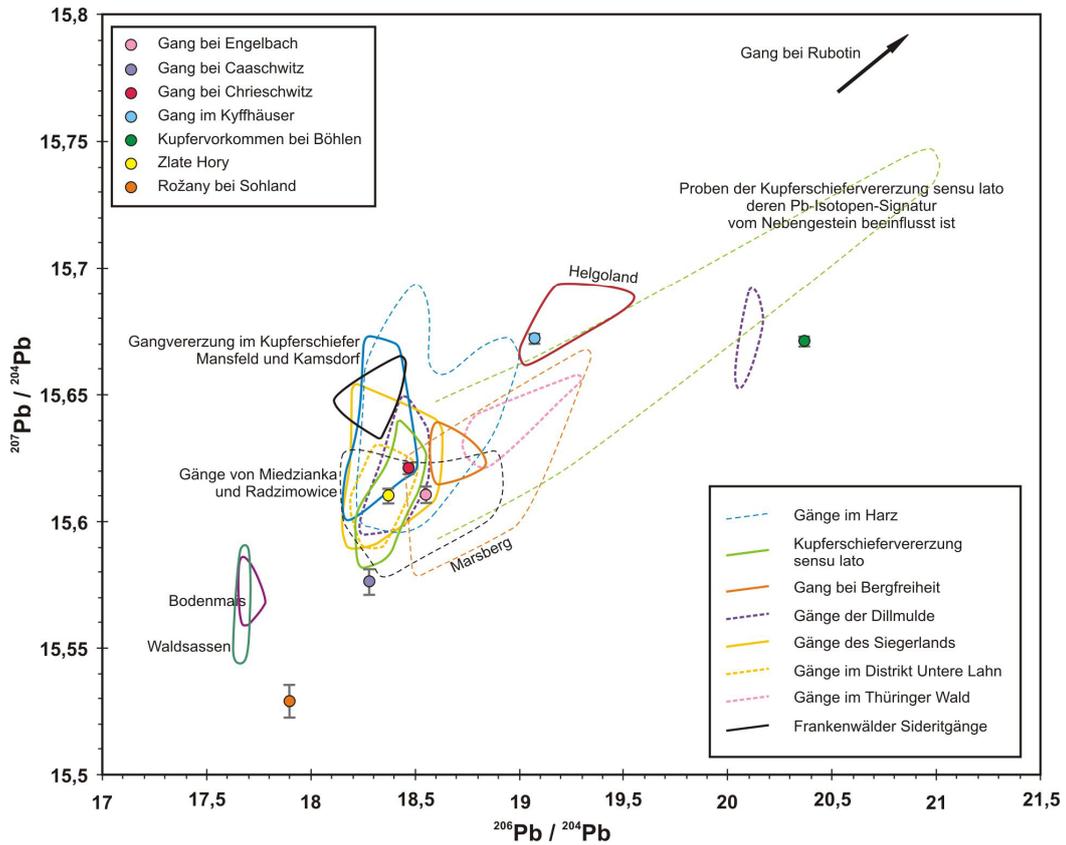


Abb. A3: Abbildung wie A1, jedoch mit Ergänzungen von Pb-Isotopen-Daten aus der Literatur (s. Kap. 6.2.) für die Erzvorkommen Waldsassen, Bodenmais, die Gänge im Kupferschiefer, die Kupferschiefervererzung sensu lato, die Gänge in Harz, Dillmulde, Siegerland, Distrikt Untere Lahn und Frankenwälder Sideritgänge. Der Umriss der Pb-Isotopenpopulation der Gänge im Harz lässt drei im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnis stark abweichende Datenpunkte aus (Quelle: Tischendorf et al. 1993).

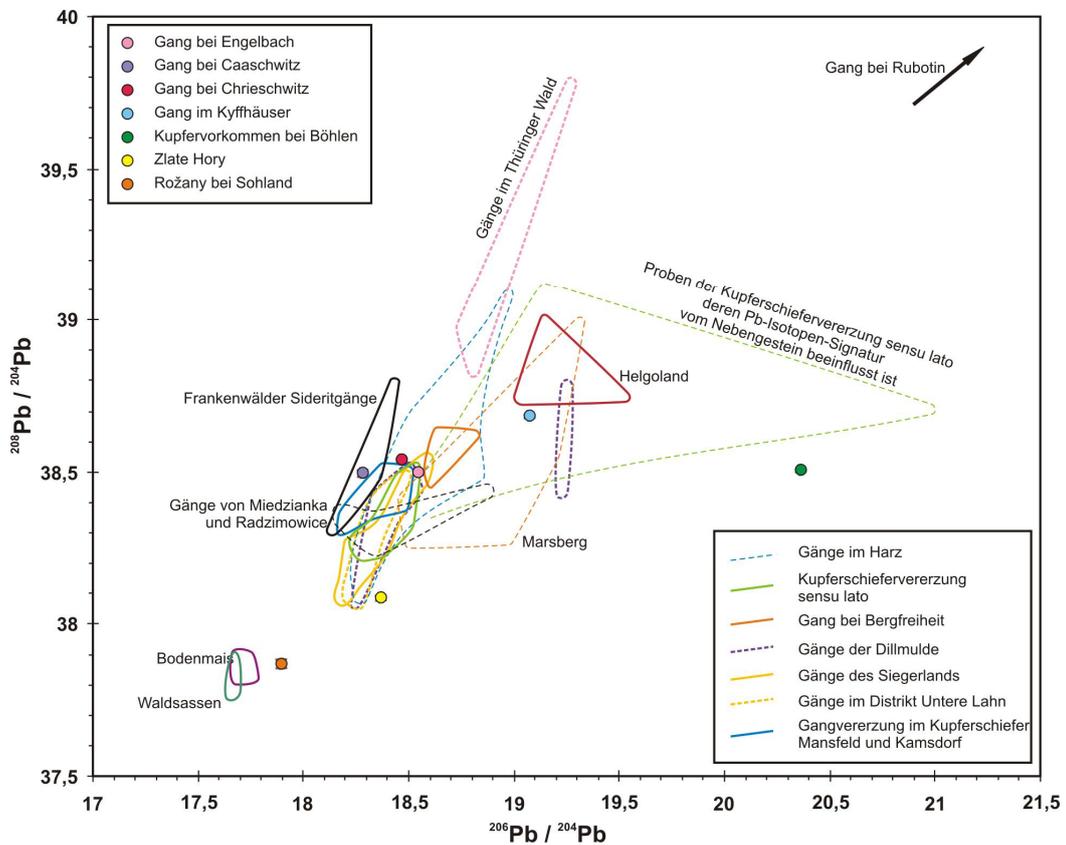


Abb. A4: Abbildung wie A2, mit Ergänzung von Literaturdaten (s. oben).

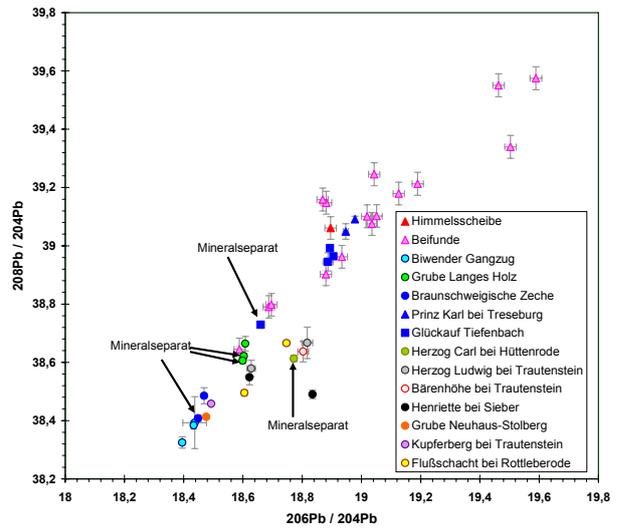
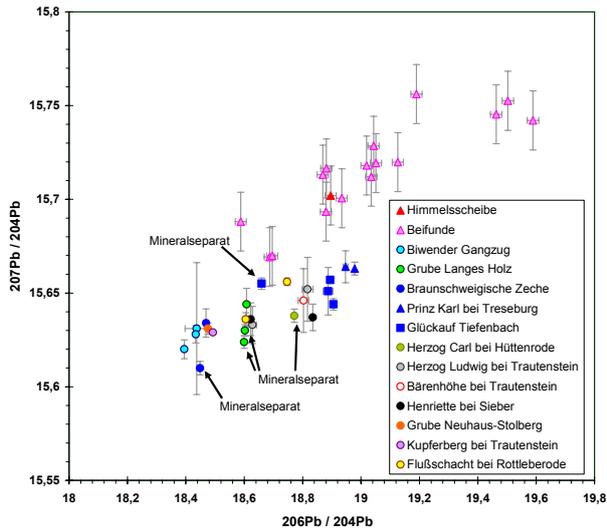


Abb. A5: Pb-isotopischer Vergleich der einzelnen Proben von Gangvorkommen aus dem Harz mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke), jeweils mit  $2\sigma$ -Fehlergrenzen. Nicht repräsentative Proben (TrtK-2) wurden ausgelassen.

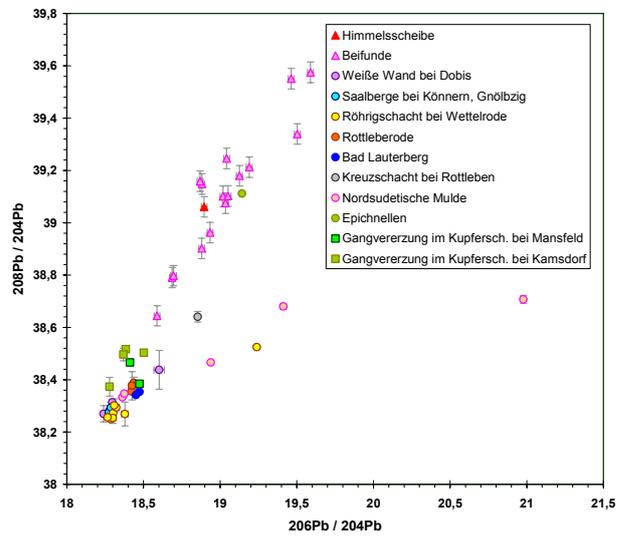
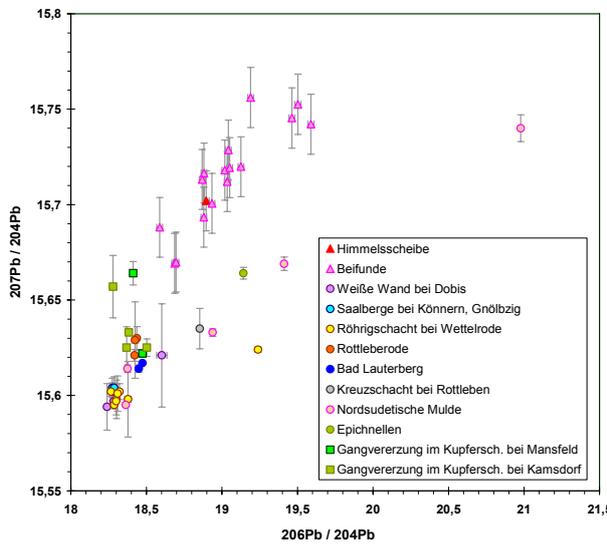


Abb. A6: Pb-isotopischer Vergleich der einzelnen Proben der Kupferschiefervererzung sensu lato und der Gangvererzungen im Kupferschiefer bei Mansfeld und Kamsdorf mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke), jeweils mit  $2\sigma$ -Fehlergrenzen.

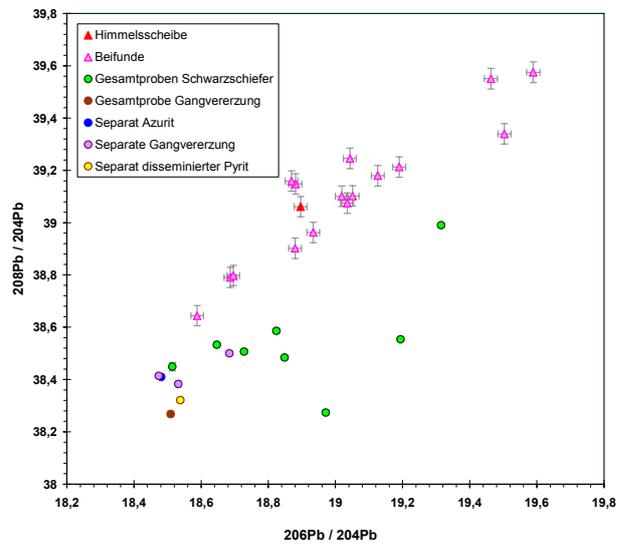
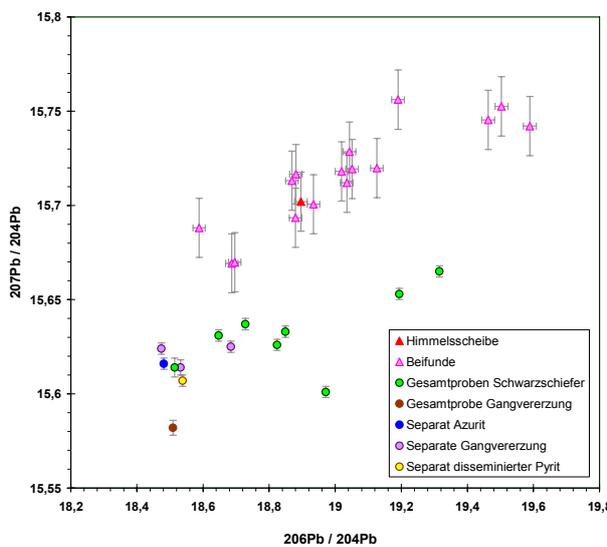


Abb. A7: Pb-isotopischer Vergleich der einzelnen Proben verschiedener Vererzungstypen des Kupferorkommens von Marsberg mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke), ohne nicht repräsentative Proben (Pyritseparat aus der Probe Mrs-f).

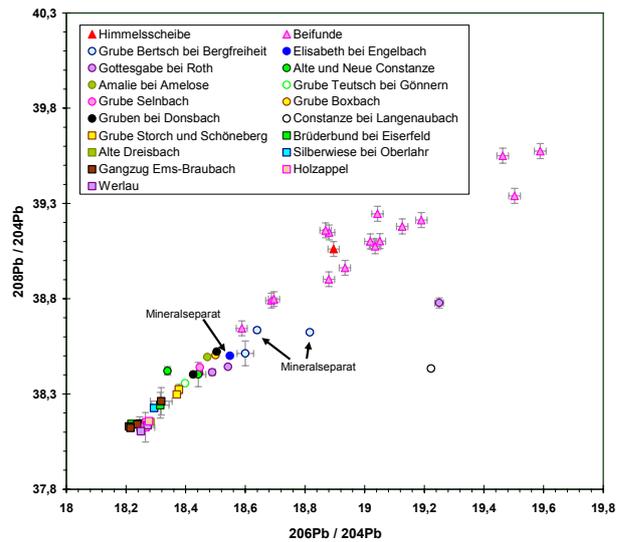
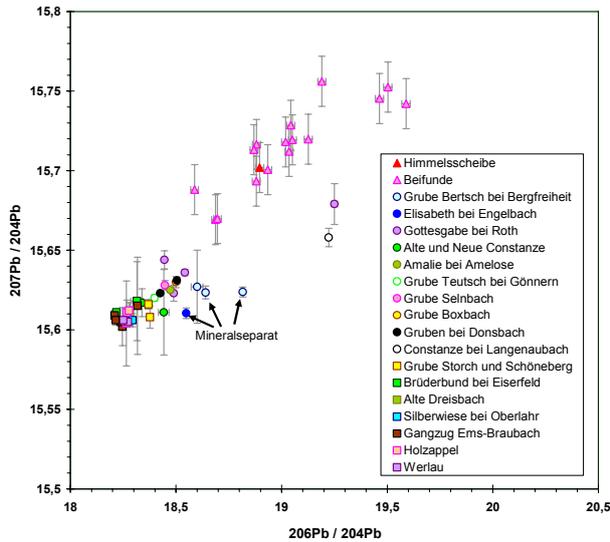


Abb. A8: Pb-isotopischer Vergleich von Proben der Gangvorkommen Bad Wildungen-Bergfreiheit, Engelbach, Dillmulde, Siegerland und Distrikt Untere Lahn mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke). Die Probe NdRosb-1 wurde ausgelassen.

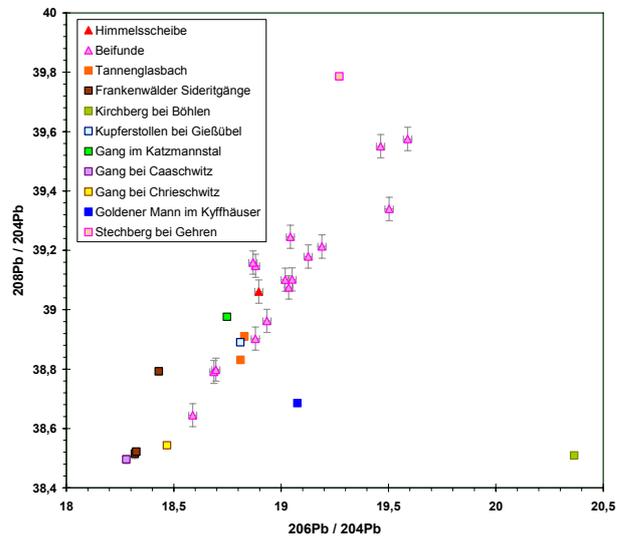
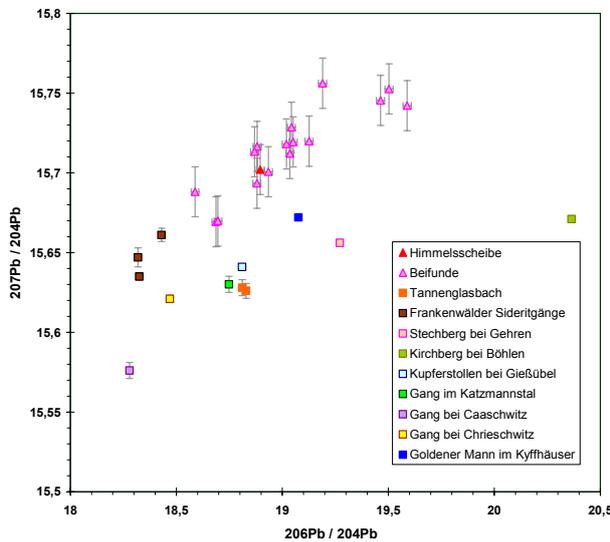


Abb. A9: Pb-isotopischer Vergleich von Proben der Kupfervorkommen aus dem Kyffhäuser, dem Thüringer Wald und Thüringer Schiefergebirge mit Vorland mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke). Probe Katz-1b wurde ausgelassen.

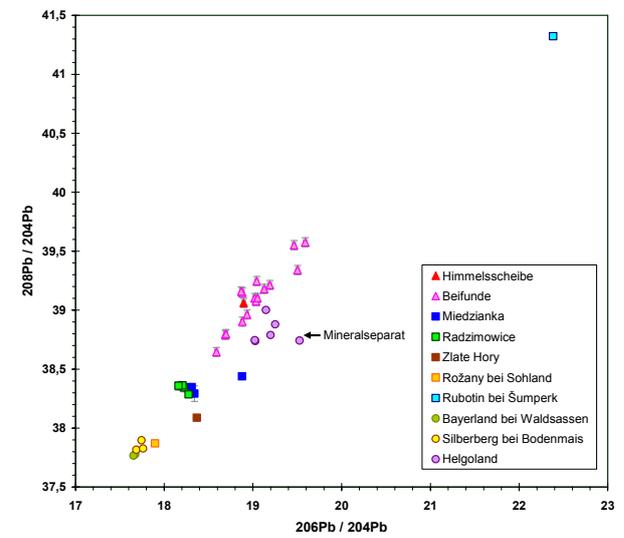
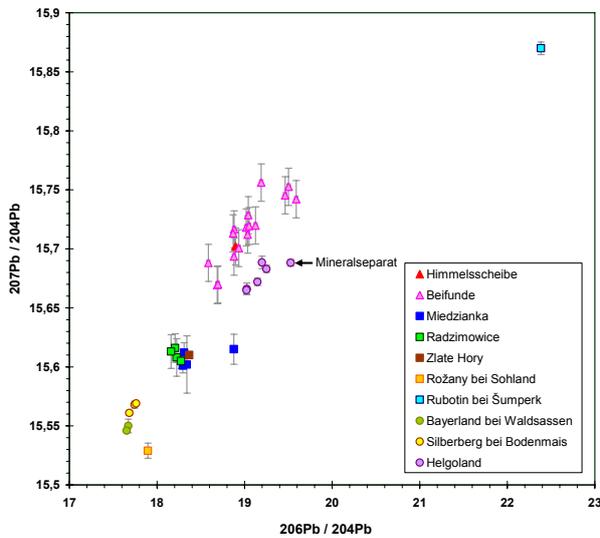


Abb. A10: Pb-isotopischer Vergleich von Proben der Kupfervorkommen in Polen und Tschechien, sowie von Helgoland, Waldsassen und Bodenmais mit den Nebraer Artefakten (Dreiecke). Probe Bod-1 wurde ausgelassen.

Vergleiche der mittels RFA bestimmten Spurenelementzusammensetzung von Erzen und Nebraer Artefakten (Darstellungsweise wie in entsprechenden Abbildungen im Kapitel 7.1):

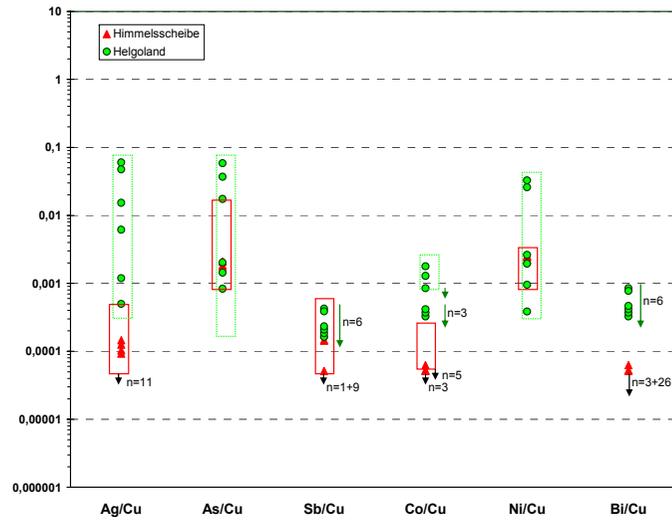


Abb. A11: Die Erzproben von Helgoland.

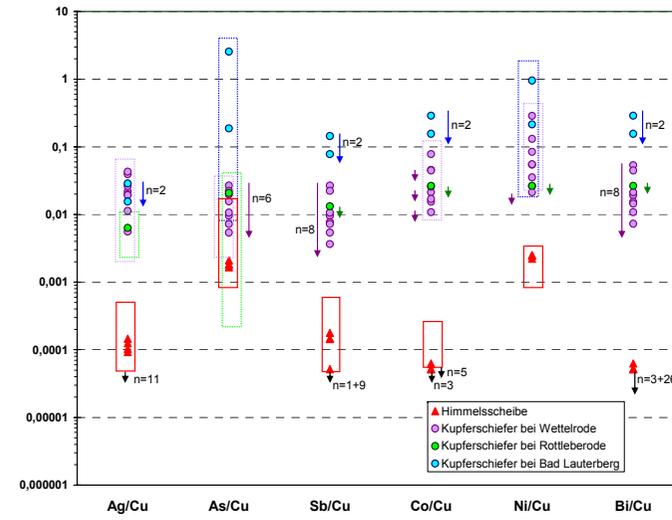


Abb. A12: Die Proben der Kupferschiefererzvererzung sensu lato von Wettelrode, Rottleberode und Bad Lauterberg.

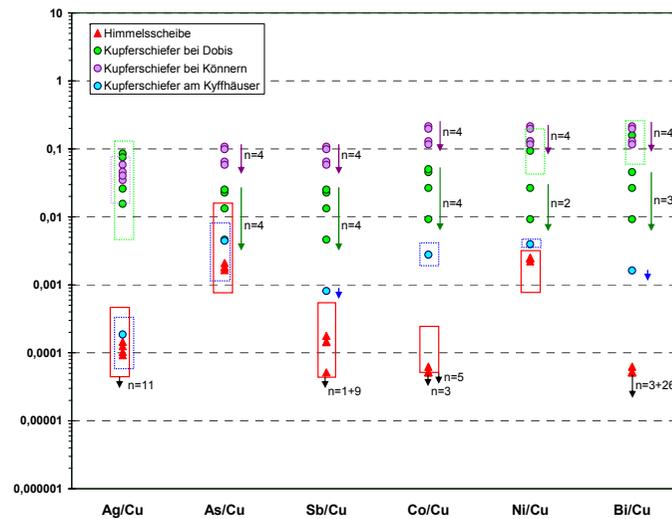


Abb. A13: Die Proben der Kupferschiefererzvererzung sensu lato von Dobis, Könnern und vom Kyffhäuser. Der Bi-Gehalt der Probe CuSDo-4 ist eventuell zu hoch (s. Kap. 5.2.).

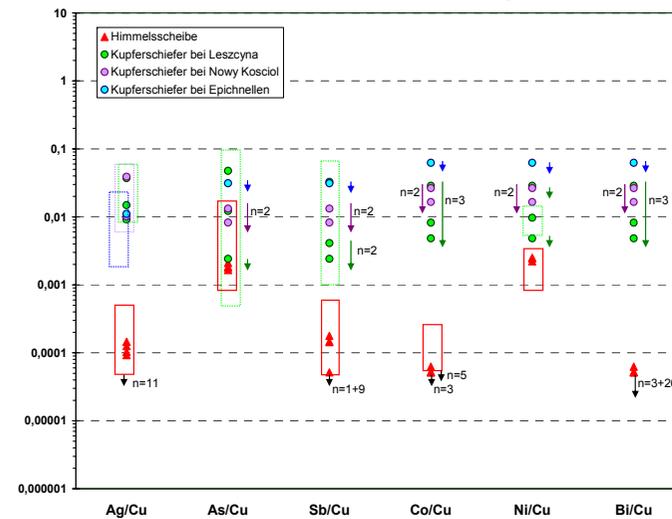


Abb. A14: Die Proben der Kupferschiefererzvererzung sensu lato von Leszczyna, Nowy Kosciol und Epichnellen.

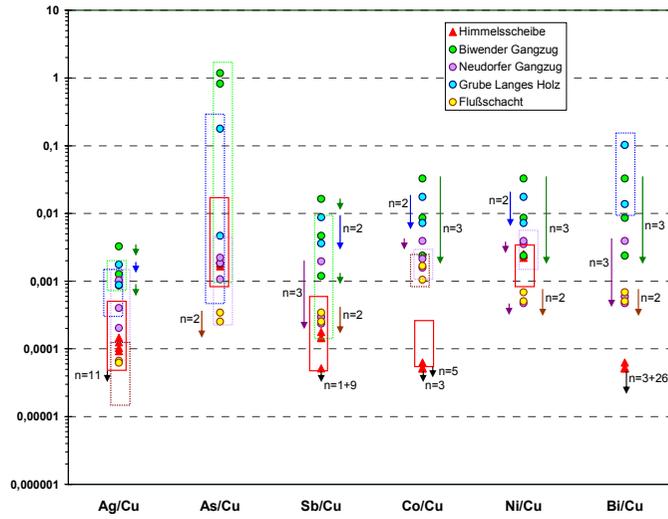


Abb. A15: Die Proben vom Biwender und Neudorfer Gangzug, der Grube „Langes Holz“ und dem „Flußschacht“ bei Rottleberode (Harz).

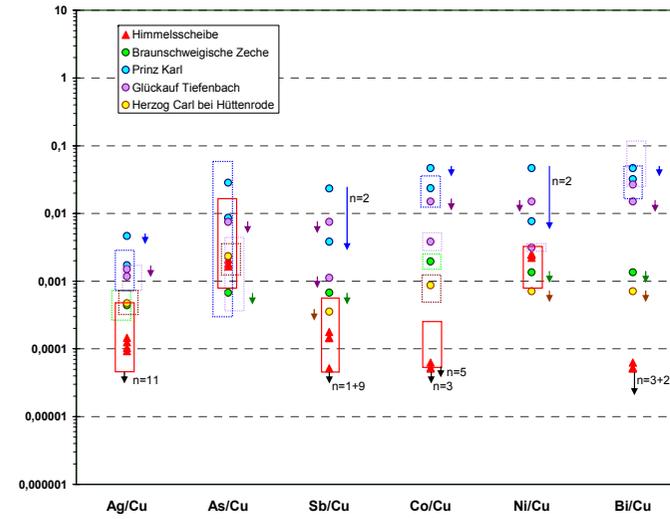


Abb. A16: Die Proben von der „Braunschweigischen Zeche“ und den Gruben „Prinz Karl“, „Glückauf Tiefenbach“ und „Herzog Carl“ (Harz).

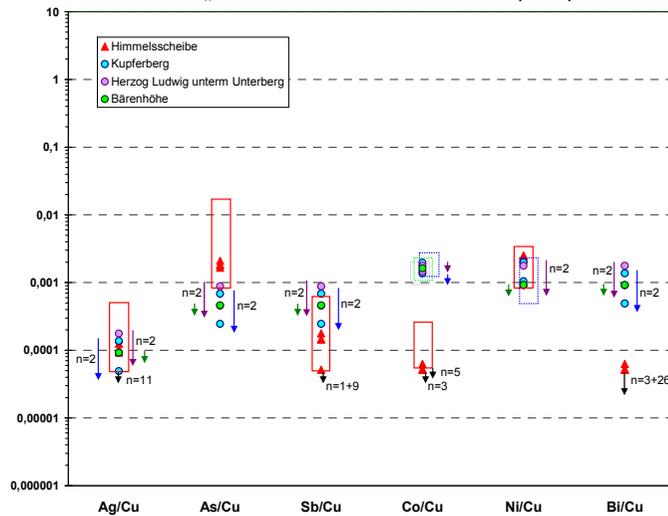


Abb. A17: Die Proben vom Kupferberg, der Bärenhöhe und der Grube „Herzog Ludwig“ bei Trautenstein (Harz).

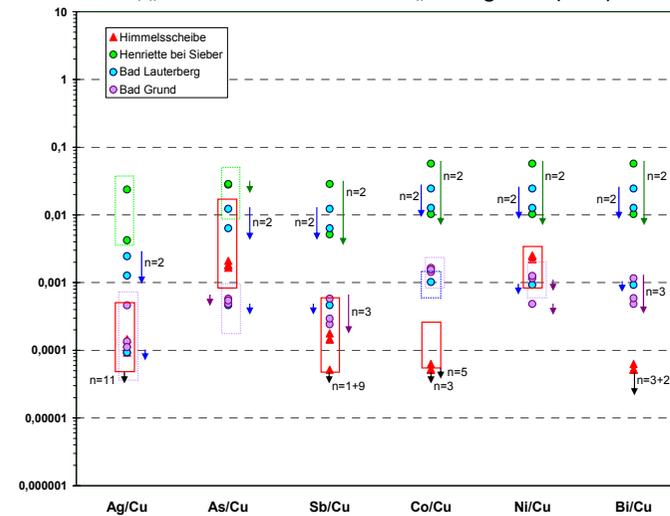


Abb. A18: Die Proben von der „Henriette“ bei Sieber und den Gängen bei Bad Lauterberg und Bad Grund (Harz).

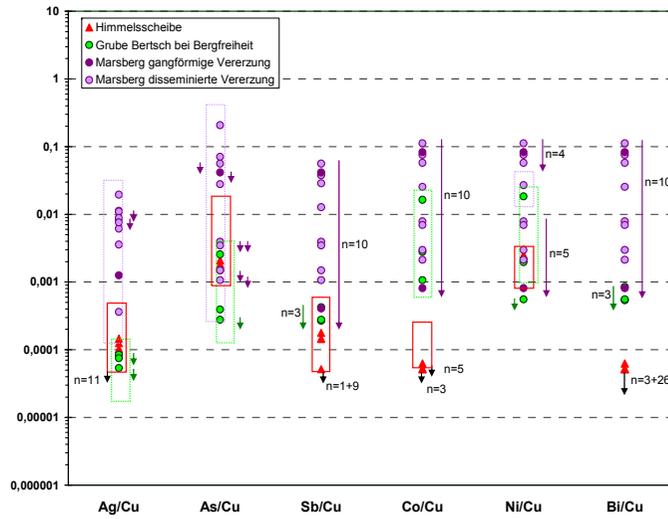


Abb. A19: Die Proben von Bad Wildungen-Bergfreiheit und von Marsberg.

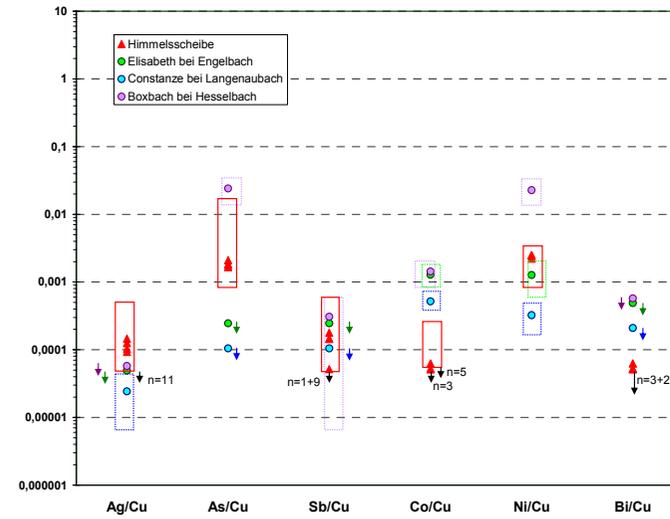


Abb. A20: Die Proben der Gruben „Elisabeth“ bei Engelbach, „Constanze“ bei Langenaubach (Dillmulde) und „Boxbach“ (Dillmulde).

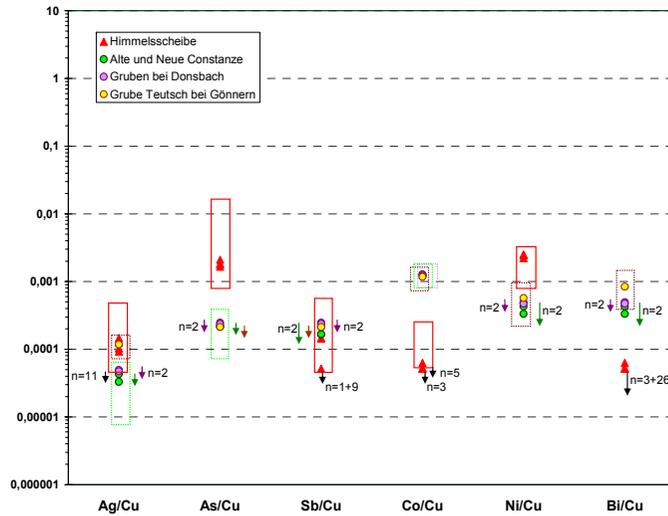


Abb. A21: Die Proben der „Alten“ und „Neuen Constanze“, der Gruben bei Donsbach und der Grube „Teutsch“ bei Gönnern (Dillmulde). Der Bi-Gehalt der Probe Gön-1 ist eventuell zu hoch (s. Kap. 5.2.).

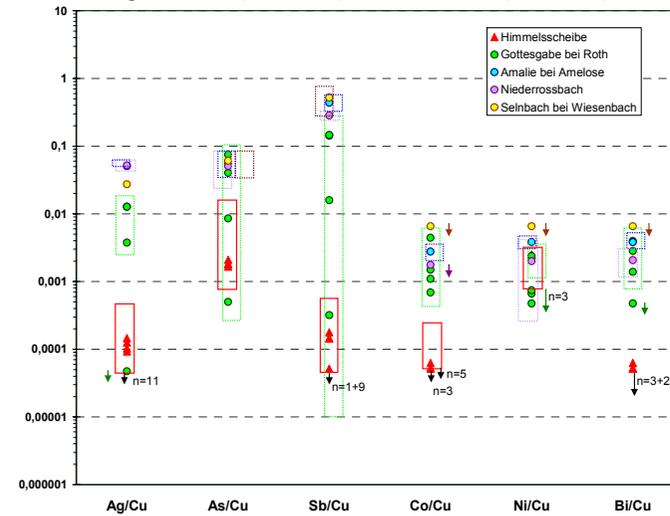


Abb. A22: Die Proben der „Gottesgabe“, „Amalie“ und „Selnbach“ und von Niederrossbach (Dillmulde). Die Sb-Gehalte von Roth-1 und -4 (die höchsten Werte) sind wahrscheinlich noch zu klein (s. Kap. 5.2.).

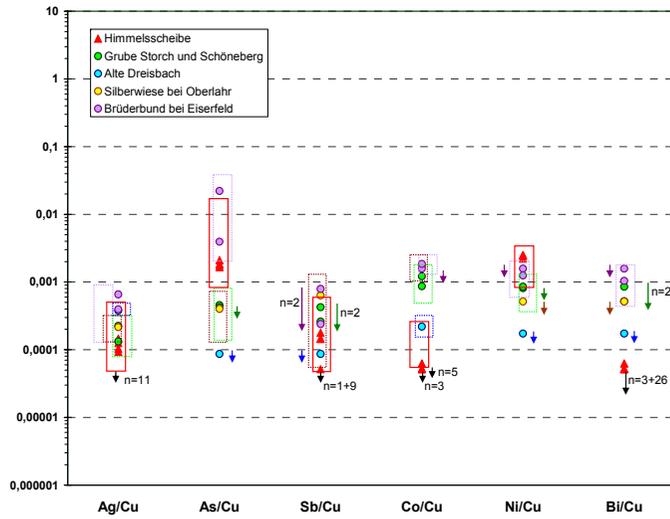


Abb. A23: Die Proben der Gruben „Storch und Schöneberg“, „Alte Dreisbach“, „Silberwiese“ und „Brüderbund“ (Siegerland).

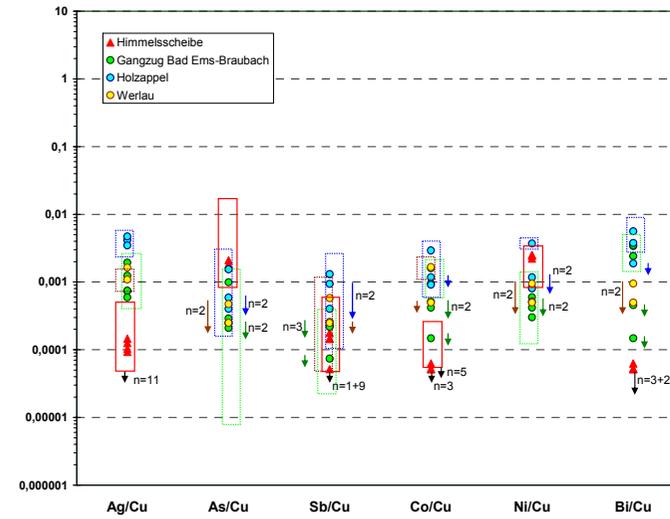


Abb. A24: Die Proben von Bad Ems, Holzappel und Werlau (Untere Lahn). Die Bi-Gehalte von Hlz-2 (höchster Wert), Brau-1 und Ems-1 (zweithöchster bzw. mit EmsN-1 der höchste Wert) sind evtl. zu hoch (s. Kap. 5.2.).

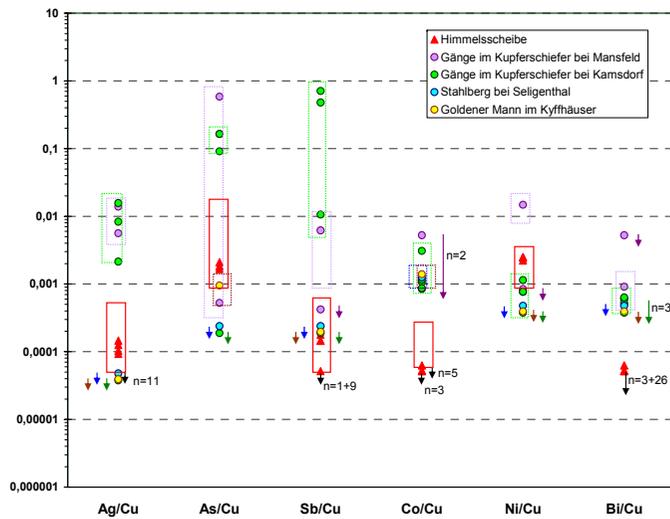


Abb. A25: Die Proben von Gängen im Kupferschiefer bei Mansfeld, Kamsdorf und Seligenthal und einem Gang im Kyffhäuser. Der Bi-Gehalt der Probe Kam-3 ist evtl. zu hoch und der Sb-Gehalt (kleinster Wert) evtl. zu klein (s. Kap. 5.2.).

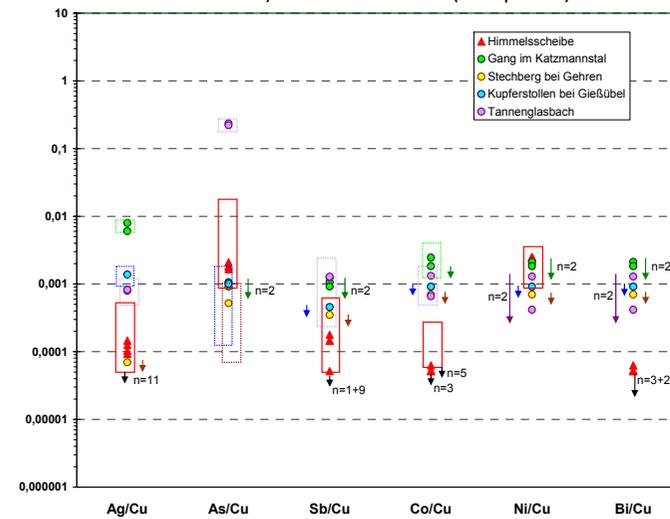


Abb. A26: Die Proben von Gangvererzungen im Thüringer Wald.

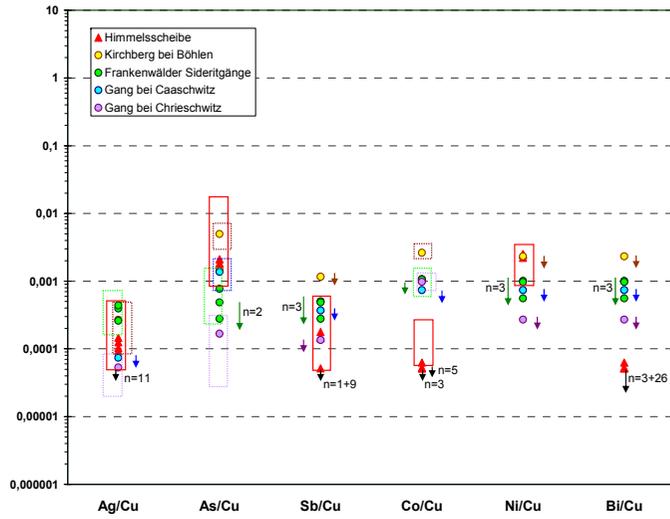


Abb. A27: Die Proben von Böhlen, Caaschwitz, Chrieschwitz und den Frankenwälder Sideritgängen. Der relative As-Gehalt der Probe von Caaschwitz könnte ungenau sein (s. Kap. 5.2.).

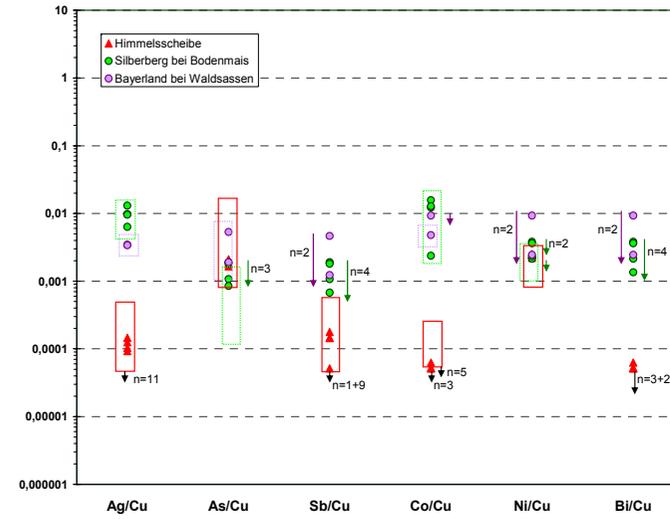


Abb. A28: Die Proben von Bodenmais und Waldsassen.

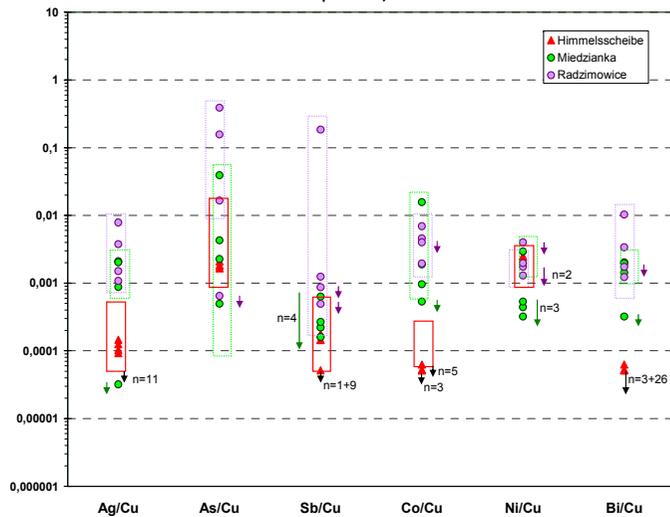


Abb. A29: Die Proben aus Gängen bei Miedzianka und Radzimowice (Polen). Der Bi-Gehalt der Probe Radz-3 (höchster Wert) ist eventuell zu hoch (s. Kap. 5.2.).

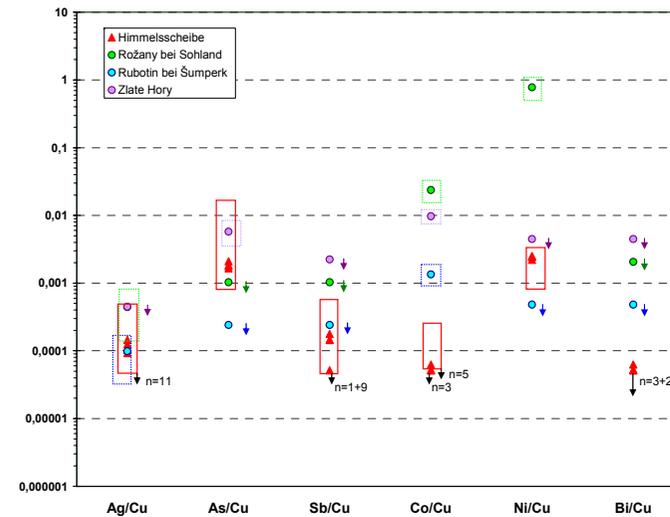


Abb. A30: Die Proben von Rožany bei Sohland, Rubotín bei Šumperk und Zlaté Hory (Tschechien).

## Anhang

Vergleiche der mittels NAA bestimmten Spurenelementzusammensetzung von Erzen und Nebraer Artefakten (Darstellungsweise wie Abb. A11 bis A30, jedoch für die Proben vom Neudorfer Gangzug, Bad Grund und Bad Lauterberg nur Darstellung der einzelnen Fehler, da hier nicht alle Proben der jeweiligen Vorkommen enthalten sind):

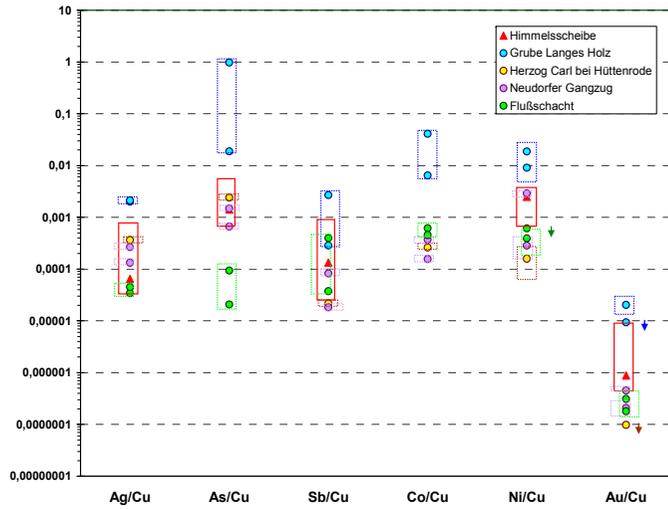


Abb. A31: Die Proben der Gruben „Langes Holz“, „Herzog Carl“ und „Flußschacht“ und vom Neudorfer Gangzug (Harz).

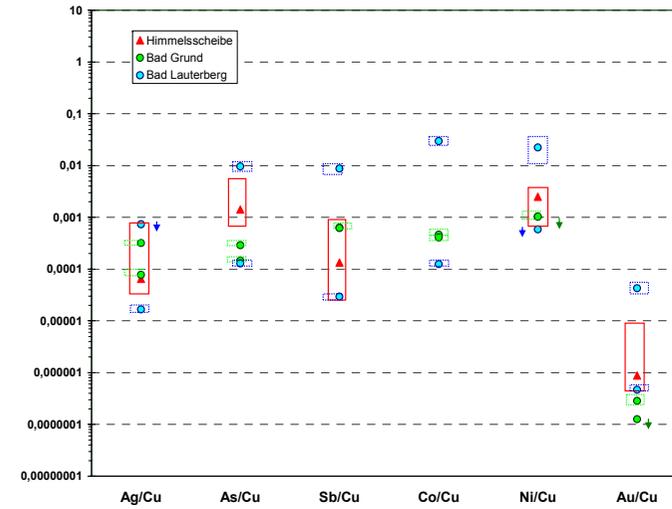


Abb. A32: Die Proben von Bad Grund und Bad Lauterberg (Harz).

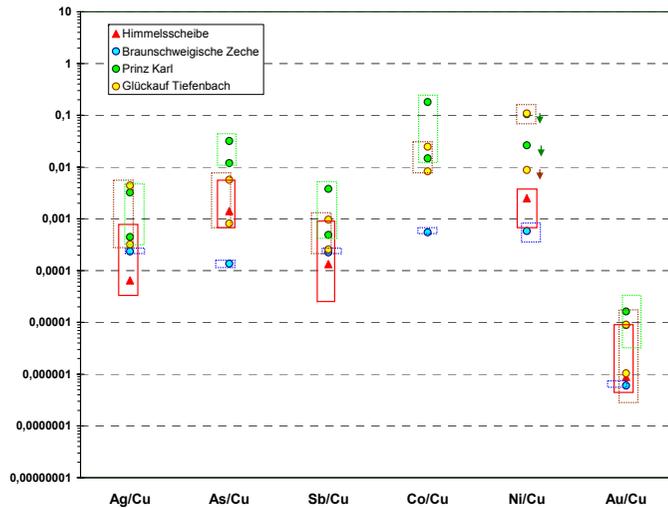


Abb. A33: Die Proben der Gruben „Braunschweigische Zeche“, „Prinz Karl“ und „Glückauf Tiefenbach“ (Harz).

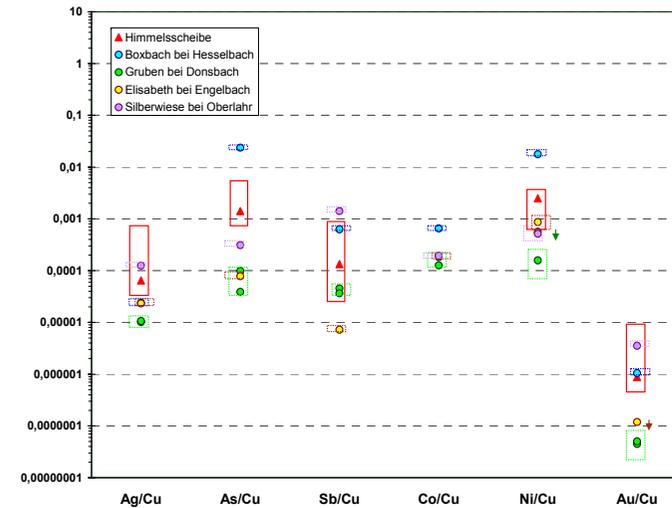


Abb. A34: Die Proben der Gruben „Boxbach“, „Elisabeth“ und „Silberwiese“ und den Gruben bei Donsbach.

## Lebenslauf

### **Persönliche Daten:**

Vor- und Zuname: Manuela Frotzscher  
Geburtsdatum: 16.12.1977  
Geburtsort: Halle (Saale)  
Familienstand: ledig

### **Schulbildung:**

1984 – 1991 Polytechnische Oberschule Talamt, Halle (Saale)  
1991 – 1996 Gymnasium am Reileck, Halle (Saale)  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### **Hochschulstudium:**

1996 – 1997 Studium Physik an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
1997 – 2004 Studium Geologie/Paläontologie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Abschluss: Diplom  
2004 – 2009 Promotionsstudium Geologie/Paläontologie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

### **Berufliche Tätigkeiten:**

2005 – 2008 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH Mannheim

Halle (Saale), 06.07.2009

Manuela Frotzscher