

Geochemische Charakterisierung von Buntmetallbarren und Halbfabrikaten der Frühneuzeit zur Beantwortung historischer Fragestellungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
an der Fakultät für Geowissenschaften
der Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von
Tobias Skowronek

im März 2021

Betreuer:

Prof. Dr. Andreas Hauptmann
Prof. Dr. Michael Prange

Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die eingereichte Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe verfasst, andere als die in ihr angegebene Literatur nicht benutzt und dass ich alle ganz oder annähernd übernommenen Textstellen sowie verwendete Grafiken, Tabellen und Auswertungsprogramme kenntlich gemacht habe. Außerdem versichere ich, dass die vorgelegte elektronische mit der schriftlichen Version der Dissertation übereinstimmt und die Abhandlung in dieser oder ähnlicher Form noch nicht anderweitig als Promotionsleistung vorgelegt und bewertet wurde.

Dortmund, März 2021

Tobias Skowronek

*„Also warn do zwen Moren, die erbotten sich sie wölten do hin schwimmen, fragte ich sie, was ich jne zu lone geben sollte, antworten sie, ich solt yerzlichem geben zwo **Maiulie von zine** (Manillen aus Zinn) das ist ein dinge, der eines grossen groschen werdt ist“*

Luis de Cadamosto, Bericht einer Reise nach Westafrika, 1456

Danksagung

Ich möchte mich zunächst herzlich bei meinen beiden Betreuern Prof. Dr. Andreas Hauptmann und Prof. Dr. Michael Prange dafür bedanken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, eine Dissertation auf einem völlig neuen Forschungsfeld zu schreiben.

Der Erstbetreuer dieser Arbeit, Andreas Hauptmann, ließ mir auf der einen Seite stets die nötige Freiheit um meine Fähigkeiten weiterzuentwickeln, brachte mich jedoch auf der anderen Seite häufig an die Grenze meiner intellektuellen Leistungsfähigkeit. Ohne seine ausdauernde Unterstützung und richtungsweisende Art wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen. Durch seine jahrzehntelange Erfahrung auf dem Gebiet der Archäometallurgie stand mir seine Expertise stets zu Verfügung. Es hätte daher keinen besseren Betreuer für diese Arbeit geben können.

Der Zweitbetreuer dieser Arbeit, Michael Prange, hatte von Beginn an hohes Vertrauen in meine eigenständige Arbeitsweise und lies mir sowohl bei der Arbeit im Labor, als auch bei der Verwendung von finanziellen Mitteln freie Hand. Er hat mich und meine Arbeit von Anfang an finanziell unterstützt und mich aufgefangen, als mich viele andere abwiesen. Es ist nicht zuletzt sein Verdienst, dass ich meine Forschungen auch in finanziell und persönlich schwierigen Zeiten fortsetzen konnte.

Weiterer Dank gebührt allen Mitarbeitern des Forschungslabors und der Materialkunde des Deutschen Bergbau-Museums, besonders Dr. Michael Bode. Sie waren durch meine Neugier und Engagement in dieser Arbeit immer wieder aufs neue starkem Leistungsdruck ausgesetzt, und mussten das hohe Arbeitstempo mitgehen. Ich danke ebenso Prof. Dr. Sabine Klein für die Erfassung der Bleiisotopenverhältnisse am Frankfurt Isotope & Element Research Center (FIERCE).

Besonderer Dank gilt Prof. Dr. Thijs Maarleveld in Esbjerg, Dänemark. Er sorgte zu Beginn dieser Arbeit dafür, dass die Proben aus den niederländischen Archiven für eine Beprobung bereitgestellt wurden und stand mir durch regen Schriftverkehr Rede und Antwort wenn es um die archäologischen Umstände bei der Auffindung der untersuchten Metallbarren ging.

Nicht genug Dank kann ich Prof. Dr. Rolf Denk aussprechen, der mir extra für diese Arbeit eine Vielzahl unterschiedlicher, sehr seltener afrikanischer Fundobjekte zukommen lassen hat. Für das Vertrauen hinsichtlich der Behandlung dieser Stücke möchte ich meine besondere Wertschätzung ausdrücken. Mit Herrn Denk entwickelten sich häufig spannende Diskussionen zu Fragestellungen auf diesem Forschungsfeld, welche meine Neugier stets vorantrieben.

Weiterer Dank gilt den zahlreichen Kooperationspartnern, die den Zugang zu den verschiedenen Sammlungen und Magazinen möglich gemacht haben: Dr. Jozef Labuda in Banska Stiavnica, Dr. Jozef Sitar in Spania Dolina, Dr. Jens Auer in Schwerin, Staffan von Arbin in Göteborg, Dr. Martin Segschneider vom Niedersächsischen Institut für historische Küstenforschung (NIHK), Dr. Ralf Wiechmann vom Museum für Hamburgische Geschichte, Nico Brinck auf Terschelling, Heidi Vink und Bertil van Os vom Rijksdienst voor het cultureel Erfgoed (RCE) in Amersfoort sowie Joran Smale von Batavialand, Dr. José Suarez-Otero in Santiago de Compostela und Vicente Carames vom Museo do Mar in Vigo.

Für die Beratung von historischer Seite gilt mein besonderer Dank Dr. Miroslav Lacko von der Universität Jena, Prof. Dr. Klaus Weber von der Viadrina Universität Frankfurt an der Oder, Prof. Dr. Angelika Westermann von der Universität Kiel, Prof. Dr. Franz Irsigler von der Universität Trier sowie Herrn Friedrich Holtz aus Stolberg.

Abseits der Forschung möchte ich mich bei meiner Frau Hjördis dafür bedanken, dass sie mir stets die Toleranz gegenüber meiner sehr starken Fokussierung auf meine Arbeit entgegengebracht hat, gerade auch in der schwierigen Zeit nach der Geburt unseres ersten Kindes.

Schlussendlich danke ich meinen Eltern und Geschwistern dafür, dass sie mich in den nervlich belastenden Zeiten während des Schreibens dieser Arbeit, seelisch unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Der Handel mit Metallen in der frühen Neuzeit aus historischer Sicht	3
2.1 Die Nachfrageseite - Die Entdeckung Amerikas und des Seeweges nach Indien als maßgebliche Dynamik des Metallhandels.....	3
2.2 Die Angebotsseite - Deutsche Kaufleute als Financiers des Welthandels. Ihre Bezugsquellen, Absatzmärkte und Handelswege.....	8
2.3 Der Saigerhüttenprozess und die Arbeit auf der Schmelzhütte.....	16
2.3.1 Die Verhüttung sulfidischer Kupfererze in der frühen Neuzeit.....	16
2.3.2 Der Saigerhüttenprozess.....	18
2.3.2.1 Chemisch-physikalischer Hintergrund.....	19
2.3.2.2 Die Arbeitsabläufe auf der Saigerhütte.....	20
2.3.2.3 Theorien zu den Ursprüngen.....	24
3 Die untersuchten Materialien: Die Fundkontexte der Metallhalbfabrikate und Barren	26
3.1 Spania Dolina.....	29
3.2 Mönchgut_92.....	30
3.3 Skaftö.....	32
3.4 Obrestad bei Stavanger.....	33
3.5 Tjør Archipel vor Stavanger.....	34
3.6 Helgoland.....	35
3.7 Elbe.....	38
3.8 Terschelling I.....	41
3.9 Terschelling II.....	43
3.10 Terschelling III.....	46
3.11 Texel.....	47
3.12 Burgzand Noord II.....	49

3.13 Burgzand Noord VIII.....	51
3.14 Flevoland.....	52
3.15 Oostvoorne.....	53
3.16 Amersfoort.....	54
3.17 Vigo.....	55
3.18 Sierra Leone.....	56
3.19 Kamerun.....	57
3.20 Ovamboland, Namibia.....	58
3.21 Oranjemund, Namibia.....	58
3.22 Caldeira, Mozambique.....	61
4 Die im Untersuchungszeitraum relevanten Bergbaureviere.....	63
4.1 Deutschland.....	64
4.1.1 Der Harz und das südliche Harzvorland.....	64
4.1.1.1 Gänge und Vererzungen im Harz.....	65
4.1.1.2 Der Kupferschieferbergbau im südlichen Harzvorland.....	68
4.1.2 Das Erzgebirge.....	70
4.1.3 Der Raum Aachen-Stolberg und das Rheinland.....	72
4.2 Österreich.....	74
4.2.1 Das Inntal.....	74
4.2.2 Der Schneeberg.....	76
4.2.3 Der Bleiberg.....	77
4.3 Slowakei.....	79
4.3.1 Herrengrund (Spania Dolina).....	80
4.3.2 Libethen (L'ubietova).....	81
4.4 Polen.....	83
4.5 Großbritannien.....	84
4.5.1 Alston Moor, nördliche Penninen.....	85
4.5.2 Peak District, Derbyshire.....	87

4.5.3 Cornwall.....	87
4.6 Schweden.....	90
4.6.1 Falun.....	91
4.7 Norwegen.....	93
4.7.1 Røros.....	94
4.8 Zu den Produktionsmengen von Messing, Blei, Zinn und Kupfer.....	95
5 Methodik.....	97
5.1 Probennahme.....	97
5.2 Probenaufbereitung.....	97
5.3 Quantitative Analytik.....	98
5.3.1 Spurenelementbestimmung mittels SC-ICP-MS.....	98
5.3.2 Bleiisotopenbestimmung mittels MC-ICP-MS.....	99
6 Ergebnisse der Spurenelement- und Isotopenanalytik.....	101
6.1 Kupfer.....	101
6.1.1 Reißscheiben.....	101
6.1.1.1 Mönchgut.....	101
6.1.1.2 Skaftö.....	102
6.1.1.3 Helgoland.....	104
6.1.1.4 Elbe.....	104
6.1.1.5 Terschelling.....	104
6.1.2 Halbfabrikate: Halbrossenkugeln, Vierkantkupfer, Rundscheiben.....	106
6.1.3 Ziegelbarren.....	109
6.1.4 Armreife.....	111
6.2 Messing.....	112
6.2.1 Zahlungsmittel im Sklavenhandel: Stangen, Manillen & Spiralreife.....	112
6.2.2 Töpfe, Blech & Barren.....	115

6.3 Zinn.....	116
6.3.1 Barren der Bom Jesus/Namibia.....	116
6.3.2 Barren von Texel.....	116
6.4 Blei.....	118
6.4.1 Barren aus der Slowakei.....	118
6.4.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia.....	118
6.4.3 Barren aus niederländischen Gewässern.....	118
7 Diskussion.....	121
7.1 Zur Qualität und Provenienz der verschiedenen Gakupfer-Reißscheiben.....	121
7.2 Zum Sortenproblem der von den Fuggern und ihren Nachfolgern speziell für den Indienhandel produzierten Kupfer-Halbfabrikaten.....	130
7.3 Zur Qualität und Provenienz der untersuchten Zinn- und Bleibarren.....	135
7.4 Der Impakt europäischer Metalle in afrikanischer Metallurgie: „Guinea Rods“ & „Manillen“ aus Messing als Zahlungsmittel im transatlantischen Sklavenhandel und ihre Verwendung in Westafrika.....	143
8 Abschlussbetrachtung: Der Nutzen naturwissenschaftlicher Analysen an frühneuzeitlichen Metallfunden.....	151
9 Literaturverzeichnis.....	153
10 Katalog der untersuchten Objekte.....	172
10.1 Kupfer.....	172
10.1.1 Mönchgut Reißscheiben.....	172
10.1.2 Skaftö Reißscheiben.....	189
10.1.3 Helgoland Reißscheiben.....	192
10.1.4 Elbe Reißscheiben.....	198
10.1.5 Terschelling Reißscheiben.....	203
10.1.6 Halbrossenkugeln.....	204
10.1.7 Vierkantkupfer.....	207
10.1.8 Rundscheiben.....	213
10.1.9 Ziegelkupferbarren.....	214

10.1.10 Armreife.....	218
10.2 Messing.....	219
10.2.1 Stangen.....	219
10.2.2 Manillen.....	222
10.2.3 Spiralreife.....	225
10.2.4 Töpfe.....	226
10.2.5 Blech.....	227
10.2.6 Barren.....	228
10.3 Zinn.....	229
10.3.1 Barren der Bom Jesus/Namibia.....	229
10.3.2 Barren von Texel.....	238
10.4 Blei.....	245
10.4.1 Barren aus der Slowakei.....	245
10.4.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia.....	247
10.4.3 Barren aus niederländischen Gewässern.....	251
10.4.3.1 Loose Vonds.....	251
10.4.3.2 Texel.....	253
10.4.3.3 Flevoland.....	255
10.4.3.4 Burgzand II.....	256
10.4.3.5 Burgzand VIII.....	256
10.4.3.6 Oostvoorne.....	257
11 SC-ICP-MS Analysetabellen.....	258
11.1 Kupfer.....	258
11.2 Messing.....	264
11.3 Zinn.....	266
11.4 Blei.....	268

12 MC-ICP-MS Analysen	271
12.1 Kupfer.....	271
12.2 Messing.....	277
12.3 Blei.....	279

1 Einleitung

In dieser Arbeit sind über 300 Kupfer- Zinn- Blei- und Messingbarren bzw. Halbfabrikate aus der Frühneuzeit mit geochemischen Methoden untersucht worden, um historische Fragestellungen, die den zu jener Zeit aufkommenden Welthandel mit Metallen betreffen, beantworten zu können.

Bereits nach dem Lesen des zweiten Kapitels dieser Arbeit, wird sich der Leser die berechtigte Frage stellen, welchen Wert naturwissenschaftliche Analysen an frühneuzeitlichen Metallfunden haben. Denn im Gegensatz zu prähistorischen Epochen, ist der Metallhandel der Neuzeit durch zeitgenössische wie moderne Autoren detailliert aufgearbeitet worden. Wirtschaftshistoriker wie Ekkehard Westermann (1940-2015) haben auf der Basis schriftlicher Quellen Handelswege, Produktionszentren und -mengen, involvierte Firmen und Absatzmärkte genauestens herausgearbeitet. So ist bekannt, dass Metalle aus Mitteleuropa auf den afrikanischen und indischen Märkten als Tauschmittel gegen Sklaven bzw. Gewürzen Verwendung fanden.

Redewendungen aus der Frühneuzeit wie „Geh' dahin wo der Pfeffer wächst“ oder „Geh' doch nach Timbuktu“ sind fest verankert in der Deutschen Sprache und bezeichnen dort etwas, was in der kollektiven Wahrnehmung sehr weit entfernt liegt.

Trotz dieser allgemeinen Wahrnehmung, trotz der Millionen Tonnen Metall, die Westafrika und Indien über Venedig, Antwerpen und Lissabon erreichten, ist erschreckend wenig über die Beschaffenheit dieser Tauschmittel aus Kupfer, Messing, Zinn und Blei bekannt.

Aus schriftlichen Aufzeichnungen, die sich z.B. im Fürstlich und Gräfllich Fuggerschen Familien- und Stiftungsarchiv in Dillingen befinden, sind Begriffe wie „Gossenkupfer“ oder „Vierkantkupfer“ im Zusammenhang mit dem Indienhandel bekannt, jedoch lässt sich darunter wenig vorstellen.

Dies änderte sich am 1. April 2008, als im Diamantensperrgebiet der Firma NAMDEB an der Küste Südnamibias bei Oranjemund 1845 Stück plankonvexe Kupferbarren mit der Handelsmarke der Augsburger Familienfirma Fugger, dem Dreizack, gefunden wurden (**Abb. 2.10**). Diese wurden im Kontext eines Schiffswracks aufgefunden, welches offenbar auf dem Weg nach Indien war und sich später als die 1533 verschollene *Bom Jesus* herausstellte. Diese plankonvexen Kupferbarren mussten das sog. Gossenkupfer sein, das in den Urkunden genannt wird.

Eine von Andreas Hauptmann eingeleitete geochemische Untersuchung dieser sogenannten „Halbgossenkugeln“ zeigte deren verblüffende chemische Homogenität, welche stellvertretend für eine Kupferproduktion auf (proto-)industriellen Maßstab ist. Es konnte gezeigt werden, dass diese Barren das Endprodukt eines komplexen Verfahrens war, bei dem man das im Kupfer geringfügig vorhandene Silber mithilfe von Blei abtrennte, dem sog. Saigerprozess. Das Kupfer stammte aus dem slowakischen Neusohl, dem heutigen Banská Bystrica, während das Blei, welches zum Saigern benutzt worden war, in das oberschlesische Montanrevier um Olkusz zurückverfolgt werden konnte. Die globale Bedeutung der Metalle aus diesen Regionen ist ein Aspekt, der hier zum ersten Mal mit naturwissenschaftlichen Methoden aufgezeigt worden war.

Die Analysen von Hauptmann et al. (2016) waren der Anstoß für das in die Wege leiten weiterer geochemischer Untersuchungen, denn neben den Halbgossenkugeln waren auf der *Bom Jesus* noch weitere Metallbarren, nämlich solche aus Zinn und Blei, vertreten. Deren Herkunft war völlig offen, da sie entweder über keinerlei Stempel verfügten, oder aber diese nicht identifiziert werden konnten. Über die Herkunft und die verfügbaren Qualitäten der Zinn- und Bleibarren stritten sich z.T. sehr hitzig die Historiker um Wolfgang Knabe, Dieter Noli, Maximilian Kalus und Ekkehard Westermann (vgl. Westermann, 2013). Dies ist bezeichnend für das fehlende Verständnis hinsichtlich der Zusammensetzung dieser Produkte und bahnte den Weg für eine Ausweitung der naturwissenschaftlichen Analysen.

Gleichzeitig weitete sich auch die Erforschung des Kupferhandels aus: Schiffswracks mit neuzeitlichen Kupferbarren, sog. Reißscheiben und weiteren Halbfabrikaten wie gehämmerte Platten und ausgeschmiedete Rundscheiben lagerten seit vielen Jahren unberührt in niederländischen Magazinen. Überzeugt durch die Aussagekraft der Analysen von Hauptmann et al. (2016) sah man einer Beprobung generell positiv entgegen.

Also wurde von Andreas Hauptmann ein interdisziplinäres Projekt aufgebaut, das sich das Ziel gesetzt hatte, mithilfe von geochemischen Analysen verschiedener Metallbarren und Halbfabrikate den Welthandel mit Metallen zu untersuchen. Dieses Projekt wurde von der Fritz-Thyssen Stiftung im Februar 2019 bewilligt. Dabei ging es von Anfang an nicht darum, historische Untersuchungen auf Quellenbasis auf ihre Wahrhaftigkeit zu überprüfen, sondern eher darum, diese zu präzisieren und wenn möglich neue Aspekte einzubringen.

Die vorliegende Arbeit wurde innerhalb dieses Projektes, welches den Namen „*Globaler Metallhandel im 16. Jh. - Von Europa nach Afrika und Indien*“ trägt, am Deutschen Bergbaumuseum im Fachbereich Forschungslabor verfasst.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Aussagekraft geochemischer Untersuchungen an frühneuzeitlichen Metallfunden zu untersuchen und exemplarisch an verschiedenen Fallstudien darzulegen. Dafür musste eine chemisch-isotopische Datengrundlage für solche Metallfunde aufgebaut werden, die deren korrekte Ansprache überhaupt erst ermöglicht.

Hierzu musste freilich zunächst der historische Forschungsstand zum frühneuzeitlichen Welthandel mit Metallen erarbeitet werden (Kapitel 2), damit an der richtigen Stelle mit den eigenen Forschungen angesetzt werden konnte.

Anschließend mussten die Lagerstättenreviere, die in jener Zeit Metalle produzierten, auf ihre Mineralisationen und ihre Erzreserve hin untersucht werden (Kapitel 3), um eine Vergleichsgrundlage zu schaffen und um herauszuarbeiten, welche Lagerstätten welche Metalle produzieren konnten und in welchen Mengen.

In Kapitel 4 wird das Fundmaterial von inner- und außereuropäischen Schiffswracks präsentiert, welches in dieser Arbeit untersucht werden konnte, bevor Kapitel 5 sich der Analytik widmet, welche hierzu angewendet worden ist. Kapitel 6 präsentiert anschließend die analytischen Ergebnisse.

In Kapitel 7 wird an verschiedenen Fallstudien, die sich mit historischen Fragestellungen beschäftigen, die Aussagekraft naturwissenschaftlicher Analysen an frühneuzeitlichen Metallfunden exemplarisch aufgezeigt. Dabei geht es um die Fragen, welche Lagerstättenreviere welche Kupferqualitäten lieferten (Kap. 7.1), inwiefern sich die Kupferhalbfabrikate des Indienhandels von den einfachen Barren (Reißscheiben) unterscheiden und wieso sie in dieser Art hergestellt worden sind (Kap. 7.2), ob Zinn und Blei in regional unterschiedlichen Qualitäten vorlagen (Kap. 7.3) und schließlich, was mit den vielen Millionen Tonnen Messing geschah, die im Tausch gegen Sklaven die Westafrikanische Küste erreichten (Kap. 7.4).

In Kapitel 8 wird schlussendlich die Aussagekraft geochemischer Untersuchungen an frühneuzeitlichen Metallfunden rückblickend bewertet.

2 Der Handel mit Metallen in der frühen Neuzeit aus historischer Sicht

2.1 Die Nachfrageseite - Die Entdeckung Amerikas und des Seeweges nach Indien als maßgebliche Dynamik des Metallhandels

Um die Entwicklung eines globalen Metallhandels der Frühneuzeit fassen zu können, müssen die sich gegenseitig bedingenden Angebot- und Nachfrageseiten in ihrer wirtschaftlichen Struktur verstanden werden. Hierbei ist es wichtig, aufzuzeigen, dass die Handelsstrukturen wie sie in der Neuzeit in der alten Welt vorliegen, einer langen Tradition folgen, deren Anfänge mindestens bis zum Beginn des Mittelalters zurückreichen.

Schon im 12. Jahrhundert verunglückte eine Kamel-Karavane in der mauretanischen Wüste bei Ma'aden Ijafen (Monod, 1969) (**Abb. 2.1**). Ihre Ladung, mehr als 2000 Messingstangenbarren, konnte geborgen und untersucht werden (Willet & Sayre, 2006), ihre Bleisotopenverhältnisse zeigen große Ähnlichkeiten mit den Cu-Pb-Zn Erzen des Rammelsberges bei Goslar. Dabei muss hervorgehoben werden, dass der Fund von Ma'aden Ijafen kein Sonderfall, sondern stellvertretend für den überregionalen Metallhandel des Mittelalters ist.

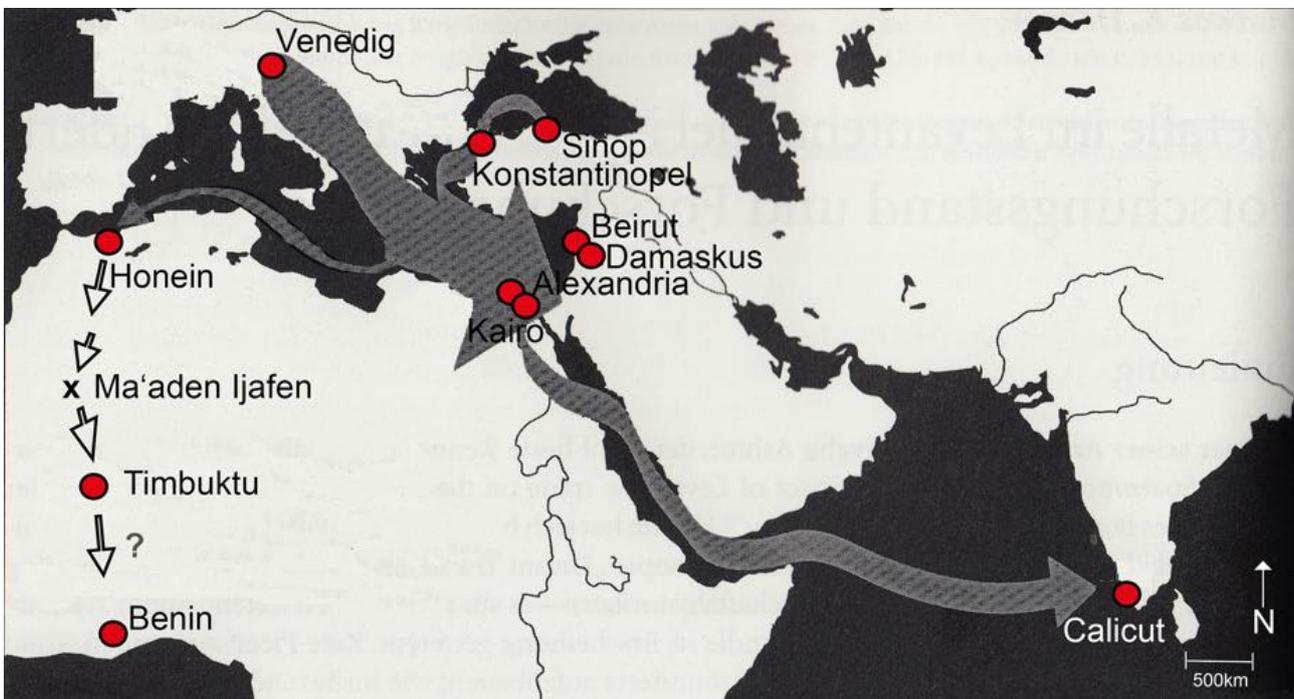


Abb. 2.1 Der Handel mit Metallen vor der Entdeckung des Seeweges nach Indien. Aus der Karte wird deutlich, dass Venedig maßgeblich den überregionalen Handel mit Metallen kontrollierte. Von der Lagunenstadt aus wurden die Metalle für den Indienhandel, einerseits an die Levanteküste, nach Alexandria und Kairo als auch nach Konstantinopel und Sinop gebracht. Durch moslemische Händler wurden die Metalle über das Rote Meer bis nach Calicut verhandelt. Im Afrikahandel spielte der Hafen von Honein eine zentrale Rolle, wo die algerischen Berber die Metalle gen Süden, womöglich sogar bis in die Subsahara brachten und gegen Sklaven tauschten (Bearbeitet nach Denzel, 2004).

Das Zentrum des Welthandels mit Metallen im Mittelalter war Venedig. Von hier aus wurden die Metalle, darunter vor allem Kupfer aber auch Zinn, Blei und Messing sowohl an die Levanteküste und von dort nach Indien (Denzel, 2004), als auch nach Alexandria und von dort aus nach Honein, Algerien und weiter per Kamel-Karavane durch die Berber nach Westafrika gebracht (Elbl, 2007). Dabei stammten die Metalle auf dem venezianischen Markt vor allem aus Deutschland und der heutigen Slowakei (Braunstein, 1977; Stefanik, 2004) aber auch aus dem Alpenraum, dem

Erzgebirge, England und sogar dem fernen Falun in Schweden (Elbl, 2007) (**Abb. 2.6**). Deutsche Metallhändler brachten ihre Waren in das *Fondaco dei Tedeschi* (Lagerhaus der Deutschen) das eine gewichtige Rolle in der Lagunenstadt spielte (Stefanik, 2017).

Neben den Direktimporten aus den Bergbaurevieren bezog Venedig seine Metalle aus Brügge in Flandern, das durch seine Lage zwischen den Kupfererzlagerstätten Kontinentaleuropas und den wichtigen Zinnerzlagerstätten in England, zur Metallhandelsmetropole aufgestiegen war (Elbl, 2007).

Brügge lag in der Nähe zu den Messingindustrien der Rhein-Maas Region, die sich aufgrund der lokal vorhandenen Galmeivorkommen, hier vor allem dem Altenberg/Vielle Montagne bei Kelmis entwickelt hatten (**Abb. 2.2**). Aus diesem zinkhaltigen Rohstoff und Kupfer wurde unter anderem im flämischen Dinant die Legierung Messing hergestellt. *Dinanderies* war lange Zeit gleichbedeutend mit Gegenständen aus Messing (Peltzer, 1908). Das Kupfer bezog man aus den gleichen Lagerstättenrevieren wie die Venezianer (s.o.), besorgte dieses jedoch durch die Hanse über den Seeweg via Danzig und Lübeck, durch das Kattegat und die Nordsee (**Abb. 2.6**). Durch den Import von Kupfer wurde Dinant zur Hansestadt (Peltzer, 1908). Ähnlich stellvertretend wie der Fund von Ma'aden Ijafen für den Trans-Sahara Handel ist, ist für die Nordseeroute, ein im Jahre 1345 vor der Maasmündung untergegangenes Hamburger Schiff, das zum Teil mit schwedischem und Goslarer Kupfer beladen war (Höhlbaum, 1882).

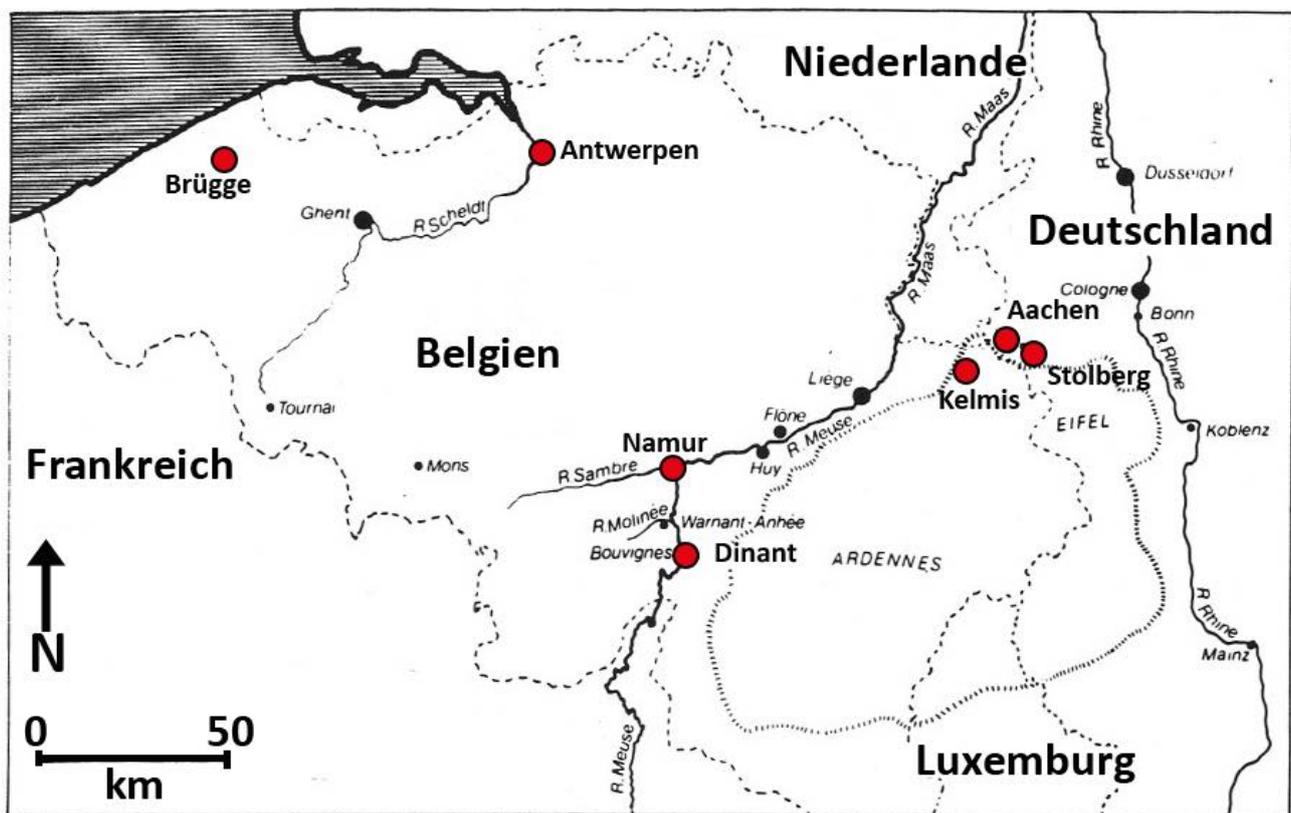


Abb. 2.2 Die Hauptlokaltäten der Messingindustrie im Rhein-Maas Bereich. Im 15. Jh. belieferten die Städte Dinant und Namur den Hafen von Brügge mit Messingwaren für den internationalen Handel. Nach der Zerstörung Dinants 1466 wuchs die Region Aachen-Stolberg zum Weltzentrum der Messingproduktion heran und verhandelte ihre Produkte nun über Antwerpen (Verändert nach Day, 1984).

In Venedig wurden die importierten Metalle, speziell das Kupfer, einer Weiterverarbeitung bzw. Raffinerie unterzogen der sog. *affinatura*, deren Prozess seit vielen Jahren diskutiert wird und bis heute unverstanden bleibt (Suhling, 1976; von Stromer, 1995; Skladany, 2000; Stefanik, 2004)

(Siehe Kapitel 2.3). Nach Denzel (2004) der die Preise für verschiedene Kupfersorten auf dem venezianischen Markt untersucht hat, konnte aber vor allem jenes Kupfer an den Levantemärkten abgesetzt werden, welches der *affinatura* unterzogen wurde. Hier zeigt sich bereits früh die indische Nachfrage nach hochqualitativen Kupfer, die der Staat z.B. für die Münzprägung benötigte (Richards, 1995).

Über den venezianischen Metallhandel mit der Levante gelangten regelmässig Gewürze aus Indien, die im Mittelalter sogar als Medizin eingesetzt worden sind, nach Europa (Kalus, 2010).

Während Halbfabrikate aus Kupfer in Indien gefragt waren, wurden in Honein von den Berbern eher Messingwaren nachgefragt, da diese in Westafrika auf den Sklavenmärkten abgesetzt werden konnten (Klein, 1999). Das Etablieren des Sklavenhandels durch die moslemischen Berber führte das Königreich Benin im Mittelalter zu großem Reichtum und so ist es wenig erstaunlich, dass die Portugiesen beim ersten Eintreffen in Benin 1486 verblüfft über die Fortschrittlichkeit und die schiere Größe Benin-Stadts waren (Duchateau, 1995) (**Abb. 2.3**).



Abb. 2.3 Darstellung der Stadt Benin nach Ansicht des holländischen Chronisten Olfert Dapper von 1668. Im Hintergrund des Bildes sind die wahren Ausläufer der Stadt zu erahnen. Bemerke auch die menschengroßen Adlerstatuen auf den Dächern, welche aus Metall gemacht sein sollen (Nach Dapper, 1668).

Hier liegt ein häufig unbeachteter Umstand vor: Benin war bereits zum Zeitpunkt des Eintreffens erster portugiesischer Händler, eine Metropole unerreichter Größe. Der Erdwall der die Stadt umgab, die Mauern von Benin, sind noch vor der chinesischen Mauer das größte je vom Menschen erschaffene Erdwerk aller Zeiten (Darling, 1998). Laternen mit Palmöl beleuchteten das riesige Netz aus Straßen um den Palast von Benin wo der König, der Oba regierte (Ryder, 1969).

Hufeisenförmige Messingringe, sog. *Manillen* (**Abb. 2.4**) waren neben stangenförmigen Messingbarren, sog. *Guinea Rods* das Hauptzahlungsmittel für Sklaven (Herbert, 1984; Alpern, 1995; Westermann, 2001; Denk, 2017). Wozu diese Stangen und Ringe die bis Ende des Sklavenhandels zu Millionen Tonnen ausgeliefert worden sind, benutzt wurden, ist unklar. Eine Verwendung als Geldform wurde genauso diskutiert wie eine Ansprache als Schmuckgegenstand oder sogar Barren (Alpern, 1995).



Abb. 2.4 Messingplatte aus dem Königspalast in Benin. Dargestellt ist ein portugiesischer Händler mit den sog. *Manillen* im Hintergrund (Duchateau, 1995).

Neueste Untersuchungen von F.W. Rademakers et al. (2018; 2019) haben eine entwickelte Kupfermetallurgie aufgezeigt, deren Hauptprodukte kreuzförmige Kupferbarren sog. *Katanga-Kreuze* waren. Messing jedoch scheinen die Afrikaner demnach ausschließlich über den Fernhandel durch die Trans-Sahara Route bezogen zu haben. Neben diesen Zahlungsmitteln wurden auch Metallfertigkeiten wie Schüsseln, Nachttöpfe oder Barbierbecken in Afrika nachgefragt, deren Nutzung Westermann (2001) jedoch eher in einem rituellen Kontext sieht.

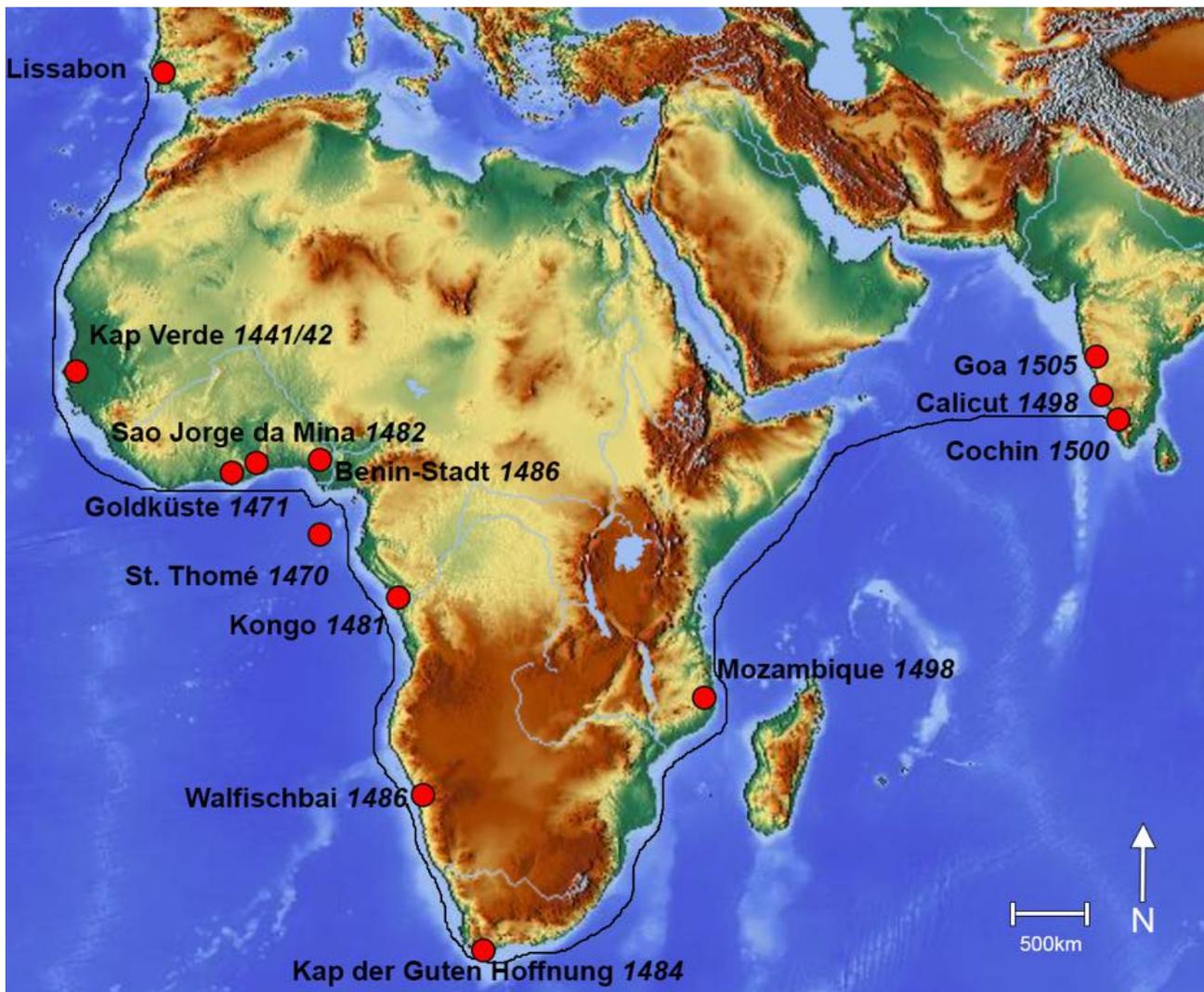


Abb. 2.5 Der Seeweg nach Indien und die Entdeckungen der Portugiesen in Afrika mit den jeweiligen Jahreszahlen. Bemerke auch die Gründung Sao Jorge da Minas als erstes europäisches Fort in der Subsahara 1482 (Jahreszahlen nach Westermann, 2001).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass Kupfer in Westafrika einen ähnlichen Stellenwert wie Gold in Europa hatte (Westermann, 2001).

Vor der Kulisse dieser zwei völlig unterschiedlichen, jedoch in ihrer Jahrhunderte andauernden Tradition sich gleichenden Dynamiken, treten im Verlauf des Mittelalters mehrere grundlegende Veränderungen ein. Was mit dem Fall Akkons 1291 begann, spätestens aber mit der Eroberung Konstantinopels durch die Osmanen 1453 besiegelt wurde, änderte die Strukturen des Welthandels auf radikale Art und Weise. Das Passieren der einzigen Landverbindung nach Asien über den Bosphorus (**Abb. 2.1**) wurde nun durch die Sultane mit hohen Zöllen belegt und so kam der Gewürzhandel aus Fernost zum Erliegen (Kalus, 2010).

Diese historische Zäsur wird allgemein als Auslöser des Zeitalters der Entdeckungen wahrgenommen, dem prägendsten historischen Prozess für die moderne Welt. Es musste ein neuer Weg nach Indien gefunden werden und dieser führte 1492 erst Christoph Columbus zur Entdeckung Amerikas, der *Neuen Welt* und 1498 Vasco da Gama zur Umrundung des *Kap der guten Hoffnung* (**Abb. 2.5**). So gelang es einerseits das Osmanische Reich zu umgehen und direkt mit Indien in Kontakt zu treten und andererseits über den Seeweg den Handel mit Gewürzen in quantitativ neue Dimensionen zu heben (Westermann, 2001; Kalus, 2010). Nun wurden die Produkte des Ostindien- und Afrikahandels zunehmend über Lissabon nach Europa gebracht.

Während dadurch die Bedeutung Flanderns als Welthandelszentrum zunahm, schwand jene Venedigs nach und nach (Schulte, 1923).

In der Neuen Welt hingegen, wurden sehr schnell massenhaft Arbeitskräfte für das urbar-machen der Landschaften, die Acker- und Plantagenarbeit benötigt. Durch das Aufgreifen der Portugiesen der bereits existierenden Sklavenhandelsstrukturen in Westafrika für die Arbeit in Übersee, begann die größte Deportation der Menschheitsgeschichte. Schätzungsweise 18 Millionen Menschen wurden bis zum Ende des Sklavenhandels deportiert, wovon ca. 11 Millionen in die Kolonien nach Amerika verschifft wurden, wobei ein Großteil die Überfahrt nicht überlebte (Klein, 1999). Bereits 1482 gründeten die Portugiesen das erste europäische Fort in der Subsahara: São Jorge da Mina im heutigen Ghana (Teixeira da Mota, 1969) (**Abb. 2.5**). Nur 20 Jahre später, um 1500, setzte man bereits 15.000 Sklaven jährlich in Lissabon um (Westermann, 2001).

Der Stützpunkt São Jorge da Mina, später Elmina, blieb sowohl unter Niederländern als auch Briten das Hauptquartier der jeweiligen Sklavenhandel betreibenden Nationen.

Diese beiden maßgeblichen Nachfragen: nach Gewürzen aus Indien einerseits und nach Sklaven aus Westafrika andererseits sind die bestimmenden Motoren der Weltwirtschaft der frühen Neuzeit, die bis in das 19. Jahrhundert maßgeblich waren (Westermann, 2001). Führt man sich nun vor Augen, dass, wie gezeigt, in beiden Fällen das Hauptzahlungsmittel seit Jahrhunderten europäische Metalle waren, so gewinnt deren Untersuchung enorm an Stellenwert.

Woher die in ihrer Gesamtzahl Millionen von Tonnen erreichenden Kupfer, Blei, Zinn und Messingfabrikate stammen, welche Firmen deren Produktion bestimmten und wie sich diese organisierten wird im Folgenden gezeigt werden.

2.2 Die Angebotsseite - Deutsche Kaufleute als Financiers des Welthandels, ihre Bezugsquellen, Absatzmärkte und Handelswege

Es ist gezeigt worden, dass in Indien seit dem Mittelalter Metallhalbfabrikate, vor allem aus Kupfer, jedoch auch Barren aus Zinn und Blei, und an der Westafrikanischen Küste, Messingwaren nachgefragt worden sind und dass diese Metalle aus Erzen europäischer Lagerstätten stammten.

Schon lange vor den großen Augsburger und Nürnberger Patrizierfamilien der Fugger, Welser und Höchstetter waren Deutsche Handelsgesellschaften und Firmen die treibende Kraft im überregionalen Metallwarenverkehr, da sie nach van der Wee (1963) über das meiste Kapital verfügten. Dieses Kapital, das wiederum in mitteleuropäischen Montanunternehmen angelegt und durch den Metallhandel sukzessive vermehrt wurde, stammte seit dem 14. Jahrhundert aus dem Rheinland (Irsigler, 1976). Es war nach Peltzer (1908) später der Aachener Bürger Nicolas von Richtergen, der als erster Gewürze aus Ostindien über die neue Route um das Kap der guten Hoffnung importierte und den „erstaunten“ oberdeutschen Händlern präsentierte.

Die Rheinländer, vor allem Kölner und Aachener, hatten einen geostrategischen Vorteil, der auf der Lage der Schnittstelle zwischen mitteleuropäischen Lagerstätten, wie dem schon lange auf Kupfer ausgebeuteten Rammelsberg bei Goslar und den Galmei-Lagerstätten im Rhein-Maass Gebiet beruhte. Denn zusätzlich zu dem in Kap. 2.1 beschriebenen Seeweg durch das Kattegat, handelten Dinanter Messingschläger direkt über die Kölner Messe und erwarben dort Rohmetalle, vor allem Kupfer (Bingener, 1998) (**Abb. 2.6**). Die Kölner Messe war bereits im 14. Jahrhundert Dreh- und Angelpunkt des überregionalen Metallhandels: Irsigler (1976) nennt z.B. den Dortmunder Tideman Lemberg der bereits 1346 die englischen Zinnbergwerke von Cornwall in Pfandbesitz hatte und 1359 die Bleilagerstätten in Alston Moor in den nördlichen Penninen (**Abb. 4.22**) ausbeutete um deren Produkte auf dem Kölner Markt anbieten zu können.

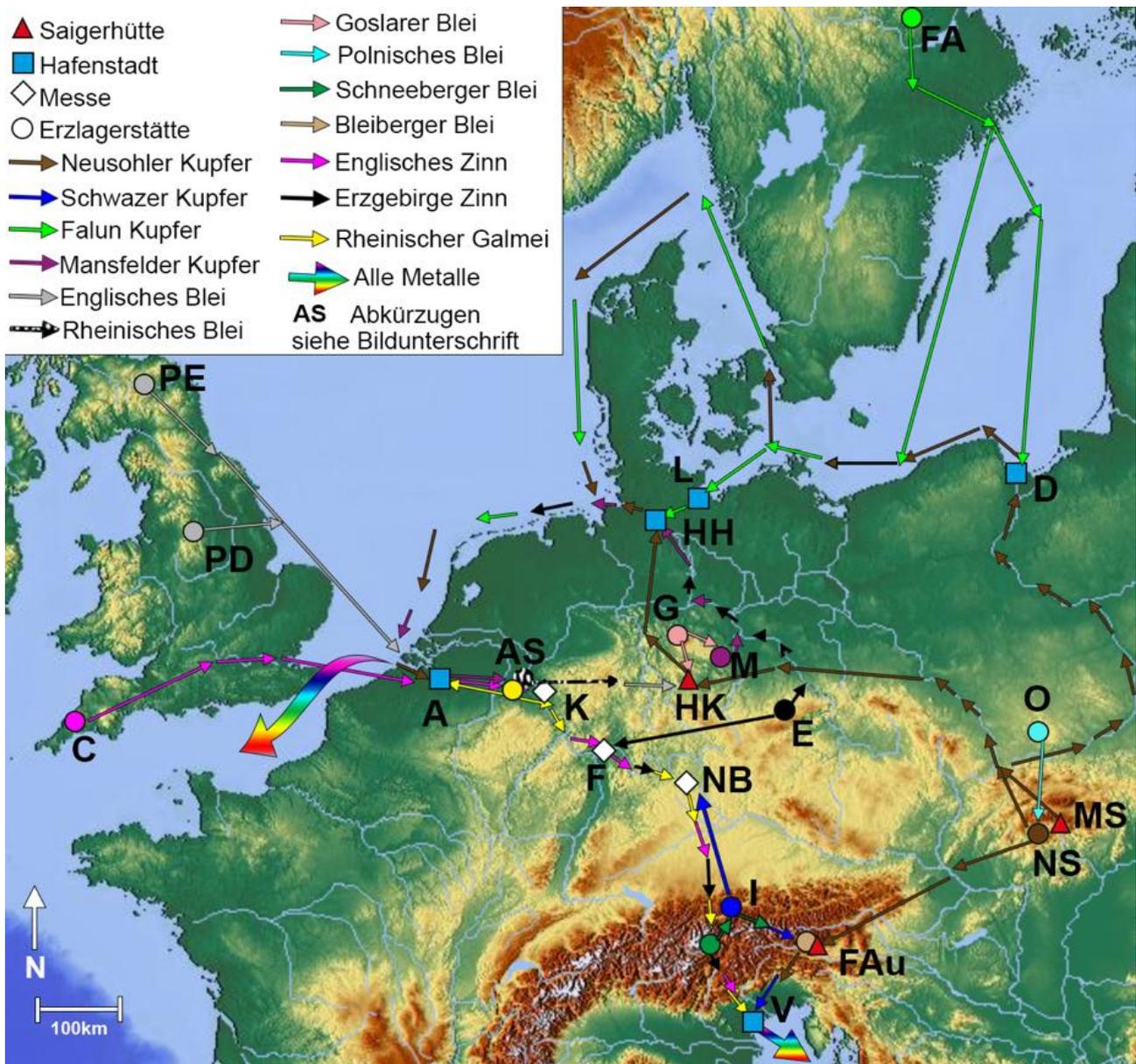


Abb. 2.6 Die maßgeblichen Metallströme innerhalb Europas im 16. Jh. Bestimmend für die Metallströme sind einerseits die Häfen Danzig, Lübeck und Hamburg die als Umschlagplatz für den interkontinentalen Hafen Antwerpen dienten, andererseits die Messen in Köln, Frankfurt und Nürnberg. Kupfer und Blei wurden vor allem von den Saigerhütten angezogen, wobei z.B. die Hütte Hohenkirchen ihr Blei aus England, dem Rheinland und Goslar bezog und mit dem Neusohler Kupfer versetzte. Letzteres wurde sowohl nach Venedig als auch nach Hamburg, Danzig und Antwerpen transportiert. Es erfährt somit auch innereuropäisch die größte Verbreitung. Beachte auch den Handel mit englischem Zinn und Blei über Antwerpen auf die Kölner und Frankfurter Messen. Abkürzungen: A = Antwerpen, AS = Aachen-Stolberg, C = Cornwall, D = Danzig, E = Erzgebirge, F = Frankfurt, FA = Falun, FAu = Fuggerau, G = Goslar, HH= Hamburg, HK= Hohenkirchen, I = Inntal, K = Köln, L = Lübeck, M = Mansfeld, MS = Mostenica, NB = Nürnberg NS = Neusohl, O = Oberschlesien, PD = Peak District, PE = Pennines, V = Venedig.

Des Weiteren verfügte das Rheinland vor allem in der Nordeifel und dem Raum Aachen-Stolberg über große Bleibergwerke, deren Produkte ebenfalls über Köln in den Handel gelangten und die später 50% des Bleibedarfs des Fugger'schen Saigerwerks Hohenkirchen in Thüringen ausmachten (Irisgler, 1976; von Pölnitz, 1951).

Nachdem Dinant im Jahre 1466 zerstört worden war, wanderten die Messingschläger weiter nach Aachen und gründeten dort eine Messingindustrie, die mehr als 300 Jahre lang die leistungsfähigste der Welt blieb (Irsigler, 1976; Peltzer, 1908) (**Abb. 2.2**). Diese Industrie setzte die Produktion von *Dinanderies* unter der Verwendung lokaler Galmei- und Bleivorkommen und importiertem Kupfer, jetzt vor allem aus Mansfeld, fort. Die Verwendung von Mansfelder Kupfer wurde 1550 sozusagen verpflichtend, da nur Messingerzeugnisse mit dem Aachener Stadtdadler gestempelt werden durften, die aus „gut uprechtig und rein Eislebisch kupfer“ also Kupfer aus Eisleben im Mansfelder Land, hergestellt worden sind (Peltzer, 1908).

Es herrschte der Glaube, dass das Mansfelder Kupfer für die Messingherstellung deutlich besser geeignet sei, als das ungarische, schwedische oder alpenländische, da es sich beim Zementationsprozess überproportional vermehren sollte (Möllenberg, 1915; Westermann, 1971).

Diese Faktoren, die geostrategische Lage zwischen Kupfer und Galmei-/Bleilagerstätten und die in Kapitel 2.1 genannte Tradition der Lieferung von Messingprodukten an den venezianischen Markt von Brügge aus, führte zur Ausbildung einer Schicht frühkapitalistischer Metallhandelsfirmen die zumeist in Familienhand waren wie z.B. die schon genannten Aachener von Richtergen, Schetz und Duppengießer (Peltzer, 1908) aber auch Kölner wie z.B. Heinrich Struys, der nach Irsigler (2013) reichste Kölner seiner Zeit.

Während ihre Namen uns in Zunfturkunden (von Loesch, 1907), Antwerpener Notariatsarchiven (Strieder, 1962) und Urkundenbüchern (Möllenberg, 1915) begegnen, haben sich manchmal auch ihre Handelszeichen, sog. Hausmarken direkt auf den Metallerzeugnissen erhalten (**Abb. 2.7**). Wie aus den genannten Quellen deutlich wird, zielte ihre Produktion auf den Antwerpener Markt, wo die Faktoren der portugiesischen Krone Metalle für den Afrikahandel einkauften. Sie sind daher in dieser Arbeit für den Metallhandel mit Afrika buchstäblich als Drahtzieher zu vermuten.

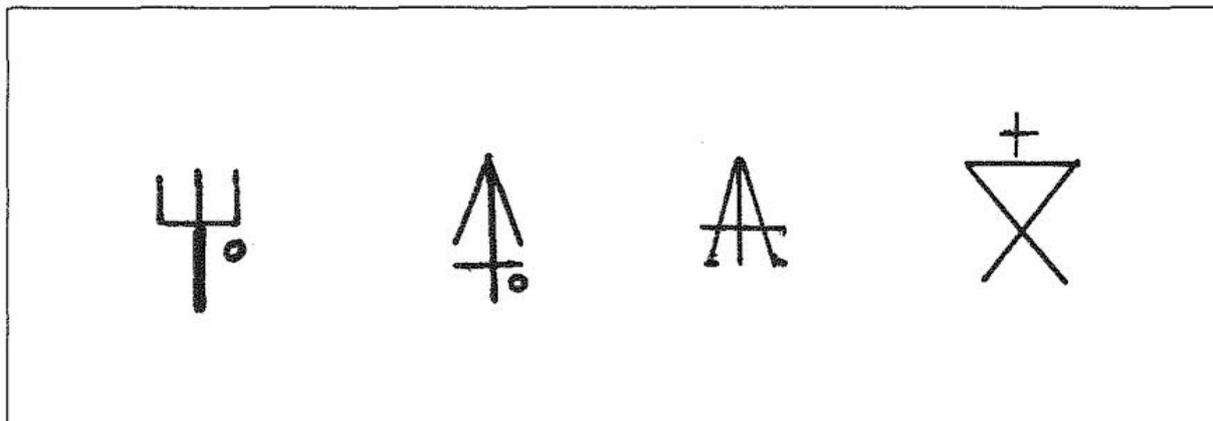


Abb. 2.7 Handelszeichen, sog. Hausmarken großer Patrizierfamilien. Mit diesen Marken wurden seit dem Mittelalter Handelsgüter gekennzeichnet um einerseits die Qualität gewährleisten zu können, andererseits den Eigentümer bzw. Hersteller identifizieren zu können. Von links: Fugger, Paumgartner, Herwart, Gossembrot (Nach Westermann, 2001).

Da an der westafrikanischen Küste, wie gezeigt, vor allem Manillen und Guinea Rods, daneben Tiefwaren (Schüsseln etc.) als Zahlungsmittel akzeptiert wurden, wundert es nicht, wenn einzelne Lieferkontrakte zwischen den genannten Rheinländern und portugiesischen Abgesandten des Hofes eben jene Manillen (in der Literatur gerne mit Armbänden, Malien, Manillien, Spangen oder schlicht Ringen verwechselt) in hohen Mengen genannt werden (Strieder, 1962).

Es liegt auf der Hand, dass die Rheinländer von der Entwicklung Flanderns, nunmehr Antwerpen anstatt Brügge, zu einem Welthandelszentrum für ostindische Waren besonders profitierten. Unter der Berücksichtigung der besonderen Nachfrage nach Messingwaren auf dem afrikanischen

Kontinent hatten die Rheinländer vor Nürnberg und Augsburg einen Standortvorteil und viele Aachener hatten in Antwerpen Niederlassungen (Pohl, 1977; Strieder, 1927).

Auch Nürnberg war ein bedeutendes Messingproduktionszentrum (Maué & Kupper, 2002). „Nürnberger tand geht durch alle Land“ (gemeint sind Handwerkserzeugnisse aus Metall) (**Abb. 2.8**) war seit dem 15. Jahrhundert gleichbedeutend mit der Rolle Nürnbergs auf dem Weltmarkt. Zwar verfügten die Nürnberger nicht über eigene Galmeivorkommen und mussten diese über die Frankfurter Messe von den Pächtern der beschriebenen Lagerstätten im Rheinland einkaufen (Peltzer, 1908) (**Abb. 2.6**) doch waren Nürnberger Firmen stark in den Kupferschieferbergbau im Mansfelder Land involviert (Hildebrand, 1977; Westermann, 1971, 2001).



Abb. 2.8 Allerlei Schnallen aus Messing von der Bom Jesus, Namibia. Dieser sog. „Tand“ ist möglicherweise aus Nürnberger Produktion und nur ein kleiner Teil des Produktionsspektrums handwerklicher Metallwaren (Nach Knabe & Noli, 2012).

Schulte (1923) nennt Nürnberger Tiefwaren aus Messing sowie Ringe (Manillen? s.o.) als Exportgegenstände nach Lissabon. Strieder (1927) weist daraufhin, dass der Nürnberger Seefahrer und Erfinder des Astrolabs Martin Behaim schon 1484 mit den Portugiesen in den Kongo fuhr, und seine Mitbürger eventuell über potentielle Absatzmöglichkeiten informierte. Westermann (2001) weist die Präsenz Nürnberger Messinghändler wie Hans Hildebrand auch in Antwerpen nach, es bleibt aber offen, ob auch hier die speziellen Zahlungsmittel im Afrikahandel, Manillen und Stangen, produziert worden sind oder ob Nürnberg, das „Zentrum der Feinmechanik“ (Westermann, 2001) sich auf die Produktion von Fertigwaren spezialisierte.

Organisiert wurde der Handel der oberdeutschen Metallindustrie wiederum über Firmen wie z.B. der großen Ravensburger Handelsgesellschaft, die von Schulte (1923) umfassend untersucht worden ist. Gesellschaften wie diese, die sich bereits am Ende des 14. Jahrhunderts gründeten, sind die Grundlage für die Ausbildung einer „Oberdeutschen Hochfinanz“ wie von Stromer (1970) sie beschreibt.

Die großen Augsburger Firmen wie die Fugger, Welser, Gossembrot oder Herwart reagierten nach Westermann (2001) weit weniger auf die gestiegene portugiesische Nachfrage nach Messing. Allein die Augsburger Hoehstäter stiegen mit dem Bau ihrer Messinghütte in Pflach bei Reutte in Tirol 1509 direkt in das Afrikageschäft ein (Mutschlechner & Palme, 1976; Palme & Westermann, 1989). Für diese Zurückhaltung gibt es einen Grund.

Wie in Kap. 2.1 erwähnt, wurden in Indien, das durch den venezianischen Handel und der affinitura, raffiniertes Kupfer hoher Qualität gewohnt war, weniger Messing sondern mehr Halbfabrikate aus raffinierten Kupfer nachgefragt. Dieses konnten weder die Nürnberger noch die Aachener liefern, da die Hoheit unter der Produktion und des Vertriebs seit dem Ende des 15. Jahrhunderts bei den großen Augsburger Firmen lag. Sie hatten Bergwerksanteile und Schmelzhütten in den großen Kupferabbaugebieten im Inntal, hier besonders bei Schwaz und am Schneeberg in Südtirol, lieferten das Kupfer nach Venedig (**Abb. 2.5**) und waren somit nach Westermann (2001) eher für die indische Nachfrage disponiert. Auch die bereits beschriebene Meinung, dass nur das Mansfelder Kupfer für hochqualitative Messingherstellung geeignet sei, hat sicher zum späten Eintritt der Augsburger in den Afrikahandel beigetragen.

Im 16. Jahrhundert stiegen die Augsburger Fugger zur bestimmenden Marktmacht im Kupferhandel auf. Dieser Erfolg beruht auf dem Kalkül eines Mannes: Jakob Fugger (1459-1525). (**Abb. 2.9**) Jakob Fugger, der den Beinamen „Der Reiche“ trug, lernte schon als 14-jähriger den venezianischen Kupfermarkt kennen (Geffcken, 2009). Die Fugger, eine ursprünglich auf die Weberei ausgerichtete Familienfirma hatten sich durch den „Barchent-Boom“ ein beträchtliches Vermögen erwirtschaftet und zählten zu den reichsten Bürgern Augsburgs (Häberlein, 2006). So war der Name Fugger schon zu Ende des 15. Jh. an den Königshöfen Europas ein bekannter Begriff.

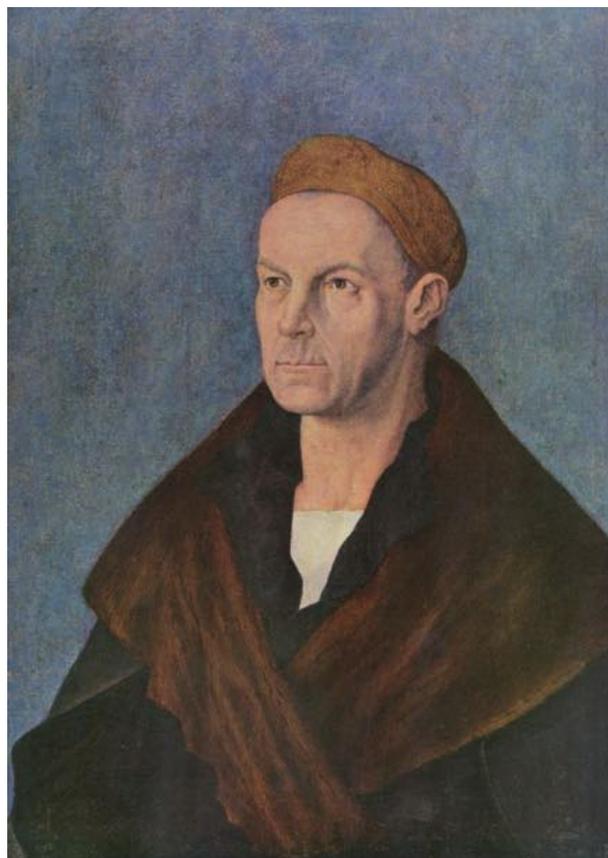


Abb. 2.9 Jakob Fugger in einer Darstellung Albrecht Dürers (Freeware: Yorck Project).

Mit König Maximilian I aus dem Geschlecht der Habsburger hatte Jakob Fugger 1490 einen Vertrag zum günstigen Aufkauf des Kupfers und Silbers vom Falkenstein bei Schwaz im Inntal ausgehandelt (Bingener et al., 2012). Da am Falkenstein silberreiche Fahlerze vorkamen (vgl. Kap. 4.2), benötigten die Hüttenarbeiter, zur Scheidung des Silbers vom Kupfer, Blei. Dieses wurde vom Schneeberg in Südtirol bezogen. Das entsilberte, also gesaigerte, Kupfer wurde im Anschluss nach Venedig gebracht wo es auf den bereits oben beschriebenen Metallmarkt abgesetzt und an die Levanteküste und weiter nach Indien verhandelt wurde. Eine weitere Saigerhütte baute Jakob mit seinen Brüdern Ulrich und Georg am Arnoldstein bei Villach, die sog. Fuggerau (Bingener et al., 2012) (**Abb. 2.6**).

Die monopolartige Stellung die die Fugger auf dem Kupfermarkt einnahmen, zeitgenössische Quellen sprechen davon, „Kupfer könne man nur vom Fugger bekommen“ (Knabe & Noli, 2012) lässt sich nicht durch ihre Position im Tiroler Bergbau allein erklären. Viele Augsburger, wie z.B. die Paumgartner traten als Gewerken, das bedeutet Eigner, im Tiroler Bergbau auf und machten ihrerseits hohe Gewinne (Ehrenberg, 2015).

Der Erfolg der Fugger liegt vielmehr in der Begründung des sog. ungarischen Handels. In Oberungarn, der heutigen Slowakei, wurden schon seit Jahrhunderten Kupfererze abgebaut. Sie hatten schon während des Mittelalters eine überregionale Bedeutung, wurden nach Flandern und Venedig gebracht, raffiniert und waren für den internationalen Handel von hoher wirtschaftlicher Bedeutung (Paulinyi, 1933; Stefanik, 2004, 2017).

Hier begründete Jakob Fugger mit dem Zipser Montanunternehmer und Bergbautechniker Johann I. Thurzo (1437-1508), 1494 die „Fugger-Thurzo-Gesellschaft“, welche bis 1526 bestand (Bingener et al., 2012). Diese Gesellschaft hatte den Zweck, die Kupfervorkommen bei Herregrund (Spania Dolina) nahe Neusohl (Banská Bystrica) auszubeuten (Vlachovic, 1977).

Das Anlegen des Kapitals der Fugger führte nach Vlachovic (1977) zu einem revolutionären Umschwung in der Quantität und Qualität der Kupfererzförderung und Aufbereitung und mündete nach Kellenbenz (1977) in der Herausbildung des „modernsten Industriebetriebes auf seinem Sektor“.

Das silberhaltige Fahlerz-Kupfer aus Herregrund wurde in eigens aufgebauten Saigerhütten in Mostenica, Hohenkirchen in Thüringen und in Fuggerau bearbeitet (Vlachovic, 1977). Der Aufbau der Saigerhütten war nach Vlachovic (1977), entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg der Fugger, da das Kupfer so direkt gesaigert werden konnte und nicht nach Venedig, dem traditionellen Ort für die Kupferraffinerie (s.o.) gesendet werden musste.

Alle diese Hütten benötigten für den Saigerprozess (vgl. Kap. 2.3.2) große Mengen Blei. Dieses wurde für die jeweiligen Hütten aus unterschiedlichen Bleilagerstätten herangebracht. So wurde in Mostenica mit oberschlesischem Blei (Skladany, 1997), in Fuggerau mit Blei vom Bleiberg (Von Pölnitz, 1951) und in Hohenkirchen Blei aus dem Rheinland, Goslar und England (Von Pölnitz, 1951; Westermann, 1971; Häberlein, 2006, 2016) das über Antwerpen bezogen wurde, verarbeitet (**Abb. 2.6**). Zeitgenössische Quellen berichten, dass unterschiedliche Blei-Qualitäten vorlagen, worunter das englische Blei das schlechteste sei, das auf dem Markt war und das polnische das beste (Von Pölnitz, 1958; Fuggerarchiv Ungarischer Handel, Urkunde 2,3,5C, k. 136 r).

Umgekehrt wurde das gesaigerte und verarbeitete Kupfer von Hohenkirchen aus nach Hamburg und Lübeck (Koch, 1926), von Mostenica nach Danzig und von Fuggerau nach Venedig (von Pölnitz, 1951) gebracht. Von den Ost- und Nordseehäfen wurde das Kupfer nach Antwerpen verschifft, das nach Vlachovic (1977) im 16. Jahrhundert zum wichtigsten Stapelplatz für Neusohler Kupfer wurde, da es von hier aus seinen Weg nach Lissabon und in den Indienhandel fand (**Abb. 2.6**).

Die bereits erwähnte Verlagerung des Indienhandels von Venedig nach Antwerpen ist auch in der prozentualen Menge der jeweiligen Kupferlieferungen aus Neusohl ersichtlich. So wurde ab den 1500er Jahren mehr als die Hälfte der Neusohler Produktion nach Antwerpen verschifft, während der Teil der nach Venedig ging unter den Fuggern auf unter 5% absank (Westermann, 2001).

Erwähnenswert ist weiterhin, dass das Neusohler Kupfer im Gegensatz zum alpenländischen, mansfelder und schwedischem, nur in geringem Maße als Garkupfer angeboten worden ist, d.h. als Kupferbarren in Scheibenform, sondern zum größten Anteil im Fuggereigenen Hammerwerk verarbeitet als Halbfabrikate (Vierkantkupfer, gehämmerte Kupferscheiben, Halbgossenkugeln, (Vlachovic (1977) nennt 31 Sorten)) angeboten worden ist (**Abb. 2.10**). Diese Sorten waren nach Westermann (2001; 2013) speziell für den indischen Markt ausgelegt.



Abb. 2.10 17t sog. Halbgossenkugeln, Kupferbarren von einem Schiffswrack vor der Küste Namibias. Die Kupferbarren tragen den Dreizack, das Handelszeichen der Augsburger Fugger (**Abb. 2.7**) und deuten so auf deren Hersteller hin. Ihr Fundort auf der „neuen“ Route nach Indien ist signifikant für den Indienhandel jener Zeit. © Dr. Bruno Werz/African Institute for Marine and Underwater Research, Exploration and Education (AIMURE)

Schlussendlich muss noch die schwedische und norwegische Kupferindustrie genannt werden, obgleich diese beiden erst um 1600 (Schweden) bzw. 1644 (Norwegen) quantitativ relevant werden. Denn während die drei großen Kupferlagerstätten zum Ende des 16. Jahrhunderts als wirtschaftlich ausgebeutet gelten, beginnt zeitgleich der Siegeszug des schwedischen Kupfers auf ein globales Level (Kumlien, 1977). Es waren Aachener Bürger, wie die schon genannten Duppengießer, die viel Kapital in den Kupferbergbau in Falun anlegten, um die Versorgung der Messingindustrie in Aachen-Stolberg zu gewährleisten (Kumlien, 1977).

Während der Handel mit Kupfer und Messing historisch sehr gut aufgearbeitet worden ist und ebenso die Handelswege des Bleis als nötiger Rohstoff auf den Saigerhütten ebenfalls nachvollzogen werden können, ist der Handel mit Zinn weniger detailliert aufgearbeitet.

Wie in Kapitel 4 Lagerstättenreviere aufgezeigt wird, sind die Vorkommen von Zinn in Europa mit frühneuzeitlicher Nutzung auf die beiden großen Gebiete: Cornwall/Devonshire und das böhmisch-sächsische Erzgebirge beschränkt. Ihr Handel ging von englischer Seite aus über London nach Flandern und weiter nach Köln (s.o.) bzw. von Flandern nach Venedig und vom Erzgebirge aus über die Messen in Frankfurt und Köln in den internationalen Handel ein (Stahl, 1991).

Probleme gibt es jedoch bei der Frage, welche Firmen in den Zinnhandel involviert waren, und in welchen Qualitäten das Zinn angeboten wurde. Stahl (1991) berichtet von verschiedenen Probezinnqualitäten auf der Frankfurter Messe, wobei hier das englische Zinn als jenes mit der höchsten Reinheit aufgeführt wird. Dagegen schreiben Knabe & Noli (2012), dass das englische Zinn mit Zink, Antimon und Wismut verunreinigt sei. Hier zeigt sich ähnlich dem Blei die große Unklarheit hinsichtlich der verfügbaren Qualitäten bzw. Sorten.

Von Pölnitz (1971) weist immer wieder auf die Verbindung der Fugger zu dem Zinnhändler Konrad Maier (Conrad Meyer) hin, der ab 1548 ständig versuchte über ein Kontrakt zwischen Sachsen und Böhmen ein Zinnmonopol im Erzgebirge zu erwirken. Bevor ihm dies ein Jahr später gelingt, hat wohl auch der bereits genannte Aachener Erasmus Schetz hier eine Rolle gespielt. Von Pölnitz (1971) weist darauf hin, dass im sonst so detaillierten Fuggerarchiv, der Handel mit Zinn nicht aufgeführt wird. Es scheint, als zögen die Fugger es vor, im Zinnhandel nur im Hintergrund zu agieren und Mittelsmänner für sie arbeiten zu lassen.

Nach Westermann (2013) kauften vor allem Nürnberger und Augsburger Patrizierfamilien das Zinn aus dem Erzgebirge. Der bereits oben genannte Jakob Welser gründete mit anderen Händlern eine Gesellschaft speziell für den erzgebirgischen Zinnkauf (von Hallerstein, 1975)

So bleibt festzuhalten, dass es im 16. Jahrhundert und darüber hinaus vor allem deutsche Kaufleute waren, die den Handel mit Metallen maßgeblich kontrollierten und als Lieferanten der Portugiesen, der Niederländer und später Briten fungierten, die wiederum die Metalle in den Überseehandel brachten.

2.3 Der Saigerhüttenprozess und die Arbeit auf der Schmelzhütte

Während Blei und Zinn relativ niedrige Schmelzpunkte (327° bzw. 231° C) haben, ist jener des Kupfers um ein vielfaches höher (1085°) (**Abb. 2.15**). Dies führte schon in der Frühzeit zu einer Entwicklung von verschiedenen Schmelztechnologien um das begehrte Material aus dem Erz gewinnen zu können. Die in dieser Arbeit untersuchten Metallbarren und Halbfabrikate aus Kupfer sind allesamt als Endprodukte komplexer hüttenmännischer Verfahren zu verstehen. Sie sind daher stark verarbeitete Produkte.

In diesem Zusammenhang wiesen Hauptmann et al. (2016) auf die sowohl chemisch als auch isotopisch hohe Homogenität der Fugger-Halbgossenkugeln der Bom Jesus hin. Die 60 untersuchten Kupferbarren erschienen derart homogen, als seien sie aus einer einzigen Charge gegossen. Dies ist kennzeichnend für eine Kupferproduktion auf (vor-)industriellem Maßstab.

Um derartige Kupferhalbfabrikate korrekt ansprechen und ihre chemisch-isotopische Zusammensetzung deuten zu können, ist es erforderlich die einzelnen Verarbeitungsschritte auf den Schmelzhütten nachzuvollziehen.

2.3.1 Die Verhüttung sulfidischer Kupfererze in der frühen Neuzeit

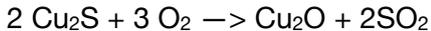
Es ist wichtig hervorzuheben, dass es sich bei den wirtschaftlich nutzbaren Kupfererzen jener Zeit zu einem Großteil um Primärerze gehandelt haben dürfte, da die oberflächennahen oxidischen Sekundärerze sehr wahrscheinlich zum Großteil bereits abgebaut worden waren. Diese Primärerze waren aufgrund ihrer sulfidischen Bestandteile jedoch deutlich schwieriger zu verarbeiten (Suhling, 1990). Schwefel als maßgebliche Verunreinigung beeinflusst die physikalischen Eigenschaften des Kupfers, macht es spröde und vermindert so seine Qualität (Gowland, 1914).

Dies wurde irgendwann von den Hüttenarbeitern erkannt. Larzarus Ercker schreibt z.B. dass man am Rammelsberg (bei Goslar, siehe Kapitel 4.1.1) das Erz brenne „wegen des groben Schwefels (...) etliche Wochen lang und stincket sehr nach Schwefel (Ercker, 1968; cf. Suhling, 1990) (**Abb. 2.11**).



Abb. 2.11 Das Rösten des Kupfers in einem offenen Ofen. Reisig (kleine Holzspate) und zerleinerte Kupferkuchen liegen vor dem Ofen. A) Kupferkuchen, B) Reisig, C) Ofen (Nach Agricola Hoover & Hoover, 1950).

Das „Brennen“ des Erzes (Rösten) hatte also zum Ziel den Schwefelgehalt zu verringern und ist nach Suhling (1990) eine einfache Oxidationsreaktion:



Dieser Vorgang wurde mehrfach wiederholt und wechselte sich mit wiederholten Schmelzoperationen ab. Agricola (1556) nennt in seinem achten Buch ein dreimaliges Rösten vor dem ersten Schmelzen und zählt insgesamt neun Röstvorgänge auf.

Hier muss darauf hingewiesen werden, dass es nach unterschiedlichen Darstellungsweisen der frühneuzeitlichen Autoren (Agricola, Ercker, Stöckl etc. siehe Suhling, 1976 zur Übersicht) keinen einheitlichen Ablauf bei der Verhüttung gab. Dies ist sowieso schon aufgrund der unterschiedlichen Erzgrundlagen anzunehmen, da z.B. der Mansfelder Kupferschiefer völlig anders behandelt werden musste, als die antimonreichen Fahlerze der Slowakei.

Suhling (1990) versucht die komplexe Gewinnung von Kupfer aus sulfidischen Kupfererzen, so wie sie bei Balthasar Röbler (1700) um 1700 beschrieben worden ist, unter dem Begriff „Deutscher Kupferprozess“ (s.a. Kirnbauer, 1966) zu skizzieren, kann jedoch auch nur ein Gerüst der charakteristischen, sich wiederholenden Röst- bzw. Schmelzvorgängen wiedergeben (**Abb. 2.12**) Hoover und Hoover (1950) geben bei ihrer Übersetzung von Georg Agricolas „De re metallica“ an, dass es unmöglich ist, den genauen Vorgang nachzuzeichnen.

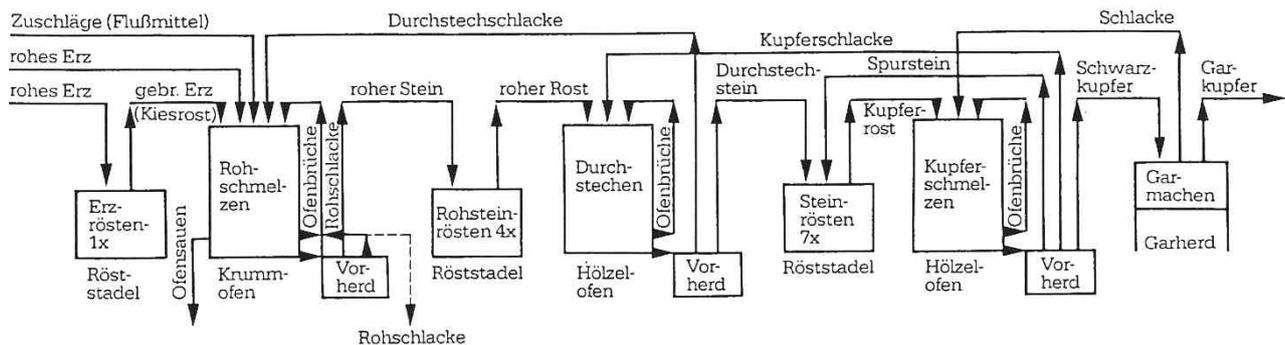


Abb. 2.12 Der „Deutsche Kupferprozess“ stellt eine Reihe sich wiederholender Röst und Schmelzvorgänge in verschiedenen Öfen dar. Die Pfeile zeigen, dass das Kupfer und die Schlacke immer wieder erneut dem Prozess zugeführt worden sind, bis am Ende das sog. Schwarzkupfer mit 95% Kupfergehalt erzielt worden ist. Dieses wurde danach auf dem Garherd zu Garkupfer weiter verarbeitet (Nach Suhling, 1990).

Am Ende der Röst- und Schmelzoperationen entstand eine raffinierte Schmelze, die nun 95% Kupfer enthalten sollte (sog. *Schwarzkupfer*, Tylecote, 1976). Dieses Schwarzkupfer wurde in einem Garherd, einem halbhohen Arbeitsherd wo wahlweise in oxidierender oder reduzierender Atmosphäre gearbeitet werden konnte, zu *Garkupfer* verarbeitet.

Auf die im Garherd entstehende Schmelze wurde oberflächlich Wasser gesprüht. Nach Erkalten der oberen Schicht der Schmelze wurde diese herausgerissen und der Vorgang wiederholt. Dieser Vorgang, das sog. *Scheibenreißen* wird bei den verschiedenen historische Autoren (Agricola, 1556; Röbler, 1700; Zedler, 1742) in gleicher Weise beschrieben. Die fertigen Kupferbarren nannte man, nach dem Prozess ihrer Entstehung *Reißscheiben* (**Abb. 2.13**).

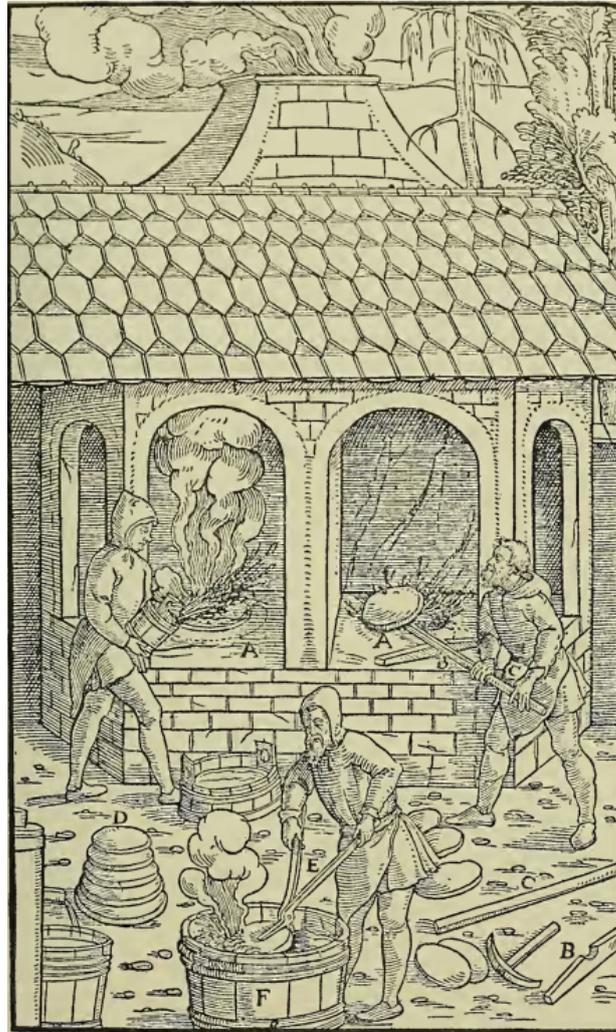


Abb. 2.13 Die Raffinerie des Garkupfers im offenen Flammherd/Garherd. Links im Bild schüttet die Person Wasser auf die Schmelze, rechts hebt eine andere die fertigen, erkalteten Kupferscheiben heraus. Dieser Prozess wird wiederholt, bis keine Schmelze mehr vorhanden ist. Dabei nehmen die entstanden „Reißscheiben“ im Durchmesser ab (vgl. D). Im Vordergrund werden die Scheiben im Wasserbad abgekühlt und aufgestapelt. A) Schmelztiegel B) Brett mit Kerbe C) Keilförmige Stange D) Kupferkuchen, die durch das rausreißen mit der Stange entstanden sind E) Zange F) Wasserbad (Nach Agricola, Hoover & Hoover, 1950).

Danach gingen sie entweder direkt in den Handel oder sie wurden, so Vlachovic (1977) im Hammerwerk abermals geschmolzen, raffiniert und zu bestimmten Halbfabrikaten wie sie z.B. aus dem Fundkontext der Bom Jesus bekannt sind (Halbgossenkugeln) weiter verarbeitet.

Unklar bleibt hier, inwiefern die bei Vlachovic (1977) genannten Kupfersorten wie z.B. Vierkantkupfer oder Halbgossenkugeln für bestimmte Verwendungszwecke aufbereitet worden sind, oder ob das im Hammerwerk gereinigte Material mit ein und derselben Zusammensetzung, in verschiedene Formen gegossen und gehämmert worden ist.

2.3.2 Der Saigerhüttenprozess

Verkompliziert wird der oben genannte Ablauf jedoch durch den Umstand der Einführung eines speziellen technischen Prozesses zur Gewinnung von Silber aus silberführenden Kupfererzen mittels Verbleien.

Der sog. Seiger- oder Saigerprozess gilt sowohl technisch als auch wirtschaftlich als bedeutende Innovation der Frühneuzeit. Nach Smith (1961) und Suhling (1976) war der Saigerprozess das „herausragendste Ereignis, die bedeutendste technologische und folgenreichste montanwirtschaftliche Neuerung im Bereich der Nichteisentechnologie seit der Erfindung der Messingherstellung in der Antike“.

Während der Verbrauch und somit die Nachfrage nach Silber (v.a. als Münzmetall) im ausgehenden Mittelalter weiterhin hoch blieb, waren die traditionellen Silberlagerstätten (Bsp. Erzgebirge) Zentraleuropas langsam erschöpft (Kraschewski, 2012). Silber konnte nur noch in Verbindung mit Kupfererzen gewonnen werden, wo der Anteil an Silber jedoch gering war. In Mitteleuropa waren all jene Kupfererze verwertbar, deren Silberanteil über 0,25% betrug (Suhling, 1990).

Es musste ein Prozess entwickelt werden, um das Silber aus diesen im Vergleich eher silberarmen Kupfererzen gewinnen zu können. Im Vergleich zur Kupellation, die nach Suhling (1976) schlicht auf einer Oxidation unedler Bestandteile (im Falle der Silbergewinnung aus Bleierzen also der Oxidation des Bleies) beruhte, war dieser Prozess sowohl in seiner chemisch-physikalischen Wirkungsweise, als auch in seiner hüttenmännischen Durchführung, weitaus zeitintensiver und komplexer.

2.3.2.1 Chemisch-physikalischer Hintergrund

Der Saigerprozess beruht nach Suhling (1976) im Wesentlichen auf einem dreistufigen Vorgang der in **Abb. 2.14** dargestellt ist. Suhling betont, dass die Wirksamkeit dieses Prozesses maßgeblich von der Umkristallisation des Kupfers im Blei, welches als Lösungsmittel fungiert, und der thermischen Abtrennung der entstehenden Silber-Bleilegierung abhängt. Er setzt sich somit schon allein dadurch definitorisch von Begriffen wie „liquation“ ab, dessen häufig irreführende Mehrdeutigkeit bei Suhling (1976) kritisiert wird. „Liquation“ bezeichne, so Suhling, eher allgemein das Verfahren zum Abtrennen von Edelmetallen aus gold- und silberhaltigen Erzen (zur Diskussion des Begriffs „liquation“, siehe auch: Kraschewski, 2012).

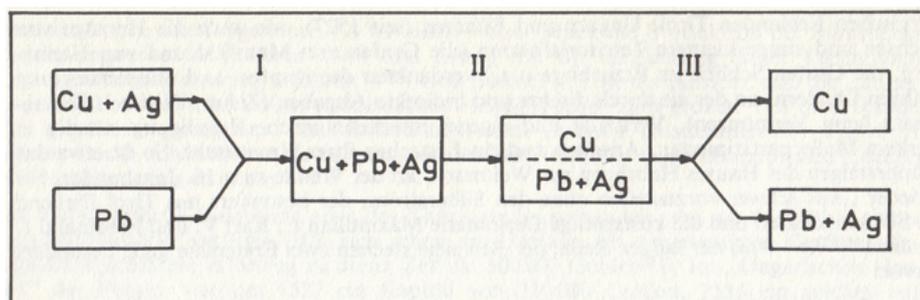


Abb. 2.14 Der Saigerhüttenprozess aus verfahrenstechnischer Sicht. Bei I werden silberhaltiges Kupfer und Blei vermischt. Bei II kristallisiert aus der Schmelze zunächst das Kupfer aus, in dessen Gerüst sich eine Schmelze aus Blei und Silber befindet. Das Silber ist aus dem Kupfer in das Blei gewandert. Bei III wird nun diese Blei-Silber Mischung unter niedrigen Temperaturen aus dem Kupfer „gesaigert“ (Nach Suhling, 1976).

In der Theorie wirken nach Suhling (1976) folgende physikalisch-chemische Prozesse:

Bei Punkt I in **Abb. 2.14** wird das silberhaltige Kupfer mit einer größeren Menge Blei gemischt. Wie groß das Verhältnis von Blei zu Kupfer sein musste um möglichst effektiv zu arbeiten, unterlag strenger Geheimhaltung. Suhling, der das Schrifttum der frühen Neuzeit studiert hat, gibt häufig den Wert 3 Teile Blei zu 1 Teil Kupfer an, z.T. aber auch erheblich mehr. Verschiedene historische Autoren geben den Wert 10:3 oder 11:3 an und dieses Verhältnis ist auch im experimentellen Versuch benutzt worden (L'Héritier & Téreygeol, 2010).

Aus dem Zustandsdiagramm in **Abb. 2.15** wird ersichtlich, dass bei Temperaturen unter 990 Grad zwischen 36 und 87 Gew.% Blei eine Mischungslücke existiert, darüber entsteht eine monodisperse Mischung.

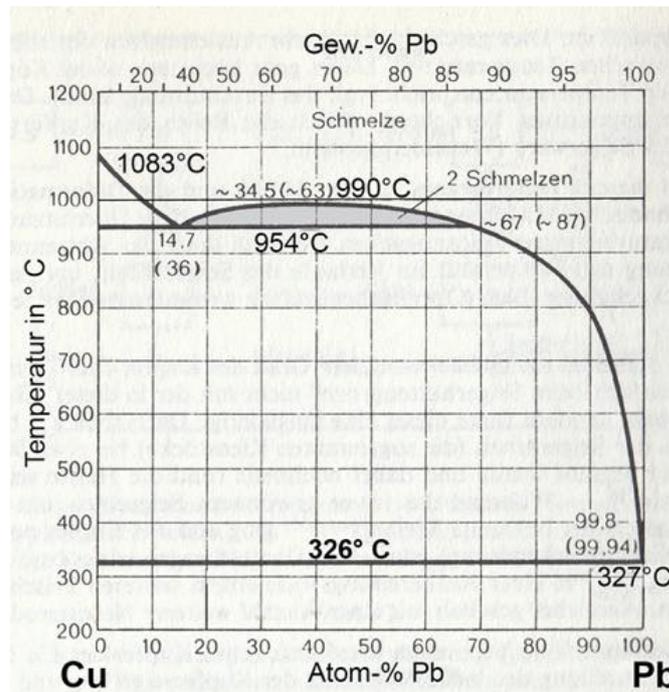


Abb. 2.15 Kupfer-Blei Zustandsdiagramm. Der Schmelzpunkt reinen Kupfers (1083° C) wird mit steigendem Bleianteil herabgesetzt. Zwischen einem Bleigehalt von 36-87 Gew.-% Blei existiert zwischen 954 und 990° C eine Mischungslücke (grau eingefärbt). Bei Abkühlung kristallisiert zunächst das Kupfergerüst aus, während die Schmelze nach der obigen Erstarrungskurve im Bleigehalt (welcher das Silber trägt) zunimmt. Beim Unterschreiten der eutektischen Temperatur (326°C) ist eine Blei-Silber-Mischung entstanden. Im eigentlichen Schritt des Saigerverfahrens wird diese nun oberhalb der eutektischen Temperatur „ausgesaigert“ (Suhling, 1976) (Verändert nach Deutsches Kupferinstitut, 1965).

Bei Punkt II kristallisiert beim Abkühlen, aufgrund dessen hoher Schmelztemperatur, zunächst ein Kupfergerüst aus. Die übrige Schmelze nimmt analog dazu, stetig an Blei-Silbergehalt zu. Bei einer Unterschreitung von 326° (eutektische Temperatur) erstarrt die Blei-Silbermischung vollends, wobei deren Gehalt maßgeblich von der Geschwindigkeit der Abkühlung abhängig ist.

Zu Punkt III merkt Suhling an, dass hier die eigentliche „Seigerarbeit“ beginne, indem oberhalb der eutektischen Temperatur die Silber-Bleilegierung ausgeschmolzen wird. Das Kupferskelett bleibt, wie in **Abb. 2.15** ersichtlich, entsprechend der Temperatur in einem brüchig-pastösen Zustand zurück.

So sind die Zwischenprodukte des Saigerhüttenprozesses, das entsilberte, bleihaltige Kupfer auf der einen und das silberhaltige Blei auf der anderen Seite. Beide Produkte mussten weiter aufgearbeitet werden. Das Blei wurde mithilfe der Kupellation vom Silber abgetrennt während der Bleigehalt des Kupfers durch Glühen bei 900° weiter verringert wurde. Danach ging das Kupfer in die oben beschriebenen Garöfen (**Abb. 2.13**).

2.3.2.2 Die Arbeitsabläufe auf der Saigerhütte

In der Praxis, auf der Saigerhütte, lief der Prozess wie folgt ab (nach Agricola, 1556, Suhling, 1976):

I Vorbereitung: Zunächst wurde das angelieferte Blei, welches in großen Blöcken kam, eingeschmolzen und portionsweise in Kupferpfannen umgeschmolzen. Auch die Schwarzkupferscheiben (s.o. Kap. 2.3.1) wurden zerkleinert, um sie in das richtige Verhältnis zum Blei setzen zu können, wie Suhling (1976) vermutet.

II *Spleißen*: Wenn der Silbergehalt des Schwarzkupfers gering ist, d.h. unter 0,22% Silber enthält, musste das Kupfer zunächst einem Konzentrationsschmelzverfahren unterzogen werden, damit es überhaupt gesaigert werden konnte. Suhling (1976) übersetzt Agricolas (1556) Angabe jenes zu spleißenden Kupfers mit geringer Silbermenge mit 0,16-0,22% Silber.

Das Spleißen erfolgte meist in speziell dafür vorgesehenen Hütten (Spleißhütten) die typisch für das Neusohler Bergbaurevier waren und z.B. in Mostenica (siehe **Abb. 2.6**) nachgewiesen sind (Vlachovic, 1977). Bingener et al. (2012) gehen sogar soweit, zu behaupten, dass ein Großteil des Gewinns der Thurzo-Fugger Unternehmungen in Neusohl auf der Kombination von Spleißen und Saigern zurückzuführen sei.

Beim Spleißen wurde in einem Windofen durch oxidierendes Schmelzen zwei Sorten Kupfer gewonnen: ein silberreiches *Bodenkupfer* und ein silberarmes Kopfprodukt (Kraschewski, 2012).

III *Frischen* (**Abb. 2.16**) Schichtweise wird das zerkleinerte Schwarzkupfer in den bereits angewärmten Ofen gegeben, erst am Ende kommt das Blei hinzu. Dieser Vorgang wird wiederholt bis der Ofen gefüllt ist. Unten fließt die Kupfer-Blei(-Silber) Legierung in einen Vorherd, aus dem sie in eine Kupferpfanne geschöpft wird. Diese fertigen flachen Kuchen werden *Frischstücke* genannt.



Abb. 2.16 Das Legieren des Kupfers mit Blei („Frischen“) im Schmelzofen. Der Ofen links ist dabei für das Schwarzkupfer, der Ofen rechts für Schlacken gedacht. Im Vordergrund rechts wird die Schmelze aus dem Vorherd des Ofens (D) in eine kupferne Form (E) gefüllt. Hier entstehen die sog. Frischstücke, eine Kupfer-Blei-Silber Legierung (Nach Agricola, 1556).

IV Saigern (**Abb. 2.17**) In bzw. auf einem speziellen Ofen, dem *Saigerherd*, werden die Frischstücke in einer Reihe aufgelegt. Agricola (1556) beschreibt detailliert die Abmessungen dieses speziellen Ofens, dessen offene flache Struktur speziell für niedrigere Schmelztemperaturen ausgelegt ist. Eine Rinne, die *Saigergasse*, die sich zwischen den Ofensteinen befindet ermöglicht das Abfließen der Silber-Blei Legierung, das *Saigerblei* oder *Werkblei*. Zurück bleiben die entsilberten, mürben Kupferstücke, die sog. *Kienstöcke*.

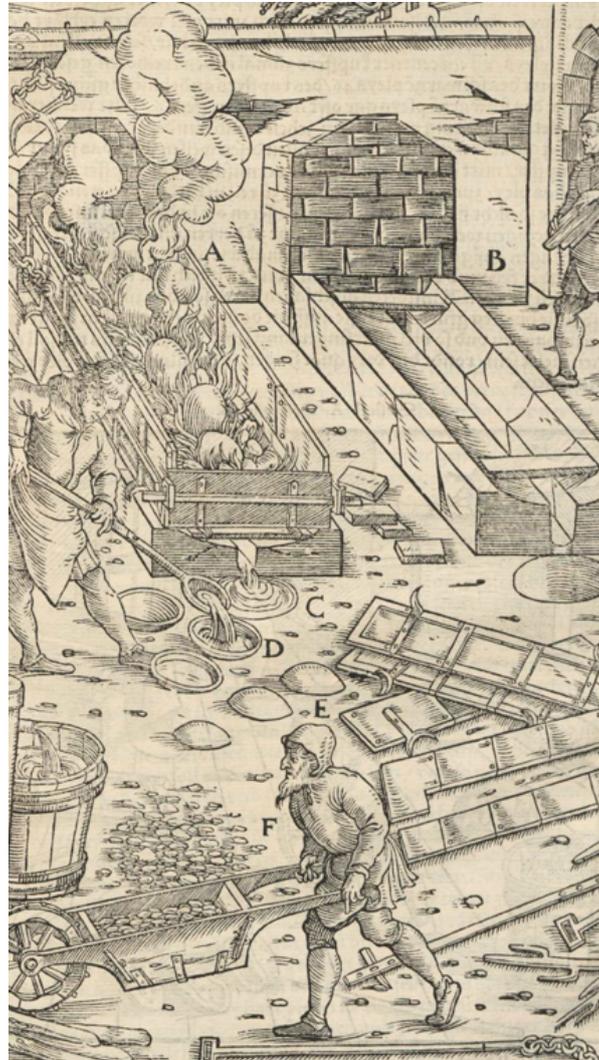


Abb. 2.17 Der Saigerherd. Links bei A) in Gebrauch und rechts (B) im unbefüllten Zustand. Die Frischstücke liegen bei A) aneinandergereiht im Feuer. Bei C) fließt das Saigerblei heraus und wird in geeignete Formen (D) gegossen. Bei B) wird sehr schön die Saigergasse deutlich. Im Gegensatz zu den Öfen in **Abb. 2.16** dürfte hier eine entsprechend niedrigere Temperatur vorgeherrscht haben, was ideal für das Aussaigern der Silber-Bleimischung ist (Nach Agricola, 1556).

V Kupellation (**Abb. 2.18**) Das Saigerblei wird nun auf dem Treibherd partiell oxidiert und die entstehende aufschwimmende Bleiglätte ständig abgeschöpft. Dies wird solange praktiziert bis nur das Silber zurückbleibt (*Silberblick*).

In experimentellen Versuchen (L'Héritier & Téreygeol, 2010) ist gezeigt worden, dass das Saigerblei einige Gew.-% Kupfer enthalten kann. Dieses kann auch bei der Treibarbeit nicht entfernt werden. Dieser Umstand und zusätzlich der Bleiverlust bei den Schmelzarbeiten erforderte eine ständige, gleichbleibende Versorgung der Saigerhütten mit neuem Blei.



Abb. 2.18 Die Gewinnung von Silber aus dem Saigerblei auf dem Treibherd (A). Durch partielle Oxidation schwimmt die Bleiglätte (C) auf und wird ständig abgeschöpft. Am Boden des Treibherds lagert sich das Silber ab, der sog. Silberblick (Nach Agricola, 1556).

VI Darren: Die Kienstöcke können nicht ohne weiteres zu Garkupfer verarbeitet werden, da sie noch über große Mengen Blei und andere Verunreinigungen verfügen. Es ist daher erforderlich die Kienstöcke in einem speziellen Ofen (Kupolofen) zu glühen, damit das Blei ablaufen kann. Diese Blei und Kupferoxide enthaltene Substanz wird *Darrost* auch *Darrkrätze* genannt. Sie wird wiederum zurück in den Saigerprozess überführt.

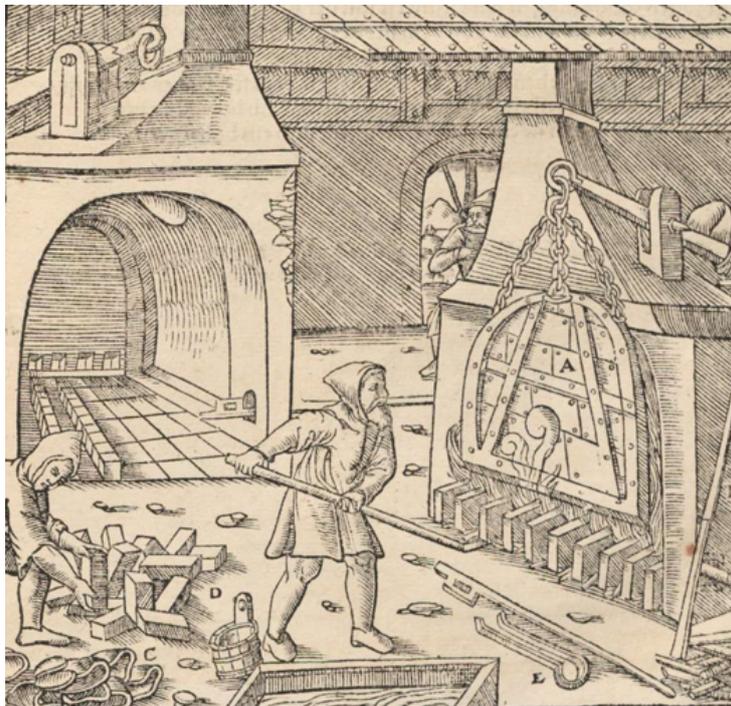


Abb. 2.19 Das Darren der Kienstöcke (C) im Darrofen (A). Die Kienstöcke repräsentieren das ausgesaigerte Kupfer, dessen Bleigehalt im Darrofen weiter verringert wird (Nach Agricola, 1556).

Die geglühten, also gereinigten Kupferskelette werden als *Darrlinge* bezeichnet. Sie werden nun wie das oben beschriebene silberarme Kupfer, in einem *Garherd* zu Garkupfer verarbeitet (s.o. **Abb. 2.13**).

Hauptmann et al. (2016) fanden in den Halbgossenkugeln der Bom Jesus, die womöglich aus dem Saigerprozess stammen, noch Bleigehalte über 1 Gew. %. (1,24 Gew.% im Mittel). Womit das Saigerkupfer (*Seygkupfer*) (Kraschewski, 2012) eine bessere Fließfähigkeit gehabt haben dürfte als ungesaigertes Schwarzkupfer.

Die hier beschriebenen Abläufe beschreiben nur die wichtigsten Stationen beim Saigerhüttenprozess. Die eigentlichen Abläufe beinhalteten die immer wieder in den Prozess zurückgeführten Beiprodukte wie z.B. Schlacken oder die Bleiglätte. Da jedoch nicht klar ist, inwiefern von einzelnen Stationen bzw. Operationen nur regional gebrauch gemacht wurde, wird sich hier auf die wesentlichen beschriebenen Stationen beschränkt.

2.3.2.3 Theorien zu den Ursprüngen

Die Ursprünge des Saigerprozesses liegen im Dunkeln. Hauptmann et al. (2016) weisen darauf hin, dass solche technisch-komplexen Innovationen keine plötzlichen Erfindungen sind, sondern auf einer langen Entwicklungskette beruhen. Gerade das führt dazu, dass schwer fassbar ist, wann genau das erste Silber aus dem Schwarzkupfer gesaigert worden ist.

Gurlt (1879) glaubte, dass die Saigerung eine Erfindung der Araber im 8.Jh. sei und deutet auf die arabischen Schlackenhalde bei Rio Tinto (Spanien). Suhling (1976), nach Skladany (2000) der immer noch beste Kenner des Saigerhüttenprozesses verweist diese und andere Hinweise zur Existenz einer Kupfersaigerung vor dem 15. Jh. in das Reich der Fantasie.

Bei Kirnbauer (1941) findet sich die Behauptung, dass das Saigerverfahren bereits im 12. Jahrhundert in Venedig praktiziert worden sei. Venedig als Ursprungsort des Verfahrens anzusehen, wird seit langer Zeit kontrovers diskutiert (Paulinyi, 1933; Suhling, 1976; von Stromer, 1995; Skladany, 2000; Stefanik, 2004).

Maßgeblich beruht diese Kontroverse auf der Deutung des Begriffs *affinatura*. Nach Paulinyi (1933) beschreibt dieser Vorgang nichts anderes als die Trennung des Silbers vom Kupfer. Nach Reß (1959) war Venedig gerade aufgrund des Silbergehaltes der Neusohler Erze an jenen interessiert. Suhling (1976) fasst zusammen, dass nicht klar ist, was unter dem Begriff *affinatura* zu verstehen ist, und das dieser ebenso eine Kupferraffinerie bedeuten könne, als eine Abtrennung von Edelmetallen. Ähnlicher Meinung ist auch von Stromer (1995), der das Interesse Venedigs am Neusohler Kupfer im Monopolbestreben des Kupferhandels der Lagunenstadt sieht. Nach von Stromer sind die Anfänge der Saigerhüttentechnik eher im Karpatenraum zu suchen (von Stromer, 1970). Zuletzt wies Stefanik (2017) darauf hin, dass die venezianischen Senatsprotokolle keinerlei Kenntnis des Saigerverfahrens im mittelalterlichen Venedig erkennen liessen.

1442 taucht auf dem Goslarer Markt ein Kupferprodukt mit dem Namen „Seygkopper“ auf, dabei handelte es sich um ein leicht fließendes Kupfer mit höherem Bleigehalt, das besonders für Gußzwecke geeignet war (Kraschewski, 2012). Auch hier stellt Suhling (1976) jedoch in Frage, in wie weit dieses mit Kupfer aus dem Saigerverfahren vergleichbar ist, da sich ein solches Kupfer durch einfaches zulegieren von Blei einfach herstellen lassen.

Häufig wird bei der Frage nach den Anfängen des Saigerverfahrens jene Schmelzhütte genannt, die ab 1419 vor dem Frauentor bei Nürnberg nachgewiesen ist (Sander, 1902; Möllenberg, 1915; Westermann, 1971). Suhling (1976) stellt jedoch in Frage, ob es sich dabei tatsächlich um eine Saigerhütte gehandelt hat. Dass Nürnberg in der Folgezeit (ab 1450) der Ursprungsort der sich in Thüringen und im Karpatenraum verbreitenden Saigertechnik war, scheint jedoch für Suhling

festzustehen. Somit weisen die fundiertesten Hinweise auf Nürnberg als Ursprungsort der Technik hin.

Die Saigerhütten konzentrierten die Ströme von Blei, und die des Rohkupfers an ihren Standorten. Sie bestimmten damit maßgeblich die innereuropäischen Kupfer und Bleitransporte und sind daher nicht nur technologisch, sondern auch für das Nachzeichnen von Handelsrouten relevant.

Im Falle der Hütte Hohenkirchen (**Abb. 2.6**) wurde das Kupfer aus dem über 800km entfernten Neusohl über den Landweg bezogen (s.o. Kapitel 2.2). Ein beträchtlicher Aufwand, der nur durch die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung des Silbers aus dem Kupfer lohnend war.

3 Die untersuchten Materialien: Die Fundkontexte der Barren und Metallhalbfabrikate

Der Großteil des in dieser Arbeit untersuchten Materials stammt von Schiffswracks, die auf der in Kapitel 2 aufgezeigten Nordroute (**Abb. 2.6**) verunglückt sind. Neben gesicherten Wrackfunden sind auch einzelne Lesefunde aufgenommen. Ebenso solche, deren Fundkontext unklar ist.

Es handelt sich bei dem untersuchten Material um Metallbarren aus Kupfer, Zinn, Blei und Messing, als auch um Halbfabrikate wie gehämmerte Platten oder Rundscheiben für die Herstellung von Tiefwaren (Schüsseln, Töpfe etc.) oder Stangen für z.B. den Drahtzug, als auch um Fertigwaren wie Armreife und armreifenförmiges Sklavengeld (sog. Manillen).

Alle Funde sind in Lagerhäusern, Museen oder privaten Einrichtungen untergebracht und wurden an den jeweiligen Orten beprobt. Sieben Objekte wurden im Labor des Deutschen Bergbaumuseums selbst beprobt.

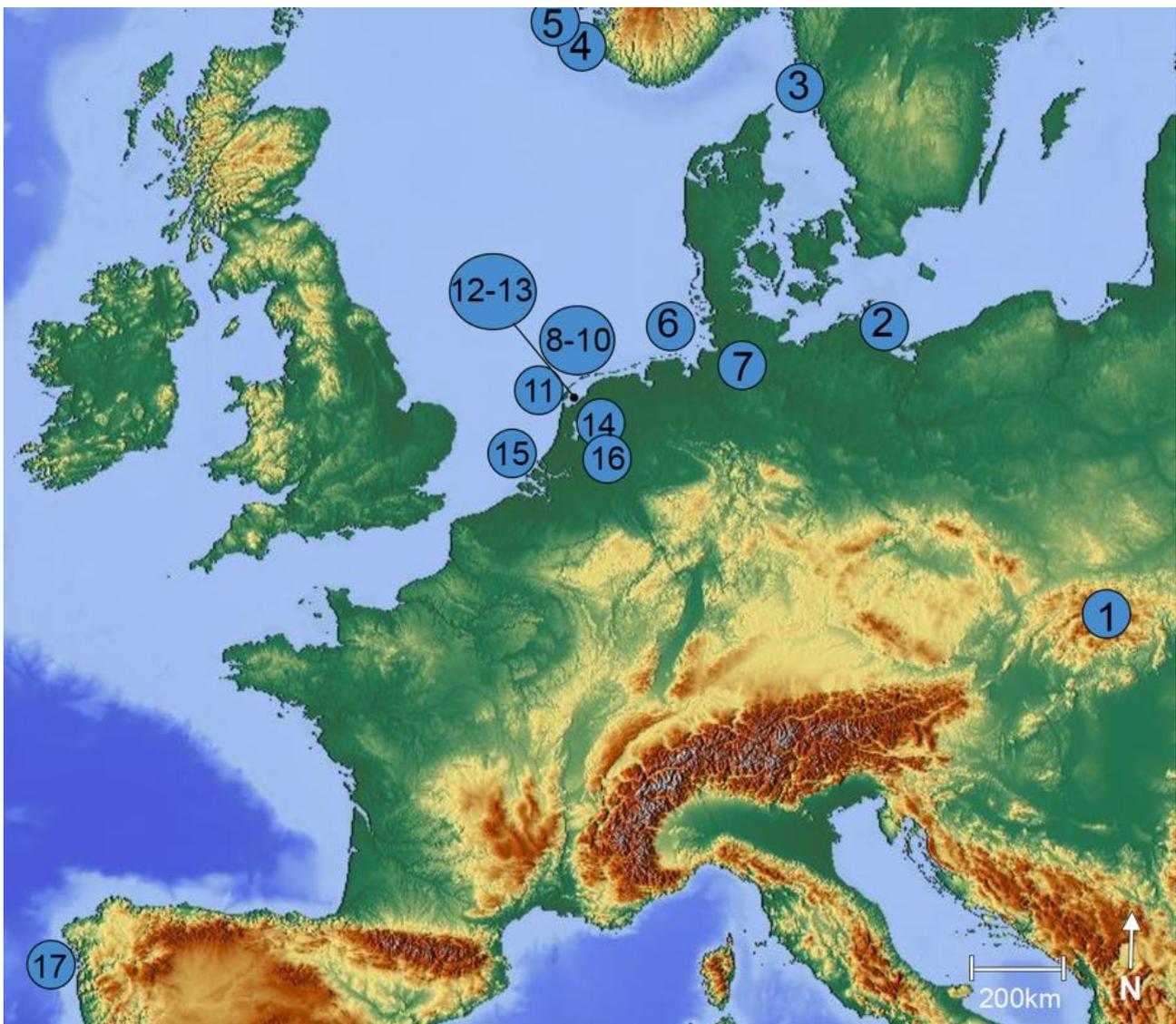


Abb. 3.1 Die Fundorte des behandelten Materials. 1 Spania Dolina, 2 Mönchgut_92, 3 Skaftö, 4 Obrestad, 5 Tjør Archipel, 6 Helgoland, 7 Elbe bei Wittenbergen, 8-10 Terschelling (3 versch. Schiffswracks), 11 Texel, 12 Burgzand II, 13 Burgzand VIII, 14 Flevoland, 15 Oostvoorne, 16 Amersfoort, 17 Vigo. Fortsetzung in **Abb. 3.2**.

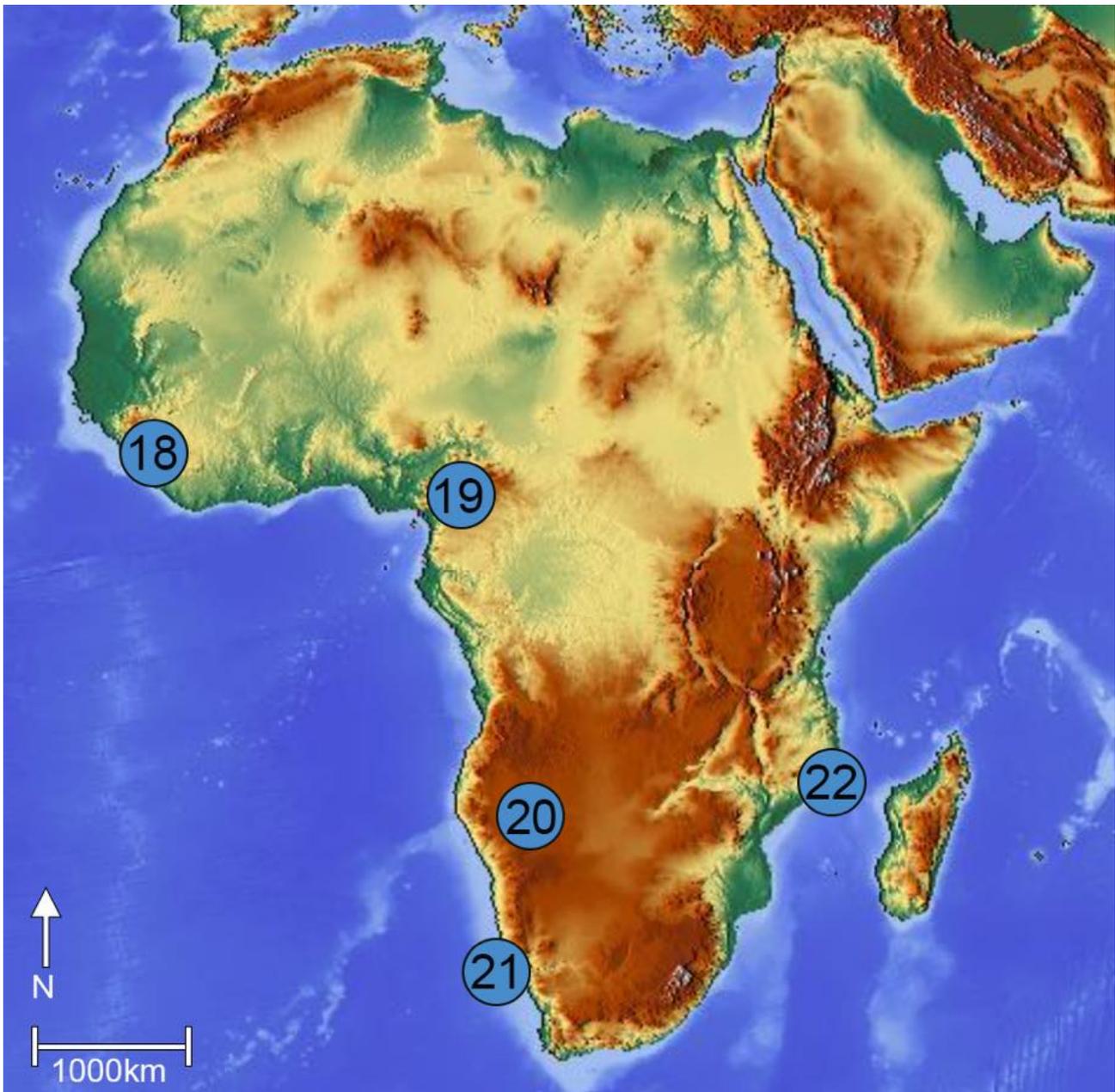


Abb. 3.2 Fortsetzung von **Abb. 3.1** Fundorte des behandelten Materials. 18 Sierra Leone, 19 Kamerun, 20 Ovamboland, 21 Oranjemund, Namibia 22 Caldeira, Mozambique.

Die Schiffswracks hatten unterschiedliche Metalle geladen. Viele Schiffswracks transportierten ausschliesslich Kupfer, andere nur Blei, wiederum andere eine Kombination verschiedener Metalle. Das für diese Arbeit relevante Cargo der untersuchten Schiffswracks ist in Tab. 3.1 aufgelistet.

Vergleiche dazu auch den Fundkatalog (Kap. 10) mit Bildern aller beprobten Objekte und der beigefügten Auflistung aller genommenen Maße und Gewichte.

Das Fundmaterial			Anzahl genommener Proben															
No.	Lokalität	Datierung (AD)	Funde	Fundkontext	RS	VKK	HGK	RuS	ZiB	KB	MS	MR	MB	MT	ZB	BB	MA	ARM
1	Spania Dolina (SVK)	16. Jh.?	Bleibarren, Messingbarren	Lesefunde aus der Umgebung									1			11		
2	Mönchgut 92, (D)	15 Jh.	Kupfer-Reißeischeiben	Schiffswrack	66													
3	Skaftó (SE)	ca. 1440	Kupfer-Reißeischeiben	Schiffswrack	9													
4	Obrestad (N)	unklar	Kupfer-Reißeischeiben	In Fischernetz verfangen	x													
5	Tjor Archipel (N)	unklar	Kupfer-Reißeischeiben	In Gesteinsklüften gelagert	x													
6	Heigoland (D)	1409?	Kupfer-Reißeischeiben	Vom Meeresboden vor der Insel	23													
7	Elbe (D)	Ende 16. Jh.	Kupfer-Reißeischeiben, Vierkantkupfer, Rundscheiben, Ziegelbarren	Schiffswrack	19	4		2	19									
8	Terschelling I (NL)	16. Jh.	Kupferbleche, Rundscheiben	Schiffswrack				1										
9	Terschelling II (NL)	Anfang 16. Jh.	Kupfer-Reißeischeiben, Vierkantkupfer, Rundscheiben, Halbgossenkugeln	Aus einem 2km ² -Seegebiet	3	19	9	1										
10	Terschelling III (NL)	Ende 17.-Anfang 18. Jh.	Messingstangen, Messingtöpfe	Schiffswrack							11			5				
11	Texel (NL)	ca. 1635	Zinnbarren, Bleibarren	Schiffswrack								3			28	6		
12	Burgzand II (NL)	Mitte 17. Jh.	Messingrollen, Bleibarren	Schiffswrack														
13	Burgzand VIII (NL)	Mitte 17. Jh. ?	Bleibarren	Von Tauchclub geborgen														
14	Flevoiland (NL)	Anfang 16. Jh.	Bleibarren	Schiffswrack												11		
15	Oostvoorne (NL)	ca. 1770	Bleibarren	unklar												1		
16	Amersfoort (NL)	unklar	Bleibarren	unklar												6		
17	Vigo (E)	16. Jh. ?	Manillen	unklar													11	
18	Sierra Leone	unklar	Manillen	Fund durch Fischer														
19	Kamerun	unklar	Messingstangen in Spiralförmigkeit	Eigentum von Privatsammler													2	
20	Ovamboland (NAM)	unklar	Armreife aus Kupfer	Eigentum von Privatsammler							2							
21	Oranienmund (NAM)	1533	Kupferhalbgossenkugeln, Zinnbarren, Bleibarren	Eigentum von Privatsammler			*								26	11		3
22	Caldeira (MOZ)	16. Jh.	Halbgossenkugeln, Bleibarren	Schiffswrack			1											
				Schiffswrack	120	23	10	4	19	0	13	3	1	5	54	48	13	3
				Gesamt														

Tab. 3.1 Auflistung des behandelten Fundmaterials mit Angaben zur Fundlokalität, Datierung und Kontext. Die Nummern in der ersten Spalte (No.) entsprechen jenen in **Abb. 3.1** und **Abb. 3.2**. Die Abkürzungen bei den genommenen Proben bezeichnen die Art der Halbfabrikate: RS = Reißeischeiben, VKK = Vierkantkupfer, HGK = Halbgossenkugeln, RuS = Rundscheiben, ZiB = Ziegelbarren, KB = Kupferblech, MS = Messingstangen, MR = Messingrollen, MB = Messingbarren, MT = Messingtöpfe, ZB = Zinnbarren, BB = Bleibarren, MA = Manillen, ARM = Armreife. Die mit x gekennzeichneten Lokalitäten konnten aufgrund der Corona Pandemie nicht beprobt werden. Die mit * gekennzeichneten HGK wurden von Hauptmann et al. (2016) bereits untersucht.

3.1 Spania Dolina

Vgl. Katalog Kap. 10.4.1

Im Juni 2019 wurden im Museum der ehemaligen Siedlung „Herrengrund“ (heute: Spania Dolina) unter der Aufsicht des Museumsdirektors Josef Sitar drei Bleibarren (4179_19, 4180_19 und 4181_19) und ein Messingbarren (4182_19) beprobt.

Die Bleibarren sind im Vergleich zu anderen Funden eher klein und scheibenförmig. Zwei Exemplare (4179_19 und 4180_19) sind zueinander formgleich und haben einen Durchmesser von 22cm. Zusätzlich ist ein Viertelfragment eines Bleibarren beprobt worden (4181_19), welcher ursprünglich etwas größer gewesen sein muss, jedoch im Prinzip eine ähnliche Form gehabt haben dürfte.

Die Bleibarren sind nach Angabe Josef Sitars auf dem Weg zwischen dem Bleibergbaurevier bei Olkusz in Oberschlesien (siehe Kap. 4.4) und Spania Dolina gefunden worden. Es handelt sich möglicherweise um verlorenes Transportgut.

Der Messingbarren stammt aus dem in der Nähe gelegenen Dorf L'ubietova und soll dem Messingwerk der Firma Roth entstammen, welche dort zwischen 1663-1692 ansässig war.

Zusätzlich zu den genannten Objekten wurden in besagtem Museum bereits 2013 acht weitere Bleibarren (4513_13 - 4520_13) beprobt. Alle diese Barren stammen aus der näheren Umgebung von Spania Dolina: Ein Barren 4513_13 aus einem Bergwerksschacht in Spania Dolina selbst und der Rest von der besagten Straße zwischen dem Bleibergbaurevier und dem Bergwerkkomplex von Spania Dolina.

Diese acht Barren haben unterschiedliche Formen. Bis auf jenen aus dem Bergwerksschacht (4513_13), liegen die Barren blockförmig und unregelmässig geformt vor.



Abb. 3.3 Ein scheibenförmiger Bleibarren aus dem Museum von Spania Dolina. Die rechteckigen Löcher auf der Oberseite sind vermutlich durch das Herauslösen aus der Schmelzform mithilfe eines Stabes entstanden. Maßstab: 10cm.

3.2 Mönchgut 92

Vgl. Katalog Kap. 10.1.1

Im Gegensatz zu dem Großteil des in dieser Arbeit untersuchten Materials wurden die Reißscheiben aus dem Mönchgut-Wrack bereits in Rahmen einer Masterarbeit untersucht (Werson, 2015). Die chemischen- und bleiisotopischen Untersuchungen wurden im Deutschen Bergbau-Museum unter dem Zweitkorrektor dieser Arbeit, Michael Prange, vorgenommen. Dabei wurden alle verfügbaren 66 Kupfer-Reißscheiben analysiert. Eine Publikation der Daten hat nicht stattgefunden, daher werden die Scheiben hier mit aufgeführt.

Der Fundort mit dem Namen „Mönchgut_92“ liegt in der Ostsee, im sog. Greifswalder Bodden, der Meeröffnung zwischen Rügen im Norden und dem Festland im Süden (**Abb. 3.4**). Dort wurde, im Rahmen des Baus einer Gaspipeline ein Schiffswrack entdeckt und vom Landesamt für Kultur und Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern ausgegraben. Dabei wurden Teile der Schiffskonstruktion, Keramikscherben, Fässer mit Eisenrückständen und 66 Kupfer-Reißscheiben geborgen. Es handelte sich bei dem Schiff möglicherweise um ein größeres Handelsschiff für Langstrecken (Werson, 2015). Es ist unklar, inwiefern das geborgene Material die Vollständigkeit des Frachtguts widerspiegelt.

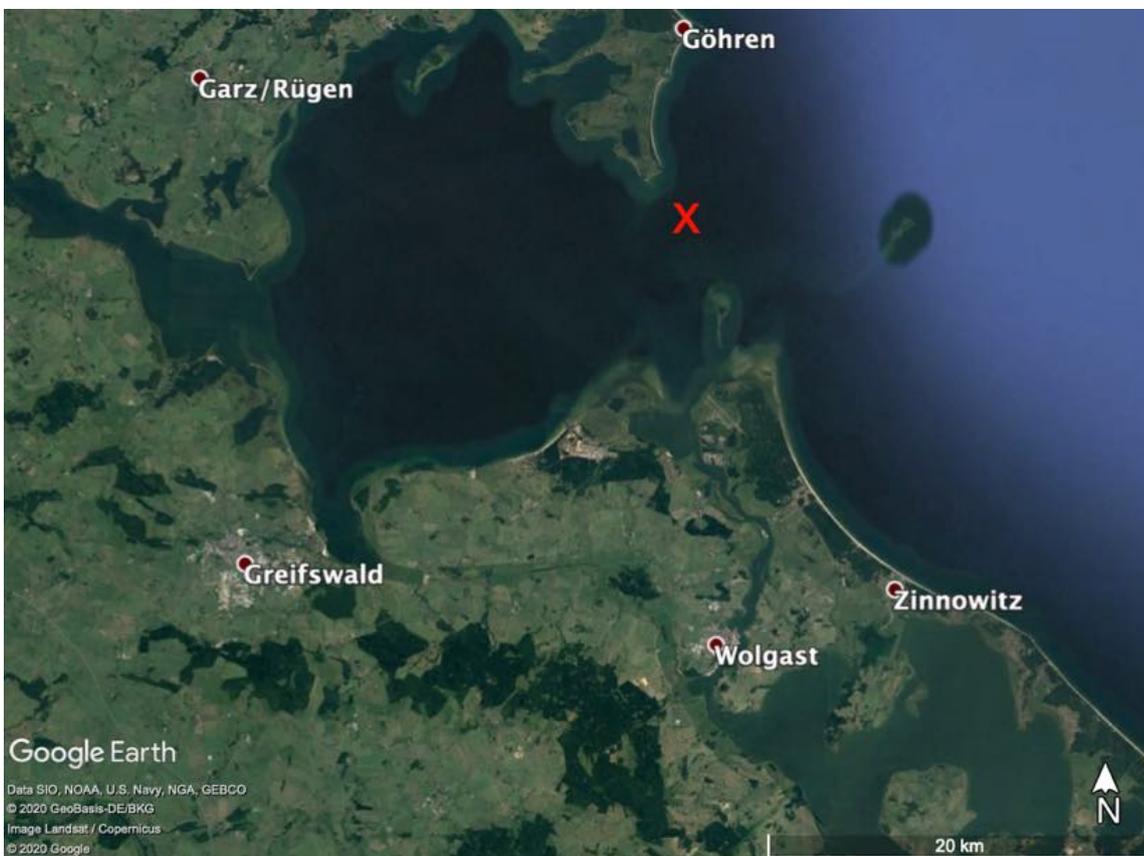


Abb. 3.4 Der Fundort des Schiffswracks „Mönchgut_92“ (rotes Kreuz) südlich der Insel Rügen und nördlich des Deutschen Festlandes im sog. Greifswalder Bodden. Google Earth.

Ebenso unklar ist die Datierung des Wracks. Zwar wurden Radiocarbon-Datierungen an den Schiffsplanken unternommen (Fälldatum: 1448-1449) doch weist Werson (2015) darauf hin, dass solche Art Schiffe viele Jahrzehnte hätten genutzt werden können und es gäbe deutliche Reparaturstellen am Schiff.

Die Mönchgut_92 Reißscheiben variieren stark in ihren Maßen. Der Großteil der Scheiben ist zwischen 30-40cm lang, wobei auch zwei 71cm lange Scheiben und eine 20cm lange Scheibe vertreten ist. Sie haben bis auf Ausnahmen eine ovale Form. Dementsprechend unterschiedlich sind ihre Gewichte. Diese bewegen sich zwischen 2,5 und 78kg. Die Stärke der Scheiben variiert zwischen 3 und 9cm liegt aber durchschnittlich bei 5-6cm (Werson, 2015).

18 Exemplare der Mönchgut-Scheiben weisen eine Reihe von Marken auf, die in das noch flüssige Metall gestempelt worden sind oder im Nachhinein eingeritzt wurden (**Abb. 3.5**). Werson (2015) konnte zu diesen runenartigen Marken keine Parallelen finden. Es ist unklar, ob es sich bei den Marken um Herstellerzeichen oder Eigentumsmarken handelt, die z.B. beim Kauf auf einem Marktplatz, hinzugefügt worden sind. Der Großteil der Scheiben ist ungestempelt.

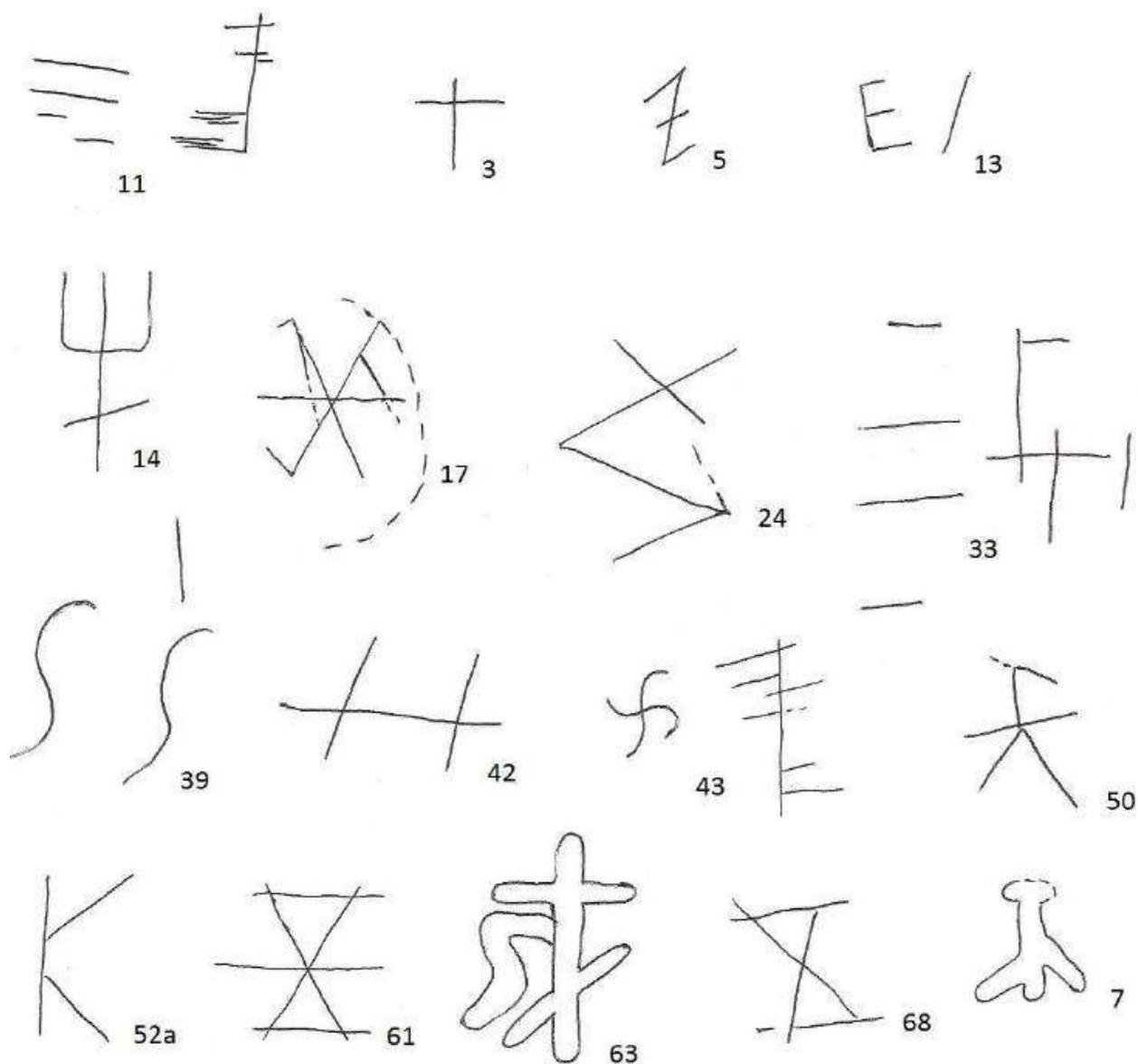


Abb. 3.5 Runenartige Zeichen auf den Mönchgut_92 Scheiben. Viele der Zeichen sind schlichte Linien und Kreuze, die auch im Nachhinein in das feste Kupfer geritzt worden sein könnten. Andere (z.B. 63, 7) scheinen eher Stempel darzustellen. Es bleibt offen, ob diese als Herstellerzeichen in das noch flüssige Metall gestempelt worden sind (nach Staude, 2011).

3.3 Skaftö

Vgl. Katalog Kap.10.1.2

Etwa 70km nordwestlich von Göteborg liegt die Insel Skaftö direkt vor der schwedischen Westküste (**Abb. 3.6**). 100m vor der Insel wurden 2003 von einem Sporttaucher in 6-8m Wassertiefe grünliche Metallscheiben entdeckt, die sich im Nachhinein als Kupferreißscheiben herausstellten (von Arbin, 2012).

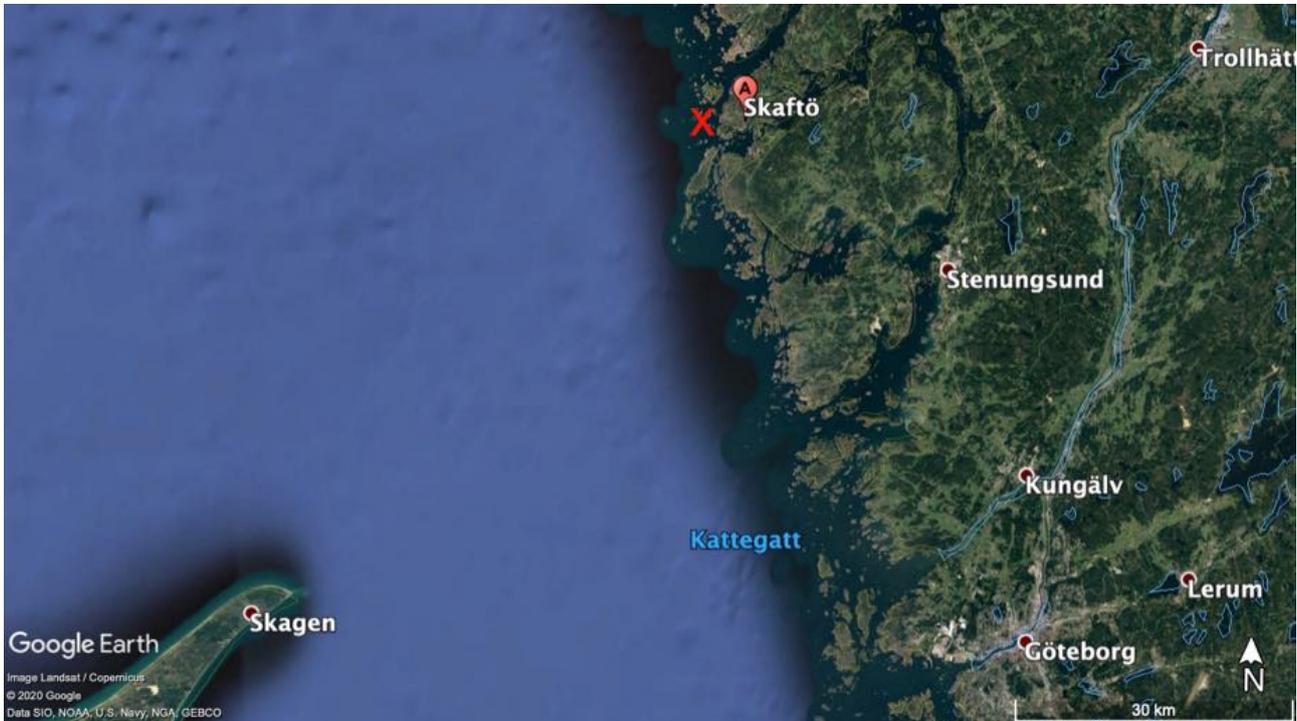


Abb. 3.6 Fundort der Reißscheiben vor der Insel Skaftö im Kattegat zwischen Dänemark und Schweden. Zur Orientierung ist die Stadt Göteborg unten rechts eingetragen (Google Earth).

Zwischen 2005 und 2009 wurde die Fracht des Wracks geborgen. Sie bestand neben den Reißscheiben außerdem aus weiteren Metallscheiben und Blöcken unbekannter Zusammensetzung und Fässern mit Kalk, Teer, Ziegeln und Fliesen (von Arbin, 2014). Dendrochronologische Untersuchungen der Schiffskonstruktion ergab, dass das Schiff womöglich in den 1430er Jahren aus Bäumen des heutigen Polen gefertigt worden ist (Linderson, 2004). Nach Meinung von Arbins (2012) war das Schiff vermutlich aus dem Baltikum aufgebrochen und hatte die mittelalterlichen Märkte in England, Holland oder Flandern als Ziel.

Die Menge an Kupfer-Reißscheiben, die das Schiff transportierte ist unklar, wird jedoch auf ca. 3t geschätzt (von Arbin, 2012). Nur neun Scheiben wurden geborgen, sie wurden in das Maritime Museum von Uddevalla gebracht. Sie stammen aus zwei unterschiedlichen Ausgrabungsbereichen, die möglicherweise verschiedene Lagerbereiche auf dem Schiff darstellen (von Arbin, 2014). Vier Scheiben (4187_19, 4189_19, 4190_19, 4191_19) stammen aus einer kleineren Reißscheibenanhäufung und fünf Scheiben (4185_19, 4186_19, 4188_19, 4192_19, 4193_19) aus einer größeren Anhäufung.

Die Skaftö Scheiben sind oval bis rundlich und erreichen eine Größe von bis zu 70x41cm und ein Gewicht von bis zu 56kg (**Abb. 3.7**). Die hier untersuchten Exemplare unterscheiden sich stark in ihren Größen und Gewichten (vgl. Fundkatalog). Auffällig ist die hohe Stärke der Skaftö Scheiben, die bis zu 7cm hoch aufgeworfene Ränder haben.



Abb. 3.7 Das größte geborgene Exemplar (70x41cm) der Skaftö-Reißscheiben bei der Beprobung im Maritimen Museum von Uddevalla. Beachte die hoch aufgeworfenen Ränder. Maßstab = 10cm

3.4 Obrestad bei Stavanger

Im Meer vor dem Hafen von Obrestad südlich von Stavanger (**Abb. 3.8**) haben sich über die letzten Jahre immer wieder Reißscheiben in Fischernetzen lokaler Fischer gefangen (pers. Mitteilung Arild Skaeveland Vivas, Maritimes Museum Stavanger). Die genaue Lokalisierung ist unklar. Die Reißscheiben befinden sich im Maritimen Museum von Stavanger.

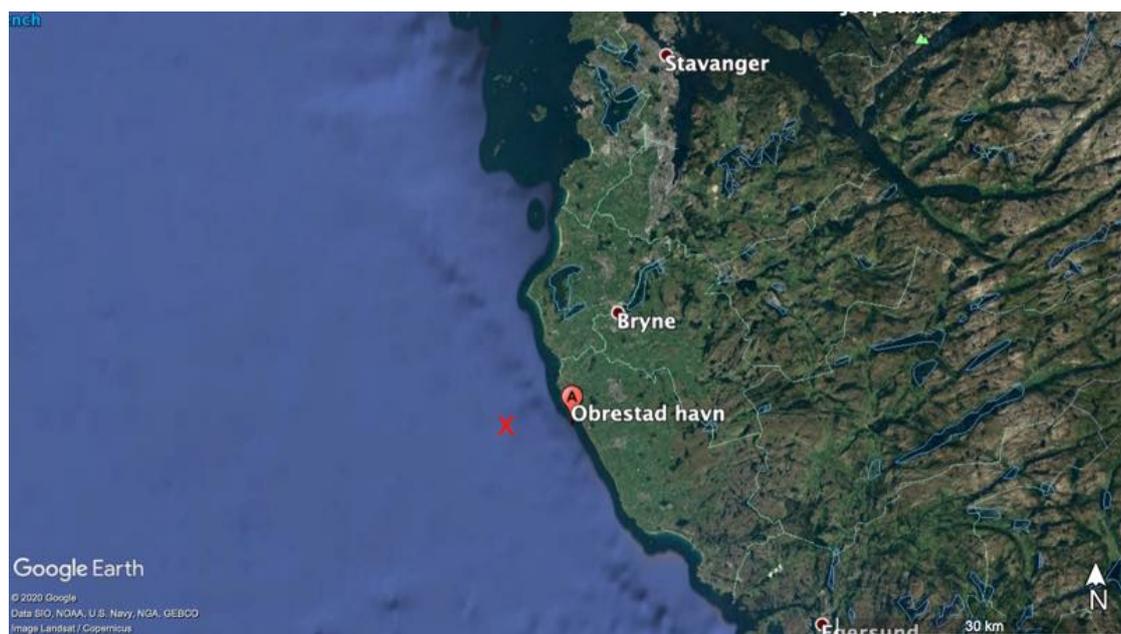


Abb. 3.8 Fundort der Reißscheiben östlich des Hafens von Obrestad. Das Kreuz markiert die ungefähre Stelle wo sich die Reißscheiben in einem Fischernetz gefangen haben. Zur Orientierung ist der Ort Stavanger eingetragen (Google Earth).

Bei den Exemplaren handelt es sich um größere kreisförmige Reißscheiben die einen Durchmesser von 40-75cm erreichen. Es ist geplant hier weitere Proben zu nehmen, dies war jedoch zur Zeit der Covid-19 Pandemie nicht möglich.



Abb. 3.9 Reißscheibe von Obrestad mit ca. 75cm Durchmesser im Museum von Stavanger.

3.5 Tjør Archipel vor Stavanger

In der Nähe der Tjør Inseln vor Stavanger (**Abb. 3.10**) haben Taucher weitere Reißscheiben gefunden. Nach Angabe der Sporttaucher sind diese in unterseeischen Felsspalten des Archipels eingeklemmt. Der Fundort ist nicht archäologisch untersucht worden. Ein Teil der Funde wurde in das Maritime Museum Stavanger gebracht, ein anderer befindet sich in Privatbesitz (pers. Mitteilung Arild Skaeveland Vivas, Maritimes Museum Stavanger).

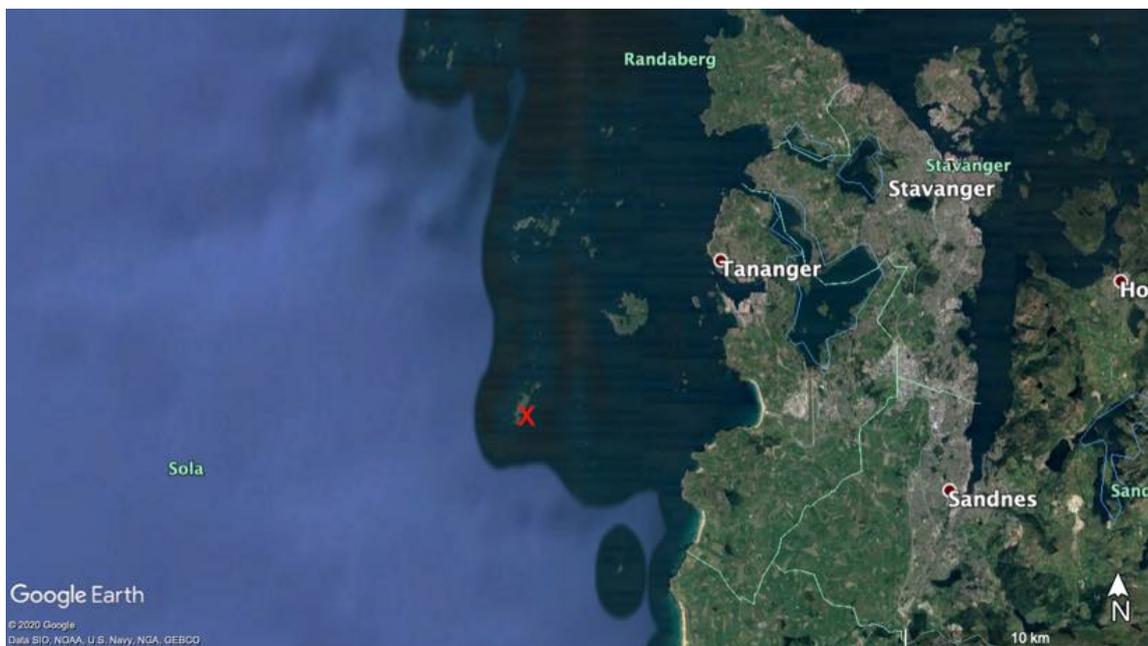


Abb. 3.10 Fundort der Reißscheiben vom Tjør Archipel. Das Kreuz markiert die genaue Stelle. Die Reißscheiben haben sich in unterseeischen Felsspalten verfangen. Google Earth.

Bei diesen Reißscheiben handelt es sich im Gegensatz zu den Funden von Obrestad um ovale Exemplare. Sie liegen größtenteils als Fragmente vor, die insgesamt sechs verschiedenen

Reißscheiben zugeordnet wurden. Auch hier sollen Proben genommen werden, sobald die Reiseeinschränkungen der Covid-19 Pandemie aufgehoben werden.



Abb. 3.11 Von einem Taucher vom Tjør-Archipel bei Stavanger geborgene Reißscheiben. Es handelt sich um mindestens 6 Exemplare (Foto: Maritimes Museum Stavanger).

3.6 Helgoland

Vgl. Katalog 10.1.3

Im Gegensatz zum Großteil der hier untersuchten Reißscheiben geben die Funde vor Helgoland seit mehr als 40 Jahren Grund zur Diskussion. Chemische Analysen in den 1970er und 80er Jahren haben dazu geführt, eine Verbindung zwischen den Reißscheiben und den Kupfererzvorkommen im Buntsandstein der Insel wahrscheinlich zu machen. Dies könnte mithilfe der Bleiisotopenanalytik hier geklärt werden. Da der Fall Helgoland aufgrund seiner Fundgeschichte deutlich vom Rest abweicht, sei diese hier kurz erläutert bevor auf die übliche Beschreibung des analysierten Materials eingegangen wird.

Nach Ende des zweiten Weltkrieges hat man bei Minensucharbeiten auf dem Meeresboden vor der Insel Helgoland (**Abb. 3.12**) zahlreiche Reißscheiben gefunden. Ihr archäologischer Wert wurde jedoch nicht erkannt und so wurde eine unbekannt große Menge, über viele Jahrzehnte hinweg, immer wieder an Altmetallhändler verkauft (Stühmer et al., 1978).

Durch Tauchgänge konnte der Ingenieur Hans Stühmer in den 70er Jahren einige Scheiben vom Meeresgrund bergen, beobachtete dabei aber, dass dort noch viel mehr Scheiben „deponieartig“ gelagert waren (Stühmer et al. 1978). Nachdem diese Funde der Öffentlichkeit präsentiert worden waren, hatte sich ein interdisziplinäres Team der Universität Kiel unter der Leitung des Chemikers Horst Schulz zur Aufgabe gemacht, die Herkunft der Kupferscheiben zu untersuchen (Stühmer et al., 1978).

Auf der Basis bereits bestehender Erzanalysen der vereinzelt Kupfervorkommen im Helgoländer Buntsandstein (Lorenzen, 1965) versuchten Stühmer et al. (1978) eine Zuordnung der Reißscheiben zum Helgoländer Kupfer vorzunehmen. Es gelte, so Schulz, als gesichert, „dass das Helgoländer Kupfererz in der Vergangenheit am Ort verhüttet wurde“ (Stühmer et al., 1978).

Eine ^{14}C -Analyse von Holzkohleresten innerhalb einiger Reißscheiben ergab ein Alter zwischen 1140-1340 AD (Stühmer et al., 1978), womit eine mittelalterliche Verhüttung vermutet wurde.



Abb. 3.12 Die Fundorte der Helgoländer Reißscheiben vor der Insel. Die Fundorte liegen etwa 500m auseinander (Google Earth).

Durch Publikationen in populärwissenschaftlichen Zeitschriften (Schulz, 1979; Hänsel & Schulz, 1980) wurde das Thema einer breiteren Öffentlichkeit bekannt, wodurch zahlreiche z.T. „phantastische“ Überlegungen angestellt worden sind, die hier nicht diskutiert werden sollen.

1980 und 1981 sind gezielte Tauchgänge zur Bergung weiterer Scheiben angestellt worden (Schulz, 1982). Dabei wurden insgesamt 291kg Reißscheiben von zwei nahe beieinander liegenden Fundorten (**Abb. 3.12**) an die Oberfläche gebracht.

59 Reißscheiben und vereinzelt Erzanalysen des Helgoländer Kupfers wurden mithilfe der Atom-Absorptionsspektrometrie (AAS) auf ihre Spurenelemente hin untersucht, wobei die Schlussfolgerungen aus früheren Untersuchungen (Stühmer et al., 1978) weiter gefestigt wurden (Schulz, 1982).

Zusätzlich wurden bei den Tauchgängen mehrere „Schlacken“ bzw. Steine mit Schlackenüberzug und Buntsandsteine mit Bearbeitungsspuren entdeckt, die von Schulz (1982) alle in Verbindung mit den Reißscheiben gesetzt werden.

Daher zieht Schulz das Fazit, dass es sich bei den Scheiben um lokal hergestellte Produkte handelt, deren Verhüttungsplätze möglicherweise bei einer Sturmflut untergegangen waren und die Scheiben, als auch die Beifunde (Buntsandsteingewichte, Schlacken), in ihre Fundposition beförderte (Schulz, 1982).

Anders als noch 1978 nimmt Schulz in seinem 1982er Artikel nun selbst die Haltung an, das Helgoländer Kupfer könnte bereits in der Bronzezeit eine Rolle gespielt haben. Aus dieser Überlegung sind Forschungen entstanden, die versucht haben bronzezeitliche Funde aus Skandinavien dem Helgoländer Kupfer zuzuordnen.



Abb. 3.13 Zwei Reißscheiben bzw. deren Fragmente auf dem Meeresgrund vor Helgoland. Sie liegen zwischen Geröll eingeklemmt (Foto: G. Weisgerber).

Ungeachtet der verschwindend geringen Erzreserve innerhalb des Helgoländer Buntsandsteins wird die „Lagerstätte“ Helgoland bis heute immer wieder als relevant eingestuft und diskutiert (z.B. Stöllner, 2012; Martín-Torres et al., 2020). Dies geschieht ungeachtet dem Einwand Weisgerbers (1999) der klar darauf hinweist, dass „eigens angefertigte Bleiisotopenanalysen es unwahrscheinlich machen, dass die Kupferfunde aus dem Meer vor Helgoland etwas mit den dortigen Erzen zu tun haben“.

Unglücklicherweise publizierte Weisgerber (1999) keine Bleiisotopendaten. Seine Aussagen werden daher von Kritiker als „eigenwillig“ bezeichnet (mündl. Mitteilung Peter Schuhmacher, Museum Helgoland, April 2019) daher ist die eigene Untersuchung mittels Bleiisotopenanalytik hier auch unter dem Gesichtspunkt der Klärung der Herkunft der Scheiben von Interesse.

Bei der Beprobung des Materials musste der Autor sich auf jene Scheiben beschränken, die im Museum Schloss Gottorf bei Schleswig vorhanden sind, da das Museum auf Helgoland keine weiteren Probenahmen zuließ.

Es wurden 23 Reißscheiben beprobt (3596_19 - 3660_19, 4221_13) Davon stammen 10 aus dem östlichen- (Schülver Riff) und 12 vom westlichen Fundplatz (Süder-Riff). Eine Reißscheibe (4221_13) stammt aus dem Magazin des Deutschen Bergbau-Museums und ist ohne gesicherten Fundplatz. Es ist darauf geachtet worden, nur halbwegs vollständig erhaltene Exemplare zu beproben.

Die Durchmesser der runden Scheiben bewegen sich zwischen 22,5 und 62,5cm (vgl. Katalog 10.1.3). Sie sind zwischen 1 und 5cm stark. Die Größte Scheibe hat ein Gewicht von ca. 18kg. Sie tragen keinerlei Marken.

3.7 Elbe

Vgl Katalog 10.1.4, 10.1.7 - 10.1.9

Am 5. August 1981 berichtete das Hamburger Abendblatt vom Fund alter Schiffsladungen und Wrackresten beim Unterfeuer Wittenberge in der Elbe (**Abb. 3.14**). Diese waren bei Baggerarbeiten geborgen worden und bestanden aus Ruderblättern und Plancken, Kanonen und Handfeuerwaffen, Messern und etwa 8t Kupferladung (Althoff, 1995). Sie wurden dem Museum für Hamburgische Geschichte übergeben.



Abb. 3.14 Fundort des Schiffswracks vom Wittenberge in der Elbe nahe Hamburg (Google Earth).

Diese Kupferladung bestand aus fünf verschiedenen Produkten (**Abb. 3.15**):

- a) Den bereits bekannten Reißscheiben, sie liegen hier in ovaler Form vor und sind vergleichsweise dünn (ca. 1-3cm). Sie sind zwischen 45-75 lang, 30-40 cm breit und wiegen zwischen 5-8kg. Sie tragen eingeschlagene Marken die als L oder P und/oder + interpretiert worden sind (North, 1985; Althoff, 1995; Westermann, 2002). Von dieser Kategorie sind 26 Stück beprobt worden (Katalog 10.1.4: 4219_13 - 4229_13 und 4138_16 - 4154_16).
- b) Kupferbarren in Ziegelform, die von keinem anderen Fundkontext bekannt sind. Sie werden hier als Ziegelbarren bezeichnet und sind etwa 30cm lang, 10cm breit und 4 cm stark. Sie wiegen zwischen 10-12kg. Alle Ziegelbarren tragen große eingeritzte „runenartige“ Zeichen. Zusätzlich sind kleinere Stempel sichtbar, von denen bislang jedoch keiner identifiziert werden konnte (**Abb. 3.16**). Es handelt sich bei diesen jedoch nicht um jene der Fugger oder Paller, wie Althoff (1995) vermutete. Von dieser Kategorie sind 17 Exemplare beprobt worden (Katalog 10.1.9: 4143_13 - 4155_13 und 4134_16 - 4137_16).

- c) Rund ausgeschmiedete Scheiben. Sie werden hier in Anlehnung an die von Vlachovic (1977) aus dem Fuggerarchiv zitierten Kupfersorten als Rundscheiben bezeichnet. Hierbei handelt es sich nicht um einen Barren zum Einschmelzen, sondern sind diese Scheiben das Ausgangsprodukt zur Herstellung von Kupferkesseln und anderen Tiefwaren (Schüsseln etc.). Sie sind daher als Halbfabrikat anzusprechen. Die Rundscheiben haben einen Durchmesser von ca. 45cm, wiegen 5-8kg und sind 1-2cm stark, z.T. auch dünner. Sie tragen zwei Stempel, die als Kammerwappen der Stadt Neusohl (Banska Bystrica) und als Hausmarke der Familie Paller (manchmal Paler) identifiziert worden sind (North, 1985; Althoff, 1995; Westermann, 2002) (**Abb. 3.17**). Von dieser Kategorie sind zwei Exemplare beprobt worden (Kat. 10.1.8, 4226_13 und 4231_13).

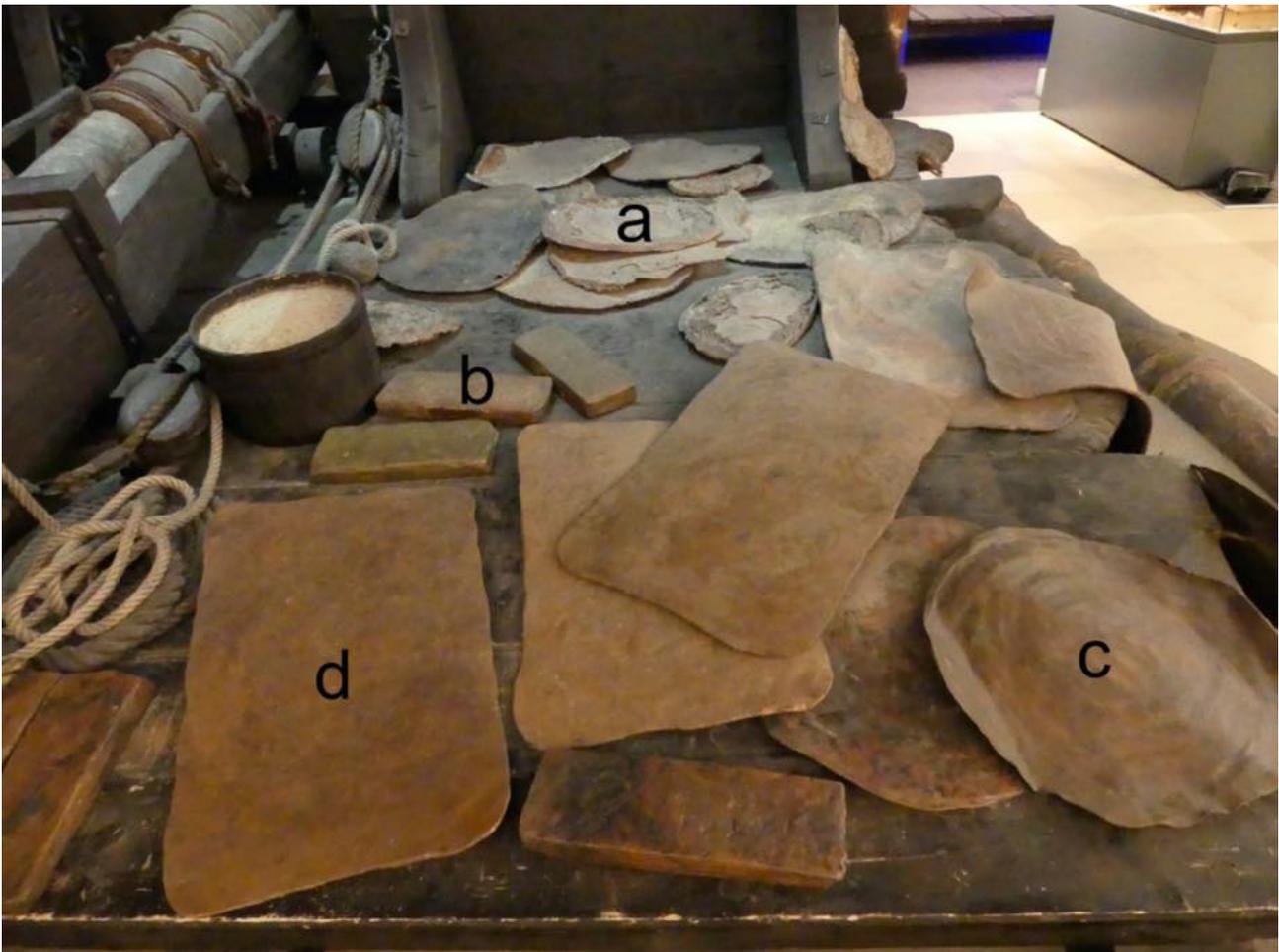


Abb. 3.15 Die Kupferladung des Wracks aus der Elbe. a) Reißscheiben, b) Ziegelbarren, c) Rundscheiben, d) Vierkantkupfer.

- d) Zu Platten ausgeschmiedetes Kupfer. Sie werden hier in Anlehnung an die von Vlachovic (1977) aus dem Fuggerarchiv zitierten Kupfersorten als Vierkantkupfer bezeichnet. Der Zweck des Vierkantkupfers ist unklar. Es ist zwischen 60-80cm lang und etwa 40-65cm breit, erreicht eine Stärke von 1cm und wiegt ca. 20kg. Sie tragen die gleichen Stempel wie die Rundscheiben (siehe c) (**Abb. 3.17**). Vom Vierkantkupfer wurden vier Exemplare beprobt (Kat. 10.1.7 : 4230_13, 4131_16 - 4133_16).
- e) Nach Althoff (1995) liegt noch ein weiterer „Barren“ vor, der jedoch nicht abgebildet wird. Er habe eine eigenartige Form sei gewölbt und ca. 20cm lang und 6cm breit mit einem Gewicht von 17,5-19kg. Diese Barren tragen nach Althoff das Zeichen „ZOC...“ welches bis heute unidentifiziert bleibt. Diese Sorte ist nicht beprobt worden.

Nach Auswertung der Fundstücke vom Wittenberge scheint es sich jedoch nicht um ein einzelnes Wrack zu handeln (Althoff, 1995; pers. Mitteilung T. Maarleveld, 2019). Es ist daher fragwürdig ob

es sich bei der vielfältigen Kupferladung um die Fracht eines einzelnen Schiffes handelt oder ob sich zwei Fundkontexte hier vermischt haben (Westermann, 2002).

Ebenso unklar bleibt der Untergang des/der Schiffe(s). Es existiert eine Darstellung im Kupferstich eines 1622 bei Neumühlen, nur ca. 10km von der Fundstelle des Wittenberger Wracks, gesunkenen Schiffes (Wendt & Kappelhoff, 1896) auf das Westermann (1999) hindeutet. Selbiger glaubt jedoch nicht an eine Übereinstimmung und gibt für den Untergang einen Zeitraum zwischen 1582 und 1609 an, nachdem eine ^{14}C Datierung des Holzes einer Kanone vom Wrack auf 1588 datiert worden war (Westermann, 2002).

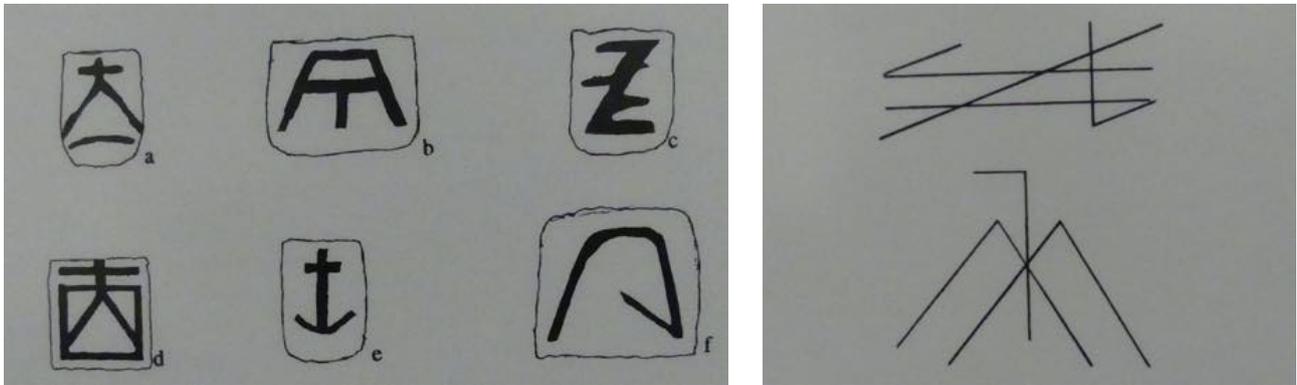


Abb. 3.16 Die Stempel a) - f) und die runenartigen Zeichen (rechts) auf den Ziegelförmigen Barren aus der Elbe. Bislang konnte keins der Zeichen einem Hersteller zugeordnet werden (Fotografiert im Museum für Hamburgische Geschichte).

Erste Analysen zu den verschiedenen Kupfertypen hat Rehren (1995) durchgeführt. Dieser analysierte die Reißscheiben und die Ziegelkupferbarren mithilfe der Atom-Absorptions-Spektroskopie und fand heraus, dass die beiden Typen vermutlich nicht aus einer Lagerstätte stammen, da deren Spurenelementmuster (v.a. Nickel- und Arsengehalte) sich signifikant voneinander unterschieden. Die Bleigehalte der Reißscheiben lagen im Mittel bei 1,6 Gew.-% womit Rehren eine Entstehung im Saigerprozess vermutete.

Da die Stempel auf den beiden Typen Kupfer nicht identifiziert werden konnten und Rehren keine Äußerung zur Herkunft zu geben vermochte, bleibt diese bislang ungeklärt.



Abb. 3.17 Stempel auf den Rundscheiben und dem Vierkantkupfer aus der Elbe. Links ist das Wappen der Neusohler Bergkammer abgebildet. Rechts die Hausmarke der Familie Paller oder Paler, die den Neusohler Kupferkauf am Ende des 16.Jh. übernahmen.

3.8 Terschelling I

Vgl. Katalog 10.1.8

Nördlich der Watteninsel Terschelling in der Nordsee (**Abb. 3.18**), sind gleich drei für diese Arbeit relevante Schiffswracks gefunden worden. Die hohe Funddichte liegt nicht etwa an besonders schwer zu navigierenden Gewässern oder Kreuzungen von Handelsrouten, sondern auf die dort sehr häufig durchgeführten Tauchgänge. Seit den 80er Jahren taucht vor Terschelling das „Duikteam Ecuador“, eine Gruppe Privatleute die sich für alte Wracks interessiert.

Die große Anzahl historischen Materials führte zur Gründung eines privat geführten „Wrakkenmuseums“ auf Terschelling, wo ein Teil der beprobten Funde gelagert sind. Neuerdings hat jedoch der „Rijksdienst voor het cultureel Erfgoed“ (RCE) der Niederlande jegliches privates Bergen von Funden untersagt. Neufunde gelangen daher in ein Lagerhaus bei Amersfoort wo der RCE einen Sitz hat.



Abb. 3.18 Die Drei Fundkontexte nahe der Watteninsel Terschelling, Niederlande. Rechts im Bild die Insel Ameland, links Vlieland, dazwischen Terschelling mit dem Ort West-Terschelling. Bei 1 und 3 handelt es sich um Schiffswracks bei 2 um eine Fundanhäufung, die sich an einem alten Dampfschiffwrack verfangen haben. Die Nummern 1-3 auf der Karte entsprechen den hier beschriebenen Fundorten Terschelling I-III. Google Earth.

Am 26. Februar 2019 stieß das Bergungsschiff „Geosund“, welches auf der Suche nach im Sturm verlorenen Containern der MSC Zoe war, etwa 17km nördlich von Terschelling (**Abb. 3.18**) auf Kupferbleche und Wrackteile (van den Brenk & Overmeer, 2019).

23 Balken und Planken der Schiffskonstruktion und 491 Kupferbleche und große Rundscheiben mit dem Fuggerdreizack, insgesamt 4,7t Kupfer, gelangten nach Amersfoort zum Sitz des RCE. Das Material wurde im Rahmen einer Periplus Archaeomare Publikation mithilfe von pXRF von einem niederländischen interdisziplinären Team untersucht und der Öffentlichkeit präsentiert (van den Brenk & Overmeer, 2019).

Dabei kam heraus, dass das Holz für das Schiff etwa 1536 geschlagen worden ist. A. Pappot vom Rijksmuseum Amsterdam datierte die Metallfunde im Abgleich mit der chemischen

Zusammensetzung von Münzen auf eine Zeit zwischen 1508 und 1540. Damit ziehen die Autoren das Fazit, dass das Schiff irgendwann zwischen 1538-1550 gesunken sein musste.

Die Kupferplatten sind ein bis heute einzigartiger Typus. Sie liegen in der Form von dünn ausgewalzten Blechen (1-2mm Stärke) und einer Größe von 84x61cm vor (**Abb. 3.19**). Sie wiegen 6-9kg. Zusätzlich wurden 34 große Rundscheiben mit einem Durchmesser von 104cm mit ähnlicher Stärke (2-3mm) aufgefunden. Diese wiegen ca. 30kg. Außerdem waren zwei kleinere Rundscheiben gefunden worden, mit einem Durchmesser von ca. 72 und 86cm.



Abb. 3.19 Das Fundmaterial von Terschelling I. Rechteckige Bleche und große Rundscheiben sind die Hauptprodukte des Schiffes. Hinten an der Wand lehnt eine kleinere Rundscheibe (nach van den Brenk & Overmeer, 2019).

Die rechteckigen Kupferbleche waren paketartig verpackt, wobei die Anzahl der Bleche pro Paket (30-33) zusätzlich zum Fuggerstempel und anderen nicht identifizierbaren Symbolen in die kupferne „Verpackung“ der Bleche eingeritzt ist (**Abb. 3.20**).



Abb. 3.20 Links Kupferbleche in einem kupfernen Umschlag verpackt, rechts die Inschriften auf dieser Verpackung. Der Fuggerdreizack ist klar erkennbar. Die Zahl rechts neben dem Stempel (30) bezieht sich auf die Anzahl der Bleche pro Paket. Die anderen Zeichen können noch nicht gedeutet werden (nach van den Brenk & Overmeer, 2019).

Bei gezielten Tauchgängen konnte der RCE insgesamt 13,26t Kupfer der oben beschriebenen Machart sichern.

Es war geplant 30 Proben von Blechen und Rundscheiben zu nehmen, dies wurde jedoch durch die Corona Pandemie auf unbestimmte Zeit hinausgezögert. Eine Probe einer Rundscheibe (Kat.10.1.8: 3755_19) wurde vom RCE freundlicherweise bereitgestellt.

3.9 Terschelling II

Vgl. Katalog 10.1.5 - 10.1.8

In den 1980er Jahren wurden eine größere Anzahl Vierkantkupper westlich von Terschelling in der Nähe des sog. „Thomas Smit Gat“ von Tauchern gefunden (**Abb. 3.18** dort No. 2) Sie hatten sich am Fundort eines Dampfschiffswrack verfangen. Diese Funde wurden von Maarleveld (1988) beschrieben, sind aber unpubliziert.

In den folgenden Jahren wurden vom Tauchteam Ecuador im Umkreis von 2km² um den Fundort des Vierkantkupfers herum insgesamt neun Halbgossenkugeln, z.T. noch auf Wrackresten liegend, drei Reißscheiben, eine Platte Vierkantkupper und eine Rundescheibe aufgefunden (pers. Mitteilung Nico Brinck, Tauchteam Ecuador, Terschelling).



Abb. 3.21 Wrackreste vom Thomas Smit Gat, westlich von Terschelling. Auf einer Schiffspanke liegt eine Halbgossenkugel, so wie sie bei Punkt 2 in **Abb. 3.18** aufgefunden worden ist.

Aufgrund der Funddichte in diesem Bereich und den Wrackresten die mit den Halbgossenkugeln geborgen worden sind, könnte es sich hierbei um ein und dasselbe Wrack handeln. Es transportierte somit vier Sorten Kupper.

- a) Die Reißscheiben haben unterschiedliche Form und Größe. Zwei Reißscheiben haben eine runde Form, dabei liegt eine nur fragmentarisch vor (3773_19) Sie haben einen Durchmesser von ca. 75cm und sind 3cm stark (**Abb. 3.22**). Die dritte Reißscheibe ist oval und misst 60x45cm. Sie ist nur einen cm stark. Probennummern: Katalog 10.1.5: 4525_18, 4526_18, 3773_19.



Abb. 3.22 Runde Reißscheibe im Wrakkenmuseum auf Terschelling. Maßstab: 5cm.

- b) Das Vierkantkupfer misst 40x75cm ist zwischen 4-8mm stark und wiegt 13kg (**Abb. 3.23**). Es hat somit ähnliche Abmessungen wie jene in der Elbe gefundenen Kupferplatten (s.o. Kap. 3.7). Das Vierkantkupfer trägt meist zwei Stempel, den Fuggerdreizack und ein unbekanntes Zeichen. Manchmal ist auch nur das unbekannte Zeichen auszumachen, dies könnte jedoch auch am Erhaltungszustand liegen. Es wurden alle 19 aufgefunden Platten beprobt (Katalog 10.1.7: 4514_18, 3908_19 und 3756_19 - 3772_19)

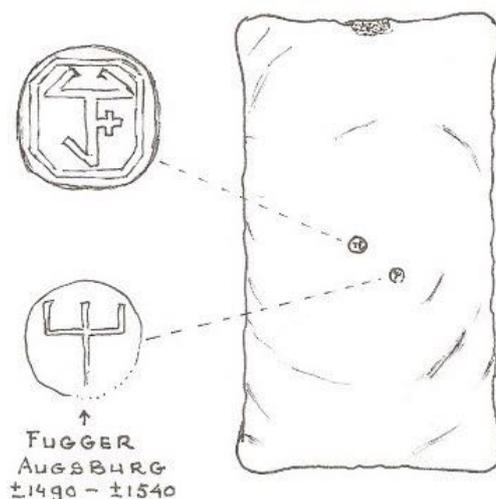


Abb. 3.23 Links : Vierkantkupfer auf Terschelling. Rechts: Umzeichnung desselben. Zwei Stempel sind erkennbar. Der Fuggerdreizack und ein unbekanntes Zeichen. Während das unbekannte Zeichen im Relief vorliegt (möglicherweise Herstellerstempel) ist der Dreizack im Nachhinein eingeschlagen worden (Zeichnung: Nico Brinck).



Abb. 3.24 *Halbgossenkugel mit Fuggerdreizack auf Terschelling. Beim Großteil der Halbgossenkugeln ist der Stempel nicht mehr zu erkennen.*

- c) Die Halbgossenkugeln haben einen Durchmesser von 12,5 - 16cm, sind zwischen 4,5 und 7cm hoch und wiegen ca. 5-6kg. Sie tragen einen Stempel der in den meisten Fällen nicht mehr sichtbar ist, bei genauem Betrachten jedoch als Fuggerdreizack identifiziert werden kann (**Abb. 3.24**). Die Halbgossenkugeln sind damit deutlich kleiner und leichter als jene, die von Hauptmann et al. (2016) von der Bom Jesus beschrieben worden sind. Es wurden alle neun Halbgossenkugeln beprobt (Katalog 10.1.6: 4516_18 - 4524_18).
- d) Die Rundscheibe ist sehr dünn ausgeschmiedet worden (1mm), misst 56cm im Durchmesser und wiegt 5kg (**Abb. 3.25**). Sie trägt das schon auf dem Vierkantkupfer beobachtete unbekannte Zeichen (Kat.10.1.8: 4515_18).



Abb. 3.25 *Ausgeschmiedete Rundscheibe mit sehr geringer Stärke (1mm). Sie trägt das unbekannte Zeichen.*

3.10 Terschelling III

Vgl. Katalog 10.2.1, 10.2.4

Das dritte Schiffswrack vor Terschelling wurde am 12. Juli 2012 an der Nordostküste (**Abb. 3.18**) aufgefunden. Es wurde nach einem Sturm an Land gespült und von einem Vogelwart entdeckt. Neben Resten der Schiffskonstruktion hatte das Schiff Tabakpfeifen, Glas- und Keramikscherben, bunte Glasperlen, Messingtöpfe und für diese Arbeit am wichtigsten, mehr als 500 Messingstangen geladen (**Abb. 3.26**).



Abb. 3.26 Die Messingstangen *in situ* auf dem Wrack Terschelling III. Keramikscherben liegen auf den Wrackteilen zerstreut (Foto: Museum „het behouden Huys“, Terschelling).

Die Funde sind von Heidi Vink vom RCE im Rahmen einer Masterarbeit behandelt worden (Vink, 2018). Vink schreibt, dass die Stangen noch *in situ* aufgefunden worden sind. Sie lagen bündelweise zu jeweils 30 Stück mit einem Draht zusammengehalten an dessen Ende ein Siegel angebracht worden war. Das Siegel zeigt auf der einen Seite einen Doppelköpfigen Adler und auf der anderen Seite einen Baum mit den Initialen T.P. (Vink, 2018) (**Abb. 3.27**).



Abb. 3.27 Das Siegel, welches an den Stangenbündeln befestigt war. Die eine Seite zeigt einen doppelköpfigen Adler, die andere einen Baum mit den Ziffern T.P. Es ist bislang nicht identifizierbar (Foto: Museum het behouden Huys, Terschelling).

Vink datiert das Wrack und die Funde auf einen Zeitraum zwischen 1650 und 1725. Die Keramik ordnet sie generell einer rheinischer Manufaktur zu. Sie sieht das Schiffswrack im Kontext des Sklavenhandels und weist die Glasperlen als Zahlungsmittel in selbigen aus. Darauf ist auch vorher schon hingewiesen worden (Werkhoven et al. 2012).

Möglicherweise sind auch die Messingstangen als Zahlungsmittel im Sklavenhandel anzusprechen, falls es sich denn um die sog. „Guinea Rods“ handeln sollte (siehe Kap. 2.1). Sie sind daher hier von Interesse.

Die Stangen haben sehr homogene Maße. Sie sind zwischen 94-101cm lang, haben einen Durchmesser von 7-9mm und wiegen zwischen 420 - 520g. Sie scheinen an den Enden abgeschnitten worden zu sein, sodass sie einen Querschnitt, wie er mit einer Zange erzeugt werden würde, aufweisen. Es sind elf Stangen aus drei verschiedenen Bündeln beprobt worden (Katalog 10.2.1: 4527_18, 3893_19 - 3902_19) und zusätzlich fünf Töpfe (Katalog 10.2.4 3903_19 - 3907_19).

3.11 Texel

Vgl. Katalog 10.3.2, 10.4.3.2

Die Gewässer um die holländische Insel Texel herum (**Abb. 3.28**) spielen im Untersuchungszeitraum eine besondere Rolle. Denn durch die Meerenge zwischen dem Festland und dem Südrand der Insel führen die Schiffe von Amsterdam aus nach Übersee, Afrika und Indien bzw. kehrten aus diesen zurück. Schriftliche Quellen berichten von einem Unglück indem 40 Schiffe während eines Sturms in einer einzigen Nacht in diesen Gewässern sanken.



Abb. 3.28 Die Schiffswracks östlich und westlich der Insel Texel im Wattenmeer. Unten der Ort Den Helder auf dem holländischen Festland. 1) Texel/Aanloop Molengat 2) Burgzand II 3) Burgzand VIII (Google Earth).

Zunächst wird ein Schiffswrack westlich von Texel betrachtet (Aanloop Molengat).

Es wurde 1984 von einem lokalen Taucher entdeckt und den niederländischen Behörden gemeldet. Zwischen 1985 und 1999 wurde die Lokalität ausgegraben wobei die Funde erst vor einigen Jahren publiziert worden sind (Maarleveld & Overmeer, 2012).

Das Schiff, welches vermutlich etwa 1635 sank, transportierte eine Reihe von Waren. Textilien, Elfenbein, Leder, Wolle jedoch auch Eisen- Zinn- und Bleibarren. Letztere beiden sind für diese Arbeit von Interesse.

Die Zinnbarren liegen in der Form von 42cm langen und ca. 4,7kg schweren Rollen vor (**Abb. 3.29**). Sie tragen mehrere Stempel von denen einer die Aufschrift „Seiffen Zin von der Platen“, trägt (**Abb. 3.30**). Dies bezieht sich möglicherweise auf den Ort der Herstellung: Platten (Horní Blatná) im Erzgebirge (siehe Kap. 4.1.2, **Abb. 4.6**). Insgesamt wurden 359 Rollen mit einem Gesamtgewicht von 1,5t geborgen. (Maarleveld & Overmeer, 2012).



Abb. 3.29 Zinnbarren aus dem Texel-Wrack. Die Barren liegen in der Form von Rollen vor und tragen verschiedene Stempel der Hersteller aus dem Erzgebirge. Maßstab = 10cm.

Maarleveld & Overmeer (2012) haben eine umfangreiche Publikation zusammengestellt, die eine Vielzahl von sowohl historischen, als auch naturwissenschaftlichen Untersuchungen zum Fundmaterial enthält. Die Stempel konnten auf der Basis früherer Untersuchungen (Bartos, 1994) verschiedenen Herstellern aus dem Erzgebirge zugeordnet werden. Neben Platten, konnten die Orte Seiffen (Ryzovna), Hengstererben (Hřebecna), Gottesgab (Bozi Dar) und Eibenstock identifiziert werden (**Abb. 4.6**).



Abb. 3.30 Umzeichnung eines Stempels auf den Texel-Zinnbarren. „Seiffen Zin von der Platen“. Das Wort Seiffen bezeichnet nicht den Ort sondern den Lagerstättentyp. Platen bezieht sich auf den Ort „Platten“ im Erzgebirge (nach Bartos, 1994).

Die Stempel tragen Jahreszahlen zwischen 1556-1630, wobei Maarleveld & Overmeer (2012) darauf hinweisen, dass es sich dabei nicht um das Produktionsjahr des Zinns handle, sondern der Entstehung des Stempels im Sinne einer Marke. Die Autoren vermuten, dass das Zinn kurz nach 1630 hergestellt worden ist.

pXRF-Analysen an den Rollen haben eine Reinheit von 99% ergeben (Maarleveld & Overmeer, 2012). Zusätzliche Bleiisotopenanalysen wurden von Clayton et al. (2002) durchgeführt, konnten jedoch nicht richtig gedeutet werden. Die für diese Arbeit geplanten massenspektrometrische Analysen werden mehr Klarheit über die genauen Spurenelementgehalte geben. Es sind hierfür 28 Rollen (Katalog 10.3.2: 3774_19 - 3801_19) beprobt worden.

Die Bleibarren liegen in Stückformen vor. Möglicherweise waren sie ursprünglich in eine große ovale Form gegossen worden, und aus dieser in sechs Stücke geteilt um sie leichter transportieren zu können (Maarleveld & Overmeer, 2012) (**Abb. 3.31**). Die Sechstel-Stücke haben, je nachdem ob es sich um ein Eckstück oder ein Mittelstück handelt Gewichte zwischen 57-156kg wobei die meisten Stücke zwischen 90-120kg schwer sind. Der ursprüngliche „Master-Ingot“ hätte so nach Maarleveld & Overmeer (2012) über 600kg gewogen. Insgesamt könnte es sich um eine Frachtmenge von 30-50t Blei gehandelt haben.

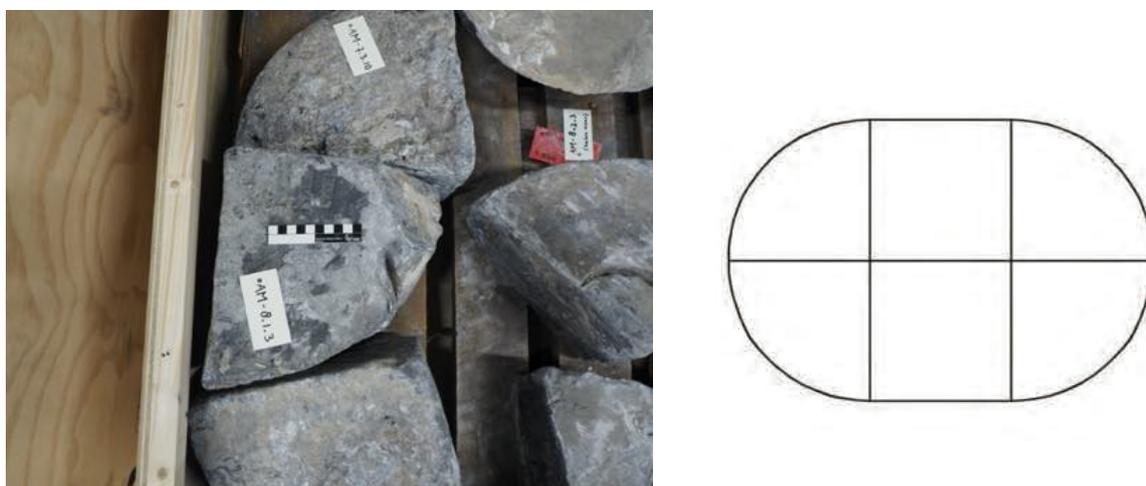


Abb. 3.31 Blei-Sechstelstücke links und rechts: Rekonstruktion eines größeren „Originalbarrens“ aus dem die Stücke herausgetrennt worden sind. Aus dem Texel-Wrack (Rekonstruktion (rechts) nach Maarleveld & Overmeer, 2012).

Die Barren haben 17 unterschiedliche Stempel bzw. Inschriften. Eine dieser Inschriften kann als ILKUSZ gelesen werden, was Maarleveld & Overmeer (2012) als Olkusz in Oberschlesien (vgl. Kap. 4.4, **Abb. 4.21**) deuten. Tatsächlich wurden 14 Bleibarren von Clayton et al. (2002) mit Erzen aus dem oberschlesischen Bleibergbaurevier hinsichtlich ihrer Bleiisotopenverhältnisse verglichen und als übereinstimmend beschrieben.

Für eigene Analysen wurden dennoch sechs Barren beprobt (Kat. 10.4.3.2: 3809_19 - 3814_19).

3.12 Burgzand Noord II

Katalog 10.2.5, 10.4.3.4

Die Fundstelle Burgzand Noord befindet sich östlich der Insel Texel (**Abb. 3.29**). Bei der Lokalität handelt es sich nicht um ein einzelnes Schiffswrack, sondern eine Anhäufung von mind. zwölf Wracks. Diese werden entsprechend ihrer Entdeckung chronologisch „Burgzand Noord II-XII (z.B. BZN-II) bezeichnet. Drei der Wracks hatten Metallladungen an Bord (BZN II, VIII + IX). Von Burgzand II und VIII konnten Proben der Fracht genommen werden.

Das Wrack Burgzand II (**Abb. 3.29**) ist unter den Namen „polnisches Kanonenwrack“ bekannt geworden, nachdem 1985 von Sporttauchern bronzene Kanonen entdeckt worden waren, die

man aufgrund ihrer Inschriften aus polnischer Herstellung stammend bestimmen konnte (Brinck, 2000).

Nach aktuellem Kenntnisstand handelte es sich um ein bewaffnetes Handelsschiff welches vermutlich zwischen 1670-1675 untergegangen ist. Es hatte eine Reihe von Waren wie Keramikpfeifen, Messingnägeln, Textilien, Öllampen und Tabakdosen aus Messing geladen (Vos, 2012). Das Schiff transportierte ausserdem eine große Zahl Bleibarren und Messingrollen (Vos, 2012).



Abb. 3.32 Verschiedene Bleibarren im Lager in Amersfoort. Von oben nach unten: Burgzand VIII, Burgzand II und Oostvoorne XI. Burgzand II liegt verkehrt herum. Maßstab = 10cm.

Ein Großteil der Bleibarren sind im privaten Besitz von Tauchern auf der Insel Texel (pers. Mitteilung Th. Maarleveld April 2019). Sie werden in offizieller Beschreibung des Wracks nur spärlich erwähnt, demnach ist auch unklar wieviele Barren das Schiff transportiert hat (Vos, 2012). Nur ein einziger Barren befindet sich in Amersfoort (Kat. 10.4.3.4: 3824_19) (**Abb. 3.32**). Der beprobte Barren lag verkehrt herum in einer Holzkiste und misst 45x10x10 wobei mit 40cm die Länge der Unterseite gemeint ist. Er war zu schwer um ihn zu drehen.

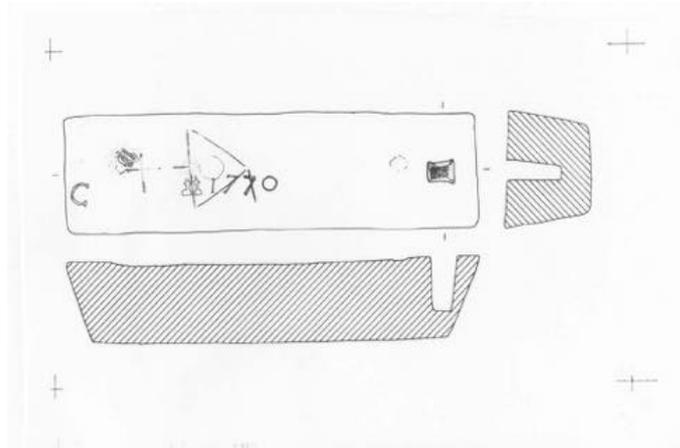


Abb. 3.33 Oberseite eines Bleibarren von Burgzand II. Verschiedene Stempel und Marken sind sichtbar. Das eckige Loch rechts entstand wohl dem Prozess des HerauslöSENS aus der Form (nach Maarleveld, 1988).

Nach Maarleveld (1988) tragen die Barren eine Hausmarke, die Zahl 1770 und weitere Stempel (**Abb. 3.33**), dies konnte jedoch aufgrund des schieren Gewicht des Barrens nicht untersucht werden. Die Zahl 1770 hat aber nach Maarleveld (pers. Mitteilung April 2019) nichts mit der Datierung des Schiffswracks (s.o.) zu tun.

Größer war in Amersfoort die Anzahl der Messingbleche, welche in aufgerolltem Zustand vorliegen (**Abb. 3.34**). Diese sind jedoch in so schlechtem Erhaltungszustand, dass sie eine Konsistenz wie getrocknete Zahnpasta hatten und bei Berührung sofort zerfielen. Dies limitierte die Beprobung auf drei dieser Bleche (Kat. 10.2.5: 3821_19 - 3823_19) Angeblich sind auf Texel weitere Bleche mit besserem Erhaltungszustand in Privatbesitz (pers. Mitteilung Th. Maarleveld April 2019).



Abb. 3.34 Messingrollen des Wracks Burgzand II in Amersfoort. Die Rollen lösen sich langsam auf. Nur wenige Rollen (rechts und oben im Bild) konnten beprobung werden. Maßstab = 10cm

3.13 Burgzand Noord VIII

Vgl. Kat. 10.4.3.5

Die Fundgeschichte von Burgzand Noord VIII ist jener von BZN II sehr ähnlich. Rivalisierende Tauchclubs der Insel Texel haben ein Großteil des vermutlich einstigen Handelsschiffes stark „geplündert“. Das Schiff sank vermutlich in der Nacht vom 18. auf den 19. Dezember 1660 (Vos, 2012).

Der Großteil der Ladung bestand aus Keramik. Daneben Textilien und Gebrauchsgegenstände aus verschiedenen Materialien, sowie Gewürzen.

Ein einziger Bleibarren (**Abb. 3.32** oben) befindet sich in Amersfoort, mehr befindet sich in Privatbesitz auf der Insel Texel. Der beprobte Barren (3825_19) ist bootsförmig mit abgerundeten Enden und misst 65x17cm und 10cm in der Höhe. Weitere Informationen zu den Stempeln, die auf der Oberfläche sichtbar sind, fehlen. Die Zahl 1657 in einem der Stempel könnte in diesem Fall auf das Herstellungsdatum hindeuten.

3.14 Flevoland

Vgl. Katalog 10.4.3.3

In der östlichen Polderlandschaft Flevolands, in der Nähe des Dorfes Biddinghuizen (**Abb. 3.35**), wurde 1984 während landwirtschaftlicher Arbeiten im trockengelegten ehemaligen Meeresboden ein Schiffswrack freigelegt.

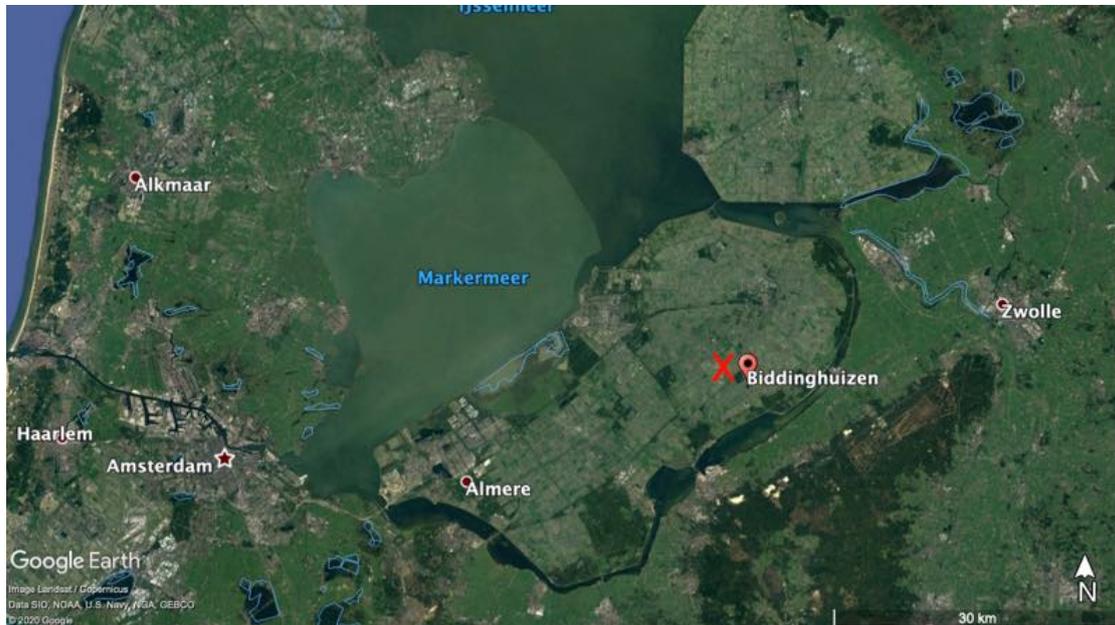


Abb. 3.35 Der Fundort des Wracks M11 nahe dem Dorf Biddinghuizen. Bedenke, dass der Großteil der Landfläche auf dem sich Almere und Biddinghuizen befinden ursprünglich unter Wasser lag und erst in den letzten 50 Jahren trockengelegt worden ist. Möglicherweise ist das Schiff von einem der größeren Städte Amsterdam auf dem Weg nach Zwolle o.ä. gewesen (Google Earth).

Dieses gut erhaltene Wrack gehörte wohl zu einem ca. 20x5m großen Küstenschiff, welches möglicherweise Waren zwischen den Märkten des Westufers (Amsterdam, Haarlem) und jenen des Ostufers (z.B. Zwolle) transportierte (Nijs & Nijs, 2015).

Der Fund von 10 vollständigen, archaisch anmutenden Golfschläger, die ältesten die je gefunden worden waren, brachten dem Schiff den Namen „Biddinghuizer Golfschiff“ ein (Nijs & Nijs, 2015). Die offizielle Bezeichnung lautet „M11-Wrack“. Neben den Schlägern wurden Fässer mit Resten von geräuchertem Hering und sechs halbkugelförmige Bleibarren auf dem Schiff gefunden (**Abb. 3.36**). Über Münzen wurde der Schiffsuntergang auf 1540 datiert (Morel, 1993).



Abb. 3.36 Halbkugelförmiger Bleibarren aus dem „Biddinghuizer Golfschiff“ (RCE Bildbank).

Die sechs Bleibarren sind bislang weder abgebildet, noch beschrieben worden. Sie haben einen Durchmesser von ca. 35-40cm und sind 15-20cm hoch. Sie tragen eine Art Nummerierung mit jeweils senkrechten Strichen rechts und links von zwei XX (Bsp: III XX III) und manchmal eine Hausmarke oder ein Handelszeichen. Zwei Exemplare haben rechteckige Löcher, die vermutlich dem Herauslösen aus der Schmelzform mittels Holz(?)stab gedient haben. Alle sechs Barren wurden beprobt (3815_19 - 3820_19)

3.15 Oostvoorne

Vgl. Katalog 10.4.3.6

Ein weiterer Bleibarren stammt aus einem Schiffswrack bei Oostvoorne in der Nähe von Rotterdam (**Abb. 3.37**).

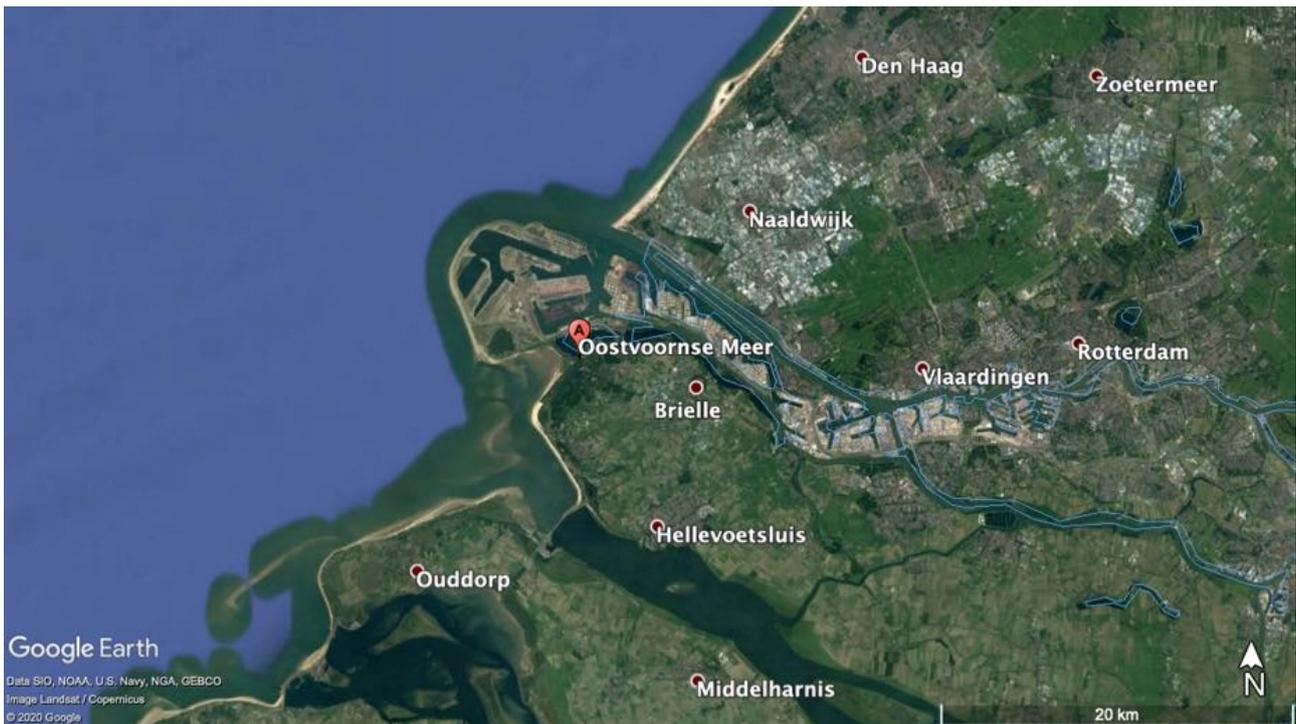


Abb. 3.37 Das Oostvoornse Meer bei Rotterdam. Es handelt sich dabei um einen künstlich geschaffenen See, der im ursprünglichen Eintrittsbereich des Rotterdamer Hafens liegt (Google Earth).

Dort wurde ein Teil des Meeres künstlich zu einem See umgewandelt. Dieser Teil war der ursprüngliche Zugang zum Rotterdamer Hafen. Bei ersten Untersuchungen (Coenen & Houkes 2014) wurden mind. 14 Wracks aufgefunden.

Eine größere Anhäufung Bleibarren befindet sich wohl an Wrack 11 welches daher den Namen „the lead wreck“ bekommen hat (pers. Mitteilung H. Vink, RCE, August 2020). Es gibt bislang nur unpubliziertes Material zu den Schiffswracks. Nach Auskünften des RCE datiert das Wrack No. 11 nach dendrochronologischen Daten zu urteilen, in das spätere 18. Jh. (ca. 1768).

Der hier untersuchte Barren (**Abb. 3.38**) von Wrack 11 (3826_19) ist 80cm lang und 15cm breit. Er verjüngt sich trapezförmig nach unten hin und ist ca. 5cm hoch. Er trägt verschiedene Stempel, die bislang nicht gedeutet werden konnten.



Abb. 3.38 Bleibarren aus dem Schiffswrack 11 des Oostvoornse Meer bei Rotterdam. Viele nicht mehr identifizierbare Stempel sind sichtbar (Bildbank RCE).

3.16 Amersfoort

Vgl. Katalog 10.4.3.1

Schlussendlich sind aus dem Lagerhaus Pot bei Amersfoort noch sieben weitere Bleibarren beprobt worden (3802_19 - 3808_19) (**Abb. 3.39**). Sie sind als Loose Vonds (=ohne Fundkontext) aufgenommen worden, es ist daher unklar, woher sie stammen.

Sie sind bootsförmig bis rautenförmig mit spitz zulaufenden Enden und messen 75x22cm an ihrer breitesten Stelle.

Sechs der Barren lagen verkehrt herum und konnten nicht bewegt werden. Nur ein einzelner lag auf dem Rücken. Dieser hatte vier verschiedene Stempel bzw. Inschriften. Nach der Bildbank des RCE zu urteilen, haben die anderen Barren jeweils andere Stempel, es ist daher unklar ob sie aus dem selben Fundkontext stammen, auch wenn ihre Form dies vermuten lässt.



Abb. 3.39 Sieben bootsförmige Bleibarren aus unbekanntem Fundkontext in Amersfoort.

3.17 Vigo

Vgl. Katalog 10.2.2

In der nordspanischen Provinz Galizien südlich von Santiago de Compostela liegt die Ortschaft Vigo (**Abb. 3.40**). Dort glaubten Fischer 1995 eine Art großes Fischgerippe am Boden der Bucht von Vigo liegen zu sehen. Einer der Fischer tauchte herab und brachte ca. 30 hufeisenförmig geöffnete Armringe aus Metall an die Oberfläche. Diese wurden vom lokalen Archäologen José Suarez Otero als sog. Manillen (Sklavengeld im Afrikahandel) identifiziert und in das Museo do Mar in Vigo gebracht (pers. Mitteilung J. Suarez Otero, November 2019).

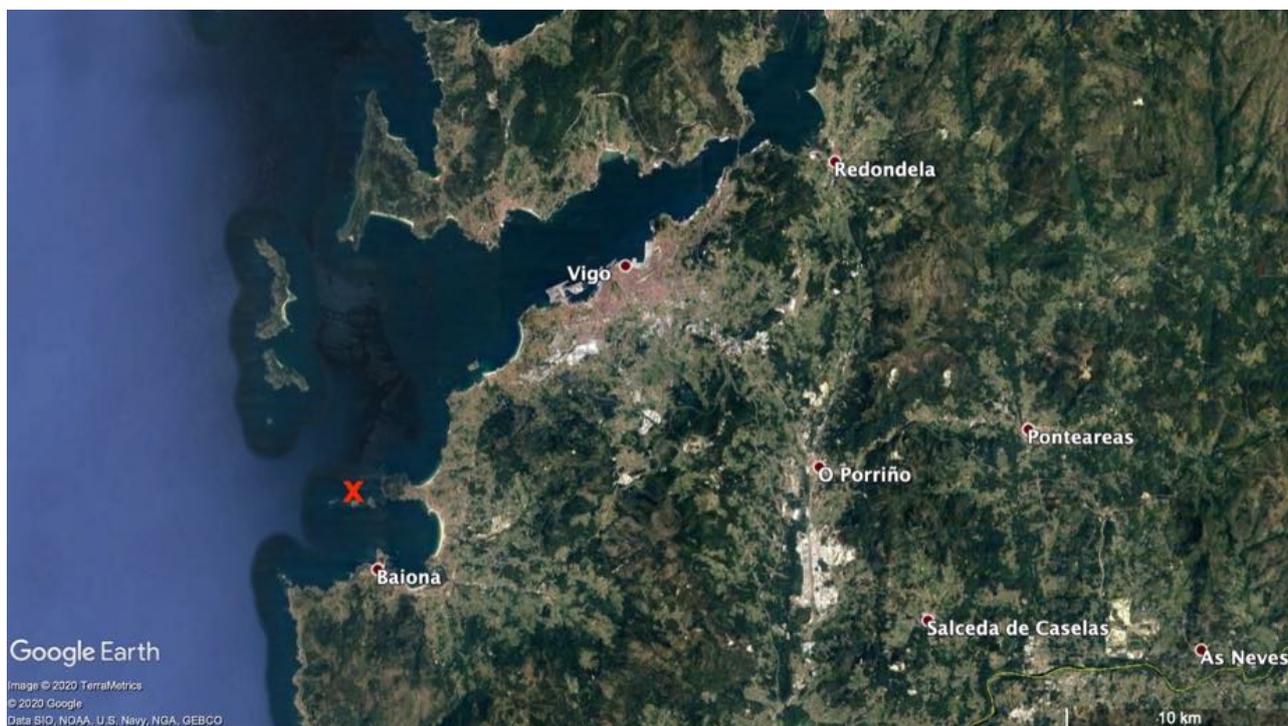


Abb. 3.40 Der Fundort (rotes Kreuz) der Vigo Manillen an der südlichen Öffnung der Bucht von Vigo nördlich der Ortschaft Baiona in Galizien, Nordspanien. Google Earth.

Denk (2017) deutet die Form der Vigo Manillen als „echte“ tacoais-Manillen, das bedeutet als jene die unter portugiesischer Regie im 15-17. Jahrhundert im Sklavenhandel verwendet worden sind. Sie zeichnen sich durch verdickte Enden und die ovale Hufeisenform aus und sind aus Messing (Denk, 2017).

Weitere Informationen zu dem Fund sind nicht vorhanden, die Manillen wurden nicht publiziert. Im August 2020 informierte der Leiter des Museums Vicente Carames den Autor, dass eine anonyme Person 126 weitere Manillen dem Museum gespendet habe (**Abb. 3.41**). 50 weitere sollen sich in Privatbesitz befinden.

Aufgrund der Einschätzung des Autors und den jüngsten Ereignissen wurde im August 2020 die spanischen Behörden über eine mögliche Plünderung archäologischen Materials unterrichtet. Es steht zur Zeit noch offen ob eine Unterwassergrabung vorgenommen werden wird.

Im November 2019 wurden 11 Manillen beprobt (5043_20 - 5053_20). Sie haben unterschiedliche Formen, Größen und Gewichte, folgen jedoch generell der Typologie die Denk (2017) entworfen hat. Demnach handelt es sich um Manillen aus dem 16. Jahrhundert.

Bei zwei Manillen scheint es sich nicht um eine Kupferlegierung zu handeln, da dem Autor gräuliche Bohrspäne bei der Beprobung entgegen kamen.



Abb. 3.41 126 neu aufgefunden Manillen des „tacoais“ Typus im Museum Museo do Mar in Vigo, Spanien (Foto: Vicente Carames, Museo do Mar).

3.18 Sierra Leone

Vgl. Katalog 10.2.2

Der Privatsammler Prof Dr. Rolf Denk der seit Jahrzehnten zum Thema „Manillen“ forscht hat für diese Arbeit weitere zwei Manillen zur Verfügung gestellt. Diese folgen ebenfalls dem tacoais Schema und könnten aus portugiesischer Produktion sein.

Die beiden Manillen stammen aus Sierra Leone, wo sie angeblich bei der Feldarbeit von einem Ethnologen-Ehepaar gefunden worden sind (pers. Mitteilung R. Denk, April 2019). Es handelt sich jedoch um Einzelfunde und nicht um einen geschlossenen Fund. Auch kann der genaue Fundort der Manillen nicht mehr ermittelt werden.

Eine der beiden Manillen (3662_19) ähnelt stark einer Form wie sie aus dem Vigo-Kontext (s.o. 3.17) bekannt ist, ebenso ähnlich sind ihre Maße (**Abb. 3.42**). Die andere Manille (3661_19) ist deutlich leichter, jedoch im Durchmesser größer und runder.



Abb. 3.42 Tacoais Manille aus der Privatsammlung Rolf Denks. Maßstab = 10cm.

3.19 Kamerun

Vgl. Katalog 10.2.3.

Rolf Denk stellte neben den zwei Manillen auch noch zwei spiralförmige Reife einer unbekanntes Legierung zur Verfügung (**Abb. 3.43**). Nach Denk (1983) handelt es sich dabei um eine Geldform, die in Kamerun in der frühen Neuzeit verwendet worden ist. Sie ist möglicherweise aus europäischer Herstellung und wurde ähnlich den Manillen benutzt.

Die untersuchten zwei „nt-chang“ (4583_19 - 4584_19) sind von den Maß her zueinander identisch, wiegen 205 bzw 207g und messen im Durchmesser 9,5cm und 5cm in der Höhe. Ausgezogen wäre der eingerollte Stab exakt 1m lang.



Abb. 3.43 Ein Spiralförmiger Reif sog. nt-chang, wie er in Kamerun als Geldform verwendet wurde. Maßstab = 10cm

3.20 Ovamboland, Namibia

Vgl. Katalog 10.1.10

Schlussendlich stellte R. Denk noch drei schwere kupferne Armreife zur Verfügung, wie sie die Ovambofrauen im nördlichen Namibia an den Füßen tragen (3860_19, 4183_19, 4184_19) (**Abb. 3.44**). Diese Art Objekt ist eigentlich nicht Teil dieser Untersuchung, wird jedoch miteinbezogen, da der Verdacht nahe lag, dass diese aus importiertem Kupfer hätten gefertigt sein können.

Die Armreife sind 2,5 und 3,2kg schwer und haben Durchmesser von 15-18cm.



Abb. 3.44 Großer Armreif aus dem Ovamboland. Maßstab = 10cm

3.21 Oranjemund, Namibia

Vgl. Katalog 10.3.1, 10.4.2

Am 1. April 2008 wurde im Diamantensperrbezirk in der Nähe der Stadt Oranjemund an der Grenze zu Südafrika, eigenartige „rundliche rote Steine“ entdeckt. Diese lagen in einem trockengelegten Abschnitt des Atlantiks, der mithilfe von aufgeschütteten, temporären Dämmen für die Diamantengewinnung zurückgehalten wurde (Knabe & Noli, 2012) (**Abb. 3.45**).

Bei genauer Betrachtung stellten sich die rundlichen Steine als halbrunde, plankonvexe Kupferbarren heraus, sog. Halbgossenkugeln. Desweiteren tauchten einige, zunächst als Ofenrohre fehlgedeutete, Hinterladerkanonen auf. Dem Minenarchäologen Dieter Noli war daher sofort klar, dass es sich hierbei um die „Reste“ eines frühneuzeitlichen Schiffswracks aus Europa handelte. Noch am ersten Tag fiel Noli der Dreizack mit Kreis, die Handelsmarke der Fugger auf den Halbgossenkugeln auf (Knabe & Noli, 2012).

Schnell jedoch stellte sich heraus, dass es sich nicht um verlorene Fracht, sondern um ein vollständiges Schiffswrack handelte. Das älteste, das jemals südlich der Sahara aufgefunden worden war.

Nach und nach konnte beinahe die gesamte Fracht geborgen werden: Kupferhalbgossenkugeln, Eisenbarren, Zinnober, Zinnbarren, Nürnberger Tand (alles mögliche Messinggerät), Korallen, Pech, Knochen von Pferden und evtl. Hunden, Textilien, Elfenbein und vieles mehr (Knabe & Noli, 2012).

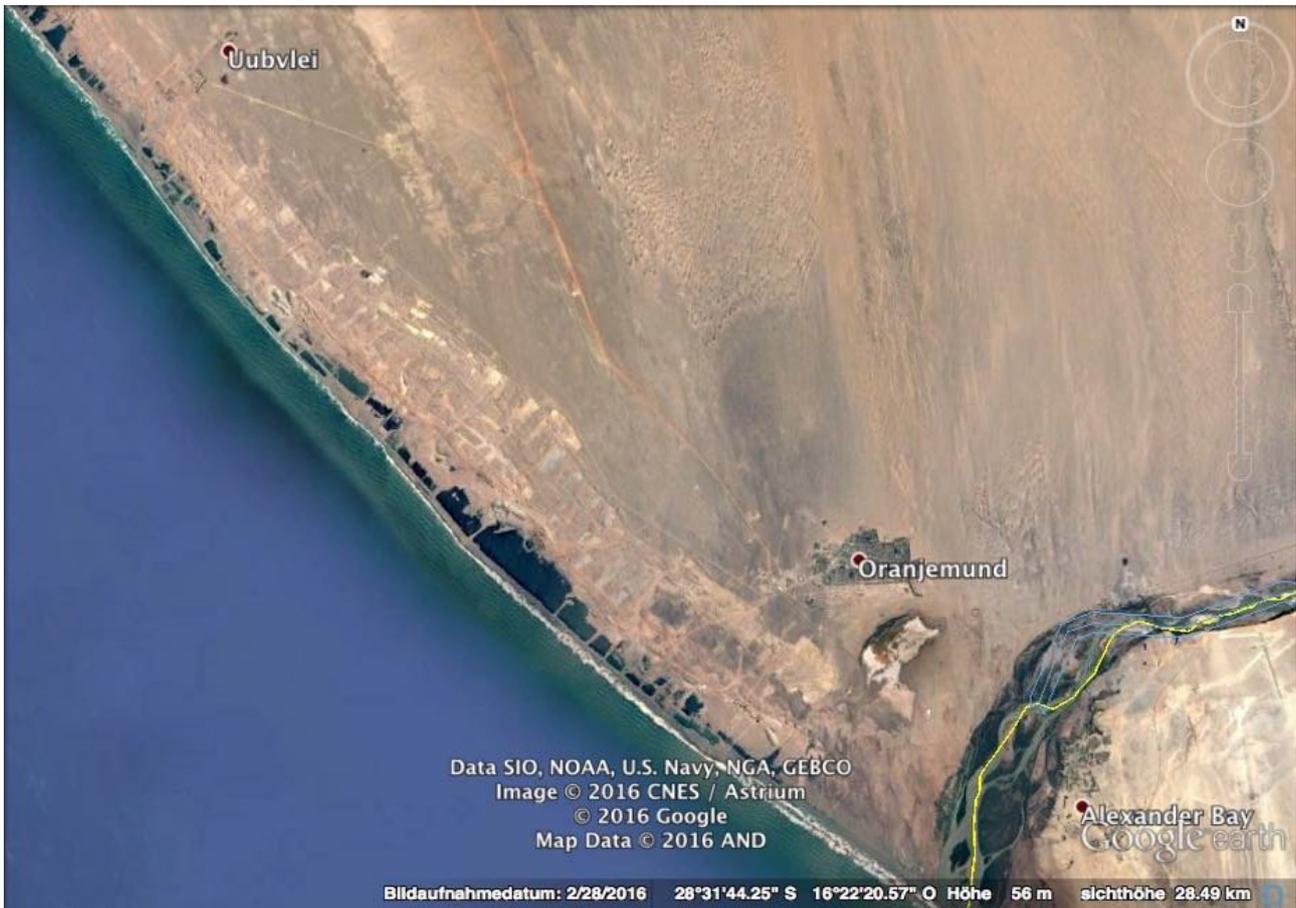


Abb. 3.45 Fundort des Indiensegler Bom Jesus vor der Küste Namibias nahe Oranjemund an der Grenze zu Südafrika (gelbe Linie). Die rechteckig anmutenden Flächen direkt an der Küste entstammen der Gewinnung von Diamanten. Hierbei wird ein Damm aufgeschüttet und ein Teil des Meeresbodens trockengelegt. In einem der trockengelegten Bereiche wurde das Wrack der Bom Jesus geborgen (Google Earth).

Für diese Arbeit sind gleich drei Fabrikate von Interesse: Die Halbگossenkugeln, die Blei- und die Zinnbarren. Die Halbگossenkugeln wurden bereits hinreichend untersucht und sind bei Hauptmann et al. (2016) publiziert. Diese schreiben, dass die Halbگossenkugeln 15-18cm im Durchmesser und 7-10cm hoch sind. Sie wiegen 5-12kg. Die Gesamtladung an Halbگossenkugeln wird auf 16-17t geschätzt.

Die Bleibarren liegen in der Form von unregelmässigen Blöcken vor (**Abb. 3.46**). Manche sind trapezförmig, andere eckig. Sie sind mit kreuzförmigen Ritzungen, manchmal auch mit einem Stempel, der ein übereinander liegendes V über einem W zeigt, versehen. Andere tragen ein Zeichen, dass von Peter Geffcken als mögliche Hausmarke der englischen Höchstätter identifiziert worden ist (Knabe & Noli, 2012).

Es sind 11 Bleibarren beprobt worden (10.4.2: 3560_18 - 3570_18).

Die Überlegungen hinsichtlich des Ursprungs des Bleis sind von Westermann (2013) entschieden abgelehnt worden. Die Herkunft der Bleiblöcke bleibt ungeklärt. M. Kalus hat aufgrund der Beschaffenheit der Bleiblöcke vorgeschlagen, diese eher als Ballast denn als Barren anzusprechen (Pers. Mitteilung Juni 2020).



Abb. 3.46 Bleiblöcke der Bom Jesus bei Oranjemund, Namibia. Beachte deren unregelmässige Form. Foto: Andreas Hauptmann.

Das Zinn liegt in der Form von flachen Bändern vor, die manchmal gefaltet worden sind. Ihre Maße sind nicht einheitlich: Sie sind ca. 8-50cm lang, ca. 3cm breit und ca. 0,5cm dick (**Abb. 3.47**). Die Oberfläche der Bänder ist auffallend blasig. Die Bänder tragen weder Stempel noch Markierungen, ihre Herkunft ist demnach ungeklärt.



Abb. 3.47 Zinnbarren in Bandform im Lager von Oranjemund, Namibia. Foto: Andreas Hauptmann

Bei Knabe & Noli (2012) wird vorsichtig auf eine Herkunft aus dem Erzgebirge spekuliert, da dieses angeblich besonders gute Qualität lieferte. Nach dem Fund von Zinn bei Texel (siehe Kap. 3.11) zu urteilen, hatte das Zinn aus dem Erzgebirge jedoch andere Gestalt.

Von den Zinnbarren sind 26 Exemplare beprobt worden (Katalog 10.3.1: 3571_18 - 3602_18)

Zusätzlich soll es auf der Bom Jesus noch Manillen gegeben haben, diese konnten jedoch nicht beprobt werden. Der bei Knabe & Noli (2012) als Manille beschriebene Metallreif, ist nach Denk (2017) definitiv nicht als Manille anzusprechen.

3.22 Caldeira, Mozambique

Der letzte hier untersuchte Fundort befindet sich an der Ostküste Afrikas in der Straße von Mozambique an der Südküste der Insel Caldeira (**Abb. 3.48**).



Abb. 3.48 Der Fundort der Halbgossenkugeln und Bleibarren vor der Küste der Insel Caldeira in der Straße von Mozambique (Google Earth).

Der Fund ist bislang nicht publiziert worden. Alle Informationen stammen aus den unpublizierten Schriften von A. Mirabal und T. Arnold, die kürzlich eine zusammenfassenden Text der Fundgeschichte und der Beschreibung bzw. Deutung der Funde verfasst haben (Mirabal & Arnold, 2019).

Nach den Autoren handelt es sich beim Fundort um eine seit langer Zeit von Fischern bekannte und stark geplünderte Stelle: Einige Hinterlader-Kanonen wurden nachweislich hier an die Wasseroberfläche gebracht, bevor Mirabal and Arnold ihre Arbeit aufgenommen hatten.

Diese fanden bei eigenen Untersuchung an der Fundstelle der Kanonen die Schiffsanker, einige bootförmige ca. 60cm messende Bleibarren, Schiffsausrüstung, Ballaststeine und einige Meter entfernt 135 Halbgossenkugeln aus Kupfer (**Abb. 3.49**).

Eine der Halbgossenkugeln wurde von den Autoren beprobt und in das Deutsche Bergbaumuseum geschickt, sie wird hier mit aufgenommen (4142_13).

Nach Mirabal und Arnold haben die Halbgossenkugeln ähnliche Abmessungen wie jene der Bom Jesus und daher auch ähnliche Gewichte (5-8kg). Sie tragen ebenfalls den Dreizack mit dem Kreis, den Stempel der Fugger.

Offenbar liegen hier zwei Typen Halbgossenkugeln vor: Ein etwas kleineres Fabrikat mit 15cm Durchmesser und 7cm Höhe welches 4-5kg wiegt und ein größeres und schweres Fabrikat welches im Mittel 6-7kg wiegt. Die kleinere Variante hat damit große Ähnlichkeiten mit jenen vor Terschelling gefundenen Barren (vgl. Kap. 3.9), während die größeren Halbkugeln möglicherweise eher dem Mittel der Oranjemund-Halbgossenkugeln entsprechen.



Abb. 3.49 Halbgossenkugeln von Caldeira, Mozambique. Offenbar haben diese verschiedene Größen: Oben eine größere Halbkugel, rechts oben eine kleinere (nach Mirabal & Arnold, 2019).

4 Die im Untersuchungszeitraum relevanten Bergbaureviere

Werner (1976) fasst zusammen, dass, nachdem spätestens im frühen Mittelalter die oberflächennahen Sekundärerze vollständig aufgebraucht waren, sich der Bergbau und das Hüttenwesen dazu gezwungen sahen, die tiefer liegenden, wesentlich komplexeren, sulfidischen Primärerze abzubauen und zu verhütten.

Diese sowohl bergbauliche als auch metallurgische Herausforderung wird durch die quantitativ auf vorindustrielle Produktionsmaßstäbe gestiegenen Anforderungen der Renaissance-Ära weiter befeuert.

Zwar erlaubten neu entwickelte Schmelzprozesse (s.o. Kapitel 2.3) die Gewinnung von Metallen aus komplexeren Erzen, doch stieg die Nachfrage im Zuge des sich globalisierenden Handels mit solchen enorm an (vgl. Kapitel 2.2).

Diese maßgeblichen und außerdem weitere, sozio-ökonomische Faktoren (Bingener et al., 2012), sorgten letztendlich dafür, dass sich der europäische Bergbau auf Kupfer, Blei, Zinn und Galmei auf wenige Bergbaureviere mit großer Erzreserve konzentrierte. Dabei entwickelten sich leistungsfähige Bergbaureviere, die vom Bergbau bis zur Verarbeitung des Kupfers zu Halbfabrikaten in Hammerwerken, industriellen Charakter aufwiesen.

Dieses Kapitel ist auf keinen Fall als vollständige Aufzählung europäischer Buntmetallvorkommen zu verstehen, sondern als eine Beschreibung jener Reviere, welche die globale Nachfrage nach Metallen haben decken können (**Abb. 4.1**).

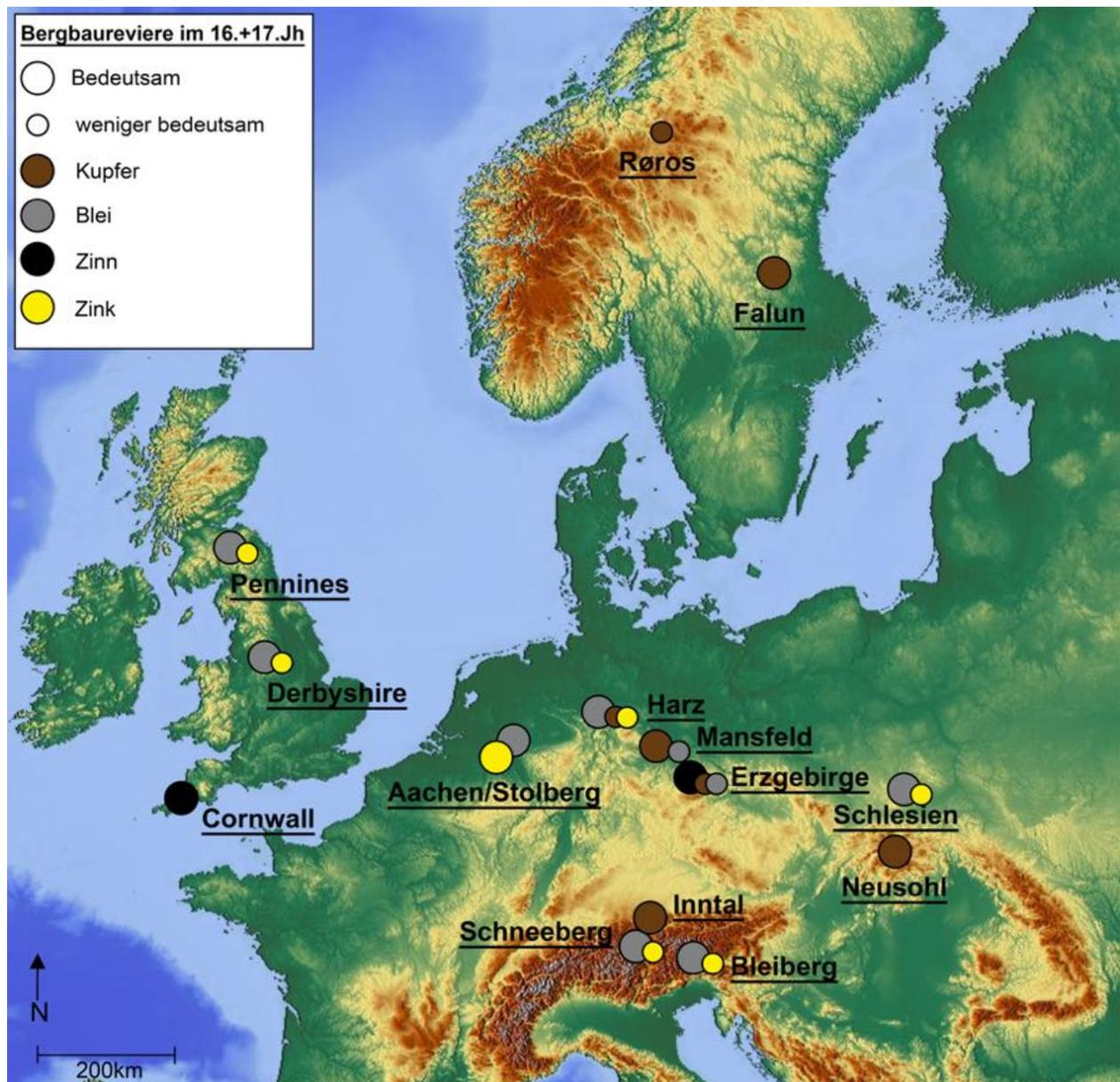


Abb. 4.1 Die im Untersuchungszeitraum relevanten Bergbaureviere und die dort gewonnenen Erze. Es wird deutlich, dass nur vier Reviere (Inntal, Neusohl, Mansfeld, Falun) den Großteil der Kupferproduktion übernahmen. Blei dagegen, war an vielen Lokalitäten in abbauwürdigen Mengen vorhanden. Eine Zinnindustrie entwickelte sich nur an zwei Orten: Dem Erzgebirge und in Cornwall. Zinkhaltige Erze konnten zwar an vielen Lokalitäten gewonnen werden, doch lag die einzig bedeutende Galmei-Bergbauregion um Aachen-Stolberg, da hier Zinkkarbonat das Haupterz war.

4.1 Deutschland

4.1.1 Der Harz und das südliche Harzvorland

Der Harz und das südliche Harzvorland blicken auf einen zum Teil mehr als 1000-jährigen Bergbau auf Kupfer, Blei, Silber und Zink zurück. Vor gerade einmal ca. 30 Jahren schlossen die letzten Bergwerke (Bsp. Rammelsberg, Schließung: 1988), scheinen aber heute wieder von wirtschaftlichem Interesse zu sein (Liedtke & Vasters, 2008).

Während im Harz im Untersuchungszeitraum Silber und Blei die Hauptprodukte waren, dominierte im südlichen Harzvorland, der Region um Hettstedt, Eisleben, Mansfeld und Sangerhausen schon

ab ca. 1200 der Kupferschieferbergbau. Diese großräumlichen Lokalitäten sind für den Untersuchungszeitraum beide von großer Relevanz und müssen getrennt voneinander betrachtet werden.

4.1.1.1 Gänge und Vererzungen im Harz

Der Harz ist geologisch der Variszischen Orogenese, einer Gebirgsbildung im Spätpaläozoikum vor etwa 400 Mio. Jahren (Ma), genauer der Rhenoharzynischen Zone zuzuordnen. Nach der variszischen Faltung vor rund 290Ma führte die Intrusion eines granitischen Magmas zur Bildung der bekannten Massive Brocken, Ramberg und Oker (Mohr, 1993). Mohr gliedert die Mineralisationen in sieben geographische Provinzen, von denen jedoch nur zwei hier relevant sind, nämlich die Ober- und Mittelharzer Gangmineralisationen und der Rammelsberg bei Goslar (**Abb. 4.2**).

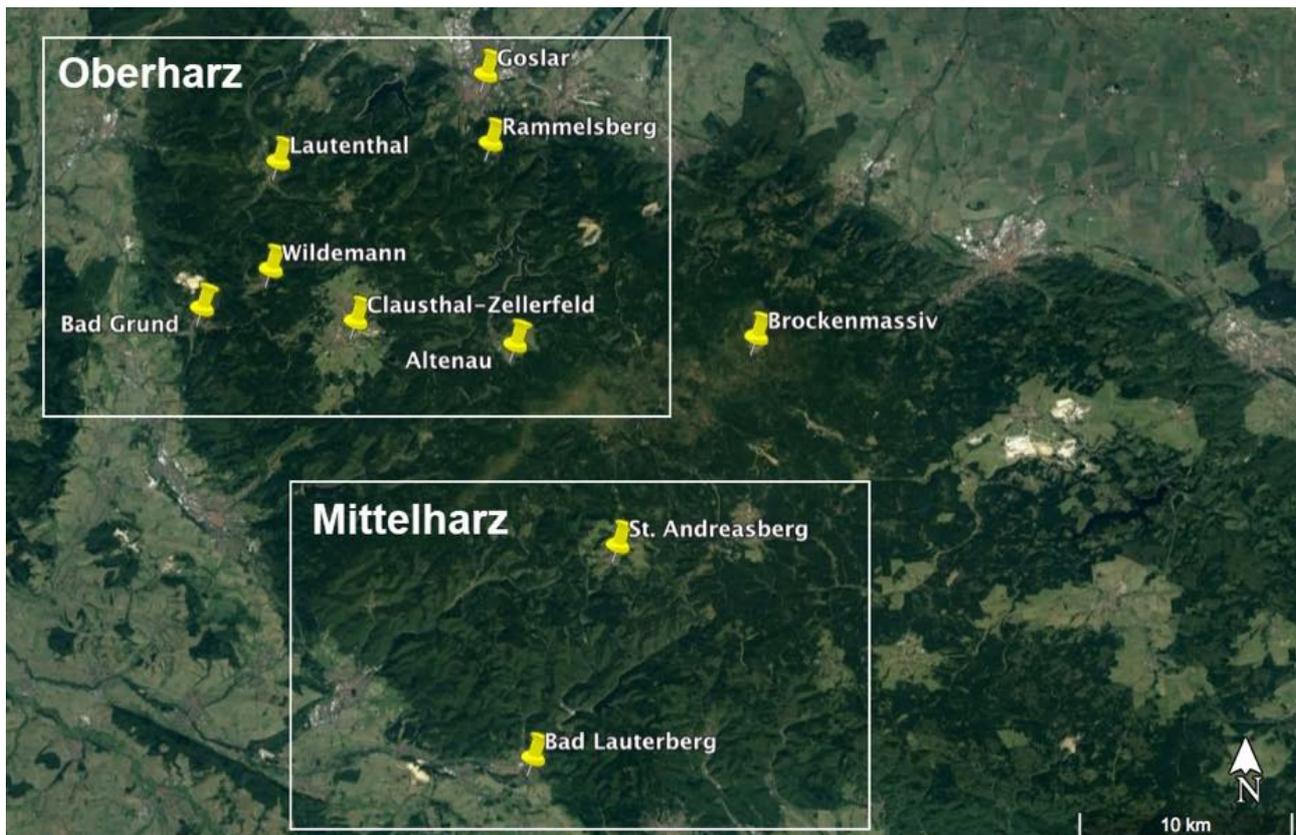


Abb. 4.2 Die wichtigsten Bergstädte des 16. Jh. im Harz. Die beiden Rechtecke kennzeichnen die Position der Gangkarten **Abb. 4.3** und **Abb. 4.4** (Google Earth).

Lange Zeit ist man davon ausgegangen, dass die hydrothermalen Gangmineralisationen im Ober- und Mittelharz genetisch an den Oker-Granit (s.o.) gebunden seien, also etwa gleichen Alters sein müssten (Richter, 1941; Sperling, 1973). Anfang der 90er Jahre konnten jedoch Leveque und Haack (1993) mittels Bleisotopenanalytik das Alter zahlreicher hydrothermalen Gänge bestimmen: Sie stammen aus dem Jura, sind alle etwa 180Ma alt und haben demnach keine genetische Verbindung zum umliegenden Granit.

Mengenmässig wird vermutet, dass die Gangmineralisationen des Oberharzes (**Abb. 4.3**) zusammen etwa 2 Mio. t Blei, 1,5 Mio. t Zink und 5000t Silber seit der Wende des 15. zum 16. Jh produziert haben, wobei die Lagerstätte „Hilfe Gottes“ bei Bad Grund, die bis 1992 abgebaut worden ist, etwa die Hälfte der genannten Mengen allein ausmachen soll (Slotta et al., 1987). Die grobkristalline polymetallische Erzführung umfasste vor allem silberhaltigen

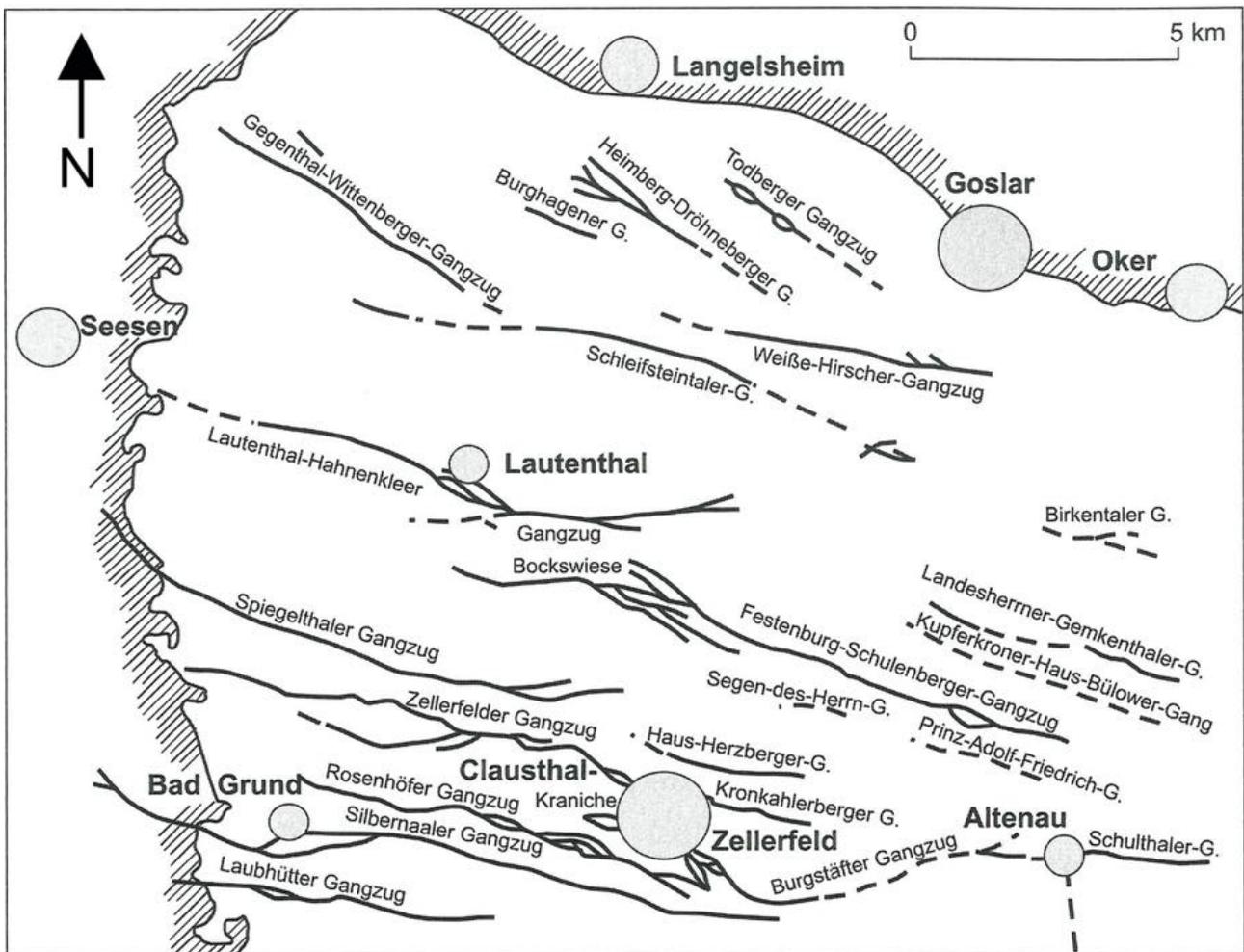


Abb. 4.3 Karte der Gänge im Oberharz mit den größeren Ortschaften Goslar und Clausthal-Zellerfeld zur Orientierung. Die vielen km-langen Pb-Zn Gänge mit grober W-O Orientierung sind charakteristisch für den Erzreichtum des Oberharzes (nach Hinze, 1976).

Bleiglanz und Sphalerit, aber auch geringere Vorkommen von Chalkopyrit und Fahlerz (v.a. Tetrahedrit) in einer Gangart aus Quarz, Karbonat und Baryt (Buschendorf et al., 1971; Kulke, 1997).

Auch im Mittelharz, z.B. bei Bad Lauterberg und St. Andreasberg (**Abb. 4.4**) sind diese Art hydrothermale Gänge zu finden, waren aber mit ca. 300t Silber und 12.500t Blei weniger ergiebig als jene des Oberharzes (Mohr, 1993). Auch der unten besprochene (Kap. 4.1.1.2) Kupferschiefer wurde hier in geringem Maße abgebaut (Mohr, 1993; Frotzcher, 2012).

Im Zuge der Bergbauaktivitäten entwickelten sich, neben dem schon im frühen Mittelalter etablierten Goslar, im 16. Jahrhundert sieben Bergstädte: Clausthal, Zellerfeld, St. Andreasberg, Altenau, Lautenthal, Grund und Wildemann (**Abb. 4.2**) die auf den Abbau der silberhaltigen Erze ausgerichtet waren und deren Entwicklung bei Bingener et al. (2012) ausführlich besprochen wird.

Die weitaus bedeutendste Lagerstätte im Harz bildet der südlich von Goslar gelegene Rammelsberg. Beim Rammelsberg handelt es sich um eine stratiforme, also schichtgebundene Lagerstätte die sich rund 200Ma vor den Gängen im Harz auf dem Grund des Ozeans im Devon gebildet hat (380Ma) (Liessmann, 2010). Damit gehört sie zu den sog. sedimentär exhalativen (SEDEX) Lagerstätten.

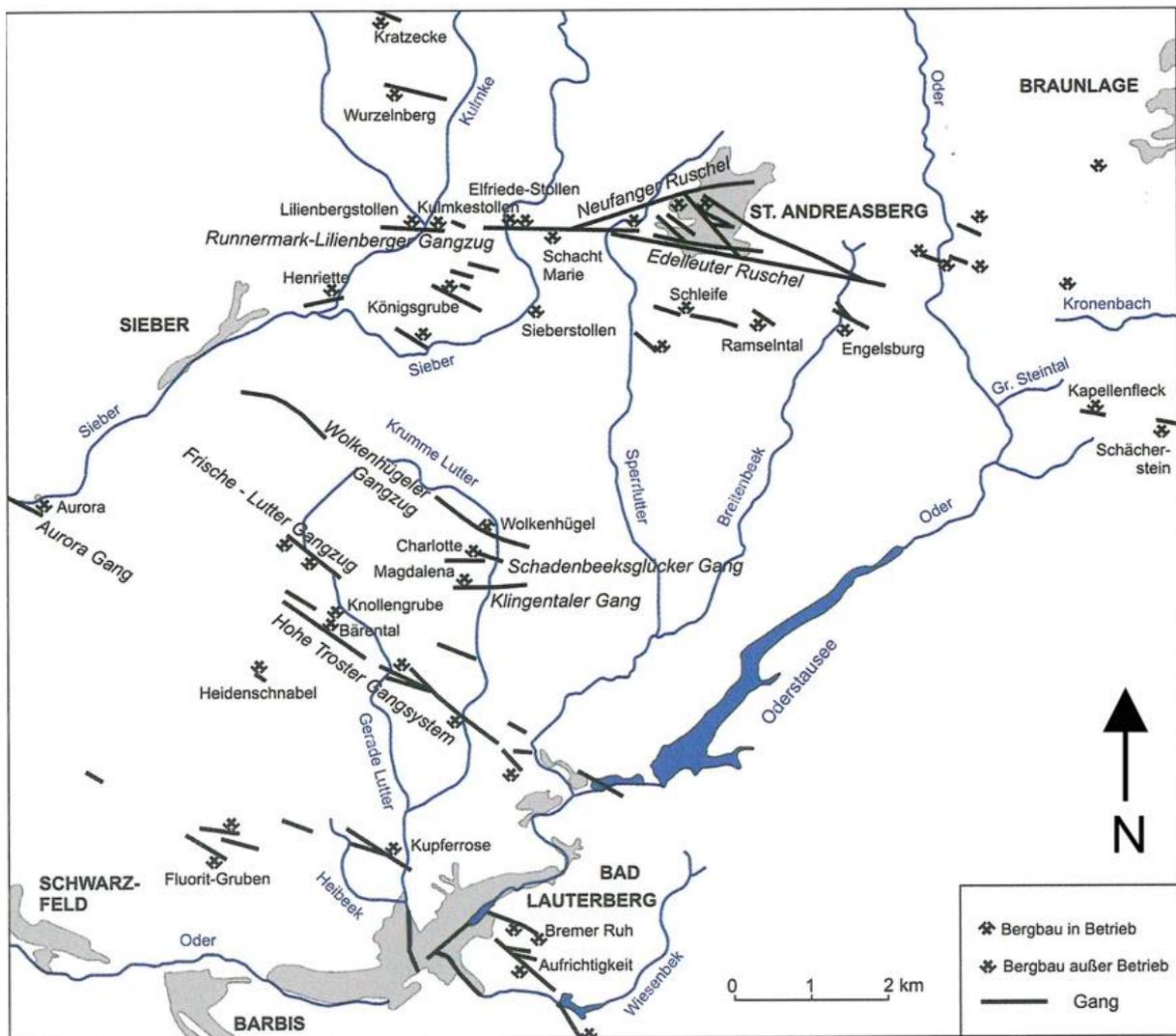


Abb. 4.4 Karte der Gänge im Mittelharz. Auffällig sind die deutlich geringeren Dimensionen sowohl der Anzahl der Gänge als auch hinsichtlich ihrer Ausdehnung (beachte Maßstab) im Vergleich zum Oberharz. Dies geht einher mit den produzierten Mengen (nach Heberling & Stoppel, 1988).

Der Rammelsberg verfügte über eine riesige Erzreserve und wird mit einer geschätzten Förderung von 27-30 Mio t feinkristallinem polymetallischem Erz mit 14% Zn, 6% Pb, 1% Cu und 120ppm Ag (Walcher, 1987) zu eine der reichsten Lagerstätten der Welt gezählt. Walther (1986) gibt an, dass im Zeitraum 1460-1648 ca. 6,2 Mio t Erz gefördert worden seien. Diese großen Mengen stammen aus dem sog. „Alten Lager“ welches zusammen mit dem „Neuen Lager“ die beiden Hauptzonen innerhalb des Rammelsberges darstellt (Sperling und Walcher, 1990) (**Abb. 4.5**). Das feinkristalline Erz im Rammelsberg enthielt im „Alten Lager“ nach Kraume (1955) neben Spahlerit, Bleiglanz, Chalkopyrit auch Tetrahedrit und eine Reihe anderer Minerale.

Asmus (2012) und Bartels et al. (2007) vermuten, dass die Chalkopyritvorkommen im sog. kiesigen Erz (Cu-Erze+Pyrit+Sphalerit) bis zum Ende des 14. Jahrhunderts vollständig abgebaut worden sind. Auch Larzarus Ercker (1968) beschrieb bereits 1565 den Kupferbergbau im Rammelsberg als unwirtschaftlich, da das Erz auf Kupfer schwer zu verhütten gewesen sei. Asmus (2012) vermutet, dass dies weniger an Erckers metallurgischen Fähigkeiten, sondern mehr an den bergbaulich erreichbaren Zonen innerhalb der Lagerstätte lag. Um an das Kupfer zu gelangen schloss die nahe des Rammelsbergs gelegene Stadt Goslar sogar einen Vertrag mit dem Krakauer Johann Thurzo ab (Bingener et al., 2012), doch konnten die mittelalterlichen Stollen erst Ende des 16. Jahrhunderts trockengelegt werden (Bartels, 2004).

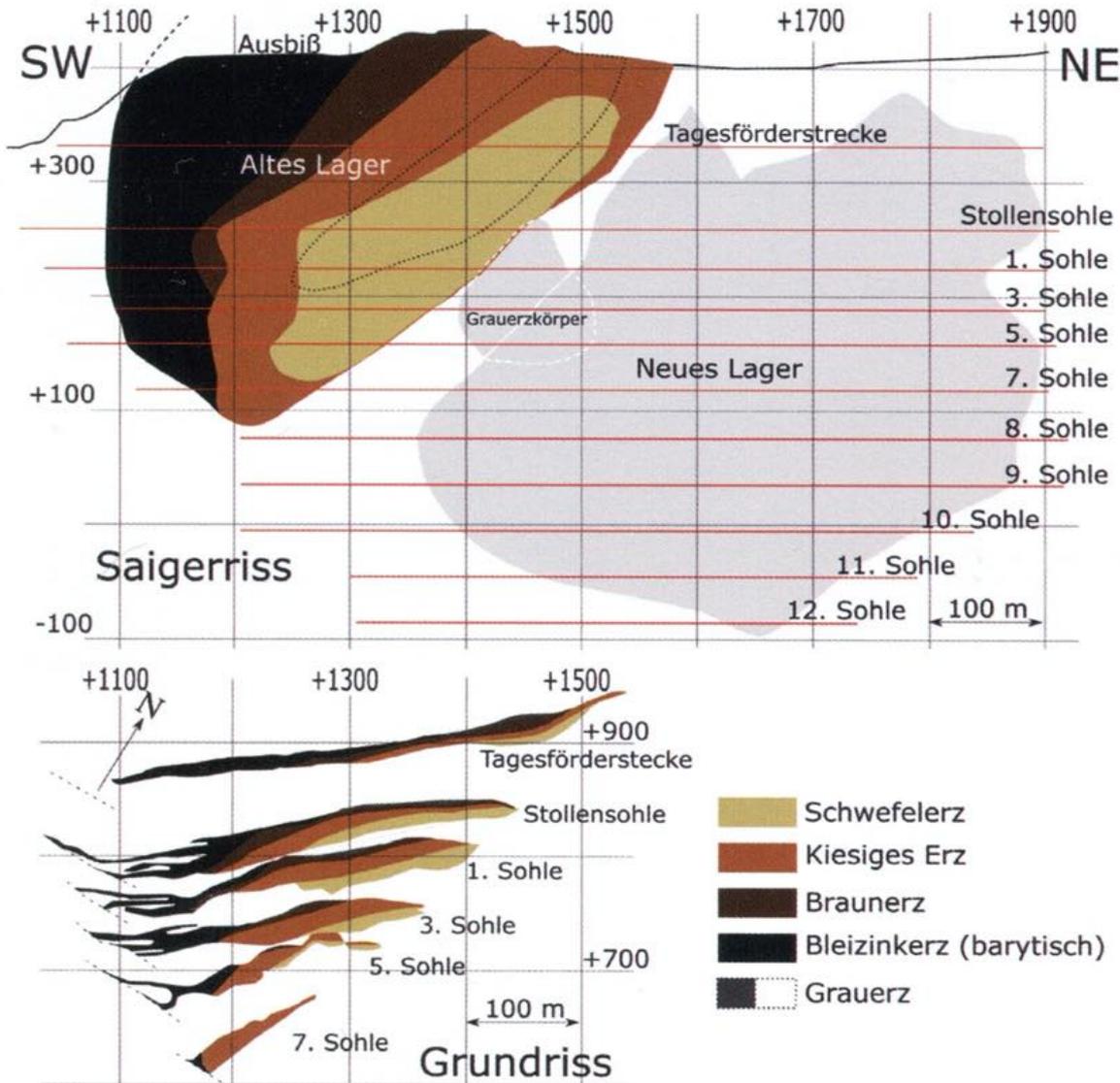


Abb. 4.5 Saiger- und Grundriss des Rammelsberges bei Goslar. Die Vorkommen aus dem „Neuen Lager“ sind hier nicht relevant. Chalkopyrit fand sich vor allem im „Kiesigen Erz“ welches stark zoniert in der Lagerstätte vorhanden war (verändert nach Asmus, 2012).

Die Stadt Goslar war schon im früheren Mittelalter für den Handel mit Harz-Metallen bekannt und ihre Rolle ist ausführlich beschrieben worden (z.B. Bingener, 1998; Klappauf, 2002). Es ist den polymetallischen Erzen des Harzes zu verdanken, dass Goslar auch nach der oben beschriebenen Problematik des Kupferbergbaus, im Untersuchungszeitraum seine Stellung auf dem Weltmarkt halten konnte. Dafür sorgten weiterhin das Silber, und nicht zuletzt das für die vielen Saigerhütten in Thüringen so wichtige Blei, das nach wie vor aus den genannten Quellen gefördert werden konnte.

4.1.1.2 Der Kupferschieferbergbau im südlichen Harzvorland

Die Grafschaft Mansfeld (**Abb. 4.6**) gehört, neben dem slowakischen Neusohl (Banská Bystrica) und Schwaz in Tirol (s.u.), zu den bedeutendsten Kupferproduzenten im Untersuchungszeitraum. Westermann (1986) weist darauf hin, dass diese drei Reviere etwa 80-90% der gesamten europäischen Kupfererzeugung im 16. Jh. ausmachten. Im Gegensatz zu den anderen beiden Revieren hielt sich der Abbau des Kupferschiefers im südlichen Harzvorland jedoch bis in die 90er

Jahre des 20. Jahrhunderts (Mansfeld bis 1969, Sangerhausen bis 1990) (Knitzschke und Spilker, 2003).

Diese ca. 800 Jahre umfassende Bergbaugeschichte ist ein Hinweis auf die gewaltige Dimension der Lagerstätte, aus der in der Gesamtbergbautätigkeit etwa 109 Mio. t Erz entnommen worden sind (Langelüttich et al., 1999). Damit bildet das Bergbaurevier Mansfeld-Sangerhausen die bedeutendste Kupfer- und Silberlagerstätte Deutschlands (Jahn, 2016).



Abb. 4.6 Karte des südlichen Harzvorlandes mit den wichtigen Lokalitäten Hettstedt, Mansfeld und Eisleben. Der historische Bergbau fand vor allem im Mansfelder Land statt, der Bergbau bei Sangerhausen erreichte erst in der zweiten Hälfte des 20. Jh. die Dimensionen Mansfelds (verändert nach Stedingk & Rappsilber, 2000).

Die zugrunde liegende Mineralisation, der sog. Kupferschiefer ist ein auf über 600.000km² von England bis in das östliche Polen, verbreiteter bituminöser Tonmergel, an der Basis des sich im Perm gebildeten Zechsteinmeeres. Allerdings sind höhere Metallkonzentrationen im deutschen Kupferschiefer nur am Südrand des Zechsteinbeckens, in einem bis zu 150km breiten Streifen, präsent (Knitzschke, 1999).

Die Genese der Vererzung ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Derzeit wird ein mehrstufiger Prozess diskutiert. Borg (2017) schlägt eine zweiphasige, epigenetische Ausfällung vor 150 bzw. 53Ma vor, da die Kupfergehalte nicht homogen sind, sondern punktuell erhöht auftreten.

Doch scheinen auch allgemeine syn- und diagenetische Vorgänge zur Metallmobilisationen innerhalb des Kupferschiefers beigetragen zu haben (Wedepohl & Rentzsch, 2006).

Die wichtigsten Minerale innerhalb des Kupferschiefers sind Chalkosin, Bornit, Chalkopyrit, Tennantit, Galenit und Sphalerit, zusätzlich Pyrit und Markasit (Rentzsch et al., 1997). Auffallend sind die sehr niedrigen Wismut- (2-3ppm) und Antimonergehalte (bis 67ppm) des Kupferschiefers

(Knitzschke, 1999). Der Kupfergehalt kann zwischen 20ppm und 20-Gew.-% schwanken, beträgt durchschnittlich aber etwa 3% (Knitzschke, 1999; Langelüttich et al., 1999). Der Silbergehalt schwankt zwischen 2 und 1800ppm.

Damit berechnen Langelüttich et al. (1999), dass im Zeitraum 1200-1699 in Mansfeld und Sangerhausen insgesamt bereits 205.000t Kupfer und 1.025t Silber gefördert worden sind. In der ersten Hälfte des 16.Jh. lag die jährliche Produktion ständig über 1.000t (**Abb. 4.34**).

Westermann (1971) hat, exemplarisch für das Eislebener Kupfer, die große Verbreitung von Metallen aus dem Mansfelder Raum aufgezeigt. Im 16. Jahrhundert ging der Großteil des erzeugten Kupfers vor allem in den Raum Aachen-Stolberg, wo es den Ruf des besten verfügbaren Kupfers hatte und zu Messing weiter verarbeitet wurde (Peltzer, 1908). Genauere Angaben über den Verbleib und Handel mit dem Mansfelder Kupfer sind u.a. bei Möllenberg (1911) und neuerdings Fessner (2015) beschrieben.

4.1.2 Das Erzgebirge

Das böhmisch-sächsisches Erzgebirge im äußersten Osten Deutschlands hat seinen Namen erst durch den großen Reichtum an unterschiedlichen Mineralisationen erhalten. Vor dem 16. Jahrhundert trug das Gebirge den Namen „Miriquidi“ was schlicht soviel wie „Waldgebirge“ bedeutete (Baumann et al., 2000).

Dieser Umstand ist bezeichnend für sowohl die komplexe Geologie als auch die vielen hundert Gruben des Gebirgszuges. Silber und Zinn waren die bereits im Mittelalter, eventuell auch schon in der Antike (z.B. Taylor, 1983; Penhallurick, 1986), abgebauten Hauptprodukte des Erzgebirges. Kupfer war von untergeordneter Bedeutung, wurde jedoch als Nebenprodukt z.T. sogar in der gleichen Grube (z.B. Grube „Gottesberg“ bei Eibenstock) (**Abb. 4.7**) ebenfalls abgebaut (Bartelheim & Niederschlag, 1998).

Der Bergbau im Erzgebirge lässt sich nach Baumann et al. (2000) geographisch in drei Teilbereiche gliedern (**Abb. 4.7**):

- Das Osterzgebirge mit den Revieren um Freiberg, Dippoldiswalde, Altenberg und Zinnwald.
- Das Mittelerzgebirge um Marienberg-Wolkenstein, Seiffen und Annaberg
- Das Westerbirge-Vogtland mit den Gruben um Schneeberg, Joachimsthal, Eibenstock, Gottesgab und Oelsnitz.

Die Städte Schneeberg, Annaberg, Marienberg und Joachimsthal erfuhren im 16.Jh. ihre Blütezeit (Wagenbreth et al., 1990) und sind daher hier von besonderer Bedeutung.

Ebenso wie der Harz ist das Erzgebirge Teil des variszischen Gebirgsbogens Mitteleuropas. Auch die als „Pultscholle“, also steil einfallende Hebung, bezeichnete Form des Gebirges ist mit jener des Harzes vergleichbar (Kulke, 1997).

Die Mineralisationen im Erzgebirge entstammen jedoch nicht alle der variszischen Vererzungsepoche, sondern es treten sowohl solche aus dem Oberproterozoikum (900-590Ma) und Ordovizium (500-440Ma), als auch postvariszische auf (Baumann et al., 2000). Zinn und Kupfer sind hier vor allem prä- und spätvariszisch mobilisiert worden (Baumann et al., 2000).

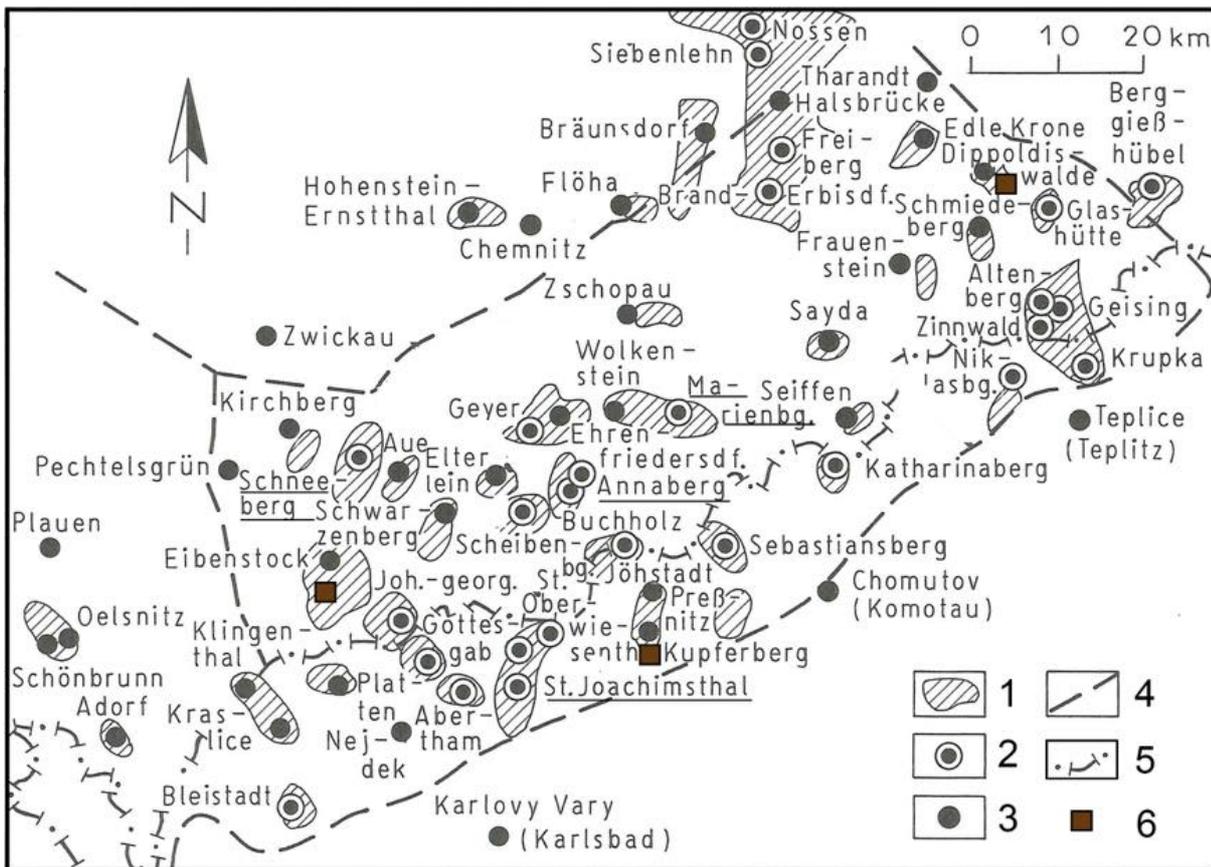


Abb. 4.7 Der Bergbau im Erzgebirge. Beinahe das gesamte Gebiet ist gespickt mit Gruben in denen vor allem Zinn gewonnen worden ist. Beachte auch den Kupfererzbergbau bei Eibenstock, Kupferberg und Dippoldiswalde. 1: Erzbergbauggebiete 2: Bergbaugründungsorte 3: Berg und Handelsstädte 4: Gebietsgrenze Erzgebirge 5: Heutige Deutsch-Tschechische Grenze 6: Nachgewiesener Kupfererzbergbau. Unterstrichen sind jene Orte die im 16. Jh. einen Aufschwung erfuhren (verändert nach Baumann et al., 2000).

Die primären Zinnerzlagerstätten stehen vermutlich im genetischen Zusammenhang mit den Graniten und treten sowohl in Gängen als auch in Stöcken und Imprägnationszonen auf, wobei letztere im Kontext mit umgewandelten Graniten (sog. Greisen) stehen und u.a. sehr feinkörnige (mm-Bereich) Zinn-Wolfram Formationen bilden können wie z.B. den „Altenberger Zwitterstock“ (Bartelheim & Niederschlag, 1998). Die Gangvererzungen hingegen, die sich während der Spaltenbildung durch eindringende Fluide bildeten, zeigen weitaus komplexere Paragenesen aus z.B. Chalkopyrit-Bornit-Chalkosin (z.B. Gottesberg, bei Eibenstock) oder Sphalerit-Chalkopyrit-Stannin und Bornit-Chalkosin-Fahlerze (z.B. Seiffen) (Baumann et al., 2000).

Die Gänge bei Freiberg, Marienberg und Annaberg enthalten nach Baumann et al. (2000) ebenfalls polymetallische Paragenesen (z.B. Zn-Sn-Cu-Sulfid Paragenese). Da Zinnstein (Kassiterit, SnO_2) relativ verwitterungsresistent ist, können sich durch Anreicherungen auch immer sog. Sekundärlagerstätten bilden (sog. Seifen). Diese sind im Erzgebirge großräumig vertreten so z.B. auch um den gleichnamigen Ort „Seiffen“ (Wagenbreth et al., 1990).

Prävariszische Mineralisationen liegen im Erzgebirge z.T. als schichtgebundene Erzlager bei Annaberg, Kupferberg (Medenec) oder Graslitz (Kraslice) vor (Niederschlag et al., 2003). Baumann et al. (2000) beschreiben eine Pyrit-Pyrrhotin-Polymetall Mineralisation und eine Sphalerit-Galenit-Antimonit Paragenese. Antimonreiche Erze scheinen hier von besonderer Bedeutung. Eine von Niederschlag et al. (2003) untersuchte Erzprobe aus Kupferberg der Paragenese Chalkopyrit, Arsenopyrit und Pyrit enthält 1,4 Gew.-% Antimon.

Hinsichtlich der gewonnenen Mengen an Kupfer und Zinn gibt es nur wenige, genaue Produktionszahlen. Niederschlag et al. (2003) geben für den Zeitraum zwischen dem 12. und 20. Jh. eine geschätzte Produktionsmenge von 5.000 bis 10.000t Kupfer und 350.000t Zinn an. Speziell für den Zeitraum 1531 bis 1618 gibt Müller (1901) folgende Produktionszahlen an: 1750t Kupfer, 70t Silber und 56.000t Blei, wobei das Silber zu einem geringen Teil direkt aus den Kupfererzen gewonnen worden ist, der Rest aus den Bleierzen stammt.

Bei Bartelheim & Niederschlag (1998) sind die spärlichen, urkundlich erwähnten Fördermengen für einzelne Gruben aufgeführt. So gewann man allein aus der Grube „Vereinigt Feld im Zwitterstock zu Altenberg“ um 1470 etwa 800t Zinn. Stahl (1991) spricht von ca. 58.000t zwischen 1400-1500. Die Schmelzoperationen, der Bergbau und die Aufbereitung der Erze sind beispiellos vom Chronisten Georg Agricola (1556) beschrieben, der in Annaberg lebte.

4.1.3 Der Raum Aachen-Stolberg und das Rheinland

Die Städtereion Aachen-Stolberg war im Untersuchungszeitraum und darüber hinaus bis ins 18. Jahrhundert das Weltzentrum der Messingproduktion (Peltzer, 1908). In den besten Jahren wurden hier 3000t Messing produziert, wodurch diese Region alle anderen Messingproduzenten in den Schatten stellte (Hachenberg, 1990). Die enormen Mengen an Galmei, einem feinkörnigem Gemenge aus Zinkspat und Kieselzinkerz, die für den Zementationsprozess zur Herstellung von Messing benötigt wurden, konnten aus den lokalen Blei-Zinkerz Lagerstätten des rheinischen Schiefergebirges gewonnen werden, während Kupfer importiert werden musste.

Das rheinische Schiefergebirge ist wie der Harz Teil des Rhenoherynikums der Variszischen Orogenese (s.o.). Dabei besteht das Gebirge zu einem Großteil aus sedimentären Gesteinen wie Riffkarbonaten aus der Zeit des Devons und unteren Karbons (Walter, 1995), die eine Mächtigkeit von 10km erreichen können (Meyer, 1986). Die zahlreichen Blei-Zink Ganglagerstätten werden von Krahn & Baumann (1995) zwei Phasen zugeordnet:

- eine tektonisch stark deformierte variszische Mineralisationsphase im späten Karbon
- eine post-variszische Mineralisationsphase durch hydrothermalen Fluidfluss im Mesozoikum

Dabei gehören die Blei-Zinkerzlagerstätten des Aachen-Stolberger Bezirkes der postvariszischen Phase an, andere wichtige Bleierzlagerstätten im Rheinland wie z.B. Mechernich, Bleialf und Rescheid können sowohl postvariszisch als auch variszischen Ursprungs sein.

Die wichtigsten Gruben in der Aachen-Stolberger Region waren das Grubenfeld Diepenlinchen, Bereiniger Berg, der Bleiberg, Schmalgraf-Eschbruch und der sehr ertragreiche Altenberg (La Calamine/Moresnet) bei Kelmis (Gussone 1964) (**Abb. 4.8**).

Diese Gruben sind intensiv von der RWTH Aachen (Gussone, 1964; Krahn, 1988; Redecke, 1992; Chatziliadou, 2009) untersucht worden. Demnach handelt es sich bei dem Großteil der Mineralisationen um die Phasen Zink- und Schalenblende, Bleiglanz, Markasit, Pyrit, Bornit und spärlich Vaesit, Fahlerz und Kupferkies in einer Gangart aus Calcit, Dolomit und Siderit. Der Altenberg hingegen lieferte weniger sulfidisches Erz, sondern Zinkspat und Kieselzinkerz, also reinen kieseligen und karbonatischen Galmei (Schmitz, 2018). Die Mächtigkeit der Gänge liegt nach Gussone (1964) zwischen 5cm und 1m z.T aber bis zu 5m, in der Albertsgrube bis zu 7m.

Hinsichtlich der geförderten Mengen gibt es aus dem Untersuchungszeitraum nur spärliche Aufzeichnungen die bei Peltzer (1908) diskutiert werden. Demnach wurden in Aachen in der Mitte des 16. Jh. jährlich durchschnittlich 1500t Messing aus 100 Öfen produziert, wobei sich die Zahl im 18. Jh. verdoppelte. Peltzer (1908) spricht auch über den Gewichtsverlust des Galmeis bei der Messingherstellung der etwa 30% betragen habe. Braun (1857) berechnete die Menge des geförderten Galmeis am Altenberg von 1350 bis 1850 auf bereits 1.000.000 t.

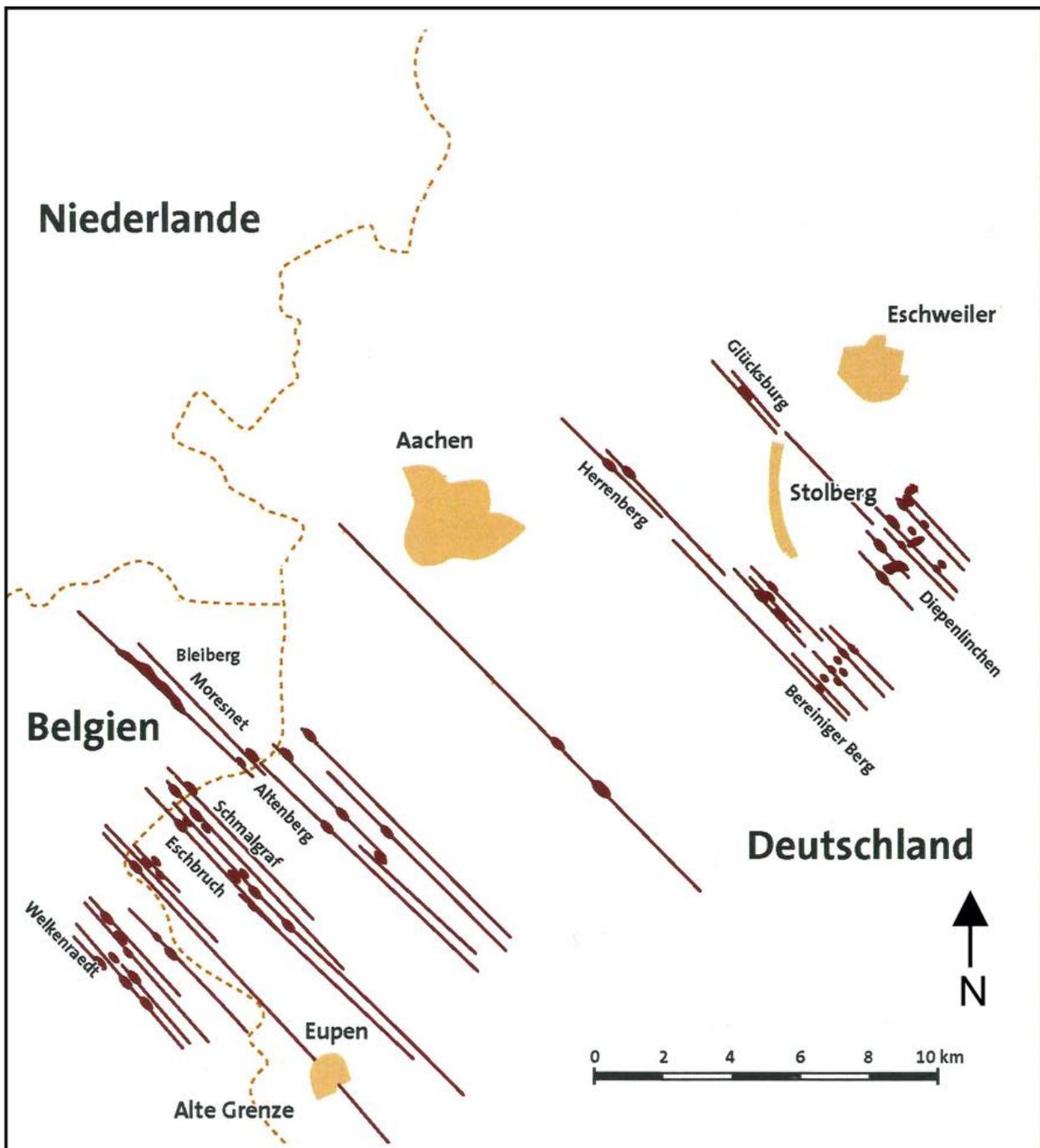


Abb. 4.8 Die vielen Blei-Zink Gangzüge (rote Linien) mit den jeweiligen Gruben (rote Felder) im Aachen-Stolberger Revier zwischen Eupen und Eschweiler. Der Altenberg im heutigen Belgien ist die größte Lagerstätte des Gebietes, jedoch gibt es auch nahe Stolberg eine Konzentration mehrerer Gruben (verändert nach Schneiderhöhn, 1941 und Schmitz, 2018).

DeJonghe (1998) hat die totalen Fördermengen im 19. und 20. Jahrhundert dargestellt. Allein aus dem Altenberg (La Calamine) (**Abb. 4.8**) wurden 1.900.000t reines Galmei gewonnen, der Anteil an Blei und Sphalerit war gering. Im Vergleich mit anderen Gruben zeigt sich, dass der Anteil der verschiedenen Minerale nicht homogen war und starken Schwankungen unterlag. So wurden am Bleiberg „nur“ 500t Galmei, dagegen 115.000t Blei gefördert. Zeitgenössische Urkunden legen dem Altenberger Galmei eine besondere Stellung bei der Messingherstellung bei (Peltzer, 1908). Dieser durfte nicht mit anderen vermischt werden, möglicherweise aufgrund seiner hohen Reinheit.

4.2 Österreich

4.2.1 Das Inntal

In einem ca. 20km langen Ost-West orientierten Streifen im unteren Inntal, liegen zwischen den Orten Schwaz und Brixlegg reiche Fahlerzvorkommen. Im Gegensatz zu den bereits behandelten Lokalitäten, hat es hier offenbar keine mittelalterliche Hochphase im Bergbau gegeben (Bingener et al., 2012). Eine bronzezeitliche Nutzung kann jedoch angenommen werden (Bartels et al., 2006). Zahlreiche Spuren von historischem und prähistorischem Bergbau sind bekannt (**Abb. 4.9**).

Die silberhaltigen Fahlerze, vornehmlich Tetraedrit (Antimonfahlerz) und Tennantit (Arsenfahlerz) sind im Schwazer Dolomit der nördlichen Grauwackenzone, zwischen Zentralalpen und Nördlichen Kalkalpen zu finden (Krismer & Tropper, 2013). Dabei handelt es sich um eine diagenetisch-hydrothermale Lagerstätte vom Mississippi-Valley-Typ (MVT). Das sind karbonatgebundene Lagerstätten welche typischerweise mit Blei-Zinkerzen assoziiert sind und deren massive Metallausscheidung häufig in Paläokarsthohlräume oder Störungszonen erfolgte. (Cerny, 1989).

Über die Genese der Erzlagerstätte wird noch diskutiert. Während Gstrein (1979) eine syngenetische Bildung, gleichzeitig zu der Ablagerung der Sedimente, vermutete, legen neuere Studien (Frimmel, 1991) eine epigenetisch-hydrothermale Bildung während der variszischen Orogenese nahe.

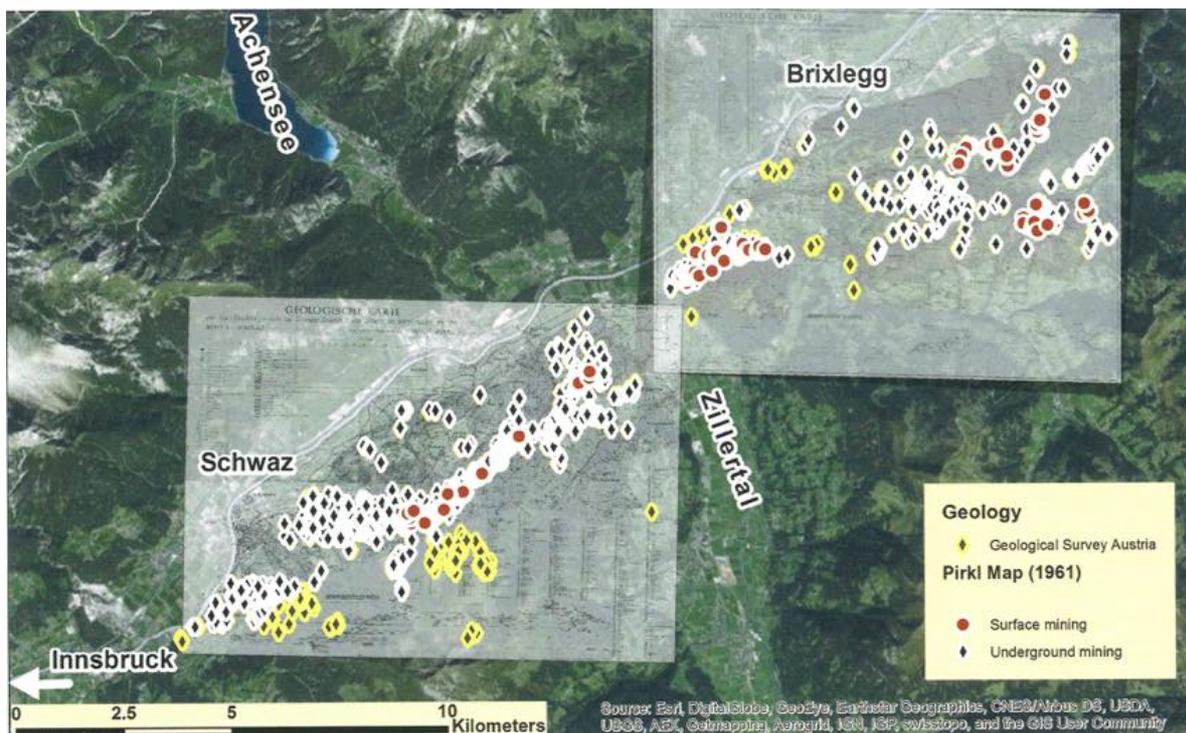


Abb. 4.9 Bergbauspuren im Gebiet zwischen Brixlegg und Schwaz. Hunderte Spuren mit (prä-)historischem Hintergrund gelten als nachgewiesen. Beachte auch die hohe Konzentration von Gruben am Falkenstein, welcher südlich von Schwaz liegt (nach Geologisches Bundesamt Österreich).

Arlt & Diamond (1998) bestimmten eine beinahe monomineralische Fahlerz-Zusammensetzung für das Schwazer Kupfer. Aktuelle Mikrosonden Analysen von Tropper et al. (2019) zeigen einen Antimongehalt von 18 Gew.% und einen Arsengehalt von 7,5 Gew. % mit 0,5 Gew. % Silber. Da die restlichen Gew.- % auf Kupfer (40%) und Schwefel (27%) und weiter Eisen und Zink (jeweils 2-3%) verteilt werden, kann eine beinahe monomineralische Fahlerz-Zusammensetzung bestätigt

werden (**Abb. 4.10**). Weitere Untersuchungen, Isotopendaten und Spurenelemente sind bei Höppner et al. (2005) zu finden.

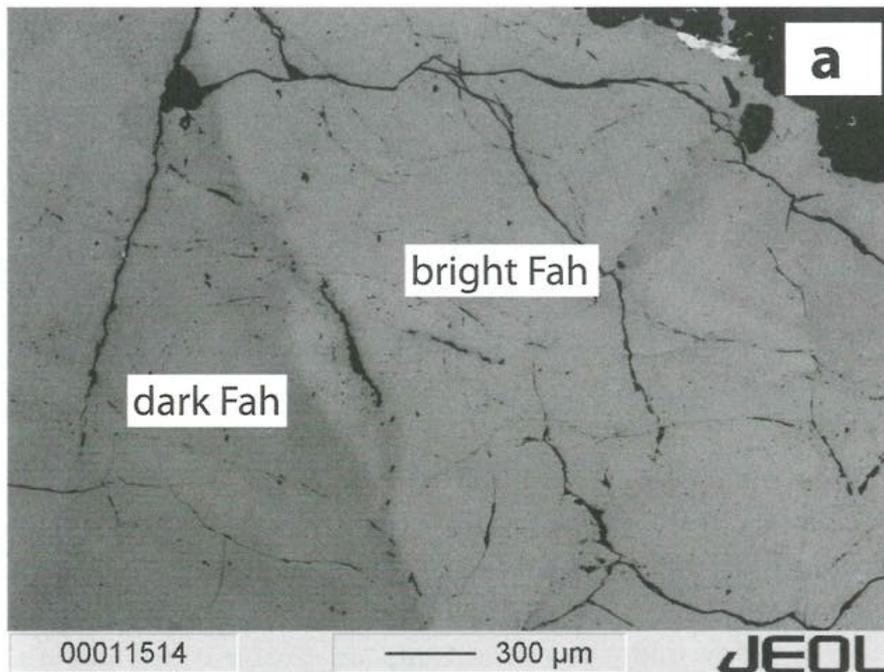


Abb. 4.10 Rückstreuelektronenbild des Fahlerz-Kupfers vom Falkenstein mithilfe einer Elektronenmikrosonde erzeugt. Elemente mit höherer Ordnungszahl erscheinen in diesem bildgebenden Modus heller. Hier lassen sich jedoch nur zwei Phasen identifizieren: Eine hellere Fahlerzvariante (Antimonreich = bright Fah) und eine dunklere Variante (Arsenreich dark Fah) (nach Tropper et al., 2019).

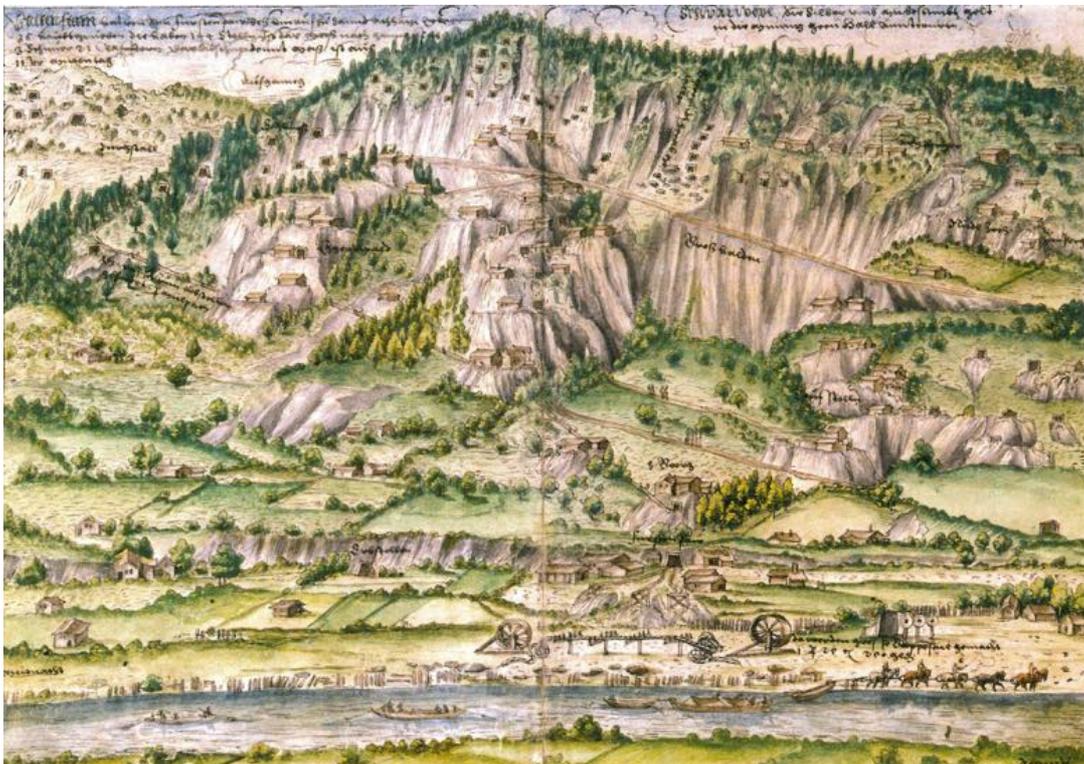


Abb. 4.11 Der Falkenstein bei Schwaz. Unzählige Mundlöcher erstrecken sich vom Fuß bis zur Spitze des Berges hinauf (aus dem Schwazer Bergbuch, Bartels et al., 2006).

Für diese Arbeit besonders relevant sind die Fahlerzlager am Falkenstein, welche nach der berühmten Schwazer Bergchronik, ab 1420 abgebaut worden sind (Bartels et al., 2006). Mehr als 250 Gruben mit einer Gesamtstollenlänge von ca. 500km sind beschrieben worden (Bingener et al., 2012) (**Abb. 4.11**).

Während im Rekordjahr 1523 ungeheure 55.000 Mark Silber und fast 2.500t Kupfer produziert worden waren, lag die durchschnittliche jährliche Kupferproduktion in der ersten Hälfte des 16. Jh. ständig zwischen 1000-2000t (Westermann, 1986). Damit war Schwaz bis 1550 noch vor Neusohl und Mansfeld der Hauptproduzent von Kupfer. Nur in wenigen Jahren wurde in Neusohl mehr produziert (**Abb. 4.34**).

4.2.2 Der Schneeberg

Um die enormen Fördermengen Schwazer Fahlerzkupfer dem Saigerprozess unterziehen zu können, waren die Hüttenmeister auf eine vielfache Menge Blei angewiesen. Dieses bezog man beinahe ausschließlich vom Schneeberger Revier im Norden Südtirols, welches sich vom hinteren Passeiertal bis in das Pflerschtal erstreckt (**Abb. 4.13**) (Mutschlechner, 1988; Tasser, 1994). Wichtiger Umschlagspunkt für den beschwerlichen Erztransport nach Schwaz war die Knappensiedlung St. Martin auf 2.055m. Der Bergbau konzentrierte sich zunächst auf die Bleierze, die Zinkerze hingegen wurden erst im späteren 18.Jh., bis in die jüngste Vergangenheit gefördert (Holzmann & Tropper, 2013). Das gesamte Grubenrevier Schneeberg wird als flächenmässig größtes Bergreviers ganz Tirols angesehen (Mair et al., 2007).

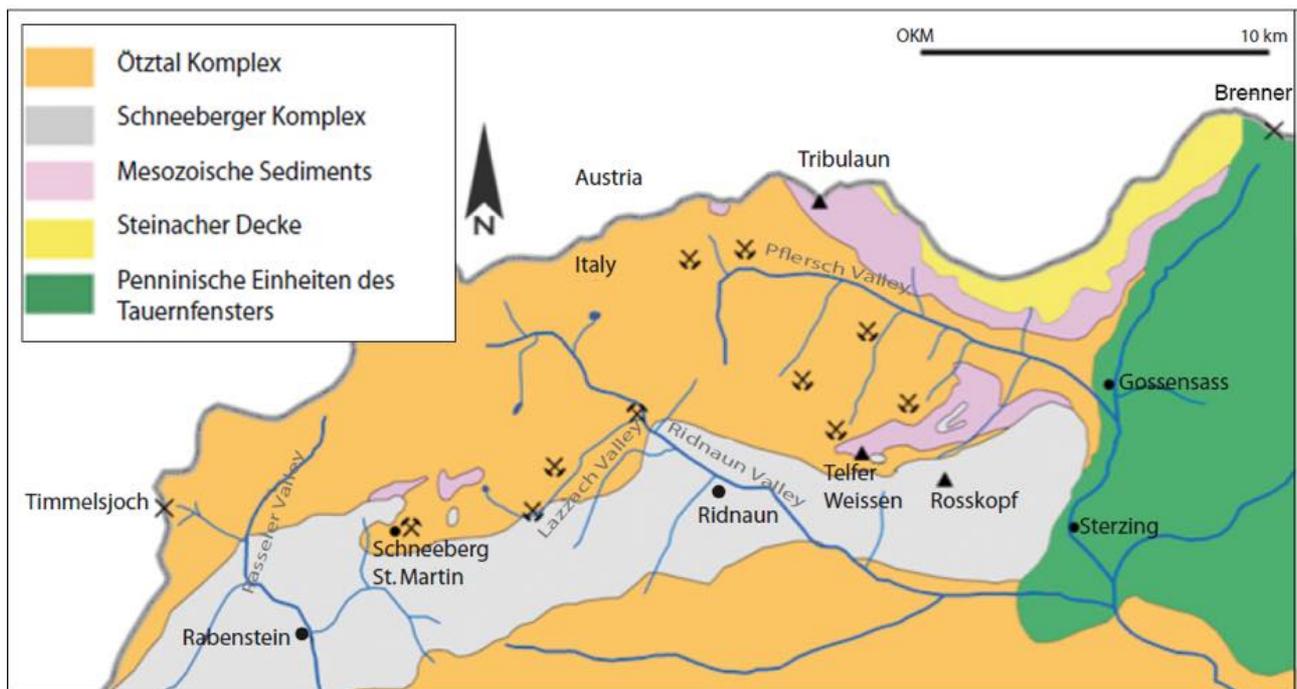


Abb. 4.13 Das Schneeberger Revier im nördlichen Südtirol. Die ergiebigsten Erzlager befanden sich an der Grenze des Schneeberger- zum Ötztal Komplex. Darüber hinaus ist die Vererzung auch im Pflerschtal immer wieder aufgesucht worden. Die umgekehrten Bergbau Symbole kennzeichnen ehemaligen Bergbau, normale Bergbausymbole heutige Bergbaumuseen (verändert nach Holzmann & Tropper, 2013)

Die Blei-Zinkerze des Schneebergs sind in marinen Sedimenten gelagert, welche während der alpidischen und variszischen Gebirgsbildung metamorph überprägt worden sind (Holzmann & Tropper, 2013). Dementsprechend treten als Gangart muskovit- bzw. albitreiche Glimmerschiefer, Paragneise und Graphitschiefer auf. Nach Holzmann & Ungerank (2011) waren syn-sedimentäre

Prozesse für die Entstehung der Erze verantwortlich, wobei eine re-Mobilisation während der metamorphen Überprägung zur letztendlichen Ausscheidung in Klüfte und Gänge geführt habe.

Die lager- und linsenförmigen ENE-WSW streichenden Sulfiderzkörper können eine Mächtigkeit zwischen einem und sechs Meter erreichen (Frizzo, 1983). Sie sind hinsichtlich ihrer Mineralparagenesen in zahlreichen Publikationen seit 1821 (Sperges, 1821) untersucht worden (zuletzt: Mair et al., 2007). Als Hauptbestandteile liegen Sphalerit, Bleiglanz, Pyrrhotin und weniger Chalkopyrit vor, daneben eine Vielzahl von Nebenbestandteilen (Mair et al., 2007). Nach Mutschlechner (1983) beliefen sich die Anteile der wirtschaftlich relevanten Elemente innerhalb des Erzgemenges auf 6,6 Gew. % Zink, und 1,26 Gew. % Blei.

4.2.3 Der Bleiberg

Der Bleiberg bei Villach in Kärnten war für die Fugger wegen des hohen Bleibedarfs der Saigerhütte und späteren Messingwerks „Fuggerau“, am Arnoldstein besonders wichtig (**Abb. 4.14**).

Bei Bleiberg-Kreuth liegt eine karbonatgebundene Blei-Zink Lagerstätte des alpinen Typs vor, welcher im Gegensatz zum MV-Typ, nach Sawkins (1984) über einen deutlich geringeren Metallinhalt verfügt (hier: ca. 3,5 Mio. t.). Bis in das 19. Jh wurden ca. 2,2 Mio t. dieser Erzreserve abgebaut, wobei das Verhältnis Pb:Zn bei 1 zu 1 liegt (Schroll et al., 2006).

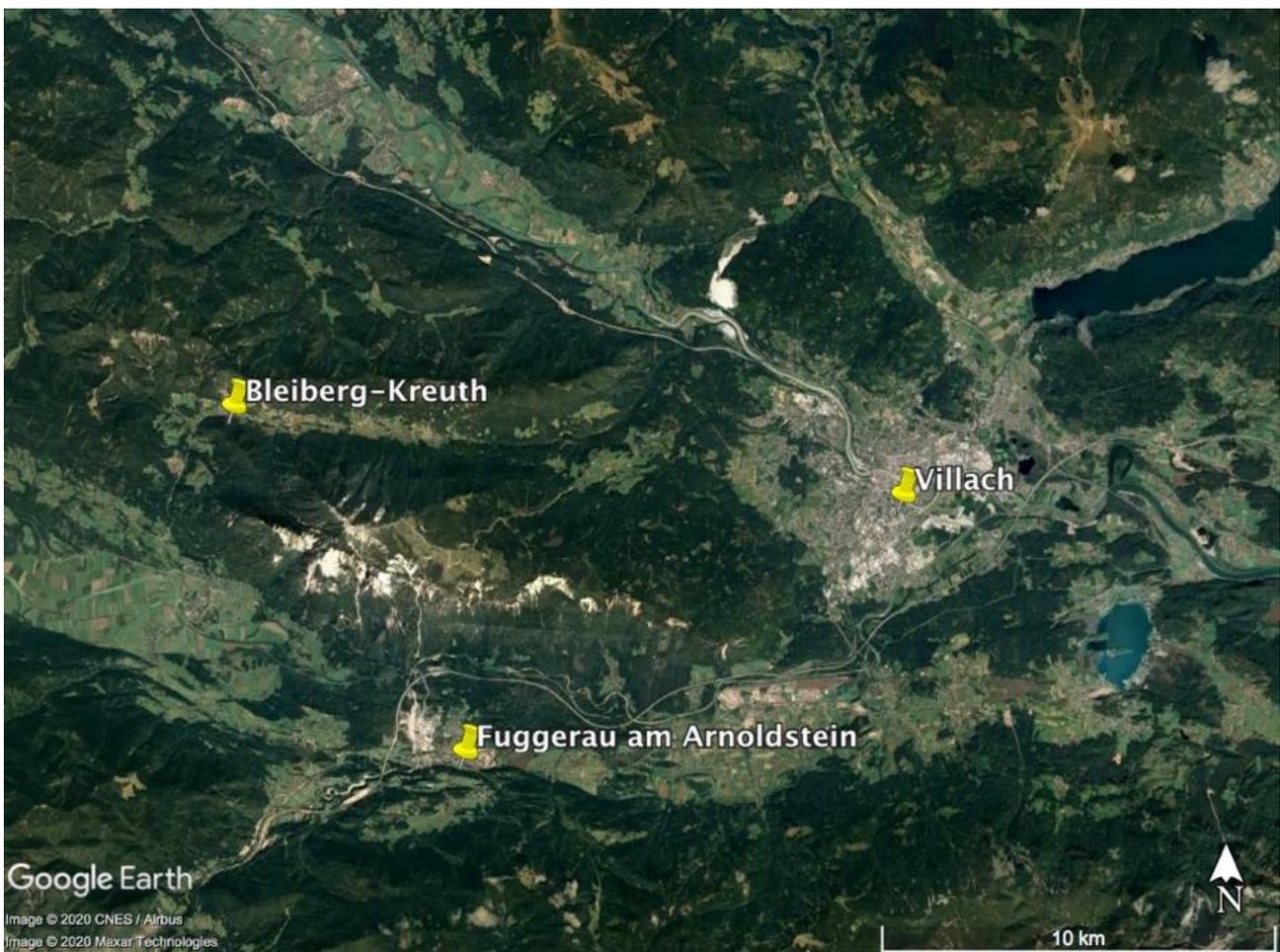


Abb. 4.14 Die Lokalitäten um die Pb-Zn Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Kärnten/Österreich. Die Saigerhütte Fuggerau liegt in unmittelbarer Nähe zur Lagerstätte. Zur Orientierung ist der Ort Villach eingetragen (Google Earth).

Genauere Zahlen für den Untersuchungszeitraum liegen nicht vor, dürften aber aufgrund der langen Präsenz der Fugger am Bleiberg (1495-1665) enorm gewesen sein.

Das Bleiberger Revier hat durch tektonische Prozesse während der Kreidezeit und des Tertiärs eine komplexe Geologie mit unterschiedlichen Erzhorizonten (Schulz, 1984).

Grundsätzlich erstreckt sich die Blei-Zink Vererzung über 10km in einer über 300m mächtigen Schicht aus Dolomit, Calcit und Mergel (Raibler Schichten) (**Abb. 4.15**) und einer Gangart aus Baryt und Fluorit (Schroll et al., 2006). Die Vererzung liegt schichtig-gangförmig vor (Cerny, 1989). Während Sphalerit nur in Millimetergröße vorkommt, bildet der Galenit hier Zentimetergroße Aggregate. Die Erze haben einen hohen Reinheitsgrad und zeichnen sich durch das Fehlen von Cu, Co, Ni und Ag aus (Cerny, 1989).

Das Alter der Vererzung wurde kürzlich durch Ermittlung der Bleiisotopenverhältnisse (Schroll et al., 2006) auf 180 +/- 40 Mio. Jahre datiert und ist somit spät-triassisch bis jurassisch. Somit handelt es sich bei Bleiberg-Kreuth um eine epigenetische Mineralisation.

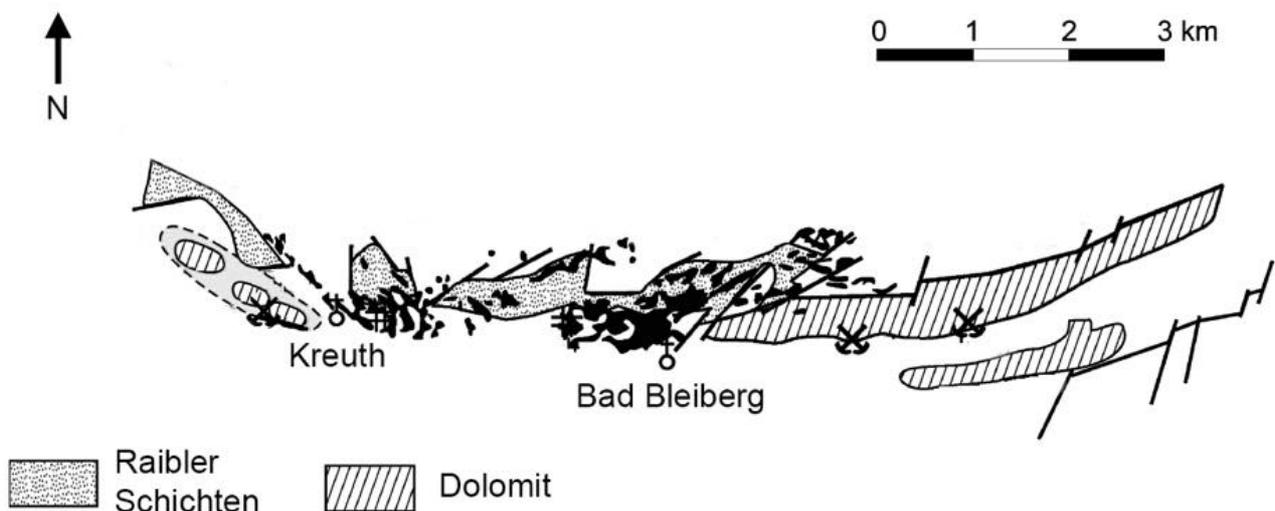


Abb. 4.15 Die Pb-Zn Lagerstätte zwischen den Orten Bad Bleiberg und Kreuth. Die Erzkörper (schwarze Flächen) sind über mehrere Kilometer verteilt, der Großteil liegt jedoch direkt bei Bad Bleiberg und befindet sich in den sedimentären Raibler Schichten (verändert nach Schroll et al., 2006).

4.3 Slowakei

Die Slowakei, im Untersuchungszeitraum namentlich „Oberungarn“, beheimatet zahlreiche Buntmetallvererzungen.

Dabei muss man geographisch zwischen der Ostslowakei, dem Gebiet um das ehemalige Schmölnitz (heute: Schemnica) und Göllnitz (Gelnica), und der Mittelslowakei, dem Gebiet um das ehemalige Neusohl (Banská Bystrica) trennen (**Abb. 4.16**).

Während die beiden Gebiete im Mittelalter vergleichbare Mengen (ca. 200t jährlich) Kupfer produzierten (Seges, 2001), so wurde die Produktion der Region um Neusohl maßgeblich durch den „Ungarischen Handel“ und das Anlegen des Fuggerkapitals im Untersuchungszeitraum um das zehnfache gesteigert (Westermann, 1986).

Die Ostslowakei hingegen, stagnierte bis in das 18. Jh. bei der vergleichbar geringen Produktion von 200t pro Jahr (Vlachovic, 1977) und kann daher hier vernachlässigt werden.



Abb. 4.16 Die Bergbauggebiete in der Slowakei. Die im Untersuchungszeitraum relevanten Erzlager liegen in der Mittelslowakei um Neusohl, dem heutigen Banská Bystrica. Daneben die weniger relevanten Lagerstätten der Ostslowakei um Göllnitz (Google Earth).

Kupfer wurde in der Mittelslowakei bei Herrengrund (Spania Dolina) nördlich und in Libethen (L'ubietova) östlich von Neusohl abgebaut. Darüber hinaus wurde im näheren Umfeld auch Silber (bei Schemnitz (Banská Stiavnica)) und Gold (bei Kremnitz (Kremnica)) gewonnen.

Die relevanten Lagerstättenreviere bei Herrengrund und Libethen liegen in der Niederen Tatra, einem Gebirgszug, der sich von Ost nach West über 150km in den Westkarpaten erstreckt.

4.3.1 Herrengrund (Spania Dolina)

Das wichtigste und größte Bergbaurevier der Slowakei lag etwa 8km nördlich von Neusohl und erstreckte sich auf nahezu 5km Länge zwischen den Ortschaften Herrengrund, Sandberg (Piesky) und Altgebirg (Staré Hory) (**Abb. 4.17**). Zwischen Herrengrund und Sandberg entstand ein einheitlicher Bergwerkskomplex (Vlachovic, 1977), dessen Halden heute noch die Morphologie prägen (**Abb. 4.18**).

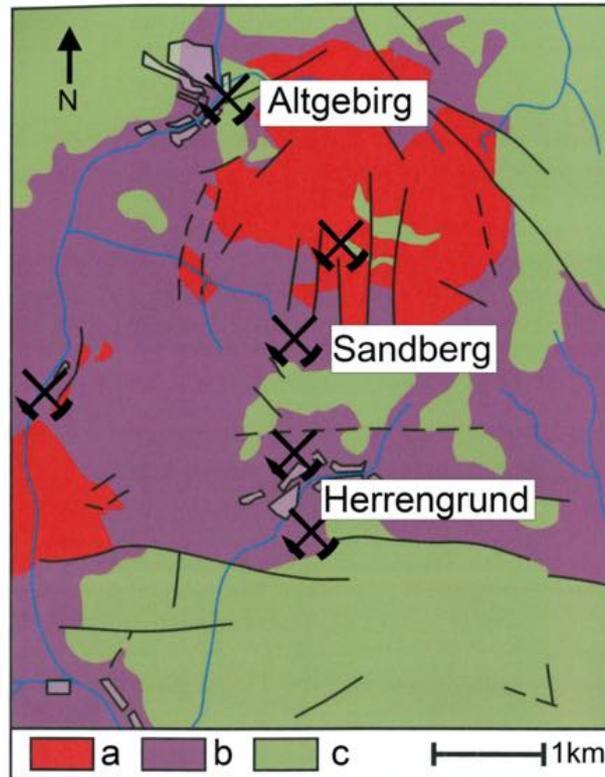


Abb. 4.17 Geologische Karte des ehemaligen, mehrere km² großen Bergbaukomplexes Herrengrund-Sandberg-Altgebirg. Die gangförmigen Vererzungen sind an die N-S verlaufenden Störungen (schwarze Linien) gebunden. a) Gneise, b) Sandsteine und Konglomerate aus dem Perm c) mesozoische Sedimente (verändert nach Schreiner, 2007).

Es handelt sich bei der Vererzung um eine schichtgebundene vulkanosedimentäre Kupfervererzung, die sich während der Variszischen Orogenese gebildet hat. Möglicherweise hat auch eine alpidische Remobilisation stattgefunden (Zak et al., 2005). Die Mineralisationen treten in vorrangig serizitischen Sandsteinen permischen Alters auf, nördlich von Sandberg auch in Paragneisen, als Gänge, Linsen und Imprägnationen (Schreiner, 2007).

Die in Nord-Süd Richtung streichenden, an tektonischen Störungen liegenden hydrothermalen Gänge enthalten Fahlerz (Tetraedrit) und Chalkopyrit in einer Gangart aus vor allem Quarz und Calcit (Stelzner, 1906). Darüber hinaus liegen auch Sekundärerze der Oxidationszone vor, welche hier besonders mächtig gewesen sein soll (Schreiner, 2007). Das Fahlerz selbst kann nach Stelzner (1906) in bis zu 60kg schweren Massen auftreten.

Schreiner (2007) weist daraufhin, dass die Erze aus Spania Dolina relativ homogen sind und ohne weiteres das typische „Fahlerzkupfer“ mit hohem Antimongehalt (15%) gegenüber Arsengehalt (5%) erzeugen können.

Die Kupfergewinnung muss gewaltig gewesen sein: Nach Vlachovic (1977) und Westermann (1986) wurde von 1494 - 1648 insgesamt fast 150.000t Kupfer produziert, mit einer Rekordjahresmenge von fast 4.000t im Jahre 1549 (**Abb. 4.34**).



Abb. 4.18 Blick von Herregrund aus auf eine riesige Halde inmitten des ehemaligen Bergbau-Komplexes, am nicht mehr existierenden Ort „Sandberg“ (Piesky) (nach Sejkora, 2013).

4.3.2 Libethen (L'ubietova)

Der Ort Libethen liegt etwa 20km östlich von Neusohl und ist somit noch der Mittelslowakei zuzuordnen.

Die zugehörigen Erzlagerstätten liegen nördlich und östlich des heutigen Dorfes (**Abb. 4.19**). Die zugrunde liegende hydrothermale Mineralisation ist jener bei Herregrund sehr ähnlich und besteht aus einer Siderit-Sulfid- und einer Kupfersandsteinformation, die in Imprägnationszonen und Gängen auftritt, z.T. auch in bis zu 40m mächtigen Linsen (Schreiner 2007). Die größten Erzkörper lagen im Bereich von Podlipa (**Abb. 4.19**) an einer Schnittstelle von Schiefen und Konglomeraten aus dem Perm, z.T. auch in den unterliegenden Orthogneisen (Luptakova et al. , 2016). Dabei sind die Erzkörper mehrere hundert Meter lang und an die N-S verlaufenden Störungen gebunden.

Zur Genese gibt es unterschiedliche Theorien: Möglich wäre eine ähnlich wie bei Herregrund ablaufende, Re-Mobilisation der variszischen Erze während der alpidischen Gebirgsbildung (Pouba & Ilasky, 1986), oder eine Bildung in der Unterkreide (Ozdin, 2003; Lexa et al., 2007).

Haupterz ist nach Schreiner (2007) Chalkopyrit, weniger Fahlerze und Pyrit. Daneben sind nach Vlachovic (1977) auch noch Erze der Oxidationszone wie Malachit und Cuprit gewonnen worden. Dem namensgebenden Libethenit, einer oxidischen, phosphorhaltigen Kupfererzvarietät sollte nach Elbl (2007) nicht zu viel wirtschaftliche Relevanz zugeschrieben werden.

Riesige Halden bestimmen noch heute das Landschaftsbild (**Abb. 4.20**). Die Gesamtproduktion während der ca. 500 Jahren Betriebstätigkeit wird auf ca. 25.000t Kupfer geschätzt (Schreiner, 2007).

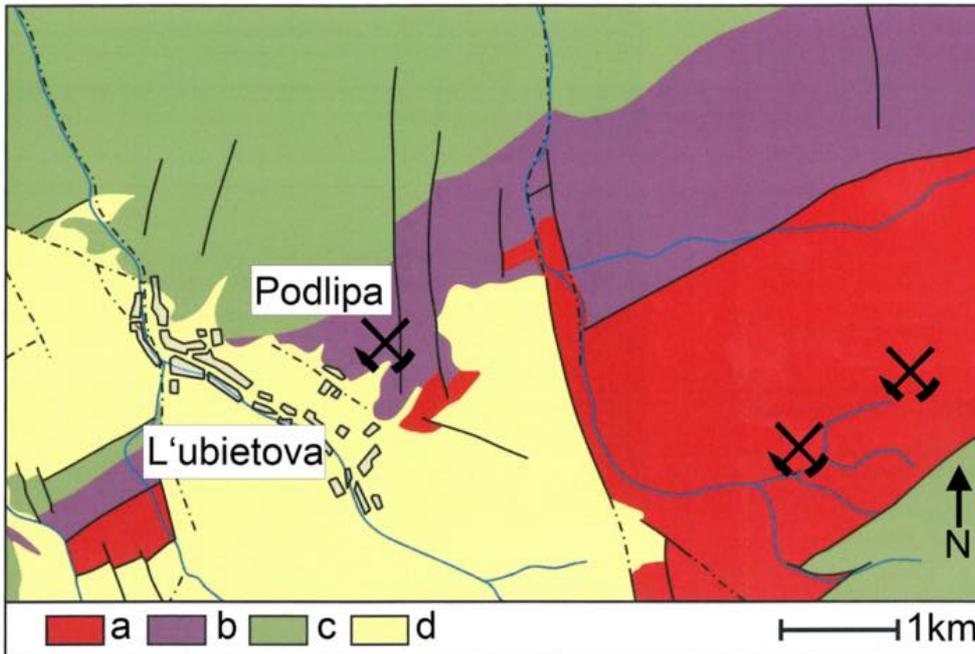


Abb. 4.19 Geologische Karte der Umgebung von L'ubietova. Die größten Kupfererzvorkommen liegen bei Podlipa an den N-S verlaufenden Störungen. Weitere kleinere Vorkommen liegen wenige km östlich der heutigen Siedlung. a) Gneise, Glimmerschiefer, Migmatite, b) Grauwacke, Arkose, Vulkanite und Schiefer aus dem Perm, c) Triassische Kalksteine, Dolomite und Sandsteine, d) Quartäre Sedimente (verändert nach Schreiner, 2007).



Abb. 4.20 Haldenlandschaft bei L'ubietova-Podlipa. Der Großteil des Abraums stammt aus dem Untersuchungszeitraum und zeigt damit die gigantischen Ausmaße des Bergbaus (verändert nach Garner et al., 2014).

4.4 Polen

Die Blei-Zink Vererzungen im oberschlesischen Raum waren für den Untersuchungszeitraum insofern bedeutend, als dass diese in Massentransporten zur Saigerhütte Mostenica (Mostenice) nahe Libethen ausgeführt worden sind, um das Neusohler Kupfer saigern zu können (Baczkowski, 2002). Die Präsenz von polnischem Blei in Neusohler Saigerkupfer wurde kürzlich auch geochemisch nachgewiesen (Hauptmann et al., 2016).

Dagegen scheinen die Galmei-Vorkommen weniger genutzt worden zu sein (Godzik & Woch, 2015). Ihre Ausbeutung begann erst zu Beginn des 19. Jh., als Oberschlesien 40% der weltweiten Zinkproduktion übernahm (Boni & Mondillo, 2015). Die Jahrhundertelange Förderung der Erze führte im Bereich von Olkusz zu einer Naturkatastrophe, die eine bis heute existierende Wüstenlandschaft produzierte (Rozmus, 2015).

Die Mineralisationen liegen in einem ca. 50x50km großen Feld nordwestlich von Krakau (**Abb. 4.21**). Die Förderung der Bleierze fand im Untersuchungszeitraum vornehmlich nahe Olkusz statt, wurde aber auf die umliegenden Orte Trzebinia, Chrzanów und Bytom (Beuthen) ausgeweitet. In der Summe enthält die Provinz über 50Mio t. Pb-Zn Erz (Cerny, 1989), nach Boni & Mondillo (2015) 77,15 Mio t., und ist somit die größte ihrer Art in ganz Europa (Gruszyck, 1967).

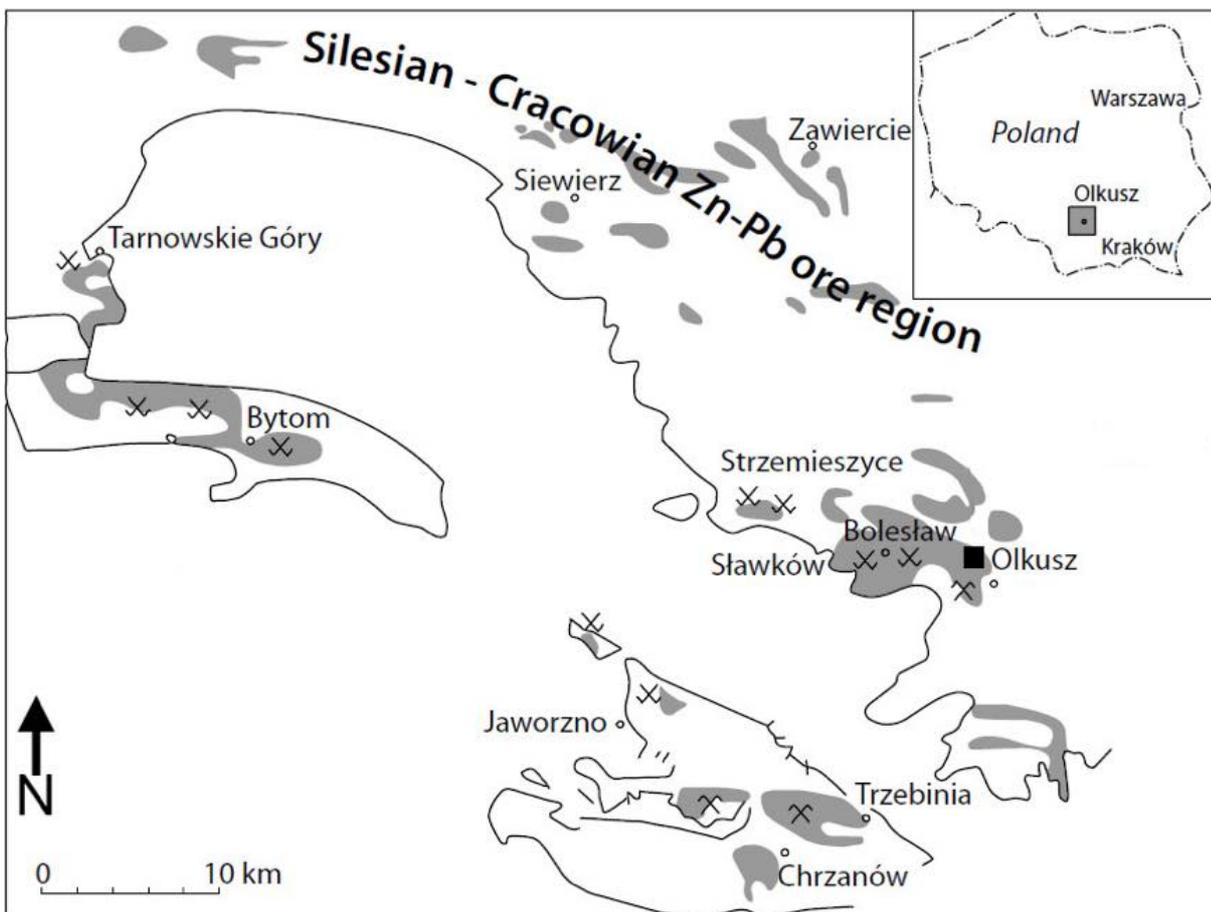


Abb. 4.21 Lage der Blei-Zinkerze (graue Flächen) innerhalb der Krakau-Silesischen Zone. Zur Orientierung ist eine kleine Übersichtskarte Polens beigegefügt. Die größten Konzentrationen an Erz befanden sich bei Olkusz, wo auch der historische Bergbau stattgefunden hat. Die Bergbausymbole zeigen, dass heute noch immer Bergbau betrieben wird, wenn auch in weitaus geringerem Maße (verändert nach Rozmus, 2015).

Es handelt sich bei dem Vorkommen um eine schichtgebundene MVT-Lagerstätte, typischerweise gelagert in Dolomiten des unteren Muschelkalks, weniger in solchen des Devons. Dort liegen sie als schichtige Füllungen in Karsthohlräumen vor (Kucha, 2003). Eine epigenetische, hydrothermale Bildung der Lagerstätte gilt mittlerweile als allgemein anerkannt (Coppola et al., 2007), unklar ist der Zeitpunkt. So wird eine mehrphasige Genese zwischen Trias und Jura (Sass-Gustkiewicz et al., 1982) als auch eine kreidezeitliche Bildung (Heijlen et al., 2003) in Betracht gezogen.

Innerhalb der Erzkörper sind die tiefer liegenden Horizonte Zinkreicher, die oberen Bleireicher. Dabei sind die vorherrschenden Minerale Sphalerit, Markasit, Pyrit und Galenit, wobei das Zn/Pb Verhältnis zwischen 3:1 und 2:1 schwankt (Kucha, 2003).

Während des Untersuchungszeitraum wurden jährliche Produktionsmengen von 1000-3000t Blei erzielt (Godzik, 2015), nach Molenda (1996) z.T. auch 3500t und mehr. Der Bergbau auf Blei blieb bis zum Ende des 18. Jh. ertragreich, danach erfolgte eine Umstellung auf die im industriellen Maßstab durchgeführte Gewinnung von Zink (Godzik, 2015).

4.5 Großbritannien

Bis zur Industrialisierung spielte Kupfer in England eine untergeordnete Rolle (Hammersley, 1977). Auch die Messingindustrie wuchs erst im 18.Jh zu einer solchen heran (Day, 1984). Es waren seit je her Blei und Zinn welche in England in großen Mengen nachweislich seit römischer Zeit (Gardiner, 2001) möglicherweise auch bereits zuvor, abgebaut und verhandelt worden sind (Berger, 2019).



Abb. 4.22 Die Blei- (grau) und Zinnmineralisationen (braun) in England. Während Blei an den zwei großen Lokalitäten Pennines und Peak District gewonnen wurde, waren die Zinnvorkommen auf den Südwesten (Cornwall) beschränkt (verändert nach Evans et al., 2015).

Während sich die Zinnvorkommen in das südwestliche England, genauer Cornwall beschränken konnte Blei an vielen Lokalisationen gewonnen werden. Im Untersuchungszeitraum konzentrierte sich die Förderung jedoch auf zwei Lokalisationen: Das Alston Moor in den nördlichen Penninen und den Peak District in Derbyshire (Salzman, 1964) (**Abb. 4.22**). Auch in den Mendip Hills wurde Blei abgebaut, erreichte jedoch bei weitem nicht jene Fördermengen Derbyshires und der Pennines (Green, 1958; Buchanan, 1980).

4.5.1 Alston Moor, nördliche Penninen

Die Blei-Zink Mineralisationen des North Pennine Orefield (NPO) befinden sich im sog. „Alston Block“ einem etwa 900km² großen Gebiet östlich von Alston im Norden Englands (**Abb. 4.23**). Die vielen gangförmigen Mineralisationen haben seit ihrer Entdeckung ca. 4 Mio. t Blei produziert (Bouch et al. 2008). Genaue Daten sind nicht vorhanden, da wie im sonstigen England auch, die Produktion nicht zentral gesteuert war, sondern in der Hand einzelner Landbesitzer lag (Persönliche Mitteilung: Richard Smith).

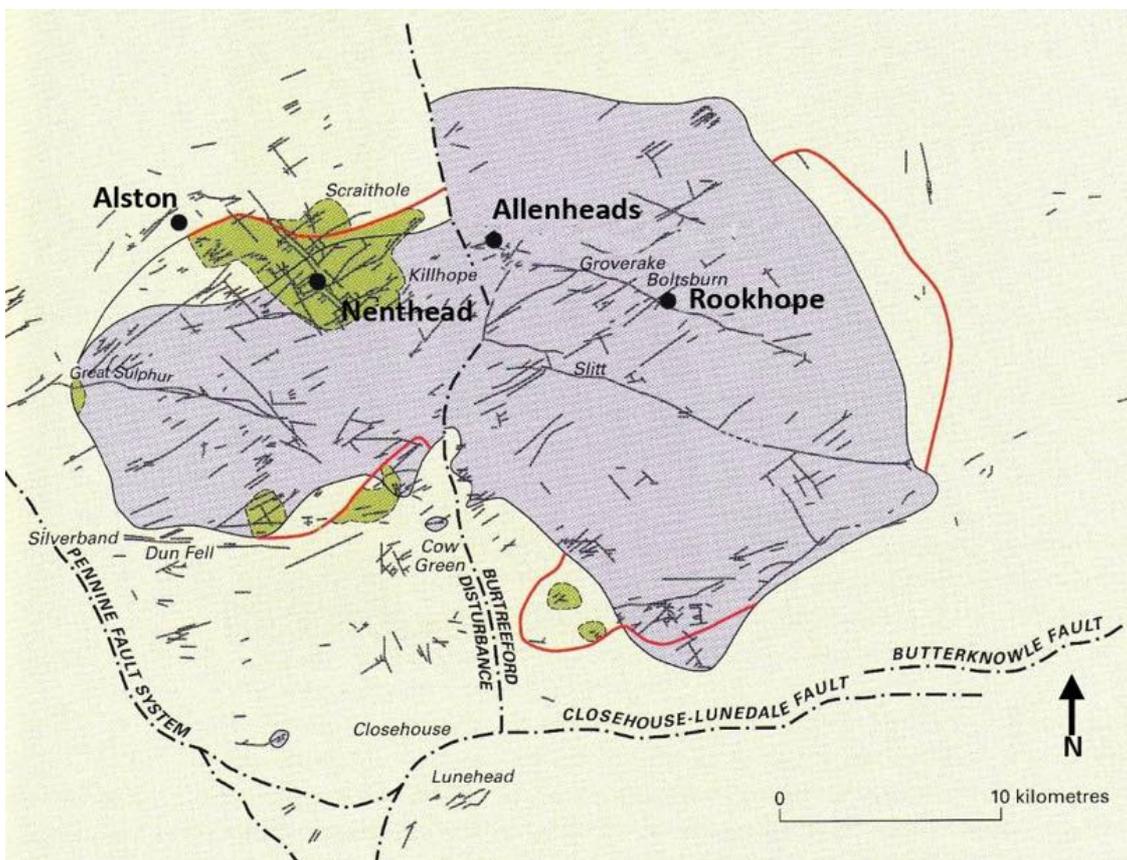


Abb. 4.23 Die zahlreichen Blei-Zink Gänge im sog. „Alston Block“ östlich der gleichnamigen Ortschaft. Das violett eingefärbte Gebiet kennzeichnet die Hauptverbreitung der Mineralisationen, an den grünen Flecken ist Zink stärker konzentriert (verändert nach Young, 2016).

Es handelt sich um eine MVT-Lagerstätte die neben Galenit und Sphalerit große Anteile an Fluorit und Baryt aufweist und typischerweise in Kalk-Sandsteinen des Karbons, aber auch in Schiefen gelagert ist. Die Adern können von wenigen mm bis zu 10m breit werden, wobei die ergiebigeren Vorkommen in den Kalk- und Sandsteinen auftreten (**Abb. 4.24**).

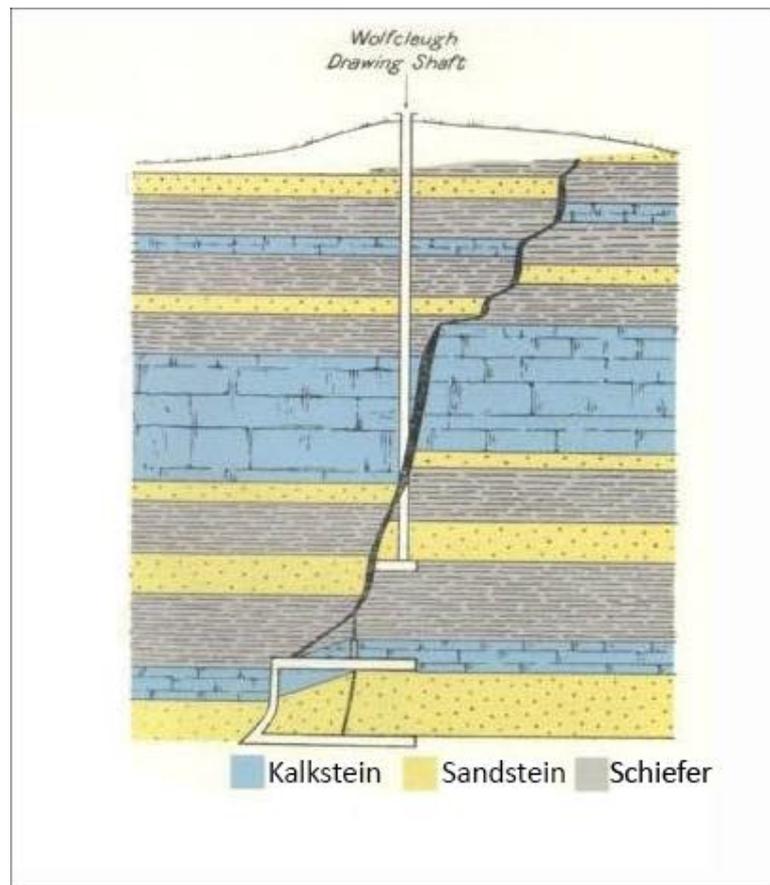


Abb. 4.24 Beispiel eines Verlaufs einer Blei-Zinkerzader in der Wolfcleugh Mine bei Rookhope (s.o. Abb. 4.23). Die Mächtigkeit und der Einfallwinkel der Ader ändert sich je nach umgebender Gesteinsart, die größte Mächtigkeit erreichen die Adern im Kalkstein (verändert nach Young, 2016).

Hier können sich, wie in der Boltsburn Mine bei Rookhope sog. Flats bilden (**Abb. 4.25**), das sind flache parallel zum Kalkstein angeordnete Verdrängungskörper mit höheren Konzentrationen der sulfidischen Erze (Young, 2016).

Hinsichtlich der Genese der Erze scheint die Hauptphase der Mineralisation zwischen ausgehendem Perm und Trias (260-210Ma) stattgefunden zu haben (Cann and Banks, 2001).

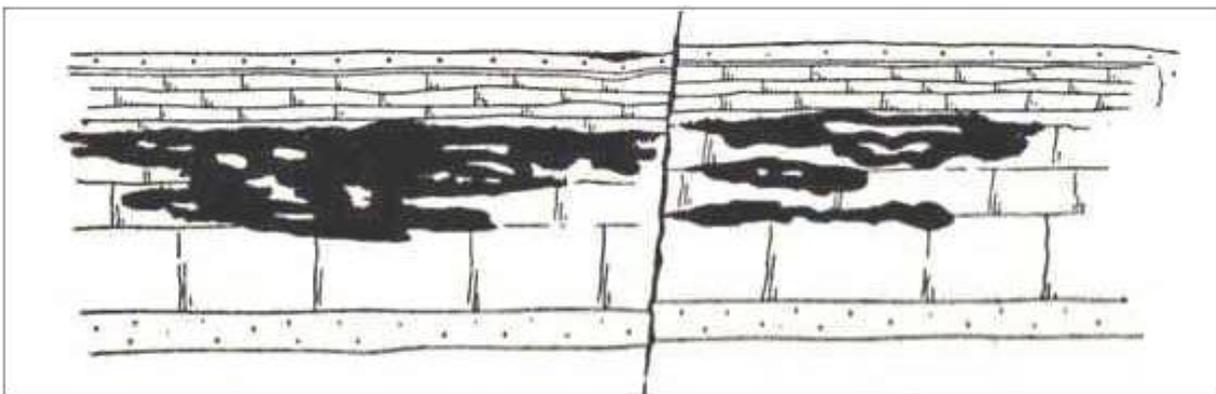


Abb. 4.25 Ausbildung sog. „Flats“ in der Boltsburn Mine bei Rookhope. Diese massigen Erzvorkommen können sich parallel zum Kalkstein bilden und höhere Metallkonzentrationen enthalten (verändert nach Young, 2016).

4.5.2 Peak District, Derbyshire

Die Blei-Zink Vorkommen im Peak District in Derbyshire liegen in einem etwa 10-15km breiten und 30km langen Streifen der sich zwischen Brassington im Süden und Castleton im Norden erstreckt (**Abb. 4.26**).

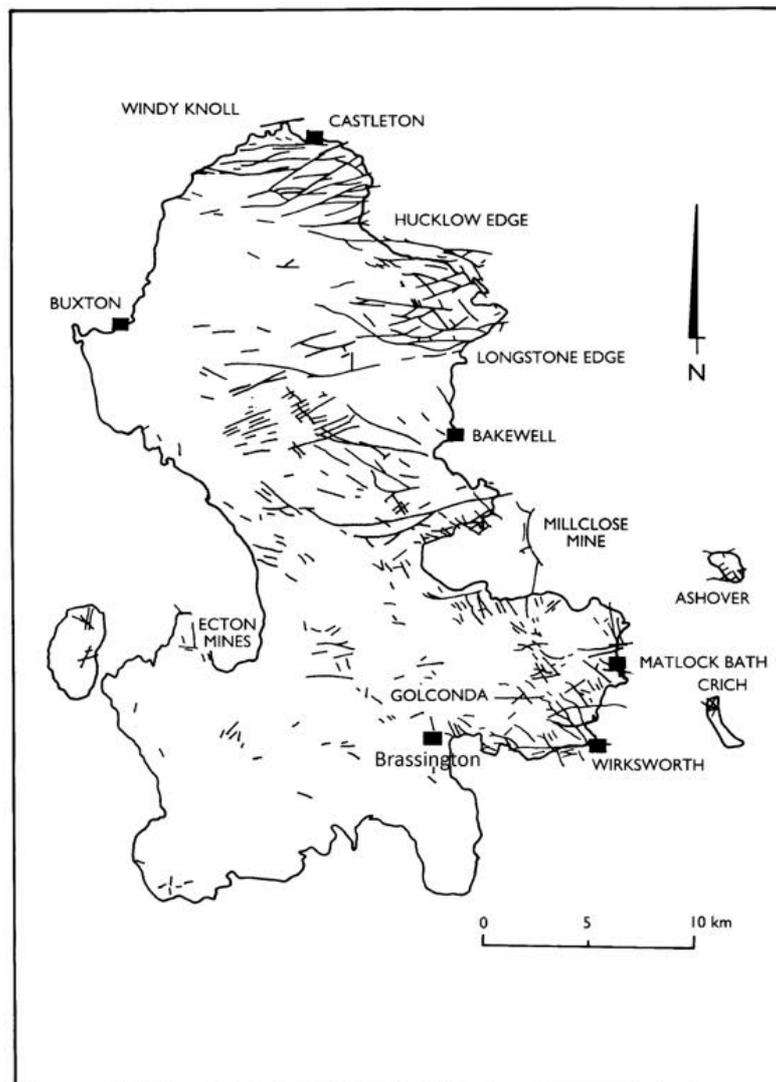


Abb. 4.26 Der von zahlreichen Erzgängen durchzogene Peak District in Derbyshire. Die Anzahl und Dimension der Gänge ist bezeichnend für die gewaltigen Produktionsmengen Blei (verändert nach Quirk, 1993).

Der Peak District war nach Willies and Parker (1999) zwischen 1580 und 1780 der bedeutendste Bleiproduzent der Welt. Vorsichtige Schätzungen haben ergeben, dass die jährlichen Fördermengen von Bleierz in der zweiten Hälfte des 16. Jh. von 250t auf 7500t gestiegen sind, genauere Angaben sind nicht vorhanden (Kiernan, 1989).

Die Art der Mineralisation ist jener im Alston Block (s.o.) sehr ähnlich: Gangförmige Galenit-Sphalerit-Fluorit-Baryt Vererzungen, die den auch hier verbreiteten Karbon-Kalkstein durchschlagen, lokal mit Flats wie z.B. Masson-deposit bei Matlock (Cox & Harrison, 1980). Zusätzlich sind im Peak District auch Sekundärminerale, darunter auch Galmei vorhanden, die allerdings erst im 17. Jh. eine Rolle gespielt haben (Ford & Jones, 2007; Morton, 1985).

4.5.3 Cornwall

Eine Reihe von Erzmineralen konnten in Cornwall, im Südwesten Englands gewonnen werden, darunter Zinn, Kupfer und Blei (**Abb. 4.27**). Die Region hebt sich als metallogenetische Provinz

somit deutlich vom Rest Britanniens ab und hat nach Schätzungen ca. 3 Mio t Zinn produziert (Scrivener et al., 1997).

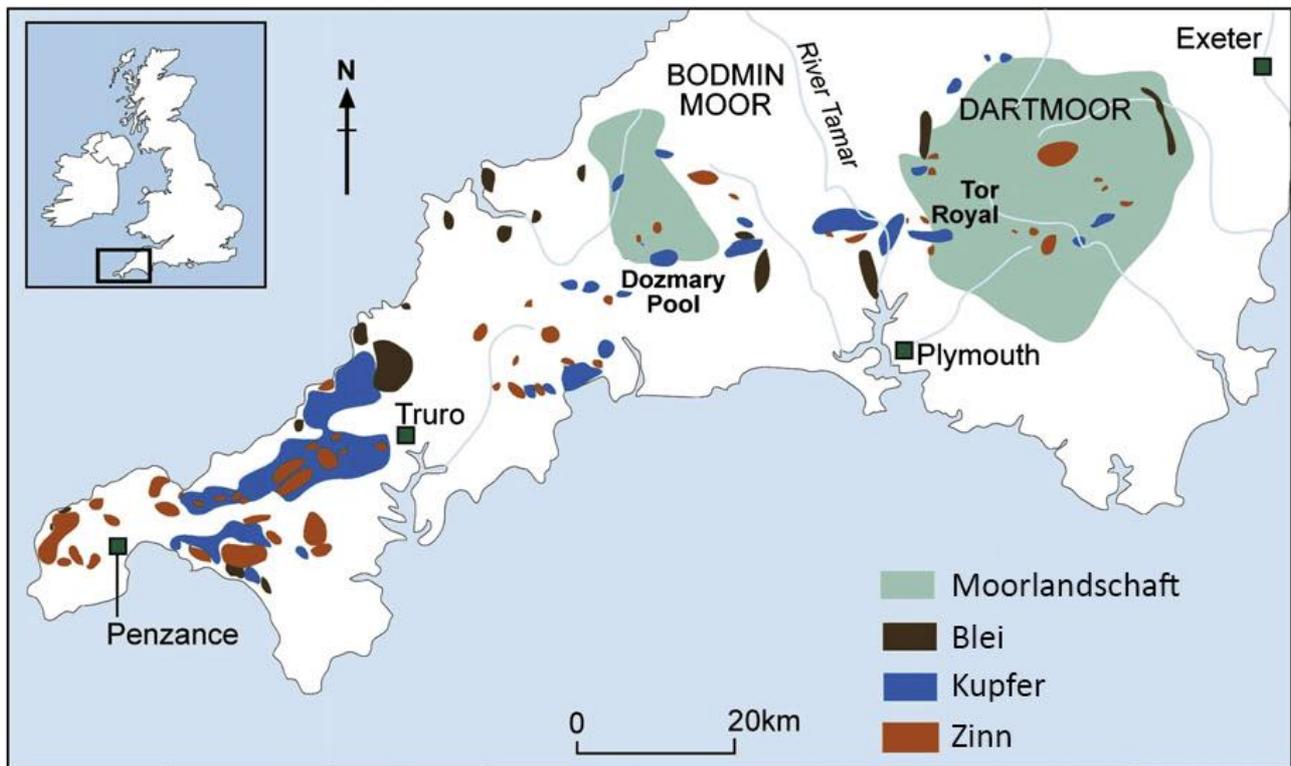


Abb. 4.27 Die Verbreitung von Blei, Kupfer und Zinn in Cornwall und Devon in Südwest-England. Die Zinnvorkommen liegen großräumig verteilt vor, sind häufig mit Kupfer assoziiert und häufen sich vor allem im äußersten Südwesten der Insel. Verändert nach Meharg et al. 2012.

Ein granitischer Gesteinskörper intrudierte am Ende des Karbons die Region und löste eine Fluidinfiltration in die Risse und Spalten des Umgebungsgestein aus, wo sich die Metalle ablagerten.

Während Adern, die direkt im oder an den Graniten liegen Zinn, manchmal assoziiert mit Wolfram und Arsen, enthalten, sind die Umgebungsadern reicher an Kupfer und Arsen (Scrivener et al. 1997). Daher sind die Vorkommen mit den höchsten Zinngehalten im Umkreis von ca. 2km um die granitischen Intrusivkörper zu finden (Jackson, 1979).

Typisch sind, ähnlich wie im Erzgebirge, Vergreisungen und auch das Vorkommen von Kassiterit als Imprägnationen im Granit (sog. Zwitter, s.o. Kap. 4.1.2). Auch polymetallische Vorkommen sind aus Cornwall bekannt. Diese können neben Zinn auch Wolfram, Arsen, Kupfer, Zink, Fluorit und Eisen enthalten (Pohl, 2011). Der durchschnittliche Gehalt dieser, als steil einfallenden Quarz-Turmalin Adern beschriebene, Mineralisationen beträgt 1-1,5 Gew.-% Zinn (Edwards & Atkinson, 1986) Nach Greeves (1981) ist der offene Tagebau auf diese Adern im Dartmoor, Bodmin Moor und im Tamar Tal typisch für das 16.Jh.

Seifenzinn ist in Cornwall und Devon wahrscheinlich schon seit prähistorischen Zeiten gewonnen worden, historisch gesichert jedoch erst ab dem 13. Jh. (Greeves, 1981). Diese Sekundärlagerstätten können auch in Bereichen außerhalb der Bergbauzonen auftreten, z.B. im Gebiet nördlich und südwestlich von Truro. Flusssedimente in diesem Gebiet enthalten nach Dunlop & Meyer (1978) über 0,5 Gew.-% Zinn. Nach historischen Dokumenten zufolge konnten diese alluvialen Ablagerungen bis zu 10m mächtig werden (Salzman, 1964).

Für den Untersuchungszeitraum sind keine genauen Aufzeichnungen der Gesamtzinnproduktion Cornwalls und Devons bekannt. Greeves (2017) hat die Menge des produzierten Zinns, das für die Münzprägung in Devon ausgelegt worden ist, aufgezeigt. Demnach gab es am Ende des 15. Jh. einen Aufschwung, als über 300.000 Pfund für die Münzprägung produziert worden sind (**Abb. 4.28**).

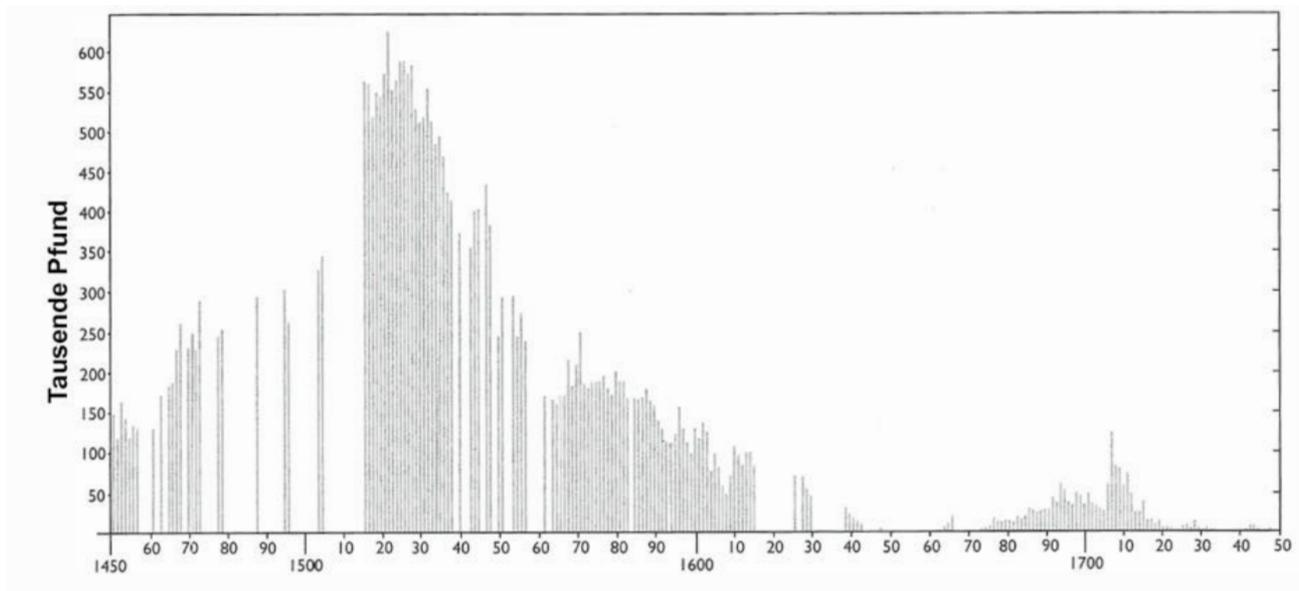


Abb. 4.28 Die in Devon für die Münzprägung angebotene Menge Zinn zwischen 1450-1750. Zu beobachten ist ein sprunghafter Anstieg der Produktionsmenge ab dem späten 14.Jh (verändert nach Greeves, 2017).

Diese Menge verdoppelte sich innerhalb der nächsten 20 Jahre um danach wieder zu fallen, bis zum Ende des 16.Jh. jedoch auf hohem Niveau blieb. Generell ist anzunehmen, dass die Gesamtmenge des produzierten Zinns deutlich höher lag, da englisches Zinn schon auf der Frankfurter Messe in hohen Mengen angeboten wurde (Stahl, 1991), also ein nicht zu vernachlässigender Teil in den Handel ging.

4.6 Schweden

Zwei maßgebliche Unterschiede zeichnen die Beschaffenheit der Erze im Vergleich zu Mitteleuropa aus:

Zum einen waren die Kupfererze silberarm, d.h. ein Saigerprozess im großen Stile ist nicht anzunehmen (Irsigler, 1979), zum anderen stammen diese aus Mineralisationen aus dem Paläoproterozoikum (ca. 1.9 Mrd. Jahre) und sind demnach wesentlich älter.

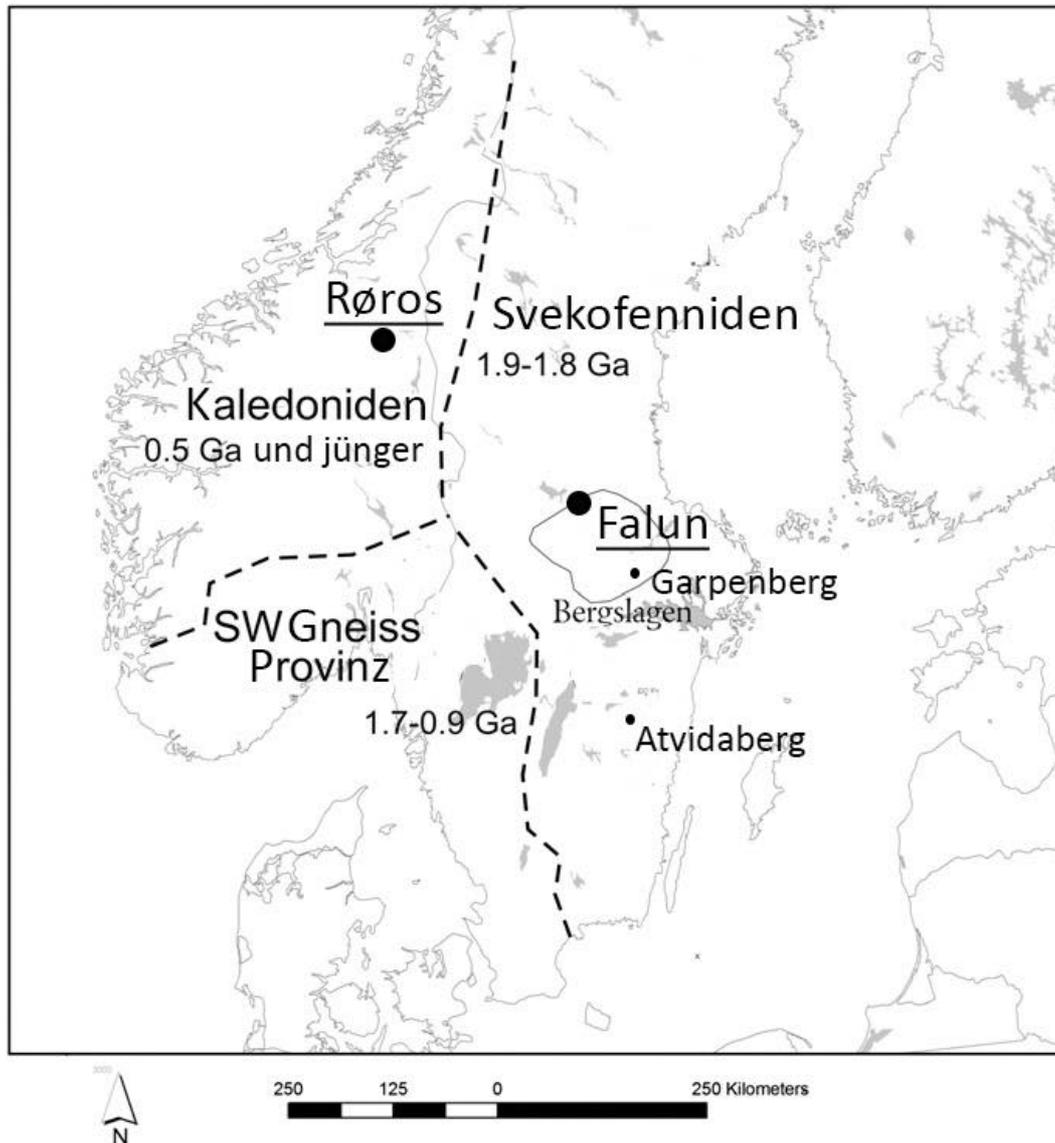


Abb. 4.29 Die unterschiedlichen geologisch-tektonischen Provinzen Skandinaviens mit den Lagerstättenrevieren von Falun und Røros. Während in Schweden sehr alte Mineralisationen vorzufinden sind, sind jene in Norwegen deutlich jünger (verändert nach Ling et al., 2012).

Obwohl es in Schweden viele Kupfergruben gab, z.B. Atvidaberg in Östergötland und Garpenberg in Dalarna (**Abb. 4.29**) spielten diese jedoch nicht jene globale Rolle, die dem großen Kupferberg (Kopparberget) bei Falun zukam. Wie Kumlien (1977) schreibt, ist darum die Kupfererzeugung im 16. Jh. in Schweden identisch mit jener Faluns.

Des Weiteren wurde in Falun, anders als in Neusohl oder Schwaz, Kupfererzbergbau im offenen Pingenbau betrieben. Dies führte 1687 zum katastrophalen Einsturz der Grube und dem Ende der Blütezeit schwedischen Kupfers (Hellqvist, 2017).

4.6.1 Falun

Bei Falun, im zentralen Teil Mittelschwedens (Bergslagen) liegt eine Lagerstätte vom vulkanogenen Massivsulfiderz (VMS) Typ. Magmatische Aktivität hat zwischen 1,87 und 1,78 Mrd. Jahren zur Bildung von Graniten, Granodioriten und ultramafischen Gesteinen (Kampmann et al., 2018) geführt.

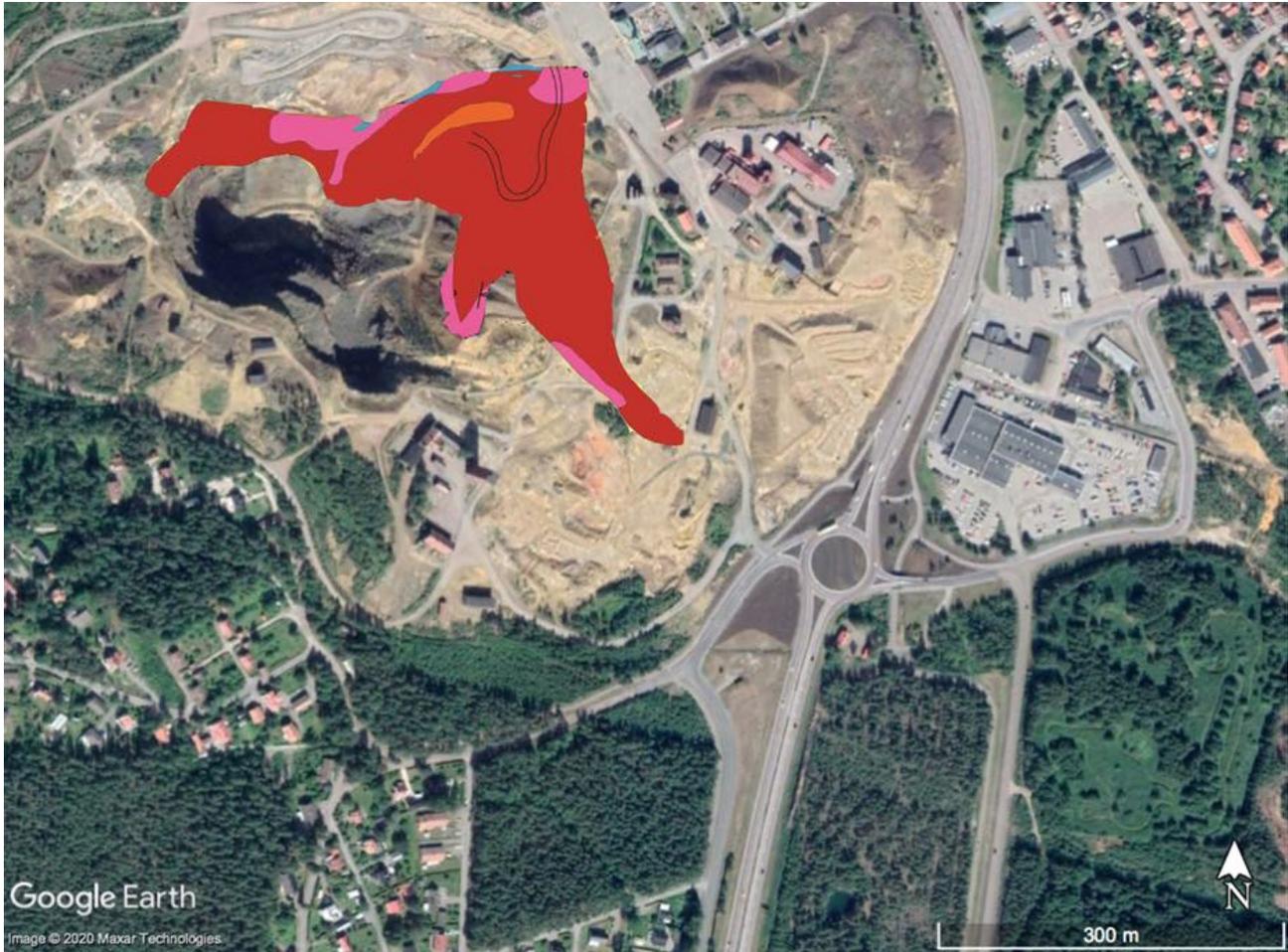


Abb. 4.30 Luftbild der „Falu Gruva“. In rot eingefärbt sind die heutigen Vorkommen der massiven pyritischen Zink-Blei-Kupfer-Sulfiderze. An ihren Rändern in pink eingefärbt sind die kupferreicheren Bereiche sichtbar (verändert nach Kampmann et al., 2018).

Koark (1962) wies schon früh daraufhin, dass die Erzmineralisationen jedoch nicht im direkten Zusammenhang mit der Granitgenese stehen müssen, sondern möglicherweise eher synsedimentär-exhalativ entstanden sind, also ähnlich dem Rammelsberg (s.o.). Dies haben auch schon Mineralogen des 19. Jahrhunderts vermutet (Stapf, 1861). Demnach waren die Erze schon vor der Intrusion der Granite vor ca. 1,8 Mrd. Jahren vorhanden, was sich auch gut mit neueren Bleiisotopenanalysen der Falun Mineralisation belegen lässt (Sundblad, 1994).

Die komplexen Sulfiderze setzen sich generell aus Pyrrhotin, Pyrit, Chalkopyrit, Zinkblende und Bleiglanz zusammen, wobei sich auch chalkopyritreichere Zonen um den zentralen Erzkörper gebildet haben (**Abb. 4.30**) (Kampmann et al., 2016). Der pyritische Charakter der Sulfiderze zeigt sich in der sehr eisenhaltigen Chemie der Erzkörper, die nach Kampmann et al. (2018) bis zu 40 Gew.-% Eisen enthalten können. Besondere Kupferanreicherungen können auch in Ruschelzonen aus weicheren Gesteinen wie Talk und Glimmer vorkommen, die die linsen-, stengel- und stockförmigen Erzanreicherungen durchziehen (Koark, 1962).

Ca. 400.000t Kupfer sind in der 700-jährigen Bergbauperiode produziert worden (Lindroth, 1955). Nachdem am Ende des 15. Jh. ein Produktionshoch von ca. 300t jährlich erreicht worden war, fiel die Kupferproduktion wieder herab und pendelte sich bis 1570 auf etwa 100-150t ein (Kumlien, 1977) (**Abb. 4.31**). Danach stieg die Produktion bis auf 600t im Jahre 1590 um danach wieder auf 300t zu fallen. Ab der Wende zum 17. Jahrhundert stieg die Produktion unaufhörlich an und erreichte ihren Höhepunkt um die Mitte des 17. Jahrhunderts mit 3000t Jahresproduktion (Kumlien, 1977).

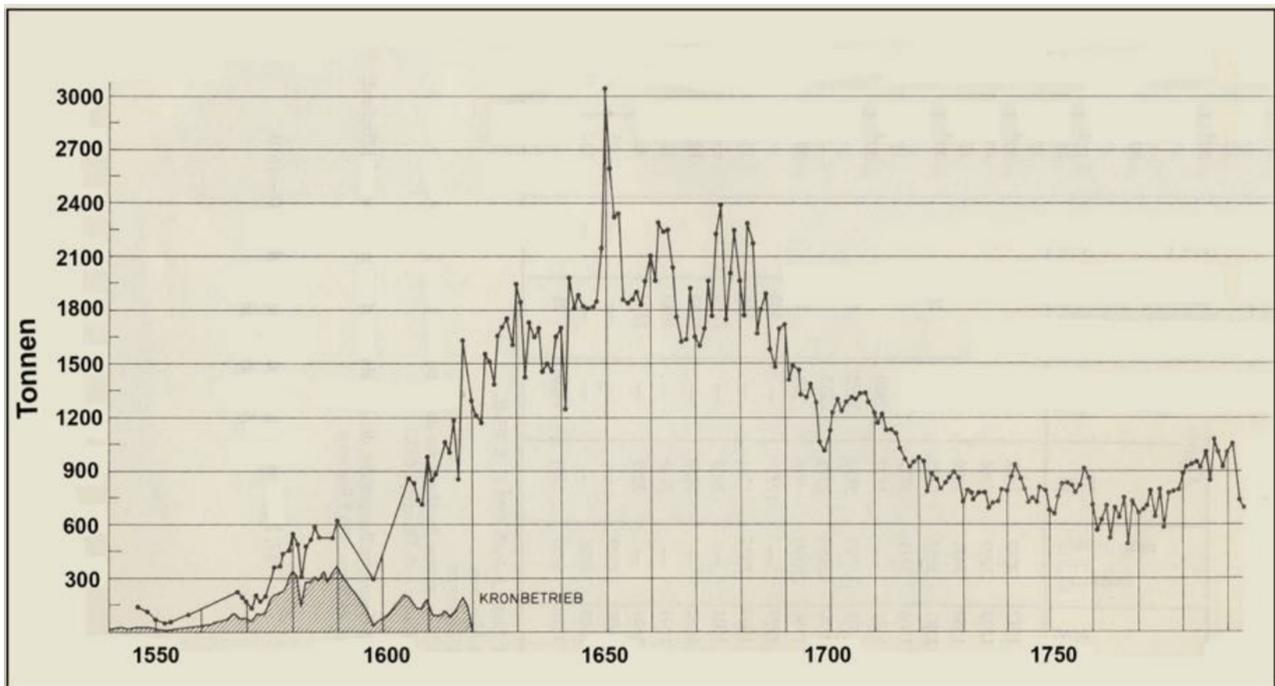


Abb. 4.31 Die Kupfererzeugung am „großen Kupferberg“ in Falun. Es wird deutlich, dass Schwedens Zeit als globaler Kupferproduzent erst mit der Wende des 16. zum 17. Jahrhundert begann. Während des gesamten 17. Jahrhunderts wurden ständig mehr als 1000t pro Jahr produziert, seit 1650 auch deutlich darüber hinaus (verändert nach Kumlien, 1977)

Aus den Produktionsmengen ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Falun im 16. Jh. definitiv nicht mit den großen drei Lagerstättenrevieren (Neusohl, Mansfeld, Schwaz) mithalten konnte. Faluns Zeit als führender Kupferproduzent kam erst später (um 1650) als 2/3 der globalen Kupferproduktion aus Schweden stammte (Lindroth, 1955).

4.7 Norwegen

Die in den Niederlanden im 17. Jahrhundert gängige Redewendung „Amsterdam is standing on Norway“ kommt nicht von ungefähr (Moore, 2010a; 2010b). Das Welthandelszentrum Amsterdam war im 17. und 18. Jahrhundert der Hauptabnehmer von Garkupfer welches in Norwegen erzeugt worden ist (Hutchison, 2018). Von dort aus gelangte es wiederum in die Region Aachen-Stolberg wo es zur Messingherstellung verwendet wurde (Hutchison, 2018) und seinen, oben beschriebenen (Kap. 2.2), Weg nach Afrika fand.

Es waren Deutsche Berg- und Hüttenleute, vor allem aus dem Harz stammend, die zu Beginn des 17. Jahrhunderts nach Norwegen auswanderten, um dort den Kupferabbau in Røros und den Silberabbau in Kongsberg aufzubauen (Seresse, 2001).



Abb. 4.32 Die Kupfer-Zinkgruben nördlich des Stadtgebietes von Røros. Hauptabbaugebiet war im 17. Jahrhundert bei der Grube Storwartz. In den türkisfarbenen Bereichen stehen v.a. Glimmer an, dunkeltürkis bedeutet Grauwacke. Am Südrand tauchen auch ultramafische Gesteine (violett) u.a. Gabbros (braun) auf. Diese Gabbros sind häufig auch mit den Erzlagerstätten assoziiert (nach Eilu et al., 2012).

Der größte Kupferproduzent war das bereits 1980 als UNESCO Weltkulturerbe ausgezeichnete Røros welches von spätestens 1644 bis 1977 in Betrieb gewesen ist und in diesem Zeitraum ca. 175.000t Kupfer produziert hat (Eilu et al., 2012).

4.7.1 Røros

Etwa 100km südöstlich von Trondheim, liegt die ehemalige Bergbauregion um die kleine Ortschaft Røros in den norwegischen Kaledoniden (**Abb. 4.29**).

Das Gebiet zeichnet sich durch vulkanische Gesteine, häufig zu Glimmerschiefern umgewandelt, und klastische Sedimente mit komplexer Metamorphosegeschichte aus (Rui, 1972). Die hier beschriebenen Mineralisationen liegen oftmals in chloritreichen Schiefen und kalkhaltiger Grauwacke. Sie stammen aus dem Ordovizium sind damit deutlich jünger als jene in Schweden (Grenne et al., 1999).

Die Erzlagerstätten, die in vielen kleineren Abbauen nördlich des Stadtgebietes von Røros (**Abb. 4.32**) angeschnitten worden sind, gehören zum VMS-Typ, wobei sowohl pyritische als auch pyrrhotinitische Subtypen beschrieben sind (Segalstad et al., 2006). In beiden Typen kommen Chalkopyrit und Sphalerit, weniger Galenit vor, wobei der Kupfergehalt in den pyritischen Typen 1-2 Gew.-% in den pyrrhotitischen Lagerstätten um 1 Gew.-% beträgt (Segalstad et al., 2006).

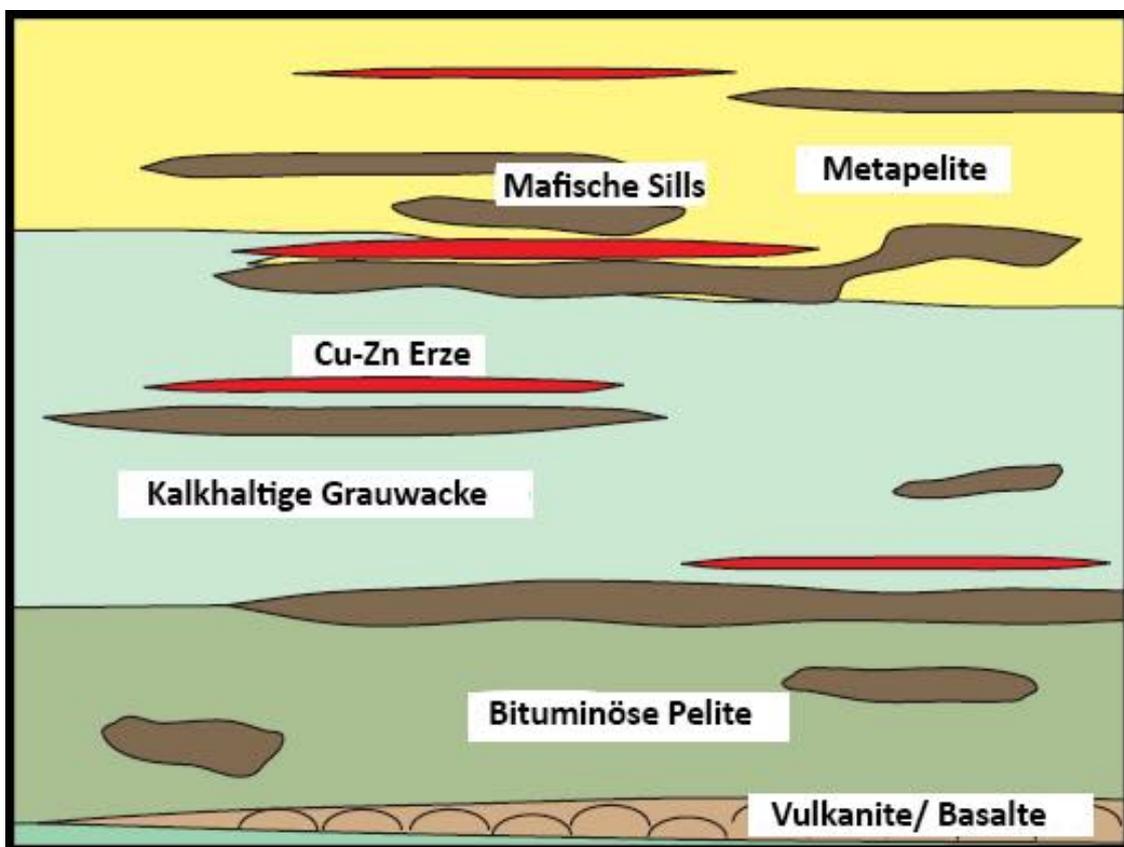


Abb. 4.33 Die Form und Lagerung der Kupfer-Zinkerze (rote Flächen) innerhalb der Metapelite und Grauwacken. Mafische Intrusionen (v.a. Gabbro) schließen die Erze häufig ein. Beachte auch die bandförmige Struktur der Erzkörper (nach Grenne et al., 1999).

Die Erzkörper liegen tafel- und bandförmig bis linsenförmig vor, die im allgemeinen parallel zu den Faltungsachsen liegen und bis zu 2,5km lang und 1m breit werden können (Barrie et al., 2008; Grenne et al., 1999). Oftmals werden sie von mafischen Sills umlagert (**Abb. 4.33**).

Hinsichtlich der im Untersuchungszeitraum produzierten Mengen gibt es keine Daten, da die ersten Bergwerke offiziell erst um 1644 in Betrieb genommen worden sind. Ab diesem Zeitpunkt berichtet Tveite (1977) von einer Jahresproduktion von ca. 150t Kupfer. Somit lag die norwegische Kupferproduktion weit hinter jener Schwedens (s.o.).

4.8 Zu den Produktionsmengen von Messing, Blei, Zinn und Kupfer

Es muss an diesem Punkt festgehalten werden, dass eine einheitliche Darstellung der produzierten Mengen nicht erfolgen kann, denn dafür gibt es zu wenig Kenntnis über die genauen Dimensionen letzterer.

Dies trifft vor allem auf Blei und Zinn zu. Über eine Rangfolge der einzelnen Lagerstättenreviere kann nicht gesprochen werden. Möglicherweise sind die 7.500t Blei, die der Derbyshire Peak District in der zweiten Hälfte des 16. Jh. produziert haben soll, von den anderen Revieren nicht erreicht worden. Die Bleiproduktion in Polen erreichte zu Hochzeiten ca. 3500t und lag damit hinter der Derbyshires.

Enorme Mengen Blei müssten auch im Alpenraum produziert worden sein, da hier das Blei für die Saigerung der Schwazer Fahlerze und die Arbeit auf der Fuggerau, von zwei Lagerstätten, dem Bleiberg und dem Schneeberg, gewonnen wurde.

Hinsichtlich des Zinns sind für das Erzgebirge ca. 58.000t zwischen 1400 und 1500 angegeben worden, für Cornwall können aus den von Greeves aufgezeigten Zahlen 20.000t zwischen 1400 und 1500 berechnet werden. Da diese Mengen nicht der Gesamtproduktion Südwestenglands entsprechen dürften, wurde diskutiert. Nach Stahl (1991) betrug der Export englischen Zinns nach Europa bereits 1337 unglaubliche 600.000t. Das es sich hierbei um unrealistische Mengen handeln muss, zeigt den fehlenden Kenntnisstand über die Produktionsmengen englischen Zinns.

Hinsichtlich Messing entfällt jegliche Gegenüberstellung, da die einzige global relevante Messingindustrie im Aachen-Stolberger Raum lag, wo im 16. Jh. durchschnittlich 1.500t Messing hergestellt worden sind.

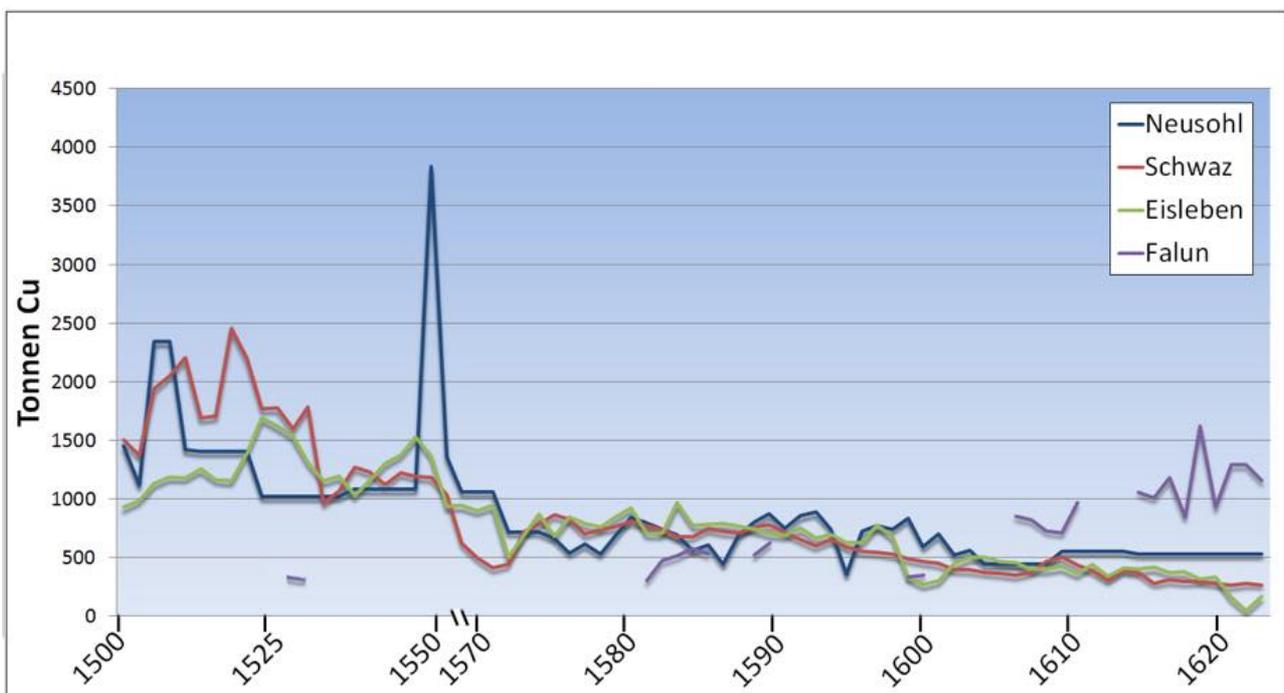


Abb. 4.34 Die Kupferproduktionsmengen der vier großen Gebiete Neusohl, Schwaz, Eisleben (Mansfeld) und Falun zwischen 1506 und 1622. Ein genereller Abwärtstrend ist ab ca. 1550 für die drei zentraleuropäischen Reviere zu beobachten. Anfang des 17. Jh. setzte sich Falun gegenüber den anderen Revieren deutlich ab (siehe auch **Abb. 4.31**). Beachte die Vervielfachung der Produktion in Neusohl ab 1549. Zwischen 1550 und 1570 gibt es nur eine Angabe pro Revier, daher ist das Diagramm hier gebrochen worden um die Interpolierbarkeit zu Gewährleisten (Daten nach Westermann, 1986 und Kumlien, 1977).

Allein für die Kupferproduktion existieren Zahlen, die Westermann (1986) für die drei großen Produzenten Neusohl, Schwaz und Mansfeld/Eisleben zusammengetragen hat. Zusätzlich hat Kumlien (1977) die Kupferproduktion für Schweden untersucht, fand aber für das 16. Jh. nur bruchstückhafte Angaben. Die norwegische Kupferproduktion spielte im 16. Jh. und in der ersten Hälfte des 17. Jh. noch keine Rolle.

Aus dem Diagramm (**Abb. 4.34**) wird deutlich, dass die Produktionsmengen, die in Eisleben, Schwaz und Neusohl in der ersten Hälfte des 16. Jh. erzielt worden sind, nicht gehalten werden konnten. Dieser Rückgang der Ausbringung führte nach Westermann (2001) zu einer enormen Preissteigerung für Garkupfer und ab spätestens 1580 zur Steigerung der schwedischen Kupferproduktion.

Besonders auffällig ist die hohe Kupferproduktion um 1550 in Neusohl. Die gewaltige Vervierfachung der Produktion hängt offensichtlich mit dem Vertrag der Fugger mit dem portugiesischen König über eine gewaltige Lieferung von Messing- und Kupfergegenständen zusammen die innerhalb von 3 Jahren abzuschließen war (s.o. Kap. 2.2).

Zwischen 1550 und 1570 ist die Datenlage gering, weswegen das Diagramm an dieser Stelle unterbrochen worden ist.

5 Methodik

5.1 Probennahme

Alle in dieser Arbeit untersuchten Metallobjekte sind mithilfe von spanabhebenden Verfahren beprobt worden. Entweder ist hierzu eine stationäre Bohrmaschine verwendet worden oder ein batteriebetriebener portabler Dremel. Dabei wurden HSS-Bohraufsätze mit 1,5mm Durchmesser verwendet. Die Bohraufsätze sind vor dem Bohren in Isopropanol gewendet worden um den vor Korrosion schützenden Ölfilm zu entfernen. Pro beprobten Objekt ist ein Bohrer verwendet worden, der anschliessend entsorgt worden ist.

Mit dem gereinigten Bohraufsatz ist zunächst etwas Oberflächenkorrosion entfernt worden. Dabei ist so tief in das jeweilige Objekt gebohrt worden, bis metallische Späne sichtbar wurden. Das konnte, speziell im Falle einiger Reibscheiben einige mm Tiefe bedeuten (**Abb. 5.1**).

Die metallischen Bohrspäne sind mit einem Wägepapier aufgefangen worden und wurden anschließend noch einmal auf Korrosionsrückstände überprüft. Dann ist das Probenmaterial in Eppendorfgefäße überführt worden und wurde mit der archäologischen Inventarnummer des jeweiligen Museums bzw. der Kollektion versehen (vgl. Kap. 11 und 12 Analysetabellen).



Abb. 5.1 Probennahme mithilfe eines batteriebetriebenen Dremels und 1,5mm HSS Bohrer. Die metallischen Bohrspäne fallen auf ein Blatt Wägepapier.

5.2 Probenaufbereitung

Im Forschungslabor des Deutschen Bergbau-Museums in Bochum wurde das genommene Probenmaterial für die quantitative Analytik vorbereitet.

Hierzu wurden, je nach verfügbarer Probenmenge, 20-50mg Kupfer- Blei- Zinn- und Messingbohrspäne mithilfe einer Präzisionswaage unter Luftabschluss eingewogen. Anschließend ist das abgewogene Material in Lösung gebracht worden. Hierzu ist eine Grundkenntnis der Materialzusammensetzung erforderlich, da die gewählten Säuren und deren Verdünnungsreihen auf das jeweilige Material abgestimmt sein müssen. Für die Kupfer- und Messingproben wurde eine 1,5 ml halbkonzentrierte Salz-Salpetersäure, für die Bleiprobe 1,5ml stark verdünnte Salpetersäure und für die Zinnprobe 2ml verdünnte Salzsäure verwendet. Die Aufschlüsse wurden bis auf eine Konzentration von 1000 mg/L mit destilliertem Wasser verdünnt.

5.3 Spurenelementbestimmung mittels SC-ICP-MS

Die in Lösung gebrachten Proben wurden im Forschungslabor des Deutschen Bergbau-Museums mithilfe eines hochauflösenden Thermo Scientific Element XR Single Collector mit induktiv gekoppelten Plasma Massenspektrometer (HR-SC-ICP-MS) auf ihre Spurenelemente hin analysiert.

Durch das gekoppelte Plasma wurden die Lösungen durch Verdampfen in gasförmigen Zustand (Aerosole) überführt, ionisiert und deren elementare Zusammensetzung in Abgleich mit den passenden Standardreferenzmaterialien bestimmt (**vgl. Tab. 5.1**).

Material	Standards	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Cu
Kupfer	BAM 376	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Messing	BAM 376, Brass No. 344	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Zinn	NF 54/1, NF 54/4	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Blei	PG1, PG3	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x

Tab. 5.1 Die verwendeten Standardreferenzmaterialien und die jeweils gemessenen Elemente bezogen auf das zu untersuchende Material. Herkunft der Standards: BAM: Bundesamt für Materialforschung und -prüfung, Berlin. Brass No. 344: British Chemical Standards, Middlesbrough, UK NF 54/1, NF 54/4: Alpha Analytical Laboratories, inc. New Jersey, PG1, PG3: Brammer Standard Company, Inc., Houston, USA.

ICP-MS erlaubt eine äußerst sensible Bestimmung der Spurenelemente. Die Nachweisgrenzen liegen dabei im unteren ppm bis oberen ppb Bereich, wobei der Großteil der hier untersuchten Metalle Spurenelemente im zwei-vierstelligen ppm Bereich aufweisen.

Über die Bestimmung der Spurenelemente von Metallobjekten können grundsätzlich sowohl Informationen über deren Herstellungsprozess als auch deren Herkunft gewonnen werden. Dabei muss grundsätzlich bedacht werden, dass die Spurenelemente bei den unterschiedlichen metallurgischen Prozessen vom Erz zum Metall vielfachen Fraktionierungseffekten unterworfen sind (Pernicka, 1999). Ein Vergleich der Spurenelemente zwischen Erz und Metall kann daher nicht ohne weiteres zur Herkunftsbestimmung herangezogen werden, auch wenn dies in der Vergangenheit häufig geschehen ist (z.B. Schulz, 1982).

Obwohl Schmelzexperimente gezeigt haben, dass Arsen und Antimon nur schwer aus dem Metall zu entfernen sind, sobald sie vom Erz ins Metall übergegangen sind (McKerrell and Tylecote, 1972) können diese durch Röstprozesse vor dem eigentlichen Schmelzen weitgehend reduziert werden (Tylecote et al., 1977). Daher ist die Interpretation von Spurenelementen mit Vorsicht zu handhaben, gerade dann, wenn die Metalle so wie in dieser Arbeit viele unterschiedliche Schmelz- bzw. Röstprozesse durchlaufen haben (vgl. Kap. 2.3).

Trotzdem ist aber zu erwarten, dass bestimmte Spurenelementgehalte (As, Sb, Ni, Bi) zumindest für die hier untersuchten Kupferbarren signifikant für einzelne Bergbaureviere sind, da die Verhüttungsprozesse in der Frühneuzeit in Europa überall gleich waren. Dies ist auch anhand der großen Verbreitung der Reißscheiben erkennbar. Daher sollte sich die Erzgrundlage (z.B. Fahlerze) zumindest näherungsweise in den Barren und Halbfabrikaten widerspiegeln.

5.4 Bleiisotopenbestimmung mittels MC-ICP-MS

Am Frankfurt Isotope & Element Research Center (FIERCE) des Fachbereichs Geowissenschaften der Goethe Universität ist ein Thermo Scientific Multicollector mit induktiv gekoppelten Plasma Massenspektrometer (MC-ICP-MS) (Modell: Neptune Plus) benutzt worden, um die Metallproben auf ihre Bleiisotopenverhältnisse zu untersuchen.

Im Gegensatz zur älteren Methodik zur Bestimmung von Isotopenverhältnissen mittels Thermionen-Massenspektrometrie (TIMS), hat das MC-ICP-MS Verfahren den Vorteil der höheren Signalstabilität die benötigt wird, wenn Isotopenverhältnisse gemessen werden sollen. Die Methodik ist bereits in den 90er Jahren von Walder et al. (1993), später White et al. (2000) und schließlich im direkten Kontext archäologischer Fragestellungen, von Niederschlag et al. (2003) und seitdem von vielen weiteren verwendet worden.

Niederschlag et al. (2003), Klein (2007), Klein et al. (2009) und Baron et al. (2014) liefern genaue Angaben über die standardisierten Messbedingungen bei der Erhebung von Bleiisotopenverhältnissen mittels MC-ICP-MS so wie sie hier durchgeführt worden sind:

Bei Metallproben deren Bleigehalte nach SC-ICP-MS unter 0,5 Gew.-% lagen musste das Blei vor der Bestimmung der Isotopenverhältnisse separat abgetrennt werden. Hierzu wurden 25mg Probenbohrspäne in geschlossenen Teflon-Bechern über Nacht bei 100° C mit jeweils 1,5g konzentrierter Salz- und Salpetersäure aufgelöst. Im Anschluss ist die Probenlösung eingedampft worden. Die Probenrückstände wurden mit Bromwasserstoff aufgenommen und mit destillierten Wasser verdünnt. Die Lösung wurde in ein Ionenaustauscher-Harz in Teflonsäulen pipettiert und dieses wurde anschließend mit Bromwasserstoff und Salzsäure gereinigt. Danach wurde das Blei aus dem Absorberharz ausgelöst und ist für die Bleiisotopie bei 120° C eingetrocknet worden

Wenn mehr als 0,5 Gew.-% Blei in der Probe vorhanden war, wurden die schon für SC-ICP-MS verwendeten Lösungen mit zwei Prozentiger Salpetersäure auf 250 ppb gebracht und mit 100ppb des Thallium-Standards (NIST SRM 997) versetzt, um die interne Massenfraktionierung zu korrigieren.

Während der Messreihen wurde nach jeweils fünf Proben der Bleistandards NIST SRM 981 zwischengeschaltet, um Stabilität und Messgenauigkeit des Neptune Plus zu überprüfen. Bei den SC-ICP-MS Messungen sind keine Quecksilbergehalte aufgefallen, die die Isotopensignaturen des ²⁰⁴Pb hätten beeinflussen können. Die zweifache Standardabweichung bei den Messungen sind Kap. 12 zu entnehmen.

Bleiisotopenverhältnisse liefern wichtige Hinweise zur Provenienz von Metallerzeugnissen (z.B. Gale, 1989). Dabei fraktionieren, anders als bei den Spurenelementgehalten, die Bleiisotopenverhältnisse bei der Umwandlung vom Erz zum Metall nicht (Klein, 2007). Es ist daher legitim, Bleiisotopenverhältnisse von Metallen mit denen von Erzlagerstätten zu vergleichen.

Generell liefern Bleiisotopenverhältnisse von Erzen und Metallen eine Information über das genetische Entstehungsalter einer Lagerstätte, da ihre Mutternuklide Uran und Thorium, die zu den Pb-Isotopen zerfallen mit wässrigen Lösungen abtransportiert werden (Doe & Stacey, 1974). Daher sind die Bleiisotopenverhältnisse bei der Bildung einer Lagerstätte fixiert und werden auf die Produkte der metallurgischen „chaine d'operatoire“ (Erz, Metall, Schlacke & Speise) übertragen (Klein, 2007).

Besonders hilfreich ist dabei die Darstellung der Bleiisotopenverhältnisse in binären Plots, die dabei helfen können, der Erzlagerstätte aus dem das Metall erschmolzen worden ist, ein geologisches Entstehungsalter zuzuordnen (Stacey & Kramers, 1975; Faure, 1986) (**Abb. 5.2**). Somit lassen sich durch Ausschlussverfahren bestimmte Lagerstätten hinsichtlich ihres

geologischen Alters direkt von der Herkunftsdiskussion ausklammern. Die unterschiedlichen μ -Linien können dabei wichtige Hinweise auf den Grundchemismus der Lagerstätte geben.

Es muss dabei wiederum darauf hingewiesen werden, dass ein Teil der in dieser Arbeit untersuchten Objekte möglicherweise aus dem Saigerprozess stammt (vgl. Kap. 2.3), wo ihnen intentionell Blei hinzugefügt worden ist. Freilich kann über die Bestimmung der Bleisotopenverhältnisse so nur auf die Herkunft des Bleis geschlossen werden, nicht aber auf jene des Kupfers.

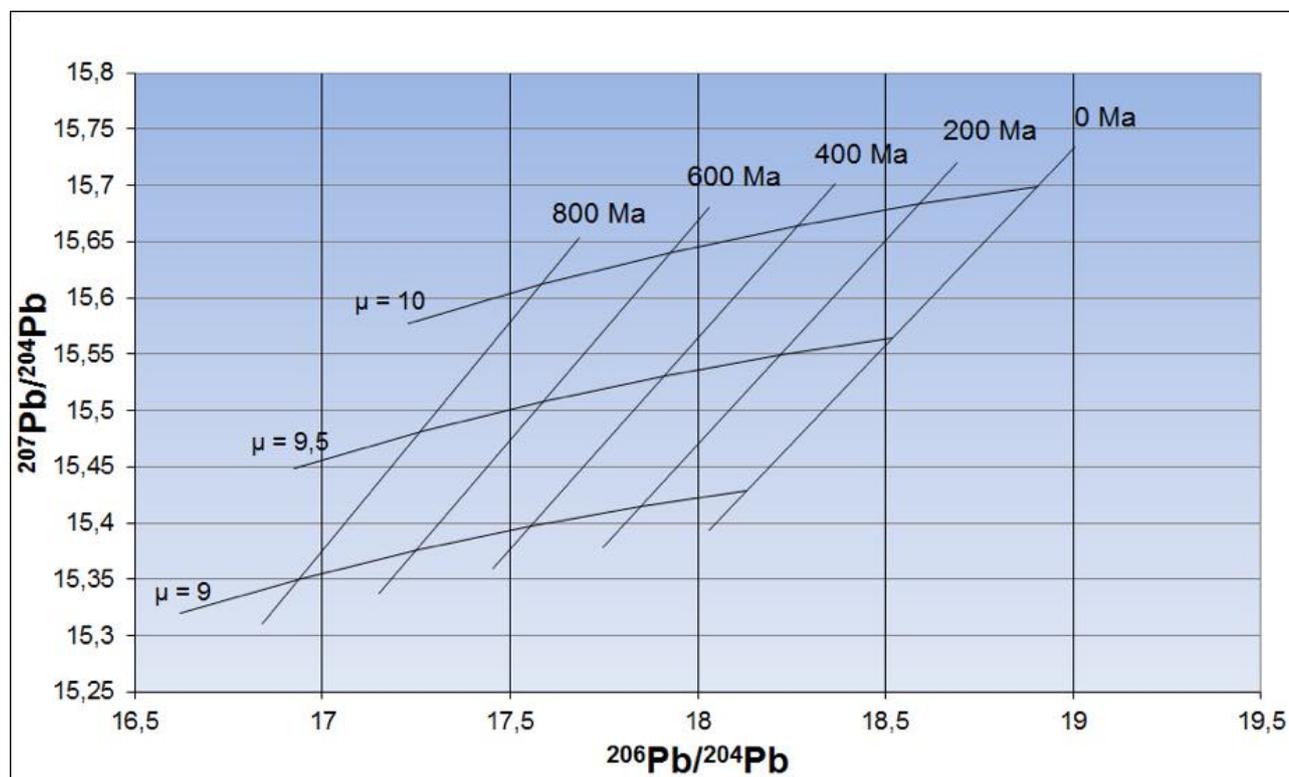


Abb. 5.2 Bleientwicklung nach Stacey & Kramers, 1975. Je nach Chemismus der Lagerstätte plotten die Bleisotopenverhältnisse (hier: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) in vordefinierten Feldern abhängig von ihren Entstehungsaltern. Dies ist ein nützliches Hilfsmittel zum Ausschluss von potentiellen Herkunftsgebieten bei der Provenienzforschung.

Dennoch ist auch hier die Bleisotopenanalytik nicht uninteressant, da das Blei, welches zum Saigern auf den verschiedenen Hütten verwendet worden ist, aus bekannten Lagerstätten stammt und so evtl. die verarbeitende Saigerhütte kennzeichnet. So ist die Präsenz von schlesischem Blei signifikant für eine Kupferverarbeitung im slowakischen Raum (Hauptmann et al., 2016).

6 Ergebnisse der Spurenelement- und Isotopenanalytik

6.1 Kupfer

6.1.1 Reißscheiben

Die hier analysierten Reißscheiben sind nicht nur hinsichtlich ihrer optischen Erscheinung, sondern auch hinsichtlich ihrer Spurenelement- und bleiisotopischen Zusammensetzung, alle sehr unterschiedlich. Sie müssen daher einzeln nach ihren Fundorten beschrieben werden.

6.1.1.1 Mönchgut_92

Die Ergebnisse der Spurenelement- und Bleiisotopenbestimmung sind Tabelle 11.1.1 bzw. 12.1.1 zu entnehmen.

Die Scheiben haben einen mittleren Kupfergehalt von 93,9 Gew.% (84,6%-97,8%). Dabei sind die Hauptverunreinigungen, jeweils im Mittel: Eisen (1,3 Gew.-%), Schwefel (0,7 Gew.-%) gefolgt von Blei (0,4 Gew.-%) und Zink (0,3 Gew.-%) (**Abb. 6.2**). Nennenswert wären noch die Kobaltgehalte (0,1 Gew.-%). Weitere Spurenelemente wie Silber, Zinn, Antimon und Arsen liegen unter der 0,1 Gew.-% Marke. Die Zusammensetzung ist jedoch nicht homogen, einzelne Elementgehalte sind sehr unterschiedlich, darunter Arsen, Antimon, Nickel, Wismut und Blei (**Abb. 6.3**)

Die Mönchgut_92 Scheiben haben generell hohe $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Isotopenverhältnisse mit etwas Streuung (**Abb. 6.1**). Sie bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,965\text{-}0,976$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,21\text{-}2,24$, bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0625\text{-}0,0636$.

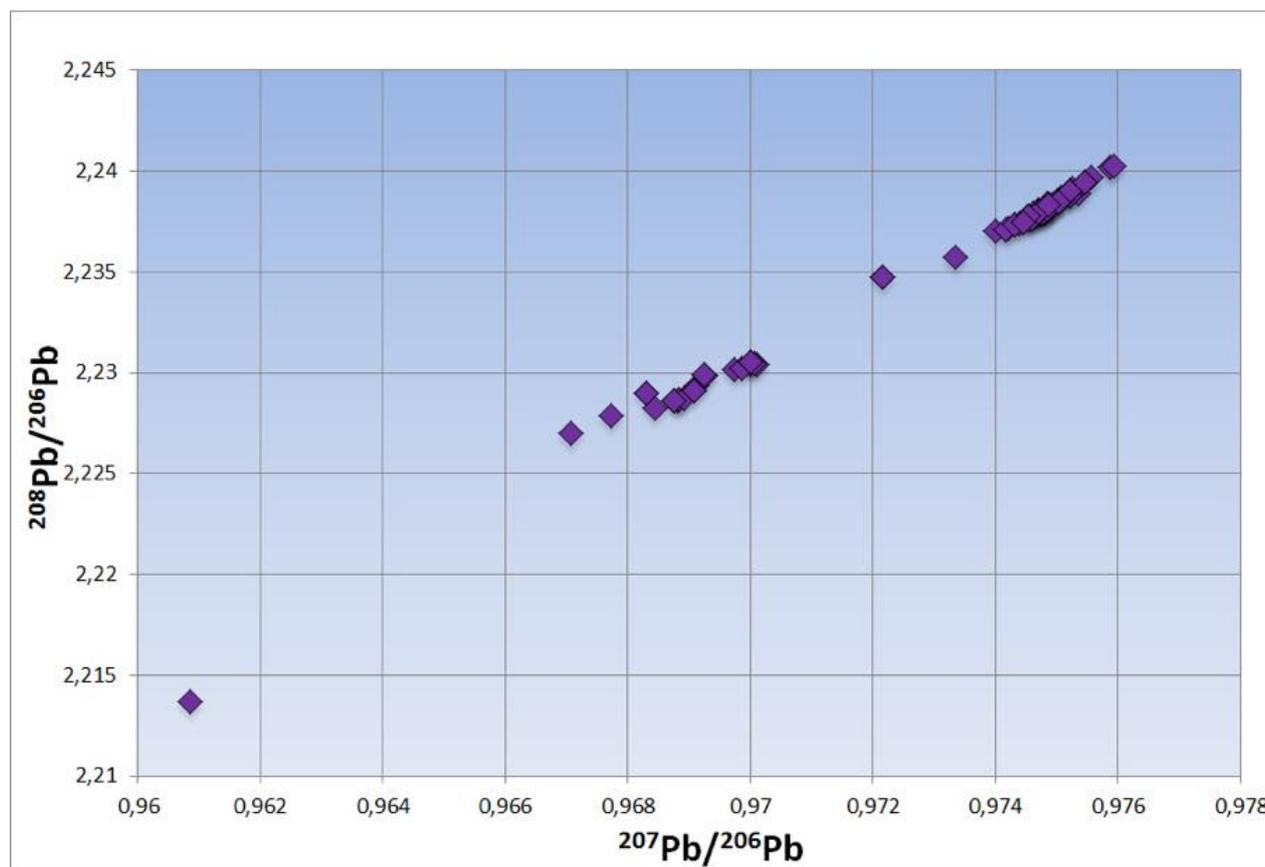


Abb. 6.1 Die Bleiisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der Mönchgut_92 Reißscheiben. Diese sind recht hoch und liegen deutlich über dem in **Abb. 6.4** dargestellten Bereich. Die Verhältnisse streuen im gezeigten Plot ohne den Ausreißer um jeweils ca. 0,01.

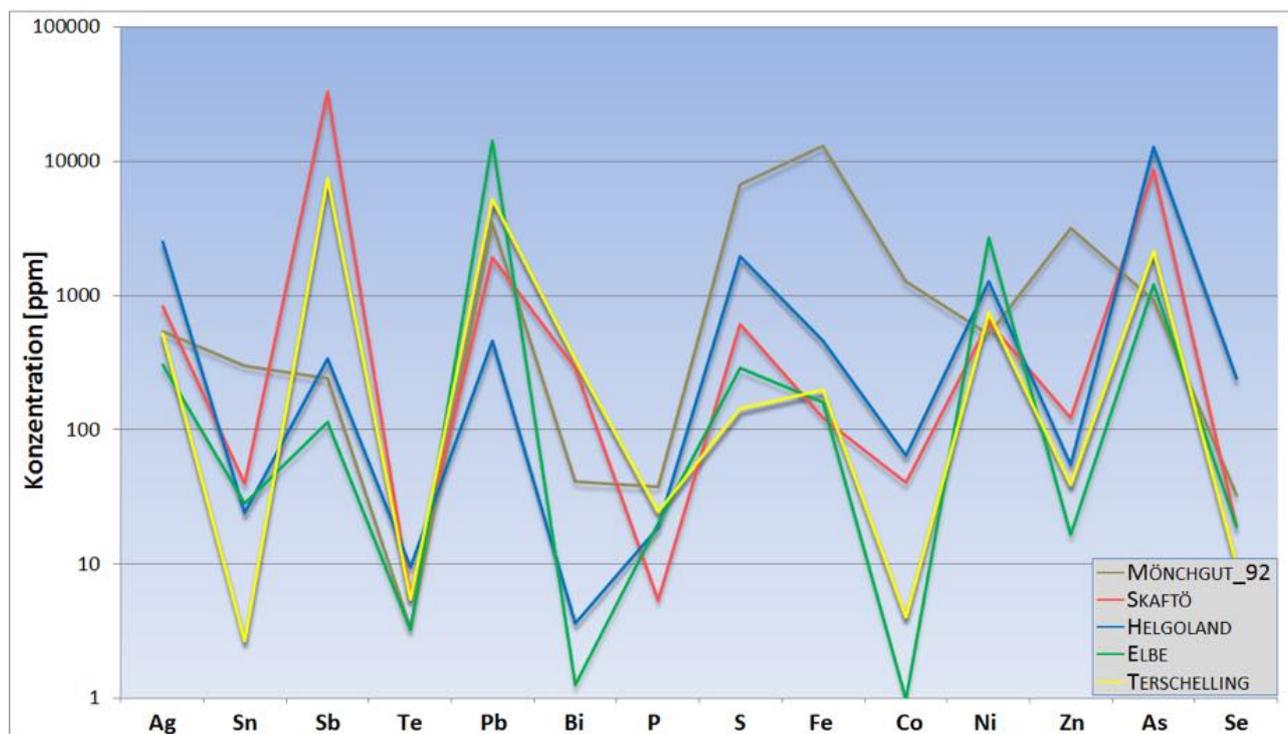


Abb. 6.2 Die gemittelte logarithmische Spurenelementverteilung der Reißscheiben von Mönchgut_92 ($n=66$), Skaftö ($n=9$), Helgoland ($n=23$), Elbe ($n=19$) und Terschelling ($n=3$). Ihre Spurenelementzusammensetzung unterscheidet sich stark. Während die Mönchgut_92 Scheiben durch hohe Schwefel-, Eisen- und Zinkgehalte auffallen, ist das Merkmal der Skaftö- und Terschellinger Reißscheiben ihre sehr hohen Antimonwerte. Die Reißscheiben von Helgoland und jene aus der Elbe fallen durch ihre sehr niedrigen Wismutgehalte bei gleichzeitig relativ hohen Nickelgehalten auf. Vgl. auch **Abb. 6.3**.

6.1.1.2 Skaftö

Die Ergebnisse zu den Skaftö-Reißscheiben sind Tabelle 11.1.2 bzw 12.1.2 zu entnehmen.

Diese Reißscheiben haben generell hohe Kupfergehalte über 95 Gew.-%.

Allerdings fallen bei einigen Scheiben bestimmte Spurenelemente durch ihre hohen Gehalte auf. Als Hauptverunreinigungen sind hier besonders Antimon mit im Mittel 3,3 Gew.-% und Arsen mit 0,9 Gew.-% zu nennen, des Weiteren Blei mit 0,2 Gew.-% (**Abb. 6.2**). Bei fünf Exemplaren liegt der Antimongehalt bei über 4 Gew.-% (**Abb. 6.3**).

Die Bleisotopenverhältnisse der Skaftöscheiben streuen etwas. Sie bewegen sich zwischen: $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,849 - 0,867$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,089 - 2,117$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0543 - 0,0553$. (**Abb. 6.4**)

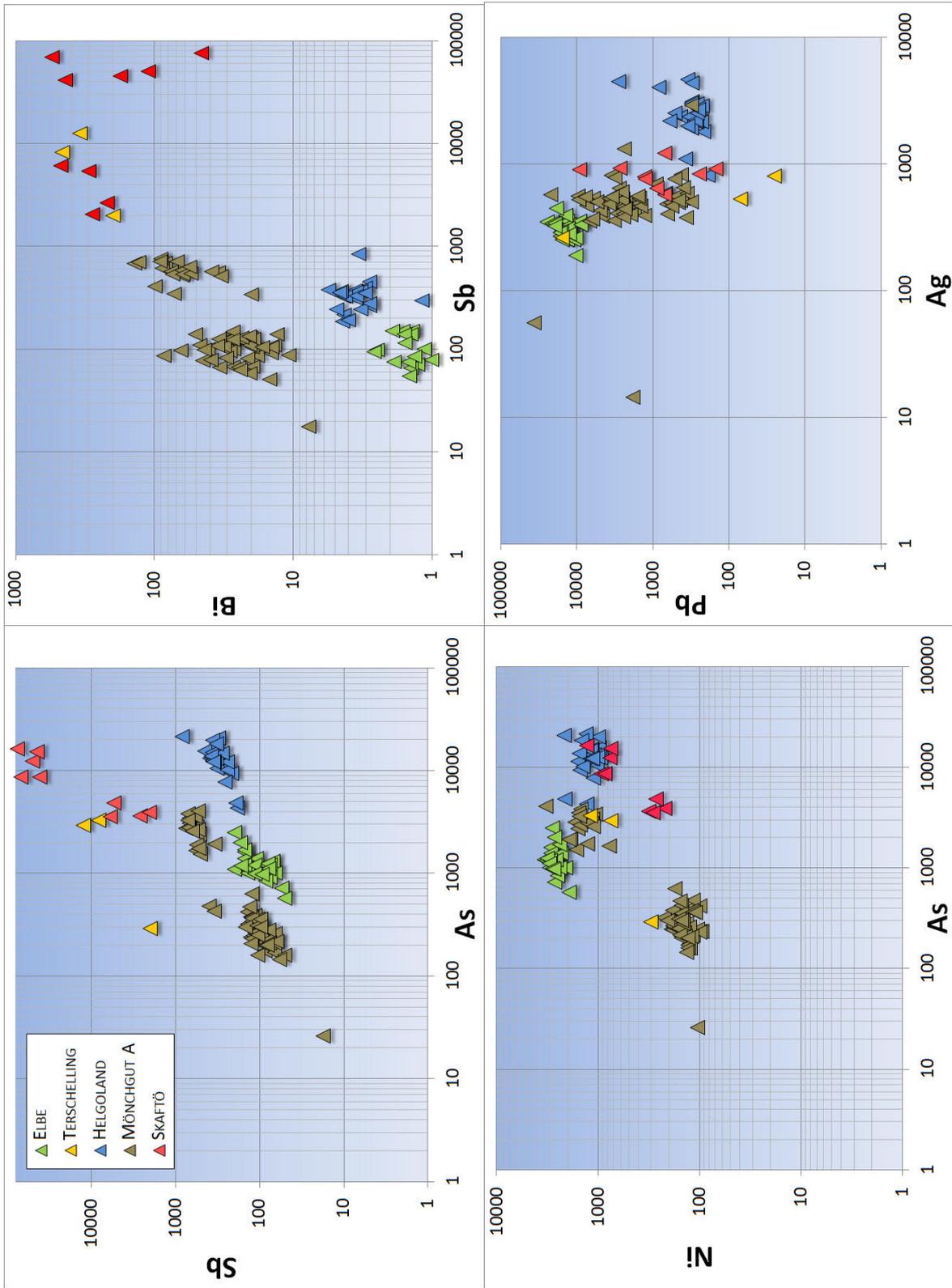


Abb. 6.3 Die Spurenelemente Antimon, Arsen, Nickel, Wismut, Blei und Silber (in ppm) der untersuchten Reißscheiben in ausgewählten Plots. Sie bilden manchmal Cluster, wobei die Mönchgut- und Skaftöscheiben weniger homogen sind.

6.1.1.3 Helgoland

Die analytischen Ergebnisse zu den Helgolandscheiben sind Tabelle 11.1.3 bzw. 12.1.3 zu entnehmen.

Diese Reißscheiben haben einen mittleren Kupfergehalt von 94 Gew.%. Sie haben im Allgemeinen eine homogene Zusammensetzung (**Abb. 6.3**). Als Verunreinigungen tritt vor allem Arsen auf, welches im Mittel einen Gehalt von über einem Prozent hat (1,3 Gew.-%). Deutlich danach steht Silber (0,3 Gew.-%), Schwefel (0,2 Gew.-%) und Nickel (0,1 Gew.-%). Alle weiteren Spurenelemente liegen unterhalb der 0,1 Gew.-% Marke. Besonders Wismut liegt durchgehend im einstelligen ppm Bereich (**Abb. 6.2**).

Die Bleiisotopenverhältnisse der Helgolandscheiben haben nur eine geringe Streubreite. Sie bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,845 - 0,848$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,077 - 2,085$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0540 - 0,0543$ (**Abb. 6.4**).

6.1.1.4 Elbe

Siehe zu den Elbe-Reißscheiben Tabelle 11.1.4 und 12.1.4

Die Kupfer-Reißscheiben aus der Elbe haben einen Kupfergehalt von 95,3%. Sie sind sehr homogen zusammengesetzt. Die Bleigehalte sind relativ hoch (1,4 Gew.% im Mittel). Danach fallen nur noch die gemittelten Nickel- (0,3 Gew.-%) und Arsengehalte (0,1 Gew.-%) über die 0,1 Gew.-% Marke. Wismut ist, ähnlich den Helgolandscheiben, auffallend niedrig (1ppm) (**Abb. 6.3**).

Die Bleiisotopenverhältnisse der Reißscheiben aus der Elbe zeigen geringe Streuung. Sie liegen bei $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,848 - 0,849$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,084 - 2,087$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05426 - 0,05434$. 4152_16 ist dabei als Ausreißer zu werten (**Abb. 6.4**).

6.1.1.5 Terschelling

Die Ergebnisse der Analysen der Terschellinger Reißscheiben sind Tabelle 11.1.5. und 12.1.5 zu entnehmen.

Hier lagen nur drei Exemplare vor. Sie haben im Mittel Kupfergehalte von 95,1%. Die drei Scheiben sind sehr unterschiedlich zusammengesetzt (**Abb. 6.3**). Die Mittelwerte sind daher nicht repräsentativ. Eine der drei Scheiben (4526/18) setzt sich deutlich von den anderen beiden ab, maßgeblich durch ihre niedrigeren Silber-, Arsen-, Wismut-, Nickel- (alle <0,1 Gew.-%) und Anitmongehalte (0,2 Gew.-%). Ihr Bleigehalt ist dafür um ein vielfaches höher, ebenso Eisen und Schwefel (**Abb. 6.3**).

Von zwei der drei Scheiben liegen Bleiisotopendaten vor. Diese bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,848 - 0,850$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,085 - 2,089$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0543 - 0,0544$. (**Abb. 6.4**).

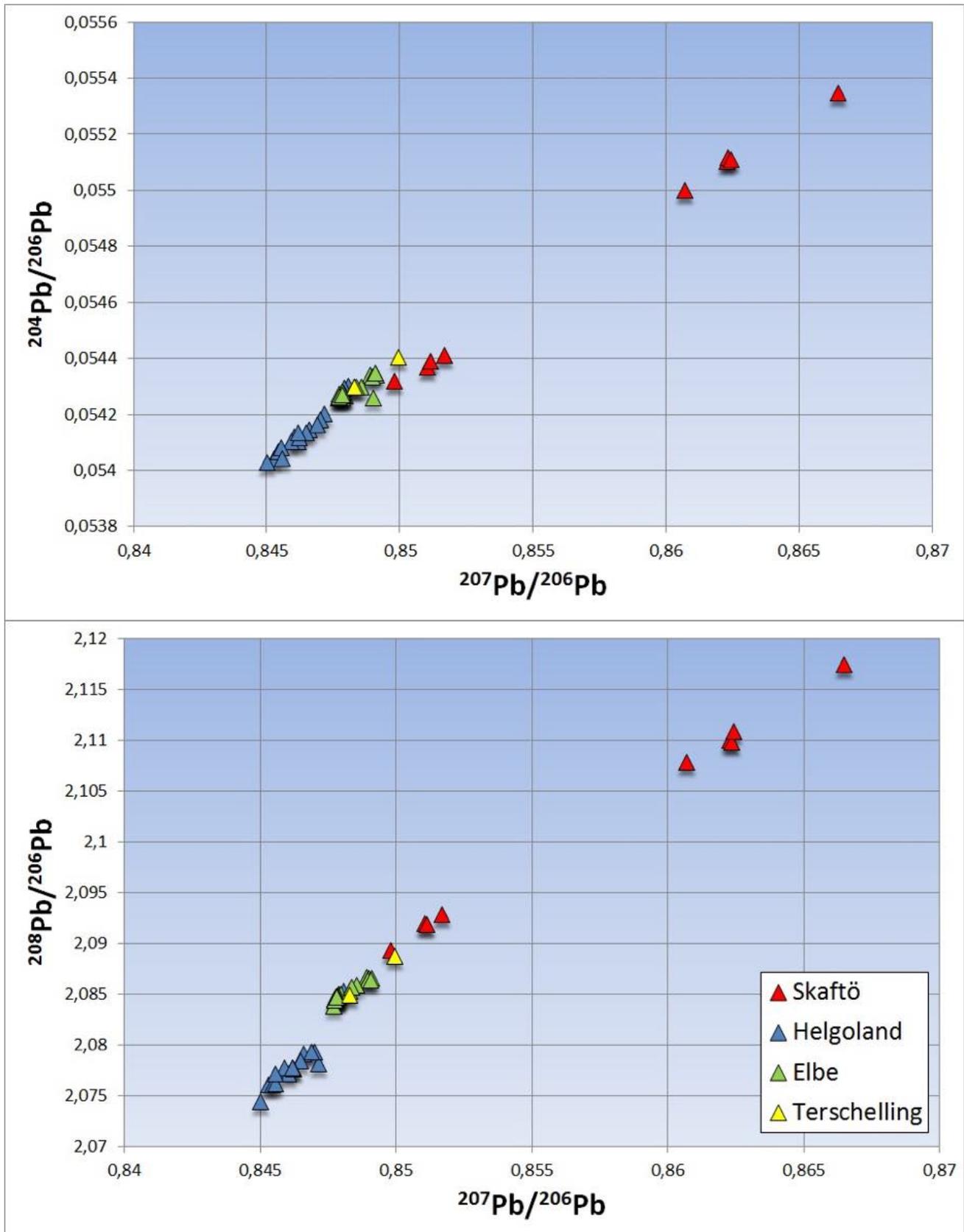


Abb. 6.4 Die Bleiisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der untersuchten Reißscheiben (außer Mönchgut vgl. **Abb. 6.1**). Generell sind die Streuungsraten der Reißscheiben gering, wobei jene der Elbe am geringsten sind. Die Skaftö-Scheiben weisen generell höhere Bleiisotopenverhältnisse auf und streuen am stärksten.

6.1.2 Halbfabrikate: Halbgossenkugeln, Vierkantkupper, Rundscheiben

Zu den Halbfabrikaten gehören die Halbgossenkugeln, das Vierkantkupper, die Rundscheiben und die Kupferbleche. Aufgrund der chemischen und isotopischen Ähnlichkeit, die die unterschiedlichen Fabrikate zueinander aufweisen, werden sie hier zusammen behandelt.

Die Ergebnisse der Analysen der Halbfabrikate sind den Tabellen 11.1.6 - 11.1.8 und 12.1.6 - 12.1.8 zu entnehmen.

Die Halbfabrikate haben grundsätzlich hohe Kupfergehalte (95-99 Gew.-%). Lediglich ein Ausreißer (4521_18) liegt knapp unter der 90 Gew.-% Marke.

Maßgebliches Kennzeichen der Halbfabrikate sind ihre Bleigehalte (**Abb. 6.5**). Diese liegen zwischen 0,2 bis 2,2 Gew.-%. Generell sind die Bleigehalte beim Vierkantkupper deutlich höher (im Mittel 1,1 Gew.-%) als bei den Halbgossenkugeln (0,5 Gew.-%) und den Rundscheiben (0,4 Gew.-%). Allerdings sind die Bleigehalte beim Vierkantkupper aus der Elbe deutlich geringer als bei jenen von Terschelling und das gilt auch für die Rundscheiben beider Fundorte (**Abb. 6.6**).

Des Weiteren sind hohe Antimongehalte (ca. 0,2 Gew.-%) allen Halbfabrikaten gemein (**Abb. 6.5**). Ähnliches gilt für die Arsengehalte (0,05 - 0,09 Gew.-%). Die Nickelgehalte sind bei den Halbgossenkugeln (0,1 Gew.-%) und den Rundscheiben (0,08 Gew.-%) höher als beim Vierkantkupper (0,05 Gew.-%) (**Abb. 6.5**).

Das Vierkantkupper aus der Elbe fällt noch durch höhere Zinngehalte auf. Eine Rundscheibe aus der Elbe hat derart hohe Zinkgehalte (0,06 Gew.-%) das der Mittelwert nicht repräsentativ ist.

Die Bleisotopenverhältnisse des Großteils der Halbfabrikate sind außerordentlich homogen, nur jene des Materials aus der Elbe und die Halbgossenkugel von Mozambique liegen etwas außerhalb (**Abb. 6.7**). Das Cluster liegt bei $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,8479 - 0,8481$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0848 - 2,0853$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05428 - 0,0543$.

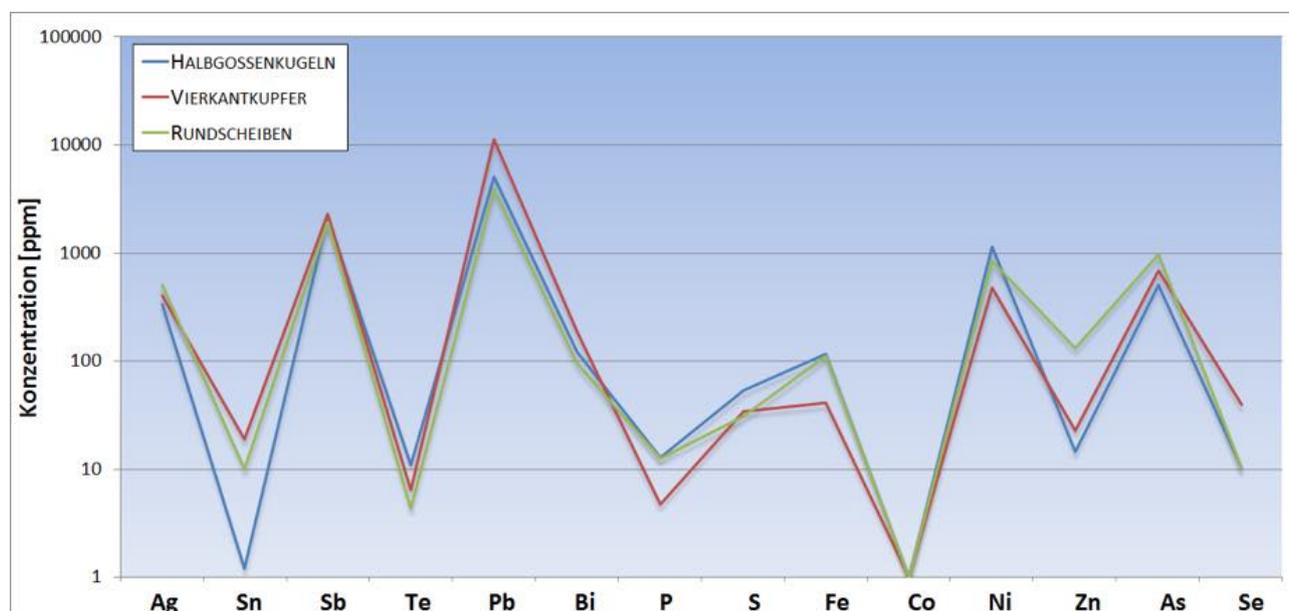


Abb. 6.5 Die gemittelten Spurenelementgehalte der Halbfabrikate in ppm logarithmisch aufgetragen. Blei und Antimon sind bei allen Fabrikaten erhöht, wobei das Vierkantkupper die höchsten Werte aufweist. Die Nickelgehalte sind bei den Halbgossenkugeln generell höher, die scheinbar höheren Zinkgehalte bei den Rundscheiben wird durch einen Ausreißer beeinflusst. Generell ist eine sehr homogene Zusammensetzung zu beobachten. Halbgossenkugeln $n=10$, Vierkantkupper $n=22$, Rundscheiben $n=4$. Vgl. auch **Abb. 6.6**.

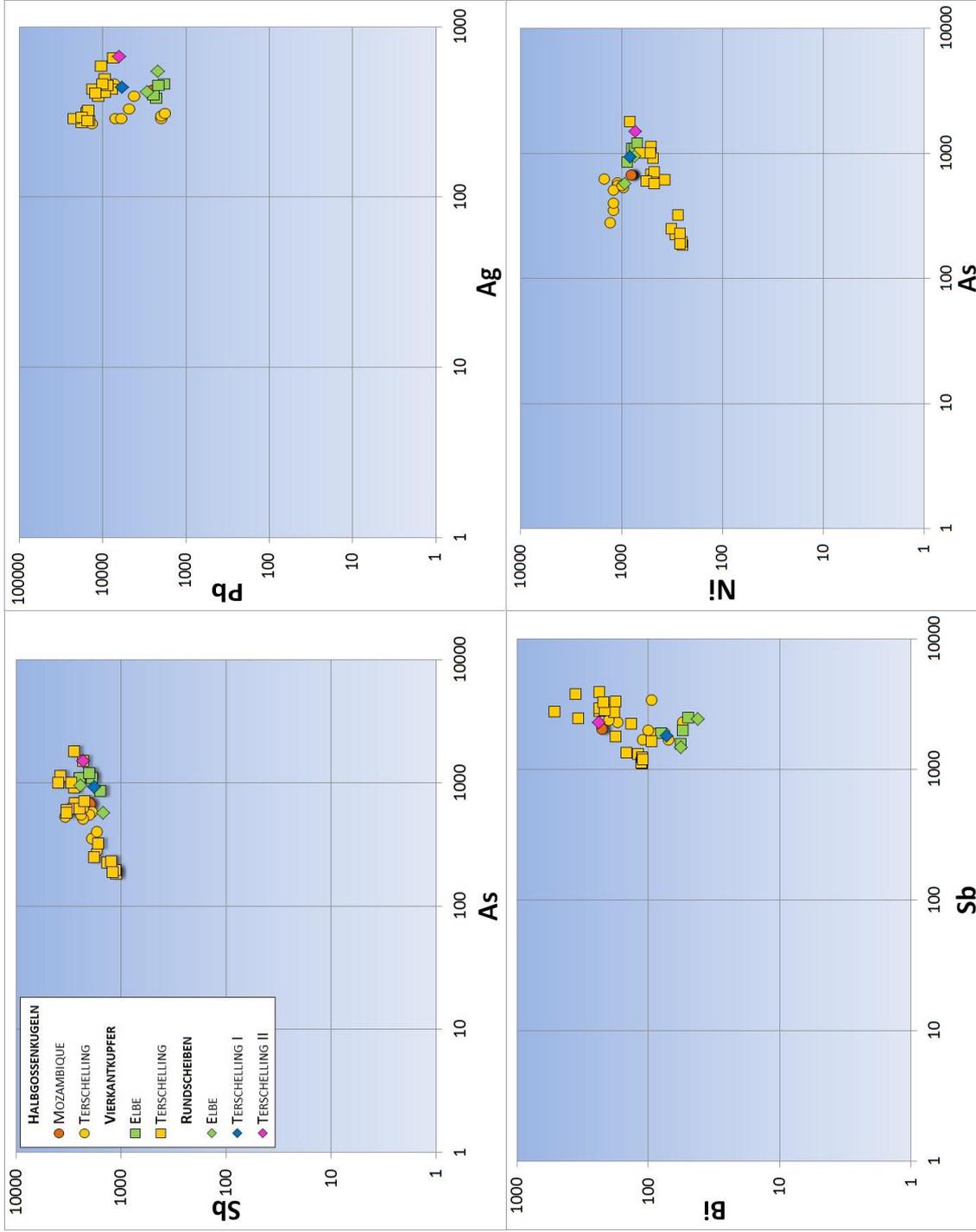


Abb. 6.6 Die Spurenelemente Antimon, Arsen, Nickel, Wismut, Blei und Silber der Kupfer-Halbfabrikate in ausgewählten Plots in ppm. Generell sind die Halbfabrikate sehr homogen, nur jene aus der Elbe sind Blei- und Wismutärmer.

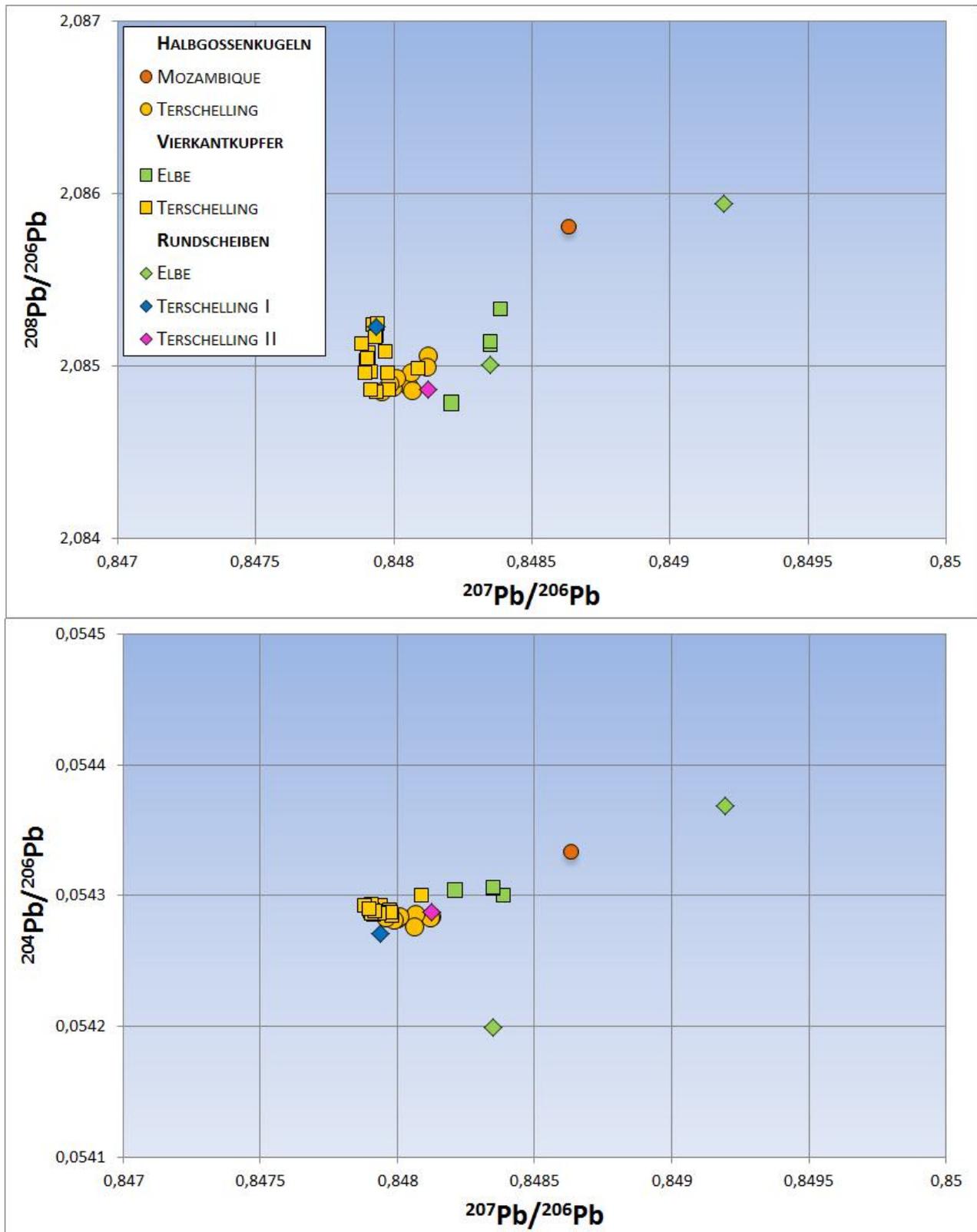


Abb. 6.7 Die Bleisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der Kupferhalbfabrikate. Der Großteil hat außerordentlich homogene Isotopenverhältnisse, nur das Material aus der Elbe und die Halbgossenkugel aus Mozambique weichen etwas ab.

6.1.3 Ziegelbarren

Zu den analytischen Ergebnissen der Ziegelbarren siehe Tab. 11.1.9 und 12.1.9

Die ziegelförmigen Barren aus der Elbe haben generell hohe Kupfergehalte (96-100 Gew.-%) und eine homogene Zusammensetzung. Blei fällt als einzige Verunreinigung mit 0,7 Gew.-% im Mittel auf, alle anderen Spurenelemente sind <0,1 Gew.-%, wobei die Silbergehalte noch am höchsten sind (0,06 Gew.-% im Mittel) (**Abb. 6.8**).

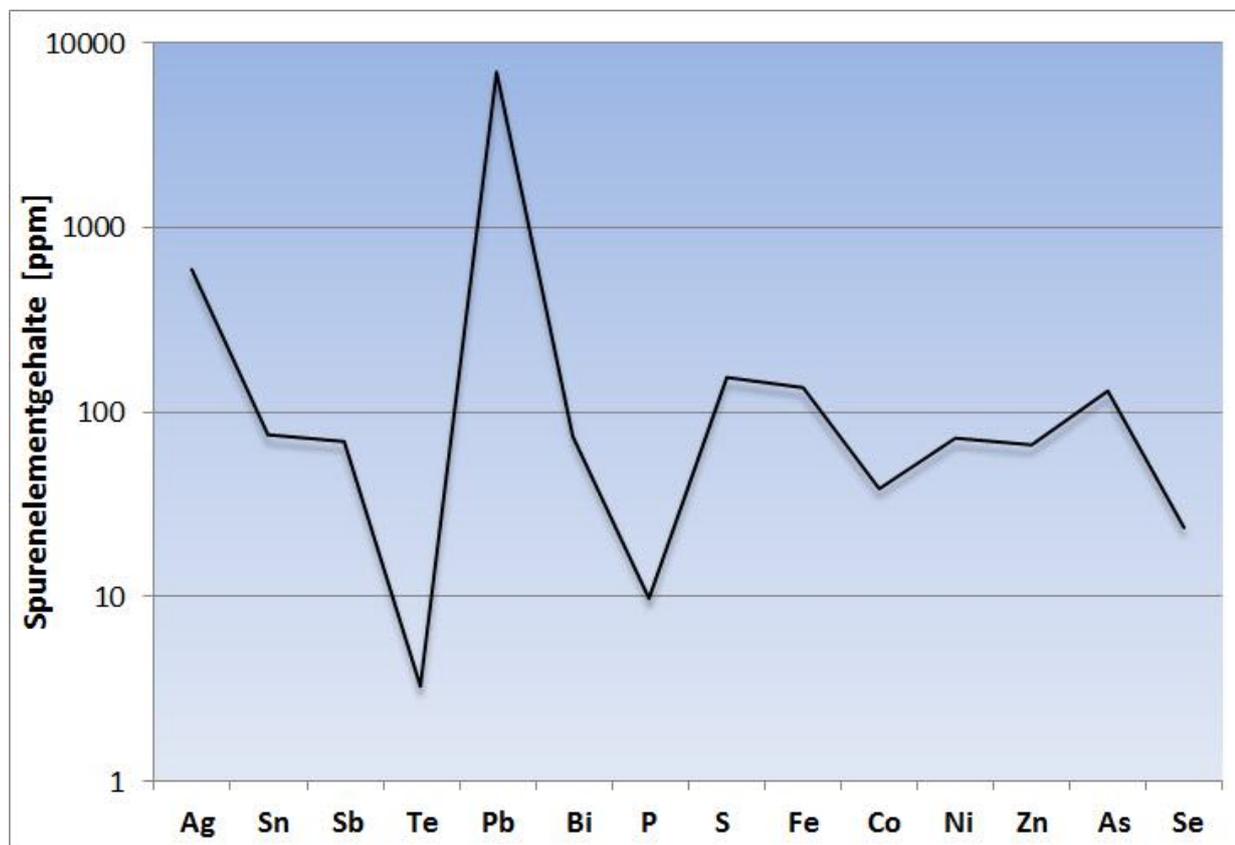


Abb. 6.8 Die chemische Zusammensetzung der Ziegelkupferbarren aus der Elbe (n=17). Nur Blei fällt als Verunreinigung über die 0,1 Gew.-% Marke, alle anderen Elemente liegen unterhalb. Die Silbergehalte sind dabei noch am höchsten.

Die Ziegelbarren zeigen ähnlich hohe Isotopenverhältnisse wie jene der Mönchgut_92 Scheiben (Kap. 6.1.1.1). Sie zeigen dabei nur wenig Streuung. Bis auf zwei bis drei Ausreißer-Barren bewegen sie sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,975 - 0,976$ bzw. $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,240 - 2,241$ und $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0635 - 0,0636$ (**Abb. 6.9**).

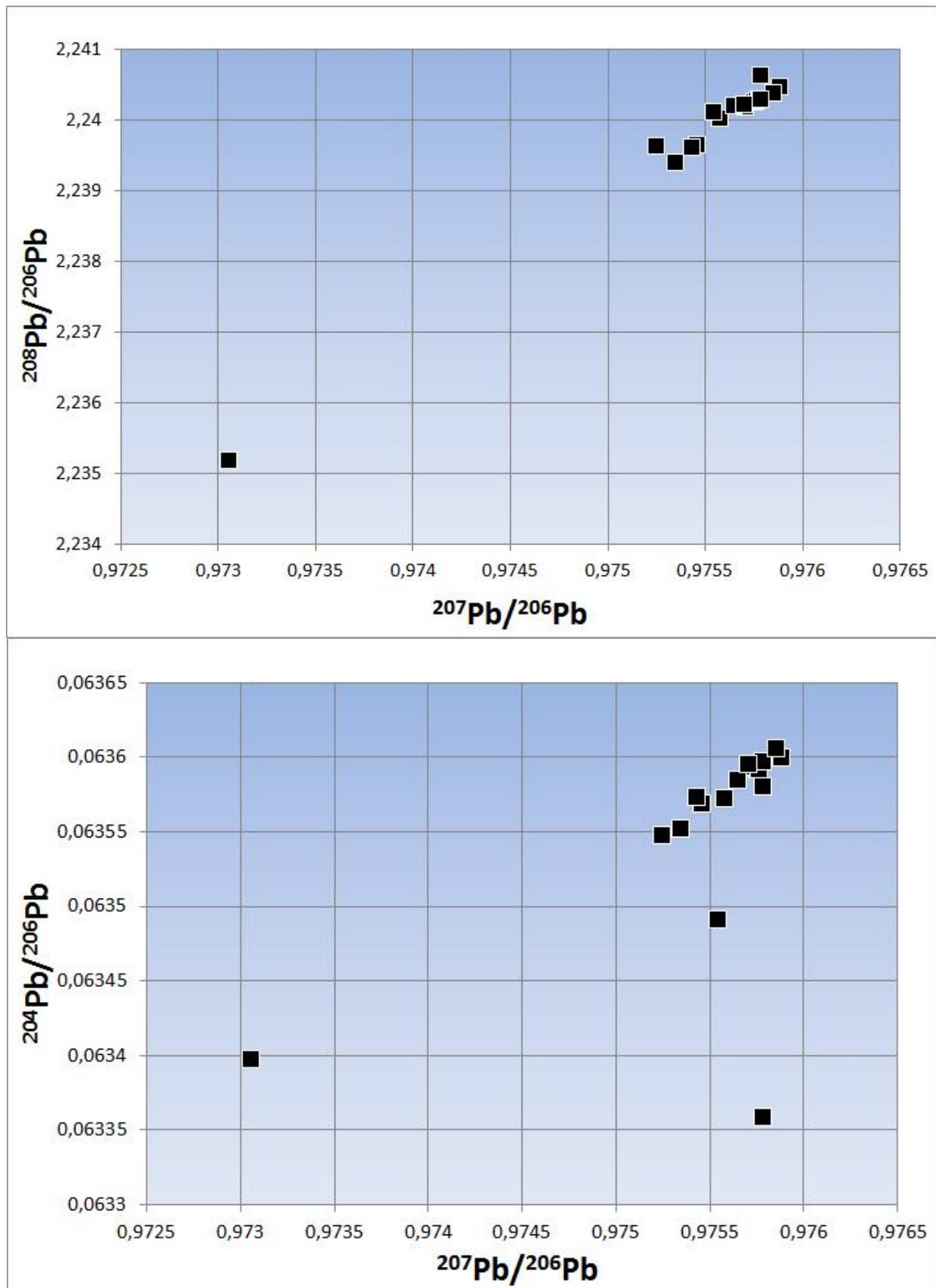


Abb. 6.9 Die sehr hohen Bleisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der Ziegelbarren. Der Großteil der Barren zeigt nur wenig Streuung. Im unteren Plot sind drei Ausreißer erkennbar.

6.1.4 Armreife

Die Ergebnisse der Analysen der Armreife sind Tab. 11.1.10 und 12.1.10 zu entnehmen.

Die schweren Armreife haben eine relativ reine und homogene Zusammensetzung (Kupfergehalte 97 Gew.-% im Mittel). Nur die Elemente Blei (0,2 Gew.-%) und Arsen (0,3 Gew.-%) sind nennenswerte Verunreinigungen. Alle anderen Elemente liegen unter der 0,1 Gew.-% Marke (**Abb. 6.10**)

Von einem Armreif konnten die Bleiisotopenverhältnisse bestimmt werden. Sie liegen bei $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,866$ bzw. $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,111$ und $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,551$ (**Abb. 6.11**).

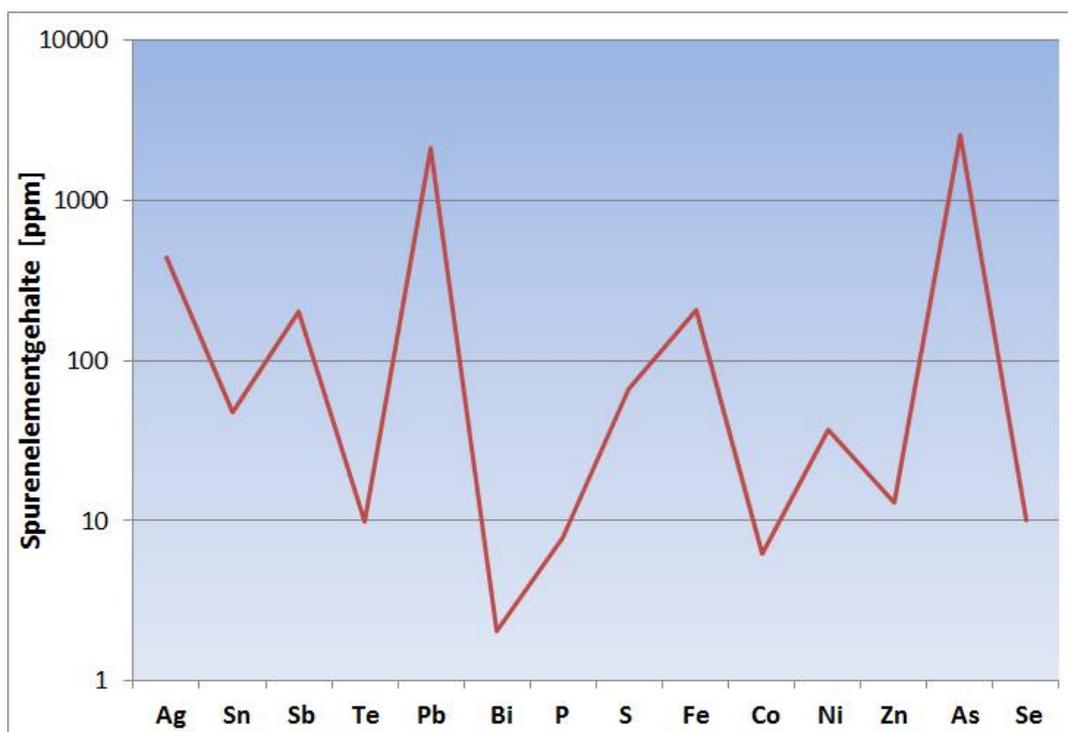


Abb. 6.10 Chemische Zusammensetzung der Armreife ($n=3$) aus Ovamboland. Nennenswert sind nur die Arsen- und Blei-gehalte die über der 0,1 Gew.-% Marke liegen.

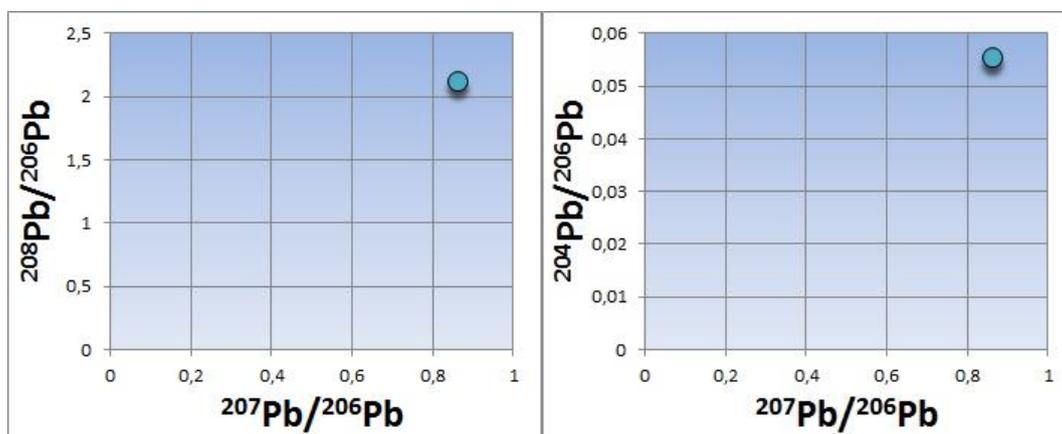


Abb. 6.11 Bleiisotopenverhältnisse eines der drei Armreife aus Ovamboland. Es sind generell höhere Pb-Isotopenverhältnisse erkennbar, so wie sie bei den Skaffö-Scheiben z.T. vorliegen (vgl. **Abb. 6.4**).

6.2 Messing

6.2.1 Zahlungsmittel im Sklavenhandel: Stangen, Manillen & Spiralreife

Zu den analytischen Ergebnissen siehe Tab. 11.2.1 - 11.2.3 bzw. 12.2.1 - 12.2.3

Alle hier untersuchten Zahlungsmittel sind als Kupferlegierungen mit schwankenden Anteilen Zink, Blei und/oder Zinn anzusprechen (**Abb. 6.12**). Die Kupfergehalte sind sich dabei, bis auf drei Ausnahmen (Manillen 5052_20, 5053_20 und 3662_19), relativ ähnlich und bewegen sich zwischen 65 und 75 Gew.-%.

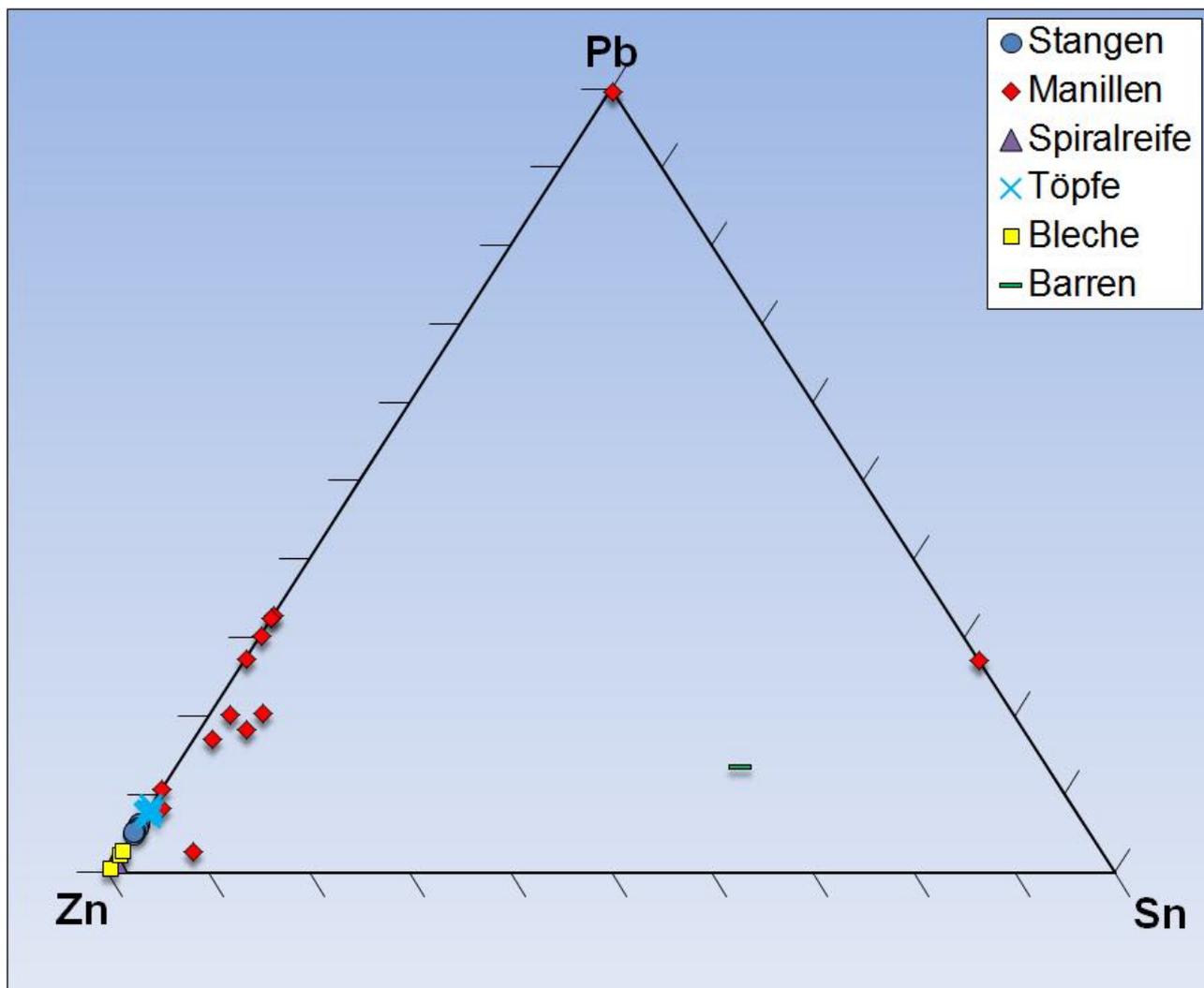


Abb. 6.12 Die Legierungsbestandteile Blei, Zink, und Zinn der untersuchten Messingobjekte im ternären Diagramm. Während der Großteil der Objekte sehr homogene Zusammensetzung aufweisen und eindeutig als Messing identifiziert werden können, sind die Manillen deutlich variabler zusammengesetzt. Größere Schwankungen gibt es bei den Bleigehalten der Manillen, kleinere bei deren Zinngehalten. Beachte auch die zwei Ausreißer bei den Manillen und die völlig anders geartete Legierung bei dem Barren.

Die Stangen sind homogen zusammengesetzt. Neben den Legierungsbestandteilen Zink (Im Mittel: 27,7 Gew.-%) und Blei (im Mittel 1,6 Gew.-%) erreicht nur Eisen mit ca. 0,2 Gew.-% nennenswerte Gehalte.

Bei den Manillen ist die Situation anders. Sie variieren stark in ihren Legierungsbestandteilen und zeigen auch hinsichtlich ihrer Spurenelementverteilungen große Unterschiede. Speziell die Blei- und Zinngehalten schwanken stark (**Abb. 6.12**). Drei Manillen haben Bleigehalte über 10 Gew.-%, wobei Manille 5053_20 mit 63 Gew.-% Blei und Manille 5052_20 mit 16 Gew.-% Blei und 42

Gew.-% Zinn sich völlig von den anderen Manillen absetzen. Bei den Spurenelementen fallen Antimon und Arsen mit größeren Schwankungen auf (**Abb. 6.13**).

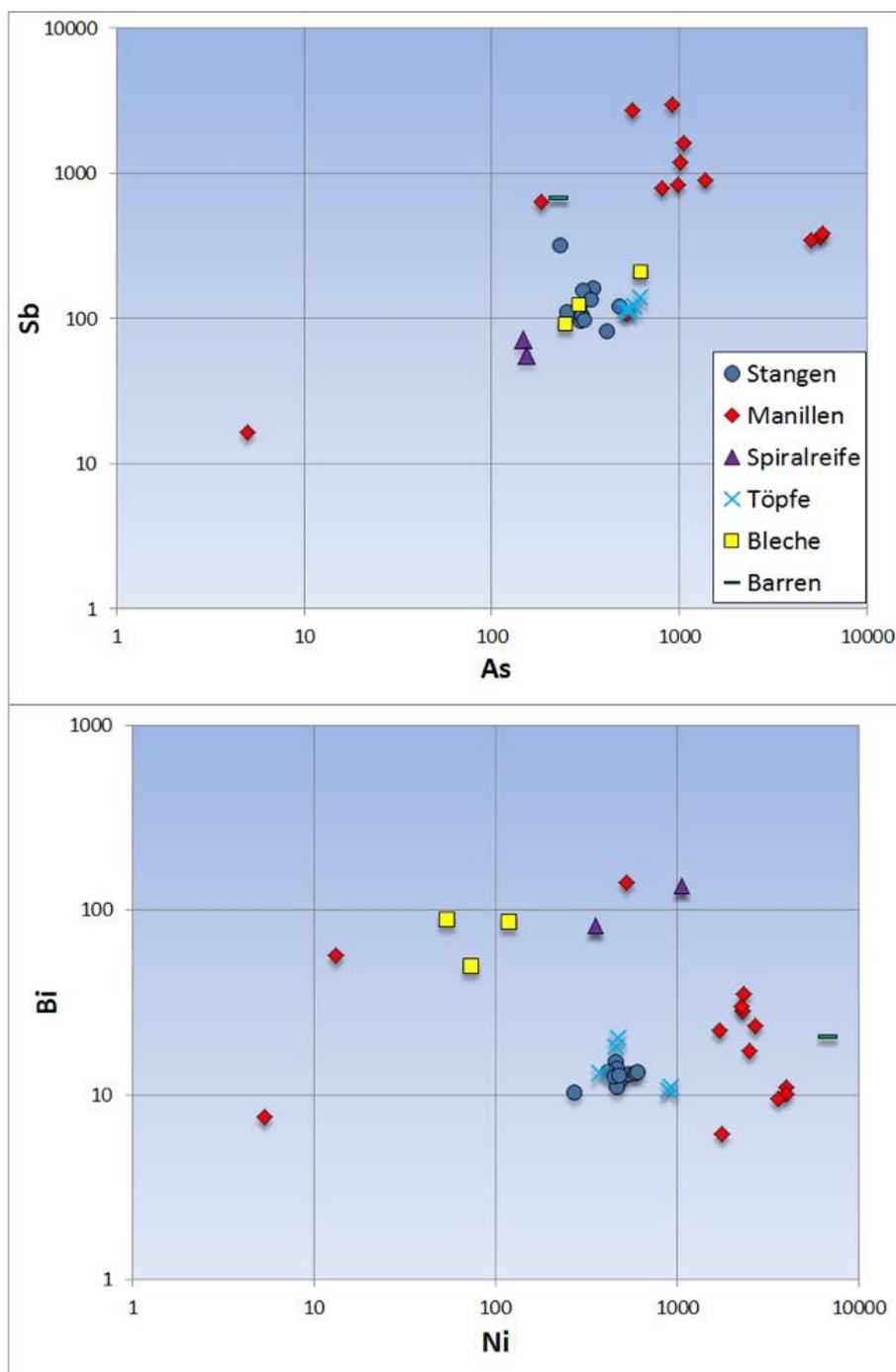


Abb. 6.13 Die Arsen- gegen Antimon- und Nickel- gegen Wismutgehalte der Messinge in logarithmischer Auftragung in ppm. Ähnlich der Legierungsbestandteile in **Abb. 6.12** zeigen die Manillen größere Variation in beiden Plots, während die restlichen Objekte homogener zusammengesetzt sind. Bei den Nickelgehalten gibt es größere Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen, speziell der Barren weist hohe Werte auf.

Die zwei Spiralreife sind sehr homogen zusammengesetzt. Sie weisen neben den Bestandteilen Zink und Blei kaum noch andere nennenswerte Spurenelementgehalte auf.

Die Bleiisotopenverhältnisse der Zahlungsmittel zeigen etwas Streuung. Sie bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,845 - 0,849$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,080 - 2,087$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05408 - 0,05440$ (**Abb. 6.14**).

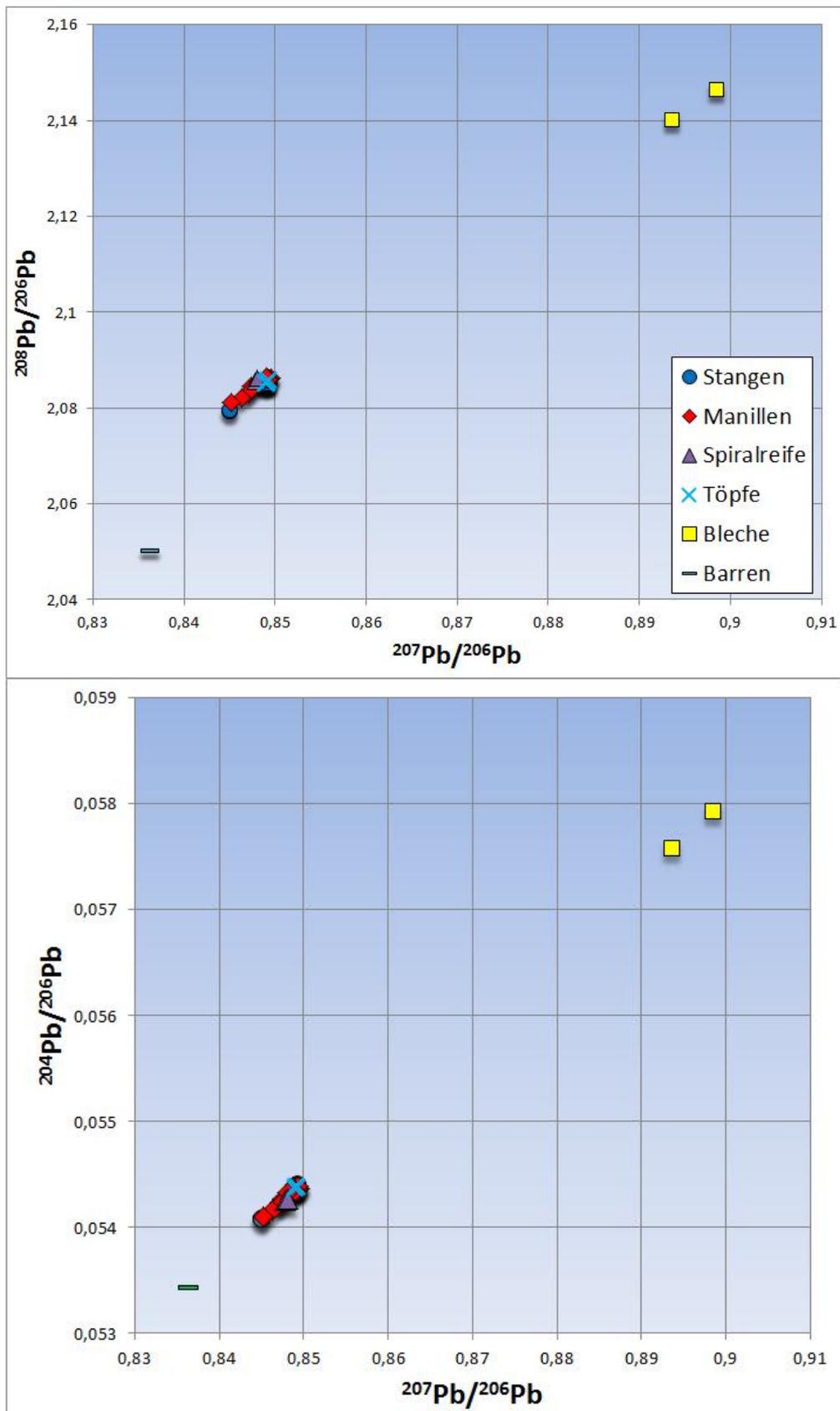


Abb. 6.14 Die Bleisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der untersuchten Messingobjekte. Der Großteil der Messinge zeigt nur sehr geringe Streuungsrate. Die Bleche und der Barren weisen deutlich höhere bzw. tiefere Verhältnisse auf.

6.2.2 Töpfe, Blech und Barren

Zu den analytischen Ergebnissen siehe Tab. 11.2.4 - 11.2.6 bzw. 12.2.4 - 12.2.6

Die Bleche und Töpfe sind generell als Messing mit höheren (Töpfe, Mittelwerte Pb = 2,4 Gew.-%) oder niedrigeren (Bleche, Mittelwerte Pb = 0,5 Gew.-%) Bleigehalten anzusprechen. Ihre Zinkgehalte liegen im Mittel bei 24 (Bleche) bzw. 28 (Töpfe) Gew.-%. Der Barren fällt mit seinem deutlich geringeren Zinkgehalt (ca. 4 Gew.-%) und dem hohen Zinngehalt (7 Gew.-%) auf (**Abb. 6.12**).

Bei den Spurenelementen Arsen, Antimon, Wismut und Nickel gibt es größere Unterschiede zwischen den Blechen, Töpfen und dem Barren, wobei die Unterschiede innerhalb der Gruppen der verschiedenen Objekte gering sind (**Abb. 6.13**). Auch hier setzt sich der Barren mit seinen ca. 0,7 Gew.-% Nickel vom Rest der Objekte ab.

Die Bleiisotopenverhältnisse dieser Gruppen zeigen große Unterschiede. Jene der Töpfe liegen auf dem Cluster der Zahlungsmittel bei $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,848 - 0,849$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,085 - 2,086$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05426 - 0,0544$ (**Abb. 6.14**). Die Bleche und der Barren haben deutlich davon abweichende Isotopenverhältnisse. Der Barren liegt bei $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,836$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0504$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05344$, die Bleche bewegen sich zwischen höheren Verhältnissen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,894 - 0,899$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,14 - 2,147$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0576 - 0,0579$ (**Abb. 6.14**).

6.3 Zinn

6.3.1 Barren der Bom Jesus/Namibia

Die analytischen Ergebnisse sind Tabelle 11.3.1 zu entnehmen.

Die bandförmigen Zinnbarren von der Bom Jesus haben nur geringfügige Verunreinigungen. Lediglich Eisen liegt mit durchschnittlich 0,3 Gew.-% über der 0,1 Gew.-% Marke (**Abb. 6.15**). Die Eisengehalte erreichen in der Spitze 2,5 Gew.-%. Die Blei- und Kupfergehalte liegen generell bei wenigen hundert ppm, bei zwei Bändern allerdings bei 1 bzw. 40 Gew.-% (**Abb. 6.16**). Die Wismutgehalte sind auffällig niedrig und liegen um 20 ppm im Mittel. Bei den Arsengehalten liegen fünf Bänder bei ca. 50 ppm während der Rest um 1000 ppm liegt. Die Antimongehalte bleiben dabei relativ konstant und liegen unter 100 ppm.

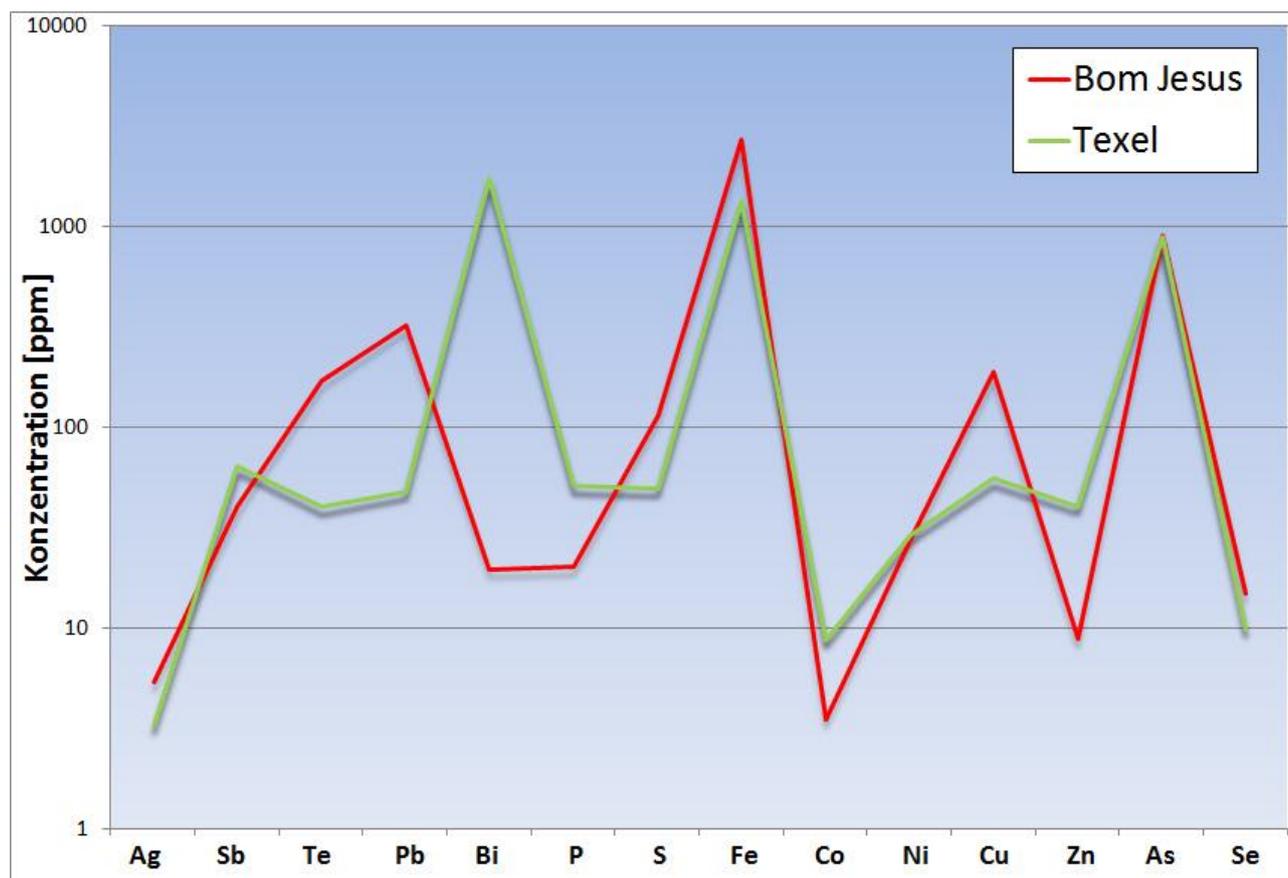


Abb. 6.15 Die Spurenelementgehalte der Zinnbarren von der Bom Jesus und vom Texel-Wrack bei Aanloop Molengat. Unterschiede gibt es bei den Spurenelementen Blei, Wismut, Kupfer und Zink (vgl. **Abb. 6.16**). Die Zinnbarren der Bom Jesus haben höhere Blei-, Eisen- und Kupfergehalte, jedoch sind deren Wismut- und Zinkgehalte geringer als bei den Texelbarren.

6.3.2 Barren von Texel

Die analytischen Ergebnisse sind Tabelle 11.3.2 zu entnehmen.

Die rollenförmigen Barren vom Schiffswrack bei Texel/Aanloop Molengat haben ebenfalls nur geringfügige Verunreinigungen. Ihre durchschnittliche Reinheit liegt bei über 80 Gew.-% Zinn, wobei es bei fünf Proben einen Niederschlag von SnO_2 gab, möglicherweise nicht richtig aufgeschmolzener Kassiterit. Die Wismutgehalte bilden mit 0,18 Gew.-% noch vor den Eisengehalten (0,13 Gew.-%) die größte Verunreinigung (**Abb. 6.15**). Alle anderen Elemente sind verschwindend gering und liegen meist im zweistelligen ppm Bereich. Nur die Arsengehalte zeigen größere Variabilität und können bis 0,6 Gew.-% erreichen.

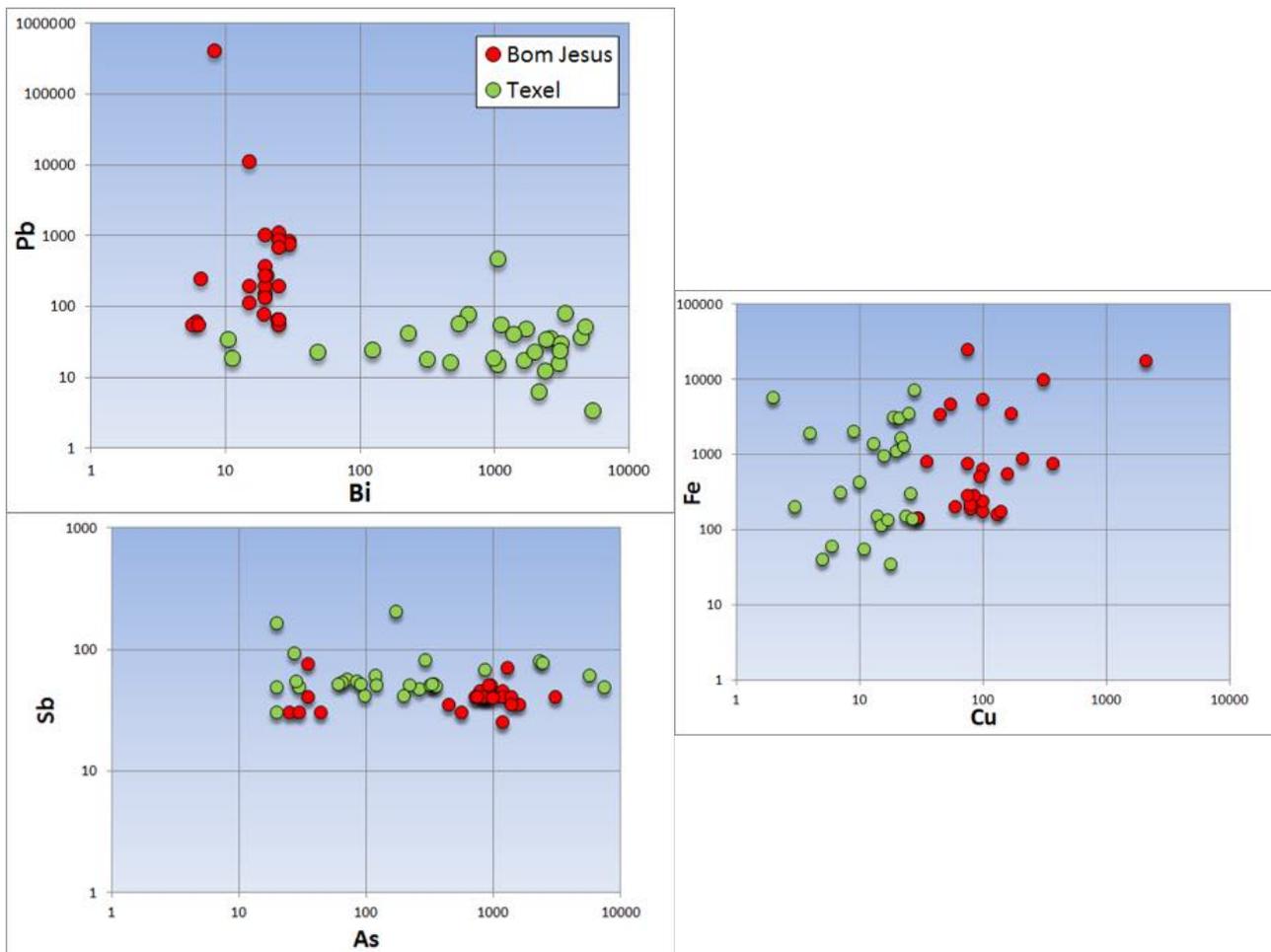


Abb. 6.16 Die Plots von Wismut gegen Blei, Kupfer gegen Eisen und Arsen gegen Antimon der Zinnbarren der Bom Jesus und jener vom Wrack bei Texel in ppm. Die Wismut- und Bleigehalte sind bei den beiden Gruppen sehr unterschiedlich. Während die Kupfergehalte beim Texel-Zinn generell unter der 50ppm Marke liegen, zeigen die Bom Jesus Barren höhere Cu-Werte. Bei den Arsengehalten ist eine Gruppenbildung innerhalb der Bom Jesus Zinnbarren zu erkennen, während die Antimongehalte in etwa gleichbleibend sind.

6.4 Blei

6.4.1 Slowakei

Die analytischen Ergebnisse sind Tabelle 11.4.1 und 12.3.1 zu entnehmen.

Die Bleibarren, die in der Slowakei gefunden worden sind, haben kaum Verunreinigungen. Alle Elemente liegen grundsätzlich unter der 0,1 Gew.-% Marke. Nur ein Barren (4513_15) zeigt höhere Antimon und Kupfergehalte (um 1 Gew.-%). Die volatilen Elemente Schwefel und Phosphor sind äußerst niedrig (Im Mittel: P = 15ppm, S = 18ppm) und liegen häufig nah an der Nachweisgrenze von 5ppm. Die Zinngehalte sind ebenso niedrig und liegen immer unter der 10ppm Marke. Silber liegt im Mittel bei 46ppm. Arsen liegt generell über 10ppm (**Abb. 6.17**).

Die Bleiisotopenverhältnisse der slowakischen Barren sind sehr homogen und bewegen sich ausschließlich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,8474 - 0,8484$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0838 - 2,0849$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,05428 - 0,05431$ (**Abb. 6.18**).

6.4.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia

Die analytischen Ergebnisse sind Tabelle 11.4.2 und 12.3.2 zu entnehmen.

Die Bleibarren vom Schiffswrack der Bom Jesus haben nur geringfügige Verunreinigungen. Nur Schwefel und Antimon fallen im Mittel über die 0,05 Gew.-% Marke, wobei Schwankungen erkennbar sind. Zwischen Schwefel und Phosphor ist ein linearer Zusammenhang zu beobachten. Zinn und Silber liegen beide bei etwa 50 ppm im Mittel. Arsen ist fast nicht nachweisbar (**Abb. 6.17**).

Die Bleiisotopenverhältnisse der Barren von der Bom Jesus sind weniger homogen. Sie bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,8435 - 0,8466$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0789 - 2,0837$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0540 - 0,0541$ (**Abb. 6.18**).

6.4.3 Barren aus niederländischen Gewässern

Die analytischen Ergebnisse sind Tabelle 11.4.3 und 12.3.3 zu entnehmen (11.4.3.1-11.4.3.6 und 12.3.3.1 - 12.3.3.6).

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Fundorte innerhalb der niederländischen Gewässer und deren Datierungen (vgl. Kap. 3), sind die chemischen Charakteristika der Barren mehr oder weniger unterschiedlich. Allen Barren gemein ist der geringe Grad an Verunreinigung.

Generell lässt sich festhalten, dass Silber und Zinn generell im zweistelligen ppm Bereich liegen, wobei die Flevoland Barren höhere Silberwerte aufweisen (Im Mittel 170ppm). Ausreißer finden sich jedoch in allen Barrengruppen. Bei den Loose Vonds Barren sind die Zinnwerte äußerst gering (**Abb. 6.17**).

Schwefel und Phosphor zeigen einen ähnlich linearen Zusammenhang wie bei den Bom Jesus Barren, sie liegen abseits des Clusters der Slowakei Barren. Ähnliches gilt für die Kupfer- und Eisengehalte der niederländischen Barren, wobei der Burgzand II Barren mit 1,7 Gew.-% Cu eine Ausnahme bildet. Generell sind die Kupfer- und Eisengehalte im zwei bis dreistelligen ppm-Bereich (**Abb. 6.17**).

Die Arsengehalte sind beinahe durchgehend im einstelligen ppm Bereich. Hier bilden die Texel Barren einen großen Kontrast zum Rest der in den Niederlanden gefundenen Barren. Diese stimmen eher mit denen aus der Slowakei überein, können jedoch auch höhere Arsengehalte haben (bis 900 ppm) (**Abb. 6.17**).

Die Bleiisotopenverhältnisse der niederländischen Bleibarren sind ebenso unterschiedlich wie ihre chemische Zusammensetzung. Sie bewegen sich zwischen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,8442 - 0,8491$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0757 - 2,087$ bzw. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0,0540 - 0,0543$. Dabei sind die Texel-Barren äußerst homogen und liegen in der Nähe des Clusters der slowakischen Barren. Die Loose Vonds

Barren haben generell tiefere, die Flevoland Barren höhere Bleiisotopenverhältnisse, wobei auch innerhalb dieser Gruppen starke Streuung vorliegt (Abb. 6.18).

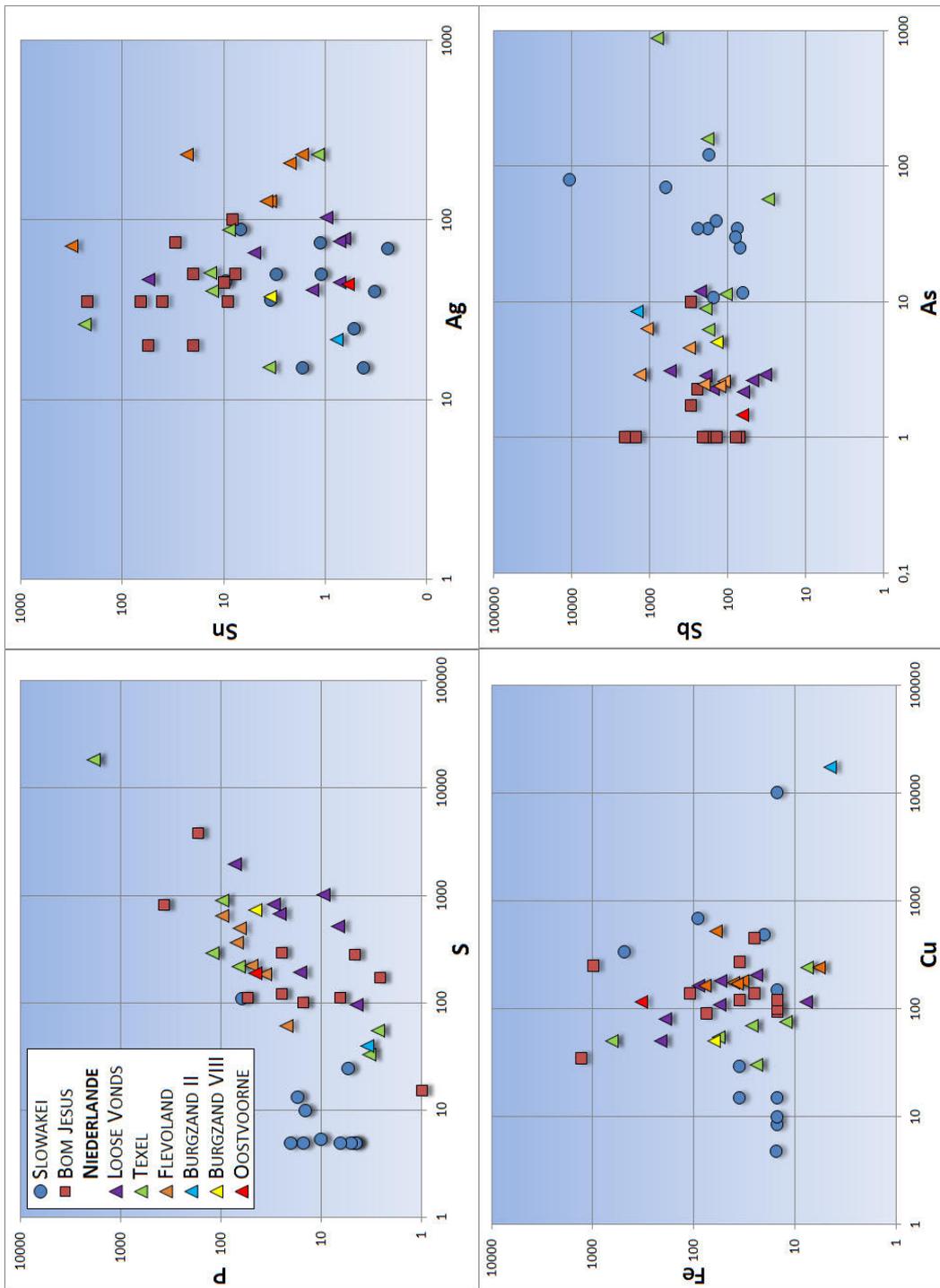


Abb. 6.17 Die binären Plots der Schwefel- gegen Phosphor-, Silber- gegen Eisen-, Kupfer- gegen Eisen- und Arsen- gegen Antimonergehalte der untersuchten Bleibarren in ppm (logarithmische Auftragung). Generell haben die Barren aus der Slowakei den geringsten Grad an Verunreinigung, nur ihre Arsengehalte sind höher als bei den anderen Barren. Die Barren der Bom Jesus haben eher Übereinstimmungen mit jenen aus niederländischen Bleibarren (Dreiecke). Die Texelbarren weichen hinsichtlich der As-Gehalte vom Rest der niederländischen Bleibarren ab. Generell zeigen die Spurenelementgehalte aber, dass das untersuchte Blei aus allen Lokalitäten in beinahe allen Fällen hohe Reinheit aufweist.

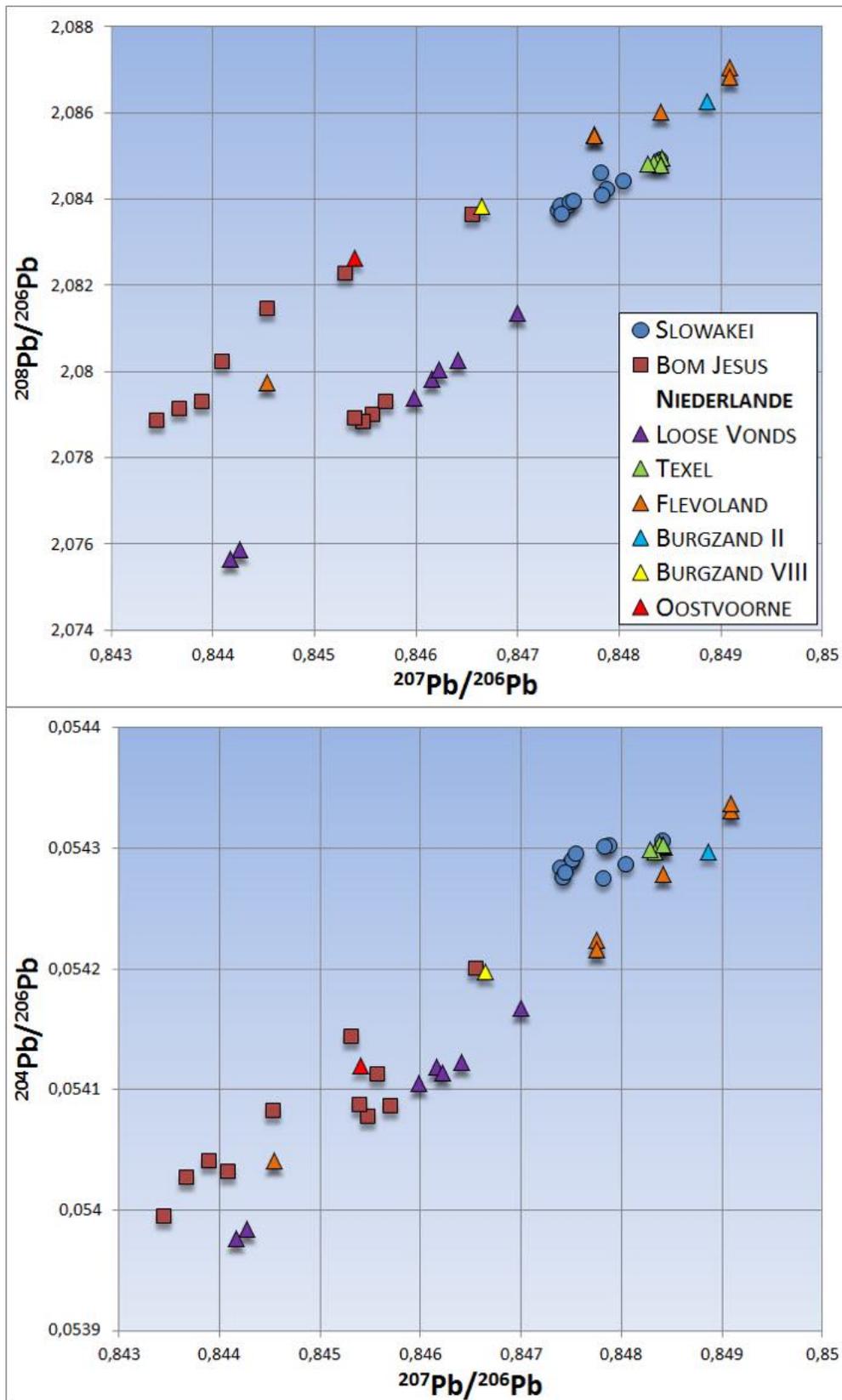


Abb. 6.18 Die Bleisotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ der untersuchten Bleibarren. Auffällig ist die hohe Homogenität der Slowakei und Texel Barren die ähnliche Verhältnisse aufweisen. Sowohl die Bom Jesus Barren als auch die restlichen Barren aus niederländischen Gewässern haben deutlich variable Isotopenverhältnisse, wobei auch innerhalb der Gruppen starke Streuung auftritt (z.B. Loose Vonds).

7 Diskussion

Anhand der erhobenen analytischen Ergebnisse lassen sich eine Reihe von unterschiedlichen historischen Fragestellungen behandeln. Diese sind ausgehend von dem untersuchten Material in vier Unterpunkte zu gliedern.

7.1 Zur Qualität und Provenienz der verschiedenen Gakupfer-Reißscheiben

In diesem Kapitel soll die Frage nach den in den großen vier Bergbaurevieren (Falun, Neusohl, Mansfeld, Inntal, siehe Kap. 4.8.) erzeugten Garkupferqualitäten diskutiert werden. Hierzu werden die Reißscheiben als Indikatoren herangezogen, da es sich bei diesen, nach gängiger Forschungsmeinung, um primär gewonnenes, hüttenfrisches Kupfer handelt (Weisgerber, 1999). Im Normalfall stehen derartige Hüttenerzeugnisse nicht zur Untersuchung zur Verfügung, da sie bei Ankunft an ihrem Zielort zu anderen Objekten umgeschmolzen bzw. weiterverarbeitet werden, daher sind sie für die Beurteilung dieses Untersuchungspunktes besonders wertvoll.

Eine Diskussion der in der Neuzeit verfügbaren Qualitäten setzt zweierlei Vorüberlegungen voraus:

- 1) Die richtige Ansprache der chemischen Zusammensetzung der Reißscheiben bzw. die Wirkung einzelner Spurenelemente auf die physikalischen Eigenschaften des Kupfers.
- 2) Die Zuordnung einzelner Reißscheiben zu den jeweiligen Bergbaurevieren.

Hinsichtlich Punkt eins muss zunächst festgehalten werden, dass einige Fundkontexte (Mönchgut_92, Skaftö, Terschelling) offenbar unterschiedliche Sorten von Reißscheiben produziert haben. Aus **Abb. 6.3** wird klar deutlich, dass bestimmte Spurenelemente in den dargestellten Plots Cluster bilden.

Schon Werson (2015) beobachtete bei den Mönchgut_92 Scheiben die Existenz zweier unterschiedlicher Fabrikate. Werson ordnete die Reißscheiben in zwei Gruppen nach dem Gehalt ihrer Spurenelemente:

Gruppe 2 (18 Scheiben) hat gegenüber Gruppe 1 (48 Scheiben) niedrigere Gehalte der Elemente (jeweils im Mittel) Zinn (30 zu 400ppm), Blei (460 zu 4600ppm), Schwefel (5000 zu 7400ppm) Zink (680 zu 4100ppm) und Selen (4 zu 30ppm), während die Gehalte an Antimon (600 zu 110ppm) Wismut (70 zu 30ppm), Cobalt (3000 zu 610ppm), Nickel (1500 zu 140ppm) und Arsen (2700 zu 280ppm) wiederum erhöht erscheinen (**Abb. 7.1**).



Abb. 7.1 Die Verteilung der Spurenelemente bei den zwei Gruppen der Mönchgut_92 Scheiben. Gruppe 2 hat gegenüber Gruppe 1 niedrigere Gehalte an Sn, Pb, S, Zn, und Se während Sb, Bi, Co, Ni und As wiederum erhöht sind. Gruppe 1 n = 48, Gruppe 2 n = 18.

Anders als Werson behauptete, haben diese Gruppierungen jedoch nichts mit jener Gruppierung zu tun, die bei den Isotopendaten sichtbar ist. Das bedeutet, dass sowohl in Isotopenfeld A als auch in B jeweils beide chemischen Gruppen vertreten sind (**Abb. 7.2**). Werson konnte keine Relation zwischen den auf den Reißscheiben sichtbaren Marken und den Gruppen finden.

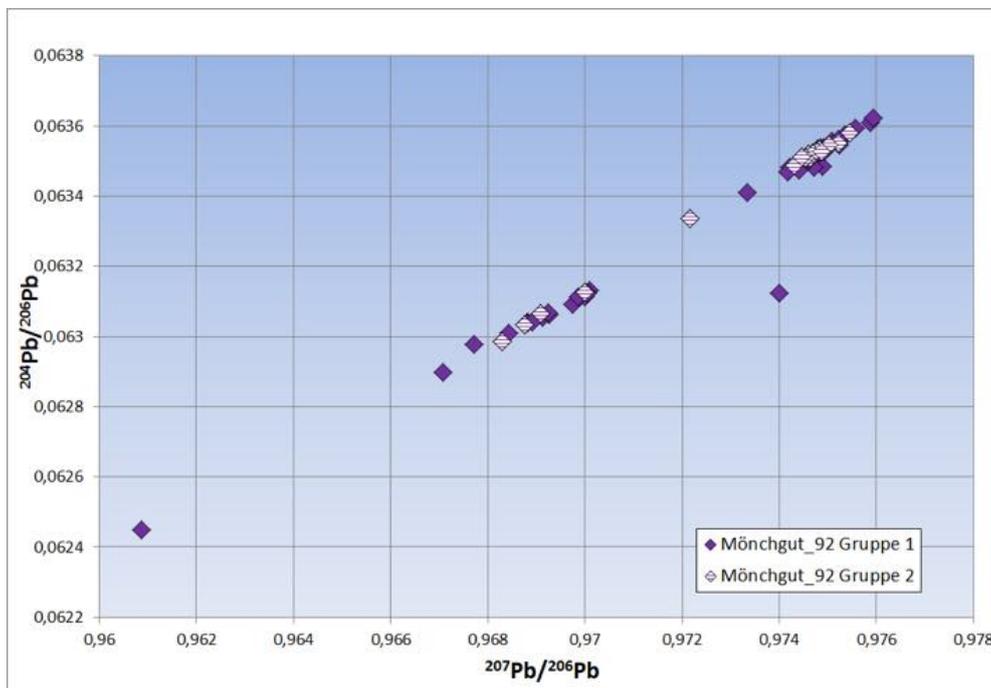


Abb. 7.2 Beide Gruppen der Mönchgut_92 Scheiben tauchen in beiden Isotopenfelder auf. Daher hat ihre Existenz nichts mit unterschiedlicher Provenienz zu tun.

Ähnliches ist bei den Skaftö-Scheiben zu beobachten (**Abb. 7.3**). Die Elementgruppierungen sind dabei denen der Mönchgut Scheiben sehr ähnlich: Gruppe 2 hat gegenüber Gruppe 1 deutlich erhöhte Antimon (5,6 zu 0,4 Gew.%) Nickel (0,9 zu 0,3 Gew.%) und Arsengehalte (1,2 zu 0,4 Gew.%) , während Zinn, Blei, Kobalt, Zink und Selen stark reduziert sind.

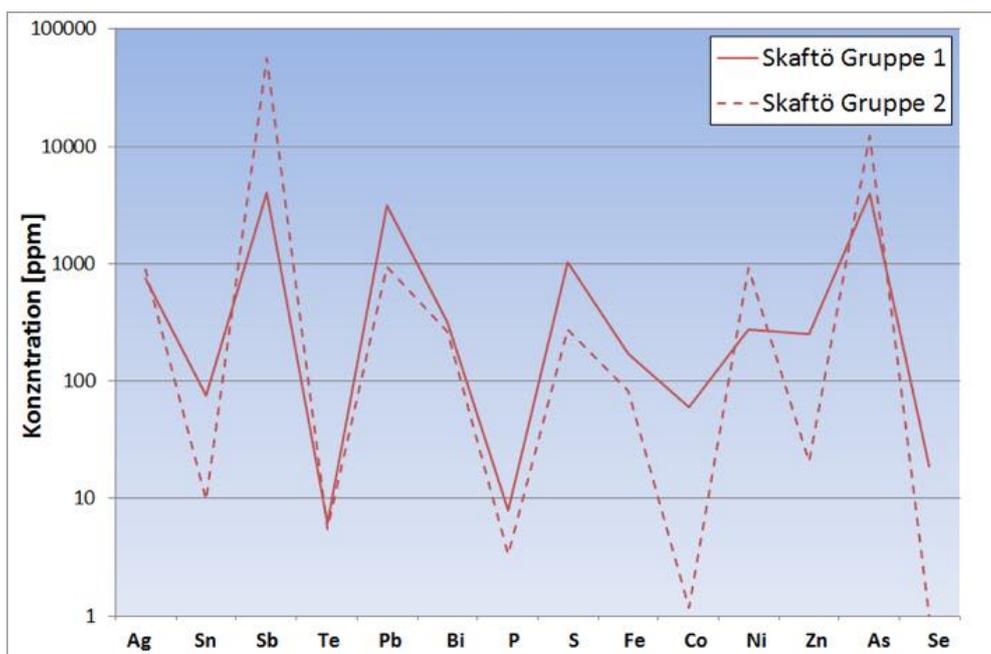


Abb. 7.3 Die Verteilung der Spurenelemente bei den zwei Gruppen der Skaftö-Scheiben. Gruppe 2 hat gegenüber Gruppe 1 niedrigere Gehalte an Sn, Pb, S, Fe, Co, Zn, und Se während Sb, Ni und As wiederum erhöht sind. Gruppe 1 n = 4, Gruppe 2 n = 5. Vgl. auch **Abb. 7.1**.

Auch bei den Terschlinger Scheiben gibt es zwei Typen, doch eignen sich diese aufgrund ihrer geringen Menge (drei Exemplare) weniger für eine Diskussion. Der gleiche Trend ist jedoch erkennbar (**Abb. 6.3**), dabei würde 4526_18 als Gruppe 1 und 4525_18 und 3773_19 als Gruppe 2 interpretiert werden.

Bei den Helgoländer Reißscheiben und jenen aus der Elbe ist keine Gruppierung erkennbar, sie sind homogen zusammengesetzt (**Abb. 6.3**).

Wie sind die unterschiedlichen Gruppen zu deuten? Hierbei hilft die historische Forschung weiter: Westermann (2002) schreibt, dass es zwei Arten von Garkupfer gegeben habe: eine Sorte für den Messingguß und eine Sorte für das Verschmieden. Er gibt hierzu leider kein Zitat an. Möglicherweise bediente er sich der Ausführungen Suhlings (1990). Dieser schreibt, dass man für die Messingherstellung schwächer „gegartes“ Kupfer und für das Verschmieden höher „gegartes“ sog. „hammerbares“ Kupfer benötigte. Suhling bezieht sich dabei auf eine Textstelle bei Rößler (1700) welcher schreibt, dass das Kupfer je nach Verwendungszweck „eines höher denn des andere auf die Gar getrieben“ wird.

Beide Autoren vergessen dabei darauf hinzuweisen, dass zwei Sorten Kupfer bereits auf dem mittelalterlichen Markt Venedigs genannt werden, nämlich das *rame duro* und das *rame dolce* (Braunstein, 1977). Während das *rame duro*, also hartes Kupfer, dessen Beschaffenheit Braunstein (1977) als rau und klumpig beschreibt, für den Guss von z.B. Glocken und Mörsern verwendet wurde, fällt das *rame dolce*, also süßes Kupfer, durch seine Biogsamkeit und damit seine Eignung für Fein- und Schmiedearbeiten (z.B. Drahtzug, Tiefwarenherstellung) auf. Daneben werden auch noch weitere Kupfersorten genannt, die aber eher im Zusammenhang mit den Kupfer-Halbfabrikaten stehen und bei deren Besprechung weiter diskutiert werden (vgl. Kap. 7.2).

In Zusammenhang mit den verschiedenen Kupfersorten muss auch erneut auf die *affinatura*, die Kupferreinigung im venezianischen Metallurgieviertel, dem sog. Ghetto hingewiesen werden (vg. Kap. 2.3.2.3). Für die *affinatura* wurde das *rame duro* nicht akzeptiert (Stefanik, 2004). Möglicherweise weil die Venezianer dieses generell nicht an den überregionalen Märkten verkaufen konnten (Denzel, 2014). Das in der *affinatura* gereinigte/aufbereitete Kupfer bekam den Stempel Venedigs und taucht in den offiziellen Senatsprotokollen unter dem Namen *rame di bolla (di San Marco)* („Kupfer welches die Marke trägt“) auf (Braunstein, 1977). Es war die beste verfügbare Qualität. Diese wurde in der gesamten alten Welt angeboten, darunter auch auf den Märkten in Flandern (Stefanik, 2017).

Es versteht sich von selbst, dass das *rame dolce*, das im Ghetto Venedigs zur Herstellung von *rame di bolla* akzeptiert wurde, auf den internationalen Märkten bessere Absatzchancen hatte und einen höheren Gewinn erzielen konnte, als das *rame duro*.

Könnte es sich bei der hier aufgezeigten Gruppe zwei der Mönchgut_92, Skaftö und Terschlinger Reißscheiben um den Versuch einer Herstellung von *rame dolce*, speziell für das Verschmieden produziertes Kupfer, handeln?

Wie Suhling schreibt, sei höher „gegartes“ Kupfer für das Verschmieden notwendig gewesen, was aber würde bei längerem oder höher temperierten Garen von Kupfer der Gruppe eins im Garofen geschehen? Sicherlich würden die volatilen, leichter flüchtigen Elemente wie Sn, Pb, S, Zn und Se niedriger ausfallen. Sb, As und Ni dagegen würden sich relativ zum Kupfergehalt anreichern, denn sobald diese einmal vom Erz ins Kupfer gelangt sind, sind sie schwer wieder davon zu trennen (McKerrell & Tylecote, 1972).

Es ist offensichtlich, dass diese Spurenelementverteilung jener entspricht, wie sie in **Abb. 7.1** und **Abb. 7.3** dargestellt ist. Es könnte sich also tatsächlich bei den Gruppe 2-Scheiben um den Versuch der Herstellung eines Kupfers speziell fürs Verschmieden handeln. Doch wäre das Kupfer dafür tatsächlich geeignet gewesen?

Wismut ist nach Gowland (1914) das schädlichste Element für zu verschmiedenes Kupfer. Nach Hampe (1778) tritt schon ab 200ppm Rotbruch und 500ppm Kaltbruch ein. Hier liegen einige der Skaftö Scheiben knapp an der Grenze, der Rest liegt unter der 500ppm Marke (**Abb. 6.3**).

Arsen und Antimon haben nach Gowland (1914) bis jeweils 0,5 Gew.-% keine negativen Auswirkungen auf die Eigenschaften des Kupfers. Erst ab 1 Gew.-% Antimon zeigt sich das Kupfer stark rotbrüchig. Arsen zeigt ab 1 Gew.-% schwachen Rotbruch aber noch keinen Kaltbruch, kleinere Mengen (ab 0,2 Gew.-%) erhöhen sogar die Festigkeit. Alle Skaftö Scheiben der Gruppe 2 und eine der Terschellinger Scheiben haben Antimongehalte über 1 Gew.-%.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass der Versuch der Herstellung von hammergaren Kupfer, im Falle der Skaftö Scheiben fehlgeschlagen ist, denn dafür sind ihre Antimongehalte deutlich zu hoch. Auch eine der Terschellinger Reißscheiben erscheint aufgrund ihrer Antimonwerte als problematisch. Offenbar war hier die Steuerung des gesamten Verhüttungsprozess noch nicht ausgereift (vgl. hierzu nächstes Kapitel).

Die sehr hohen Antimonwerte bei den Skaftö-Scheiben passen zu der frühen Datierung (ca. 1440) des Schiffswracks. Vielleicht hätte man durch einen stärkeren Röstvorgang vor dem eigentlichen Schmelzen die Antimongehalte weiter reduzieren können. Offenbar waren die Grundlage der Skaftö und der Terschellinger Scheiben Fahlerze.

Als ergänzendes Indiz für die mangelnde Qualität der Skaftö Scheiben ließe sich die Bemerkung Agricolas (1556) aufführen, dass wenn das Kupfer nicht richtig geschmolzen sei, es sich nicht leicht aus dem Garherd ließe ausheben und zu dick werde, denn die Skaftö-Scheiben gehören zu den stärksten ihrer Art.

Bei den Mönchgut_92 Scheiben war offenbar die Erzgrundlage eine andere, Antimon und Arsen sind hier unproblematisch. Jedoch wären die Mönchgut_92 Scheiben aufgrund ihrer hohen Schwefel- und Eisengehalte ohnehin nicht für das Verschmieden geeignet gewesen.

Bei den Helgoländer Reißscheiben hätte vermutlich der Schwefelgehalt zu Problemen führen können, die das Kupfer ab 0,2 Gew.-% kaltbrüchig machen. Bei jenen aus der Elbe wäre der Bleigehalt für das Verschmieden problematisch. Dieser ist mit 1,4 Gew.-% so hoch, dass Gowland (1914) dieses Kupfer als zur Verarbeitung unbrauchbar bezeichnen würde.

Die hier aufgezeigten Spurenelementgehalte und ihre Relevanz für die Verarbeitung des Kupfers zeigen klar die Probleme, die spätmittelalterliche bis frühneuzeitliche Hüttenmeister bei der Verhüttung der Erze hatten. Da man davon ausgehen muss, dass sulfidische Primärerze wie z.B. Chalkopyrit die Grundlage waren, war das Abtrennen der sulfidischen Anteile ohnehin schon Herausforderung genug.

Da nun die verschiedenen Qualitäten der verfügbaren Reißscheiben begutachtet worden sind, wäre es im Sinne von oben aufgeführten Punkt 2) interessant zu erfahren, aus welchen Bergbaurevieren denn die einzelnen Reißscheiben stammen. Hierbei kann die Bleiisotopie weiterhelfen.

Am deutlichsten ist die Provenienz der Mönchgut_92 Scheiben. Bereits Werson (2015) erkannte, dass die sehr hohen Bleiisotopenverhältnisse (**Abb. 7.2**) nicht mit mitteleuropäischen Kupferlagerstätten in Übereinstimmung gebracht werden können. Das liegt daran, dass sie erdgeschichtlich gesehen sehr alten Lagerstätten entstammen, die sich vor ca. 1.6-1.8 Ga (Milliarden Jahren) gebildet haben (**Abb. 7.4**). Damit passen sie gut zu den VMS Lagerstätten im zentralen Teil Mittelschwedens (vgl. Kap. 4.6). Ähnliches kann auch für die Ziegelbarren (Kap. 6.1.3) angenommen werden.

Jene Mönchgut_92 Reißscheiben mit tieferen Isotopenverhältnissen könnten Mischungen mit den jüngeren Erzen Südwestschwedens, in der Dalsland Region sein (**Abb. 4.29**). Diese sind deutlich jüngeren Entstehungsalter und waren im späteren Verlauf des schwedischen Kupferbergbaus nicht mehr relevant (vgl. Kap. 4.6).

Berücksichtigt man noch den Fundort der Mönchgut_92 Reißscheiben vor der Insel Rügen, so besteht wenig Zweifel daran, dass diese tatsächlich aus schwedischem Kupfer hergestellt worden sind. Wahrscheinlich befand sich das vermutlich deutsche Schiff (Werson, 2015) auf dem Rückweg eines Kupferkaufs, möglicherweise in Stockholm.

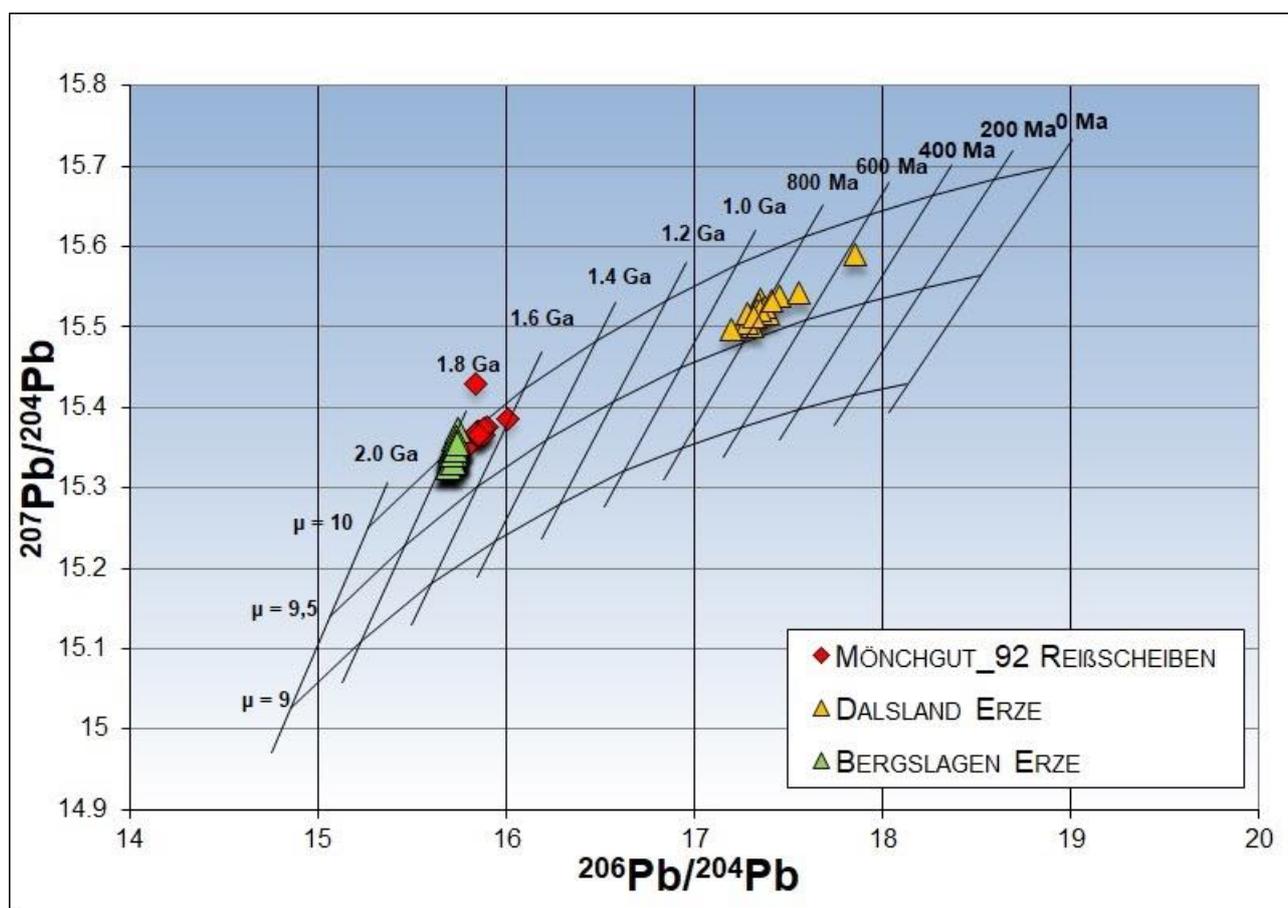


Abb. 7.4 Die Bleiisotopenverhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ der Mönchgut_92 Reibsscheiben im Vergleich mit Erzen aus Zentralschweden um die Kupfererzlagerstätte Falun herum (Bergslagen) und den deutlich jüngeren Erzen im Südwesten Schweden, dem Dalstrand. Einige Reibsscheiben haben Isotopenverhältnisse die eine Tendenz zu jüngeren Entstehungszeitaltern erkennen lassen, vielleicht handelt es sich hierbei um Mischungen der beiden Lokalitäten. Verwendete Daten: Bergslagen: Sundblad, 1994, Dalstrand: Johansson, 1985. Bleientwicklung nach Stacey & Kramers, 1975.

Die Bleiisotopenverhältnisse einiger Skaftö Scheiben, der Terschellinger Scheiben und die zwei Fundkontexte Helgoland und Elbe sind typisch für variszische bis post-variszische mitteleuropäische Lagerstätten (**Abb. 7.5**).

Bei einigen Skaftö-Scheiben sind ältere prävariszische Tendenzen erkennbar. Kupfererze solchen Alters stehen in der Ostslowakei und im Erzgebirge an, wobei aber die μ -Linien hier eher auf die Ostslowakei hindeuten und das auch eher zum Fundort passt, da nachweislich Kupfer aus diesem Gebiet über Krakau, Thorn und Danzig nach Westen verschifft wurde (Lacko, 2016). Die anderen Skaftö-Scheiben passen gut zu den Erzen im slowakischen Erzgebirge bei Banská Bystrica (**Abb. 7.5**).

Generell streuen mitteleuropäische und alpenländische Lagerstätten sehr stark und erschweren damit die Zuordnung zu einer bestimmten Lagerstätte (**Abb. 7.5**). Wenn die einzelnen Reibsscheibenkomplexe bestimmten Bergbaurevieren zugeordnet werden sollen, reicht die Bleiisotopie nicht in allen Fällen als Methodik aus, da auch die Gegenüberstellung anderer Bleiisotopenverhältnisse keine Klarheit über die Provenienz der Elbe- und Terschelling-Reibsscheiben gibt (**Abb. 7.6**). Eine Kombination aus Bleiisotopie und Spurenelementchemie als Ausschlussverfahren scheint hier eher geeignet.

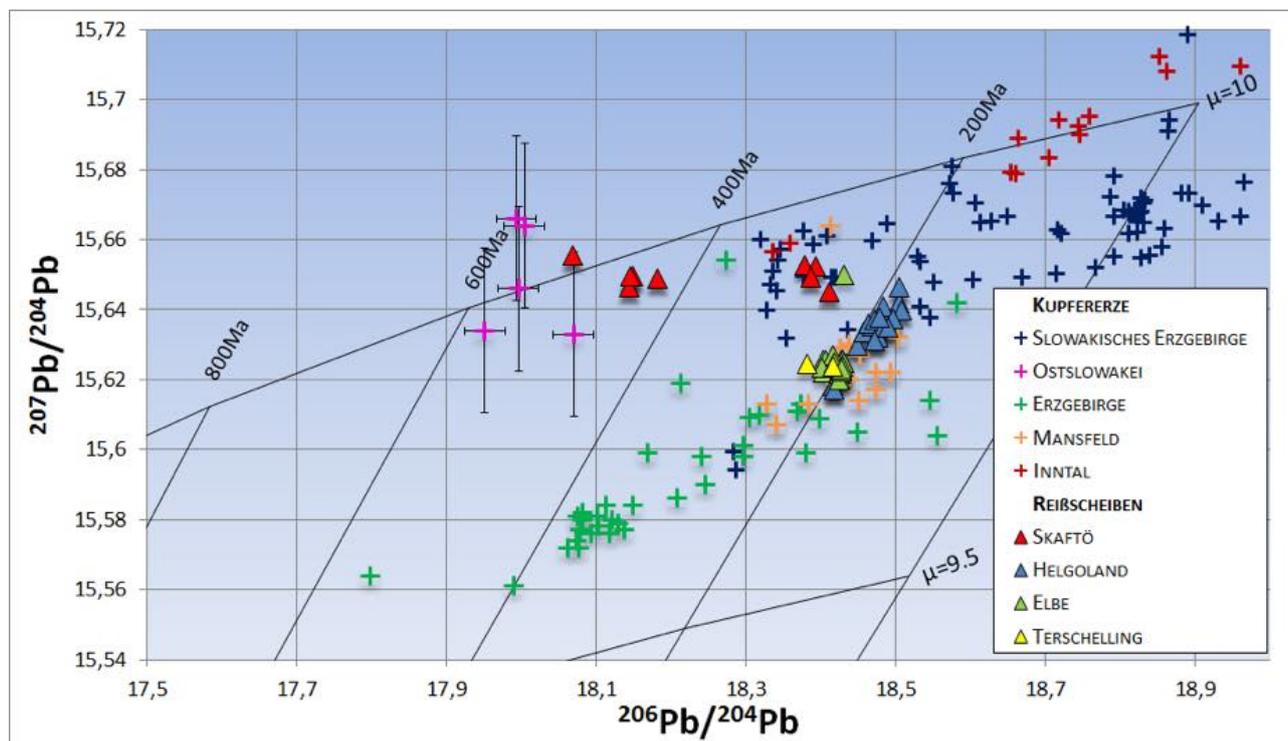


Abb. 7.5 Die Bleiisotopenverhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ der Reißscheiben von Skaftö, Helgoland, der Elbe und Terschelling im Vergleich mit potentiellen Erzlagerstätten. Der Großteil der Reißscheiben entspricht einem Alter von 200Ma. Sie sind damit variszisch-postvariszischer Entstehung, ebenso wie viele der mitteleuropäischen Kupferlagerstätten und sind daher schwer einer bestimmten Lagerstätte zuzuordnen. Einzig bei einigen Skaftö-Scheiben sind höhere Entstehungsalter zu erkennen, wie sie Erze im Erzgebirge und in der Ostslowakei aufweisen. Letztere haben höhere analytische Fehler und sind daher mit einem Fehlerkreuz gekennzeichnet. Die μ -Linien weisen bei den Skaftö-Scheiben auf einen anderen Grundchemismus der Ursprungslagerstätte hin. Datenquellen: Mansfeld: Frotzcher, 2012, Erzgebirge: Niederschlag et al., 2003, Slowakisches Erzgebirge: Schreiner, 2007, Ostslowakei: Cernysev et al., 1984, Inntal: Höppner, 2005. Bleientwicklung nach Stacey & Kramers, 1975.

Die Bleiisotopenverhältnisse der Helgoland Scheiben können mithilfe der Plots $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ deckungsgleich mit jenen des Kupferschiefers im Mansfelder Land oder jenes Vorkommens bei Lauterberg (siehe Kap. 4) gebracht werden (**Abb. 7.6**). Dies passt auch zu ihrer chemischen Signatur: Wie in Kap. 4.1.1.2 erwähnt enthält der Kupferschiefer nur sehr geringe Wismutgehalte. Ebenso sind verschwindend geringe Wismutgehalte sowohl bei den Elbe- als auch den Helgoland-Reißscheiben signifikant (**vgl. Abb. 6.2/6.3**). Daneben sind die Antimongehalte beider Reißscheibenfundorte vergleichsweise gering, was eine Verwendung von Fahlerzen weitestgehend ausschließt.

Die Bleiisotopenverhältnisse der Elbe liegen jedoch nicht über denen des Kupferschiefers (**Abb. 7.6**), wie ist also ihre chemische Ähnlichkeit zu den Helgolandscheiben zu erklären?

Was die beiden Gruppen (Elbe und Helgoland) chemisch unterscheidet sind die Blei- und Silbergehalte. Diese liegen bei den Elbescheiben bei im Mittel 1.4 Gew.-% Pb bzw. 0,03 Gew.-% Ag. Bei den Helgolandscheiben ist ein umgekehrtes Verhältnis erkennbar: 0.04 Gew.-% Pb zu 0,2 Gew.-% Ag (**vgl. Abb. 6.3**).

Dies lässt den Schluss zu, dass es sich bei den Elbe Reißscheiben um Saigerkupfer handelt, bei den Helgoland Scheiben um ungesaigertes Kupfer. Bekräftigt wird diese Vermutung durch die unterschiedliche Datierung der Scheiben. Während die Helgoland-Exemplare an die Wende vom 14-15. Jh. datieren, datieren die Elbescheiben fast 200 Jahre später (**vgl. Kap. 3.6/3.7**). Außerdem haben jene Reißscheiben aus der Elbe bis auf das Blei und das Nickel in allen Fällen niedrigere Spurenelementverunreinigungen (**vgl. Abb. 6.2**), hier speziell Schwefel, was auf eine fortgeschrittene Verhüttungstechnik oder eine stärkere Verarbeitung, wie sie für den vielstufigen

Saigerprozess angenommen werden kann (vgl. Kap. 2.3.2) hindeuten könnte. Eine andere Möglichkeit wären zeitlich unterschiedlich verwendete Erztonen innerhalb einer Lagerstätte. Letzteres ist aber im Falle des Kupferschiefers unwahrscheinlich, da diese Lagerstätte relativ homogen zusammengesetzt ist.

Damit scheint für die Helgoland- und Elbescheiben eine Herkunft aus dem Mansfelder Kupferschiefer wahrscheinlich. Das die Bleiisotopenverhältnisse der Elbescheiben nicht mit dem Mansfelder Kupferschiefer übereinstimmen, liegt demnach an der Verwendung einer externen Bleiquelle, möglicherweise aus einer der vielen Bleigruben des nahegelegenen Harzes.

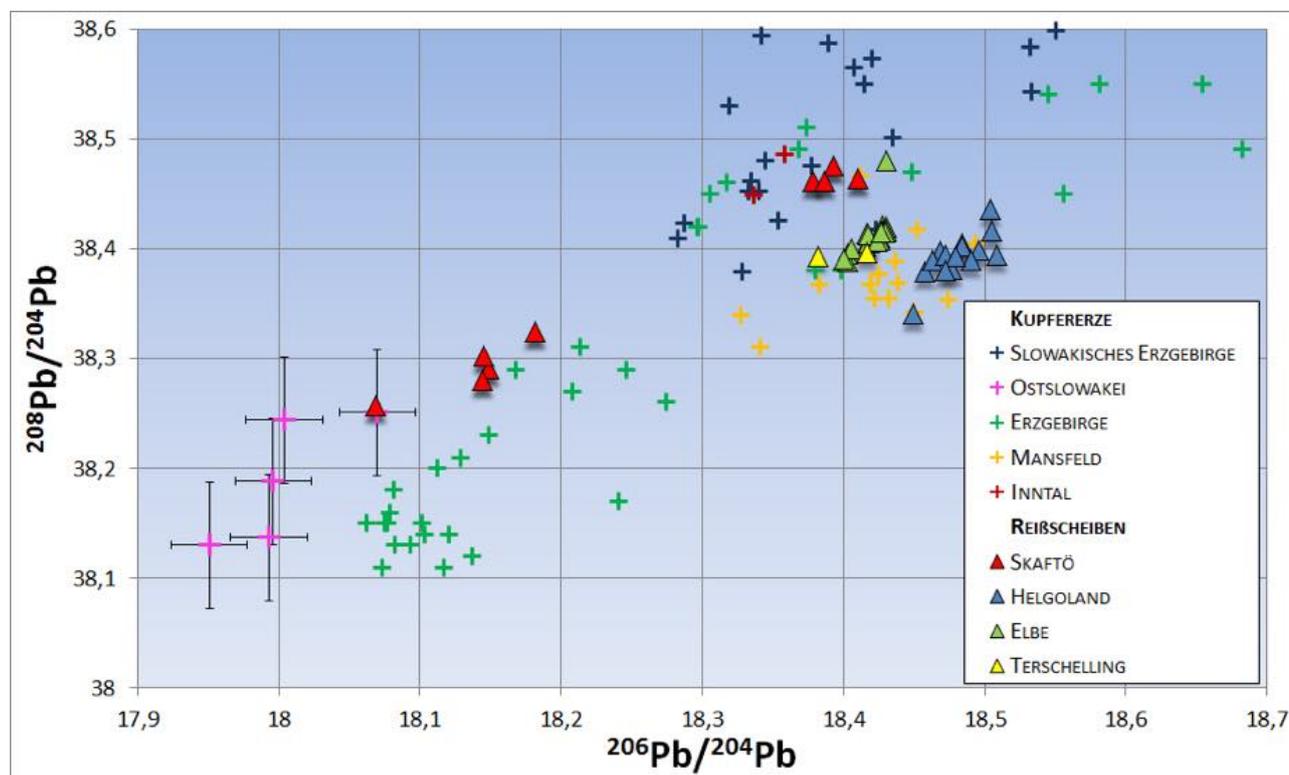


Abb. 7.6 Die Bleiisotopenverhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ gegen $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ der hier untersuchten Reißscheiben im Vergleich mit potentiellen Erzlagerstätten. Die Isotopenverhältnisse der Helgolandscheiben liegen deutlich über jenen des Kupferschiefers im Mansfelder Land. Anders die Isotopenverhältnisse der Elbe und Terschellinger Reißscheiben deren hohe Bleigehalte für eine Bleizugabe sprechen, die die Kupferprovenienz verschleiert. Für eine Herkunftsdiskussion reicht die Bleiisotopie daher nicht aus. Beachte die hohe analytische Unsicherheit bei den ostslowakischen Erzen, dargestellt durch das Fehlerkreuz. Datenquellen: Mansfeld: Frotzcher, 2012, Erzgebirge: Niederschlag et al., 2003, Slowakisches Erzgebirge: Schreiner, 2007, Tirol: Höppner, 2005, Ostslowakei: Cernysev et al., 1984

Eine Ansprache als Saigerkupfer trifft auch auf eine der Terschellingerscheiben zu, die das gleiche Muster, hoher Bleigehalt bei geringem Silberanteil, aufzeigt. Diese Scheibe liegt hinsichtlich ihres As/Sb Verhältnisses ziemlich genau auf jenen der Bom Jesus Halbrossenkugeln die bei Hauptmann et al. (2016) untersucht worden sind und auf den Großraum Neusohl/Banská Bystrica verortet wurden (**Abb. 7.7**). Eine Herkunft aus jenem Bergbaurevier, wo mithilfe oberschlesischen Bleis Kupfer gesaigert worden ist, kann daher hier angenommen werden.

Möglicherweise stammen auch die beiden anderen Reißscheiben aus diesem Bereich, jedoch lässt sich dies aufgrund ihrer, durch das stärkere Garen verursachten veränderten Spurenelementsignatur nicht eindeutig bestimmen.

Zusammengenommen lässt sich festhalten, dass hier der günstige Fall von Garkupfer aus vier verschiedenen Bergbaurevieren vorliegt. Die Unterscheidung der einzelnen Reviere lässt sich dabei am ehesten über den As/Sb plot vornehmen (**Abb. 7.7**). Hier ist jedoch Vorsicht geboten.

Die Unterscheidung über die Arsen- und Antimongehalte kann nur in einem zeitlich beschränkten Maßstab vorgenommen werden, so wie er hier vorliegt. Gerade das Beispiel der Reißscheiben von Helgoland und aus der Elbe zeigt ja, wie sich das Spurenelementmuster in 200 Jahren verändern kann, wenn technisch unterschiedliche Prozesse zur Verhüttung ein und derselben Erzgrundlage angewandt werden.

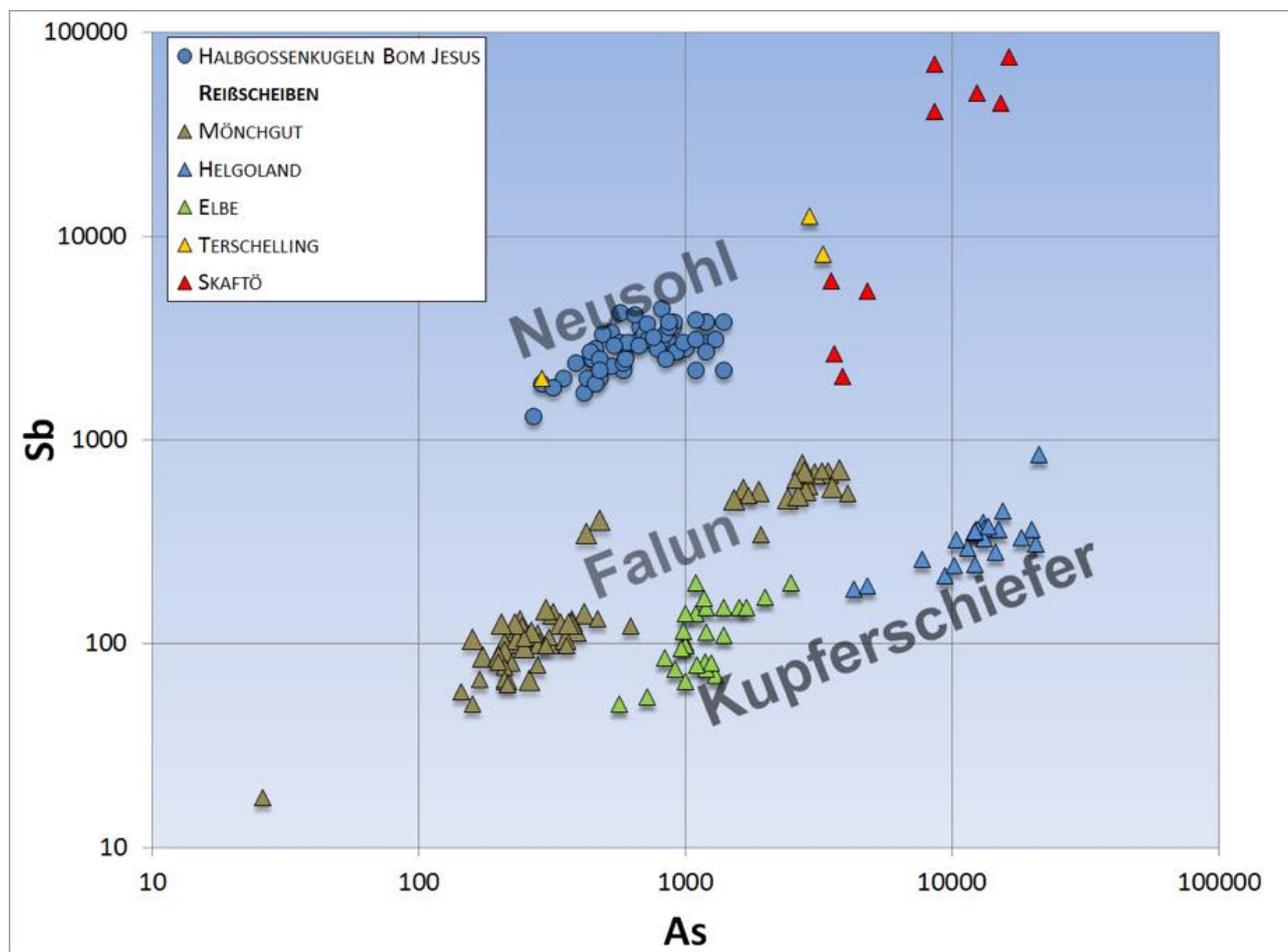


Abb. 7.7 Arsen- gegen Antimongehalte in ppm aller hier untersuchten Reißscheiben. Als Vergleich sind jene der Halbgossenkugeln der Bom Jesus eingetragen, die nach Hauptmann et al. (2016) aus dem Bergbaurevier um Neusohl stammen. Eine Clusterbildung nach Herkunftsort bzw. Erzgrundlage ist zu erahnen. Während Reißscheiben, die aus dem Kupferschiefer hergestellt worden sind geringe Antimon-, jedoch mittlere bis hohe Arsengehalte aufweisen, sind die Antimongehalte von Halbgossenkugeln und Reißscheiben aus den slowakischen Fahlerzen hoch. Die schwedischen Reißscheiben (Mönchgut_92) liegen in einem intermediären Bereich. Möglicherweise stammen alle drei Terschellinger Scheiben aus Neusohler Produktion, doch hat das stärkere Garen zweier Reißscheiben zu höheren As/Sb Verhältnissen geführt (siehe Ausführungen im Text weiter oben). Einiger der Skaftö Scheiben lassen sich keinen der drei Gebiete zuordnen, eine Herkunft aus der Ostslowakei, so wie ihre Isotopendaten vermuten lassen, kann daher hier bestätigt werden. Datenquellen: Halbgossenkugeln Bom Jesus: Hauptmann et al., 2016.

Da wir nun anhand der Reißscheiben herausgearbeitet haben, welche Bergbaureviere welche Qualitäten lieferten, empfiehlt sich der Abgleich mit der historische Forschung. Was ist hier zu den Garkupferqualitäten zu finden?

Westermann (1971) schreibt, dass das Mansfelder Kupfer das beste auf dem Markt sei. Es eigne sich daher besonders für die Messingherstellung. Der Grund hierfür sei nach Westermann (1971),

dass sich das Kupfer beim Zusammenschmelzen mit Galmei „überproportional vermehre“. Dies entbehrt selbstverständlich jedweder thermodynamischen Grundlage.

Westermann bezieht sich dabei auf einen Brief, den Jakob Welsler am 2. Juni 1529 an den Grafen von Mansfeld schrieb und der bei Möllenberg (1915) abgedruckt ist. Darin schreibt Jakob Welsler „allain meret sich das Eyslebisich kupfer durch den zusatz der glamey mer und hucher dan die gemelten andere kupfer“. Wie ist dies zu deuten? Handelt es sich nur um den geschickten Einsatz von wirtschaftlichem Kalkül, oder kann man dem technisch-naturwissenschaftlich auf den Grund gehen?

Tatsächlich machte die Stadt Aachen, zu Beginn des 16. Jh. der weltgrößte Messingproduzent, im Jahre 1550 die Verwendung von Kupfer aus Mansfeld (Eisleben) quasi zur Pflicht, denn nur Messingwaren die aus diesem hergestellt worden sind durften mit dem Stadttadler Aachens gestempelt werden (Peltzer, 1908). Dies ist im Stadtarchiv Aachen urkundlich belegt (Stadtarchiv Aachen, Akten der Kupferschläger, Bl. 17ff.). Aus dieser bei Peltzer (1908) zitierten Quelle, wird sogar deutlich, dass es streng verboten war das eislebische Kupfer mit dem schwedischen Kupfer zu vermischen, denn letzteres war kein „gut uprechtig Kupfferwerck“.

Das Neusohler „ungarische“ Kupfer wird in den schriftlichen Quellen in Aachen nicht genannt, nach Vlachovic (1977) wurde es aber auch nur zu einem geringen Teil als Garkupfer angeboten, da der größte Anteil im Hammerwerk zu Halbfabrikaten (s.u.) verarbeitet wurde. Ohnehin wäre dieses Kupfer für die Messingherstellung, jedenfalls für die Herstellung von Tiefwaren, wenig geeignet gewesen, wie zu zeigen sein wird.

Nach Gowland (1914) sollte Kupfer, welches zur Herstellung von dünnen Messingblechen (für die Herstellung von Tiefwaren) verwendet werden soll, nur einen gewissen Anteil an Verunreinigungen enthalten, da diese sonst schnell Risse im Messingblech verursachen können.

Besonders Wismut sollte nach Sperry (1899a) unter 100, nach Lawrie (1909) sogar besser unter 50ppm liegen. Nach Sperry (1899b) sollte Kupfer für die Messingherstellung auch nicht mehr als 100ppm Antimon enthalten, da nach Gowland (1914) bereits 400ppm Antimon Risse im Messingblech hervorrufen können.

Arsen sollte, nach Gowland, zwischen 300-500ppm liegen, da es die Festigkeit erhöhen kann (s.o.). Ähnliches gilt für Nickel, wobei Gowland sagt, dass ca. 0,3 Gew.-% Ni sogar die Ausrollbarkeit des Messings erhöhen.

Wenn wir diese Richtwerte auf die hier verfügbaren Garkupfer-Reißscheiben beziehen, so zeigt sich, dass an den Äußerungen Jakob Welslers tatsächlich etwas dran sein könnte, denn nur das Mansfelder Kupfer (hier: Die Helgoland und Elbe Reißscheiben) haben geringe Wismutgehalte und Antimongehalte dabei jedoch hohe Nickel und Arsengehalte die die Festigkeit erhöhen (**vgl. Abb. 6.2/6.3**).

Dagegen hat das Neusohler Kupfer (hier die Terschellinger Reißscheiben) deutlich zu hohe Wismut und besonders Antimongehalte. Hier wäre sogar das schwedische Kupfer (hier die Mönchgut_92 Scheiben) dem Neusohler überlegen, dessen Antimon- und Wismutgehalte in einem intermediären Bereich liegen (**Abb. 6.2/6.3**). Möglicherweise war dies der Grund, wieso die Aachener bzw. später Stolberger Kupfermeister nach dem Niedergang des Mansfelder Bergbaus im 17. + 18. Jh. maßgeblich schwedisches Kupfer bevorzugten, wie urkundlich belegt ist (Peltzer, 1908).

Schlussendlich kann festgehalten werden, dass die Fabrikation von zwei Sorten Garkupfer (Guß und Verschmieden s.o.) wohl auf die Gebiete Neusohl und Falun/Schweden beschränkt war, da das Mansfelder Kupfer zum Großteil in den Aachener Raum zur Messingherstellung geliefert wurde, und weniger zur Herstellung von Kupferfeinarbeiten (Drahtzug, Tiefwaren, etc.) verwendet worden ist.

Die große Bedeutung des Aachen-Stolberger Messinggewerbes für den Absatz Mansfelder Kupfers ist z.B. während der religiösen Unruhen in Aachen am Ende des 16. Jh. definitiv nachweisbar. Zu dieser Zeit taten sich die Fürsten im Mansfelder Land wiederholt zusammen, um Aktionen zur Sicherung des Kupferhandels mit den Kupfermeistern im Aachener Raum zu unternehmen (Peltzer, 1908).

7.2 Zum Sortenproblem der von den Fuggern und ihren Nachfolgern speziell für den Indienhandel produzierten Kupfer-Halbfabrikate

Die hier untersuchten Halbfabrikate aus Kupfer (Halbgossenkugeln, Vierkantkupfer, Rundscheiben) stammen zum Großteil aus der Produktion der Augsburger Fugger. Das verrät ihr Markenzeichen, der Dreizack mit dem Kreis, der punzenartig auf den Halbfabrikaten eingeschlagen worden ist (Hauptmann et al., 2016).

Jedoch tragen nicht alle Halbfabrikate den Fuggerstempel. Auf manchem Vierkantkupfer und auf einer Rundscheibe des Terschellinger Funds (4515_18) ist ein bislang unbekanntes Zeichen erkennbar. Dieses liegt manchmal zusammen mit dem Fuggerstempel vor (vgl. Kap. 3.9). Das Zeichen konnte in den einschlägigen Abhandlungen und Sammlungen über Hausmarken nicht gefunden werden. Gehören die Halbfabrikate mit diesem Zeichen auch zur Fuggerproduktion?

Aus **Abb. 6.6** und **Abb. 6.7** geht hervor, dass es kaum einen chemischen Unterschied des Vierkantkupfers mit dem unbekanntem Zeichen zu den anderen hier untersuchten Halbfabrikaten gibt.

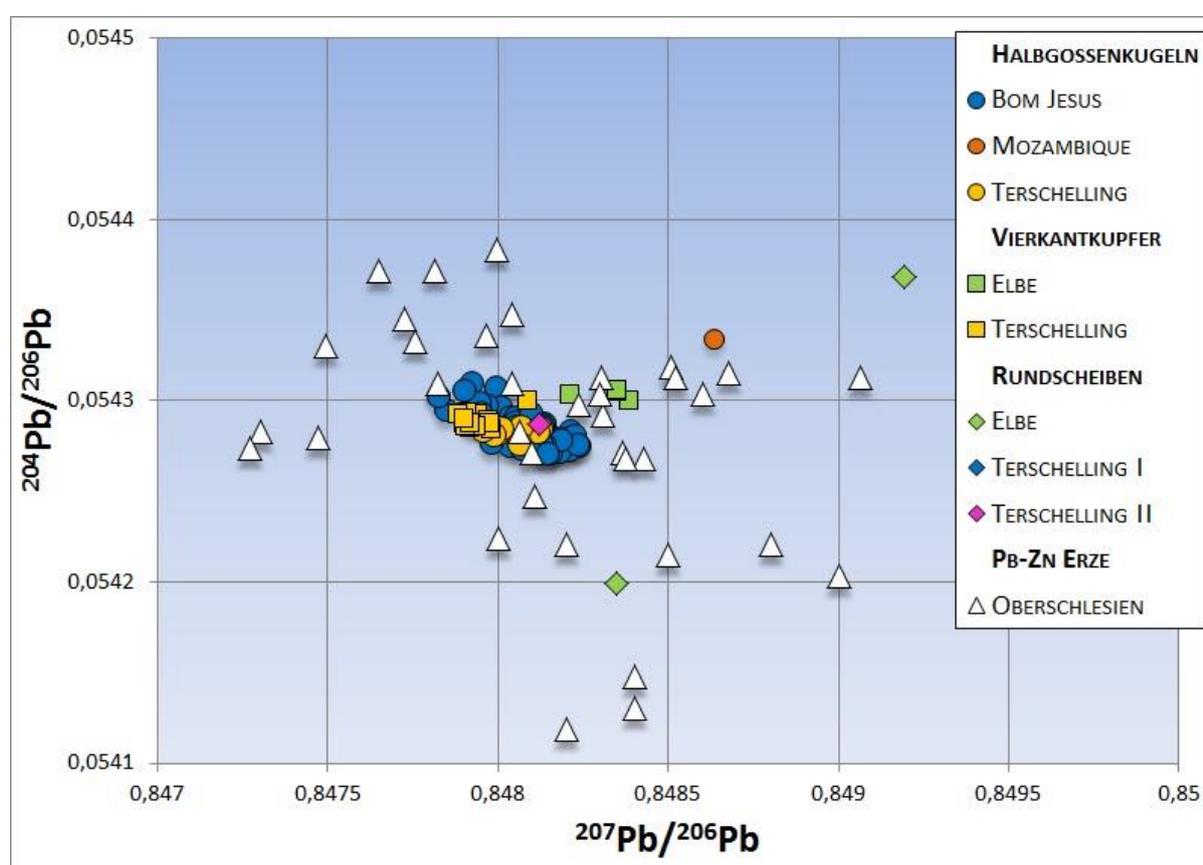


Abb. 7.8 Vergleich der hier untersuchten Halbfabrikate mit den Halbgossenkugeln der Bom Jesus und den schlesischen Blei-Zinkerzen, die zum Saigern des Kupfers in Neusohl verwendet worden sind. Alle Halbfabrikate liegen im Bereich der schlesischen Bleierze, nur bei dem Material aus der Elbe gibt es einen Ausreißer. Die hohe isotopische Ähnlichkeit der Halbfabrikate zu den Halbgossenkugeln bei Hauptmann et al. (2016) ist bezeichnend für eine Herkunft aus derselben Produktion. Datenquellen: Bleierze Oberschlesien: Church & Vaughn, 1992; Clayton et al., 2002.

Ein Vergleich der isotopischen Zusammensetzung der hier untersuchten Halbfabrikate mit denen von Hauptmann et al. (2016) publizierten Halbgossenkugeln von der Bom Jesus ergibt eine deutliche Übereinstimmung (**Abb. 7.8**). Hauptmann et al. (2016) hatten herausgefunden, dass die Bleiisotopensignatur der Bom Jesus Halbgossenkugeln jener ober-schlesischer Bleierze ähnelt, die im Saigerprozess in Neusohl verwendet worden sind. Aufgrund der hohen Bleigehalte (>1 Gew.-

%) werden die Bleisotopendaten des Kupfers der Halbgossenkugeln stark von denen der schlesischen Bleierze überprägt. Das gilt für alle hier untersuchten Halbfabrikate (**Abb. 7.8**).

Wenn zusätzlich die in 7.1 vorgenommene Zuordnung der Reißscheiben zu einem bestimmten Bergbaurevier über den Arsen/Antimon plot auf die Halbfabrikate ausgeweitet wird, wird deutlich, dass alle hier untersuchten Halbfabrikate aus dem Neusohler Bergbaurevier stammen (**Abb. 7.9**).

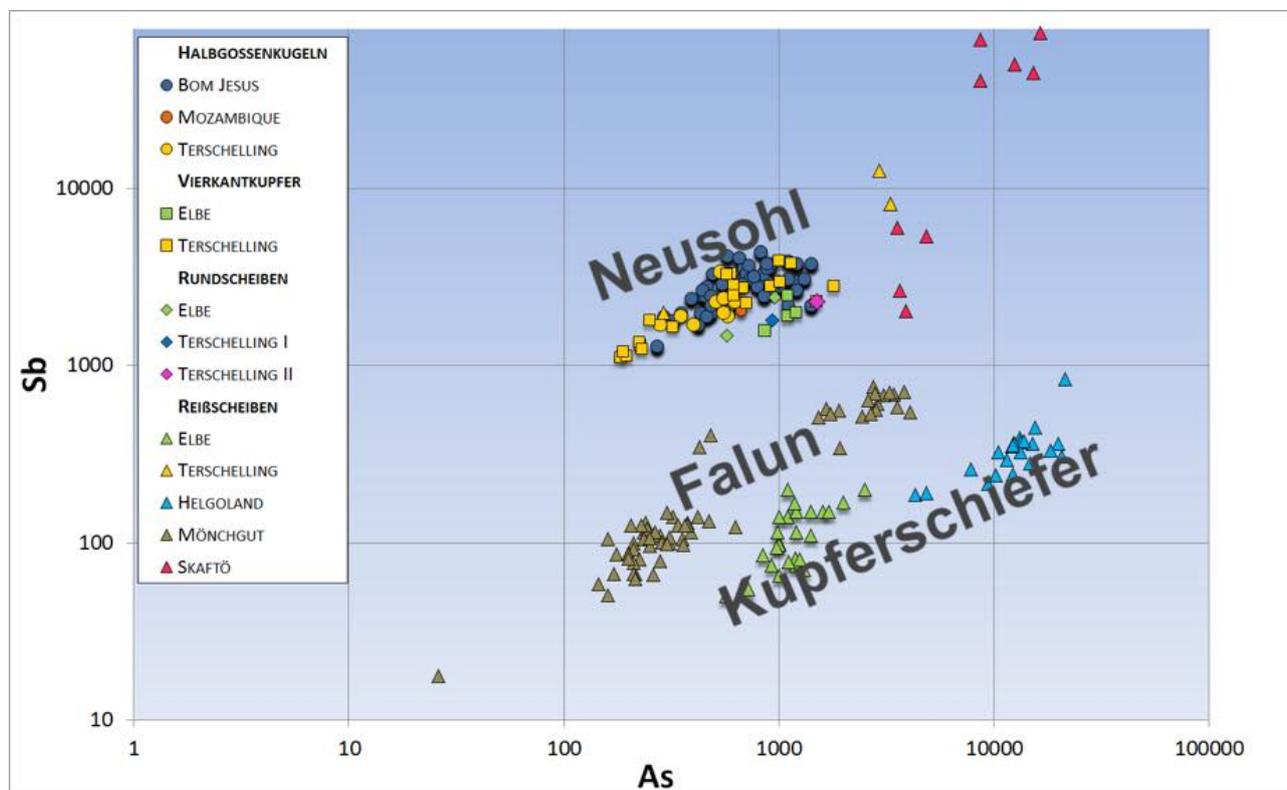


Abb. 7.9 Der in Kap. 7.1 vorgeschlagene Arsen gegen Antimon plot als Herkunftsbestimmung der Reißscheiben auf die As/Sb Gehalte der Halbfabrikate erweitert. Hier wird deutlich, dass alle Halbfabrikate in jenes Cluster fallen, das dem Bergbaurevier Neusohl zugeordnet wird. Kein Halbfabrikat kann den anderen Bergbaurevieren zugeordnet werden. Datenquellen: Halbgossenkugeln Bom Jesus von Hauptmann et al. (2016).

Dies wird auch dadurch gestützt, dass die später datierenden Halbfabrikate aus der Elbe Stempel aufweisen, die der Kammer in Neusohl zugeordnet werden konnten (vgl. Kap. 3.7). Auch die Fundorte (Terschelling, Elbe) passen gut zu der Route, über die das Neusohler Kupfer über Danzig Richtung Antwerpen verschifft wurde (vgl. **Abb. 2.6**).

Spätestens damit ist klar, dass die von Hauptmann et al. (2016) geäußerte Vermutung einer Herkunft der Halbgossenkugeln der Bom Jesus aus dem Neusohler Bergbaurevier, korrekt ist.

Das unbekannte Zeichen könnte demnach die Hausmarke der Thurzo sein, welche zur Zeit des ungarischen Handels (1496-1526) das Kupfer für die Fugger herstellten. Dieses Zeichen taucht nämlich auch auf Platten auf, die in einem Wrack vor der spanischen Küste bei Getaria gefunden worden sind, und das auf 1524 datiert wird (Benito Dominguez, 2014). Sowohl das Kupferblech von Terschelling als auch die Halbgossenkugeln der Bom Jesus haben dieses Zeichen nicht, sie datieren aber auch auf einen Zeitpunkt, wo die Fugger alleinige Montanherren in Neusohl waren, denn die Thurzo stiegen 1526/27 aus.

Damit ist sehr wahrscheinlich, dass bis auf die Elbe Barren, die später datieren, alle hier untersuchten Halbfabrikate aus der Neusohler Fuggerproduktion sind.

Nachdem dies geklärt ist, soll hier die Frage diskutiert werden inwiefern die unterschiedlichen Fugger-Halbfabrikate denn einen technischen Zweck erfüllen sollten und ob dies möglicherweise

der Grund für die Fabrikation von 31 Kupfersorten, die im Fuggerarchiv genannt werden (FA Ur, 36,2;36,3), war.

Nach Westermann (2013) kamen für das Indiengeschäft aber von diesen 31 Sorten nur das Vierkantkupfer, die Halbgossenkugeln, die Rundscheiben, Puechenschrot (Bedeutung unbekannt) und Stangenkupfer in Frage. Drei dieser fünf Halbfabrikate wurden hier untersucht, bei diesen handelt es sich jedoch schlicht um das gleiche verwendete Material (**vgl. Abb. 6.5**), wenn auch physisch anders aufgearbeitet. Wenn jedoch das verwendete Material keine chemischen Unterschiede aufweist, was war dann der Zweck der Herstellung als Halbgossenkugel, Rundscheibe oder Vierkantplatte?

Bei den Rundscheiben ist der Fall klar: Diese sind wahrscheinlich schlicht als Halbfabrikat für die Herstellung von Tiefwaren aus Kupfer (Kessel, Töpfe etc.) gedacht gewesen. Sie ließen sich von Hand oder mithilfe eines sog. Tiefhammers (wasserradgetriebener Hammer) verarbeiten (Kleinert, 1990).

Was jedoch rechtfertigt den hohen Aufwand der Herstellung einer äußerst dicht gegossenen Halbkugel oder einer ausgeschmiedeten Platte, und wieso konnte man diese in Indien absetzen, wie Westermann und Denzel (2011) gezeigt haben.

Die historische Forschung hat hierauf keine klare Antwort. Westermann & Denzel (2011) schreiben zuletzt, dass „die handwerklichen Verwendungszwecke dieser Sorten keineswegs hinreichend genug bekannt sind“.

Den Halbgossenkugeln weist Westermann (2013) einen speziellen Verwendungszweck zu, nämlich den Kanonenguss. Das sieht der Historiker aus einem Kaufvertrag der bei von Pölnitz (1986) aus dem Fuggerarchiv zitiert ist und die Lieferung der Halbgossenkugeln in eine niederländische Geschützgießerei beschreibt. Nach Westermann (2013) ist die militärische Bedeutung der Halbgossenkugeln auch in der seit 1520 gestiegenen Nachfrage nach speziell dieser Sorte gegenüber dem Vierkantkupfer, der ursprünglich am stärksten nachgefragten Sorte, sichtbar. Laut Westermann benötigten die Portugiesen große Mengen Kupfer für die Errichtung befestigter Niederlassungen in Indien.

Auch wenn dieser Verwendungszweck zutreffen mag, und der Guß einer Halbkugel möglicherweise weniger Aufwand bedeutete als das Ausschmieden des Kupfers zu einer Platte, so scheint der eigentliche Sinn der Fabrikation der gleichen Sorte Kupfer zu verschiedenen Formen woanders zu liegen.



Abb. 7.10 Die verfügbaren Kupferformen auf den mittelalterlichen Märkten bei Pegolotti von 1340. Die Ähnlichkeit zu den hier untersuchten Halbfabrikaten und Reißscheiben ist unverkennbar. 1 Rame di pollana, rame di Gosselare (Vierkantkupfer?), 2 rame di papa/ rame della bolla di San Marco di Venigia (Halbgossenkugeln?) 3 Rame duro (Garkupfer-Reißscheibe?). Verändert nach Stefanik, 2018.

Denn auch hier ist es, ähnlich dem Garkupfer in Kap. 7.1, lohnenswert einen Blick auf die mittelalterlichen italienischen Schriften, hier jene des Florentiners Francesco Balducci Pegolottis von 1340 zu werfen, die z.B. bei Denzel (2004), Stefanik (2004, 2017, 2018) und Elbl (2007) untersucht werden. Demnach gab es schon zur Zeit des Florentiners rechteckig ausgeschmiedete Kupferplatten, bortlaibförmige Kupferbarren und Scheiben auf dem venezianischen Markt.

Pegolotti hat Bilder der einzelnen Kupfersorten gezeichnet, die bei Stefanik (2018) abgebildet sind. Die Ähnlichkeit zu den hier untersuchten Halbfabrikaten ist unverkennbar (**Abb. 7.10**).

Nach Stefanik (2018) war das Vierkantkupfer speziell für die Münzprägung geeignet, da es sich gut biegen ließ. Es trägt bei Pegolotti den Namen „*Rame di pollana*“ wobei dieser Ausdruck nach Stefanik dabei nur den Weg bezeichnet, welches das Kupfer aus Ungarn zu den Ostseehäfen hin nahm. Stefanik (2017) weist jedoch auch auf einen praktischen Nutzen der Herstellung in Plattenform hin. So dienten die Platten möglicherweise einer ausgeglichenen Gewichtsverteilung beim Schiffstransport.

Die Halbgossenkugeln (bei Pegolotti *rame di papa* oder *rame della bolla*) trugen das Zeichen der venezianischen affinitura (s.o.) d.h. es handelte sich um raffiniertes Kupfer, welches im venezianischen Geto aufbereitet worden war. Nach Elbl (2007) wurde auch das Vierkantkupfer gestempelt, wenn es denn der Qualität der venezianischen affinitura entsprach. Dies wurde festgestellt indem die Platten mit einem Hammer an einer Kante geschlagen wurden um die Duktilität dieser zu überprüfen (Stefanik, 2018).

Hier wird deutlich, dass es sich bei diesen beiden Sorten, Halbgossenkugeln und Vierkantkupfer um raffiniertes Kupfer handelte, für dessen Qualität Venedig durch den Stempel (*Bolla di San marco di Vinigia*, Elbl, 2007) bürgte. Nach Denzel (2004) erzielten diese gestempelten Sorten, die höchsten Preise auf den Levantemärkten und wurden bis nach Indien gebracht. Es handelte sich, wie in Kap. 7.1 schon gesagt, um die beste verfügbare Qualität.

Dies scheint sich jedoch im Laufe der Jahre geändert zu haben, denn offenbar entwickelten die Neusohler in ihrer „Neuen Hütte“ (Fusina Nova) (Braunstein, 1977) ein Verfahren, welches der venezianischen affinitura ähnelte und entsprechend gleiche Qualität erzeugte (Bingener et al., 2012). Die Venezianer fürchteten laut Stefanik (2004) die Konkurrenz durch die Neusohler Hütten und so wurde mehrfach vergeblich versucht, die Produktion außerhalb des venezianischen „Geto“ einzuschränken.

Offenbar waren also Halbgossenkugeln und Vierkantkupfer aus der Neusohler Produktion durchaus vergleichbar mit dem in Venedig raffinierten Kupfer. Was unterscheidet dieses raffinierte Kupfer also vom Garkupfer?

Vlachovic (1977) schreibt, dass das Kupfer im Hammerwerk erneut geschmolzen und gereinigt worden ist, bevor es in die hier beschriebenen Formen umgearbeitet worden ist. Auch Westermann und Denzel (2011) schreiben, dass das Kupfer im Hammerwerk von Spuren anderer Beimischungen gereinigt worden ist, bis es gut biegsam war. Lässt sich dies anhand des hier verfügbaren Garkupfers (Reißscheiben) und der Halbfabrikate nachvollziehen?

Für einen Vergleich kann freilich nur das Garkupfer aus Neusohl herangezogen werden, da die anderen Bergbaureviere wie gezeigt auf andere Erzgrundlagen zurückgriffen und daher anders zusammengesetztes Kupfer produzierten (vgl. Kap. 7.1).

Wenn Neusohler Halbfabrikate und die zwei Typen Garkupfer verglichen werden, ergeben sich deutliche Unterschiede (**Abb. 7.11**). Die Halbfabrikate wie das höher gegarte Garkupfer weisen niedrige Schwefel, Phosphor und Eisengehalte auf, haben dabei aber nicht die abnormal erhöhten Antimongehalte der höher gegarten Garkupfer-Reißscheiben. Wie wir bereits in Kap. 7.1 gesehen haben, reichern sich beim „Garen“ Sb, As und Ni an, was im Falle der Neusohler Fehlerze durchaus zu Problemen bei der Herstellung von Hammergarkupfer führen kann (s.o. und vgl. auch die Skaftö-Scheiben **Abb. 6.3**).

Bei den Halbfabrikaten aber, sind Sb, As und Ni in einem Bereich, der nach Gowland (1914) nicht schädlich für das Verarbeiten des Kupfers ist (s.o.) und das ist der entscheidende Punkt. Diese Fabrikate wären sowohl für Feinarbeiten als auch für den Guß geeignet gewesen. Letzterer wäre durch ihre hohen Bleigehalte ebenfalls begünstigt gewesen.

Wie bereits oben erwähnt konnte man Sb und As durch vielfaches Erzrösten verringern. Vermutlich ist die Entwicklung eines vielstufigen Prozesses, der mehrfache Röstoperationen zu verschiedenen Stadien der Kupferverhüttung enthielt, die Errungenschaft, die in der „Fusina

Nova“ in Neusohl, erlangt worden war. Sie führte womöglich zur Produktion von Kupfer, welches der venezianischen *affinatura* gleichkam.

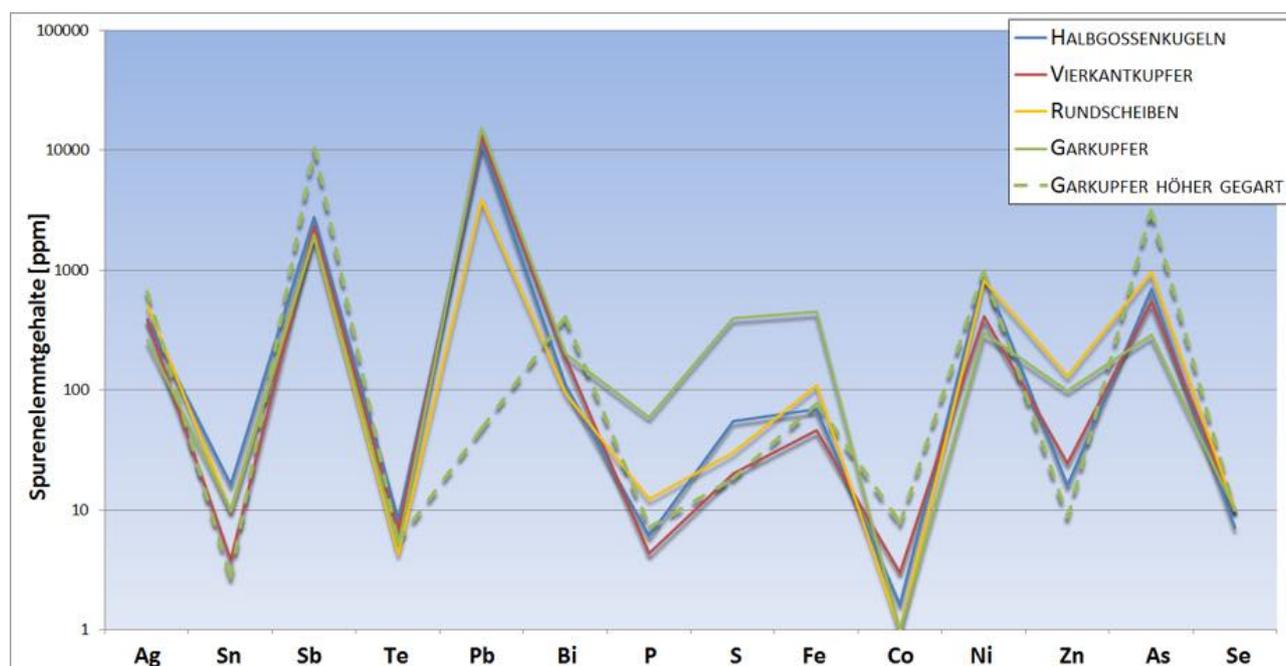


Abb. 7.11 Die Spurenelementgehalte der Halbfabrikate im Vergleich zu den zwei Arten Garkupfer (höher und tiefer gegartes Garkupfer). Die Halbfabrikate sind das reinste hier untersuchte Material, da sie sowohl niedrige Phosphor, Schwefel und Eisengehalte als auch Antimon- und Arsengehalte aufweisen. Letztere sind bei den höher gegarten Garkupfer-Reißscheiben in einem so hohen Bereich, dass sie für bestimmte Verwendungszwecke nicht geeignet gewesen wären. Möglicherweise sind die Halbfabrikate aus dem tiefer gegarten Garkupfer hergestellt, wobei im Hammerwerk, P, S und Fe verringert worden sind. Halbgossenkugeln (Bom Jesus+Terschelling) $n=70$, Vierkantkupfer $n=22$, Rundscheiben $n=4$, Garkupfer $n=1$, Garkupfer höher gegart $n=2$. Datenquellen: Halbgossenkugeln der Bom Jesus nach Hauptmann et al. (2016).

Dies hatten die Neusohler wahrscheinlich mit der Zeit erkannt, da sie versuchten, das Kupfer in Eigenregie und nicht über Venedig abzusetzen. Dabei produzierten sie offenbar ehrgeizig jene Formen (Halbgossenkugeln, Vierkantkupfer, Rundscheiben) die schon auf dem venezianischen Markt bekannt waren und die man daher auch auf den Märkten der Levanteküste und in Indien erkannte.

Als die Fugger 1496 in die Neusohler Produktion einstiegen, und ihr Siegel, den Dreizack, auf den Fabrikaten hinterliessen, standen sie damit in bester venezianischer Tradition. Den Wiedererkennungswert der seit Jahrhunderten verwendeten Formen, machten sich die Fugger dabei ebenfalls zu Nutzen.

Diese neuen Erkenntnisse unterstreichen die große Weitsicht und das wirtschaftliche Kalkül Jakob Fuggers, der seiner Zeit lange voraus war. Offenbar wusste dieser darüber Bescheid, welche Kupfersorten, nämlich raffinierte Halbfabrikate in Brotlaib- und Rechteckform, in Indien abgesetzt werden konnten. Dass Jakob Fugger diese Produkte eher auf dem Antwerpener anstatt auf dem Venezianischen Markt absetzte (Westermann, 2001) und es wagte den Dreizack in Konkurrenz zum *Bolla di San marco di Vinigia* zu setzen, zeigt, dass er der Qualität der in Neusohl produzierten Halbfabrikate vertraute. Bald schon stand der Dreizack auch auf der andere Seite der Weltkugel für höchste Kupferqualität.

Der *Ungarische Handel* war somit in seiner Gesamtheit der Rohstoffströme (vgl. Kap. 2.2) Arbeitsabläufe, produzierten Produkte und Absatzmärkten ein unglaublich gut durchdachter Geniestreich, dessen Erfolg vorprogrammiert war. Die Rolle der Halbfabrikate, die hier zum ersten mal beleuchtet worden ist, ist dabei ein nicht zu unterschätzender Faktor.

7.3 Zur Qualität und Provenienz der untersuchten Zinn- und Bleibarren

Neben Barren und Halbfabrikaten aus Kupfer, sind in dieser Arbeit auch Zinn- und Bleibarren untersucht worden. Dabei gibt es, wie in Kapitel 2.2 bereits beschrieben, jedoch von historischer Seite aus, große Unsicherheiten hinsichtlich der verfügbaren Zinn- und Bleisorten bzw. Qualitäten. Diese betreffen vor allem die Frage, welche Bergbaureviere welche Qualitäten dieser Rohstoffe lieferten.

Hier kann die chemische Charakterisierung von Blei- und Zinnbarren weiterhelfen. Freilich ist eine solche aber nur dann hilfreich, wenn die Barren von den Schiffswracks einem bekannten Bergbaurevier zugeordnet werden können. Daher muss zunächst deren Provenienz festgestellt werden.

Zum Zinn:

Zwei Arten Zinnbarren sind in dieser Arbeit untersucht worden. Zinn als bandförmige Barren und Zinn als Rollenbarren.

Bei den Rollen ist eine Feststellung der Provenienz denkbar einfach, denn diese tragen Wappen und Siegel, die von Historikern eindeutig auf das Erzgebirge, und hier besonders Platten, Seifen, Hengstererben und Gottesgab (vgl. Kap. 3.11 und Kap. 4.1.2) verortet worden sind (Bartoš, 1994; Maarleveld & Overmeer, 2012).

Bei den bandförmigen Barren von der Bom Jesus liegen jedoch keinerlei Siegel oder ähnliches vor, ihre Zuordnung zu einem Bergbaurevier ist problematischer.

Einen Hinweis auf ihre Provenienz könnte ein Fund aus der Londoner Themse bieten. Hier wurde 2004 ein auf das Jahr 1574 datierendes Schiffswrack gefunden, welches neben Blei- und Eisenbarren Zinnbänder in exakt der selben Form und Beschaffenheit aufweist, wie jene von der Bom Jesus (Birch et al., 2014). Dabei scheint den Bleiisotopen nach zu urteilen, sowohl das Blei als auch das Zinn aus England zu stammen (Birch et al., 2014).

Wenn die Zinnbarren von der Bom Jesus genau jenen des Gresham Schiffs entsprechen, stammen diese dann auch aus England? Das soll hier nun genauer überprüft werden.



Abb. 7.12 Zinnbarren des Gresham-Schiffs aus der Themse. Sie liegen in bandförmiger Art vor und ähneln sehr stark jenen der Bom Jesus aus Namibia. Auch ihre Datierung ist mit 1574 nicht weit vom Datum des Schiffuntergangs des Indienseglers entfernt (nach Birch et al., 2014).

Auffällig ist, dass sich die Bom Jesus Barren von denen aus dem Texel-Wrack hinsichtlich ihrer Spurenelemente Cu, As, aber vor allem Bi und Pb unterscheiden (**vgl. Abb. 6.16**). Es läge auf der Hand hier eine andere Herkunft zu postulieren, und da das einzige europäische Bergbaurevier welches in der Frühen Neuzeit Zinn produzierte, in Cornwall zu suchen ist, wäre es leicht zu behaupten das Bom Jesus-Zinn käme aus England. Doch ist dies nicht ganz so einfach wie hier dargestellt.

Neuere Erkenntnisse zu Thema Zinnprovenienz sind im Rahmen des ERC-Projektes '*BronzeAgeTin – Tin isotopes and the sources of Bronze Age tin in the Old World*' gewonnen worden, welches am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim durchgeführt worden ist. Im Rahmen dieses Projektes wurden 38 Zinnbarren von unterschiedlichen Fundorten im Mittelmeerraum Hishuley Carmel, Kfar Samir, Haifa in Israel, Mochlos, Kreta, vom Schiffswrack von Uluburun/Türkei und aus Salcombe (UK) auf ihre Zinnisotopen- und Bleiisotopenverhältnisse und Spurenelementmuster untersucht. Die Ergebnisse sind zuletzt in einer umfassenden Publikation (Berger et al. 2019) dargestellt worden. Die Ergebnisse sind dabei aber mit Vorsicht zu genießen, denn die bronzezeitlichen Barren haben nicht immer den Erhaltungszustand, der notwendig ist, um aussagekräftige Daten gewinnen zu können, worauf auch Berger et al. (2019) speziell im Falle der stark korrodierten Uluburun Barren hinweisen.

Berger et al. benutzen eine Kombination aus Spurenlementchemie wobei auch der oben genannte Pb/Bi plot verwendet wird, als auch Blei- und Zinnisotopenanalytik. Dabei wird die Zinnisotopenanalytik weniger für die Herkunft, sondern mehr für die Beurteilung des Korrosionsgrades benutzt. Trotzdem lassen sich nach Berger et al. (2019) über die Sn-Isotope Aussagen darüber treffen, ob das Zinn aus einer oder mehrerer Lagerstätten kommt. Dies wird ähnlich der Bleiisotopenanalytik anhand der Homo- bzw. Heterogenität der Zinnisotopen einer Probe ausgemacht.

Berger et al. halten die Bleiisotopenanalytik für die beste Methode um Provenienz von Zinnartefakten festzustellen, doch gibt es hier ein Problem: Der Mangel an verlässlichen Bleiisotopendaten von Zinnerzen wird durch das Berechnen von Modellaltern ersetzt. Allerdings muss man davon ausgehen, dass ein Großteil der in alter Zeit abgebauten Vorkommen Seifenzinn war. Daher ist auch die Bleiisotopenanalytik für die Herkunftsbestimmung des Zinns kritisch zu betrachten, speziell dann, wenn die Bleigehalte derart niedrig sind wie beim Großteil der von Berger et al. untersuchten Proben (**Abb. 7.13**).

Trotzdem könnte eine Kombination aus allen drei Herangehensweisen (Sn-Isotopie, Pb-Isotopie, Spurenelemente) Hinweise auf die Herkunft geben.

Bei den Pb/Bi plots fällt auf, dass die Bom Jesus Barren grundsätzlich höhere Bleigehalte aufweisen als die 38 bronzezeitlichen, von Berger et al. untersuchten, Zinnbarren. Deren Wismutgehalte sind jedoch recht ähnlich niedrig, nur jene der Uluburunbarren gehen in Richtung der Texelbarren. Das Zinn vom Gresham Schiffswrack, ähnelt wie schon von der optischen Erscheinung her vermutet werden konnte, jenem der Bom Jesus, doch sind hier die Wismutgehalte etwas höher. Diese Unterschiede liegen allerdings im zweistelligen ppm-Bereich und sind niemals so hoch, wie die Unterschiede zu den Texelbarren. Das bedeutet, dass sowohl die Gresham-Barren, als auch jene der Bom Jesus *eher* zum Berger-Material passen, als jene erzgebirgische aus dem Texel Wrack.

Für diese Arbeit sind vier Zinnbarren der Bom Jesus mithilfe der Zinnisotopie untersucht worden. Diese vier Proben zeigten nur eine sehr geringe Streuungsrate, was auf die Herkunft aus einer einzigen Lagerstätte schließen lässt (Pers. Mitteilung, D. Berger, Oktober 2019). Die Zinnisotopenverhältnisse bewegen sich zwischen $^{124}\text{Sn}/^{120}\text{Sn} = 0,01 - 0,04$ und liegen damit deutlich unter jenen des Zinns aus dem Mittelmeerraum (**Abb. 7.14**).

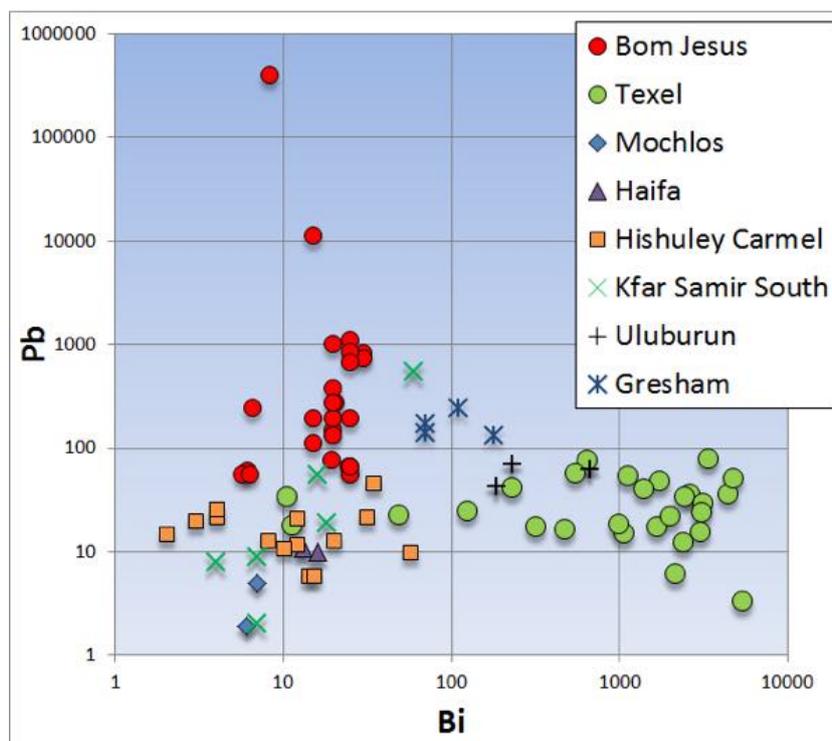


Abb. 7.13 Bi vs Pb plot der hier untersuchten Zinnbarren erweitert mit den neuen Daten des Zinns aus dem Mittelmeerraum von Berger et al. (2019) und jenen des Gresham-Schiffswrack (Birch et al., 2014). Die Gresham-Barren haben zwar leicht höhere Wismutgehalte, ähneln jedoch eher dem Bom Jesus Zinn, als den Texelbarren. Das von Berger et al. untersuchte Material hat sehr geringe Wismutgehalte, ähnelt in dieser Hinsicht daher eher dem Zinn der Bom Jesus, dessen Bleigehalte jedoch höher sind.

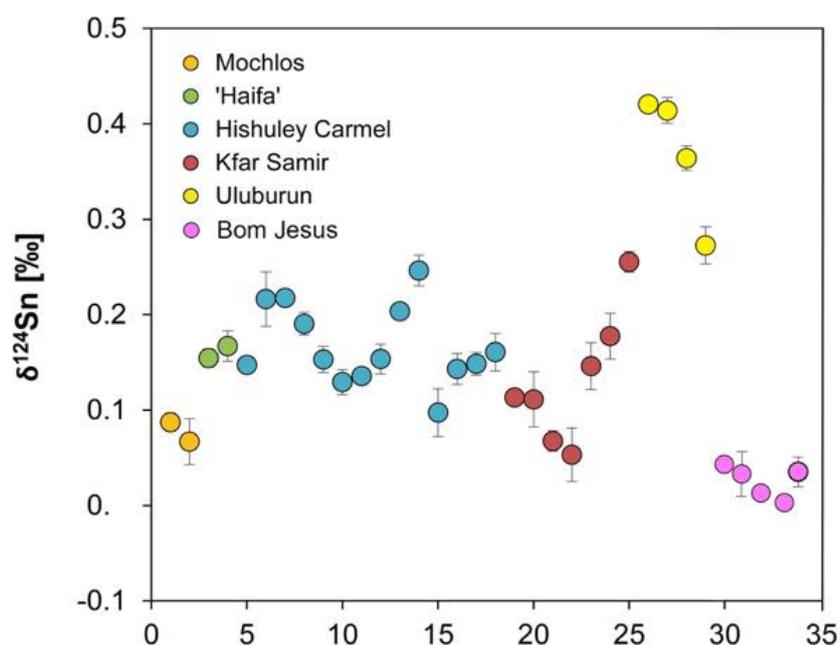


Abb. 7.14 Zinnisotopenverhältnisse $^{124}\text{Sn}/^{120}\text{Sn}$ gegen die Probennummern der von Berger et al. (2019) untersuchten Zinnbarren aus dem Mittelmeerraum. Zusätzlich sind die Sn-Isotopenverhältnisse des Bom Jesus-Zinn eingetragen. Diese heben sich vom Rest ab, da sie deutlich geringe Streuung und viel niedrigere Verhältnisse aufweisen. Das bedeutet, dass sie womöglich aus einer Lagerstätte hergestellt worden sind (verändert nach Berger et al., 2019).

In dieser Arbeit sind keine eigenen Bleisotopendaten von Zinnbarren erhoben worden. Jedoch gibt es aus der Literatur bereits Daten für die Texelbarren (Clayton et al., 2002) und die Greshambarren (Birch et al., 2014). Ein Vergleich mit denen von Berger et al. (2019) publizierten Daten ergibt, dass die Texelbarren ähnlich massive Streuungsraten aufweisen, wie die von Berger untersuchten Barren. Eine Ausnahme bilden die Uluburunbarren und die Greshambarren, die geringe Streuung haben und eher variszischen Lagerstätten zugeordnet werden können (**Abb. 7.15**).

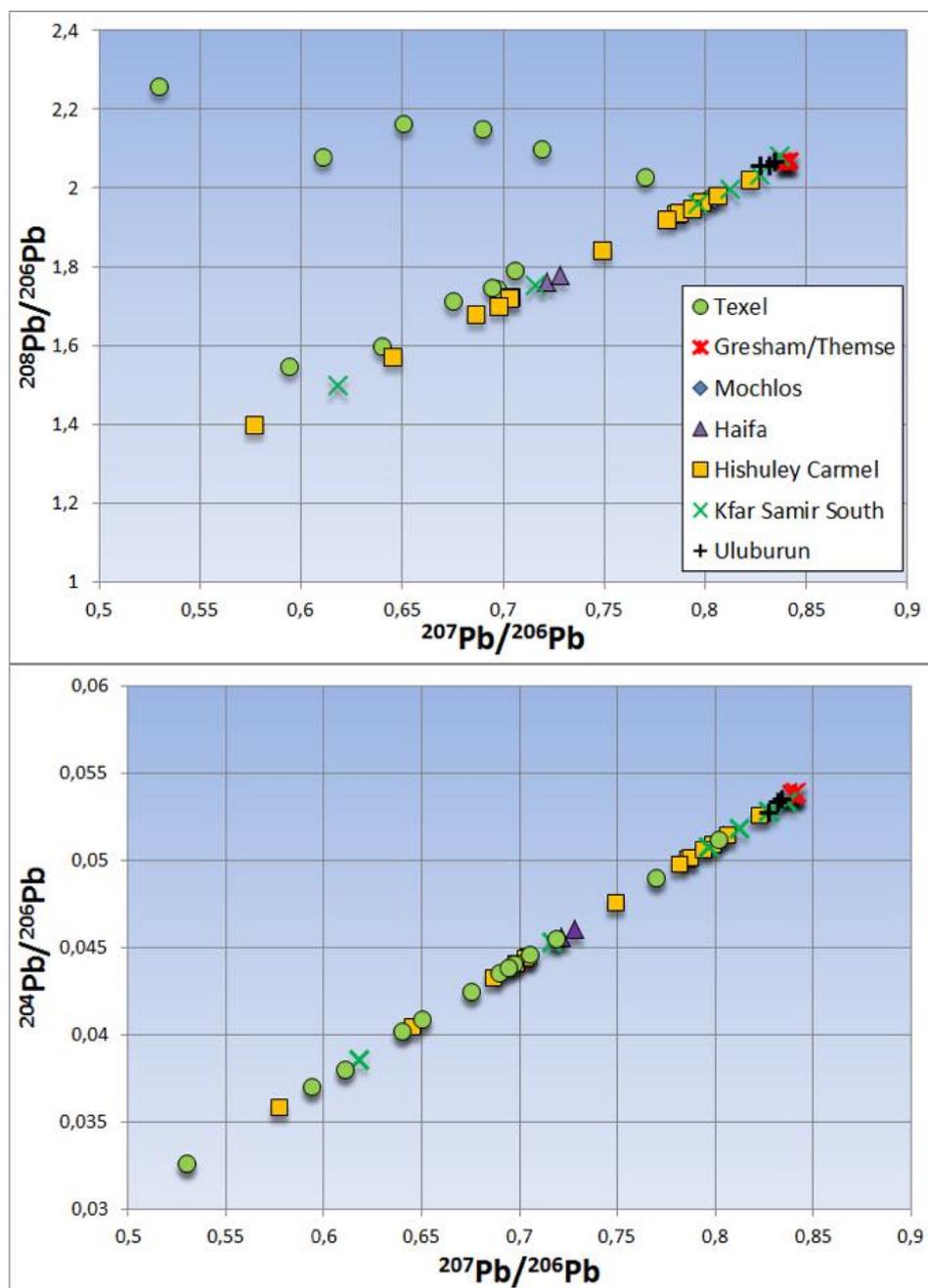


Abb. 7.15 Die Bleisotopenverhältnisse der von Berger et al. (2019) publizierten Zinnbarren aus dem Mittelmeerraum im Vergleich mit jenen vom Texel-Wrack (nach Clayton et al., 2012) und vom Gresham-Schiff (Birch et al. 2014). Das Material von Berger et al. zeigt ähnlich den Texelbarren große Streuungsraten, während die Gresham- und Uluburunbarren weniger heterogen sind. Besonders ^{208}Pb scheint bei den Texelbarren Probleme bei der Messung verursacht zu haben.

Berger vermutet anhand der Bleiisotopenverhältnisse eine englische Herkunft für den Großteil des Mittelmeerzinns. Betrachtet man jedoch die mehr oder minder gegebene Übereinstimmung der Texelbarren mit dem Zinn aus dem Mittelmeerraum, so muss dies in Frage gestellt werden, denn von den Texelbarren wissen wir aufgrund der Stempel, dass sie aus dem Erzgebirge stammen.

Zusammengenommen lässt sich festhalten, dass die Herkunft der Bom Jesus Barren nicht eindeutig bestimmt werden kann. Für eine Herkunft aus Südwestengland sprechen sowohl die ähnlich aussehenden, in der Themse gefunden Barren, als auch die Andersartigkeit bei den Pb/Bi-Gehalten zu den erzgebirgischen Barren vom Texelwrack. Auf der anderen Seite jedoch scheint man anhand von Zinn- und Bleiisotopen allgemein keine eindeutige Zuordnung von Zinnbarren zu einem Bergbaurevier treffen zu können.

Wie in Kap. 2.2. erwähnt, gilt das englische Zinn (Feinzinn) als jenes mit der größten Reinheit (Stahl, 1991). Es sollte zu mindestens 90% aus Zinn bestehen und war mit Kupfer, Antimon oder Wismut versetzt wie sowohl Knabe & Noli (2012) als auch Stahl (1991) schreiben. Während Knabe und Noli kein Zitat angeben, zitiert Stahl Alexander Dietz (1903).

Diese Angaben können hier nicht bestätigt werden, da die Gehalte von Kupfer, Antimon und Wismut bei den Bom Jesus und den Gresham-Barren im zwei bis dreistelligen ppm-Bereich liegen (**Abb. 6.16** bzw. Birch et al., 2014).

Daneben gab es noch das sog. Probezinn, welches je nach Region in einem bestimmten Verhältnis mit Blei vermischt wurde (Stahl, 1991). So gibt Stahl für Nürnberg ein Mischungsverhältnis von Zinn zu Blei von 10:1, für Amsterdam 16:1, für Köln 6:1, für Düren 4,5:1 und für Frankfurt 4:1 an. Aber auch dies lässt sich hier nicht nachvollziehen, da weder die Bom Jesus Barren noch die Erzgebirge Barren vergleichbare Verhältnisse aufweisen.

Die abnormal hohen Bleigehalte zweier Barren der Bom Jesus (**Abb. 7.13**) mit 11 bzw. 40 Gew.-% Blei lassen sich schwerlich in die obige Liste der Mischungsverhältnisse einordnen. Am ehesten würde jenes Stück mit 11 Gew.-% Blei noch zur Nürnberger Probe passen, je nachdem wie genau das „probieren“ denn von statten gegangen ist. Interessanterweise sind die beiden Stücke mit 11 bzw. 40 Gew.-% deutlich kleiner als der Rest des beprobten Materials (vgl. Katalog 10.3.1 3585/18 und 3589/18). Es könnte sich bei diesen Stücken also doch um Probezinn handeln, wenn auch mit bisher unbekanntem Mischungsverhältnis.

Daher scheinen auch die schriftlichen Quellen keine wirkliche Hilfe bei der Ansprache der hier untersuchten Zinnbarren liefern zu können. Eine Herkunft der Bom Jesus Zinnbarren aus England kann demnach weiterhin nur vermutet werden.

Zum Blei:

Anders als beim Zinn, ist bei Fabrikaten aus Blei die Bleiisotopenanalyse ein sicheres Werkzeug um die Provenienz festzustellen. Hierzu werden letztere mit jenen von im Untersuchungszeitraum relevanten Bleibergbaurevieren verglichen werden. Diese sind, wie in Kap. 2.2 dargelegt in Oberschlesien, dem Harz, dem Rheinland, dem Schnee- bzw. Bleiberg und England zu suchen (vgl. Besprechung dieser in Kap. 4).

Wenn wir zusätzlich die Fundorte der Barren (Namibia/Bom Jesus, Niederländische Gewässer, Slowakei) und die Handelswege wie in **Abb. 2.6** dargestellt berücksichtigen, so ist klar, dass die hier untersuchten Barren nur aus Oberschlesien oder England sein können.

Wenn die Bleiisotopenverhältnisse dieser Reviere mit denen der hier untersuchten Bleibarren verglichen werden, ergibt sich ein deutliches Bild.

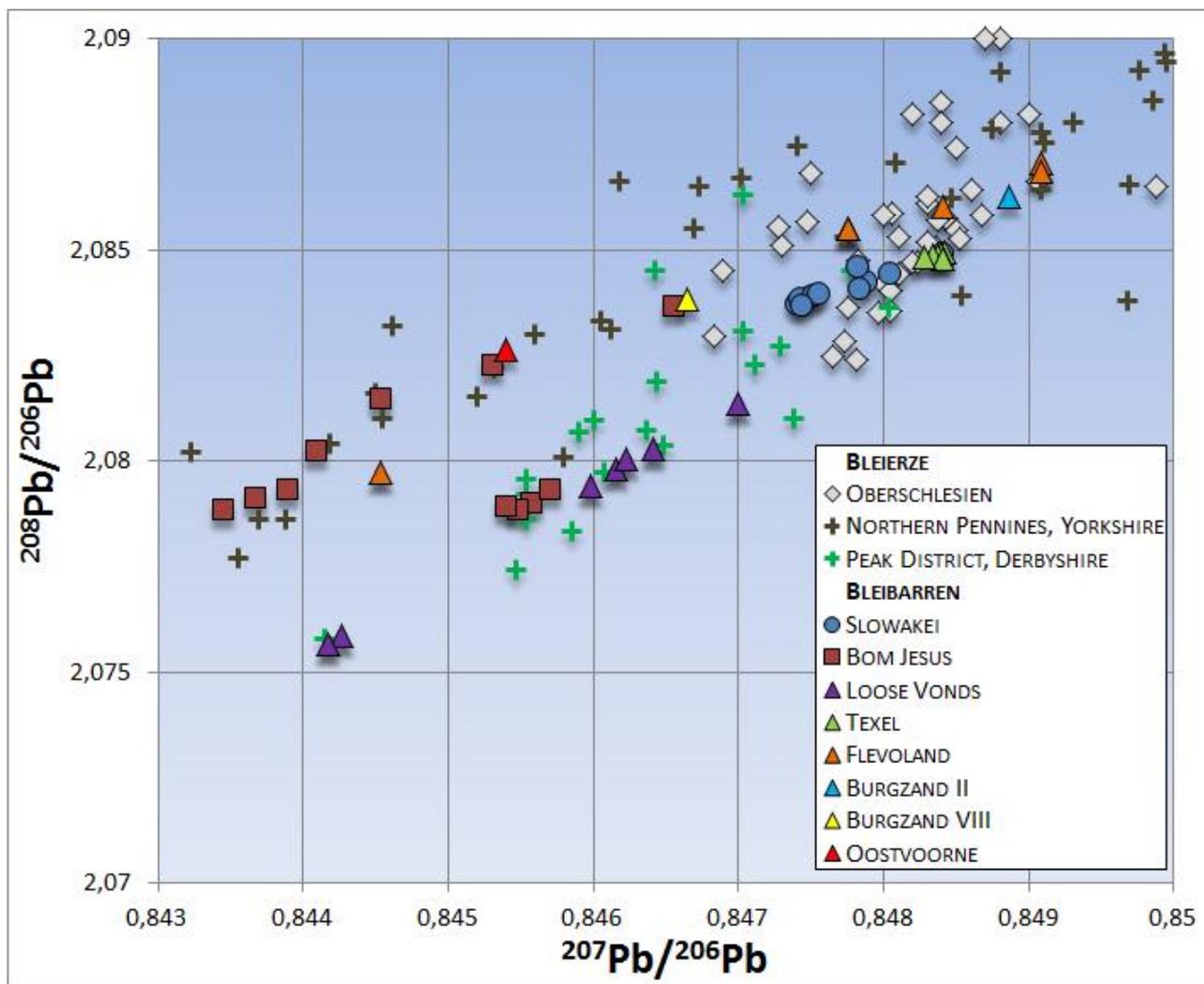


Abb. 7.16 Die Bleiisotopenverhältnisse der untersuchten Bleibarren im Vergleich mit jenen von Bleierzen aus relevanten Bergbaurevieren. Alle untersuchten Barren können in Einklang mit Bleierzen aus England oder Oberschlesien gebracht werden. Während letztere nur einen kleinen Streubereich abdecken und damit gut zu den Barren aus dem Texel-Wrack und jenen aus der Slowakei passen, sind jene restlichen Barren aus holländischen Gewässern und jene der Bom Jesus eindeutig englischer Herkunft. Bei den Bom Jesus Barren ist dabei eine Herkunft aus den beiden großen Bleibergbaurevieren Derbyshire und Yorkshire wahrscheinlich. Verwendete Daten: Oberschlesien: Zartman, 1979, Clayton et al., 2002, Northern Pennines/Peak District: Rohl, 1996.

Aufgrund des nur geringen Streubereichs, den die ober-schlesischen Bleierze aufzeigen, lassen sich Barren, die aus diesen erschmolzen worden sind, klar von jenen englischer Herkunft differenzieren (**Abb. 7.16**). Demnach sind alle in der Slowakei gefundenen Barren und die Barren vom Texel-Wrack aus Oberschlesien. Da letztere, wie in Kap. 3.11 beschrieben, Stempel mit der Aufschrift ILKUSZ tragen, was als Olkusz gedeutet worden ist, passt dies auch gut zu den archäologischen Interpretationen.

Alle anderen untersuchten Barren können englischen Lagerstätten zugeordnet werden, wobei jene der Bom Jesus offenbar sowohl aus den Penninen, als auch dem Peak District zu stammen scheinen, da eine Gruppenbildung sichtbar ist. Die Flevolandbarren liegen zwar in der Nähe des Clusters der ober-schlesischen Bleierze, doch ist ihr Streubereich zu hoch (beachte den Ausreißer), um aus diesen hergestellt zu sein, zumal auch Erze der Penninen dort plotten. Bei den Loose Vonds ist eine Herkunft aus dem Peak District überdeutlich.

Ein weiteres Indiz für die Herkunft der slowakischen und Texelbarren aus dem oberschlesischen Bergbaurevier ist gegeben, wenn die Bleiisotopenverhältnisse dieser mit jenen der Kupferhalbfabrikate (vgl. Kap. 7.2) verglichen werden, da diese nachweislich aus dem Saigerprozess stammen (**Abb. 7.17**).

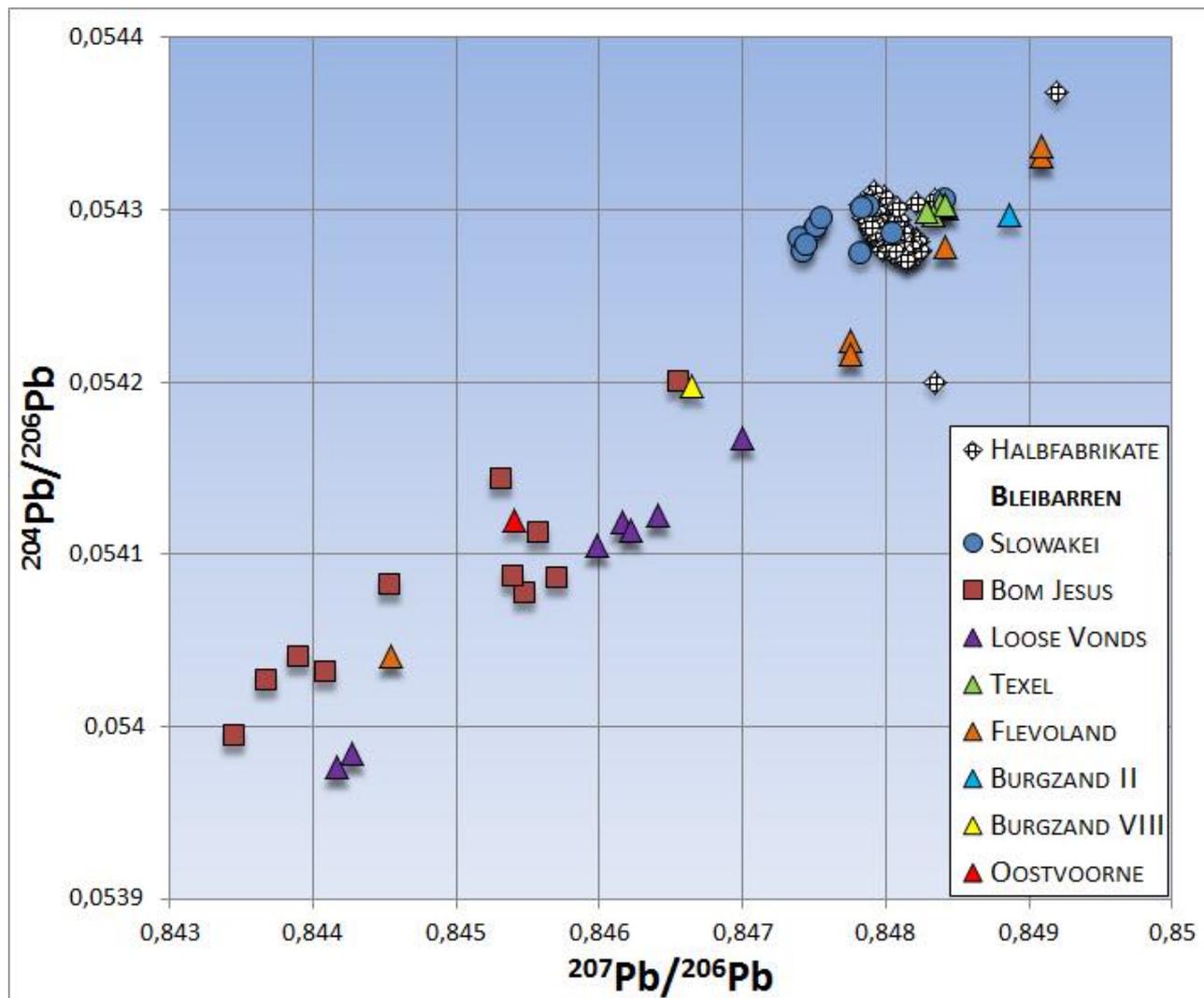


Abb. 7.17 Bleiisotopenvergleich der Halbfabrikate aus Kupfer (Daten aus dieser Arbeit und von Hauptmann et al., 2016) mit denen der untersuchten Bleibarren. Die Halbfabrikate ordnen sich zentral zwischen den untersuchten Bleibarren aus der Slowakei und dem Texel-Wrack an und liegen z.T. punktgenau übereinander. Es besteht daher kein Zweifel, dass die Halbfabrikate mit Blei ähnlich dem in dieser Arbeit untersuchten gesaigert worden sind.

Nun, da die Provenienzen der Barren geklärt sind, kann ein Blick auf die historischen Beschreibungen dieser geworfen werden.

Bei Knabe und Noli (2012) wird ein Zitat aus dem Fuggerarchiv (Ungarischer Handel, Urkunde 2,3,5C, k. 136r. genannt, dass auf 1524 datiert und indem es heisst:

„Nun ist das englisch pley nimer so gut bei der arbeit in Ungern als das polnische dan sy arbeiten es in england nicht so rain als hie“

Woraus man verstehen kann, dass das polnische (oberschlesische) Blei, eine bessere Qualität gehabt habe als das englische. Dies kann jedoch hier nicht bestätigt werden.

Denn wie aus **Abb. 6.17** hervorgeht, gibt es kaum Qualitätsunterschiede zwischen den aus den beiden Bleibergbaurevieren hergestellten Barren.

Zwar weisen einige der slowakischen, nach den hier angestellten Analysen also oberschlesischen, Barren geringere Schwefelwerte auf als jene, die einer englischen Produktion zuzuweisen sind, jedoch sind bei diesen die Arsengehalte deutlich höher.

Schwefel als Verunreinigung dürfte „*bei der arbeit in Ungern*“ aber ein geringeres Problem dargestellt haben als Arsen, da letzteres wie in Kap. 7.1 besprochen, nicht so leicht vom Metall zu trennen ist. Generell aber, haben die untersuchten Bleibarren eine recht homogene Zusammensetzung unabhängig von ihrer Herkunft.

Die Quelle im Fuggerarchiv ist jedoch nicht die einzige, die auf die mangelnde Qualität englischen Bleis hinweist. Von Pölnitz (1958) schreibt zunächst, dass die Fugger ihre Konkurrenten die Welser vor der Qualität des englischen Bleis warnten: „*es werde ihnen (den Welsern, Anmerk.) noch warm werden beim englischen Blei*“. Später ist bei selbigem zu lesen, dass die Fugger sich durch die Einfuhr 400 Zentnern englischen Bleis „*verderblichen Schaden*“ erwarteten.

Englisches Blei fand, wie in **Abb. 2.6**/ Kap. 2.2 gezeigt, seinen Weg auch nach Hohenkirchen, wo die Fugger eine Saigerhütte hatten. Befürchteten die Fugger durch das ihrer Meinung nach minderqualitative englische Blei, qualitative oder quantitative Einbußen ihrer Kupferproduktion auf dieser Hütte?

Faktisch war England der traditionelle Bleilieferant Europas. Das zeigt z.B. die große Verbreitung von Bleibarren nachweislich englischer Herkunft bereits in römischer Zeit (Gardiner, 2001; Bode, 2008). Wieso sollte sich die Qualität des Bleis in der Neuzeit plötzlich verschlechtern?

Ein anderer Grund könnte hier entscheidend sein.

Ausnahmslos alle der genannten Quellen kommen von den Fuggern selbst. Diese waren für das Saigern des Neusohler Kupfers auf ihrer Hütte Mostenica auf ständige Bleilieferungen aus dem nahen Oberschlesien angewiesen (vgl. Kap. 2.2 und **Abb. 2.6**). Könnte es sein, dass die Firma Fugger versucht hat, das Gerücht der mangelnden englischen Bleiqualität zu streuen, um Investoren für den oberschlesischen Bleibergbau gewinnen zu können?

Dies macht aus wirtschaftspolitischen Gründen durchaus Sinn und könnte eine Erklärung für den vorliegenden Fall bieten.

7.4 Der Impakt europäischer Metalle in afrikanischer Metallurgie: „Guinea Rods“ & „Manillen“ aus Messing als Zahlungsmittel im transatlantischen Sklavenhandel, und ihre Verwendung in Westafrika.

Die Legierung Messing ist in dieser Arbeit bislang von der Diskussion weitestgehend ausgeschlossen worden. Das hat einen Grund, denn Messing ging, wie in Kapitel 2.2 dargestellt, weniger nach Indien, als nach Westafrika. Die in dieser Arbeit untersuchten Messingfabrikate (Töpfe, Stangen, Manillen & Spiralreifen) sind eindeutig in den Kontext des westafrikanischen Sklavenhandels einzuordnen (vgl. Kap. 2.2).

Die Stangen von Terschelling entsprechen exakt den Maßangaben, die in den wenigen erhaltenen schriftlichen Quellen für Stangen, die speziell für den Kauf von Sklaven vorgesehen waren (sog. „Guinea Rods“ (Evans, 2015) angegeben werden (Ratelband, 1953). So nennt Ratelband (1953) eine Stangensorte mit 101cm Länge (40 Zoll) und genau 453g. Diese Maßangaben passen sehr gut zu den vor Terschelling gefundenen Stangen (vgl. Katalog 4527_18, 3893_19 - 3902_19). Ebenso spricht Davies (1957) davon, dass um das Jahr 1678 eine weibliche Sklavin 30, ein männlicher Sklave 36 dieser Stangen kostete, womit auch die Anzahl der pro Bündel verpackten Stangen (30) einen Sinn ergibt.

Das Siegel, mit dem die Stangen versehen waren (**Abb. 3.27**) könnte zu einem im 17. Jahrhundert in Stolberg residierenden Kupfermeister, Theodor Peltzer, gehören der auf einem Kupferhof namens „Die Weide“ Messingfabrikate hergestellt hat (Schleicher, 1965). Somit wäre sowohl das „T.P.“ als auch die Baumdarstellung, welche hier als Kopfweide interpretiert wird, erklärbar.

Die Manillen entsprechen dem von R. Denk vorgeschlagenem „tacoais“ Typ (Denk, 2017). Das sind jene Manillen, die auf den Portugiesenplatten häufig im Hintergrund erkennbar sind (**Abb. 2.4**). Dieser Typus, erkennbar durch die elefantenfußartige Verdickung der Enden, war nach Denk (2017) jener, der von den Portugiesen im Sklavenhandel verwendet worden ist. Später datierende Manillen, sog. „Popo“ und „Birmingham“ -Typen französischer und englischer Herkunft, lassen sich mehr oder weniger deutlich von den hier untersuchten Manillen unterscheiden (**Abb. 7.18**).



Abb. 7.18 Drei Typen Manillen. Oben links popo-Manille mit Gußnähten, oben rechts Birmingham-Manille mit trompetenartigen Füßen, unten tacoais-Manille. Obige Bilder nach Denk (2017).

Spätestens jetzt muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei dem Großteil der in Museen gerne als Manillen dargestellten Ringe, gar nicht um eigentliche Manillen handelt, da sie nicht der Denk-Typologie folgen. Die Ringe im Fugger und Welser-Museum, im Deutschen Bergbaumuseum und anderen Sammlungen sind Armreife indigener Herkunft. Sie haben sehr unterschiedliche Formen und tragen Verzierungen. Sie kamen nach Denk (2017) ab 1949 in europäische und amerikanische Museen, nachdem die Briten die Manille als Währung in Westafrika grundsätzlich verboten und millionenfach einsammelten. „Echte“ Manillen waren nach Denk (2017) dagegen immer ein von den Europäern für den Handel hergestelltes Produkt.

Wie in Kap. 2.2 erwähnt, können aus Lieferungskontrakten, die in Notariatsarchiven, Zunfturkunden und Urkundenbüchern erhalten sind, die Namen jener Produzenten gefunden werden, die die Manillen für die Portugiesen hergestellt haben. So finden sich z.B. in den Antwerpener Notariatsarchiven nach Strieder (1962) häufig Verträge zwischen Aachener Bürgern wie Erasmus Schetz oder Edmund Duppengießer und Abgesandten des portugiesischen Hofes, die klar aufzeigen, dass Manillienlieferungen aus dem Rheinland nach Antwerpen und von dort nach Lissabon, keine Seltenheit waren.

Die Liefermengen die in diesen Kontrakten genannt werden sind z.T. enorm. So soll 1540 Edmund Duppengießer dem Diego de Villegas mindestens 160 Quintal (= 9,3t) und darüber hinaus alles was er innerhalb von 4 Monaten schafft, liefern (Strieder, 1962). Es wird auch gesagt, dass eine Manille etwa 300g wiegen soll, das bedeutet, dass Duppengießer 30.400 Stück in 4 Monaten hätte produzieren müssen.

Die größte bekannte Liefermengen versprach indessen die Firma Fugger zu liefern. In den Antwerpener Notariatsarchiven ist vom 20. Januar 1548 ist ein Vertrag zwischen den Fuggern und dem portugiesischen König erhalten, der die Lieferung von 6750 Quintal Elmina-Manillen, 750 Quintal Guinea Manillen, 24.000 Töpfe, 10.500 Kochkessel, 4.500 Barbierbecken und 1.800 Näpfen innerhalb von 3 Jahren vorsah (Strieder, 1927). Es wird im Vertrag genau beschrieben, dass die Manillen verdickte Enden haben sollen (=tacoais Typ) und genau 312g für den Elmina Typ bzw. 250g für den Guinea Typ, wiegen sollten. Das bedeutet, dass die Fugger innerhalb von 3 Jahren 1.268.115 Elmina Manillen und ca. 174.000 Guinea Manillen hätten liefern sollen. Das entspricht einer Tagesproduktion von 1316 Stück.

Wie dies logistisch organisiert wurde, bleibt unklar. Möglicherweise haben die Fugger mit den Rheinländern zusammengearbeitet und ihnen die nötige Kupferlieferung zugesichert. Bei von Pölnitz (1971) ist zu lesen, dass die Fugger sich nach Ablauf des Vertrages Gedanken darüber machten, ob sie als Zulieferer der Rheinländer fungieren möchten, nachdem sich das Afrikageschäft „äußerst vorteilhaft“ für sie erwiesen habe. Auch der Produktionspeak, der um die Zeit um 1550 in Neusohl zu beobachten ist (**Abb. 4.34**) weist auf einen gesteigerten Kupferbedarf, möglicherweise im Rahmen dieses Vertrages, hin.

Herbert (1984) berechnet, das bis zum Ende des Sklavenhandels über 100mio t Manillen und Stangen nach Afrika verschifft worden sind. Eine unvorstellbare Menge.

In Anbetracht dieser Zahlen, ist es geradezu erschreckend, wie wenig über die Herstellung, Zusammensetzung, Verwendung und Verbleib dieser Messingerzeugnisse bekannt ist. Zwar steht in den Lieferkontrakten stets, dass die Manillen „von gleicher Güte“ und aus Messing hergestellt sein sollten, doch wird diese „Güte“ nicht weiter beschrieben. Nach Herbert (1984), Alpern (1995) und Denk (2017) waren die afrikanischen Stämme entlang der Guineaküste sehr wählerisch, welche Sorten Manillen sie akzeptieren würden. So hätten die Afrikaner zwei Manillen aneinander geschlagen um vom Klang des Metalls ausgehend ihre Qualität beurteilt (Herbert, 1984).

Im Gegensatz dazu, behauptete der Mineraloge Otto Werner in den 1970er Jahren, dass die Manillen im 15. Jh. hinsichtlich ihrer Zusammensetzung große Ähnlichkeiten mit speisigen Abfällen Harzer Metallhütten aufweisen würden (Werner, 1976). Dabei hebt der Autor vor allem ihre hohen Bleigehalte (über 30 Gew.-%) hervor. Allerdings ist seit den Arbeiten R. Denks (2017) nun sicher, dass jene Manillen die Werner zur Verfügung standen, in das 19. Jh. datieren und dem Typus der Birmingham-Manillen entsprechen. Sie haben daher nichts mit dem Material zu tun, welches im 15. bzw. 16. Jh. an die westafrikanische Küste ging. Ohnehin ist schwer vorstellbar,

wie ein derart fortschrittliches und reiches Königreich, als welches Benin beschrieben wird (vgl. Kap. 2.1) Kupferschrott als Zahlungsmittel akzeptieren würde.

Mithilfe der in dieser Arbeit untersuchten „echten“ tacoais-Manillen können nun erstmals Aussagen über Materialbeschaffenheit, Herkunft und vermutete Verwendung in Afrika getroffen werden. Dabei kann die Bleisotopenanalytik Aussagen über die, für die Produktion von Stangen und Manillen verwendete, Blei- bzw. Galmeiquelle liefern. Die Spurenelementchemie dieser Erzeugnisse kann mit denen der Reißscheiben und Halbfabrikate verglichen werden, um die Kupferquelle zu bestimmen. Dies scheint zielführend, da die Halbfabrikate und Reißscheiben etwa zeitgleich hergestellt worden sind und, wie gezeigt worden ist, gerade hinsichtlich ihrer As/Sb-Verhältnisse signifikant für verschiedene Bergbaureviere sind (**Abb. 7.9**).

Wenn die Arsen- und Antimonverhältnisse der Stangen, Manillen & Spiralen mit denen der Reißscheiben und Halbfabrikaten verglichen werden, so ergibt sich jedoch kein deutliches Bild. Während die As- und Sb-Gehalte der Stangen und Spiralen gute Übereinstimmungen mit denen der schwedischen Mönchgut-Reißscheiben aufweisen, zeigen die Manillen keine einheitlichen As/Sb Verhältnisse (**Abb. 7.19**). Einige der Manillen zeigen hohe Antimonwerte und liegen in der Nähe der Neusohler Halbfabrikate, während andere eher in der Nähe jener Reißscheiben liegen, die dem Kupferschiefer oder Falun zugeordnet wurden. Andere zeigen Verhältnisse die zu keinem hier diskutierten Bergbaurevier passen, daher könnte es sich um eine kleinere Lagerstätte oder auch um Mischungen handeln.

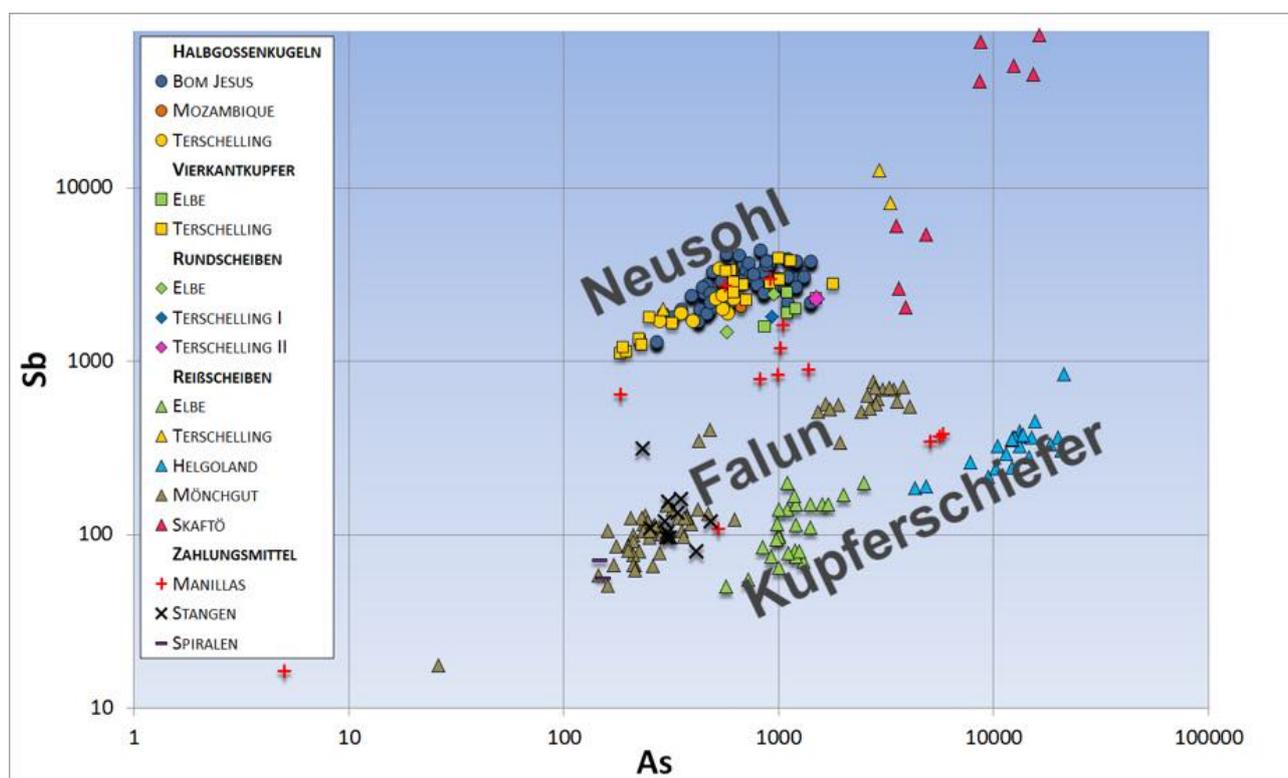


Abb. 7.19 Arsen- gegen Antimonverhältnisse (in ppm) der hier untersuchten Zahlungsmittel (Manillen, Stangen, Spiralen) im Vergleich mit den untersuchten Kupferreißscheiben und Halbfabrikaten. Während die Stangen und Spiralen mit großer Wahrscheinlichkeit aus schwedischem Kupfer hergestellt worden sind, haben die Manillen keine einheitliche Kupferquelle. Der Großteil der Manillen hat hohe Antimonwerte, eine Verbindung zu Fahlerzen, möglicherweise aus dem Neusohler Raum, scheint damit möglich. Andere zeigen eher jene As/Sb Signatur die dem Kupferschiefer zugeordnet werden kann. Dies zeigt, dass zur Produktion der Zahlungsmittel und speziell der Manillen unterschiedliche Kupfersorten herangezogen worden sind. Daten: Halbrossenkugeln der Bom Jesus nach Hauptmann et al. (2016).

Es darf bei einer Diskussion über die Arsen- und Antimonverhältnisse der Zahlungsmittel nicht vergessen werden, dass unklar ist, inwiefern einerseits das zugesetzte Zinkkarbonat (der Galmei) und andererseits der Zementationsprozess der zur Messingherstellung nötig war, Einfluss auf diese Verhältnisse hatte.

Wie bereits in Kap 7.1 erwähnt wurden gerade in der größten Messingindustrie dieser Zeit, dem Aachener Raum, Kupfer unterschiedlicher Bergbaureviere bezogen, wie auch das Statut von 1550 zeigt.

Über einen Vergleich der Bleiisotopenverhältnisse der hier untersuchten Zahlungsmittel mit jenen der Blei-Zinkerze des Aachen-Stolberger Raums kann ermittelt werden, ob letztere tatsächlich zur Messingherstellung herangezogen worden sind (**Abb. 7.20**).

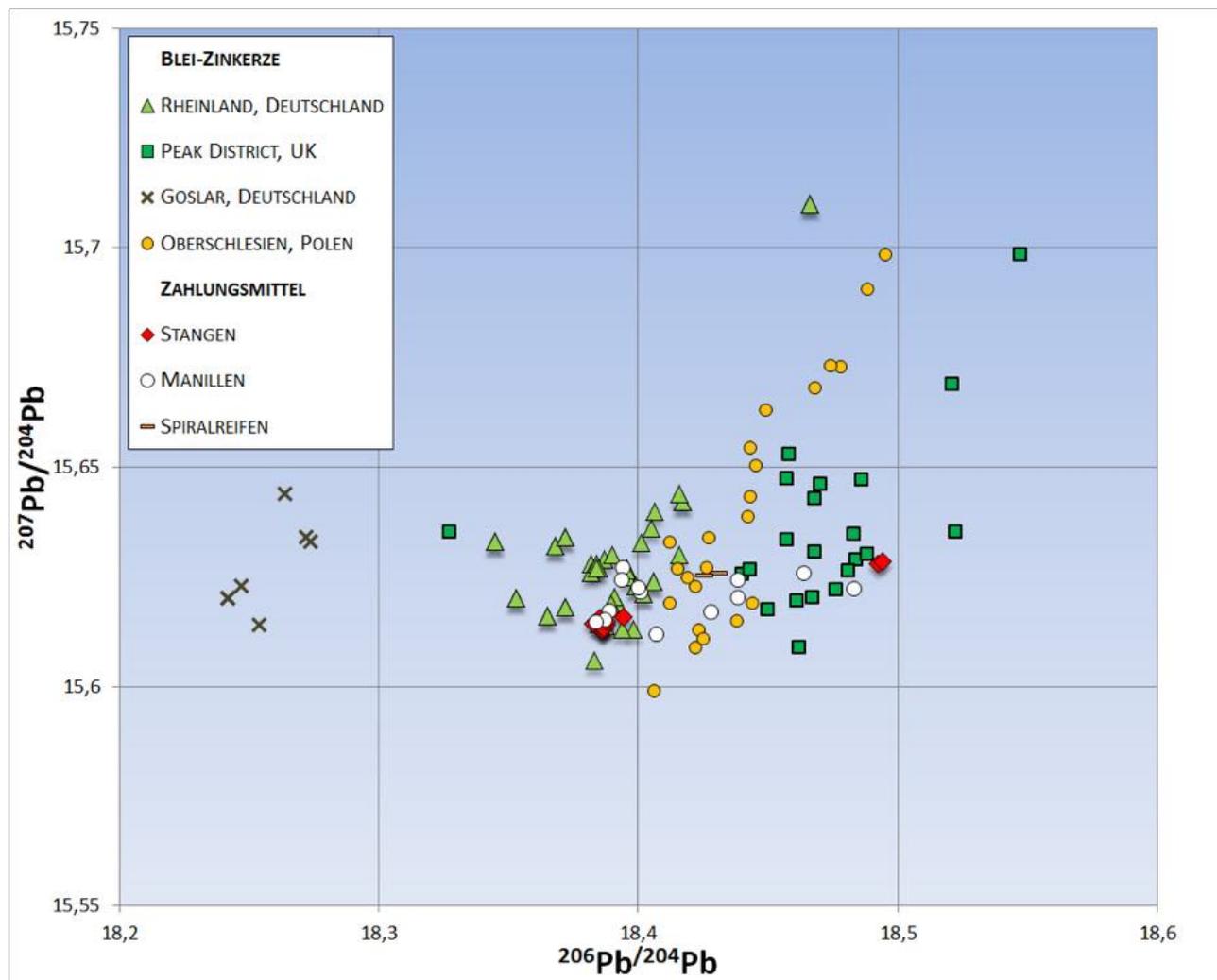


Abb. 7.20 Vergleich der Bleiisotopenverhältnisse der untersuchten Zahlungsmittel mit denen von im Untersuchungszeitraum relevanten Blei-Zinkerzen. Ebenso variierend wie ihre Kupferquellen (**Abb. 7.19**) zeigen die Manillen sowohl Ähnlichkeiten mit Erzen aus dem Rheinland wie auch mit jenen aus Oberschlesien. Eine englische Provenienz ist nur für wenige Manillen wahrscheinlich, darunter jene aus Bronze und Blei. Datenquellen: Rheinland: Cauet, 1983; Krahn & Baumann, 1995; Bielicki & Tischendorf, 1991; Durali-Müller, 2005; Bode, 2008. Peak District: Rohl, 1996. Goslar: Leveque & Haack, 1993. Oberschlesien: Zartman, 1979; Clayton et al., 2002; Forcados-Manillen: Willet & Sayre, 2006.

Aus **Abb. 7.20** wird deutlich, dass alle hier untersuchten Zahlungsmittel hinsichtlich ihrer Bleiisotopenverhältnisse entweder große Übereinstimmungen mit den Blei-Zinkerzen des Rheinlands, oder des oberschlesischen Bergbaureviere haben. Diese Beobachtung passt gut zu der jeweils vermuteten Kupferquelle zusammen, da gezeigt worden ist, dass vor allem Neusohler

und Mansfelder Kupfererze für die Manillenherstellung verwendet worden sind (**Abb. 7.19**). Rheinischer Galmei ging demnach mit Mansfelder und oberschlesischer Galmei mit Neusohler Kupfer zusammen. Beides ist in Übereinstimmung mit den schriftlichen Quellen (vgl. Kap. 2.2 und **Abb. 2.6**) bzw. mit den schon bei Hauptmann et al. (2016) und in dieser Arbeit beobachteten oberschlesisch-slowakischen Verbindung. Einzige Ausnahme bildet hier die Manille 3662_19 die aus Neusohler Kupfer und rheinischem Galmei hergestellt worden ist, dies sehr wahrscheinlich im Rahmen des oben genannten Fuggervertrages.

Welche Informationen können nun nach der Bestimmung der Spurenelementchemie und der Bleiisotopenanalytik dem historischen Forschungsstand hinzugefügt werden?

Zunächst ist klar, dass die hier untersuchten Stangen als auch Manillen in keinem Fall als Kupferschrott bezeichnet werden können, denn dafür ist deren in Kap. 6.2.1 aufgezeigte chemische Zusammensetzung zu rein. Allenfalls auffallend sind die Bleigehalte (**Abb. 6.12**), die bei den Manillen stark schwanken und deutlich höher sind als bei den Stangen. Dies könnte jedoch, wie zu zeigen sein wird, einen Grund gehabt haben.

Der schwankende Bleigehalt und die Existenz einer Manille aus Bronze und einer aus Blei (**Abb. 6.12**) zeigen aber auch, dass die Manillen des 16. Jh. keine einheitliche Materialmischung aufweisen, so wie es bei den Halbfabrikaten (vgl. Kap. 7.2) beobachtet worden ist. Dies steht möglicherweise einerseits in Zusammenhang damit, dass anders als bei den Halbfabrikaten die monopolartig von den Fuggern vertrieben worden sind, die Manillen nachweislich aus der Produktion verschiedener Familienfirmen stammen und andererseits damit, dass die Afrikaner entlang der Guineaküste unterschiedliche Sorten favorisierten, wie ja aus dem Fuggervertrag von 1548 deutlich wird.

Interessanterweise entsprechen vier der hier untersuchten Manillen (5043_20, 5044_20, 5049_20, 3662_19) genau den Gewichten, die im Vertrag der Fugger mit dem portugiesischen König genannt werden, nämlich ca. 312g (hier: 290g und 305g) bzw. 250g (hier 255g und 247g). Diese scheinen auch von ihren Abmessungen und ihrer typologischen Erscheinungsform her, einheitlich zu sein (vgl. Katalog) so wie es auch im Vertrag geregelt war. Auffallend ist weiter, dass ihre chemische Zusammensetzung offenbar einem klaren Muster folgt, denn diese Manillen bestehen alle zu ca. 70% aus Kupfer, zu ca. 20% aus Zink und bis ca. 10% aus Blei (**Abb. 6.12**).

Andere Manillen, bspw. jene die vor Getaria/San Sebastian gefunden worden sind und zu einem 1524 gesunkenen Schiffswrack gehören (Benito-Dominguez, 2014), folgen ebenfalls dieser Zusammensetzung, so wie der Form und dem Gewicht.

Dieser spezielle Typ war jener der im Vertrag von 1548 gewünscht war, möglicherweise weil er schon zu diesem Zeitpunkt millionenfach nach Afrika ausgeliefert worden war, und dort für gute Qualität stand (s.o.).

Nach welchen Kriterien die afrikanischen Sklavenhändler die Zahlungsmittel beurteilten, ist nicht klar, doch drängt sich bei der Betrachtung ihrer Materialmischung ein Verdacht auf: Das, was fast alle hier untersuchten Manillen gemein haben, ist der erhöhte Bleigehalt (**Abb. 6.12**).

Um verstehen zu können, wieso dieser wichtig für den Absatz in Afrika war, ist es notwendig, den Verwendungszweck der Zahlungsmittel in Afrika zu kennen. Dieser ist aber, wie in Kap. 2.1 angedeutet worden ist, nicht ganz klar.

Da originale „tacoais“ Manillen in Afrika kaum noch gefunden werden, obwohl diese millionenfach ausgeliefert worden sind, diskutieren Historiker schon seit langem darüber, ob die Zahlungsmittel zur Fertigung von Kunstwerken wie z.B. der berühmten „Benin Bronzen“, eingeschmolzen worden sind (Alpern, 1995 kontra Duchateau, 1995).

Dies kann nun überprüft werden indem die Bleiisotopenverhältnisse der Benin Bronzen mit denen von „echten“ tacoais-Manillen verglichen werden. Es ist dabei zunächst wichtig aufzuzeigen, dass die Benin Bronzen gar keine Bronzen im eigentlichen Sinne sind, da sie z.T. sehr hohe Gehalte an Zink und untergeordnet Zinn aufweisen (**Abb. 7.21**). Sie sind daher eher als Messinge bzw. bleihaltige Messinge zu klassifizieren. Ihre Zusammensetzung ist, wie bei den

Manillen, alles andere als homogen, sodass dies einen ersten Hinweis auf eine mögliche Verbindung hinsichtlich der Rohstoffbasis gibt.

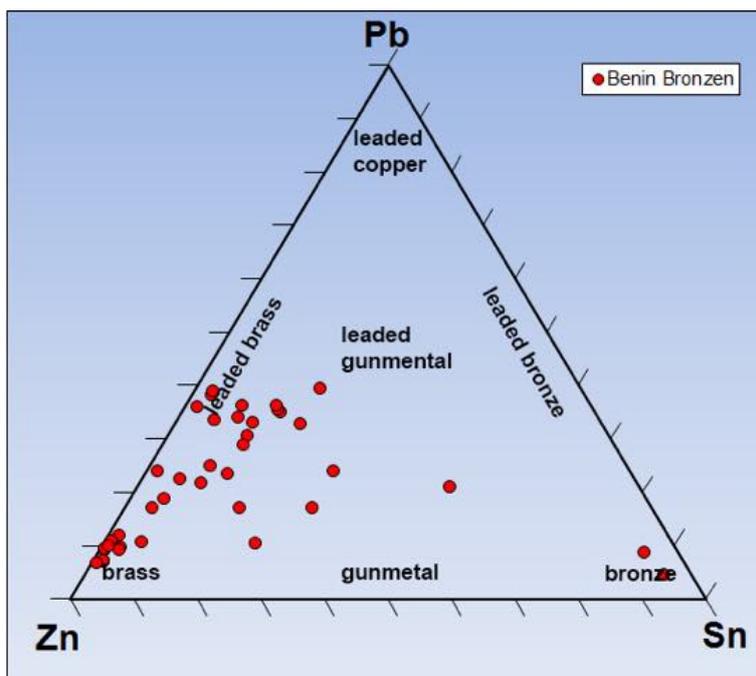


Abb. 7.21 Die Zusammensetzung einiger Benin Bronzen (Köpfe, Statuen, Reliefplatten, Tierdarstellungen und andere). Diese sind definitorisch keine Bronzen sondern eher Messinge bzw. Messinge mit hohem Bleigehalt. Ihre Zusammensetzung ist alles andere als homogen, sodass auch einige Kunstwerke mit höheren Zinngehalten auftreten, die tatsächliche Bronzen sind. Auch bei den Manillen waren unterschiedlich hohe Zinngehalte festgestellt worden (**Abb. 6.12**). Daten nach Riederer, 2007. Klassifizierungsdreieck nach Bayley & Butcher, 2004.

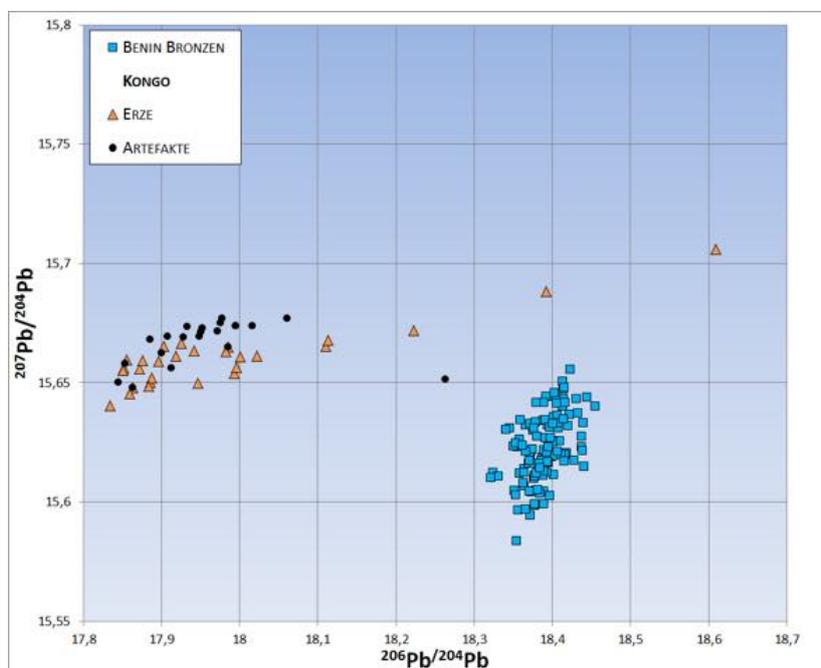


Abb. 7.22 Die Bleisotopenverhältnisse der sog. Benin Bronzen im Vergleich mit den Erzen und Artefakten des Kongobeckens. Es gibt keinerlei Übereinstimmung der Daten, daher muss zumindest die Bleiquelle, die für die Herstellung der Benin Bronzen herangezogen worden ist, von ausserhalb des Kongos kommen. Die Artefakte die der afrikanischen Metallurgie entstammen, z.B. Katanga Kreuze, haben dagegen große Übereinstimmung mit den Kongoerzen. Daten: Kongoerze und Artefakte nach Rademakers et al. (2018, 2019), Benin-Bronzen: Willet & Sayre, 2006.

Auffällig ist bei den Benin Bronzen weiter, dass sie andere Bleisotopenverhältnisse aufweisen, als Artefakte und Erze aus dem größten naheliegenden Bergbaurevier, dem Kongobecken (**Abb. 7.22**). F. Rademakers et al. (2018, 2019) haben gezeigt, dass dort eine entwickelte Kupfermetallurgie vorlag. Die Produkte dieser, die sog. Katanga-Kreuze wurden quer durch Afrika verhandelt und sind in guter Übereinstimmung mit den Kupfererzen des Kongo-Beckens (**Abb. 7.21**).

Wenn nun die Bleisotopenverhältnisse der hier untersuchten Zahlungsmittel mit jenen der Benin Bronzen verglichen werden, ist eine sehr deutliche Übereinstimmung gegeben (**Abb. 7.23**). Nahezu alle Zahlungsmittel liegen hinsichtlich ihrer Bleisotopendaten über jenen von Willet & Sayre (2006) für die Benin Bronzen erhobenen Daten, wobei die Erze des Rheinlands besonders deckungsgleich mit den Kunstwerken sind.

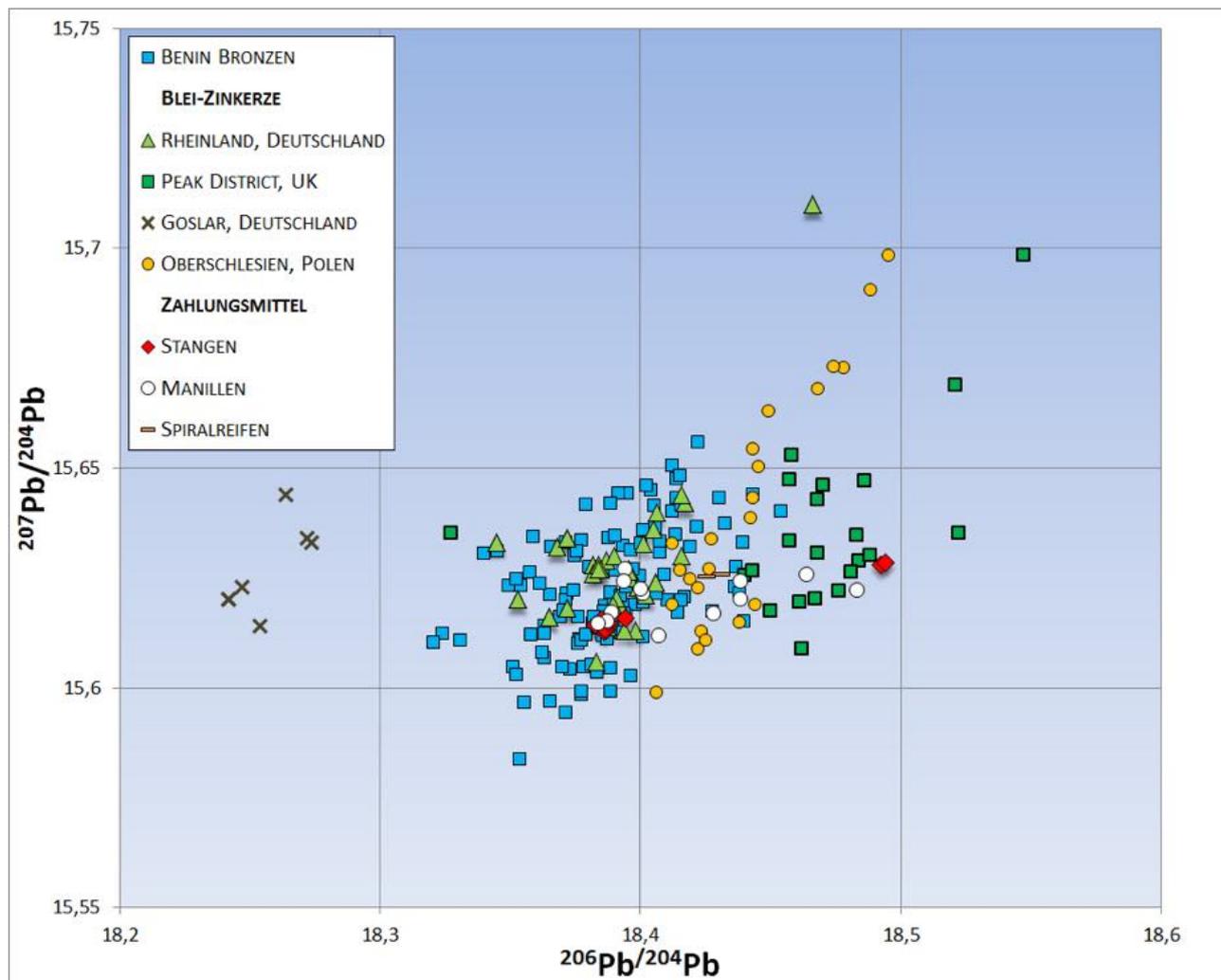


Abb. 7.23 Die Bleisotopenverhältnisse der sog. Benin Bronzen im Vergleich mit den Zahlungsmitteln und den Blei-Zinkerzlagern, die im Untersuchungszeitraum relevant waren. Die Bleisotopenverhältnisse der Benin Bronzen haben große Ähnlichkeiten mit denen der Zahlungsmittel. Besonders auffällig ist jedoch die Ähnlichkeit der Isotopenverhältnisse der Blei-Zinkerze mit jenen der Benin Bronzen. Daten wie **Abb. 7.20**, Benin-Bronzen: Willet & Sayre, 2006.

Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass die Manillen als Rohstoffgrundlage für die Herstellung der Benin Bronzen fungiert haben. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass auch Tiefwaren aus Messing wie z.B. Nachttöpfe, Barbierbecken usw., zu großen Stückzahlen verhandelt worden sind (s.o. Fuggervertrag) und möglicherweise ebenfalls eingeschmolzen worden sind. Deren Bleisotopenverhältnisse würden sich aber kaum von denen der Manillen aus dem Rheinland unterscheiden, da sie aus derselben Produktion stammen.

Möglicherweise war die Manille für die Afrikaner daher weniger Schmuckobjekt, sondern eher ein technisches Produkt. Dies legt die Art der Legierung nahe, da die erhöhten Bleigehalte nach Bougarit & Thomas (2012) die Fließfähigkeit verbesserten und der Porosität beim Gießen entgegen wirken.

Falls dies jedoch so sein sollte, so handelt es sich, bei den hier untersuchten Manillen, um ein technisches Produkt, dessen Verwendungszweck bei den Herstellern (hier: die Fugger und die Rheinländer) möglicherweise bekannt war. Eine erstaunliche Beobachtung.

Von Pölnitz (1971) spinnt den Bogen sogar noch weiter, indem er vermutet, dass es ein Deutscher „Erzgießer“, - eigentlich müsste es Messinggießer heißen - gewesen sei, der den Afrikanern überhaupt erst beibrachte, wie man aus Manillen die Metallplastiken erschmolzen konnte, um danach diese Produkte in den genannten, unvorstellbaren Mengen, an der afrikanischen Küste absetzen zu können.

In Anbetracht anderer, in dieser Arbeit untersuchter Sachverhalte (vgl. das Streuen falscher Gerüchte zur Sicherung des schlesischen Bleibergbaus, Kap. 7.3) ist dies kein völlig unvorstellbares Szenario.

8 Abschlussbetrachtung: Der Nutzen naturwissenschaftlicher Analysen an frühneuzeitlichen Metallfunden

Welches Fazit lässt sich nach der Analyse von mehr als 300 Metallobjekten aus der Frühneuzeit ziehen? War der betriebene Aufwand, der mit hohen Kosten verbunden war, aus Sicht der historischen Forschung gerechtfertigt? Welche neuen Aspekte konnten mit den naturwissenschaftlichen Analysen auf dem vorbildlich gut untersuchten Gebiet der Wirtschaftsgeschichte der Neuzeit noch erbracht werden?

Zunächst muss festgehalten werden, dass über die hochauflösende ICP-MS Analytik, Kupfer-, Messing-, und Bleifabrikate gut auf ihre Herkunft hin untersucht werden können. Das gilt auch dann, wenn im Falle von Messing der Galmei, bzw. im Falle von Saigerkupfer das Blei, die Kupferprovenienz verschleiert.

In diesen Fällen können über die Spurenelementzusammensetzung der Kupfer- und Messingbarren, hier vor allem die Arsen- und Antimongehalte, einem Barren ein Lagerstättenrevier zugeordnet werden. Die unterschiedlichen Kupferlagerstättenreviere Mittel- und Nordeuropas zeigen über ihre Rohkupferbarren, die sog. Reißscheiben, charakteristische Spurenelementgehalte. Diese miteinander zu vergleichen ist in der Frühneuzeit möglich, da die neu etablierten Prozesse sich über das gesamte 16. Jh. nicht zu ändern scheinen: Sowohl die Halbrossenkugeln der Bom Jesus (1533) als auch die Platten aus der Elbe (1622) erscheinen im gleichen Cluster im Arsen/Antimon plot, obwohl fast 100 Jahre zwischen ihrer Produktion liegen (**Abb. 7.9**).

Die Verwendung der Spurenelemente als Herkunftsmarker ist jedoch trotz der aufgeführten Signifikanz mit Vorsicht zu betrachten, da gerade im Falle der Helgoland- und Elbe Reißscheiben sehr deutlich ist, dass mittelalterliches Kupfer aus der selben Lagerstätte nicht mit jenem aus der Frühneuzeit vergleichbar ist, da offenbar neu entdeckte Röstprozesse in der Lage waren die As/Sb Verhältnisse weiter zu erniedrigen (vgl. Kap. 7.1).

Dennoch kann die hier erhobene Datenbank die Grundlage für alle weiteren Provenienzstudien von kupferbasierten Legierungen der Frühneuzeit bilden, der Aufwand der Datenerhebung gilt somit als gerechtfertigt.

Nach den hier untersuchten Reißscheiben zu urteilen, lieferte der Mansfelder Kupferschiefer wohl das beste und reinste Kupfer, da er von Natur aus nur geringe Verunreinigungen aufweist. Die Spurenelemente (hier vor allem Nickel) erweisen sich bei der Messingherstellung aus chemisch-physikalischer Sicht sogar vorteilhaft, wenn das Messing zu dünnem Blech ausgerollt werden sollte, was für die Herstellung von Tiefwaren notwendig war. Das aus den Fahlerzen der Slowakei produzierte Garkupfer hatte hohe Antimongehalte (> 1 Gew.-%) und war damit weniger für die Messingherstellung, sondern mehr für Kupferhalbfabrikate geeignet (vgl. Kap. 7.1). Das schwedische Kupfer nimmt eine Zwischenstellung ein, ist aber in den hier untersuchten Reißscheiben durch hohe Schwefel- und Eisengehalte am stärksten verunreinigt.

Reißscheiben aus dem großen Fahlerzlagern des Inntals konnten in dieser Arbeit nicht untersucht werden, da nach Kenntnis des Autors sich keine Exemplare erhalten haben. Ihre Qualität könnte ähnlich jener aus der Slowakei sein, eine Beurteilung dieser muss aber offen bleiben.

Direkte Aussagen konnten auch zur Frage der verfügbaren Zinn- und Bleiqualitäten getätigt werden, wobei zeitgenössische Quellen auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft worden sind. Hier ist die naturwissenschaftliche Analytik das klare Mittel der Wahl, da sie über eine Quellenkritik hinaus, empirische Daten zur Materialqualität bis in den ppm-Bereich erheben kann. Die häufig wiedergegebenen zeitgenössischen Beschreibungen der Qualitäten sind in keinerlei Übereinstimmung mit den hier beobachteten chemischen Zusammensetzungen der Zinn- und Bleibarren.

Wirtschaftspolitische Gründe waren offenbar verantwortlich für das Streuen solcher Gerüchte, die von der historischen Forschung bislang nicht als solche erkannt worden sind (vgl. Kap. 7.3).

Die Herkunft von Zinnbarren zu bestimmen stellt auch nach der von Daniel Berger et al. (2019) erarbeiteten Methodik noch ein Problem dar, auch wenn die zwei maßgeblichen Lagerstättenreviere, das Erzgebirge und Cornwall, in dieser Arbeit leicht unterschieden werden konnten.

Von höherem Interesse für die historische Forschung dürften die hier neu gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der im Indien- und Afrikahandel verwendeten Tauschmittel aus Kupfer, bzw. Messing sein.

Wirtschaftshistoriker wie Ekkehard Westermann rätselten bis zuletzt darüber, wieso denn die Halbrossenkugeln und das Vierkantkupfer in eben diesen Formen nach Indien gingen und wieso nur diese dort abgesetzt werden konnten und keine andere der 31 im Fuggerarchiv genannten Formen.

Die geochemische Untersuchung dieser Halbfabrikate zeigte, dass diese aus ein und demselben Prozess stammten, eine Produktion für einen bestimmten Verwendungszweck ist daher nicht anzunehmen. Da dies nun ausgeschlossen werden kann, liegt die Wahl der Formen womöglich ebenfalls in wirtschaftspolitischen Gründen, denn diese Formen waren bereits auf dem mittelalterlichen venezianischen Markt bekannt (vgl. Kap. 7.2.).

Es war ein Geniestreich Jakob Fuggers das Garkupfer in Neusohl zu jenen Halbfabrikaten aufbereiten zu lassen, die seit Jahrhunderten in Indien bekannt waren. So traten die Fugger mit dem venezianischen Kupfer, das in der *affinatura* aufbereitet wurde in direkte Konkurrenz. Mit dem Schwinden Venedigs als Kupferweltmarkt schwand auch die Bedeutung der venezianischen Handelsmarke und an dessen Stellen trat der Fugger-Dreizack. So stand bald sogar im fernen Indien der Dreizack als Zeichen für Kupferqualität auf höchstem Maß und gewährleistete exponentielles Wachstum der Familienfirma.

Völlig neue Einblicke in den Metallhandel der Frühneuzeit brachte die Untersuchung des afrikanischen Marktes. Die Zahlungsmittel, die dort gegen Sklaven eingetauscht worden sind, Manillen und Stangen, sog. Guinea Rods, stammten aus rheinischer Produktion und waren speziell für einen bestimmten Verwendungszweck hergestellt worden. Die hohen Bleigehalte (bis 10 Gew.-%) der Manillen sind kein Zufall, sondern dienten dem leichten Wiedereinschmelzen der Legierung. Ein Vergleich der berühmten Benin Bronzen mit den Manillen zeigte, wo die Abermillionen dieser armreifförmigen Ringe verblieben sind: Sie dienten den Afrikanern zur Herstellung von Plastiken und Reliefplatten (vgl. Kap. 7.4). Dass es möglicherweise im Rheinland Kenntnis über diesen Verwendungszweck gegeben hat, zeigt das Ausmaß der bislang recht unbekanntem Verflechtungen in der beginnenden globalen Wirtschaftswelt des 16. Jh.

Hinsichtlich der eingangs gestellten Frage, nach der Sinnhaftigkeit naturwissenschaftlicher Analysen an neuzeitlichen Metallfunden, bleibt schlussendlich nur noch zu erwähnen, dass auf diesem historisch vorbildlich untersuchten Forschungsfeld tatsächlich vieles durch Quellenarbeit erfahren werden kann. Allerdings offenbaren die vorhandenen Informationen nicht immer die wahren wirtschaftspolitischen Hintergründe und Verflechtungen innerhalb dieser speziellen Epoche.

9 Literatur

Agricola, G., 1556. *De Re Metallica* (Vom Berg- und Hüttenwesen), Basel.

Alpern, S., 1995. What Africans Got for Their Slaves: A Master List of European Trade Goods. *History in Africa*, 22, 5-43. doi:10.2307/3171906.

Althoff, R., 1995. Das Kupfer vom Grund der Elbe, in: Kultur- und Stadthistorisches Museum Duisburg (Hrsg.), *Kissipenny und Manilla*, Begleitband zur Ausstellung im Kultur- und Stadthistorischen Museum der Stadt Duisburg 20. Mai bis 13. August 1995. Duisburg, pp. 39-44.

van den Brenk, S., Overmeer, A., 2019. Koperplatenwrak Noordzee, Beschrijving eerste vondsten. *Periplus Archeomare rapport 19A008-01*, 1-64.

von Arbin, S., 2012. A 15th century bulk carrier wrecked off Skaftö, western Sweden., in: Günsenin, N. (Hrsg.), *Between Continents. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Boat and Ship Archaeology*, Istanbul 2009 (ISBSA 12). Istanbul, pp. 67-74.

von Arbin, S., 2014. Skaftövraket – ett senmedeltida handelsfartyg. Rapport över arkeologisk forskningsundersökning 2006 och 2008 samt redovisning av vårdinsatser 2009. Skaftö 270, Skaftö socken, Lysekils kommun. Uddevalla: Bohusläns museum. Rapport 11.

Artl. T., Diamond, L., 1998. Composition of tetrahedrite-tennantite and "Schwazite" in the Schwaz silver mines, North Tyrol, Austria. *Mineralogical magazine* 62/6, 78-83.

Asmus, B., 2012. Medieval Copper Smelting in the Harz Mountains, Germany (= Montanregion Harz, Bd 10, Bochum (Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 191).

Baczkowski, K., 2002. Handelsbeziehungen zwischen Krakau und Oberungarn (der Slowakei) im 15. und 16. Jahrhundert (ca. 1471-1526), in: Gömmel, R., Denzel, M., (Hrsg.), *Weltwirtschaft und Wirtschaftsordnung. Festschrift für Jürgen Schneider zum 65. Geburtstag*. Stuttgart, pp. 15-24.

Baron, C., Tămaş, C., Le Carlier, L., 2014. How Mineralogy and Geochemistry Can Improve the Significance of Pb Isotopes in Metal Provenance Studies. *Archaeometry* 56, 4, 665-680.

Barrie, C.D., Cook, N.J., Boyle, A.P., 2008. Textural variation in the pyrite-rich ore deposits of the Røros district, Trondheim Region, Norway: implications for pyrite deformation mechanisms. *Mineralium Deposita* 45, 51-68.

Bartels, C., 2004. Die Stadt Goslar und der Bergbau im Nordwestharz von den Anfängen bis zum Riechenberger Vertrag von 1552, in: Kaufhold, K., Reininghaus, W. (Hrsg.), *Stadt und Bergbau*. Köln, pp. 135-188.

Bartels, C., Bingener, A., Slotta, R., 2006. „1556 Perkwerch etc.“ *Das Schwazer Bergbuch*. 3 Bde. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 142, Bochum.

Bartels, C., Fessner, M., Klappauf, L. und Linke, F., 2007. Kupfer, Blei und Silber aus dem Goslarer Rammelsberg. Die Entwicklung des Hüttenwesens von den frühmittelalterlichen Schmelzplätzen im Wald bis zur Metallerzeugung in großem Maßstab am Beginn des 17. Jahrhunderts nach den archäologischen und schriftlichen Quellen. Montanregion Harz, 8. Deutsches Bergbau-Museum Bochum.

Bartoš, V. 1994, Výrobní značky cínových hutí horního Krušnohoří ze 16. a 17. století, Historický Sborník Karlovarska II, 001-025. Production marks of tins smelters in the Upper Ore Mountains in the 16th and 17th Centuries. Unpublished.

Bayley, J., Butcher, S., 2004. Roman Brooches in Britain: A Technological and Typological Study based on the Richborough collection (=Reports of the Research Committee of the Society of Antiquaries of London, 68). Society of Antiquaries of London.

Berger, D., 2019. Zum Stand der Zinnforschung: Neue Erkenntnisse zu Zinnherkunft und -handel anhand von Isotopen- und Spurenelementanalysen spätbronzezeitlicher Zinnbarren, in: Herm, C., Merkel, S., Schreiner, M., Wiesinger, R., Archäometrie und Denkmalpflege 2019: Jahrestagung an der Akademie der Bildenden Künste Wien, Institut für Naturwissenschaften und Technologie in der Kunst, 11.-14. September 2019, Metalla, Sonderheft 9, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, pp.192-195

Berger, D., Soles, J. S., Giunilia-Mair, A., Brüggmann, G., Lockhoff, N., Galili, E., Pernicka, E., 2019. Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance?, PLoS ONE 14(6), e0218326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>

Benito-Dominguez, A.M., 2014. El pecio de Iturritxiki, Getaria (Gipuzkoa). Reflejo del comercio internacional del siglo XVI. Actas del I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española, Cartagena, 14, 15 y 16 de marzo de 2013 / coord. por Francisco Xavier Nieto Prieto, Manuel Bethencourt Núñez, Vol. 1, pp. 149-162.

Bielicki, K.H., Tischendorf, G., 1991. Lead isotope and Pb-Pb model age determinations of ores from Central Europe and their metallogenetic interpretation. Contributions to Mineralogy and Petrology 106, 440-461.

Bingener, A., 1998. Mittelalterlicher Metallhandel im Harz, Märkte und Transportwege. Scripta Mercaturae 32, 2, 20-43.

Bingener, A., Bartels, C., Fessner, M., 2012. Die große Zeit des Silbers, in: Bartels, C., Slotta, R. (Hrsg.) Der alteuropäische Bergbau, Geschichte des deutschen Bergbaus, Band 1. Bochum, pp. 317-446.

Birch, Th., Charlton, M.F., Biggs, L., Stos-Gale, Z.A., Martinon-Torres, M., 2014. Chapter 4: The Cargo, in: Milne, G., Sully D., (Hrsg.) The Gresham Ship Project: A 16th-Century Merchantman Wrecked in the Princes Channel, Thames Estuary. Volume II: Contents and Context. BAR British Series 606. Oxford, pp. 53-70.

Bode, M., 2008. Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen Römischen Kaiserzeit. Dissertation Universität Münster.

- Boni, M., Mondillo, N., 2015. The „Calamines“ and the „Others“: The great family of supergene nonsulfide zinc ores. *Ore Geology Reviews* 67, 208-233.
- Borg, G., 2017. It's all about timing, The origin of the European Kupferschiefer ores. *World of Mining* 69, 1, 24-30.
- Bouch, J.E., Naden, J., Sheperd, T.J., Young, B., Benham, A.J., McKervey, J.A., Sloane, H.J., 2008. Stratabound Pb-Zn-Ba-F mineralisation in the Alston Block of the North Pennine Orefield (England), Origins and emplacement. British Geological Survey Research Report, RR/08/06.
- Bougarit, D., Thomas, N., 2012. Late medieval copper alloying practices: a view from a Parisian workshop of the 14th century AD. *Journal of Archaeological Science* 39, 3052-3070.
- Braun, M., 1857. Über die Galmeilagerstätten des Altenbergs im Zusammenhang mit den Erzlagerstätten des Altenberger Grubenfeldes und der Umgegend, *Zeitsch. d. Dt. Geol. Gesellschaft*, IX, 354-370.
- Braunstein, P., 1977. Le marché du cuivre à Venise à la fin du Moyen Âge, in: Kellenbenz, H. (Hrsg.), *Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500–1650*. Cologne: Böhlau, pp. 78–94.
- Brinck, N., 2000. 'The Polish gun wreck', *Journal of the Ordnance Society* 12, 5-20.
- Buchanan, R.A., 1980. Der Bleibergbau in den Mendip-Bergen in Somerset. *Der Anschnitt*, Vol. 32, 245-257.
- Buschendorf F., 1971. Die Blei-Zink-Erzgänge des Oberharzes. Lfg. I., *Beih. Geol. Jahrb.* 118, Monogr. d. deutsch. Pb-Zn-Erzlagerstätten 3, Hannover.
- Cann, J.R., Banks, D.A., 2001. Constraints on the genesis of the mineralization of the Alston Block, Northern Pennine Orefield, northern England. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, vol. 53, 187–196.
- Cauet, S., 1983. Géochimie isotopique du Pb et du S, in: Herbosch, A., Cauet, S., Preat, A., (Hrsg.), *Recherche de métallotectes de nature géochimique pour la prospection des gîtes Pb-Zn Belges*. Prof. Serv. Géol. Belg. 197, pp. 1-67.
- Cerny, I., 1989. Die karbonatgebunden Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums. Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.* Band 11, 5-125.
- Cernysev, I., Bohuslav, C., Kodera, M., 1984. Lead Isotopes in Galenas of the West Carpathians. *Geologicky Zbornik - Geologica Carpathica* 35, 3, 307 - 327.
- Chatziliadou, M., 2009. Rb-Sr Alter und Sr-Pb Isotopencharakteristik von Gangmineralisationen in paläozoischen Gesteinen am Nordrand des linksrheinischen Schiefergebirges (Raum Stolberg-Aachen-Kelmis) und Vergleich mit den rezenten Thermalwässern von Aachen-Burtscheid. Dissertation, RWTH Aachen.

- Church, S.E., Vaughn, R.B. 1992. Lead isotopic characteristics of the Cracow-Silesia Zn-Pb ores, southern Poland. U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey Open File Report 92-93, 1-16.
- Clayton, R.E., N.H. Gale, Stos-Gale Z.A., 2002. Isotope fingerprinting of ancient tin: preliminary studies. *Archaeometry*. Proceedings of the 1st Symposium Budapest, April 26-May 3, 1998 (BAR International Series 1043 (II)), 301-309.
- Coppola, V., Boni, M., Gilg, H., Stzelska-Smakowska, B., 2007. Non-sulphide zinc deposits in Upper Silesia, Southern Poland in: Andrew, C. et al. (Hrsg.), *Digging Deeper*, Proceedings of the ninth Biennial SGA Meeting, Dublin, pp. 1401-1404.
- Cox, F.C., Harrison, D.J., 1980. The limestone and dolomite resources of the country around Wirksworth, Derbyshire. Institute of geological sciences, Mineral Assessment Report 47.
- Coenen, Th., Houkes, M.C., 2014. Voorlopige resultaten ten behoeve van Visie oostvoornse Meer, unpublished.
- Dapper, O., 1686. *Naukeurige Beschryvinge de Afrikaensche Gewesten*, Wolfgang, Amsterdam.
- Darling, P., 1998. A Legacy in Earth, Ancient Benin and Ishan, Southern Nigeria. In: Wesler, K.W. (Hrsg.), *Historical archaeology in Nigeria*. Africa World Press, pp. 143-198.
- Davies, K.G., 1957. *The Royal African Company*. New York
- Day, J., 1984. The Continental Origins of Bristol Brass. *Industrial Archaeology Review*, VII, 1, 33-56.
- Dejonghe, L., 1998. Zinc-lead deposits of Belgium. *Ore Geology Reviews* 12, 329-354.
- Denk, R., 1983. Baligeld, 'ntchang' aus Kamerun. *Der Primitivgeldsammler* 04/1, 27-29.
- Denk, R., 2017. *Das Manillengeld Westafrikas. Spurensuche und Spurensicherung 1439-2016*. Rüsselsheim.
- Denzel, M., 2014. Metalle im Levantehandel im 14. und 15. Jahrhundert. Forschungsstand und Forschungsfragen, in: Tasser, R., Westermann, E., Pfeifer, G., (Hrsg.), *Der Tiroler Bergbau und die Depression der europäischen Montanwirtschaft im 14. und 15. Jahrhundert*. Innsbruck, pp. 45-60.
- Deutsches Kupferinstitut, 1965. *Legierungen des Kupfers mit Zinn, Nickel, Blei und anderen Metallen*. Berlin.
- Dietz, A., 1903. *Das Frankfurter Zinngießergewerbe und seine Blüte im 18. Jh.* Festschrift des Historischen Museums. Frankfurt.
- Doe, B., Stacey, J., 1974. The Application of Lead Isotopes to the Problems of Ore Genesis and Ore Prospect Evaluation: A Review. *Economic Geology* 69, 757-776.
- Duchateau, A., 1995. *Benin, Kunst einer afrikanischen Königskultur. Die Benin-Sammlung des Museums für Völkerkunde Wien*. München, New York.

Dunlop, A.C., Meyer, W.T., 1978. Detrital Tin Patterns in Stream Sediments and soils in Mid-Cornwall. *Journal of Geochemical Exploration*, 10, 250-276.

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 University Frankfurt am Main).

Edwards, R.P., Atkinson, K., 1986. *Ore Deposit Geology and its Influence on Mineral Exploration*. London and New York.

Ehrenberg, R., 2015. *Die Geldmächte des 16. Jahrhunderts*. Paderborn.

Elbl, M., 2007. From Venice to the Tuat: Trans-Saharan copper trade and Francesco di Marco Datini of Prato, in: Armstrong, L., (Hrsg.) *Money, Markets and Trade in Late Medieval Europe*. Essays in honor of John H. A. Munro, pp. 411-459.

Eilu, P., Boyd, R., Hallberg, A., Korsakova, M., Krasotkin, S., Nurmi, P. A., Ripa, M., Stromov, V. & Tontti, M., 2012. Mining history of Fennoscandia. *Geological Survey of Finland, Special Paper 53*, 19-32.

Ercker, L., 1968. *Drei Schriften*. Bearbeitet von Paul Reinhard Beierlein. Bochum.

Evans, C., 2015. "Guinea Rods" and "Voyage Iron": metals in the Atlantic slave trade, their European origins and African impacts, Papers held at Economic History Society annual conference 2015.

Evans, J.A., Pashley, V., Richards, G.J., Bereton, N., Knowles, T.G., 2015. Geogenic lead isotope signatures from meat products in Great Britain: Potential for use in food authentication and supply chain traceability. *Science of the Total Environment* 537, 447-452

Faure, G., 1986. *Principles of Isotope Geology*, 2nd Edition, New York 1995.

Fessner, M., 2015. Der Kupferschieferbergbau in der Grafschaft Mansfeld bis zum Dreißigjährigen Krieg, in: Jankowski, G., (Hrsg.), *Mansfelder Stollen und Schächte*, Forschungsberichte des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 6. Halle and der Saale, pp. 11-39.

Ford, T.D., Jones, J.A., 2007. The geological setting of the mineral deposits at Brassington and Carsington, Derbyshire. *Mining History: The Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*. Volume 16, No. 5., 1-23.

Frimmel, H.E., 1991. Isotopic constraints on fluid/rock ratios in carbonate rocks: barite-sulfide mineralization in the Schwaz Dolomite, Tyrol (Western Alps, Austria) *Chemical Geology* 90, 195-209.

Frizzo, P., 1983. Pre-metamorphic Paleozoic mineralization in Austroalpine and Southalpine Basements of the Eastern Alps. Relationship between paleogeodynamics, stratigraphie and metallogenesis. *IGCP Newsletter*, 5, 41-48, Sassi and Szederkenyi, Budapest.

Frotzcher, M., 2012. Geochemische Charakterisierung von mitteleuropäischen Kupfervorkommen zur Herkunftsbestimmung des Kupfers der Himmelscheibe von Nebra. *Forschungsberichte des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 1*, Halle and der Saale.

- Gale, N., 1989. Lead isotope analysis applied to provenance studies: a brief review, in: Maniatis, Y., (Hrsg.), *Archaeometry. Proceedings of the 25th International Symposium (Athens, 1986)*, 469 - 502.
- Gardiner, V., 2001. *An Analysis of Romano-British Lead Pigs*. Institute for Archaeo- Metallurgical Studies (IAMS) 21, 11-13.
- Garner J., Cheben M., Demant D., Enke U., Herd R., Labuda J., Modaresi-Tehrani D., Stöllner, T., Tóth, P., 2014. Neue montanarchäologische Untersuchungen im Slowakischem Erzgebirge. *Der Anschnitt*, 66 (2-3): 66-77.
- Geffcken, P., 2009. Jakob Fuggers frühe Jahre, in: Kluger, M., Kleiner, W.B., Baumgartner, T., Geffcken, P., (Hrsg.), *Jakob Fugger (1459-1525). Sein Leben in Bildern*. Augsburg, pp. 4-8.
- Godzik, B., Woch, M., 2015. History of mining in the Olkusz region, in: Godzik, B., (Hrsg.) *Natural and historcal values of the Olkusz Ore-bearing Region*. Institute of Botany, Polish Academia of Science, pp. 29-36.
- Gowland, W., 1914. *The Metallurgy of the non-ferrous metals*. London.
- Grenne, T., Ihlen, P. M., Vokes, F. M., 1999. Scandinavian Caledonide metallo- geny in a plate tectonic perspective. *Mineralium Deposita* 34, 422-471.
- Green, G. W., 1958. The central Mendip lead-zinc orefield, *Bulletin of the Geological Survey of Great Britain*, 14, 70-90.
- Greeves, T., 1981. *The Devon Tin Industry 1450-1750: an Archaeological and Historical Survey*. Dissertation, University of Exeter.
- Greeves, T., 2017. The World of the Dartmoor Tinner: A Historical Context 12th to 20th Century, in: Newman, P., (Hrsg.), *The Tinworking Landscape of Dartmoor in a European Context - Prehistory to 20th century AD*. Dartmoor Tinworking Research Group, pp. 1-14
- Gruszyck, H., 1967. The genesis of the Silesian-Cracow deposit of lead-zinc ores, in: Brown, J. (Hrsg.), *Genesis of stratiform lead-zinc-barite-fluorite deposits*. *Econ. Geol. Monogr.*, 3, 1690-1877.
- Gstrein, P., 1979. Neuerkenntnisse über die Genese der Fahlerzlagerstätte Schwaz (Tirol) *Mineralium Deposita* 14, 185-194.
- Gurlt, A., 1879. *Die Bergbau- und Hüttenkunde. Eine gedrängte Darstellung der geschichtlichen und kunstmäßigen Entwicklung*. Essen.
- Gussone, R., 1964. *Untersuchungen und Betrachtungen zur Paragenesis und Genesis der Blei-Zink Erzlagerstätten im Raume Aachen-Stolberg (Dissertation)*, RWTH Aachen.
- Hachenberg, K., 1990. Der Werkstoff Messing im mitteleuropäischen Instrumentenbau vom 16. bis Ende des 18. Jahrhunderts. *Instrumentenbau* 44, 17-24.
- von Hallerstein, H.F.H., 1971. Nürnberger Unternehmer im Bergbau und Zinnhandel zu Schlaggenwald im 16. und 17. Jahrhundert. *Scripta Mercaturae* 9, 41-70.

Hammersley, G., 1977. Technique or Economy? The Rise and Decline of the Early English Copper Industry, ca. 1550–1660 in: Kellenbenz, H., (Hrsg.) *Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500 - 1650*. Böhlau Verlag, Köln, pp. 1-40.

Hampe, J.H., 1778. *Praktisches System der Metallurgie*. Dresden.

Häberlein, M., 2006. *Die Fugger. Geschichte einer Augsburger Familie*. Verlag Kohlhammer, Stuttgart.

Häberlein, M., 2016. *Aufbruch ins globale Zeitalter: Die Handelswelt der Fugger und Welser*. Darmstadt, Theiss.

Hänsel, B., Schulz, H.D., 1980. Frühe Kupferverhüttung auf Helgoland. *Spektrum der Wissenschaft* 2, 1980, 10-20.

Hauptmann, A., Schneider, G., Bartels, C., 2016. The shipwreck of Bom Jesus, AD 1533: Fugger Copper in Namibia. *Journal of African Archaeology* 14 (2), 184-207.

Heberling, E., Stoppel, D., 1988. Vom Schwerspat- und Kupfererzbergbau um Bad Lauterberg und über die historische Schwerspatgewinnung bei Bad Grund, Sieber und St. Andreasberg. Haltern.

Heijnen, W., Muchez, P., Banks, D., Schnieder, J., Kucha, H., Keppens, E., 2003. Carbonate-hosted Zn-Pb deposits in Upper Silesia, Poland: origin and evolution of mineralizing fluid and constraints on genetic models. *Economic Geology* 98, 911-932.

Hellqvist, M., 2017. Teaching Sustainability in Geoscience Field Education at Falun Mine World Heritage Site in Sweden. *Geoheritage* 11, 1785–1798.

Herbert, E., 1984. *The Red Gold of Africa*, Madison, University of Wisconsin Press.

Hildebrandt, R., 1977. Augsburger und Nürnberger Kupferhandel 1500-1619 Produktion, Marktanteile und Finanzierung im Vergleich zweier Städte und ihrer wirtschaftlichen Führungsschicht, in: Kellenbenz, H., (Hrsg.), *Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500 bis 1650*. Köln: Böhlau, pp. 190-224.

Hinze, C., 1976. *Geologische Karte Niedersachsen 1 : 25000. Erläuterungen zu Blatt Osterode Nr. 4227 (Karte und Erläuterungen)*. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. Hannover.

Höhlbaum, K., 1882. *Hansisches Urkundenbuch Bd. III*, Halle.

Höppner, B., Bartelheim, M., Huijsmans, M., Krauss, R., Martinek, K.-P., Pernicka, E., Schwab, R., 2005. Prehistoric copper production in the Inn Valley (Austria) and the earliest copper in Central Europe. *Archaeometry* 47/2, 293–315.

Holzmann, J., Ungerank, D., 2011. *Die Petrologie des Bergbaureviere Pfersch-Schneeberg*. Diplomarbeit, Universität Innsbruck.

Holzmann, J., Tropper, P., 2013. Petrologie der Rahmengesteine der Pb-Zn Lagerstätte Schneeberg im Lazzachertal (S-Tirol, Italien). *Geol.Alp*, Vol. 10, 27-46.

Hoover, H.C., Hoover, L.H., 1950. Agricola, G., *De Re Metallica*. (tr. by Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover) New York: Dover Publications, Inc., 1950. (reprint of the 1912 edition.)

Hutchison, R., 2018. Exploring An Early Cross-Border Trade System, Norwegian copper in the 18th century. *Scandinavian Journal of History*, DOI: 10.1080/03468755.2018.1509805, 1-26.

Irsigler, F., 1976. Rheinisches Kapital in mitteleuropäischen Montanunternehmen des 15. und 16. Jahrhunderts. *Zeitschrift für Historische Forschung* Vol. 3, No. 2, 145-164.

Irsigler, F. 1979. Hansischer Kupferhandel im 15. und in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts. *Hansische Geschichtsblätter* Bd. 97, 15-35.

Irsigler, F., 2013. Rohstoffnutzung und Stadtentwicklung in Mitteleuropa vom Mittelalter bis zur Industrialisierung, in: Pries, M., Schenk, W., (Hrsg.), *Rohstoffgewinnung und Stadtentwicklung. Siedlungsforschung: Archäologie- Geschichte-Geographie* 30. Bonn, pp. 7-27.

Jackson, N.J., 1979. Geology of the Cornubian Tin Field „A Review“. *Geol.Soc. Malysia, Bulletin*, 11, 209-237.

Jahn, S. 2016. Harzränder, Mansfeld-Sangerhausen, in: Stedingk, K., Ließmann, W., Bode, R., (Hrsg.), *Harz. Bergbaugeschichte, Mineralienschatze, Fundorte, Lauenstein*, pp. 722- 753.

Johansson, Å, 1985. The Dalslandian Sulphide-bearing Quartz Veins of Dalsland and Värmskog Southwest Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning C 809. Årsbok 79 nr 3*, Uppsala, pp. 1-48.

Kalus, M. 2010. Pfeffer – Kupfer – Nachrichten: Kaufmannsnetzwerke und Handelsstrukturen im europäisch-asiatischen Handel am Ende des 16. Jahrhunderts. *Materialien zur Geschichte der Fugger* Vol. 6. Verlag Bernd Wißner, Augsburg.

Kampmann, T.C., Stephens, M.B., Weihed, P., 2016. 3D modelling and sheath folding at the Falun pyritic Zn-Pb-Cu-(Au-Ag) sulphide deposit and implications for exploration in a 1.9 Ga ore district, Fennoscandian Shield, Sweden. *Miner. Deposita* 51, 665–680.

Kampmann, T.C., Jansson, N.F., Stephens, M.B., Olin, P.H., Gilbert, S., Wanhainen, C., 2018. Syn-tectonic sulphide remobilization and trace element redistribution at the Falun pyritic Zn-Pb-Cu-(Au-Ag) sulphide deposit, Bergslagen, Sweden. *Ore Geology Reviews* 96, 48–71.

Kellenbenz, H., 1977. Europäisches Kupfer, Ende 15. bis Mitte 17. Jahrhundert - Ergebnisse eines Kolloquiums, in: Kellenbenz, H., (Hrsg.), *Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500 - 1650*. Böhlau Verlag, Köln, pp. 290-351.

Kiernan, D., 1989. *The Derbyshire Lead Industry in the 16th Century*. Derbyshire Record Society Volume XIV.

Kirnbauer, F., 1941. Die Geschichte des Metallhüttenwesens, in: Klemm, F., (Hrsg.), *Die Technik der Neuzeit*, Bd. II. Potsdam, pp. 43-64.

Kirnbauer, F., 1966. Kupfererzbergbau und Kupferverhüttung im Mittelalter und in der Neuzeit bis um das Jahr 1900. *KNTW*, 43-57.

- Klappauf, L., 2002. Vom Harz auf die See. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 22/3, 171-174.
- Klein, H.S., 1999. The Atlantic Slave Trade, Cambridge University Press, Cambridge.
- Klein, S., 2007. Dem Euro der Römer auf der Spur, Bleiisotopenanalysen zur Bestimmung der Metallherkunft römischer Münzen, in: Wagner, G., (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie. Heidelberg, pp. 140-150.
- Klein, S., Domergue, C., Lahaye, Y., Brey, G. P. and von Kaenel, H. M. 2009. The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). Journal of Iberian Geology, 35, 59-68.
- Kleinert, C., 1990. Kupferhammer und Kupferschmiede, in: Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.), Der Schlag der in den Ohren schallt: Zur Geschichte der Kupfergewinnung und Kupferverarbeitung. Westfälisches Freilichtmuseum Hagen, pp. 73-107.
- Knabe, W., Noli, D., 2012. Die Versunkenen Schätze der Bom Jesus. Sensationsfund eines Indiensglers aus der Frühzeit des Welthandels. Nicolai Verlag, Berlin.
- Knitzschke, G., 1999. Geologischer Überblick zur Kupferschieferlagerstätte, in: Verein Mansfelder Berg- und Hüttenleute e. V. / Deutsches Bergbau-Museum Bochum (Hrsg.), Mansfeld. Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, Lutherstadt Eisleben, Bochum, pp.11-40.
- Knitzschke, G., Spilker M., 2003. Die Kupferschieferlagerstätte Mansfeld/Sangerhausen, Bergbauliche Nutzung und Verwahrung. Der Anschnitt, 55, 3-5, 134-147.
- Koch, E., 1926. Das Hütten- und Hammerwerk der Fugger zu Hohenkirchen bei Georgenthal in Thüringen 1495 bis 1549, Teil 1. ZVThA NF 26, 285-327.
- Krahn, L., 1988. Buntmetall-Vererzungen und Bleiisotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten. Dissertation, RWTH Aachen.
- Krahn, L., Baumann, A., 1995. Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany. Mineralium Deposita 31, 225-237.
- Kraschewski, H.J. 2012. Das Spätmittelalter, in: Tenfelde, K., Berge, S. & Seidel, H.C. (Hrsg.), Geschichte des Deutschen Bergbaus. Vol. 1: Der alteuropäische Bergbau. Von den Anfängen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. Aschendorf Verlag, Münster, pp. 249-316.
- Kraume, E., 1955. Die Erzlager des Rammelsbergs bei Goslar. Beih. Geol. Jahrb. 18, Hannover.
- Krimer, M. & Tropper, P. 2013. Die historischen Fahlerzagerstätten von Schwaz und Brixlegg: Geologische und mineralogische Aspekte zum Bergbau im Unterinntal. In: Montanwerke Brixlegg, Oegg, K. & Schaffer, V. (Hrsg.), Cuprum Tyrolense. 5550 Jahre Bergbau und Kupferverhüttung in Tirol. Edition Tirol, pp. 11-27.
- Kucha, H., 2003. Mississippi Valley Type Zn-Pb deposits of Upper Silesia, Poland, in: Kelly, J.G., Andrew, C.J., Ashton, J.H., Boland, M.B., Earls, G., Fusciardi, L., Stanley, G., (Hrsg.) Europe's Major Base Metal Deposits. Ir. Ass. for Eco. Geology, pp. 253-271

Kulke, H., 1997. Der Harz (Norddeutschland): Geologisch-Lagerstättenkundlicher Überblick, Historische Baumaterialien (Natursteine, Gipsmörtel, Schlackensteine, Blei). Mitt. Österr. Miner. Ges., 142, 43-84.

Kumlien, K., 1977. Staat, Kupfererzeugung und Kupferausfuhr in Schweden 1500-1650, in: Kellenbenz, H. (Hrsg.), Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500- 1650. Böhlau Verlag, Köln, pp. 241-260.

Lacko, M., 2016. Thorn – Krakau – Leutschau – Schmöllnitz: Wirtschaftliche Entwicklung des Schmöllnitzer Bergbaureviere im Spätmittelalter, in: Lacko, M., Mayerová E., (Hrsg.), Das älteste Stadtbuch von Schmöllnitz 1410–1735. Eine Quelle zu den mitteleuropäischen wirtschaftlichen Verflechtungen, Limbach/Slowakei, pp.14-49.

Langelüttich, H.-J. / Mirsch, R. / Knitzschke, G. / Roloff, P. / Spilker, M./Wordelmann, H., 1999. Bergbau auf Kupferschiefer, in: Verein Mansfelder Berg- und Hüttenleute e. V. / Deutsches Bergbau-Museum Bochum (Hrsg.), Mansfeld. Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, Lutherstadt Eisleben, Bochum, pp. 41-204.

Lawrie, H.N., 1909. The Influence of Bismuth on Wire-Bar Copper. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Vol. 40, 604 - 613.

Leveque, J., Haack, U., 1993. Pb isotopes of hydrothermal ores in the Harz, in: Möller, P./Lüders, V. (Hrsg.), Formation of hydrothermal vein deposits – a case study of the Pb-Zn, barite and fluorite deposits of the Harz Mountains. Monograph Series on Mineral Deposits 30, pp. 197-210.

Lexa J., Bačo P., Hurai V., Chovan M., Koděra P., Petro M., Rojkovič I. & Treger M., 2007. Explanatory notes to the metallogenetic map of Slovak Republic 1 : 500000. ŠGUDŠ, Bratislava, 153 p. [in Slovak with English summary].

L'Héritier, M., Téreygeol, F., 2010. From copper to silver: Understanding the saigerprozess through experimental liquation and drying. Historical Metallurgy, 44 (2), 136-152.

Liedtke, M., Vasters, J., 2008. Renaissance des deutschen Kupferschieferbergbaus? Commodity Top News, 29, 1-15.

Liessmann, W., 2010. Historischer Bergbau im Harz, Kurzführer. Heidelberg Dordrecht London New York.

Linderson, H., 2004. Dendrokronologisk analys av Skaftövraket (I), Bohuslän. Lund: Department of Quaternary Geology, Lund University. (Rapport 26)

Lindroth, S., 1955. Gruvbrytning och kopparhantering vid Stora Kappaberget intill 1800-talets början. I. Gruvan och gruvbrytningen, Almqvist & Wiksell, Uppsala.

Ling, J., Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L., Billström, K., Persson, P.O., 2013. Moving metals or indigenous mining? Provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotopes and trace elements. JAS Volume 40, Issue 1, 291-304.

von Loesch, H., 1907. Die Kölner Zunfturkunden nebst anderen Kölner Gewerbeurkunden bis zum Jahre 1500 (PublGesRheinGKde 22), Bonn.

Lorenzen, W., 1965. Helgoland und das früheste Kupfer des Nordens. Otterndorf.

Luptakova, J., Milovska, S., Jelen, S., Mikus, T., Milovsky, R., Biron, A., 2016. Primary Ore Cu mineralization at the L'ubietova-Podlipa locality (Slovakia). *Acta Geologica Slovacica*, 8 (2), 175-194.

Maarleveld, Th., 1988. A 17th Century metal-trader in the North Sea. A testcase for Dutch ancient monuments legislation; its background, its handling and its potential (unpublished manuscript).

Maarleveld, Th., Overmeer, A., 2012. Aanloop Molengat – Maritime archaeology and intermediate trade during the Thirty Years' War. *Journal of Archaeology in the Low Countries* 4-1, 96-149.

Macco, H.F., 1901. *Geschichte und Genealogie der Familien Peltzer*. Aachen

Mair, V., Vavtar, F., Schölzhorn, H., Schölzhorn, D., 2007. Der Blei-Zink-Erzbergbau am Schneeberg, Südtirol. *Mitt.Österr.Miner.Ges.*153, 145-180.

Martinón-Torres, M., Benzonelli, A., Stos-Gale, Z., Henry, R., 2020. Argentiferous copper extraction and post-medieval metals trade: identification and origins of post-medieval Reißscheiben ingots found in Wiltshire, England. *Historical Metallurgy* 52 (1), 38-46.

Maué, H., Kupper, C., 2002. *Quasi Centrum Europae: Europa kauft in Nürnberg 1400-1800*. Nürnberg, Verlag des Germanischen Nationalmuseums.

McKerrell, H. & Tylecote, R.F., 1972. The working of copper-arsenic alloys in the Early Bronze Age and the effect on the determination of provenance. *Proceedings of the Prehistoric Society* 38, 209–218.

Meharg, A.A., Edwards, K.J., Schofield, J.E., Raab, A., Feldman, J., Moran, A., Bryant, C.L., Thornton, B., Dawson J.J.C., 2012. First comprehensive peat depositional records for tin, lead and copper associated with the antiquity of Europe's largest cassiterite deposits. *Journal of Archaeological Science* 39, 717-727.

Meyer, W., 1986. *Geologie der Eifel*. Stuttgart.

Mirabal, A., Arnold, Th., 2019. Hungarian Copper in Mozambican waters, The Copper Ingots from the Caldeira Island wreck (c. 1550). Unpubliziertes Manuskript.

Möllenberg, W., 1911. *Die Eroberung des Weltmarktes durch das mansfeldische Kupfer: Studien zur Geschichte des Thüringer Saigerhüttenhandels im 16. Jahrhundert; mit 12 Briefen Jakob Welsers d.Ä. von Nürnberg*, Gotha.

Möllenberg, W., 1915. *Urkundenbuch zur Geschichte des Mansfeldischen Saigerhandels im 16. Jahrhundert (= Geschichtsquellen der Provinz Sachsen und angrenzender Gebiete, Bd. 47)*. Halle a.d.S.

Mohr, K., 1993. *Geologie und Minerallagerstätten des Harzes*, Stuttgart.

Molenda, D., 1996. Fuggerowie w polskim górnictwie w XVI wieku. *Przegląd Historyczny* 87/4, 737-751.

- Moore, J., 2010a. Amsterdam is Standing on Norway Part I: The Alchemy of Capital, Empire and Nature in the Diaspora of Silver, 1545–1648. *Journal of Agrarian Change*, Vol. 10 No. 1, 33–68.
- Moore, J., 2010b. Amsterdam is Standing on Norway Part II: The Global North Atlantic in the Ecological Revolution of the Long Seventeenth Century. *Journal of Agrarian Change*, Vol. 10 No. 2, 188–227.
- Monod, T., 1969. “Le Ma’den Ijâfen“: une épave caravanière ancienne dans le Majâbat al- Koubrâ”. *Actes du premier Colloque international d’archéologie Africaine, Fort Lamy: Institut National Tchadien pour les Sciences Humaines (INTSH)*, 86- 320.
- Morel, J., 1993. Het Biddinghuizer Colfschip, in: *Stichting voor het Bevolkingsonderzoek in de drooggelegde Zuiderzeepolders (Hrsg.)*. Lelystad, pp. 25-37.
- Morton, J., 1985. *The Rise of the modern copper and brass industry in Britain 1690-1750*. Dissertation, University of Birmingham.
- Müller, H., 1901. *Die Erzgänge des Freiburger Erzrevieres*, Leipzig.
- Mutschlechner, G., 1988. Beiträge zum Erzbergbau Schneeberg, in: *Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum (Hrsg.)*, Vol. 70, pp. 31-47.
- Mutschlechner, G., Palme, R., 1976. *Das Messingwerk Pflach bei Reutte. Ein bedeutsames Industrieunternehmen zu Beginn der Neuzeit*. Innsbruck.
- Niederschlag, E., Pernicka, E., Siefert, 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, 61-100.
- Nijs, G., Nijs, S., 2015. Nautical Archaeology Part I. Through the Green, *Magazine of the British Golf Collectors Society* 6, 16-19
- North, M., 1985. Early Modern Copper Trade and Transport. The Copper Finds of the Elbe, in: *5th International Congress of Maritime Museum, Proceedings 1984*, pp. 63-66.
- Ozdin, D., 1996. *Sideritova Mineralizacia v Okoli Vysnej boce*. Diplomarbeit, Universität Bratislava.
- Palme, R., Westermann, E., 1989. Die Messinghütte Pflach bei Reutte im 16. Jh. Ein Kapitel aus den schwäbisch-tirolischen Wirtschaftsbeziehungen, in: *Baer, W., Pankraz, F., (Hrsg.)*, Schwaben-Tirol. Ein Ausstellungskatalog. Bd.2: Beiträge. Rosenheim, pp. 220-226.
- Paulinyi, O., 1933. A középkori magyar réztermelés gazdasági jelentősége (Wirtschaftliche Bedeutung der ungarischen Kupferproduktion im Mittelalter), in: *Emlék könyv Károlyi Arpad (Festschrift zum 80. geburtstag von Arpad Karolyi)* Budapest, pp. 402-439.
- Peltzer, R., 1908. *Geschichte der Messingindustrie und der künstlerischen Arbeiten in Messing (Dinanderies) in Aachen und den Ländern zwischen Maas und Rhein von der Römerzeit bis zur Gegenwart*, *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins* 30, 235-463.
- Penhallurick, R., 1986. *Tin in Antiquity: its Mining and Trade throughout the Ancient World with Particular Reference to Cornwall*. London: The Institute of Metals.

Pernicka, E., 1999. Trace element fingerprinting of ancient copper: a guide to technology or provenance?, in: Young, S. M. M., Pollard, A. M., Budd P. , Ixer R. A. (Hrsg.), *Metals in antiquity*, 163–71, BAR International Series, 792, Archaeopress, Oxford.

von Pölnitz, G., 1951. *Jakob Fugger*, Bd. II. Tübingen.

von Pölnitz, G., 1958. *Anton Fugger*, Bd.I. Tübingen.

von Pölnitz, G., 1971. *Anton Fugger* Bd.III. Tübingen.

von Pölnitz, G., 1986. *Anton Fugger* Bd.III Teil II 1555-1560. Tübingen.

Pohl, H., 1977. Kupfergewinnung, Kupferverarbeitung und Kupferhandel im Aachen-Stolberger Raum von 1500 bis 1650, in: Kellenbenz, H., (Hrsg.): *Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500 bis 1650*. Cologne: Böhlau, pp. 225-231.

Pohl, W., 2011. *Economic Geology. Principles and Practice*. Wiley-Blackwell.

Pouba, Z., Ilvasky, J., 1986. Mineral deposits of the Czechoslovak Carpathians, in: Dunning, F., Evans, A., (Hrsg.), *Mineral deposits of Europe 3*, pp. 146-173.

Quirk, D.G., 1993. Origin of the Peak District Orefield. *UK Journal of Mines and Minerals* No.13, *Bull.P.D.M.H.S.* Vol.12, 4-15.

Rademakers, F.W., Nikis, N., De Putter, T., Degryse, P., 2018. Copper production and trade in the Niari Basin (Republic of Congo) during the 13th to 19th centuries CE. Chemical and lead isotope characterization. *Archaeometry* 60, 1251–1270.

Rademakers, F.W., Nikis, N., De Putter, T., Degryse, P., 2019. Provenancing Central African copper croisettes: A first chemical and lead isotope characterisation of currencies in Central and Southern Africa. *Journal of Archaeological Science* 111, 105010.

Ratelband, K., 1953. *Vijf dagregisters van het Kasteel Sao Jorge Da Mina (Elmina) aan de Goudkust (1645-1647)*, 's-Gravenhage.

Redecke, P., 1992. *Zur Geochemie und Genese variszischer und postvariszischer Buntmetallmineralisation in der Nordeifel und der Niederrheinischen Bucht*. Dissertation, RWTH Aachen.

Rehren, T., 1995. Kupfer vom Tor zur Welt, in: *Kultur- und Stadthistorisches Museum Duisburg* (Hrsg.), *Kissipenny und Manilla*, Begleitband zur Ausstellung im Kultur- und Stadthistorischen Museum der Stadt Duisburg 20. Mai bis 13. August 1995. Duisburg, pp. 59-64.

Reß, F.M., 1959. Das Aufkommen der Kupferseigerungen in Deutschland um 1430, berg- und volkswirtschaftliche Bedeutung. Kurzfassung eines Vortrages, in: *Erzmetall* 12, 151-152.

Rentzsch, J., Franzke, H., 1997. Regional tectonic control of the Kupferschiefer mineralization in Central Europe. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 25, 1-2, 121–139.

Richards, J.F., 1995. *The Mughal Empire*. Cambridge University Press.

Richter, M., 1941. Entstehung und Alter der Oberharzer Gänge. *Geol. Rundsch.*, 32, 93- 105.

Riederer, J., 2007. The Composition of Brass Objects from Benin, in: Pernicka, E., von Berswordt-Wallrabe, S., (Hrsg.), *Original - Copy - Fake?: Examining the Authenticity of Ancient Works of Art - Focusing on African and Asian Bronzes and Terracottas* ; International Symposium Stiftung Situation Kunst/Ruhr-University Bochum, February 17th and 18th, 2007. Bochum.

Rößler, B., 1700. *Speculum metallurgiae politissimum*. Oder: Hell-polierter Bergbauspiegel. Dresden 1700, Nachdruck Essem 1980.

Rohl, B. M., 1996. Lead isotope data from the Isotrache Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 2, galena from Britain and Ireland. *Archaeometry* 38, 165-179.

Rozmus, D., 2015. The Bledowska and Starczynowska Deserts and Other Airborne Sand Areas in Olkusz Region as an Example of Medieval Renaissance and modern ecological catastrophe, in: Plonka, T., Wisniewski, A., (Hrsg.) *Slaskie Sprawosdania Archaeologiczne* 57, Wroclaw, pp. 291-306.

Rui, I. J., 1972. Geology of the Røros district, south-eastern Trondheim region with a special study of the Kjølskarvene-Holtsjøen area. *Norsk Geologisk Tids skrift*, Vol. 52, 1-21.

Ryder, A.F.C., 1969. *Benin and the Europeans (1485-1897)*. Humanities Press.

Salzman, L., 1964. *English industries of the Middle Ages*. London

Sander, P., 1902. *Die reichsstädtische Haushaltung Nürnbergs*. Dargestellt auf Grund ihres Zustandes von 1431 - 1440. Leipzig.

Sass-Gustkiewicz, M., Dzulynski, S., Ridge, J., 1982. The emplacement of zinc-lead sulfide ores in the Upper Silesian district - a contribution to the understand of Mississippi Valley-type deposits. *Economic Geology* 77, 302-412.

Sawkins., J., 1984. *Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics*. Berlin, Heidelberg, New York.

Schleicher, K., 1965. *Die Weide*. Beiträge zur Stolberger Geschichte und Heimatkunde 11. Stolberg.

Schmitz, N., 2018. *Galmei und Schalenblende aus dem Altenberger Grubenfeld bei Kelmis/La Calamine*. Zur Montangeschichte im Aachener Dreiländereck. Aachen.

Schreiner, M., 2007. *Die Erzlagerstätten im Hrontal, Slowakei*. Genese und prähistorische Nutzung. *Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft* 3. Rahden/Westfalen.

Schroll, E., Köppel, V., Cerny, I., 2006. Pb and Sr isotope and geochemical data from the Pb-Zn deposit Bleiberg (Austria): Constraints on the age of mineralization. *Mineralogy and Petrology* 86, 129-156.

Schulte, A., 1904. *Die Fugger in Rom, 1495 - 1523*. Mit Studien zur Geschichte des kirchlichen Finanzwesens jener Zeit. Leipzig.

Schulte, A., 1923. *Geschichte der grossen Ravensburger Handelsgesellschaft*. Deutsche Handelsakten des Mittelalters und der Neuzeit. Deutsche Verlagsanstalt.

- Schulz, H.D., 1979. Kupferverhüttung auf Helgoland zur Wikingerzeit. Umschau 79, 12, 390-391.
- Schulz, H.D., 1982. Die Kupferverhüttung auf Helgoland im Mittelalter. Offa 38, 365-376.
- Schulz, O., 1984. Tektonische Gefügeanalyse des Rahmens der Bleiberger Lagerstätte (Ostliche Gailtaler Alpen, Kärnten, Österreich). Jb. Geol. B-A 126, 369-416.
- Scrivener, R.C., Highley, D.E., Cameron, D.G., Linley, K.A., White, R., 1997. Mineral Resource Information for Development Plans Phase One Cornwall: Resources and constraints. British Geological Survey Technical Report WF/97/11
- Segalstad, T.V., Walder, I.F., Nilssen, S., 2006. Mining Mitigation In Norway And Future Improvement Possibilities. Poster paper presented at the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I. Barnhisel (ed.) Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134 Montavesta Road, Lexington.
- Seges, V., 2001. Stredoveké mestá na Slovensku. Tepny spoločenského pokroku. Historia , Revue o dejinach spoločnosti I, (4), 6-9.
- Sejkora, J., Stevko, M., Macek, I., 2013. Príspevek k chemickému složeniu tetraedritu z Cu ložiska Piesky, rudní revír Spania Dolina, strední Slovensko. Bull. mineral.-petrol. Odd. Nar. Muz. (Praha) 21, 1, 89-103.
- Seresse, V., 2001. Die Einwanderung deutscher Berg- und Hüttenleute nach Norwegen im 17. Jahrhundert und ihre Bedeutung am Beispiel des Kupferbergwerks Røros, in: Hillegeist, H.W., Liessmann W., (Hrsg.), Technologietransfer und Auswanderungen im Umfeld des Harzer Montanwesens, Harz Forschungen 13, Berlin, pp. 49-70.
- Skladany, M. 1997. Die Versorgung des Neusohler Kupferbetriebes mit polnischem Blei zur Zeit des gemeinsamen Kupferhandels der Fugger und Thurzo (1494-1526), in: Westermann, E., (Hrsg.), Bergbaureviere als Verbraucherzentren im vorindustriellen Europa. Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beiheft 130, 275-284.
- Skladany, M., 2000. Die Entsilberung des Neusohler Schwarzkupfers als historiographisches Problem, in: Bartels, C., Denzel, M.A., (Hrsg.), Konjunkturen im europäischen Bergbau in vorindustrieller Zeit, Festschrift für Ekkehard Westermann zum 60. Geburtstag. Vierteljahresschrift für Sozial und Wirtschaftsgeschichte - Beihefte, 155. Stuttgart, pp. 173-187.
- Slota, R., Stedingk, K., Steinkamm, U., 1987. Der Blei-Zink-Erzbergbau von Bad Grund, Harz. Emser Hefte Jg. 8, Nr. 1, Bode Verlag, Haltern.
- Smith, C.S. 1961. The Interaction of Science and Practice in the History of Metallurgy. Technology and Culture Vol. 2, 357-367.
- Sperling, H., Walcher, E., 1990. Die Blei-Zink- Erzlagerstätte Rammelsberg (ausgenommen Neues Lager). Geologisches Jahrbuch D91.
- Sperges, J.v., 1821. Tyrolische Bergwerksgeschichte, mit alten Urkunden, und einem Anhang worin das Bergwerk zu Schwaz beschrieben wird. Wien.

Sperry, E.S., 1899a. The Influence of Bismuth on Brass and its Relation to Fire-Cracks. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Vol. 28, 427-435.

Sperry, E.S., 1899b. The Influence of Antimony on the Cold-Shortness of Brass. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Vol. 28, 176-190.

Stacey, J.S, Kramers, J.D., 1975. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two-Stage Model. Earth and Planetary Science Letters 26, 207-221.

Stahl, P., 1991. Der Zinnhandel auf der Frankfurter Messe, in: Stahl, P., (Hrsg.), Brücke zwischen den Völkern. Zur Geschichte der Frankfurter Messe Bd 2. Frankfurt, pp. 147-158.

Stapf, F., 1861. Über die Fahluner Erz-Lagerstätten. Berg- u. Hüttenm, Ztg. Nr. 20.

Staupe, K., 2011. Abschlussbericht zur taucharchäologischen Betreuung der Bauarbeiten im Trassenverlauf der Nord-Stream Erdgasleitung im Ostseegebiet vor Mecklenburg-Vorpommern. Lübstorf, Landesamt für Kultur und Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin.

Stedingk, K., Rappsilber, I., 2000. Geologisch-montanhistorische Karte der Reviere Mansfeld und Sangerhausen 1 : 50 000. Herausgegeben zu den Feierlichkeiten: „800 Jahre Kupferschieferbergbau und Hüttenwesen“. Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Hrsg.), GMK 50, 1. und 2. Auflage; Halle (Saale).

Stefanik, M., 2004. Kupfer aus dem ungarischen Königreich im Spiegel der venezianischen Senatsprotokollen im 14. Jh., in: Tasser, R., Westermann, E., (Hrsg.), Der Tiroler Bergbau und die Depression der europäischen Montanwirtschaft im 14. und 15. Jh. Innsbruck–Wien–München–Bozen, pp. 210–226.

Stefanik, M., 2017. „Rame die Pollana“ Spissko-Gemerská Med' Vo Flámsku A V Benátkach V Prvej Tretine 14. Storočia. Historický Časopis Ročník 65, Číslo 2, 193-216.

Stefanik, M., 2018. The Exporting of Copper from eastern Slovakia to western Europe in the first third of the 14th century. Historický Časopis Volume 66, 2018, Number 5, 785-813.

Stelzner, A.W., 1906. Die Erzlagerstätten, II.Hälfte. Die epigenetischen und deutero-genen Lagerstätten. Leipzig.

Stöllner, T., 2012. Der vor- und frühgeschichtliche Bergbau in Mitteleuropa bis zur Zeit der Merowinger, in: Bartels, C., Slotta, R. (Hrsg.), Der alteuropäische Bergbau, Geschichte des deutschen Bergbaus, Band 1, pp. 25-110.

Strieder, J., 1927. Deutscher Metallwarenexport nach Westafrika im 16. Jahrhundert. In: Historische Aufsätze. Aloys Schulte zum 70. Geburtstag gewidmet von Schülern und Freunden. Düsseldorf, pp. 179-189.

Strieder, J., 1962. Aus Antwerpener Notariatsarchiven - Quellen zur deutschen Wirtschaftsgeschichte des 16. Jahrhunderts. Wiesbaden.

von Stromer, W., 1970. Oberdeutsche Hochfinanz 1350-1450, Vol.1-3., VSWG, Beihefte 55-57. Wiesbaden.

von Stromer, W., 1995. Die Saigerhütten-Industrie des Spätmittelalters. Entwicklung der Kupfer-Silber-Scheidekünste zur „ars conflatória separantia argentum a cupro cum plombo“. Technikgeschichte 62, 187-219.

Stühmer, H., Schulz, H.D., Wilkomm, H., Hänsel, B., 1978. Rohkupferfunde vor Helgoland, Offa - Berichte und Mitteilungen zur Urgeschichte, Frühgeschichte und Mittelalter-archäologie. Band 35, pp. 11-35.

Sundblad, K., 1994. A genetic reinterpretation of the Falun and Ammeberg ore types, Bergslagen, Sweden. Mineral. Deposita 29, 170-179.

Suhling, L., 1976. Der Seigerhüttenprozess. Die Technologie des Kupferseigerns nach dem frühen metallurgischen Schrifttum. Stuttgart.

Suhling, L., 1990. Vom Erz zum Metall. Zur Montangeschichte des technisch wichtigsten Buntmetalls, in: Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Ed.), Der Schlag der in den Ohren schallt: Zur Geschichte der Kupfergewinnung und Kupferverarbeitung. Westfälisches Freilichtmuseum Hagen, pp. 27-72.

Tasser, R., 1994. Das Bergwerk am Südtiroler Schneeberg. Athesia, Bozen.

Taylor, J., 1983. Erzgebirge tin: a closer look, Oxford Journal of Archaeology, 2, 295-298.

Teixeira da Mota, A., 1969. Der portugiesische Seehandel in Westafrika im 15. und 16. Jahrhundert und seine Bedeutung für die Entwicklung des überregionalen Handelsverkehrs. VSWG 5, Köln.

Tropper, P., Goldenberg, G., Krismer, M., Bechter, D., Steiner, M., Viertler, H.P., Vavtar, F., 2019. Mineral-chemical characterisation of chalcopyrites and fahlore-group minerals from selected Cu-ore deposits in the Eastern Alps, in: Turck, R., Stöllner, T., Goldenberg, G. (Hrsg.), Alpenkupfer 2, New results and perspectives on prehistoric copper production. Der Anschnitt, Beih. 42, pp. 143-162.

Tveite, S., 1977. Die norwegische Kupfererzeugung vor 1700, in: Kellenbenz, H., (Hrsg.), Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500 - 1650. Böhlau Verlag, Köln, pp. 260-279.

Tylecote, R. F. (1976): A History of Metallurgy, London.

Tylecote, R. F., Ghaznavi, H. A., and 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, 305-333.

Vink, H.E., 2018. Ship Ashore! An archaeological investigation of the remains and artefacts of shipwreck Terschelling Paal 27, 1. Master Thesis Maritime Archaeology, University of Southern Denmark.

Vlachović, J., 1977. Die Kupfererzeugung und der Kupferhandel in der Slowakei vom Ende des 15. bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts, in: Kellenbenz, H. (Hrsg.), Schwerpunkte der Kupferproduktion und des Kupferhandels in Europa 1500- 1650. Böhlau Verlag, Köln, pp. 148-171.

- Vos, A., 2012. Onderwater archeologie op de Rede van Texel. Waardstellende onderzoeken in de westelijke Waddenzee (Burgzand). Nederlandse Archeologische Rapporten 41. Lelystad.
- Wagenbreth, O., Wächtler, E., Becke, A., Douffet, H., Jobst, W., 1990. Bergbau im Erzgebirge, Technische Denkmale und Geschichte. Leipzig.
- Walcher, E., 1987. Zur Geologie, in: Bode, R. (Hrsg.), Rammelsberg/Harz, Emser Hefte, Haltern, pp. 30-34.
- Walder, A. J., Furuta, N., 1993. High-precision lead isotope ratio measurement by inductively coupled plasma multiple collector mass spectrometry. *Analytical Sciences* 9, 675–80.
- Walter, R., 1995. Geologie von Mitteleuropa. Stuttgart.
- Walther, H., 1986. Federal Republic of Germany, in: Dunning F., Evans A., (Hrsg.), *Mineral Deposits of Europe Vol. 3: Central Europe*. Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 175-302.
- Wedepohl, K., Rentzsch, J., 2006. The composition of brines in the early diagenetic mineralization of the Permian Kupferschiefer in Germany. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 152, 323–333.
- van der Wee, H., 1963. *The Growth of the Antwerp Market and the European Economy. Volume I: Statistics*. Louvain 1963.
- Weisgerber, G., 1999. Helgoland, Paragraph 3: Kupferfunde, in: *Reallexikon der germanischen Altertumskunde*, Volume 14, pp. 295-296.
- Wendt, I.C.W., Kappelhoff, E.L., 1896. *Eine Sammlung von Ansichten Hamburgs*, Hamburg.
- van Werkhoven W., Van Achterberg, A., van der Storm, H., 2012. Unpublished: voorlopig rapport van de wrakvondst van Terschelling. Kralen. Makkum.
- Werner, O., 1976. Westafrikanische Manillas aus deutschen Metallhütten, Verwertung von Kupferschrott im 15. und 16. Jahrhundert. *Erzmetall*, 29, 447-453.
- Werson, J., 2015. *Metal Trade in the Baltic Sea: The Copper Ingots from Mönchgut 92*. MA-Thesis. Syddansk Universitet.
- Westermann, E., 1971. *Das Eislebener Garkupfer und seine Bedeutung für den europäischen Kupfermarkt 1460-1560*. Dissertation. Köln.
- Westermann, E., 1986. Zur Silber und Kupferproduktion Mitteleuropas vom 15. bis zum 17. Jahrhundert. Über Bedeutung und Rangfolge der Reviere Schwaz, Mansfeld und Neusohl. *Der Anschnitt* 38, 5-6, Bochum, 187-211.
- Westermann, E., 1999. *Copper Production, Trade and Use in Europe from the end of the fifteenth Century to the end of the eighteenth Century*, in: Phoenix Art Museum (Hrsg.), *Copper as Canvas. Two Centuries of Masterpiece Paintings on Copper, 1575-1775*. New York, pp. 117-130.
- Westermann, E., 2001. *Silberrausch und Kanonendonner. Deutsches Silber und Kupfer an der Wiege der europäischen Weltherrschaft. Handel, Geld und Politik Bd 4*. Lübeck.

Westermann, E., 2002. Kupferhalbfabrikate vor dem Tor zu Welt. Zum Hamburger Kupfermarkt an der Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert, in: Gömmel, R., Denzel, M.A., (Hrsg.) Weltwirtschaft und Wirtschaftsordnung. Stuttgart, pp. 85-100.

Westermann, E., 2012. Oberdeutsche Metallhändler in Lissabon und in Antwerpen zwischen 1490 und 1520, in: Lacko, M., (Hrsg.), Montánna Historia (Die Montangeschichte), Jahrbuch für die Geschichte des Berg und Hüttenwesens. Freiberg, pp. 8-22.

Westermann, E., 2013. „Die versunkenen Schätze der ‚Bom Jesus‘“ von 1533. Die Bedeutung der Fracht des portugiesischen Indienseglers für die internationale Handelsgeschichte – Würdigung und Kritik. VSWG: Vierteljahrschrift Für Sozial- Und Wirtschaftsgeschichte, 100(4), 459-478.

Westermann, E., Denzel, A., 2011. Das Kaufmannsnotizbuch des Matthäus Schwarz aus Augsburg 1548. Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beiheft 215, Stuttgart.

White, W. M., Albarède, F., and Télouk, P., 2000. High-precision analysis of Pb isotope ratios by multi-collector ICP-MS,. Chemical Geology 167, 257–70.

Willet, F., Sayre E.V., 2006. Lead isotopes in West African Copper Alloys. Journal of African Archaeology 4, 55-90.

Willies, L., Parker, H., 1999. Images of England: Peak District Mining and Quarrying. Gloucestershire.

Young, B., 2016. A geological outline of the Northern Pennines. Oresome Geology Report No. 2. 1-16.

Zak, K., Radvanec, M., Grecula, P., 2005. „Siderite mineralization of the Gemericum superunit (Western Carpathians, Slovakia): a review and a revised genetic model“ a reply. Ore Geology Reviews 26, 173-180.

Zartmann, R.E., Pawlowska, J. & Rubinowski, Z., 1979. Lead isotope composition of ore deposits from the Silesia-Cracow mining district. Research on the Genesis of Zinc-Lead Deposits of Upper Silesia, Poland. Prace Instytutu Geologicznego 95, 133-151.

Zedler, J.H., 1742. Grosses vollständiges Universal-Lexicon Aller Wissenschafften und Kunste, welche bishero durch menschlichen Verstand und Witz erfunden und verbessert worden. Band 34, Halle, Leipzig. Digital version 2.9, Deutsche Forschungsgemeinschaft.

10 Fundkatalog

10.1 Kupfer

10.1.1 Mönchgut_92 Reißscheiben



Lab.No.	4076_13
Inv. No.	67-1
Länge in cm	65
Breite in cm	39
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	55
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4077_13
Inv. No.	68-2
Länge in cm	36
Breite in cm	19
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	11
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4078_13
Inv. No.	69-3
Länge in cm	31
Breite in cm	31
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	12
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4079_13
Inv. No.	70-4
Länge in cm	60
Breite in cm	28
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	25
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4080_13
Inv. No.	71-5
Länge in cm	63
Breite in cm	41
Höhe in cm	8,5
Gewicht in kg	55
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4081_13
Inv. No.	72-6
Länge in cm	29
Breite in cm	26
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	8
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4082_13
Inv. No.	73-7
Länge in cm	47
Breite in cm	35
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	22,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4083_13
Inv. No.	74-8
Länge in cm	46
Breite in cm	36
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	17,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4084_13
Inv. No.	75-9
Länge in cm	24
Breite in cm	16
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	3,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4085_13
Inv. No.	76-10
Länge in cm	57
Breite in cm	38
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	43
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4086_13
Inv. No.	77-11
Länge in cm	63
Breite in cm	43
Höhe in cm	3,5
Gewicht in kg	42
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4087_13
Inv. No.	78-12
Länge in cm	53
Breite in cm	42
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	25
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4088_13
Inv. No.	79-13
Länge in cm	42
Breite in cm	35
Höhe in cm	3,5
Gewicht in kg	14
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4089_13
Inv. No.	80-14
Länge in cm	30
Breite in cm	22
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	10
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4090_13
Inv. No.	81-15
Länge in cm	56
Breite in cm	42
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	34
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4091_13
Inv. No.	82-16
Länge in cm	59
Breite in cm	38
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	32
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4092_13
Inv. No.	83-17
Länge in cm	49
Breite in cm	36
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	19
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4093_13
Inv. No.	84-18
Länge in cm	39
Breite in cm	19
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	8
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4094_13
Inv. No.	85-19
Länge in cm	35
Breite in cm	21
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	8
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4095_13
Inv. No.	86-20
Länge in cm	52
Breite in cm	31
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	25
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4096_13
Inv. No.	87-21
Länge in cm	46
Breite in cm	35
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	28
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4097_13
Inv. No.	88-22
Länge in cm	36
Breite in cm	22
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	17
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4098_13
Inv. No.	89-23
Länge in cm	59
Breite in cm	29
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	40
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4099_13
Inv. No.	90-24
Länge in cm	42
Breite in cm	31
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	32
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4100_13
Inv. No.	91-25
Länge in cm	40
Breite in cm	33
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	12
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4101_13
Inv. No.	92-26
Länge in cm	49
Breite in cm	44
Höhe in cm	9
Gewicht in kg	48
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4102_13
Inv. No.	93-27
Länge in cm	56
Breite in cm	39
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	20
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4103_13
Inv. No.	94-28
Länge in cm	52
Breite in cm	37
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	25
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4104_13
Inv. No.	95-30
Länge in cm	47
Breite in cm	33
Höhe in cm	3,5
Gewicht in kg	3
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4105_13
Inv. No.	96-31
Länge in cm	47
Breite in cm	35
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	44
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4106_13
Inv. No.	97-32
Länge in cm	38
Breite in cm	28
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	16
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4107_13
Inv. No.	98-33
Länge in cm	43
Breite in cm	30
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	26
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4108_13
Inv. No.	99-34
Länge in cm	31
Breite in cm	28
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	16
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4109_13
Inv. No.	100-35
Länge in cm	36
Breite in cm	23
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	11
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4110_13
Inv. No.	101-36
Länge in cm	30
Breite in cm	27
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	13
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4111_13
Inv. No.	102-37
Länge in cm	39
Breite in cm	32
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	16
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4112_13
Inv. No.	103-38
Länge in cm	37
Breite in cm	32
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	14
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4113_13
Inv. No.	104-39
Länge in cm	55
Breite in cm	41
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	34
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4114_13
Inv. No.	105-41
Länge in cm	65
Breite in cm	46
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	64
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4115_13
Inv. No.	106-42
Länge in cm	50
Breite in cm	42
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	35
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4116_13
Inv. No.	107-43
Länge in cm	71
Breite in cm	48
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	76
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4117_13
Inv. No.	108-44
Länge in cm	40
Breite in cm	34
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	18
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4118_13
Inv. No.	109-45
Länge in cm	41
Breite in cm	34
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	31
Fundort	Mönchgut_92



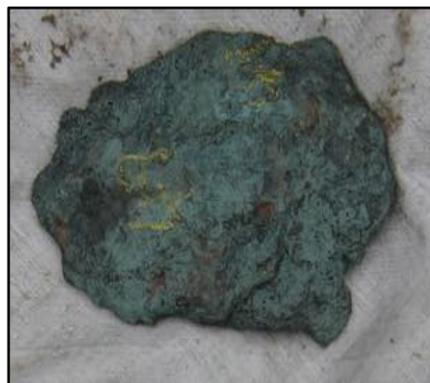
Lab.No.	4119_13
Inv. No.	110-46
Länge in cm	44
Breite in cm	30
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	31
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4120_13
Inv. No.	111-47
Länge in cm	28
Breite in cm	17
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4121_13
Inv. No.	112-48
Länge in cm	34
Breite in cm	21
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	15
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4122_13
Inv. No.	113-49
Länge in cm	20
Breite in cm	16
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	2,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4123_13
Inv. No.	114-50
Länge in cm	40
Breite in cm	33
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	20
Fundort	Mönchgut_92

MÖNCHGUT
OSTSEE VII
FPL 92
PLATTE 50
12.07.2010

MÖNCHGUT
OSTSEE VII
FPL 92
PLATTE 50
12.07.2010



Lab.No.	4124_13
Inv. No.	115-51
Länge in cm	34
Breite in cm	30
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	19
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4125_13
Inv. No.	116-52a
Länge in cm	36
Breite in cm	24
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	15
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4126_13
Inv. No.	117-52b
Länge in cm	30
Breite in cm	21
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	10
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4127_13
Inv. No.	118-54
Länge in cm	55
Breite in cm	37
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	22
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4128_13
Inv. No.	119-55
Länge in cm	33
Breite in cm	21
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	10
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4129_13
Inv. No.	120-56
Länge in cm	44
Breite in cm	36
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	24
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4130_13
Inv. No.	121-57
Länge in cm	39
Breite in cm	26
Höhe in cm	8,5
Gewicht in kg	24
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4131_13
Inv. No.	122-59
Länge in cm	43
Breite in cm	22
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	19
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4132_13
Inv. No.	123-60
Länge in cm	33
Breite in cm	22
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	9
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4133_13
Inv. No.	124-61
Länge in cm	34
Breite in cm	26
Höhe in cm	6
Gewicht in kg	14
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4134_13
Inv. No.	125-62
Länge in cm	27
Breite in cm	15
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4135_13
Inv. No.	126-62a
Länge in cm	61
Breite in cm	43
Höhe in cm	7,5
Gewicht in kg	56
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4136_13
Inv. No.	127-63
Länge in cm	56
Breite in cm	34
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	22
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4137_13
Inv. No.	128-64
Länge in cm	71
Breite in cm	47
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	78
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4138_13
Inv. No.	129-65
Länge in cm	31
Breite in cm	23
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	11
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4139_13
Inv. No.	130-66
Länge in cm	41
Breite in cm	24
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	11,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4140_13
Inv. No.	131-67
Länge in cm	39
Breite in cm	26
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	16,5
Fundort	Mönchgut_92



Lab.No.	4141_13
Inv. No.	132-68
Länge in cm	59
Breite in cm	41
Höhe in cm	8,5
Gewicht in kg	49
Fundort	Mönchgut_92

10.1.2 Skaftö-Reißscheiben



Lab.No.	4185_19
Inv. No.	29274-1a
Länge in cm	27
Breite in cm	14
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	-
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4186_19
Inv. No.	29274-1b
Länge in cm	27
Breite in cm	14,5
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	-
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4187_19
Inv. No.	29276.57
Länge in cm	67
Breite in cm	40
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	43,5
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4188_19
Inv. No.	29276.59
Länge in cm	34
Breite in cm	23,5
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	16,5
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4189_19
Inv. No.	29274.58
∅ in cm	35,5
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	7
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4190_19
Inv. No.	29276.36
Länge in cm	48
Breite in cm	36
Höhe in cm	2,2-3,5
Gewicht in kg	11,3
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4191_19
Inv. No.	29276.34
Ø in cm	45
Höhe in cm	1,5 - 4
Gewicht in kg	11,3
Fundort	Skaftö

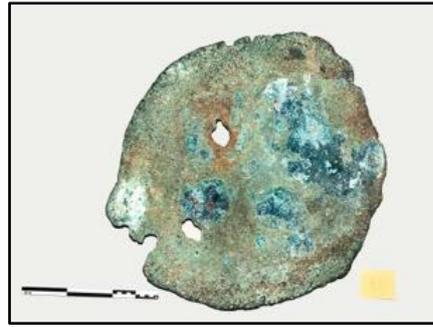
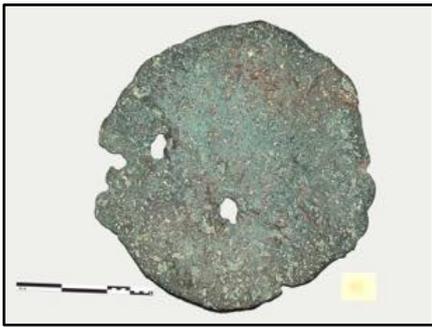


Lab.No.	4192_19
Inv. No.	29274.35
Länge in cm	54
Breite in cm	31
Höhe in cm	3 - 4,5
Gewicht in kg	35,4
Fundort	Skaftö



Lab.No.	4193_19
Inv. No.	29276.37
Länge in cm	69
Breite in cm	41
Höhe in cm	5,5 - 6,5
Gewicht in kg	56,6
Fundort	Skaftö

10.1.3 Helgoland-Reißscheiben



Lab.No.	3596_19
Inv. No.	SH1980-272.1
∅ in cm	62,5
Gewicht in kg	17,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3597_19
Inv. No.	SH1980-272.2
∅ in cm	22,5
Gewicht in kg	2,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3598_19
Inv. No.	SH1980-272.3
∅ in cm	40
Gewicht in kg	6,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3599_19
Inv. No.	SH1980-272.4
∅ in cm	44
Gewicht in kg	8,1
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3600_19
Inv. No.	SH1980-272.5
Ø in cm	34
Gewicht in kg	4,7
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3601_19
Inv. No.	SH1980-272.6
Ø in cm	29,5
Gewicht in kg	5,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3602_19
Inv. No.	SH1980-272.8
Ø in cm	48
Gewicht in kg	8,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3603_19
Inv. No.	SH1980-272.11
Ø in cm	42
Gewicht in kg	4,8
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3604_19
Inv. No.	SH1982-269.1
Ø in cm	36
Gewicht in kg	15,5
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3605_19
Inv. No.	SH1982-269.2
Ø in cm	50
Gewicht in kg	9,2
Fundort	Helgoland



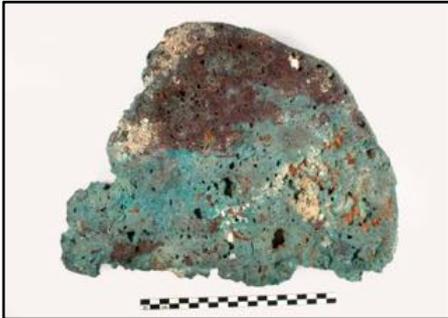
Lab.No.	3606_19
Inv. No.	SH1982-269.3
Ø in cm	53
Gewicht in kg	6,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3607_19
Inv. No.	SH1982-269.4
Ø in cm	51
Gewicht in kg	11,6
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3608_19
Inv. No.	SH1982-269.5
Ø in cm	39
Gewicht in kg	2,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3609_19
Inv. No.	SH1982-269.7
Ø in cm	39
Gewicht in kg	4,2
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3610_19
Inv. No.	SH1982-269.8
Ø in cm	42,5
Gewicht in kg	5,4
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3611_19
Inv. No.	SH1982-269.12
Ø in cm	39
Gewicht in kg	2,3
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3612_19
Inv. No.	SH1982-269.13
Ø in cm	47
Gewicht in kg	1,1
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3613_19
Inv. No.	SH1982-269.14
Ø in cm	47
Gewicht in kg	2,2
Fundort	Helgoland



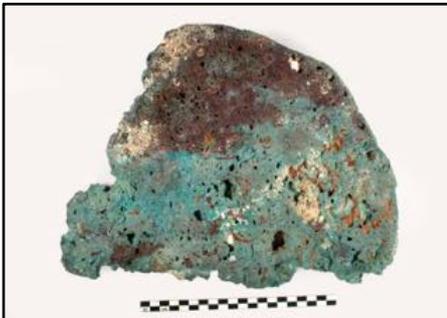
Lab.No.	3614_19
Inv. No.	SH1982-269.16
Ø in cm	60
Gewicht in kg	2,2
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3615_19
Inv. No.	SH1982-269.17
Ø in cm	38
Gewicht in kg	0,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3659_19
Inv. No.	SH1980-272.12
Ø in cm	39
Gewicht in kg	2,3
Fundort	Helgoland



Lab.No.	3660_19
Inv. No.	SH1980-272.7
Ø in cm	27,5
Gewicht in kg	3,9
Fundort	Helgoland



Lab.No.	4221_13
Inv. No.	80000231001
Ø in cm	31
Gewicht in kg	-
Fundort	Helgoland

10.1.4 Elbe-Reißscheiben



Lab.No.	4138_16	4139_16	4140_16	4141_16	4142_16
Inv.No.	41c/2	41c/3	41c/6	41c/7	41c/8
Länge in cm	30	-	-	-	-
Breite in cm	23,5	-	-	-	-
Höhe in cm	3,9	-	-	-	-
Gewicht in kg	-	-	-	-	-
Fundort	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe



Lab.No.	4143_16
Inv.No.	41d
Länge in cm	30,2
Breite in cm	24
Höhe in cm	8,5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4144_16
Inv.No.	d
Länge in cm	36
Breite in cm	-
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe

Kein Bild

Lab.No.	4145_16	4146_16
Inv.No.	41d/1	41d/2
Länge in cm	-	-
Breite in cm	-	-
Höhe in cm	-	-
Gewicht in kg	-	-
Fundort	Elbe	Elbe



Lab.No.	4147_16
Inv.No.	41e
Länge in cm	43,5
Breite in cm	32
Höhe in cm	4,8
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4148_16	4149_16	4150_16
Inv.No.	41f	41f/2	41f/3
Länge in cm	48	-	-
Breite in cm	37	-	-
Höhe in cm	-	-	-
Gewicht in kg	-	-	-
Fundort	Elbe	Elbe	Elbe



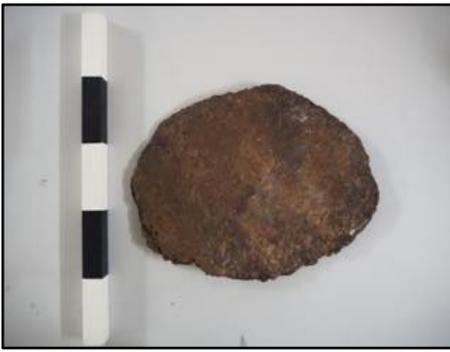
Lab.No.	4151_16	4152_16
Inv.No.	41g	41g/1
Länge in cm	58	57
Breite in cm	40,5	49
Höhe in cm	3,5	-
Gewicht in kg	-	-
Fundort	Elbe	Elbe



Lab.No.	4153_16
Inv.No.	41h
Länge in cm	56
Breite in cm	51
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



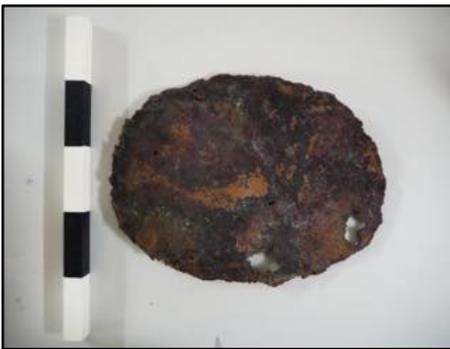
Lab.No.	4154_16
Inv.No.	41h/1
Länge in cm	59
Breite in cm	46
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4219_13
Inv.No.	80502205000
Länge in cm	38,5
Breite in cm	22
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4220_13
Inv.No.	80502192001
Länge in cm	44
Breite in cm	32
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4222_13
Inv.No.	80502191001
Länge in cm	43,5
Breite in cm	32
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4228_13
Inv.No.	80502199001
Länge in cm	65
Breite in cm	49
Höhe in cm	2
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4223_13	4224_13	4225_13	4227_13	4229_13
Inv.No.	80502193001	8,05E+10	80502195001	80502197001	80502196002
Länge in cm	ca. 60	ca. 60	ca. 60	ca. 60	ca. 60
Breite in cm	ca.40	ca.40	ca.40	ca.40	ca.40
Höhe in cm	ca. 3	ca. 3	ca. 3	ca. 3	ca. 3
Gewicht in kg	-	-	-	-	-
Fundort	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe

10.1.5 Terschelling-Reißscheiben



Lab.No.	4525_18
Inv.No.	TRS1
Länge in cm	75
Breite in cm	77
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4526_18
Inv.No.	TRS2
Länge in cm	60
Breite in cm	45
Höhe in cm	1
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3773_19
Inv.No.	LV-37.439
Länge in cm	75
Breite in cm	-
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling

10.1.6 Halbgossenkugeln



Lab.No.	4516_18
Inv.No.	THG1
Ø in cm	14
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	4,9
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4517_18
Inv.No.	THG2
Ø in cm	14,5
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4518_18
Inv.No.	THG3
Ø in cm	15
Höhe in cm	7
Gewicht in kg	6
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4519_18
Inv.No.	THG4
Ø in cm	12,5
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4520_18
Inv.No.	THG5
Ø in cm	14
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	5,5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4521_18
Inv.No.	THG6
Ø in cm	14,5
Höhe in cm	5,5
Gewicht in kg	5,5
Fundort	Terschelling



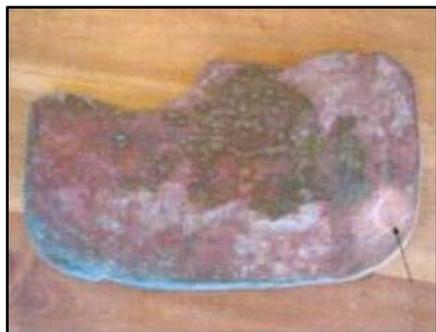
Lab.No.	4522_18
Inv.No.	THG7
Ø in cm	14
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4523_18
Inv.No.	THG8
Ø in cm	16
Höhe in cm	6,5
Gewicht in kg	6
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4524_18
Inv.No.	THG9
Ø in cm	12,5
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4142_13
Inv.No.	M-1/1
Ø in cm	-
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	-
Fundort	Mozambique

10.1.7 Vierkantkupfer



Lab.No.	4514_18
Inv.No.	TGH1
Länge in cm	75
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	13
Fundort	Terschelling



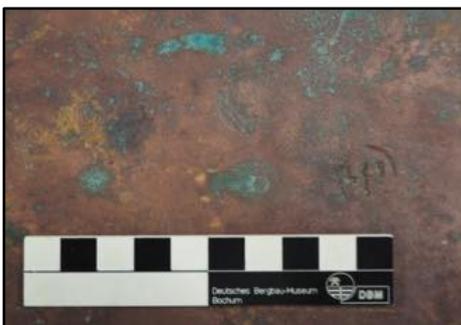
Lab.No.	3908_19
Inv.No.	TGH3
Länge in cm	75
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	13
Fundort	Terschelling



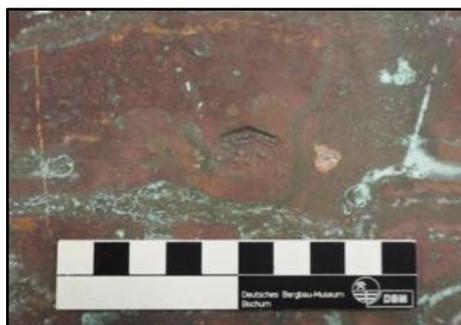
Lab.No.	3756_19
Inv.No.	LV-37.422
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3757_19
Inv.No.	LV-37.423
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3758_19
Inv.No.	LV-37.424
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3759_19
Inv.No.	LV-37.425
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3760_19
Inv.No.	LV-37.426
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



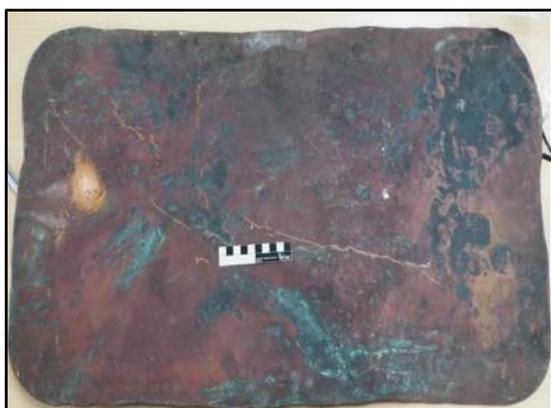
Lab.No.	3761_19
Inv.No.	LV-37.427
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3762_19
Inv.No.	LV-37.428
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3763_19
Inv.No.	LV-37.429
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3764_19
Inv.No.	LV-37.430
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3765_19
Inv.No.	LV-37.431
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



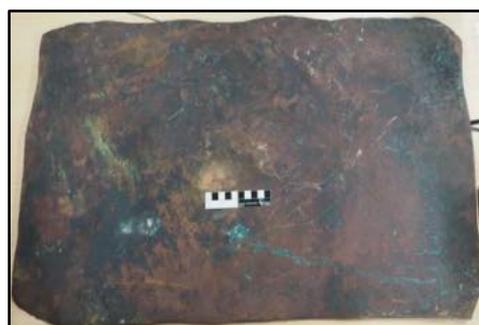
Lab.No.	3766_19
Inv.No.	LV-37.432
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3767_19
Inv.No.	LV-37.433
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3768_19
Inv.No.	LV-37.434
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3769_19
Inv.No.	LV-37.435
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3770_19
Inv.No.	LV-37.436
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3771_19
Inv.No.	LV-37.437
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3772_19
Inv.No.	LV-37.438
Länge in cm	60
Breite in cm	40
Höhe in mm	4 bis 8
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling



Lab.No.	4131_16
Inv.No.	o. Nr. Pfarnek.
Länge in cm	-
Breite in cm	-
Höhe in cm	1
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4132_16
Inv.No.	41a/1
Länge in cm	-
Breite in cm	-
Höhe in cm	1
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4133_16
Inv.No.	414/2
Länge in cm	-
Breite in cm	-
Höhe in cm	1
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe

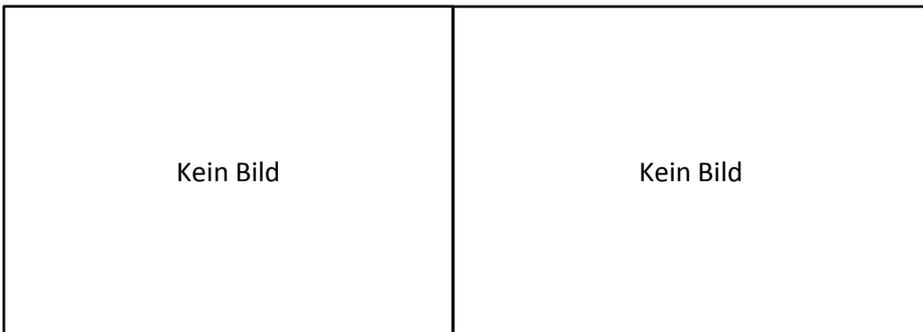


Lab.No.	4230_13
Inv.No.	80502202001
Länge in cm	60
Breite in cm	40,5
Höhe in cm	1
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe

10.1.8 Rundscheiben



Lab.No.	4226_13
Inv.No.	80502207000
Ø in cm	48
Höhe in mm	2
Gewicht in kg	5,8
Fundort	Elbe



Lab.No.	4231_13
Inv.No.	8050203001
Ø in cm	-
Höhe in mm	-
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4515_18
Inv.No.	TGH2
Ø in cm	56
Höhe in mm	2
Gewicht in kg	5
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3755_19
Inv.No.	.381
Ø in cm	100
Höhe in mm	2
Gewicht in kg	-
Fundort	Terschelling

10.1.9 Ziegelkupferbarren



Lab.No.	4134_16
Inv.No.	41b/1
Länge in cm	-
Breite in cm	-
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4135_16
Inv.No.	41b/2
Länge in cm	33,6
Breite in cm	12,2
Höhe in cm	4,1
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4136_16
Inv.No.	41b/3
Länge in cm	28
Breite in cm	12,3
Höhe in cm	4,3
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4137_16
Inv.No.	41b/5
Länge in cm	33,5
Breite in cm	11,3
Höhe in cm	4,3
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4143_13	4144_13	4145_13	4149_13	4151_13	4152_13
Inv.No.	80502175	80502174	80502178	8050220100	80502182	80502179
Länge in cm	-	-	-	-	-	-
Breite in cm	-	-	-	-	-	-
Höhe in cm	-	-	-	-	-	-
Gewicht in kg	-	-	-	-	-	-
Fundort	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe	Elbe

Lab.No.	4153_13	4154_13
Inv.No.	805022000	80502180
Länge in cm	-	-
Breite in cm	-	-
Höhe in cm	-	-
Gewicht in kg	-	-
Fundort	Elbe	Elbe



Lab.No.	4146_13
Inv.No.	80502171
Länge in cm	37
Breite in cm	10,5
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4147_13
Inv.No.	80502173
Länge in cm	31
Breite in cm	12
Höhe in cm	4,5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4148_13
Inv.No.	80502181
Länge in cm	33
Breite in cm	11
Höhe in cm	3,5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4150_13
Inv.No.	805002177
Länge in cm	30
Breite in cm	13
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe



Lab.No.	4155_13
Inv.No.	80502176
Länge in cm	32
Breite in cm	10,5
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	-
Fundort	Elbe

10.1.10 Armreife



Lab.No.	3860_19
Inv.No.	OVA-1
Länge in cm	10,5
Breite in cm	14
Höhe in cm	3,5
Gewicht in kg	1,8
Fundort	Namibia



Lab.No.	4183_19
Inv.No.	OVA-2
Länge in cm	14
Breite in cm	17,5
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	2,7
Fundort	Namibia



Lab.No.	4184_19
Inv.No.	OVA-3
Länge in cm	14
Breite in cm	18,5
Höhe in cm	5
Gewicht in kg	3,2
Fundort	Namibia

10.2 Messing

10.2.1 Stangen



Lab.No.	4527_18
Inv.No.	Tms-1
Länge in cm	99
Ø in cm	0,5
Gewicht in g	480
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3893_19
Inv.No.	Tms-2
Länge in cm	94
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	490
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3894_19
Inv.No.	Tms-3
Länge in cm	101
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	440
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3895_19
Inv.No.	Tms-4
Länge in cm	101
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	450
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3896_19
Inv.No.	Tms-5
Länge in cm	101
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	520
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3897_19
Inv.No.	Tms-6
Länge in cm	101
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	510
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3898_19
Inv.No.	Tms-7
Länge in cm	101
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	520
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3899_19
Inv.No.	Tms-8
Länge in cm	99
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	450
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3900_19
Inv.No.	Tms-9
Länge in cm	100
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	450
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3901_19
Inv.No.	Tms-10
Länge in cm	100
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	520
Fundort	Terschelling



Lab.No.	3902_19
Inv.No.	Tms-11
Länge in cm	94
∅ in cm	0,5
Gewicht in g	420
Fundort	Terschelling

10.2.2 Manillen



Lab.No.	5043_20
Inv.No.	VGO-1
Gewicht in g	305
Fundort	Vigo



Lab.No.	5044_20
Inv.No.	VGO-2
Gewicht in g	290
Fundort	Vigo



Lab.No.	5045_20
Inv.No.	VGO-3
Gewicht in g	155
Fundort	Vigo



Lab.No.	5046_20
Inv.No.	VGO-4
Gewicht in g	170
Fundort	Vigo



Lab.No.	5047_20
Inv.No.	VGO-5
Gewicht in g	255
Fundort	Vigo



Lab.No.	5048_20
Inv.No.	VGO-6
Gewicht in g	70
Fundort	Vigo



Lab.No.	5049_20
Inv.No.	VGO-7
Gewicht in g	215
Fundort	Vigo



Lab.No.	5050_20
Inv.No.	VGO-8
Gewicht in g	150
Fundort	Vigo



Lab.No.	5051_20
Inv.No.	VGO-9
Gewicht in g	135
Fundort	Vigo



Lab.No.	5052_20
Inv.No.	VGO-10
Gewicht in g	430
Fundort	Vigo



Lab.No.	5053_20
Inv.No.	VGO-11
Gewicht in g	415
Fundort	Vigo



Lab.No.	3661_19
Inv.No.	D1696
Gewicht in g	145
Fundort	Sierra Leone



Lab.No.	3662_19
Inv.No.	D1700
Gewicht in g	247
Fundort	Sierra Leone

10.2.3 Spiralreife



Lab.No.	4583_19
Inv.No.	Denk 139
Gewicht in g	205
Fundort	Sierra Leone



Lab.No.	4584_19
Inv.No.	Denk 140
Gewicht in g	207
Fundort	Sierra Leone

10.2.4 Töpfe



Lab.No.	3903_19	3904_19	3905_19	3906_19	3907_19
Inv.No.	Tpot 1	Tpot 2	Tpot 3	Tpot 4	Tpot 5
∅ in cm	36	38	36	40	41
Fundort	Terschelling	Terschelling	Terschelling	Terschelling	Terschelling

10.2.5 Blech



Lab.No.	3821_19	3822_19	3823_19
Inv.No.	BZN2.440	BZN2.441	BZN2.442
Breite in cm	35	27,5	23
Fundort	Burgzand II	Burgzand II	Burgzand II

10.2.6 Barren



Lab.No.	4182_19
Inv.No.	314_366
Länge in cm	33
Breite in cm	13
Fundort	L'ubietova

10.3 Zinn

10.3.1 Barren der Bom Jesus/Namibia



Lab.No.	3571_18
Inv.No.	B6052
Fundort	Namibia



Lab.No.	3572_18
Inv.No.	B6095
Fundort	Namibia



Lab.No.	3574_18
Inv.No.	B6157
Fundort	Namibia



Lab.No.	3575_18
Inv.No.	B6165
Fundort	Namibia



Lab.No.	3576_18
Inv.No.	B6168
Fundort	Namibia



Lab.No.	3577_18
Inv.No.	B6173
Fundort	Namibia



Lab.No.	3578_18
Inv.No.	B6174
Fundort	Namibia



Lab.No.	3579_18
Inv.No.	B6176
Fundort	Namibia



Lab.No.	3580_18
Inv.No.	B6194
Fundort	Namibia



Lab.No.	3581_18
Inv.No.	B6195
Fundort	Namibia



Lab.No.	3582_18
Inv.No.	B6198
Fundort	Namibia



Lab.No.	3583_18
Inv.No.	B6654
Fundort	Namibia



Lab.No.	3584_18
Inv.No.	B6658
Fundort	Namibia



Lab.No.	3585_18
Inv.No.	B6663
Fundort	Namibia



Lab.No.	3586_18
Inv.No.	B6664
Fundort	Namibia



Lab.No.	3587_18
Inv.No.	B6674
Fundort	Namibia



Lab.No.	3588_18
Inv.No.	B6682
Fundort	Namibia



Lab.No.	3589_18
Inv.No.	B6683
Fundort	Namibia



Lab.No.	3590_18
Inv.No.	B6688
Fundort	Namibia



Lab.No.	3592_18
Inv.No.	B7460
Fundort	Namibia



Lab.No.	3594_18
Inv.No.	B7465
Fundort	Namibia



Lab.No.	3596_18
Inv.No.	B7467
Fundort	Namibia



Lab.No.	3598_18
Inv.No.	B7476
Fundort	Namibia



Lab.No.	3600_18
Inv.No.	B7481
Fundort	Namibia



Lab.No.	3601_18
Inv.No.	B7485
Fundort	Namibia



Lab.No.	3602_18
Inv.No.	B7489
Fundort	Namibia

10.3.2 Barren von Texel



Lab.No.	3774_19
Inv.No.	A.M.7.8.7.15
Fundort	Texel
Länge in cm	42



Lab.No.	3775_19
Inv.No.	A.M. - 1993-48
Fundort	Texel



Lab.No.	3776_19
Inv.No.	A.M.102.3.1.A.
Fundort	Texel



Lab.No.	3777_19
Inv.No.	A.M.102.3.1.B.
Fundort	Texel



Lab.No.	3778_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.C.
Fundort	Texel



Lab.No.	3779_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.D.
Fundort	Texel



Lab.No.	3780_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.E.
Fundort	Texel



Lab.No.	3781_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.F.
Fundort	Texel



Lab.No.	3782_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.G.
Fundort	Texel



Lab.No.	3783_19
Inv.No.	A.M.105.5.1
Fundort	Texel



Lab.No.	3784_19
Inv.No.	A.M.102.3.I.4
Fundort	Texel



Lab.No.	3785_19
Inv.No.	A.M.102.4.4.
Fundort	Texel



Lab.No.	3786_19
Inv.No.	A.M.106.6.2
Fundort	Texel



Lab.No.	3787_19
Inv.No.	A.M.102.1.1/2.5
Fundort	Texel



Lab.No.	3788_19
Inv.No.	A.M.-MM 25-6-1
Fundort	Texel



Lab.No.	3789_19
Inv.No.	A.M.1993-28
Fundort	Texel



Lab.No.	3790_19
Inv.No.	A.M.-1992-2
Fundort	Texel



Lab.No.	3791_19
Inv.No.	A.M.1527-6-8
Fundort	Texel



Lab.No.	3792_19
Inv.No.	A.M.2/3.01.2.4.17
Fundort	Texel



Lab.No.	3793_19
Inv.No.	A.M.-7.8.12
Fundort	Texel



Lab.No.	3794_19
Inv.No.	A.M.-1993.19
Fundort	Texel



Lab.No.	3795_19
Inv.No.	A.M.-2/3.01.2.4.18
Fundort	Texel



Lab.No.	3796_19
Inv.No.	A.M.-2/3.01.2.4.15
Fundort	Texel



Lab.No.	3797_19
Inv.No.	A.M.-2/3.01.2.4.21
Fundort	Texel



Lab.No.	3798_19
Inv.No.	A.M.-2/3.01.2.4.16
Fundort	Texel



Lab.No.	3799_19
Inv.No.	A.M.-2/3.01.2.4.10
Fundort	Texel



Lab.No.	3800_19
Inv.No.	A.M.-7.5.1.3
Fundort	Texel



Lab.No.	3801_19
Inv.No.	000
Fundort	Texel

10.4 Blei

10.4.1 Barren aus der Slowakei



Lab.No.	4513_13
Inv.No.	Sp.D.001
Ø in cm	20
Höhe in cm	4
Gewicht in kg	5,4
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4514_13
Inv.No.	Sp.D.002
Länge in cm	21
Breite in cm	14
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	26
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4515_13
Inv.No.	Sp.D.003
Ø in cm	18
Höhe in cm	11
Gewicht in kg	17
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4516_13
Inv.No.	Sp.D.004
Ø in cm	-
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	-
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4517_13
Inv.No.	Sp.D.005
Länge in cm	25
Breite in cm	21
Höhe in cm	10
Gewicht in kg	19,7
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4518_13
Inv.No.	Sp.D.006
Länge in cm	27
Breite in cm	10
Höhe in cm	8
Gewicht in kg	18,8
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4519_13
Inv.No.	Sp.D.007
Länge in cm	12
Breite in cm	9
Höhe in cm	10
Gewicht in kg	6
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4520_13
Inv.No.	Sp.D.008
Ø in cm	20-25
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	6
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4179_19
Inv.No.	898/30
Ø in cm	20
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	7,6
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4180_19
Inv.No.	899/30
Ø in cm	21
Höhe in cm	3
Gewicht in kg	8,3
Fundort	Spania Dolina



Lab.No.	4181_19
Inv.No.	729/30
Ø in cm	ca. 20
Höhe in cm	-
Gewicht in kg	2,6
Fundort	Spania Dolina

10.4.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia



Lab.No.	3560_18
Inv.No.	B6719
Fundort	Namibia



Lab.No.	3561_18
Inv.No.	B6721
Fundort	Namibia



Lab.No.	3562_18
Inv.No.	B6722
Fundort	Namibia



Lab.No.	3563_18
Inv.No.	B6732
Fundort	Namibia



Lab.No.	3564_18
Inv.No.	B6738
Fundort	Namibia



Lab.No.	3565_18
Inv.No.	B6749
Fundort	Namibia



Lab.No.	3566_18
Inv.No.	B6751
Fundort	Namibia



Lab.No.	3567_18
Inv.No.	B6755
Fundort	Namibia



Lab.No.	3568_18
Inv.No.	B6787
Fundort	Namibia



Lab.No.	3569_18
Inv.No.	B6790
Fundort	Namibia



Lab.No.	3570_18
Inv.No.	B6792
Fundort	Namibia

10.4.3 Barren aus niederländischen Gewässern

10.4.3.1 Loose Vonds



Lab.No.	3802_19
Inv.No.	LV-146_001
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3803_19
Inv.No.	LV-146_002
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3804_19
Inv.No.	LV-147
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3805_19
Inv.No.	LV-148
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3806_19
Inv.No.	LV-149
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3807_19
Inv.No.	LV-150
Fundort	Unbekannt



Lab.No.	3808_19
Inv.No.	LV-151
Fundort	Unbekannt

10.4.3.2 Texel



Lab.No.	3809_19
Inv.No.	A.M.-8.1.3
Fundort	Texel



Lab.No.	3810_19
Inv.No.	A.M.8.2.3
Fundort	Texel



Lab.No.	3811_19
Inv.No.	A.M.-8.2.8
Fundort	Texel



Lab.No.	3812_19
Inv.No.	A.M.6.3.1
Fundort	Texel



Lab.No.	3813_19
Inv.No.	A.M.7.3.10
Fundort	Texel



Lab.No.	3814_19
Inv.No.	A.M.0000
Fundort	Texel

10.4.3.3 Flevoland



Lab.No.	3815_19
Inv.No.	MA-M11-106
Fundort	Flevoland



Lab.No.	3817_19
Inv.No.	MA_M11-108
Fundort	Flevoland

Lab.No.	3816_19
Inv.No.	MA_M11-107
Fundort	Flevoland

Barren liegen aufeinander



Lab.No.	3818_19
Inv.No.	MA_M11-109
Fundort	Flevoland

Lab.No.	3819_19
Inv.No.	MA_M11-110
Fundort	Flevoland

Barren liegen aufeinander



Lab.No.	3820_19
Inv.No.	MA-M11-111
Fundort	Flevoland

10.4.3.4 Burgzand II



Lab.No.	3824_19
Inv.No.	BZN2-534
Fundort	Burgzand II

10.4.3.5 Burgzand VIII



Lab.No.	3825_19
Inv.No.	BZN8-398
Fundort	Burgzand VIII

10.4.3.6 Oostvoorne



Lab.No.	3826_19
Inv.No.	OVMXI-001
Fundort	Oostvoorne

11 SC-ICP-MS Analysetabellen

Alle Spurenelementgehalte in parts per million (ppm)

11.1 Kupfer

11.1.1 Mönchgut_92-Reißscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4076_13	67-1	93.0	530	430	110	11	6200	47	6	4900	9200	750	190	4100	240	22
4077_13	68-2	93.1	440	380	120	4	1800	28	80	7400	9900	420	100	3600	240	34
4078_13	69-3	95.6	470	280	100	11	2600	18	3	8300	7900	660	140	2300	210	47
4079_13	70-4	95.5	390	200	67	6	1300	27	20	6800	1600	430	120	1100	220	39
4080_13	71-5	93.7	500	320	86	4	2100	18	25	9000	31500	660	130	2800	180	45
4081_13	72-6	94.1	480	33	690	2	650	84	10	5800	8100	4100	1100	2700	3400	<1
4082_13	73-7	95.3	490	320	130	3	2600	20	89	5800	1600	860	190	3900	240	25
4083_13	74-8	96.1	390	310	120	6	4600	22	4	4600	19500	650	130	5000	390	25
4084_13	75-9	93.7	480	350	110	3	3300	14	4	8100	20530	870	140	3700	280	50
4085_13	76-10	97.1	440	370	98	3	2300	44	10	9200	13600	810	150	3230	300	70
4086_13	77-11	94.4	490	160	87	4	1600	11	4	7800	10200	580	140	2200	200	43
4087_13	78-12	97.6	490	17	610	3	460	88	6	6800	11800	3200	1500	1100	2900	<4
4088_13	79-13	95.6	520	330	140	2	3500	13	2	5500	23100	990	230	2500	320	20
4089_13	80-14	91.8	350	970	140	3	6800	51	130	9700	14500	430	100	2500	420	51
4090_13	81-15	91.7	490	320	100	3	4800	27	19	14300	26600	850	190	4500	310	56
4091_13	82-16	94.9	430	290	120	1	4900	23	8	6200	3400	380	110	3300	250	36
4092_13	83-17	92.2	530	360	110	1	3100	20	5	6800	33300	640	95	4400	240	35
4093_13	84-18	96.4	490	480	110	9	2300	21	7	9000	11100	720	180	4700	260	49
4094_13	85-19	95.3	500	390	100	8	3100	41	7	8300	12400	760	150	3200	290	55
4095_13	86-20	93.7	470	640	130	4	7400	23	2	5600	17300	740	190	5200	380	40
4096_13	87-21	84.9	470	290	92	1	1500	15	52	7000	61300	730	150	2700	210	27
4097_13	88-22	89.1	570	1200	400	2	22400	99	20	9100	6300	440	120	10600	480	38
4098_13	89-23	89.1	550	310	82	2	3400	30	48	6300	20200	430	130	3600	200	38
4099_13	90-24	95.3	560	240	130	3	9600	32	50	7200	5600	310	100	5100	230	35
4100_13	91-25	97.5	520	21	640	7	470	56	3	6100	1600	1700	1100	320	2600	<4
4101_13	92-26	95.9	530	23	710	4	410	69	2	6400	49	630	1500	38	3800	<4
4102_13	93-27	96.9	530	18	570	3	480	76	2	7600	6100	4600	1700	1400	2800	<4
4103_13	94-28	96.1	380	13	510	1	370	64	13	3700	160	1500	1600	330	2400	<4
4104_13	95-30	94.7	490	23	690	3	590	140	200	8000	4800	2500	1100	1000	3100	<4
4105_13	96-31	95.0	14	570	110	1	1820	30	62	105	30200	850	190	6000	270	<4
4106_13	97-32	92.8	510	15	540	2	430	74	2	2400	4700	4000	1500	1200	2700	<4
4107_13	98-33	96.3	520	450	130	2	9500	30	150	7300	12500	590	150	6000	340	42

Fortsetzung nächste Seite

11.1.1 Mönchgut_92-Reißscheiben (Fortsetzung)

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt.-%	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4108_13	99-34	95.8	560	15	560	2	430	35	2	3100	41	810	1900	250	1900	<4
4109_13	100-35	90.6	500	28	550	11	320	54	13	6300	38400	8800	3300	530	4100	<4
4110_13	101-36	88.3	560	170	570	2	500	39	19	1800	260	150	770	81	1700	<4
4111_13	102-37	93.3	400	20	760	1	640	90	130	2800	2900	380	1200	460	2800	<4
4112_13	103-38	94.7	820	18	510	1	430	33	150	5600	4200	1500	1600	750	1500	<4
4113_13	104-39	97.8	640	300	130	1	2800	29	19	3800	2000	400	120	2100	380	23
4114_13	105-41	92.8	1300	560	110	2	2400	14	38	8500	39900	940	150	5600	360	18
4115_13	106-42	93.0	810	380	130	2	3500	19	3	6600	16900	760	120	4500	370	29
4116_13	107-43	93.8	780	250	110	<1	3200	17	6	7800	19800	670	130	3900	160	32
4117_13	108-44	84.6	460	15	700	2	560	130	630	5700	103600	1500	1300	920	2800	<4
4118_13	109-45	94.6	590	13	590	3	360	63	2	820	200	2400	1600	430	3600	<4
4119_13	110-46	92.8	370	230	130	7	6200	34	16	5700	4900	340	140	5100	210	31
4120_13	111-47	93.7	580	260	66	3	3000	34	6	7000	9300	730	130	3900	260	42
4121_13	112-48	95.5	500	580	96	3	3600	29	19	2200	27700	560	160	3700	250	8
4122_13	113-49	96.4	400	490	86	2	2000	86	72	28200	3900	490	150	3500	200	38
4123_13	114-50	94.9	360	290	80	1	3200	21	5	2100	5300	520	140	3200	230	<4
4124_13	115-51	95.8	410	310	67	2	3000	20	5	7900	17900	990	130	5400	170	27
4125_13	116-52a	93.6	530	170	51	7	1500	15	5	6100	6700	440	130	2100	160	29
4126_13	117-52b	96.9	400	400	110	3	2400	32	22	12100	5500	450	160	4000	250	18
4127_13	118-54	90.3	380	270	58	2	2400	21	4	5500	13200	820	140	4400	150	24
4128_13	119-55	92.2	500	490	77	2	5500	45	37	6600	11200	440	120	7100	210	22
4129_13	120-56	96.0	650	11	530	<1	400	63	11	1800	160	150	1300	110	1700	<4
4130_13	121-57	90.4	56	950	350	3	36800	72	4	2800	10200	560	150	14300	430	13
4131_13	122-59	94.1	460	310	67	2	2500	25	47	6600	5600	410	140	3100	210	18
4132_13	123-60	94.9	530	340	63	1	2500	24	2	5900	7200	490	160	3900	220	22
4133_13	124-61	97.2	520	680	120	2	2600	27	1	7900	7600	960	180	820	630	38
4134_13	125-62	95.6	600	370	79	<1	2600	39	21	6800	9600	700	150	3400	280	15
4135_13	126-62a	96.1	760	19	710	8	510	91	190	4100	14000	5200	1500	450	3300	<4
4136_13	127-63	94.5	530	440	130	2	3800	21	4	6800	8800	950	160	3800	470	42
4137_13	128-64	94.2	480	340	110	3	3800	35	6	8700	7700	320	160	4500	310	12
4138_13	129-65	94.3	700	110	18	<1	920	8	5	7800	15100	540	110	2600	26	65
4139_13	130-66	95.1	560	760	97	<1	1600	65	3	6700	1600	120	110	830	360	14
4140_13	131-67	95.0	2900	18	340	1	310	20	2	11600	3600	11500	1900	190	1900	<4
4141_13	132-68	93.1	550	510	150	1	7700	27	4	11300	9900	630	210	7200	300	20
Mittelwerte		93.9	550	310	240	3	3500	41	38	6800	13300	1300	520	3200	940	33

11.1.2 Skaftö-Reißscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4185_19	29274-1a	96	900	9	41000	5	150	440	5	530	100	1	930	12	8600	5
4186_19	29274-1b	97	1200	10	50500	5	700	110	2	260	80	1	760	18	12400	5
4187_19	29276.57	98	900	200	2600	4	9200	220	14	1600	480	200	320	900	3600	18
4188_19	29276.59	96	920	9	45100	3	2700	180	5	350	170	1	760	16	15300	5
4189_19	29276.58	97	790	45	2000	3	1300	280	2	1000	64	15	220	32	3900	25
4190_19	29276.36	98	760	38	5400	3	1300	300	4	870	72	14	270	30	4800	21
4191_19	29276.34	99	570	23	6000	14	700	470	11	640	75	13	290	37	3500	13
4192_19	29286.35	95	820	12	69600	8	250	550	1	120	31	1	860	25	8700	5
4193_19	29276.37	96	640	10	76000	6	890	46	3	120	31	1	1300	31	16300	5
Mittelwerte		97	830	40	33100	6	1900	290	5	610	120	27	630	120	8600	11

11.1.3 Heigoland-Reißscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4221_13	080600025000	92	590	26	290	2	680	1	<5	1100	17	68	1600	52	11500	55
3596_19	SH1980-272.1	93	810	16	330	24	190	4	45	1100	210	40	1000	41	10400	200
3597_19	SH1980-272.2	92	4600	28	370	29	350	4	19	1800	40	50	950	70	12300	250
3598_19	SH1980-272.3	96	4400	23	220	20	300	4	7	1200	54	81	1500	45	9400	300
3599_19	SH1980-272.4	94	2400	23	450	10	430	3	<4	1100	30	58	990	51	15500	230
3600_19	SH1980-272.5	97	3100	21	390	11	300	3	5	900	51	54	1100	40	13200	280
3601_19	SH1980-272.6	92	1100	21	240	7	380	5	10	1000	130	81	1400	33	10200	280
3602_19	SH1980-272.8	99	3000	20	260	9	310	3	<4	1500	50	82	1100	71	7800	100
3603_19	SH1980-272.11	98	3000	21	370	17	260	4	<4	1200	14	59	1000	31	13300	300
3604_19	SH1982-269.1	95	1800	18	310	10	220	4	<4	2000	23	120	2200	49	20700	240
3605_19	SH1982-269.2	95	2800	19	360	8	230	3	22	2700	280	12	1000	31	19900	390
3606_19	SH1982-269.3	97	2100	25	240	7	230	3	5	2400	52	26	1100	36	12200	210
3607_19	SH1982-269.4	92	4000	43	190	4	840	4	14	3900	150	100	1300	49	4300	160
3608_19	SH1982-269.5	78	2100	28	360	4	270	4	97	2300	1600	56	1000	78	12500	250
3609_19	SH1982-269.7	89	2500	30	330	4	510	4	23	2700	4700	63	1100	40	13200	310
3610_19	SH1982-269.8	94	1900	23	360	13	310	5	38	2400	2700	55	1200	120	15100	390
3611_19	SH1982-269.12	95	2300	29	840	6	330	3	4	3500	18	40	1300	48	21300	270
3612_19	SH1982-269.13	94	2200	22	280	5	280	3	14	3500	130	87	1200	83	14700	290
3613_19	SH1982-269.14	96	4400	24	190	4	2800	4	6	1600	13	68	2100	88	4800	73
3614_19	SH1982-269.16	96	2000	26	330	3	350	3	11	2300	180	110	1400	68	18300	240
3615_19	SH1982-269.17	98	2200	24	380	3	600	6	5	2000	47	82	1500	70	13700	250
3659_19	SH1980-272.12	98	2500	26	350	<3	260	3	5	1900	76	47	1200	42	12100	230
3660_19	SH1980-272.7	94	2700	17	360	12	250	5	11	920	42	50	1100	37	12200	300
Mittelwerte		94	2500	24	340	10	460	4	19	2000	460	65	1300	55	13000	240

11.1.4 Elbe-Reißscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt.%	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4138_16	41c/2	95.5	350	15	100	4	13400	1	4	230	10	1	2500	15	1000	25
4139_16	41c/3	95.7	250	10	70	3	13600	1	3	190	20	1	2900	10	1300	20
4140_16	41c/6	98.9	290	9	65	3	13400	1	3	270	15	0	2100	20	1000	20
4141_16	41c/7	95.7	320	15	150	3	13000	2	4	75	60	1	2900	10	1600	15
4142_16	41c/8	98.2	330	10	55	8	9100	1	23	80	30	1	2700	15	720	20
4143_16	41d	94.9	280	15	75	5	12800	1	50	2500	1100	1	2800	20	1200	20
4144_16	d	96.6	290	15	200	3	15500	1	10	150	120	1	2700	15	1100	15
4145_16	41d/1	93.7	250	9	150	3	15500	1	10	100	30	1	2900	15	1400	15
4146_16	41d/2	92.0	330	9	110	3	12500	1	190	530	480	1	2300	20	1400	20
4147_16	41e	95.7	350	7	150	3	9200	2	15	690	250	1	2400	15	1700	15
4148_16	41f	99.9	310	370	75	9	13200	2	6	210	80	1	2500	15	920	25
4149_16	41f/2	97.1	250	10	200	5	13500	1	4	85	30	1	2800	15	2500	10
4150_16	41f/3	96.4	390	100	85	4	14100	1	4	130	15	0	2500	15	840	20
4151_16	41g	94.1	250	8	140	3	11000	1	20	360	60	1	2600	15	1100	25
4152_16	41g/1	92.8	260	10	140	3	10300	2	25	220	850	1	2400	35	1000	30
4153_16	41h	100.1	330	7	150	3	8900	1	7	140	15	0	2600	20	1200	25
4154_16	41h/2	97.2	280	8	170	3	12700	1	15	100	60	1	2700	15	2000	15
4219_13	080502205000	95.9	350	7	114	2	24600	1	12	210	54	1	3400	5	1200	23
4220_13	080502192001	98.2	270	3	81	3	16600	1	5	120	62	2	3200	5	1200	4
4222_13	080502191001	96.8	290	4	168	2	15900	0	5	440	400	1	2900	9	1200	4
4223_13	080502193001	97.4	290	16	81	1	16600	1	6	130	36	0	3200	18	1300	4
4224_13	080502196001	68.2	190	39	50	1	10400	1	31	120	170	0	1900	35	570	4
4225_13	080502195001	98.3	340	14	98	1	21100	3	15	210	220	1	3000	42	1000	15
4227_13	080502197001	96.7	450	14	78	1	18500	1	5	97	15	0	3000	14	1100	4
4228_13	080502199001	96.7	340	14	115	1	19400	2	5	85	15	0	2800	10	990	14
4229_13	080502196002	95.4	320	4	94	1	19400	3	5	48	7	0	2700	6	970	17
Mittelwerte		95.3	310	28	110	3	14400	1	19	290	160	0.6	2700	17	1200	16

11.1.5 Terschelling Reißscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt.%	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4525_18	TRS1	98.7	800	<10	8200	5	25	460	7	10	25	<0.3	1200	3	3300	<10
4526_18	TRS2	86.6	260	<10	2000	<5	15600	200	60	400	450	0	300	100	290	<10
3773_19	LV-37.439	100	530	3	12600	<3	71	350	7	26	130	8	760	14	2900	<10
Mittelwerte		95.1	530	3	7600	5	5200	340	25	150	200	4	750	39	2200	10

11.1.6 Halbgossenkugeln

Lab.No.	Inv.No.	Herkunft	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4516_18	THG1	Terschelling II	94.0	290	<10	1900	<5	2000	95	6	50	110	1	1100	10	580	<10
4517_18	THG2	Terschelling II	94.9	300	<10	2000	<5	2000	100	10	35	100	1	1100	15	550	<10
4518_18	THG3	Terschelling II	91.7	330	<10	1700	<5	4800	110	6	25	140	1	1300	20	280	<10
4519_18	THG4	Terschelling II	92.2	290	<10	2300	<5	7100	55	30	110	240	1	1200	15	510	<10
4520_18	THG5	Terschelling II	95.0	270	<10	3400	<5	13400	95	25	75	55	1	970	40	530	<10
4521_18	THG6	Terschelling II	89.5	290	<10	1900	<5	6000	75	4	40	180	2	1200	10	350	<10
4522_18	THG7	Terschelling II	98.3	310	<10	1700	<5	1800	70	3	15	35	1	1200	7	400	<10
4523_18	THG8	Terschelling II	97.6	390	<10	2300	<5	4200	170	4	20	30	1	1500	7	620	<10
4524_18	THG9	Terschelling II	96.8	460	<10	2400	11	7300	200	35	100	170	0	990	10	550	<10
4142_13	M-1/1	Mozambique	98.0	430	1	2000	<1	2600	230	2	56	95	1	810	8	670	<3,5
Mittelwerte			95	340	<10	2200	11	5100	120	13	53	120	1	1100	14	500	<10

11.1.7 Vierkantkuper

Lab.No.	Inv.No.	Herkunft	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4514_18	TGH1	Terschelling II	93.5	660	<10	2800	12	7500	520	4	35	25	<1	830	15	1800	<10
3908/19	TGH3	Terschelling II	95	590	3	3800	4	10500	360	4	<20	450	<3	510	220	1100	<10
3756_19	LV-37.422	Terschelling II	99	460	9	2800	<3	9500	240	<4	<20	48	<3	490	10	920	<10
3757_19	LV-37.423	Terschelling II	98	310	4	1300	<3	15100	120	<4	<20	19	<3	280	18	230	14
3758_19	LV-37.424	Terschelling II	99	310	3	1300	<3	15500	150	5	<20	20	<3	290	7	220	<10
3759_19	LV-37.425	Terschelling II	98	490	4	3000	<3	9500	240	<4	<20	31	<3	520	15	1000	<10
3760_19	LV-37.426	Terschelling II	94	270	3	1600	<3	17800	95	4	<20	13	<3	280	12	320	97
3761_19	LV-37.427	Terschelling II	99	430	2	2700	<3	7700	180	<4	<20	16	<3	520	9	680	<10
3762_19	LV-37.428	Terschelling II	98	290	3	1100	<3	22000	110	<4	<20	20	<3	250	12	180	<10
3763_19	LV-37.429	Terschelling II	97	320	5	1800	11	15000	180	<4	<20	17	<3	320	13	250	<10
3764_19	LV-37.430	Terschelling II	99	280	4	1100	5	14700	110	4	<20	31	<3	250	19	200	<10
3765_19	LV-37.431	Terschelling II	99	390	3	2900	3	11400	220	<4	<20	34	<3	490	10	620	<10
3766_19	LV-37.432	Terschelling II	95	430	4	2500	<3	13300	340	<4	<20	17	<3	370	19	620	<10
3767_19	LV-37.433	Terschelling II	95	410	6	2200	<3	9600	140	<4	<20	13	<3	480	10	700	<10
3768_19	LV-37.434	Terschelling II	99	450	3	3300	<3	8700	180	<4	<20	21	<3	570	6	600	<10
3769_19	LV-37.435	Terschelling II	98	290	2	1200	<3	18000	110	<4	<20	10	<3	270	14	230	<10
3770_19	LV-37.436	Terschelling II	98	280	3	1200	<3	15200	110	<4	<20	31	<3	260	7	190	<10
3771_19	LV-37.437	Terschelling II	99	460	4	3900	11	10100	240	4	<20	16	<3	660	10	1000	<10
3772_19	LV-37.438	Terschelling II	98	410	3	3300	5	12200	220	4	<20	18	<3	480	27	570	32
4131_16	o. Nr. Pfarntk	Elbe	96	460	230	1900	4	1800	80	7	35	10	2	790	15	1100	15
4132_16	41a/1	Elbe	95	380	50	2500	4	2300	50	3	35	10	1	750	10	1100	<4
4133_16	414/2	Elbe	101	400	45	2000	3	2400	55	6	30	20	1	700	15	1200	35
4230_13	080502202001	Elbe	100.7	460	3	1600	6	2100	56	<5	<10	9	0	880	4	860	<3,5
Mittelwerte			98	400	18	2300	6	11000	180	5	34	39	1	490	22	680	39

11.1.8 Rundscheiben

Lab.No.	Inv.No.	Herkunft	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4226_13	080502207000	Elbe	100.4	420	4	1500	1	3000	57	<5	<10	36	1	940	15	570	<3,5
4231_13	08050203001	Elbe	100.3	550	27	2400	2	2200	42	27	<10	98	1	750	590	950	<3,5
4515_18	TGH2	Terschelling II	96.9	670	<10	2300	6	6400	240	4	30	350	<0,3	740	15	1500	<10
3755_19	.381	Terschelling I	98	440	5	1800	5	5900	73	7	<20	60	<3	830	27	930	<10
Mittelwerte			99	520	12	2000	4	4400	100	12	30	140	1	820	160	1000	<10

11.1.9 Ziegelkupferbarren

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
4134_16	41b/1	96.4	600	180	110	3	6600	50	2	340	15	30	85	130	210	10
4135_16	41b/2	96.1	580	65	20	3	2400	30	7	160	10	15	75	40	60	10
4136_16	41b/3	90.8	880	310	70	8	5000	40	40	270	25	75	65	130	160	55
4137_16	41b/5	98.4	850	170	85	5	5200	65	5	220	20	35	65	130	140	40
4143_13	080502175	98.3	360	40	130	1	7600	68	3	72	53	13	79	55	150	12
4144_13	080502174	97.8	340	42	69	<1	8000	65	20	35	29	56	100	90	110	14
4145_13	080502178	98.4	410	16	39	2	2400	27	3	45	20	20	76	39	57	6
4146_13	080502171	98.9	400	26	64	<1	7400	83	10	66	46	22	68	59	120	41
4147_13	080502173	94.2	370	51	80	1	9900	85	21	33	31	35	79	110	110	29
4148_13	080502181	98.7	780	81	57	4	5200	68	<5	360	190	110	82	29	110	20
4149_13	08050220100	98.6	400	33	50	<1	7500	78	1	44	14	21	81	32	68	47
4150_13	0805002177	97.7	220	66	82	6	10000	79	4	65	69	27	93	60	170	12
4151_13	080502182	100.9	630	59	60	6	3000	42	<5	190	1600	170	70	43	100	26
4152_13	080502179	100.6	700	28	51	2	5600	79	<5	320	57	7	53	45	120	26
4153_13	080502200	95.2	1540	69	80	2	9500	200	<5	51	56	10	58	55	170	12
4154_13	080502180	96.2	410	35	88	<1	15000	160	4	71	18	13	61	54	250	19
4155_13	080502176	100.1	780	21	51	1	7400	65	<5	290	46	11	48	37	150	32
Mittelwerte		97	600	76	70	3	6900	75	10	160	140	39	73	67	130	24

11.1.10 Armreife

Lab.No.	Inv.No.	Cu wt. %	Ag	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se
3860_19	OVA-1	96	330	95	230	3	3400	3	3	190	490	18	66	19	2000	<5
4183_19	OVA-2	97	400	33	260	20	1600	2	4	5	58	1	30	10	4600	20
4184_19	OVA-3	98	590	15	120	7	1300	1	16	5	78	1	15	10	1100	<5
Mittelwerte		97	440	48	200	10	2100	2	8	67	210	6	37	13	2600	10

11.2 Messing

Cu, Zn und Pb in Gew.-% , alle anderen Elemente in ppm.

11.2.1 Stangen

Lab.No.	Inv.No.	%Cu	%Zn	%Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
4527_18	Tms-1	70.2	27.5	1.6	200	30	160	6	15	6	290	2200	70	460	350	<10
3893_19	Tms-2	71.5	28.3	1.5	150	120	320	6	12	5	80	2200	120	490	230	<10
3894_19	Tms-3	67.8	28.4	1.6	200	61	160	5	13	5	53	2100	84	530	310	<10
3895_19	Tms-4	66.3	30.3	2.0	180	14	96	15	10	8	81	2800	110	270	300	<10
3896_19	Tms-5	70.2	27.2	1.6	190	25	120	15	14	6	94	2100	64	470	300	14
3897_19	Tms-6	65.8	27.7	1.8	270	31	120	9	13	6	300	1600	120	590	480	14
3898_19	Tms-7	68.4	26.9	1.5	150	35	110	6	11	5	290	2100	110	470	250	<10
3899_19	Tms-8	66.8	26.3	1.6	150	21	130	6	13	8	<20	1900	91	420	340	<10
3900_19	Tms-9	66.0	28.5	1.8	260	47	80	5	13	5	23	1400	160	610	420	<10
3901_19	Tms-10	68.1	26.7	1.5	190	22	100	4	12	6	340	2100	63	460	300	<10
3902_19	Tms-11	67.0	27.1	1.5	190	32	97	4	13	4	51	1500	98	480	310	<10
Mittelwerte		68.0	27.7	1.6	190	40	140	7	13	6	160	2000	99	480	330	10

11.2.2 Manillen

Lab.No.	Inv.No.	%Cu	%Zn	%Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
5043_20	VGO-1	72.4	19.2	7.2	140	710	370	12	11	17	730	4200	160	4000	5600	46
5044_20	VGO-2	70.3	19.1	8.3	160	440	380	20	10	40	560	3900	150	4000	5800	46
5045_20	VGO-3	75.2	18.2	3.8	94	4500	790	4	17	8	1000	5400	16	2500	820	9
5046_20	VGO-4	75.4	17.8	4.2	62	10900	890	5	29	62	1200	9700	35	2300	1400	9
5047_20	VGO-5	72.4	19.8	5.1	140	5400	1200	7	30	40	1600	6100	18	2300	1000	10
5048_20	VGO-6	73.5	21.1	1.9	32	3100	1600	4	24	40	610	5100	23	2700	1100	10
5049_20	VGO-7	69.4	17.4	8.5	170	330	340	6	10	14	660	2600	130	3600	5100	59
5050_20	VGO-8	71.8	23.3	0.7	150	18700	110	6	6	15	880	11900	28	1700	520	<5
5051_20	VGO-9	73.8	18.5	5.0	200	13300	840	9	22	34	680	4000	22	1700	990	12
5052_20	VGO-10	6.19	0.01	15.7	59	424600	640	38	57	10	110	200	1	13	180	<5
5053_20	VGO-11	6.40	0.00	62.6	14	2500	16	<4	8	2	63	640	2	5	<5	<5
3661_19	D1696	73.7	22.4	2.7	230	57	3000	<3	35	10	210	2500	11	2300	920	<10
3662_19	D1700	59.5	22.2	10.6	280	31	2700	<3	140	9	87	2900	5	520	570	<10

11.2.3 Spiralleife

Lab.No.	Inv.No.	% Cu	% Zn	% Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
4583_19	Denk 139	67.2	30.9	0.5	180	56	71	37	140	4	110	370	<2	1100	150	42
4584_19	Denk 140	64.6	32.6	0.5	170	39	56	34	82	23	100	400	<2	360	150	100
Mittelwerte		66	32	0.5	180	47	63	36	110	13	110	390	2	730	150	71

11.2.4 Töpfe

Lab.No.	Inv.No.	% Cu	% Zn	% Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
3903_19	Topf 1	62.3	28.9	2.2	290	1800	140	3	20	7	240	1800	69	480	630	<10
3904_19	Topf 2	65.5	26.8	2.5	260	150	110	<3	11	14	460	2400	230	900	520	<10
3905_19	Topf 3	61.2	28.8	2.4	270	460	120	<3	13	13	600	3300	86	380	540	<10
3906_19	Topf 4	66.9	26.8	2.2	250	140	110	12	11	11	490	2600	210	930	550	16
3907_19	Topf 5	63.1	29.1	2.5	270	1700	120	6	18	6	180	1500	68	460	580	<10
Mittelwerte		64	28	2.4	270	850	120	7	15	10	390	2300	130	630	560	16

11.2.5 Blech

Lab.No.	Inv.No.	% Cu	% Zn	% Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
3821_19	BZN2.440	48.2	26.7	0.2	1100	58	120	4	49	13	1400	760	16	74	290	61
3822_19	BZN2.441	70.8	22.5	0.5	1100	43	91	4	88	49	1800	570	14	55	250	26
3823_19	BZN2.442	70.7	24.0	0.7	4000	160	210	8	86	5100	8800	3100	18	118	620	60
Mittelwerte		63	24	0.5	2100	87	140	5	74	1700	4000	1500	16	82	390	49

11.2.6 Barren

Lab.No.	Inv.No.	% Cu	% Zn	% Pb	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	As	Se
4182_19	314_366	84.7	4.0	1.7	360	73100	670	12	20	59	840	1000	48	6700	230	23

11.3 Zinn

Sn-Gehalte in Gew.-% alle anderen Elemente in ppm.

11.3.1 Barren der Bom Jesus/Namibia

Lab.No.	Inv.No.	%Sn	Ag	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se
3571_18	B6052	n.b.	20	70	190	1100	25	15	100	5300	3	30	100	15	1300	<15
3572_18	B6095	n.b.	6	45	170	65	25	5	10	230	2	35	85	15	1200	<15
3574_18	B6157	n.b.	5	45	180	830	30	5	10	170	2	25	100	9	930	<15
3575_18	B6165	n.b.	5	50	150	190	25	60	210	3500	9	30	170	20	960	<15
3576_18	B6168	n.b.	3	35	150	190	15	140	590	17400	10	30	2100	9	1600	<15
3577_18	B6173	n.b.	2	40	190	60	6	5	20	140	3	25	30	7	35	<15
3578_18	B6174	n.b.	4	45	170	270	20	6	20	540	2	35	160	9	790	<15
3579_18	B6176	n.b.	3	35	160	150	20	70	380	860	3	35	210	8	450	<15
3580_18	B6194	n.b.	4	40	170	65	25	6	55	160	3	30	130	10	1200	<15
3581_18	B6195	n.b.	4	40	180	190	20	30	390	740	3	30	75	8	930	<15
3582_18	B6198	n.b.	4	40	160	740	30	30	210	760	3	30	370	10	860	<15
3583_18	B6654	n.b.	4	40	190	130	20	6	25	190	2	30	80	20	860	<15
3584_18	B6658	n.b.	4	40	180	850	25	6	20	240	2	35	100	10	720	<15
3585_18	B6663	n.b.	55	75	9	398400	8	15	90	200	1	20	60	5	35	<15
3586_18	B6664	n.b.	3	40	160	1000	20	40	30	24800	8	20	75	6	3100	<15
3587_18	B6674	n.b.	4	30	180	240	7	6	1	3400	4	15	45	9	45	<15
3588_18	B6682	n.b.	3	50	170	670	25	5	15	140	2	25	30	5	930	<15
3589_18	B6683	n.b.	3	25	100	11100	15	80	2000	9900	5	25	310	15	1200	<15
3590_18	B6688	n.b.	7	40	180	370	20	4	20	280	3	30	85	6	1400	<15
3592_18	B7460	n.b.	2	30	170	55	6	4	25	210	3	25	80	5	25	<15
3594_18	B7465	n.b.	4	40	170	270	20	9	160	630	3	25	100	10	840	<15
3596_18	B7467	n.b.	3	30	170	110	15	4	<10	170	3	30	140	2	570	<15
3598_18	B7476	n.b.	3	30	170	55	6	4	30	500	3	25	95	2	30	<15
3600_18	B7481	n.b.	20	35	160	75	20	20	185	4600	4	25	55	5	1400	<15
3601_18	B7485	n.b.	5	40	180	55	25	6	35	280	2	25	75	8	1000	<15
3602_18	B7489	n.b.	4	40	170	65	25	4	100	800	2	25	35	5	750	<15
Mittelwerte ohne Ausreißer																
			5	40	170	330	20	20	120	2800	4	28	190	9	910	15

11.3.2 Barren von Texel

Lab.No.	Inv.No.	%Sn	Ag	Sb	Te	Pb	Bi	P	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se
3774_19	A.M.-7.8.7.15	92.6	2	61	49	81	3300	35	<50	490	19	65	<55	49	5800	<10
3775_19	A.M.-1993-48	98.3	5	51	51	18	310	130	<50	5600	6	31	<55	30	350	<10
3776_19	A.M.-102.3.I.A.	98.6	3	61	53	37	2600	17	<50	200	2	25	<55	10	120	<10
3777_19	A.M.-102.3.I.B.	93.2	3	57	44	34	2400	16	<50	1900	3	25	<55	10	72	<10
3778_19	A.M.-102.3.I.C.	85.2	3	47	43	49	1700	6	<50	39	2	25	<55	14	270	<10
3779_19	A.M.-102.3.I.D.	99.2	3	50	48	6	2100	9	<50	59	2	25	<55	24	320	<10
3780_19	A.M.-102.3.I.E.	93.9	6	51	44	42	1400	58	<50	310	3	25	<55	24	220	<10
3781_19	A.M.-102.3.I.F.	99.1	2	50	46	3	5300	10	<50	<15	6	25	<55	10	360	<10
3782_19	A.M.-102.3.I.G.	94.8	2	51	48	37	4300	13	<50	2000	4	25	<55	10	330	<10
3783_19	A.M.-105.5.I	94.4	6	54	43	30	3100	38	<50	420	2	25	<55	26	86	<10
3784_19	A.M.-102.3.I.4(-001)	72.0	4	50	36	18	1700	11	<50	54	3	29	<55	10	120	<10
3785_19	A.M.-102.4.4.	1.0	2	30	11	19	11	12	<50	<15	3	25	<55	10	<20	<10
3786_19	A.M.-106.6.2	98.3	2	160	47	56	1100	72	<50	1400	33	39	75	10	<20	<10
3787_19	A.M.-102.1.1/2.5	69.7	3	49	34	23	2000	35	<50	150	3	25	63	17	30	<10
3788_18	A.M.-MM 25-6-1	37.6	13	41	24	16	3000	52	<50	110	2	30	<55	10	98	<10
3789_19	A.M.-1993-28	75.6	8	48	38	23	48	54	<50	940	2	25	<55	19	<20	<10
3790_19	A.M.-1992-2	74.2	3	54	37	13	2400	550	<50	130	2	25	<55	10	65	<10
3791_19	A.M.-1527-6-8	56.6	2	41	30	16	1100	6	<50	35	3	33	<55	10	200	<10
3792_19	A.M.-2/3.01.2.4.17	93.8	2	80	46	78	630	53	<50	3100	11	25	<55	10	2300	<10
3793_19	A.M.-7.8.12	40.4	2	50	26	35	10	34	<50	1100	13	40	<55	10	28	<10
3794_19	A.M.-1993.19	99.4	2	200	46	25	120	22	<50	3000	8	29	<55	10	170	<10
3795_19	A.M.-2/3.01.2.4.18	84.5	2	92	41	17	470	14	<50	1600	4	25	<55	10	28	<10
3796_19	A.M.-2/3.01.2.4.15	77.9	2	52	37	53	4700	16	<50	1300	4	25	<55	10	61	<10
3797_19	A.M.-2/3.01.2.4.21	95.7	2	81	44	59	530	19	<50	150	4	25	<55	10	300	<10
3798_19	A.M.-2/3.01.2.4.16	91.4	2	67	45	480	1000	20	<50	3400	10	29	<55	10	870	<10
3799_19	A.M.-2/3.01.2.4.10	90.9	2	77	42	43	230	33	<50	300	38	29	<55	730	2500	<10
3800_19	A.M.-7.5.1.3	90.6	2	51	43	19	970	56	<50	140	2	25	<55	16	91	<10
3801_19	000	65.4	2	48	33	24	3100	48	<50	7100	54	39	<55	28	7500	<10
	Mittelwerte	81	3	64	40	48	1800	51	50	1300	9	29	69	41	890	10

11.4 Blei

Alle Elemente in ppm.

11.4.1 Barren aus der Slowakei

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
4513_15	Sp.D.001	15	2	10800	5	1100	5	25	15	280	10300	10	80	<10
4514_15	Sp.D.002	40	0	620	3	30	5	5	15	10	150	15	70	<10
4515_15	Sp.D.003	70	0	180	2	10	5	5	15	7	9	10	35	<10
4516_15	Sp.D.004	50	3	240	8	10	15	5	15	8	10	15	35	<10
4517_15	Sp.D.005	50	1	140	4	9	5	5	15	9	15	10	40	<10
4518_15	Sp.D.006	15	0	75	2	8	20	5	35	8	15	10	35	<10
4519_15	Sp.D.007	75	1	70	2	9	10	5	35	9	30	10	25	<10
4520_15	Sp.D.008	25	1	80	15	9	6	5	15	8	5	10	30	<10
4179_19	898/30	46	9	150	6	13	17	13	480	15	340	44	11	1
4180_19	899/30	36	3	170	7	13	14	10	90	7	700	83	120	2
4181_19	729/30	89	7	64	6	13	61	110	20	6	500	32	12	1
Mittelwerte		46	3	1100	5	110	15	18	68	33	1100	23	45	<10

11.4.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3560_18	B6719	75	30	70	4	15	3	170	75	15	90	5	1	<2
3561_18	B6721	20	55	250	10	15	170	3800	35	15	120	5	2	<2
3562_18	B6722	100	8	300	6	10	1	830	25	80	450	3	10	<2
3563_18	B6732	35	65	160	5	10	25	290	110	5	140	4	1	<2
3564_18	B6738	50	8	80	4	10	55	110	35	15	270	3	1	<2
3565_18	B6749	35	220	1500	4	10	15	100	25	5	140	3	1	<2
3566_18	B6751	45	10	210	3	10	5	280	15	15	95	3	1	<2
3567_18	B6755	35	40	210	3	10	7	110	1300	8	35	3	1	<2
3568_18	B6787	35	9	2100	3	10	1.0	15	15	6	100	2	1	<2
3569_18	B6790	50	20	300	10	15	25	120	15	15	120	4	2	<2
3570_18	B6792	20	20	140	6	10	370	800	980	7	250	2	1	<2
Mittelwerte		45	44	480	5	11	61	600	240	17	170	3	2	<2

11.4.3 Barren aus niederländischen Gewässern

11.4.3.1 Loose Vonds

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3802_19	LV-146_001	46	55	230	3	14	74	2000	190	11	80	37	12	2
3803_19	LV-146_002	100	1	33	3	15	16	190	90	12	170	17	3	1
3804_19	LV-147	45	1	160	3	16	30	820	55	12	180	12	2	1
3805_19	LV-148	65	5	48	3	15	5	95	8	11	120	14	3	1
3806_19	LV-149	41	1	190	3	14	26	670	210	10	50	97	3	1
3807_19	LV-150	78	1	63	3	15	7	510	56	13	110	8	2	2
3808_19	LV-151	76	1	560	32	15	10	1000	24	17	210	13	3	2
Mittelwerte		64	9	180	7	15	24	760	90	12	130	28	4	2

11.4.3.2 Texel

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3809_19	A.M.-8.1.3	230	1	810	11	16	3	55	8	3	240	9	870	1
3810_19	A.M.8.2.3	51	14	180	6	14	67	220	27	1	70	12	160	1
3811_19	A.M.8.2.8	40	13	110	5	14	97	890	57	4	55	39	11	1
3812_19	A.M.6.3.1	88	9	180	4	14	123	290	24	2	30	12	6	1
3813_19	A.M.7.3.10	26	240	31	4	11	1900	18500	660	4	50	120	57	1
3814_19	A.M.0000	15	4	190	10	16	3	33	12	8	75	11	9	1
Mittelwerte		75	47	250	7	14	370	3300	130	4	87	34	190	1

11.4.3.3 Flevoland

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3815_19	MA_M11-106	210	2	110	5	17	50	220	41	4	180	14	3	1
3816_19	MA_M11-107	230	2	130	4	19	36	190	33	6	180	5	2	1
3817_19	MA_M11-108	72	310	310	4	19	98	650	61	19	520	7	5	1
3818_19	MA_M11-109	130	4	1100	4	17	65	500	79	34	170	14	6	1
3819_19	MA_M11-110	230	23	210	3	20	70	360	38	9	170	9	2	1
3820_19	MA_M11-111	130	4	1400	35	17	22	60	6	3	240	8	3	2
Mittelwerte		170	57	540	9	18	57	330	43	13	240	9	4	1

11.4.3.4 Burgzand II

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3824_19	BZN2-534	21	1	1500	12	89	4	39	4	30	17300	9	8	2

11.4.3.5 Burgzand VIII

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3825_19	BZN8-398	38	4	140	7	16	46	730	63	5	50	19	5	1

11.4.3.6 Oostvoorne

Lab.No.	Inv.No.	Ag	Sn	Sb	Te	Bi	P	S	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se
3826_19	OVMI-001	44	1	66	5	15	46	190	330	19	120	8	1	1

12 MC-ICP-MS Analysetabellen

12.1 Kupfer

12.1.1 Mönchgut_92 Reifsscheiben

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4076-13	67-1	15.742	0.036	15.345	0.037	35.23	0.08	0.9748	0.0005	2.2379	0.0011
4077-13	68-2	15.729	0.108	15.342	0.106	35.22	0.24	0.9754	0.0015	2.2389	0.0026
4078-13	69-3	15.746	0.023	15.347	0.023	35.24	0.06	0.9747	0.0005	2.2381	0.0010
4079-13	70-4	15.748	0.017	15.347	0.018	35.24	0.04	0.9745	0.0003	2.2377	0.0010
4080-13	71-5	15.752	0.020	15.356	0.021	35.26	0.05	0.9749	0.0004	2.2384	0.0011
4081-13	72-6	15.850	0.028	15.371	0.028	35.35	0.07	0.9697	0.0004	2.2302	0.0012
4082-13	73-7	15.738	0.026	15.345	0.027	35.23	0.07	0.9750	0.0005	2.2385	0.0012
4083-13	74-8	15.736	0.026	15.344	0.026	35.23	0.06	0.9751	0.0004	2.2387	0.0011
4084-13	75-9	15.741	0.025	15.345	0.025	35.23	0.06	0.9748	0.0004	2.2384	0.0010
4085-13	76-10	15.739	0.024	15.342	0.025	35.22	0.06	0.9748	0.0006	2.2379	0.0012
4086-13	77-11	15.770	0.019	15.350	0.021	35.26	0.05	0.9733	0.0003	2.2357	0.0010
4087-13	78-12	15.844	0.021	15.369	0.021	35.34	0.05	0.9700	0.0003	2.2304	0.0009
4088-13	79-13	15.747	0.025	15.347	0.024	35.24	0.06	0.9746	0.0004	2.2379	0.0010
4089-13	80-14	15.735	0.025	15.345	0.026	35.23	0.07	0.9752	0.0004	2.2390	0.0013
4090-13	81-15	15.736	0.021	15.347	0.020	35.23	0.05	0.9752	0.0004	2.2388	0.0009
4091-13	82-16	15.734	0.022	15.344	0.022	35.23	0.06	0.9752	0.0004	2.2392	0.0012
4092-13	83-17	15.742	0.018	15.346	0.019	35.23	0.05	0.9748	0.0004	2.2381	0.0010
4093-13	84-18	15.739	0.017	15.344	0.018	35.23	0.04	0.9749	0.0003	2.2382	0.0010
4094-13	85-19	15.743	0.019	15.344	0.020	35.23	0.05	0.9747	0.0004	2.2379	0.0011
4095-13	86-20	15.735	0.026	15.345	0.026	35.23	0.06	0.9752	0.0005	2.2388	0.0011
4096-13	87-21	15.842	0.018	15.430	0.019	35.44	0.05	0.9740	0.0003	2.2370	0.0010
4097-13	88-22	15.721	0.016	15.342	0.016	35.22	0.04	0.9759	0.0003	2.2402	0.0010
4098-13	89-23	15.752	0.021	15.354	0.021	35.25	0.05	0.9747	0.0004	2.2378	0.0011
4099-13	90-24	15.724	0.022	15.340	0.022	35.22	0.05	0.9756	0.0004	2.2397	0.0010
4100-13	91-25	15.879	0.027	15.366	0.027	35.38	0.06	0.9677	0.0004	2.2279	0.0013
4101-13	92-26	15.899	0.017	15.375	0.018	35.41	0.05	0.9671	0.0003	2.2270	0.0011
4102-13	93-27	15.840	0.016	15.366	0.017	35.33	0.04	0.9701	0.0003	2.2304	0.0009
4103-13	94-28	15.844	0.020	15.367	0.020	35.34	0.05	0.9699	0.0004	2.2302	0.0011
4104-13	95-30	15.841	0.029	15.366	0.029	35.33	0.07	0.9700	0.0004	2.2305	0.0012
4105-13	96-31	15.741	0.019	15.346	0.020	35.23	0.05	0.9749	0.0004	2.2383	0.0011
4106-13	97-32	15.734	0.020	15.342	0.022	35.22	0.05	0.9751	0.0004	2.2386	0.0011
4107-13	98-33	15.842	0.013	15.368	0.014	35.33	0.04	0.9701	0.0002	2.2305	0.0008

Mönchgut_92 Reißscheiben (Fortsetzung)

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4108-13	99-34	15.863	0.013	15.368	0.012	35.35	0.03	0.9688	0.0002	2.2286	0.0007
4109_13	100-35	16.013	0.015	15.386	0.014	35.45	0.04	0.9609	0.0002	2.2137	0.0007
4110_13	101-36	15.863	0.016	15.369	0.016	35.35	0.04	0.9688	0.0003	2.2286	0.0009
4111_13	102-37	15.859	0.021	15.369	0.021	35.36	0.05	0.9691	0.0003	2.2293	0.0010
4112_13	103-38	15.865	0.014	15.369	0.014	35.36	0.04	0.9688	0.0002	2.2286	0.0008
4113_13	104-39	15.747	0.021	15.347	0.021	35.24	0.05	0.9746	0.0003	2.2379	0.0009
4114_13	105-41	15.857	0.052	15.366	0.051	35.35	0.12	0.9691	0.0008	2.2291	0.0013
4115_13	106-42	15.741	0.017	15.344	0.017	35.23	0.04	0.9748	0.0003	2.2379	0.0009
4116_13	107-43	15.746	0.018	15.347	0.019	35.24	0.05	0.9746	0.0003	2.2378	0.0009
4117_13	108-44	15.871	0.020	15.370	0.021	35.36	0.05	0.9684	0.0004	2.2282	0.0012
4118-13	109-45	15.863	0.014	15.369	0.014	35.35	0.03	0.9689	0.0003	2.2287	0.0008
4119-13	110-46	15.728	0.019	15.342	0.017	35.22	0.04	0.9755	0.0003	2.2395	0.0007
4120-13	111-47	15.740	0.022	15.344	0.022	35.23	0.05	0.9748	0.0004	2.2381	0.0012
4121-13	112-48	15.742	0.016	15.346	0.017	35.23	0.04	0.9749	0.0003	2.2382	0.0010
4122-13	113-49	15.743	0.017	15.343	0.017	35.23	0.04	0.9746	0.0003	2.2377	0.0010
4123-13	114-50	15.738	0.017	15.343	0.017	35.23	0.04	0.9749	0.0004	2.2383	0.0012
4124_13	115-51	15.751	0.022	15.347	0.024	35.24	0.06	0.9743	0.0004	2.2374	0.0013
4125_13	116-52a	15.789	0.020	15.349	0.019	35.28	0.05	0.9722	0.0004	2.2347	0.0010
4126-13	117-52b	15.743	0.018	15.344	0.019	35.23	0.05	0.9747	0.0003	2.2380	0.0011
4127-13	118-54	15.746	0.021	15.345	0.021	35.24	0.06	0.9745	0.0004	2.2378	0.0013
4128-13	119-55	15.737	0.026	15.344	0.026	35.23	0.06	0.9750	0.0004	2.2385	0.0012
4129-13	120-56	15.857	0.023	15.370	0.022	35.36	0.06	0.9693	0.0003	2.2299	0.0011
4130-13	121-57	15.718	0.031	15.339	0.031	35.21	0.07	0.9759	0.0007	2.2402	0.0014
4131-13	122-59	15.744	0.025	15.344	0.025	35.23	0.06	0.9746	0.0003	2.2377	0.0012
4132-13	123-60	15.746	0.022	15.345	0.021	35.23	0.05	0.9746	0.0004	2.2376	0.0012
4133-13	124-61	15.754	0.039	15.351	0.038	35.25	0.09	0.9744	0.0005	2.2374	0.0013
4134-13	125-62	15.741	0.040	15.346	0.040	35.23	0.10	0.9749	0.0004	2.2384	0.0013
4135-13	126-62a	15.856	0.036	15.368	0.036	35.36	0.09	0.9692	0.0005	2.2299	0.0013
4136-13	127-63	15.745	0.026	15.343	0.024	35.23	0.06	0.9745	0.0005	2.2375	0.0012
4137-13	128-64	15.739	0.032	15.344	0.033	35.23	0.08	0.9749	0.0004	2.2382	0.0013
4138-13	129-65	15.752	0.025	15.346	0.025	35.24	0.07	0.9742	0.0005	2.2372	0.0015
4139-13	130-66	15.756	0.017	15.349	0.017	35.25	0.04	0.9742	0.0003	2.2371	0.0012
4140-13	131-67	15.877	0.031	15.374	0.030	35.39	0.07	0.9683	0.0004	2.2290	0.0011
4141-13	132-68	15.733	0.028	15.343	0.028	35.23	0.07	0.9752	0.0005	2.2390	0.0011

12.1.2 Skafftö-Reißscheiben

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4185_19	29274-1a	18.392	0.027	15.652	0.025	38.47	0.06	0.8511	0.0002	2.0920	0.0005
4186_19	29274-1b	18.410	0.016	15.645	0.015	38.46	0.04	0.8498	0.0001	2.0893	0.0004
4187_19	29276.57	18.149	0.012	15.650	0.010	38.29	0.03	0.8623	0.0001	2.1099	0.0004
4188_19	29276.59	18.182	0.014	15.649	0.012	38.32	0.03	0.8607	0.0001	2.1078	0.0003
4189_19	29276.58	18.068	0.016	15.656	0.016	38.26	0.04	0.8665	0.0001	2.1174	0.0005
4190_19	29276.36	18.144	0.013	15.647	0.011	38.28	0.03	0.8623	0.0001	2.1097	0.0005
4191_19	29276.34	18.146	0.014	15.649	0.013	38.30	0.03	0.8624	0.0001	2.1109	0.0003
4192_19	29286.35	18.379	0.016	15.653	0.015	38.46	0.04	0.8517	0.0002	2.0928	0.0008
4193_19	29276.37	18.386	0.014	15.649	0.013	38.46	0.03	0.8511	0.0001	2.0919	0.0003

12.1.3 Helgoland-Reißscheiben

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4221_13	8050000231	18.449	0.029	15.630	0.024	38.34	0.06	0.8472	0.0003	2.0781	0.0010
3596_19	SH1980-272.1	18.467	0.010	15.634	0.009	38.38	0.02	0.8466	0.0001	2.0783	0.0004
3597_19	SH1980-272.2	18.455	0.012	15.631	0.009	38.37	0.02	0.8470	0.0001	2.0792	0.0002
3598_19	SH1980-272.3	18.477	0.011	15.632	0.009	38.38	0.03	0.8460	0.0001	2.0772	0.0003
3599_19	SH1980-272.4	18.457	0.012	15.634	0.010	38.38	0.02	0.8470	0.0001	2.0793	0.0002
3600_19	SH1980-272.5	18.504	0.009	15.642	0.007	38.42	0.02	0.8453	0.0001	2.0760	0.0002
3601_19	SH1980-272.6	18.484	0.013	15.641	0.012	38.40	0.03	0.8462	0.0001	2.0777	0.0005
3602_19	SH1980-272.8	18.469	0.013	15.635	0.011	38.40	0.03	0.8466	0.0001	2.0791	0.0002
3603_19	SH1980-272.11	18.463	0.011	15.636	0.010	38.39	0.02	0.8469	0.0001	2.0793	0.0002
3604_19	SH1982-269.1	18.508	0.013	15.640	0.011	38.39	0.03	0.8450	0.0001	2.0744	0.0002
3605_19	SH1982-269.2	18.499	0.010	15.668	0.009	38.49	0.03	0.8470	0.0001	2.0809	0.0004
3606_19	SH1982-269.3	18.472	0.009	15.637	0.008	38.39	0.02	0.8465	0.0001	2.0784	0.0002
3607_19	SH1982-269.4	18.643	0.009	15.662	0.009	38.45	0.03	0.8401	0.0001	2.0626	0.0004
3608_19	SH1982-269.5	18.496	0.010	15.637	0.009	38.40	0.02	0.8454	0.0001	2.0761	0.0001
3609_19	SH1982-269.7	18.484	0.013	15.635	0.012	38.40	0.03	0.8459	0.0001	2.0777	0.0001
3610_19	SH1982-269.8	18.490	0.012	15.635	0.010	38.39	0.02	0.8456	0.0000	2.0762	0.0001
3611_19	SH1982-269.12	18.504	0.009	15.647	0.009	38.44	0.02	0.8456	0.0002	2.0771	0.0007
3612_19	SH1982-269.13	18.479	0.009	15.638	0.008	38.39	0.02	0.8462	0.0001	2.0777	0.0002
3613_19	SH1982-269.14	18.478	0.008	15.635	0.007	38.37	0.02	0.8461	0.0001	2.0768	0.0003
3614_19	SH1982-269.16	18.468	0.014	15.634	0.012	38.39	0.03	0.8466	0.0001	2.0788	0.0002
3615_19	SH1982-269.17	18.472	0.013	15.631	0.011	38.38	0.03	0.8462	0.0001	2.0777	0.0002
3659_19	SH1980-272.12	18.416	0.013	15.618	0.011	38.40	0.03	0.8481	0.0001	2.0852	0.0002
3660_19	SH1980-272.7	18.418	0.011	15.617	0.009	38.41	0.02	0.8479	0.0001	2.0850	0.0003

12.1.4 Elbe-Reißscheiben

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD
4138_16	41c/2	18.403	0.019	15.626	0.015	38.40	0.04	0.8491	0.0002	2.0865	0.0004
4139_16	41c/3	18.424	0.008	15.622	0.008	38.41	0.03	0.8479	0.0002	2.0847	0.0007
4140_16	41c/6	18.427	0.006	15.626	0.007	38.42	0.02	0.8480	0.0001	2.0850	0.0007
4142_16	41c/8	18.427	0.007	15.623	0.008	38.42	0.02	0.8478	0.0001	2.0847	0.0004
4143_16	41d	18.426	0.010	15.624	0.011	38.41	0.03	0.8479	0.0002	2.0847	0.0006
4144_16	d	18.417	0.007	15.624	0.007	38.41	0.02	0.8483	0.0001	2.0853	0.0006
4145_16	41d/1	18.428	0.006	15.624	0.007	38.42	0.02	0.8479	0.0002	2.0847	0.0005
4146_16	41d/2	18.403	0.071	15.622	0.084	38.39	0.28	0.8489	0.0011	2.0866	0.0060
4147_16	41e	18.430	0.007	15.625	0.007	38.42	0.02	0.8478	0.0001	2.0846	0.0005
4148_16	41f	18.425	0.007	15.622	0.010	38.41	0.03	0.8478	0.0002	2.0845	0.0007
4150_16	41f/3	18.430	0.014	15.650	0.012	38.48	0.09	0.8490	0.0001	2.0865	0.0003
4151_16	41g	18.430	0.036	15.625	0.034	38.42	0.03	0.8477	0.0007	2.0839	0.0046
4152_16	41g/1	18.425	0.009	15.623	0.011	31.80	1.17	0.8479	0.0002	1.7258	0.0630
4153_16	41h	18.405	0.010	15.626	0.011	38.40	0.03	0.8490	0.0002	2.0863	0.0009
4154_16	41h/2	18.417	0.008	15.627	0.009	38.41	0.03	0.8485	0.0002	2.0859	0.0007
4219_13	08050205000	18.401	0.025	15.623	0.021	38.39	0.06	0.8491	0.0002	2.0864	0.0007
4220_13	080502192001	18.425	0.023	15.622	0.020	38.41	0.05	0.8479	0.0003	2.0847	0.0010
4222_13	080502191001	18.417	0.027	15.625	0.024	38.41	0.06	0.8484	0.0003	2.0857	0.0009
4223_13	080502193001	18.426	0.025	15.620	0.022	38.41	0.06	0.8478	0.0003	2.0845	0.0008
4224_13	080502196001	18.428	0.026	15.623	0.022	38.41	0.06	0.8478	0.0003	2.0846	0.0009
4225_13	080502195001	18.423	0.022	15.620	0.018	38.41	0.05	0.8478	0.0003	2.0847	0.0007
4227_13	080502197001	18.427	0.020	15.622	0.018	38.41	0.05	0.8478	0.0002	2.0847	0.0008
4228_13	080502199001	18.430	0.028	15.624	0.024	38.42	0.06	0.8478	0.0003	2.0844	0.0008
4229_13	08052196002	18.427	0.024	15.623	0.021	38.41	0.05	0.8478	0.0003	2.0847	0.0008

12.1.5 Terschelling-Reißscheiben

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD
4525_18	TRS1	18.382	0.031	15.624	0.028	38.39	0.06	0.8500	0.0003	2.0887	0.0007
4526_18	TRS2	18.416	0.036	15.624	0.029	38.40	0.07	0.8483	0.0001	2.0849	0.0004

12.1.6 Halbgossenkugeln

Lab. No.	Inv. No.	Herkunft	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4516_18	THG1	Terschelling II	18.422	0.028	15.624	0.024	38.41	0.06	0.8481	0.0001	2.0851	0.0004
4517_18	THG2	Terschelling II	18.422	0.026	15.624	0.022	38.41	0.06	0.8481	0.0001	2.0850	0.0003
4518_18	THG3	Terschelling II	18.422	0.034	15.623	0.028	38.41	0.07	0.8481	0.0001	2.0849	0.0004
4519_18	THG4	Terschelling II	18.422	0.032	15.622	0.027	38.41	0.07	0.8480	0.0001	2.0849	0.0003
4520_18	THG5	Terschelling II	18.421	0.026	15.622	0.023	38.41	0.06	0.8481	0.0001	2.0849	0.0003
4521_18	THG6	Terschelling II	18.424	0.031	15.625	0.026	38.41	0.07	0.8481	0.0001	2.0850	0.0004
4522_18	THG7	Terschelling II	18.422	0.028	15.622	0.023	38.41	0.06	0.8480	0.0001	2.0849	0.0003
4523_18	THG8	Terschelling II	18.423	0.030	15.623	0.024	38.41	0.06	0.8480	0.0001	2.0849	0.0003
4524_18	THG9	Terschelling II	18.422	0.038	15.621	0.032	38.41	0.08	0.8480	0.0001	2.0849	0.0003
4142_13	M-1/1	Mozambique	18.405	0.026	15.619	0.024	38.39	0.06	0.8486	0.0003	2.0858	0.0012

12.1.7 Vierkantkuper

Lab. No.	Inv. No.	Herkunft	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4514_18	TGH1	Terschelling II	18.421	0.038	15.622	0.033	38.41	0.08	0.8480	0.0001	2.0848	0.0003
3908/19	TGH3	Terschelling II	18.419	0.024	15.619	0.022	38.41	0.06	0.8479	0.0001	2.0852	0.0004
3756_19	LV-37.422	Terschelling II	18.420	0.019	15.619	0.017	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0851	0.0005
3757_19	LV-37.423	Terschelling II	18.420	0.019	15.619	0.017	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0850	0.0005
3758_19	LV-37.424	Terschelling II	18.420	0.016	15.619	0.013	38.41	0.03	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3759_19	LV-37.425	Terschelling II	18.418	0.017	15.617	0.015	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0850	0.0005
3760_19	LV-37.426	Terschelling II	18.416	0.015	15.618	0.012	38.40	0.03	0.8481	0.0001	2.0852	0.0004
3761_19	LV-37.427	Terschelling II	18.420	0.020	15.620	0.017	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0851	0.0005
3762_19	LV-37.428	Terschelling II	18.419	0.018	15.618	0.014	38.40	0.04	0.8479	0.0001	2.0849	0.0004
3763_19	LV-37.429	Terschelling II	18.421	0.029	15.620	0.025	38.41	0.06	0.8479	0.0001	2.0851	0.0004
3764_19	LV-37.430	Terschelling II	18.420	0.020	15.619	0.018	38.41	0.04	0.8480	0.0001	2.0852	0.0004
3765_19	LV-37.431	Terschelling II	18.421	0.020	15.619	0.016	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3766_19	LV-37.432	Terschelling II	18.420	0.022	15.619	0.019	38.41	0.05	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3767_19	LV-37.433	Terschelling II	18.420	0.026	15.618	0.023	38.41	0.06	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3768_19	LV-37.434	Terschelling II	18.420	0.018	15.620	0.015	38.41	0.04	0.8480	0.0001	2.0852	0.0004
3769_19	LV-37.435	Terschelling II	18.421	0.019	15.620	0.016	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3770_19	LV-37.436	Terschelling II	18.421	0.020	15.619	0.018	38.41	0.05	0.8479	0.0001	2.0850	0.0005
3771_19	LV-37.437	Terschelling II	18.420	0.017	15.619	0.014	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0850	0.0004
3772_19	LV-37.438	Terschelling II	18.420	0.015	15.618	0.014	38.41	0.04	0.8479	0.0001	2.0849	0.0007
4131_16	o. Nr. Pfarmk 41a/1	Elbe	18.416	0.012	15.624	0.014	38.40	0.04	0.8484	0.0002	2.0853	0.0011
4132_16	41a/1	Elbe	18.414	0.006	15.622	0.005	38.40	0.01	0.8483	0.0001	2.0851	0.0002
4133_16	414/2	Elbe	18.414	0.006	15.621	0.005	38.39	0.01	0.8483	0.0001	2.0851	0.0002
4230_13	080502202001	Elbe	18.415	0.023	15.620	0.020	38.39	0.05	0.8482	0.0003	2.0848	0.0009

12.1.8 Rundscheiben

Lab. No.	Inv. No.	Herkunft	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4226_13	080502207000	Elbe	18.450	0.015	15.652	0.013	38.47	0.03	0.8483	0.0002	2.0850	0.0004
4231_13	080502030001	Elbe	18.393	0.023	15.619	0.019	38.37	0.05	0.8492	0.0003	2.0859	0.0009
4515_18	TGH2	Terschelling II	18.420	0.029	15.623	0.025	38.40	0.06	0.8481	0.0001	2.0849	0.0003
3755_19	.381	Terschelling I	18.426	0.010	15.624	0.009	38.42	0.23	0.8479	0.0001	2.0852	0.0003

12.1.9 Ziegelbarren

Lab. No.	Inv. No.	Herkunft	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4134_16	41b/1	Elbe	15.723	0.005	15.344	0.005	35.23	0.01	0.9759	0.0001	2.2405	0.0002
4135_16	41b/2	Elbe	15.725	0.006	15.344	0.005	35.23	0.01	0.9758	0.0001	2.2402	0.0002
4136_16	41b/3	Elbe	15.731	0.008	15.345	0.010	35.23	0.03	0.9755	0.0002	2.2396	0.0009
4137_16	41b/5	Elbe	15.730	0.006	15.346	0.006	35.24	0.01	0.9756	0.0001	2.2400	0.0002
4143_13	080502175	Elbe	15.735	0.027	15.347	0.027	35.24	0.06	0.9753	0.0004	2.2394	0.0011
4144_13	080502174	Elbe	15.725	0.025	15.343	0.025	35.23	0.06	0.9757	0.0005	2.2402	0.0012
4145_13	080502178	Elbe	15.730	0.021	15.343	0.020	35.23	0.05	0.9754	0.0003	2.2396	0.0011
4146_13	080502171	Elbe	15.727	0.022	15.344	0.022	35.23	0.06	0.9757	0.0004	2.2402	0.0010
4147_13	080502173	Elbe	15.774	0.022	15.349	0.022	35.26	0.05	0.9731	0.0004	2.2352	0.0014
4148_13	080502181	Elbe	15.750	0.020	15.365	0.021	35.28	0.05	0.9755	0.0004	2.2401	0.0011
4149_13	08050220100	Elbe	15.725	0.023	15.344	0.023	35.23	0.06	0.9758	0.0004	2.2403	0.0012
4150_13	0805002177	Elbe	15.724	0.021	15.343	0.022	35.23	0.05	0.9758	0.0004	2.2403	0.0009
4151_13	080502182	Elbe	15.783	0.017	15.401	0.018	35.36	0.04	0.9758	0.0004	2.2406	0.0012
4152_13	080502179	Elbe	15.736	0.023	15.347	0.024	35.24	0.06	0.9752	0.0004	2.2396	0.0013
4153_13	080502200	Elbe	15.725	0.045	15.342	0.043	35.23	0.10	0.9757	0.0007	2.2402	0.0013
4154_13	080502180	Elbe	15.722	0.021	15.342	0.021	35.22	0.05	0.9759	0.0003	2.2404	0.0009
4155_13	080502176	Elbe	15.728	0.017	15.347	0.017	35.24	0.04	0.9758	0.0003	2.2403	0.0009

12.1.10 Armreife

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3860_19	OVA-1	18.137	0.015	15.702	0.015	38.28	0.04	0.8657	0.0002	2.1108	0.0006

12.2 Messing

12.2.1 Stangen

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4527_18	Tms-1	18.493	0.031	15.628	0.026	38.45	0.07	0.8451	0.0001	2.0792	0.0004
3893_19	Tms-2	18.388	0.016	15.614	0.012	38.34	0.03	0.8492	0.0001	2.0850	0.0005
3894_19	Tms-3	18.386	0.030	15.613	0.026	38.34	0.06	0.8492	0.0001	2.0850	0.0004
3895_19	Tms-4	18.394	0.017	15.616	0.015	38.35	0.04	0.8489	0.0001	2.0849	0.0004
3896_19	Tms-5	18.387	0.014	15.613	0.011	38.34	0.03	0.8492	0.0001	2.0851	0.0004
3897_19	Tms-6	18.383	0.014	15.614	0.011	38.34	0.03	0.8494	0.0001	2.0854	0.0004
3898_19	Tms-7	18.387	0.016	15.613	0.015	38.34	0.04	0.8491	0.0001	2.0848	0.0005
3899_19	Tms-8	18.494	0.019	15.628	0.016	38.46	0.04	0.8450	0.0001	2.0794	0.0004
3900_19	Tms-9	18.385	0.018	15.616	0.016	38.34	0.04	0.8493	0.0001	2.0853	0.0005
3901_19	Tms-10	18.386	0.017	15.613	0.015	38.34	0.04	0.8492	0.0001	2.0849	0.0004
3902_19	Tms-11	18.388	0.014	15.615	0.012	38.34	0.03	0.8492	0.0001	2.0851	0.0003

12.2.2 Manillen

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
5043_20	VGO-1	18.389	0.010	15.617	0.009	38.36	0.02	0.8492	0.0001	2.0861	0.0004
5044_20	VGO-2	18.388	0.007	15.615	0.007	38.36	0.02	0.8492	0.0001	2.0862	0.0005
5045_20	VGO-3	18.439	0.010	15.620	0.009	38.41	0.02	0.8471	0.0001	2.0832	0.0003
5046_20	VGO-4	18.428	0.011	15.617	0.010	38.41	0.03	0.8474	0.0001	2.0844	0.0004
5047_20	VGO-5	18.439	0.011	15.624	0.010	38.42	0.03	0.8474	0.0001	2.0839	0.0004
5048_20	VGO-6	18.401	0.008	15.621	0.008	38.38	0.02	0.8489	0.0001	2.0859	0.0004
5049_20	VGO-7	18.384	0.012	15.614	0.011	38.35	0.03	0.8493	0.0001	2.0859	0.0004
5050_20	VGO-8	18.400	0.011	15.622	0.009	38.39	0.03	0.8490	0.0001	2.0865	0.0004
5051_20	VGO-9	18.407	0.008	15.612	0.008	38.39	0.02	0.8481	0.0001	2.0856	0.0004
5052_20	VGO-10	18.464	0.012	15.626	0.011	38.44	0.03	0.8463	0.0001	2.0820	0.0004
5053_20	VGO-11	18.483	0.010	15.622	0.008	38.46	0.02	0.8452	0.0001	2.0810	0.0003
3661_19	Denk 1696	18.394	0.012	15.627	0.010	38.38	0.03	0.8495	0.0001	2.0863	0.0005
3662_19	Denk 1700	18.394	0.015	15.624	0.013	38.37	0.04	0.8494	0.0001	2.0860	0.0005

12.2.3 Spiralreife

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4583_19	Denk 139	18.431	0.009	15.626	0.009	38.44	0.02	0.8478	0.0001	2.0856	0.0003
4584_19	Denk 140	18.425	0.013	15.625	0.012	38.44	0.03	0.8480	0.0002	2.0863	0.0005

12.2.4 Töpfe

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3903_19	Tpot 1	18.390	0.016	15.614	0.014	38.34	0.04	0.8490	0.0001	2.0850	0.0004
3904_19	Tpot 2	18.394	0.017	15.617	0.016	38.36	0.04	0.8490	0.0001	2.0853	0.0004
3905_19	Tpot 3	18.388	0.016	15.615	0.014	38.34	0.04	0.8492	0.0001	2.0852	0.0004
3906_19	Tpot 4	18.388	0.022	15.616	0.019	38.35	0.05	0.8493	0.0001	2.0857	0.0005
3907_19	Tpot 5	18.393	0.028	15.616	0.025	38.35	0.06	0.8491	0.0001	2.0852	0.0004

12.2.5 Blech

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3822_19	BZN2,441	17.367	0.012	15.518	0.011	37.17	0.03	0.8935	0.0001	2.1401	0.0005
3823_19	BZN2,442	17.261	0.008	15.510	0.008	37.05	0.02	0.8985	0.0002	2.1465	0.0007

12.2.6 Barren

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4182_19	314_366	18.713	0.011	15.649	0.010	38.37	0.02	0.8363	0.0001	2.0504	0.0004

12.3 Blei

12.3.1 Slowakei

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
4513_15	Sp.D.001	18.415	0.024	15.614	0.020	38.38	0.06	0.8479	0.0003	2.0842	0.0010
4514_15	Sp.D.002	18.420	0.016	15.612	0.016	38.39	0.04	0.8475	0.0003	2.0838	0.0008
4515_15	Sp.D.003	18.422	0.018	15.611	0.016	38.39	0.05	0.8474	0.0003	2.0837	0.0009
4516_15	Sp.D.004	18.425	0.017	15.613	0.015	38.39	0.04	0.8474	0.0002	2.0838	0.0008
4517_15	Sp.D.005	18.419	0.016	15.611	0.016	38.39	0.05	0.8475	0.0002	2.0839	0.0010
4518_15	Sp.D.006	18.418	0.028	15.609	0.022	38.38	0.06	0.8476	0.0003	2.0840	0.0009
4519_15	Sp.D.007	18.423	0.018	15.613	0.016	38.39	0.04	0.8474	0.0002	2.0837	0.0008
4520_15	Sp.D.008	18.416	0.008	15.614	0.010	38.38	0.03	0.8478	0.0002	2.0841	0.0009
4179_19	898/30	18.414	0.011	15.623	0.009	38.39	0.02	0.8484	0.0001	2.0849	0.0002
4180_19	899/30	18.425	0.018	15.621	0.015	38.41	0.04	0.8478	0.0001	2.0846	0.0002
4181_19	729/30	18.421	0.013	15.622	0.012	38.40	0.03	0.8480	0.0001	2.0844	0.0002

12.3.2 Barren von der Bom Jesus/Namibia

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3560_18	B6719	18.480	0.036	15.626	0.032	38.42	0.08	0.8456	0.0002	2.0790	0.0007
3561_18	B6721	18.492	0.020	15.635	0.019	38.44	0.05	0.8455	0.0003	2.0789	0.0011
3562_18	B6722	18.450	0.040	15.620	0.033	38.44	0.08	0.8466	0.0002	2.0837	0.0009
3563_18	B6732	18.520	0.141	15.622	0.122	38.50	0.30	0.8435	0.0006	2.0789	0.0014
3564_18	B6738	18.490	0.030	15.616	0.026	38.49	0.06	0.8445	0.0003	2.0815	0.0011
3565_18	B6749	18.509	0.035	15.616	0.030	38.49	0.08	0.8437	0.0002	2.0791	0.0007
3566_18	B6751	18.488	0.031	15.631	0.026	38.44	0.07	0.8454	0.0002	2.0789	0.0009
3567_18	B6755	18.504	0.030	15.617	0.026	38.48	0.07	0.8439	0.0002	2.0793	0.0009
3568_18	B6787	18.508	0.025	15.622	0.022	38.50	0.05	0.8441	0.0002	2.0802	0.0006
3569_18	B6790	18.489	0.017	15.636	0.017	38.45	0.04	0.8457	0.0002	2.0793	0.0009
3570_18	B6792	18.469	0.028	15.613	0.024	38.46	0.06	0.8453	0.0002	2.0823	0.0009

12.3.3 Barren aus niederländischen Gewässern

12.3.3.1 Loose Vonds

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3802_19	LV-146_001	18.524	0.013	15.639	0.011	38.45	0.03	0.8443	0.0001	2.0759	0.0004
3803_19	LV-146_002	18.476	0.013	15.639	0.012	38.44	0.03	0.8464	0.0001	2.0803	0.0005
3804_19	LV-147	18.478	0.009	15.635	0.008	38.43	0.02	0.8462	0.0001	2.0798	0.0003
3805_19	LV-148	18.480	0.015	15.638	0.012	38.44	0.03	0.8462	0.0001	2.0800	0.0005
3806_19	LV-149	18.526	0.012	15.639	0.011	38.45	0.03	0.8442	0.0001	2.0757	0.0004
3807_19	LV-150	18.483	0.009	15.636	0.008	38.43	0.02	0.8460	0.0001	2.0794	0.0005
3808_19	LV-151	18.461	0.011	15.637	0.011	38.42	0.03	0.8470	0.0001	2.0814	0.0004

12.3.3.2 Texel

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3809_19	A.M.-8.1.3	18.416	0.016	15.625	0.013	38.40	0.03	0.8484	0.0001	2.0849	0.0005
3810_19	A.M.8.2.3	18.415	0.010	15.624	0.010	38.39	0.03	0.8484	0.0001	2.0849	0.0006
3811_19	A.M.8.2.8	18.415	0.016	15.623	0.015	38.39	0.04	0.8484	0.0001	2.0849	0.0005
3812_19	A.M.6.3.1	18.417	0.010	15.624	0.009	38.40	0.02	0.8483	0.0001	2.0848	0.0004
3813_19	A.M.7.3.10	18.415	0.010	15.624	0.010	38.39	0.03	0.8484	0.0001	2.0848	0.0005
3814_19	A.M.0000	18.417	0.013	15.623	0.010	38.40	0.03	0.8483	0.0001	2.0848	0.0003

12.3.3.3 Flevoland

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2SD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2SD
3815_19	MA_M11-106	18.442	0.015	15.634	0.013	38.46	0.03	0.8477	0.0001	2.0855	0.0005
3816_19	MA_M11-107	18.405	0.014	15.628	0.013	38.41	0.04	0.8491	0.0001	2.0870	0.0005
3817_19	MA_M11-108	18.504	0.012	15.628	0.010	38.48	0.03	0.8445	0.0001	2.0797	0.0005
3818_19	MA_M11-109	18.423	0.014	15.630	0.012	38.43	0.03	0.8484	0.0001	2.0860	0.0005
3819_19	MA_M11-110	18.404	0.013	15.626	0.012	38.41	0.03	0.8491	0.0001	2.0868	0.0005
3820_19	MA_M11-111	18.445	0.016	15.637	0.014	38.47	0.04	0.8478	0.0002	2.0855	0.0006

12.3.3.4 Burgzand II

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD
3824_19	BZN2-534	18.417	0.013	15.634	0.011	38.42	0.03	0.8489	0.0002	2.0863	0.0006

12.3.3.5 Burgzand VIII

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD
3825_19	BZN8-398	18.451	0.014	15.621	0.012	38.45	0.03	0.8466	0.0002	2.0838	0.0006

12.3.3.6 Oostvoorne

Lab. No.	Inv. No.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	ZSD	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ZSD
3826_19	OVMXI-001	18.478	0.014	15.621	0.012	38.48	0.03	0.8454	0.0001	2.0826	0.0005

Kommentierte Liste über Vorabveröffentlichungen

Eine vollständige Publikation dieser Dissertation hat bis zum Abgabedatum nicht stattgefunden. Teilaspekte dieser Arbeit sind jedoch für die Veröffentlichung in verschiedenen Fachzeitschriften geplant. Unten stehender Artikel befindet sich in der Review-Phase. Der Autor hat die analytischen Untersuchungen der Kupferbarren und die Schlussfolgerungen aus diesen beigetragen, während die Mitautoren die archäologischen bzw. historischen Rahmenbedingungen verfasst haben.

von Arbin, S., Skowronek, T., Seir, T., Isaksson, S., Daly, A., Brorsson T., 2021. Tracing trade routes: examining the cargoes of the 15th century Skaftö wreck. IJNA in press

Lebenslauf

Zur Person

Name: Tobias Benjamin Skowronek
Geburtsdatum: 25.02.1987
Ort: Herne

Ausbildung

10/2018 - heute Promotionsstudium im Fach Geowissenschaften an der Fakultät für Geowissenschaften (GMG) der Ruhr-Universität Bochum

04/2016 - 03/2018 Zwei-Fach Masterstudium in den Fächern Wirtschafts- und Rohstoffarchäologie und Ur- und Frühgeschichte an der Fakultät für Geschichtswissenschaft der Ruhr-Universität Bochum, Titel der Abschlussarbeit: „Sourcing Steatite - Zur Provenienz weißer Pigmente in der Wandmalerei von Tell el-Dab'a“

10/2013 - 04/2016 Bachelorstudium im Fach Archäologische Wissenschaften an der Fakultät für Geschichtswissenschaft der Ruhr-Universität Bochum, Titel der Abschlussarbeit: „The wall paintings of Tell el-Dab'a - New Evidence for non Egyptian influences“

10/2006 - 10/2013 Bachelorstudium im Fach Geowissenschaften (GMG) an der Ruhr-Universität Bochum

Wissenschaftliche Berufserfahrung

04/2019 - heute Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Bergbau-Museum im Fachbereich Forschungslabor

04/2015 - 04/2019 Studentische Hilfskraft am Deutschen Bergbau-Museum im Fachbereich Archäometallurgie