

Michael Bode

Archäometallurgische Untersuchungen zur
Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen
Römischen Kaiserzeit

2008

Mineralogie

Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im
Germanien der frühen Römischen Kaiserzeit

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften
im Fachbereich Geowissenschaften
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von
Michael Bode
aus Lübbecke

–2008 –

Dekan:

Prof. Dr. Hans Kerp

Erster Gutachter:

Prof. Klaus Mezger, Ph.D.

Zweiter Gutachter:

Prof. Dr. Andreas Hauptmann

Tag der mündlichen Prüfung:

.....

Tag der Promotion:

.....

Inhalt

1. Einleitung

1.1	Einführung	1
1.2	Blei/Bleiglanz und ihre Eigenschaften	4
1.3	Blei in römischer Zeit	10
1.4	Das Potenzial des Bleis für die Archäometallurgie	16
1.5	Aufgabenstellung dieser Arbeit	24
1.6	Analytische Methoden	27

2. Zur Archäologie der *Germania Magna*

2.1	Die Außenpolitik der Römer im Rheingebiet von Caesar bis Domitian	30
2.2	Die Römerlager an Rhein, Lippe und Werra und das Schlachtfeld Kalkriese	38
2.3	Die Siedlungen der älteren Römischen Kaiserzeit in Westfalen	51

3. Die römische Blei-/Silbergewinnung in Europa

3.1	Einführung	58
3.2	Deutschland	59
3.2a	Nordwesteifel	62
3.2b	Sauerland	69
3.2c	Bergisches Land	74
3.2d	weitere Lokalitäten	80
3.3	Frankreich	83
3.4	Britannien	87
3.5	Spanien	92
3.6	Italien	99
3.7	Griechenland	102
3.8	Schweiz/Österreich	105
3.9	Balkangebiet	106

4. Das Fundmaterial

4.1	Zu den römischen Bleifunden	108
4.2	Zu den Bleifunden der Siedlungen der älteren Römischen Kaiserzeit	112

5. Zur Herkunft der römischen und „germanischen“ Bleiobjekte

5.1	Bleiisotope und Spurenelemente in der Archäometallurgie	115
5.2a	Bleiisotopenvergleiche	119
5.2b	Spurenelementdiagramme	143

6. Römische Blei-/Silbergewinnung am Lüderich (Bergisches Land)

6.1	Allgemeine Verfahrenstechniken zur Bleierzverhüttung und Kupellation	155
6.2a	Untersuchung der Bleischlacken vom Lüderich	170
6.2b	Untersuchung der Bleiglätte vom Lüderich	189

7.	Zusammenfassung/Summary	199
8.	Literaturverzeichnis	204
9.	Anhang	
9.1	Bleiisotopendaten	
9.1a	Bleiglanz	236
9.1b	Bleimetall	245
9.1c	Bleischlacke	251
9.1d	Bleiglätte	251
9.2	Haupt- und Spurenelemente	
9.2a	Bleiglanz	252
9.2b	Bleimetall	255
9.2c	Bleischlacke	258
9.2d	Bleiglätte	259
9.3	Fundliste	260
9.4	Liste der Abbildungen, Tabellen und Fotos	268

1.1 Einführung

Diese Arbeit konzentriert sich auf das Metall Blei und die Abfallprodukte, die bei der Blei-/Silbergewinnung anfallen. Es werden in den folgenden Kapiteln verschiedene Bleifunde, Bleibarren, Bleischlacken und Bleiglätte aus der *Germania Magna* der frühen Römischen Kaiserzeit vorgestellt und untersucht. Die *Germania Magna* war für rund drei Jahrzehnte Besatzungsgebiet der Römer, danach wieder freies *Barbaricum*. Sie stand jedoch weiterhin sowohl kulturell als auch ökonomisch im Einfluss der für die Stämme des rechtsrheinischen Germaniens attraktiven römischen Zivilisation (Wiegels, 1977b, Kühlborn & Künzl, 1988, Günther, 1983, Kaiser, 2001, Becker, 2002, Bérenger, 2007, Melzer & Pfeffer, 2007).

Wie im Kolloquium zum Thema „Bleibergbau und Bleiverarbeitung während der römischen Kaiserzeit im freien Germanien“ am 9. und 10. März 2006 in Soest nochmals verdeutlicht wurde, ist es kaum möglich, die antike Bevölkerung des westfälisch-sauerländischen Raumes definitiv als „germanisch“ zu bezeichnen. Daher wird in den folgenden Kapiteln dem Kompromissvorschlag Grünewalds (2007) gefolgt, dass mit der Verwendung des Begriffes der Germanen, zumindest für den Besiedlungsraum Westfalen, keine ethnische Zuweisung gemeint ist, sondern lediglich die dort lebenden Menschen der ersten Jahrhunderte nach Christi Geburt.

Zur Geschichte von Blei und Silber

Das Metall Blei spielt in der Kunst- und Kulturgeschichte nicht die tragende Rolle wie Gold, Silber, Bronze und Eisen. Attribute wie eine schöne Farbe, ein hoher Glanz oder eine große Härte können diesem Metall nicht zugeschrieben werden. Als Sulfid hat Blei aber durchaus ein attraktives Aussehen, so dass die frühen Menschen auch von diesem Erz angezogen wurden. Offensichtlich fand Bleiglanz deshalb schon früh Verwendung als Schmuckstein (Pernicka, 1990). Aus dem 7. Jahrtausend v. Chr. besitzen wir den ersten Beleg für die Verarbeitung von Bleiglanz zu Schmuckperlen (Sperl, 1990, die Schmuckperlen wurden von Gale & Stos-Gale (1981a) noch als Bleiperlen beschrieben!).

Da Blei nur selten gediegen in der Natur vorkommt, ist das erste Auftauchen von metallischem Blei in der Kulturgeschichte des Menschen wahrscheinlich ein Indikator

für den Beginn metallurgischer Prozesse. Bleiglanz, das häufigste Bleimineral, tritt dagegen teilweise massenhaft auf und wird nicht nur aufgrund seines Glanzes (s.o.), sondern auch wegen seines hohen spezifischen Gewichtes den Menschen schon früh aufgefallen sein. Es ist ferner leicht zu schmelzen und kann in einem Lagerfeuer ohne großen Aufwand in Blei umgewandelt werden. Zu den ältesten Bleiartefakten gehören ein Bleiarmband aus Yarim Tepe in Nordmesopotamien, heutiges Irak, eine Perle von Ğarmo im Zagros-Gebirge (Iran-Irak) und weitere Bleifunde im Tell Arpachiyah und im Tell Judeideh im Irak und im Norden Syriens (Mallowan & Rose, 1935, Merpert et al., 1977, Gale & Stos-Gale, 1981a, Braidwood & Braidwood, 1960, 1983). Sie wurden in das 6. Jahrtausend v. Chr. datiert. Neuere Untersuchungen stellen allerdings das Alter der Perle von Ğarmo in Frage (Kohlmeyer, 1994). Wertime (1973) nimmt an, dass der Anfang der Bleierzverhüttung weiter zurückreicht, als es die ältesten Bleifunde vermuten lassen. Fest steht zumindest, dass die Verarbeitung von Bleierzen für die erste überregionale Atmosphärenverschmutzung verantwortlich ist (Boutron, 1995).

Der Verbrauch von Bleierz stieg in der Kupfer-, Bronze- und Eisenzeit kontinuierlich an. In dieser Zeit verbreitete sich die Erkenntnis, dass man aus dem geschmolzenen Blei das begehrte Edelmetall Silber gewinnen kann. Besonders seit der Einführung von Silbermünzen in der klassischen Antike ist ein hoher Konsum des Silberträgers zu verzeichnen (z.B. Wagner & Pernicka, 1988, Boutron, 1995). Ab da (ca. 550 v. Chr.) steigt die Bleibelastung in Torf-, See-, Marsch- und Eisablagerungen der Nordhemisphäre deutlich an (Hong et al., 1994, Renberg et al., 1994, Boutron, 1995, Brännvall et al., 1997, Martínez-Cortizas et al., 1997, Rosman et al., 1997, Shotyk et al., 1998, Boutron, 1999, Dunlap et al., 1999, Alfonso et al., 2001, Martínez-Cortizas et al., 2002). Verantwortlich für die Bleiverschmutzung in der Antike sind im Wesentlichen die Bergwerke in Spanien, Zentraleuropa, Britannien, im Balkanraum, in Griechenland und in Kleinasien (z.B. Alfonso et al., 2001).

Da gediegenes Silber selten ist, kann man seine Geschichte eng mit derjenigen des Bleis verknüpfen. Nach Gowland (1920), Gale & Stos-Gale (1981a) und Pernicka (1990) fällt es auf, dass in der Ägäis und in Vorderasien Silber praktisch zeitgleich mit dem vermehrten Auftreten von Bleimetall auftaucht. Schon die frühesten Silberobjekte scheinen aus Blei abgetriebenem Silber zu bestehen (Krysko, 1979).

Belegt ist die breite Anwendung der Kupellation für das 1. Jahrtausend v. Chr. in der Ägäis und kann in dieser Region durch Analysen an Silber- und Bleiobjekten und durch Feldforschungen bis in das 3. Jahrtausend v. Chr. zurückverfolgt werden (Wagner et al., 1979, 1980, Gale & Stos-Gale, 1981a, b, Pernicka & Wagner, 1985, Pernicka, 1987). In Vorderasien galt Silber aber schon zu dieser Zeit als Hauptzahlungsmittel (Wertime, 1973). Die Evidenzen für die Silbergewinnung reichen hier bei Fatmali-Kalecik, Arslantepe (Ostanatolien) und Habuba Kabira (Syrien) am oberen Euphrat, aber auch in Ägypten weit ins 4. Jahrtausend v. Chr. hinein (z.B. Gowland, 1902, Gale & Stos-Gale, 1981a, b, Pernicka, 1990, Frangipane, 1998, Hess et al., 1998, Palmieri et al., 1998, Pernicka et al., 1998). Die Bleiglätte von Fatmali-Kalecik, Arslantepe und Habuba Kabira gelten als älteste direkte Belege für die Anwendung der Treibarbeit (Hess et al., 1998, Pernicka et al., 1998).

Die Beweisführung für das Schmelzen von Erz in neolithischer und chalkolithischer Zeit ist mit dem Problem verbunden, dass in dieser Zeit die Verhüttung oxidischer Erze wie Cerussit oder Malachit bzw. sehr reichhaltigen Erzen i.allg. in den Vordergrund stand. Solche Erze produzieren nur geringe Mengen an Schlacke. Craddock (1990, zitiert in Hess et al., 1998) bezeichnet diese Phase früher Metallgewinnung als „slagless metallurgy“. Erst ab der frühen Bronzezeit genügte der technische Wissenstand den Herausforderungen zum Schmelzen weniger reichhaltiger Erze (Hauptmann, 2000). Die frühesten Bleischlackenfunde stammen wie die Bleiglätte aus Fatmali-Kalecik und Arslantepe und von Sifnos in der Ägäis (Pernicka et al., 1985, Pernicka & Wagner, 1985, Hess et al., 1998).

In dem Geschichtsabschnitt, den die Römer prägten, veränderte sich die ökonomische Bedeutung des Bleimetalls: war Blei vor dem Aufstieg Roms eher ein Abfallprodukt der Silbergewinnung, setzte nun ein regelrechter Bleiboom ein. Zurückzuführen ist der Produktionsanstieg im Wesentlichen durch den immensen Bedarf des Metalls für den Städtebau, allem voran den Ausbau Roms mit seinen sanitären Anlagen und Monumentalbauten, aber auch für die Auskleidung und Beschwerung von Schiffsrümpfen. Die wirtschaftliche Loslösung des Bleis vom Silber in römischer Zeit zeigte sich praktisch im Abbau silberarmer Bleierzlagerstätten (z.B. in den Gruben von Devonshire, in den Mendip Hills und in Shropshire in Britannien).

1.2 Blei/Bleiglanz und ihre Eigenschaften

Die Eigenschaften des Bleis

Bleimetall ist bläulich-mattgrau. An frischen Stellen glänzt es silbrig. Es hat eine hohe Dichte ($11,34 \text{ g/cm}^3$) und wird seit der Frühzeit als Gewicht benutzt. Heutzutage wird es aufgrund seiner hohen Dichte als Strahlenschutz eingesetzt. Mit 327°C ist es niedrig schmelzend und besitzt gute Fließ- und hervorragende Gusseigenschaften. Es ist sehr weich (Mohs-Härte 1,5 für reines Blei) und leicht schmiedbar. Blei beginnt bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen (ab etwa 1100°C) in der Atmosphäre merklich zu verdampfen. Es gilt daher als flüchtiges Metall. Die Siedepunkte des Oxides und Sulfides liegen noch bedeutend niedriger als der Siedepunkt des Metall. In der Antike wurde Blei Kupfer hinzu gegeben (Bleibronzen, Plinius 34.96), um eine Erniedrigung des Schmelzpunktes und bessere Gusseigenschaften der Bronzen zu erreichen, aber auch, um einen gewünschten Farbton zu kreieren (Plinius 34.98: Plinius schreibt von der griechischen Farbe der Topfbronze, die die Purpurfarbe der Toga annimmt, gibt man dem kyprischen Kupfer Blei hinzu).

Blei ist ein unedles Metall. An der Luft bildet sich auf der Oberfläche sehr schnell eine dünne weißlich-graue Oxidationsschicht, die Patina. Sie bedingt die hohe Korrosionsbeständigkeit des Bleis, da sie aus praktisch unlöslichen Salzen wie Bleisulfat, Bleikarbonat oder Bleichlorid besteht. Sie schützen das Blei vor tief greifender Verwitterung. Diese Salze verhindern auch eine Lösung von Blei in verdünnter Salzsäure und Schwefelsäure. Eine vollständige Umsetzung des Bleis vollzieht sich u.a. mit verdünnter Salpetersäure.

Röntgendiffraktometrie-Messungen an einigen „germanischen“ Kleinbarren von Brilon-Fülsenbecke und Brilon-Altenbüren (D-122/2-12, D-150/1,2) ergaben in den meisten Fällen Cerussit (PbCO_3) und Hydrocerussit ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), untergeordnet auch Lanarkit ($\text{Pb}_2(\text{SO}_4)\text{O}$) und Pyromorphit ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), als Verwitterungsprodukte des metallischen Bleis (s. Foto 1.1).

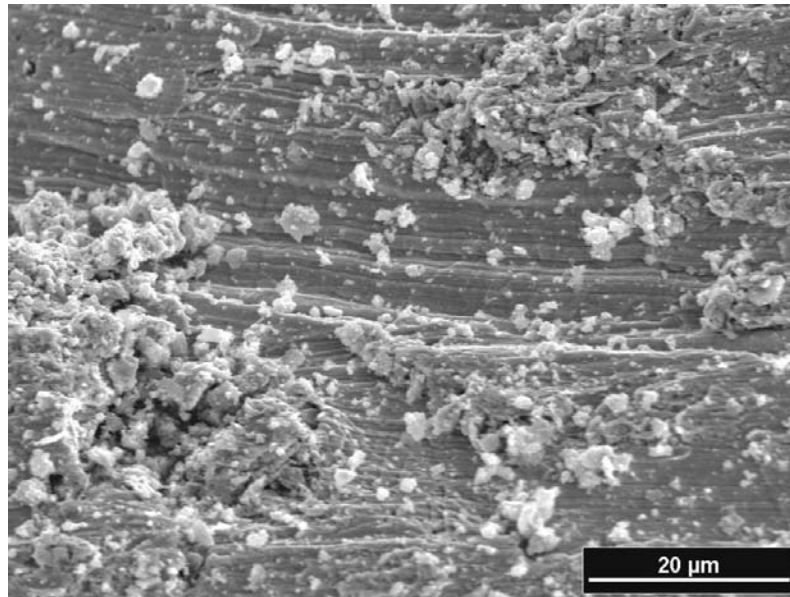


Foto 1.1: Rückstreuелеktronen-(REM)-Bild der Patina eines der untersuchten „germanischen“ Kleinbarren. Auf der Oberfläche des Metalls sitzen die körnigen Verwitterungssalze auf.

Riederer (1987) und Aufderheide et al. (1992) schätzen die Bleibelastung der römischen Bürger auf das zehnfache bis fünfzehnfache des heutigen Wertes. Einige Autoren diskutieren deshalb, ob nicht die Bleivergiftung und die daraus erwachsenen Folgen wie Gehirnschäden oder Unfruchtbarkeit neben dem in der Spätantike wachsenden Expansionsdruck der Nachbarvölker auf das Römische Reich mit zu dessen Niedergang beigetragen haben (Nriagu, 1983a, b, Hong et al., 1994). Interessanterweise fand die Luftverschmutzung durch das Bergwesen und auch das krankhafte Aussehen der Bergleute („Bleigicht“, Bleianämie) schon bei antiken Autoren Erwähnung (Vitruv, übersetzt von Fensterbusch, 1991). Plinius (34.168) erkannte, dass sich Bleidampf besonders schnell auf Hunde, Fliegen und Schnaken tödlich auswirke. Man war sich also zumindest in Einzelfällen der toxischen Wirkung des Bleis bewusst. Ob jedoch deshalb der Bergbau auf dem italienischen Festland, wie Plinius berichtet, unterbunden wurde, ist ungewiss.

Blei in Mineralen

Blei kann in Spuren z. B. in Kalifeldspat oder Muskowit eingebaut werden. Als radiogenes Tochterisotop liegt es in uran- und thoriumführenden Mineralen (z.B. Apatit, Zirkon, Titanit, Flussspat) vor oder bildet eigene Minerale wie Bleiglanz (Galenit, PbS). Baryt als Gangart von Pb-Zn-Lagerstätten kann bis zu 1 % Pb enthalten (Wedepohl, 1956).

In Kupfer-, Eisen- oder Fahlerzen liegt der Anteil des Bleis meist unterhalb von 1 %. Im Galenit liegt der Anteil des Bleis bei 70 bis 80% (z.B. Plattner, 1856). Er kann bis zu 3 % Silber führen. Der Silbergehalt des Bleiglanzes liegt in den mikroskopischen Verwachsungen mit silberreichen Fahlerzen und durch im Bleiglanzgitter diadoch ersetzten Silber- (Ag_2S), Silberwismut- (AgBiS_2 , Matildit) und Silberantimonglanz (AgSbS_2 , Miargyrit) begründet. Gediegen Silber kann in löchrig zerfressenem Bleiglanz und sekundärem Cerussit der Oxidationszone enthalten sein (Ramdohr & Strunz, 1967). Der teilweise hohe Ag-Gehalt macht die besondere Bedeutung des Bleiglanzes in der Antike aus. Neben Pyrit (FeS_2), Kupferglanz (Cu_2S), Kupferkies (CuFeS_2) und Zinkblende (ZnS) gehört Galenit zu den sogenannten Primärerzen einer Buntmetallagerstätte.



Foto 1.2: typische massive Ausbildung von postvariszischem Bleiglanz (Kalksteinbruch Deuba-Madfeld, Brilon-Madfeld, Sauerland).

Zur Bildung von Bleiglanz

Buntmetallagerstätten kristallisieren aus hydrothermalen Lösungen aus, die in die kühleren Bereiche der oberen Erdkruste entlang von Rissen und Verwerfungen aufsteigen und dort unter geringen Auflastdrücken entgasen und abkühlen. Solche hydrothermalen Lösungen bilden sich i.allg. aus Wässern (z.B. Meerwasser, meteorisches Wasser, juveniles Wasser), die in Sedimenten gefangen sind oder

Fluiden, die sich durch Dehydratation wasserhaltiger Minerale während der Metamorphose bilden. Kompressive tektonische Bewegungen in der Kruste oder magmatische Intrusionen können die Fluide dann zirkulieren lassen und in höhere Stockwerke pressen. Die meisten Metalle, die sich in den heißen Lösungen anreichern, waren ursprünglich als Spurenelement Teil von gesteinsbildenden Mineralen und wurden durch den sauren Charakter der Lösungen als Komplexionen mobilisiert (über die Genese von Lagerstätten: z.B. Smirnow, 1954, Borchert, 1978, Gulson, 1986, Evans, 1992).

Die Bildung der Minerale ist eine Funktion der Temperatur. Bleiglanz gehört zu den Mineralen, die aus niedrig temperierten Lösungen ausgeschieden werden und deshalb meist von Kalzit als Gangart begleitet wird. Neben dem Bleiglanz gehört auch Zinkblende oder Kupferkies zu den späteren Gangausscheidungen. Bleiglanz besitzt jedoch entgegen der Zinkblende eine etwas geringere Bildungstemperatur und ist deshalb länger mobil. Dies ist der Grund, weshalb viele Pb-Zn-Lagerstätten mit fortschreitender Tiefe des Abbaus eine Zunahme der Zinkführung aufweisen.

Bleiminerale der Oxidationszone (Cerussit, Anglesit und Pyromorphit)

Blei ist innerhalb einer Lagerstätte leicht zu mobilisieren, fällt aber meist nach kurzem Wege unter Bildung sekundärer bleihaltiger Minerale wieder aus. Die Mobilität von Pb wird hauptsächlich durch den pH-Wert (hoch) und der Verfügbarkeit von Fe, Mn, P und CO₂ gesteuert, da Blei gerne von Fe- und Mn-Oxiden absorbiert wird oder von Mitgliedern der Phosphat führenden Pyromorphit-Gruppe oder von den Karbonatmineralen Cerussit und Hydrocerussit eingebaut wird (Gee et al., 1997).

Cerussit (PbCO₃), Anglesit (PbSO₄) und Pyromorphit (Pb₅(PO₄)₃Cl) sind die häufigsten Verwitterungsprodukte von Bleiglanz in der oberflächennahen Oxidationszone einer Erzlagerstätte. Bleiglanz wird als erstes der Primärerze umgewandelt. Danach folgen Zinkblende, Arsenopyrit und Chalkopyrit. In den Anfangsstadien der Verwitterung erfolgt die Transformation des Bleiglanzes in Anglesit (Smirnow, 1954).

Anglesit besitzt eine geringe Löslichkeit. Es führt dazu, dass sich eine Art Schutzrinde um den Bleiglanz bildet. Im Innern bleibt der Bleiglanz fast unverändert. Daher trifft man auch in stark entwickelten Oxidationszonen häufig auf relativ frischen Bleiglanz (Smirnow, 1954). In Anwesenheit von Kohlensäure wird Anglesit dann langsam in Cerussit umgewandelt (Smirnow, 1954). Da Cerussit praktisch keine Löslichkeit besitzt, ist er das vorherrschende Endglied der Verwitterung eines Bleiglanz-Ganges (Smirnow, 1954). Bei hohen pH-Werten und entsprechendem Angebot an Kalzit kann Bleiglanz unter Bildung von $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Gips) auch direkt in Cerussit umgewandelt werden (Song et al., 1999). Eine weniger wichtige Rolle bei der Umbildung des Bleiglanzes in seine sekundären Verwitterungsprodukte spielt der Pyromorphit (Day & Tylecote, 1991).

Zur Aufbereitung des Bleierz

Die Aufbereitung (Zerkleinerung, Vorsortierung) von Bleiglanz oder Cerussit führendem Erzgestein bedurfte in der Antike und im Mittelalter mehrerer Arbeitsschritte. Im Wasserstrom von Waschanlagen, wie sie im antiken Laurion dokumentiert sind (Weisgerber & Heinrich, 1983, Rehren, 2002), konnte man das schwere Erz von den leichteren Gangarten Quarz, Kalzit oder Flourit separieren. Etwas schwieriger war die Trennung von anderen Erzen oder Baryt (BaSO_4 , Schwerspat). Über die einzelnen Arbeitsschritte informieren beispielsweise Plinius (33.69) und Georg Agricola (*De re metallica*). Mit der Schwereretrennung im Wasser konnte das Volumen der Erzgesteine auf etwa ein Viertel der nach der trockenmechanischen Aufbereitung (Pochen) angefallenen Menge reduziert werden (Conophagos, 1980). Tritt die Vererzung als Imprägnation in porösen Sedimentgesteinen wie beispielsweise in Mechernich in der Nordeifel auf (Schalich et al., 1986), oder ist das Bleierz sehr intensiv mit anderen Erzmineralen verwachsen, kann die Vorsortierung nur grob erfolgen. In den meisten Lagerstätten tritt Bleiglanz oder Cerussit aber in derben Massen auf.

Die Bleigewinnung

Die technischen Anforderungen an das Schmelzen von Bleiglanz sind relativ gering. Bei dem die Verhüttung vorbereitenden Rösten des Bleiglanzes mit Holz oder Torf

genügen geringe Sauerstoffpartialdrücke, um den Schwefel im vorher fein zerkleinerten Bleiglanz zu verdrängen (*Röst-Reduktionsmethode*). Die Verbrennung des Schwefels beginnt ab rund 500°C (Tafel & Wagenmann, 1953). Die Röstreaktion verläuft exotherm, d.h. der Vorgang wird durch die frei werdende Energie gespeist, und zwar ab 600 bis 700°C:



Man spricht von Totrösten, wenn der gesamte Schwefel aus dem Erz abgetrieben wird. Höchstens 20% des Bleiglanzes darf nach dem Rösten übrig bleiben, ansonsten besteht die Gefahr, dass sich bei Anwesenheit von Kupfer während der Verhüttung ein schwer löslicher Blei-(Kupfer-)stein bildet (Conophagos, 1980). Unerwünschte Elemente wie Zink oder Arsen werden mit dem Röstvorgang abgeraucht. Die Anforderungen an die Reduktionskraft der Ofenatmosphäre zur Umwandlung des Bleioxides in metallisches Blei sind gering. Blei kann theoretisch im offenen Feuer weit unterhalb von 800°C mit Holz oder Holzkohle gewonnen werden (Gale & Stos-Gale, 1981a):



Das Röst-Reaktionsverfahren, eine weitere Möglichkeit der Bleigewinnung, kann bei sehr reinem Bleisulfid angewendet werden. Es ermöglicht die Bleierzeugung in einem Schritt. In Britannien ist es seit der Römerzeit bekannt (Tylecote, 1987). Die Ofenbeschickung benötigt zu Beginn der Arbeit einen Sauerstoffüberschuss, in dem das PbS aber nur unvollständig geröstet wird:



Der Rest reagiert danach unter Luftabschluss mit dem Röstgut (PbO) ohne Zugabe eines Reduktionsmittels zu Pb und SO₂:





Die Besonderheit der Bleimetallurgie besteht darin, dass sich Blei schon bei Temperaturen um die 1000°C in sein Oxid, die Bleiglätte, umwandelt. Diese leichte Oxidierbarkeit, aber auch die Dünnpflüssigkeit und geringere Dichte der entstehenden Bleiglätte sind die Grundvoraussetzungen für die Extrahierung von Edelmetallen, vorwiegend Silber, aus dem Blei. Die Glätte schwimmt auf dem Blei und lässt sich problemlos entfernen.

Die Eigenschaft des Bleis, Edelmetalle aufzunehmen, war nicht nur in der Blei-/Silbermetallurgie nützlich, sondern auch bei der Verhüttung von bleiarmer, aber silberführenden Kupfer- oder Fahlerzen, denen das Metall einfach zugegeben wurde (verbleierndes Schmelzen). Vor allem in der klassischen Antike fungierte Blei als Edelmetallsammler (Bachmann, 1982a). Plinius erwähnt, dass Kupfer-Zink-Erzen Blei vor der Verhüttung zugegeben wurde. Wahrscheinlich bezog er sich auf das historische Bergbaugebiet von Rio Tinto in Südspanien (San José et al., 2004). Dort wurde für die Silbergewinnung aus „Jarositischen Erden“, damit ist die silberreiche Zone unterhalb des Eisernen Hutes gemeint, aus silberreichen Fahlerzen und aus Kupfererz Blei importiert (s. Keesmann, 1993). Zwei römische Bleibarren aus Cartagena, die in den anliegenden Abfallhalden gefunden wurden, werden als Beleg herangezogen (Palmer, 1927, zitiert in Craddock et al., 1985).

1.3 *Blei in römischer Zeit*

Da die prinzipiellen Prozesstechniken zur Pb-Ag-Gewinnung schon vor der Zeit des Aufstiegs Roms ausgereift waren, beschränkte sich der Beitrag der Römer zur Metallurgiegeschichte hauptsächlich darauf, den *status quo* in der damals bekannten Welt zu verbreiten. Die hervorstechende Eigenschaft der Römer war also eher ihr ausgeprägtes Organisationstalent. Der Techniktransfer machte nicht an den Reichsgrenzen halt, sondern beeinflusste auch die Menschen in den angrenzenden Gebieten. Viele Stämme, die an der Peripherie zum Imperium lebten, trieben Metall- und Warenhandel mit den Römern (Tylecote, 1976).

Blei als Gebrauchsmetall

Blei war das billigste Metall der Antike und wurde wie in den Silberminen von Laurion lange Zeit als reines Abfallprodukt behandelt (z.B. Tylecote, 1976, Bachmann, 1982a). Zur Herstellung von Waffen und Werkzeugen war das weiche und schwere Metall ungeeignet. Lediglich als Massenwerkstoff für Bleianker und Schiffsbleche wurde es verwendet. Die Bleiverkleidung sollte die Holzschiffsrümpfe unterhalb der Wasserlinie vor allem gegen die im Mittelmeer anzutreffende Bohrmuschel *Teredo navalis* schützen (Moesta, 1983).

In römischer Zeit bekam das Blei seinen festen Platz im Leben der Menschen der Antike. Bleierz war nicht mehr nur Silberträger, sondern nun wurde auch gezielt auf Blei verhüttet (z.B. Nriagu, 1983a). Trotzdem war es immer noch sehr günstig zu erwerben. Zu Lebzeiten von Plinius wurde es zu einem Zehntel des Preises von Zinn verhandelt (Plinius 34.161). Es war leicht herzustellen, hatte hervorragende Guseigenschaften und ließ sich bei niedrigen Schmelztemperaturen problemlos wieder aufarbeiten. Sein Träger, der Bleiglanz, kam in großen Mengen in den römischen Provinzen vor. Als billiger Werkstoff wurde Blei deshalb im expandierenden Imperium in Schifffahrt, Militär und Städtebau unverzichtbar. Laut Meier (1994) könnte deshalb um die Zeitenwende sogar ein Mangel an Bleimetall im Imperium vorgeherrscht haben. Um eine Verknappung an Blei zu vermeiden, wurden neu eroberte Bleierzlagerstätten deshalb sehr schnell in Betrieb genommen (Tylecote, 1976).

Besonders der Lebensstandard der Stadtbevölkerung verursachte eine große Nachfrage nach Blei. Unmengen wurden für Rohrleitungen und Zisternen benötigt (z.B. Grögler et al., 1966, Tylecote, 1976). Plinius (34.164) erwähnt Rohre und Bleche als Verwendungszweck des Bleis. Die weit verzweigten Wasserleitungen dienten der hoch entwickelten Badekultur und der Trinkwasserversorgung und waren deshalb unabdingbare hygienische Voraussetzungen für das Leben der Massen in den Großstädten. Fünf Tonnen Blei ergaben damals 350 m Bleirohr (Herschend, 1995).

Weitere Erzeugnisse aus Blei waren Eintrittskarten für den Zirkus, Plomben, Handelssiegel und Stempel, Spruchtäfelchen, Peitschen- und Netzbeschwerer, Stifte, Lampen, Haken, Amulette, Pumpen zur Wasserhaltung im Bergbau, Salzsiedepfannen, Urnen und Sarkophagauskleidungen, Senkbleie und Normgewichte sowie Schleudergeschosse. Schon in vorrömischer Zeit diente das Blei zum Vergießen der die steinernen Götter mit dem tragenden Sockel verbindenden Zapfen und im Brückenbau zum Vergießen von Eisen- und Bronzeklammern. Bleiverbindungen kamen als Farb-, Süß- und Konservierungsstoffe und zur Behandlung von Geschwüren, zur Hemmung von Narbenbildungen und des Geschlechtrieses, zum Einsatz (Plinius 34.166). Mit Blei wurden Tongefäße repariert, Falschgeld hergestellt, Häuser abgedeckt, Zinngeschirr gefertigt und sogar Spielwürfel manipuliert (z.B. Tylecote, 1976, Eiseman, 1980, Walford, 1980, Domergue, 1990). Der durchschnittliche Jahresbedarf an Blei wird von Nriagu (1996) auf 80000 bis 100000 t geschätzt.

Die Übernahme der Bleierzlagerstätten

Auch andere Metalle wie Zinn, Kupfer, Eisen, Silber und Gold waren wichtige Wertstoffe für den Erhalt der Vormachtstellung Roms. Die strategische Kriegsführung Roms war zu einem Großteil durch den Bedarf an Metallen gelenkt. Durch die Eroberungen von Spanien, Gallien, Britannien, Dakien, Dalmatien, Mazedonien, Thrakien, Kleinasien und Ägypten hatten die Römer innerhalb von drei Jahrhunderten Zugriff auf alle damals bekannten Lagerstätten der antiken Welt. Besonders ertragreich waren küstennahe Lagerstätten wie die von Cartagena oder Rio Tinto auf der Iberischen Halbinsel. Der Abtransport war zeit- und kostengünstig. Meier (1994) schätzt, dass der finanzielle Aufwand zwischen See-, Fluss- und Landfracht in römischer Zeit bei 1:6:55 lag.

Der Bergbau auf Bleierze war in römischer Zeit wahrscheinlich weitaus intensiver, als es die heutigen Überreste in den Provinzen vermuten lassen (Tylecote, 1976). Der Verlust ungezählter Menschenleben aufgrund katastrophaler Arbeitsbedingungen war die Konsequenz. Dem damaligen Denken zufolge waren eroberten Minen und die für den Bergbau abgestellten Sklaven der gewöhnliche Preis des Krieges. Der Erfolg Roms fußte deshalb auch auf der Sklavenarbeit (de Martino, 1985). Niagru

(1983a, b) geht davon aus, dass in griechisch-römischer Zeit mehrere hunderttausend Menschen an akuter Bleivergiftung und Erschöpfung durch Bergbau und Verhüttung starben. Alleine in Cartagena arbeiteten nach Überlieferung von Polybius (gest. 47 n. Chr.) 40000 Menschen in den Bergwerken.

Die Iberische Halbinsel war das Hauptproduktionsland für Blei in der Römischen Republik. Dies galt wohl auch für den Beginn der Römischen Kaiserzeit. Dort gab es hochentwickelten Bergbau wie in Linares, Cartagena, Mazzaròn und im kantabrischen Gebirge (Überblick in Meier, 1995). Mit der Übernahme der britannischen Bleierzlagerstätten änderte sich ab 43 n. Chr. die Versorgungssituation. Plinius berichtet, dass in Spanien und Gallien die Bleierzlagerstätten mit großer Mühe befahren wurden, sie in Britannien aber so günstig anstanden, dass der Bergbau (unter Vespasian, 69 bis 79 n. Chr.) gesetzlich eingeschränkt werden musste (Plinius 34.164). Die Massenproduktion in Britannien bedeutete aber nicht, dass der Bergbau in Spanien zeitgleich zum Erliegen kam. In Spanien waren im 1. Jahrhundert n. Chr. weiterhin von den Kolonien gehaltene oder verpachtete Silberminen und einige große Bleiminen für längere Zeit in Betrieb (Orejas & Sánchez-Palencia, 2002). In den anderen Provinzen des Reiches, wie z.B. auf Sardinien, in Gallien, Germanien oder im Balkangebiet, liegt der wahre Beitrag zur Bleiversorgung Roms aber noch im Dunkeln (z.B. de Martino, 1985, Begemann & Schmitt-Strecker, 1994, Meier, 1994, Rothenhöfer, 2005, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007, Bode et al., 2007). *In dieser Arbeit wird versucht, neue Erkenntnisse zum Beitrag Germaniens zur Bleiversorgung in augusteischer Zeit zu liefern.*

Der Bleihandel

Der römische Staat konnte in der Zeit der Römischen Republik und in der Frühkaiserzeit mit der Verpachtung von Bleiminen an Privatleute oder Gesellschaften hohe Steuergewinne erzielen. Er war grundsätzlich Monopolist auf Grund und Boden des Reiches. Alle fünf Jahre wurden die staatlichen Minen an die Höchstbietenden verpachtet (Meier, 1994). Die Größe des Reiches machte es aber schwierig, in allen Gegenden die Kontrolle zu bewahren. Reiche Bürger konnten mit Leichtigkeit die geltenden Gesetze außer Kraft setzen. So hatte die Privatisierung des Bergbaus zur Folge, dass der Staat teilweise die Kontrolle über die Rohstoffgewinnung verlor und

die Verpachtung der Bodenschätze mit einem zerstörerischen Raubbau und allgemeiner Korruption einher ging (Meier, 1995). Die Verwüstungen konnten derart intensiv sein, dass in manchen Gegenden Spaniens an die Wiederaufnahme des Bergbaus in späterer Zeit nicht mehr zu denken war. Vielleicht lag dieser Missbrauch darin begründet, dass die Menschen in der Antike von der natürlichen Regeneration der Lagerstätten überzeugt waren, wahrscheinlicher war es reine Geldgier. In der Kaiserzeit wurden die Minen wieder stärker durch den Staat kontrolliert und kamen im Laufe des 1. Jahrhunderts n. Chr. fast vollständig in staatlichen bzw. kaiserlichen Besitz zurück. Die Verwaltung in den Provinzen und Minen übernahmen nun Diener und Sklaven des Kaisers (z.B. Rickard, 1932).

Ersichtlich ist diese Veränderung auch an den imperialen Kontrollstempeln auf Bleibarren wie denen von Ses Salines oder St. Maries-de-la-Mer (Veny, 1970, Parker, 1974, Long & Domergue, 1995, Trincherini et al., 2001, Rothenhöfer, 2003-2006). Der Händlerstempel verschwindet und dem Produzentenstempel, sofern vorhanden, wird ein imperialer Stempel zugefügt. Dieses Blei ging folglich in den Besitz des Kaisers über (z.B. Herschend, 1995, Rothenhöfer, 2003-2006). In der Römischen Republik bestand die Inschrift aus Abkürzungen der Namen des Minenpächters oder der Minengesellschaft und der Ortsangabe (z.B. Rickard, 1932, Davies, 1935, Meyer-Boulenaz, 1952, Piccotini et al., 2003). In manchen Fällen wurden die Inschriften durch Logos (z.B. Delphin, Anker, Schwan, Heroldstab) ergänzt (z.B. Rickard, 1932, Meier, 1994, Piccotini et al., 2003).



Foto 1.3: Einer der acht trapezförmigen Bleibarren von insgesamt 99 Bleibarren aus dem Wrack von St. Maries-de-la-Mer mit den Produzentenstempeln FLAVI VERUCLAE PLVMB GERM, L·FL·VERU und L·FL·VE (Long & Domergue, 1995). Die meisten Barren führen den kaiserlichen Besitzerstempel IMP CAES (Foto P. Rothenhöfer).

Der Bleifernhandel

Wie verlustreich der Überseetransport in der Antike war, ist nicht eindeutig zu klären. Zumeist werden die gesunkenen Schiffe nur in Küstennähe bis zu einer Tiefe von 70 m entdeckt. Dies entspricht der Tauchtiefe von Sporttauchern (Meier, 1994). Dass man aber an den Rändern des Mittelmeeres insgesamt über 800 Schiffe gefunden hat, könnte dafür sprechen, dass die Händler ihre Route gezielt entlang des flachen Schelfbereiches wählten. Interessanterweise findet man im westlichen Mittelmeer fast doppelt so viele Wracks wie im östlichen Teil, da an der Küste Kleinasiens der Untergrund steiler abfällt als vor Spanien, Frankreich oder Italien (Meier, 1994).

Etwa ein Viertel der bis 1983 im Mittelmeer gefundenen Schiffe stammen aus der Römischen Republik, ein weiteres Viertel aus der jüngeren Kaiserzeit (Meier, 1994). Den Wracks vor den spanischen Mittelmeerinseln, der französischen Küste oder vor Sardinien nach zu urteilen, ging das Blei von Spanien entlang der Balearen und durch die Strasse von Bonifaccio nach Ostia an die italienische Westküste und dann über Land nach Rom. Führte der Weg weiter, ging es um Sizilien herum nach Osten. Eine zweite Möglichkeit des Transportes verlief durchweg entlang des Küstensaumes nach Ostia. Herschend (1995) nennt als Beispiele havariierter Schiffe die Wracks von Cabrera, Ses Salines (Balearen), Lavezzi und Perduto (Nordsardinien) (Veny, 1970, Parker, 1974, Berti, 1985, Colls et al., 1986, Domergue, 1987b, Liou & Domergue, 1991, Bernard & Domergue, 1991). Ein weiteres Wrack liegt vor der französischen Küste bei St. Maries-de-la-Mer (Long & Domergue, 1995, Trincherini et al., 2001). Jüngst wurde ein Neufund mit Bleibarren bei Rena Maiore vor Sardinien gemacht (Riccardi & Genovesi, 2002, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Die größte Barrenladung fand man in einem Schiffswrack vor der Westküste Sardinien mit rund 1000 Bleibarren (Mal di Ventre) (Alessandrello et al., 1991, Fiorini, 1991, Salvi 1992, Salvi et al., 1992, Pinarelli et al., 1995). *Ob die Schiffswrackfunde von St. Maries-de-la-Mer und Rena Maiore, dafür sprechen die Inschriften, Blei aus Germanien transportierten, soll in dieser Arbeit nach Vorarbeiten von Rothenhöfer (2003a-c, 2004a, 2005, 2006) und Hanel & Rothenhöfer (2005, 2007) mit Hilfe von Bleiisotopenanalysen nachgeprüft werden.*

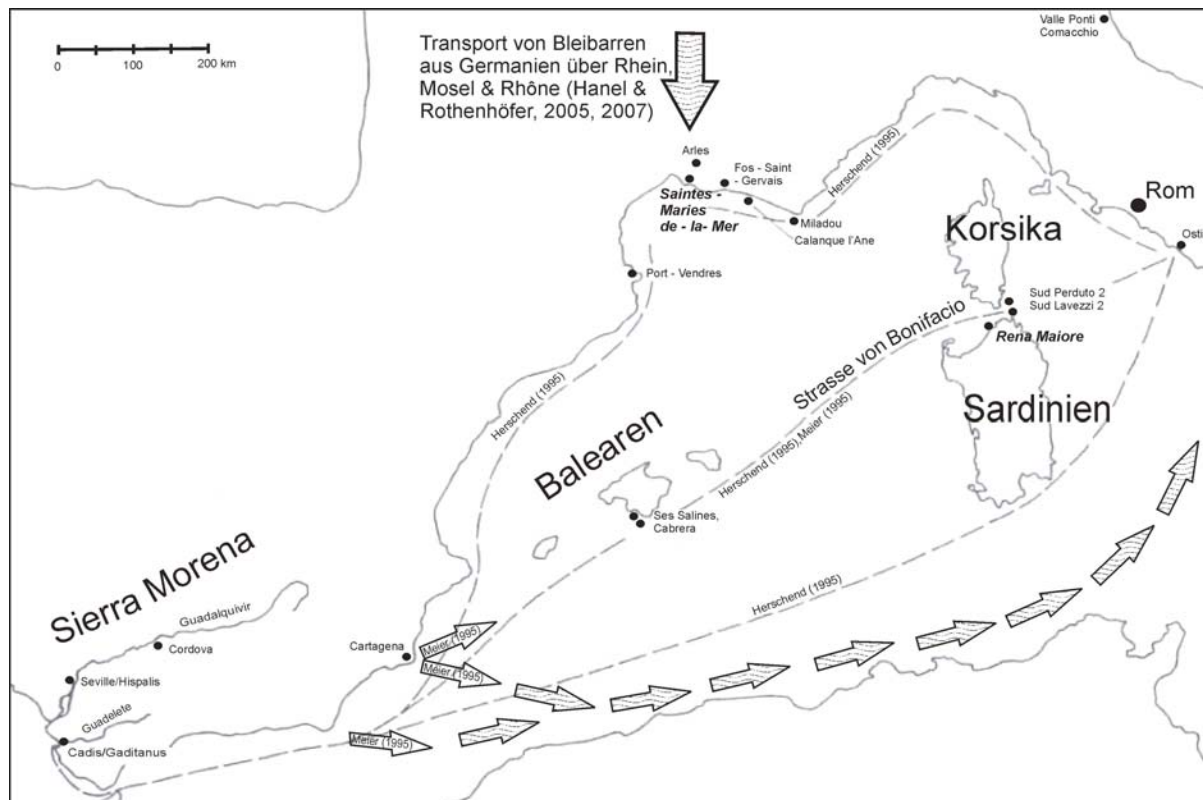


Abb. 1.1: Karte des westlichen Mittelmeers mit Fundorten römischer Schiffe aus der Römischen Republik und der frühen Römischen Kaiserzeit (nach Herschend, 1995). Fett und kursiv gedruckt sind Fundorte von Augustus-zeitlichen Schiffswracks mit Bleibarren aus Germanien. Mit Pfeilen sind weitere Transportrouten nach Meier (1995) und Hanel & Rothenhöfer (2005, 2007) markiert.

1.4 Das Potential des Bleis für die Archäometallurgie

Die Bleisotope

Blei als Element hat am Aufbau der Erdkruste einen durchschnittlichen Anteil von 0,002%. Es ist das häufigste Schwermetall und setzt sich aus vier stabilen Isotopen zusammen. Das ^{207}Pb ist das Endprodukt aus dem radioaktiven Zerfall von ^{235}U (Uran), ^{206}Pb von ^{238}U und ^{208}Pb von ^{232}Th (Thorium). Das ^{204}Pb ist das einzige nichtradiogene (primordiale) Nuklid. Es macht heute nur 1,48% des natürlichen Bleis aus und wird ständig durch neu produziertes radiogenes Blei „verdünnt“ (Abb.1.2). Die Halbwertszeiten der Mutterisotope U und Th variieren zwischen 700 Millionen und 14 Milliarden Jahren. Beim Vergleich von präkambischen mit jungalpiner Bleiglanz zeigt sich, dass sich das Blei der Lithosphäre seit den letzten 3,3 Milliarden Jahren um etwa 20 % vermehrt hat.

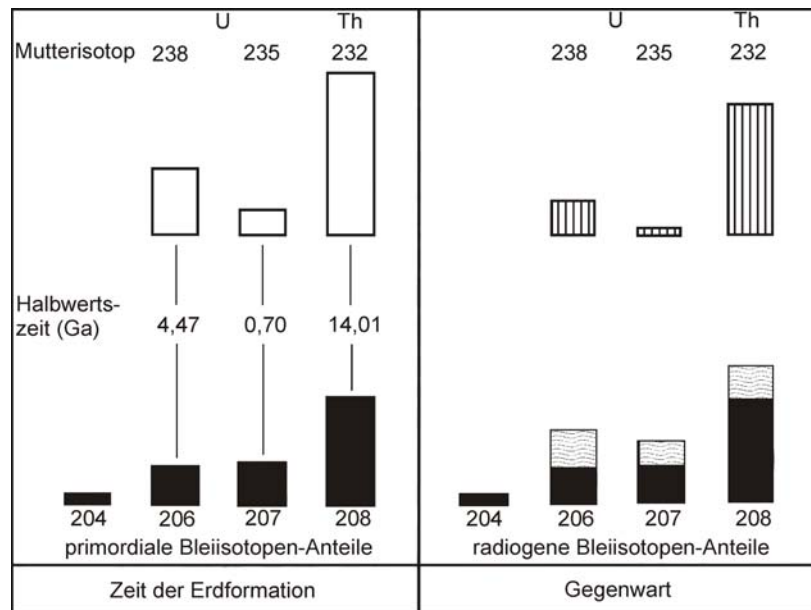


Abb. 1.2: U- und Th-Mutterisotope und Pb-Tochterisotope mit deren relativen Mengen zur Zeit der Erdformation und in der Gegenwart. Die Produktion an radiogenem Blei seit der Erdformation ist wellenförmig punktiert und die heutigen U- und Th-Anteile vertikal straffiert (Abbildung nach Gulson, 1986).

Prinzipiell besitzen sowohl Blei als auch Uran und Thorium eine hohe Mobilitätsbereitschaft (z.B. Wedepohl et al., 1978, Koger & Lippolt, 1982). Spätestens bei der Lagerstättengenese kommt es aber zur Trennung von Mutter- und Tochterisotopen. Beim Wachstum des Bleiglanzes wird U und Th nur in Spuren in die Kristallstruktur eingebaut. Ein weiterer Zusatz an radiogenem Blei ist deshalb zu vernachlässigen. Der Bleiglanz hat ab diesem Zeitpunkt ein fixes Bleiisotopenverhältnis (z.B. Doe & Stacey, 1974). Würden U und Th in größeren Mengen im Bleiglanz vorkommen und dort kontinuierlich zu Pb zerfallen, dann hätte man keine zeitabhängige Bleizusammensetzung des Erzes und somit auch kein Unterscheidungskriterium für Lagerstätten verschiedenen Bildungsalters.

In der Rekonstruktion geologischer Prozesse und in der Provenienzanalytik bieten Bleiisotope zwei grundsätzliche Vorteile gegenüber anderen radioaktiven Zerfallsmodellen. Als erstes kann im Gegensatz zu einfachen Mutter-/Tochterisotopensystemen wie $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ auf verschiedene radiogene Bleiisotope zurückgegriffen werden. U und Th, die Mutterisotope des Bleis, besitzen zudem verschiedene chemischen Eigenschaften, die die Variabilität und somit die Charakteristik der Bleizusammensetzung der betrachteten Systeme noch verschärfen können. Zum zweiten wird das Bleiisotopenverhältnis praktisch nicht durch geologische und metallurgische Prozesse beeinträchtigt. Dass leichte Isotope

wie Schwefel, Sauerstoff oder Wasserstoff hingegen merklich fraktionieren, liegt in den größeren relativen Massenunterschieden zwischen den Isotopen und den unterschiedlichen Oxidationsstufen dieser Elemente begründet (Diskussion z.B. in Gulson, 1986).

Die Anwendung der Bleisotope in der Geologie

Je jünger eine Erzlagerstätte ist, desto mehr radiogene Bleisotope ^{206}Pb , ^{207}Pb und ^{208}Pb enthalten ihre Erzminerale. Die Umwandlung der Isotopenzusammensetzung in eine Altersangabe wird aber erst durch die Existenz des stabilen ^{204}Pb möglich. Es erlaubt die Normierung des Isotopensystems (Zusammenfassung der verschiedenen Bleimodellalterberechnungen in z.B. Koger & Lippolt, 1982, Duncan, 1985, Faure, 1986, Bielicki & Tischendorf, 1991).

Trotz der Altersinformation, die im so genannten „common“-Blei steckt, das ist das Blei aus uran- und thoriumfreien Mineralen, werden Berechnungen von Blei-Blei-Modellaltern i. d. R. nicht mehr durchgeführt (Diskussion in Schaeffer, 1984, Wagner, 1999). Es lässt sich aber mit Hilfe von Pb-Pb-Diagrammen nachprüfen, ob Bleierze z.B. dem Trend der Bleisotopen-Entwicklungslinien für die durchschnittliche Erdkruste nach Stacey & Kramers (1975) und Cumming & Richards (1975) folgen. Krahn (1988) oder Wagner (1999) konnten dies für die von ihnen untersuchten Bleiglanze des Rheinischen Schiefergebirges bestätigen. Liegen Bleisotopendaten unterhalb der Entwicklungslinien, muss man mit dem Eintrag von Blei einer niedrig radiogenen Erdmantelkomponente rechnen, liegen sie darüber, mit dem Eintrag einer höher radiogenen Komponente, z.B. aus sehr jungen Sedimenten (Diskussion in Large et al., 1983, Schaeffer, 1984).

Infolge wiederholter tektonischer Prozesse kann Blei in Bleierzen viele Störungen erfahren haben und daher nur mit Vorsicht interpretierbare Alter liefern. Kogenetische Gesteine können aufgrund variabler U-, Th- und Pb-Gehalte zudem unterschiedliche Mengen an Blei produzieren. Der Mineralbestand des Liefergebietes für Blei ist hier von großer Bedeutung. Nur bei vollständiger Kenntnis des Alters und der Bleisotopenentwicklung in allen Systemen, die die Bleisotopie des Bleierzes beeinflusst haben, kann man verlässliche Alter errechnen. Daher spiegelt die

Bleiisotopenzusammensetzung einer Lagerstätte in der Praxis vor allem ihre eigene Entstehungsgeschichte wider (Faure, 1986).

Ein Beispiel wäre die Untersuchung hydrothermaler Bildungsprozesse. Ohne die Mitwirkung anderer Bleiquellen müssen remobilisierte Bleierze dieselbe Isotopensignatur besitzen wie die Bleierzgeneration, aus denen sie generierten. Stammen zwei Bleierz-Populationen aus demselben Muttergestein, so muss sich das Bleiisotopenverhältnis der jüngeren Generation mit den gleichen Milieuindexen μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$), ω ($^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$) und $\mu/137.88$ ($^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$), z.B. nach Stacey & Cramers (1975) weiterentwickelt haben. Gegenbeispiele gibt es im Sauerland. Vererzungen innerhalb kretazisch-tertiärer Sedimente des Ostsauerländer Hauptsattels sind stärker radiogen beeinflusst als variszische Bleiglanze bzw. postvariszische Bleiglanze, die in den paläozoischen Gesteinen sitzen. Laut Large et al. (1983) und Schaeffer (1984, 1986) kann man in diesem Fall „die Beteiligung einer stärker radiogenen Bleikomponente aus den Deckgebirgs-Sedimenten, vermutlich vorzugsweise aus Tonen und Mergeln unterkretazischen Alters, ableiten“ (Schaeffer, 1984). Solche Proben können jüngere Bildungsalter angeben.

Man kann davon ausgehen, dass Erzproben oder Erzlagerstätten einer gemeinsamen Quelle oder Quellengesteinen mit ähnlichen $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ und $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen entstammen, wenn sich die Bleiisotopenverhältnisse in gut definierte Populationsfelder konzentrieren (Krahn, 1988). Eine weitere Erklärungsmöglichkeit wäre die Mischung von Blei unterschiedlicher Gebiete in sehr großräumigen Hydrothermalsystemen (Lévêque & Haack, 1993, Schneider, 1994). Inhomogenitäten in der Bleiisotopie einer Lagerstätte, aber auch in Bleiglanzeinkristallen, deuten dagegen auf verschiedene oder inhomogene Lieferquellen.

Will man solche Lieferquellen eingrenzen, so muss man die Bleizusammensetzung der Muttergesteine auf das vermutete Mineralisationsalter zurückrechnen. Dies bedingt eine genaue Bestimmung der Bleiisotopenverhältnisse und der $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ -, $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ und $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse der Gesteine (Brévar et al., 1982, Gulson, 1986).

Die Anwendung der Bleiisotope in der Archäometallurgie

Bei der Provenienzanalyse an archäologischen Objekten ist die Rekonstruktion des genauen Alters von Lagerstätten oder deren Entwicklungsgeschichte nicht entscheidend, trotzdem gerade die Altersinformation in den (Blei-)Erzen Grundvoraussetzung für die Anwendung der Bleiisotopenmethode ist. Sie ermöglicht die Unterscheidung von Lagerstätten aus verschiedenen geologischen Epochen und damit die Eingrenzung von möglichen Liefergebieten. Ist z.B. nur die Bleizusammensetzung eines Metallfundes bekannt und nicht die Lieferquelle, so kann schon zu Beginn der Untersuchung, natürlich unter der Voraussetzung, dass das Metallobjekt keine Mischung verschiedener Lagerstätten verkörpert, ein Großteil der nicht mit dessen Bleisignatur kongruenten Lagerstätten ausgeschlossen werden, nämlich solche, die niedriger oder höher radiogen bzw. älter oder jünger sind. Bei Barren handelt es sich in der Regel um eine Fundgruppe, die vor Ort, also direkt im Bergbauggebiet, für den Abtransport von einer Lagerstätte gegossen wurde und deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit nur von einer Lagerstätten stammt (z.B. Grögler et al., 1966, Begemann & Schmitt-Strecker, 1994). Es kann jedoch nicht prinzipiell ein Erz oder eine Lagerstätte einem Metallfund zugeordnet werden. Die Bleiisotopenmethode ist ein negatives Ausschlussverfahren.

Bei der Suche nach potentiellen Metalllagerstätten gilt zudem der Anspruch, dass man das Bleiisotopenverhältnis eines Erzes direkt mit dem eines Metalls vergleichen kann, egal welche metallurgischen Prozesse dazwischen liegen. Die Kandidaten, deren Bleiisotopenwerte mit denen des Metalls übereinstimmen oder aus denen das Metall als Mischung hervorgegangen sein kann (sofern sie aus archäologischer Sicht unbedingt zu favorisieren sind), werden als mögliche Lieferquellen gehandelt. Dass Artefakte in einem Pb-Pb-Diagramm auch auf Mischungslinien potentieller Lagerstätten liegen können, muss in die Herkunftsanalyse miteinbezogen werden. Die Wahrscheinlichkeiten, mit denen ein Metall von möglichen Lieferquellen stammt, muss dann mit Hilfe der Archäologie diskutiert werden.

In manchen Fällen kann eine Lagerstätte in ihrer Bleiisotopenzusammensetzung stark variieren. Zum Beispiel können schon während der Deposition mehrere Lieferquellen mit verschieden radiogenem Blei beteiligt sein. In anderen Fällen kommt es zur Remobilisierung von Blei durch jüngere hydrothermale Ereignisse. Es

hat zur Folge, dass innerhalb einer Lagerstätte sowohl höher als auch niedriger radiogene Erze und auch Mischungen zwischen beiden existieren. Dies führt zu einer isotopischen Variabilität innerhalb eines Erzkörpers. Diese Variabilität kann in sehr ausgedehnten Pb-Zn-Lagerstätten extrem werden und liefert stark streuende Isotopenzusammensetzungen. In solchen Fällen ist es notwendig, möglichst viele Metallobjekte zu analysieren, um deren Streubreite der Bleiisotopie die einer inhomogenen Lagerstätte entgegenzustellen.

Bleiisotopenanalytik contra Spurenelementanalytik in der Provenienzuntersuchung

Im Gegensatz zur Bleiisotopenmethodik ist der direkte Vergleich der Spurenelemente zwischen den Erzen und den Metallen komplexer. Da jedes Element spezifische chemische Eigenschaften besitzt, werden die Spurenelementkonzentrationen in der oberen Zone einer Lagerstätte durch die chemische Verwitterung verändert, d.h. in bestimmten Bereichen ab- oder angereichert. Lagerstätten sind deshalb geochemisch sehr variabel. Das Bleiisotopensystem und deshalb die Bleiisotopenzusammensetzung der Erzminerale in einer Verwitterungszone bleibt davon unberührt. Daher ist es möglich, heute in Gruben gesammelte Erzproben, die eventuell aus der damals noch nicht aufgeschlossenen primären Lagerstättenzone stammen, mit solchen Artefakten bleiisotopisch zu vergleichen, die mutmaßlich, wie im antiken Laurion, aus der Oxidationszone stammen (über postgenetische Stofftransporte in Lagerstätten: Smirnow, 1954, Gulson & Mizon, 1979, Gulson, 1986).

Im Normalfall ist es also die Bleiisotopie und nicht die Spurenelementzusammensetzung von Metallen, die beim Vergleich der Datensätze der Metalle und Erzkörper den Ausschlag gibt, woher diese Metalle stammen können. Die Spurenelemente sind dann wichtig, wenn ein zufrieden stellendes Ergebnis durch die Bleiisotopenvergleiche ausbleibt und zwei oder mehr Lagerstätten weiterhin als Rohstoffquelle in Betracht kommen. Dass neben der Unsicherheit, ob primäre oder sekundäre Erze verhüttet wurden, auch durch Flussmittelzusatz und Abrauch der volatilen Elemente bei der Metallgewinnung ein Vergleich zwischen Erz und Metall nur annäherungsweise möglich ist, muss einkalkuliert werden. Schließlich gehen auch die Spurenelemente der Erze nicht gleichsam alle in das Metall über, sondern

je nach Neigung zur Oxidation reduziert in das Metall oder als Oxid in die silikatische Schlacke (z.B. Seeliger et al., 1985, Pernicka, 1990). Auch hier gilt daher wie bei der Bleiisotopenmethode, auf möglichst viele Messdaten zugreifen zu können.

Bei der Kupfer- und Eisenmetallurgie können höhere Gehalte an U und Th im Erz die Provenienzanalyse erschweren oder unmöglich machen. Der Zuwachs an radioogenem Blei durch die radioaktiven Mutterisotope wird umso spürbarer, je weniger Blei in den Erzmineralen eingebaut ist. Dieses gilt beispielsweise für die Kupfererze von Troia, Ergani Maden, Feinan und Rudna Glava (Pernicka et al., 1984, Seeliger et al., 1985, Hauptmann et al., 1992, Pernicka, 1999). Trotzdem gelang es Hauptmann et al. (1992) in Feinan Kupferobjekte Lagerstätten zuzuordnen, und zwar aufgrund der Spurenelementmuster der Erze und der Fundobjekte.

Zur Fraktionierung von Bleiisotopen

Bei jedem Volatilverlust an Blei wird das Bleiisotopenverhältnis zugunsten der schwereren Bleiisotope verändert. Leichteres Blei geht bevorzugt bei gegebenem Dampfdruck in die Gasphase über. Allgemein wird die Bleiverflüchtigung um so bedeutender, je höher die Temperatur ist und je mehr flüchtige Bestandteile, wie Arsen und Antimon, vorhanden sind, welche die Verdampfung von Blei begünstigen (Tafel & Wagenmann, 1953). Die relativen Massenunterschiede zwischen den Bleiisotopen sind im Gegensatz z.B. zu den Sauerstoffisotopen aber sehr gering. Der Fraktionierungseffekt sollte daher moderat sein (Gulson, 1986, erste Versuchreihen von Richards et al., 1926). Theoretische Berechnungen unter Einbeziehung der kinetischen Eigenschaften der einzelnen Bleiisotope haben gezeigt, dass nicht equilibrierte Verluste von über 40% Blei auf dem Weg vom Erz zum Bleimetall zu signifikanten Veränderungen der Bleiisotopenverhältnisse (0,2 bis 0,3 %-Abweichung) führen (Budd et al., 1995b). In der Praxis ist der Dampfverlust und damit der Fraktionierungseffekt jedoch nicht so einfach abzuschätzen, auch da das Erz auch andere volatile Elemente enthält. Insgesamt ist die Situation zu komplex, um den Bleiverlust genauer abzuschätzen. Vor allem der Aufbau der Verhüttungsöfen (geschlossene oder offene Konstruktionen) und die Temperatur haben Einfluss auf den Dampfdruck über der Verhüttungscharge und damit über den resultierenden Dampfverlust auf die Fraktionierung des Bleis.

Es werden weitere Versuchsreihen empfohlen, um den Bleiverbrauch und die Fraktionierung des Bleis während der Bleigewinnung im Altertum genauer quantifizieren zu können (Diskussion in Budd et al., 1994, 1995a, b, 1996). Zahlreiche archäometallurgische Untersuchungen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass Provenienzstudien anhand von Bleiisotopenvergleichen zwischen Erzen und Objekten zu überzeugenden Ergebnissen führen und eine auffällige Fraktionierung der Bleiisotope durch metallurgische Prozesse nicht nachweisbar ist (z.B. Grögler et al., 1966, Begemann & Schmitt-Strecker, 1994, Pinarelli et al., 1995, Trincherini et al., 2001, Picottini et al., 2003, Rodá, 2004, Domergue et al., in Druck).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zu den prinzipiellen Anforderungen an die Bleiisotopenmethode das Fehlen von U und Th im Erz, die Beständigkeit der Bleiisotopenzusammensetzung in den Mineralen trotz chemischer Umwandlung in der Oxidationszone und die Vernachlässigung eines Fraktionierungseffektes durch Dampfverluste an Blei bei metallurgischen Prozessen gehören. Pioniere, die die Vorteile der Bleiisotopenmethode für Herkunftsfragen nutzten, waren Brill & Wampler (1965, 1967) und Grögler et al. (1966), danach Gale & Stos-Gale (1981a, b).

Über die Anwendung der Kupferisotope bei der Provenienzuntersuchung

Die von Gale et al. (1999) erstmals für archäometallurgische Untersuchungen vorgeschlagene Messung von Kupferisotopen kann, wie auch die Spurenelementanalysen, die Provenienzanalyse mittels Bleiisotopen unterstützen. Diese Methode wurde jüngst von Bendall (2003) an keltischen Goldmünzen und von Klein et al. (2004) an römischen Kupfermünzen durchgeführt. Wie die Bleiisotopenverhältnisse wird auch das $^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ -Verhältnis durch metallurgische Prozesse nicht signifikant verändert (Gale et al., 1999, Bendall, 2003). Das Kupferisotopenverhältnis von Kupfer oder Kupferverbindungen ist jedoch nicht zeitabhängig, sondern steht in Relation zur Bildungstemperatur (Zhu et al., 2000, Larson et al., 2003). Zum Beispiel besitzt sekundär in der Verwitterungszone, also bei tiefen Temperaturen gebildetes gediegenes Kupfer oder Kupferkarbonat eine größere Variation im $^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ -Verhältnis, primär aus heißen Erzlösungen ausgefällte Kupfersulfide hingegen eine engere Spannbreite. Deshalb ist es prinzipiell möglich, zwischen kupferhaltigen Artefakten, deren Erze aus der

oberflächennahen Oxidationszone stammen, und solchen, deren Erze sulfidisch waren, zu differenzieren. Bisher wurden lediglich Kupfererze für die erweiterte Provenienzanalyse untersucht und es zeigte sich, dass die $\delta^{65}\text{Cu}\text{‰}$ -Werte in Kupfermineralen und Erzgesteinen beträchtlich variieren können. Dies erschwert die Suche nach Liefergebieten für kupferhaltige Objekte. An Bleiartefakten fand diese Methode noch keine Anwendung, da hierfür noch keine Vergleichsdaten von $^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ -Verhältnissen aus dem Bereich von prominenten historischen Bleibergbauen existieren. Wenn aber bei der Provenienzuntersuchung Lagerstätten wie die von Laurion, wo nachweislich Cerussit zusammen mit Bleiglanz aus dem Eisernen Hut abgebaut wurde (z.B. Meier, 1995), involviert sind, kann die Hinzunahme der Kupferisotope theoretisch Erfolg versprechend sein.

1.5 Aufgabenstellung dieser Arbeit

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen die Provenienzstudien an römischen und „germanischen“ Bleifunden aus der *Germania Magna*. Drei Fundgruppen der frühen Römischen Kaiserzeit kommen dabei zur Betrachtung:

-Bleiobjekte (Gewichte, Lote, Schleuderbleie, Bleche, Gussreste usw., insgesamt 147 Analysen) aus den rechtsrheinischen augusteischen Römerlagern und vom Schlachtfeld Kalkriese,

-frühkaiserzeitliche augusteische römische Bleibarren von Bad Sassendorf-Heppen (Westfalen), St. Maries-de-la-Mer (Cote d'Azur, Frankreich) und Rena Maiore (Sardinien, Italien), die ihren Inschriften nach aus Germanien stammen (9 Analysen) und ferner

-„germanische“ Kleinbarren (Foto 1.4) (insgesamt 70, davon 49 beprobt) und weiteres Blei aus Siedlungen Westfalens und des Sauerlandes aus dem 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. (36 Analysen).



Foto 1.4: „germanischer“ Bleibarren von Brilon-Osterhof (ca. 480g).

Von diesen Bleiobjekten und zusätzlich von Bleierzen aus dem Sauerland und der Nordwesteifel wird die chemische und die bleiisotopische Zusammensetzungen vorgestellt. Ergänzend wird auf bereits veröffentlichte Bleiisotopendaten und chemische Analysen von römischen Bleiobjekten und Bleiglanz römischer Bleierzreviere zurückgegriffen. Weitere im Rahmen der Arbeit bestimmte Bleiisotopendaten an Bleierzen werden in Kapitel 9.1 aufgelistet.

Die Bleifunde aus den Legionslagern und die römischen Bleibarren Germaniens stammen aus einer Zeit, in der die Bleiminen der spanischen Provinzen eventuell noch eine herausragende Stellung innehatten. Sie büssten ihre Vorrangstellung aber bis zum Ende des 1. Jahrhunderts n. Chr. fast vollständig ein. Der Bleihandel wurde ab Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. wahrscheinlich von den britannischen Bleiexporteuren dominiert (z.B. Meier, 1994, 1995, Gardiner, 2001). Ob die Bleierzlagerstätten Germaniens, die dem Imperium seit dem 2. Jahrzehnt v. Chr. bekannt waren, auch von überregionaler Bedeutung waren, lag bis vor kurzem noch im Ungewissen. Jüngste archäologische, historische und naturwissenschaftliche Untersuchungen lassen vermuten, dass die Bleiressourcen in den besetzten Teilen der *Germania*, dazu werden in dieser Arbeit auch die Bleierzdepots der Nordwesteifel gezählt, schon früh nach Ankunft der Römer von ökonomischem Gewicht waren (Körlin & Gechter, 2003, Rothenhöfer, 2003a-c, 2004a, 2005, 2007, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007, Durali-Müller, 2005, Körlin, 2006, Bode et al., 2007). Überregionaler Handel ist durch mediterrane Importe ins Bergische Land oder

nach Westfalen bewiesen (Kühlborn, 1982, 1997, Polenz, 1985, Körlin & Gechter, 2003).

Mit Hilfe naturwissenschaftlicher Methoden soll in dieser Arbeit überprüft werden, ob die in Kapitel 4.1 vorgestellten Bleiobjekte in der *Germania* oder in anderen Teilen des Römischen Reiches produziert wurden. Die von Durali-Müller (2005) beprobten Bleifunde von Dangstetten und Waldgirmes, beides Standorte aus augusteischer Zeit, sind mit großer Wahrscheinlichkeit auch aus der Nordwesteifel. Ein Teil der eigenen Ergebnisse wurde in dem jüngst erschienenen Band 8 „Bleibergbau und Bleiverarbeitung während der römischen Kaiserzeit im rechtsrheinischen Barbaricum“ aus der Reihe *Soester Beiträge zur Archäologie* veröffentlicht (Bode et al., 2007).

Eine weitere Aufgabe ist, nachzuprüfen, ob in den in Kapitel 2.3 vorgestellten rechtsrheinischen Siedlungen und Wirtschaftshöfen der älteren Römischen Kaiserzeit nicht nur Blei verarbeitet, sondern dies auch in nächster Umgebung gewonnen wurde. An mehreren Stellen in Westfalen und im südlichen Sauerland findet man gelochte Kleinbarren, die wahrscheinlich eine reine Transportform darstellten (Rothenhöfer, 2004b, 2005, 2007). Die meisten Barrenfunde befinden sich in der Nähe von Bleierzlagerstätten. Besonders viele innerhalb des historischen Bergbaugebietes von Brilon. Rehren (1998) untersuchte eine Auswahl von Kleinbarren mit Hilfe von Spurenelementanalysen (Balve-Garbeck, Brilon-Altenbüren). Da nicht mehr rekonstruiert werden konnte, welche Barren zu welcher Probennummer gehören, wurden diese Barren im Westfälischen Museum für Archäologie in Herne nochmals beprobt.

Festzuhalten ist, dass die Produktion solcher Kleinbarren kein lokales Phänomen darstellt, sondern auch in der *Baetica* und der *Gallia Narbonensis* stattfand (Sandars, 1905, Cochet, 2000, Rebiscoul, 2004). Mitunter ist es möglich, dass ein Teil des Bleis, sofern es im Sauerland von den Einheimischen gewonnen wurde, sozusagen als Beitrag zum römisch-germanischen Kulturaustausch auch ins Imperium exportiert wurde. Funde von Fragmenten großer Barrenstücke in den germanischen Buntmetallwerkstätten von Soest, die den römischen Bleibarren auffällig ähneln, unterstreichen diese Vermutung (s. Melzer & Pfeffer, 2007).

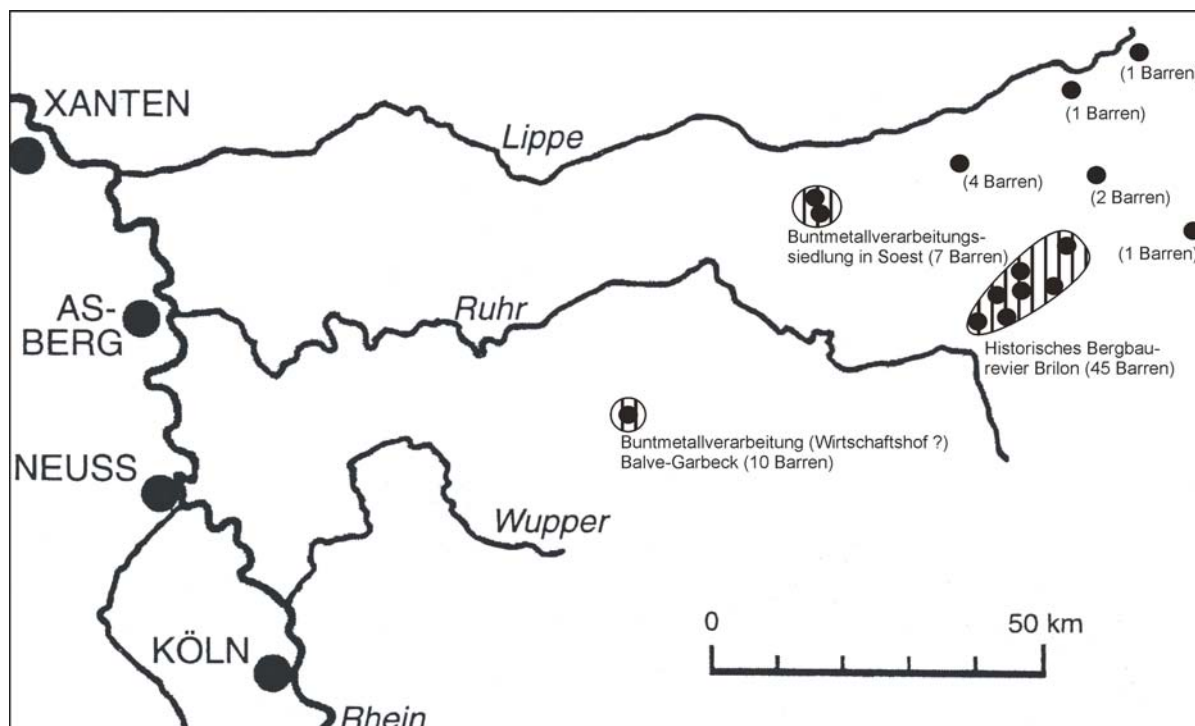


Abb. 1.3: Verteilung der „germanischen“ Kleinbarren in Westfalen. Auffällig sind die Fundkonzentrationen im Raum Brilon, in Soest und in Balve-Garbeck (Karte nach Rothenhöfer, 2007).

Die Materialanalysen an römischen Bleischlacken und an Bleiglätte aus dem Bergischen Land sind als vergleichende Untersuchungen zu den bisher veröffentlichten Studien zur Bleierzverhüttung in der Frühgeschichte und Antike vorgesehen (z.B. Bachmann, 1977, 1982a, Hauptmann et al., 1988, Klappauf & Linke, 1989, Heimbruch et al., 1989, Eckstein et al., 1994, Rehren & Klappauf, 1995, Hess et al., 1998, Rehren & Hauptmann, 1995). Somit stehen weitere Datensätze zur Verfügung, die das Bild zur frühen Blei-/Silbergewinnung unterstützen oder erweitern können.

1.6 Analytische Methoden

Thermionen-Massenspektrometrie (TIMS): VG Sektor 54 (Zentrallabor für Geochronologie (ZLG) Münster)

Probenaufbereitung: Die mit HSS-Edelstahlbohrern (DIN 338, Typ VA) den Bleiobjekten entnommenen Bleispänen wurden im Ultraschallbad in Aceton gesäubert und getrocknet. Von den Bleiglanzstücken wurden nach grober Vorzerkleinerung 5-10 g augenscheinlich reiner Bleiglanz aussortiert und in einer Achat-Kugelschlagmühle analysenfein gemahlen (ca. 30 Minuten, bis zu einer

Korngröße < 63 μm). Von den Metall- und Erzproben wurden ca. 3 mg abgewogen und mit 10 ml 6 n HCl in PbCl überführt. Die Lösung wurde auf 100 ml mit H₂O-Milli-Q verdünnt (30 ppm Pb-Lösung). Danach wurde 1 μl auf ein vorher ausgeheiztes Re-Zentralfilament mit 2 μl emissionsstabilisierendem Silicagel und 1 μl 0,25 n Phosphorsäure gegeben und in mehreren Schritten eingetrocknet und dann eingedampft (nach Cameron et al., 1969).

Für die Messungen am VG Sektor 54 im Zentrallabor für Geochronologie (ZLG) im Institut für Mineralogie in Münster wurde eine Beschleunigungsspannung von rund 8 kV angelegt. Die Messtemperatur variierte zwischen 1200 und 1300°C. Ein Probendurchgang wurde auf 90 Wiederholungen festgelegt und die Bleisotopenmengen simultan mit vier Kollektoren bestimmt. Die Fraktionierung der Bleisotopenverhältnisse während der Messung wurde mit dem Durchlauf des Standards NBS 982 (30ppm-Lösung) korrigiert (Todt et al., 1996). Der Korrekturfaktor beträgt 1,0011/amu. Der Standardfehler (Präzision, 2SE) lag bei allen Bleisotopenverhältnissen unter 0,01%. Die Standardabweichung (externe Reproduzierbarkeit, 2SD) belief sich nach 185 Standards für ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb auf 0,1072% (0,0011), ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb auf 0,0716% (0,0003), ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb auf 0,1200% (0,0439), ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb auf 0,1390% (0,0238) und für ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb auf 0,1864% (0,0682) (vergl. z.B. Pomiès et al., 1998, Scaife et al., 2001).

*Optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES): TJA IRIS/AP-HR
(DBM Bochum)*

Probenaufbereitung: Vom Bleimetall wurden ca. 50 mg in 2-3 ml 30%ige HNO₃ gelöst. Danach folgte die Verdünnung der Lösungen mit H₂O-Milli-Q auf 25 ml. Von den Bleierzen, Bleischlacken und den Bleiglätteproben wurden jeweils 100 mg in einem PTFE-Druckbehälter gegeben. Nach Zugabe von 1,5 ml HF (40%) und 8 ml einer 65%igen HNO₃ wurden die Proben in einem Mikrowellengerät (Typ $\mu\text{Prep-A}$, MWS-star-T-SYSTEME) aufgeschlossen. Nach dem Abkühlen wurden die Lösungen auf 50 ml mit H₂O-Milli-Q aufgefüllt. Die Probenlösungen wurden bei Temperaturen von 6000 bis 10000 K verdampft, atomisiert und ionisiert. Die abgegebenen Emissionen wurden spektral zerlegt und photoelektrisch detektiert. Für die Haupt- und Spurenelementmessungen der Bleiglänze wurde der Galenit GF-1 (Erzlagerstätte

Freiberg/Sachsen) als Standard verwendet (Schrön et al., 1975). Die Analysen der Bleimetalle wurden mit den Standards PG 1 bis PG 6 kalibriert. Die prozentualen relativen Standardabweichungen der bestimmten Elemente liegen zwischen 0,1 und 2,9%. Die Nachweisgrenzen sind in Prange (2001) aufgeführt.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): JEOL JSM 6400 (DBM Bochum)

Probenaufbereitung: Für die Dünnschliffherstellung wurden die Bleischlacken und Bleiglättstücke in objektträgergroße Scheiben zersägt, gesäubert und getrocknet. In mehreren Schritten wurden die Proben auf ca. 35 µm abgeschliffen, dabei mehrfach umgeklebt und mit Epoxidharz im Vakuum getränkt. Anschließend wurden die Proben mit Diamantspray auf eine Enddicke von ca. 25 µm poliert. Bedampft wurden die Dünnschliffe für die Rasterelektronenmikroskopie mit Kohlenstoff.

Messung: Als Elektronenquelle diente eine Wolfram-Glühkathode. Die zwischen Kathode und Anode angelegte Hochspannung betrug 20 keV, der Arbeitsabstand 39 mm. Die Nachweisgrenzen des REM liegen bei ca. 1000 ppm für jedes Element.

Röntgendiffraktometrie (XRD): PANalytical X`Part Pro (DBM Bochum)

Probenaufbereitung: Für die Röntgen-Pulverdiffraktometrie wurden ca. 1 g analysenfeines Pulver der Bleischlackenstücke verwendet. Die Proben wurden in Metallhalter mit der back-loaded-Technik möglichst texturfrei eingepresst.

Die Proben wurden mit einem ADS (automatischen Divergenzschlitz) gemessen. Die Leistung der Kupferröhre beträgt 45 kV und 40 mA, die Wellenlänge der charakteristischen Strahlung der dazu verwendeten Kupferanode (Cu K α -Strahlung) ist 1,54178 Å. Gemessen wurde in einem Winkelbereich von 2-70° 2-theta mit einer Winkelgeschwindigkeit von 0,1°/min.

2.1 Die römische Außenpolitik im Rheingebiet von Caesar bis Domitian

Die Römer gingen nach militärischen Eroberungen in Germanien durchaus diplomatisch vor. Sie machten kooperierende Stammesfürsten zu Verbündeten, gaben ihnen römisches Bürgerrecht und banden sie somit in das Römische Reich ein. Viele germanische Stämme boten den Römern ihre Dienste als Söldner an. Sie galten als äußerst loyal und tapfer (z.B. Brodersen, 1998). Das Herrschaftssystem Roms war auf die Zusammenarbeit mit den Einheimischen angewiesen. Allein mit militärischen Mitteln wäre es nie möglich gewesen, ein Gebiet von der gesellschaftlichen Struktur und Größe Germaniens über Jahre zu halten (Wolters, 1999).

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Expansion Roms ins gallische und im Besonderen ins germanische Siedlungsgebiet geben. Die zahlreichen Auseinandersetzungen mit den dort lebenden Stämmen lassen sich in die vielen kriegerischen Ereignisse einreihen, die das Römische Reich über Jahrhunderte prägte. Kriege galten, wie Wiegels (2001) betont, gewissermaßen als Handwerk und legales Mittel der Außenpolitik in jener Zeit.

Die Kimbernfeldzüge

Zur ersten Konfrontation Roms mit germanischen Stämmen kam es im ausgehenden 2. Jahrhundert v. Chr., als Kimbern, Teutonen und Ambronen aus dem heutigen Dänemark bis nach Südfrankreich (*Gallia Narbonensis*) und über die Alpen bis in die Poebene (*Gallia Cisalpina*) vordrangen. In den Jahren 102 und 101 v. Chr. gelang es den römischen Truppen, die wandernden Heerscharen zu besiegen und aufzureiben. Es war zu einer Zeit, als sich die Macht Roms erstmals jenseits der Alpen durch die 122/121 v. Chr. geschaffene Provinz *Gallia Narbonensis* etablierte.

Das bellum gallicum

Die nächste Konfrontation nahm ihren Anfang um 70 v. Chr., als sich Elbgermanen beiderseits des Oberrheins niederließen. Sie versuchten, von dort weiter in den gallischen Raum vorzudringen. Diese von den Galliern und von Rom als Bedrohung

empfundene Expansion rief den damaligen Prokonsul der *Gallia Cisalpina* und *Transalpina*, Julius Caesar, auf den Plan, der die Elbgermanen unter Führung von Ariovist 58 v. Chr. im heutigen Elsass besiegte. Dieses Jahr markiert den Beginn des *bellum gallicum*, das 49 v. Chr. mit der römischen Okkupation des gesamten gallischen Landes bis an die Rheingrenze endete.

Von Petrikovits (1980) charakterisiert die Eroberung Galliens als ein von Caesar weitgehend selbst initiiertes Unternehmen, um dadurch seine innenpolitische Stellung zu erhöhen. Neben der *Gallia Narbonensis*, die für die Römer damals Operationsbasis war, wurde die Provinz *Gallia Comata* eingerichtet, die später unter Kaiser Augustus in drei Provinzen Tres Galliae mit dem Hauptsitz *Lugdunum* (Lyon) unterteilt wurde, die *Gallia Aquitania*, die *Gallia Lugdunensis* und die *Gallia Belgica*. Der Rhein war und blieb Grenzfluss.

Unruhe kam auf, wenn Germanen Beute machend über den Rhein durch das dünnbesiedelte linksrheinische Grenzland bis teilweise tief ins gallische Gebiet vordrangen. Zweimal war Caesar gezwungen, gegen diese Feinde vorzugehen. Er folgte ihnen über den Rhein und verwüstete ihre Dörfer, Felder und ihre Ernte (Rüger, 1968, v. Petrikovits 1980). Die politische Konkurrenz Caesars in Rom war groß und sollte durch solche Aktionen beeindruckt werden.

Die Bürgerkriege und die allgemeinen Nachschubprobleme in der frühen Besatzungszeit und die dadurch fehlende Präsenz Roms am Niederrhein verleiteten die Germanen immer wieder zu Beutezügen durch das spärlich bewohnte Land. Mit Umsiedlungsaktionen romfreundlicher Stämme wurde deshalb versucht, den Vorstößen und dem Expansionsdrang der rechtsrheinischen Stämme entgegenzutreten (z.B. Rüger, 1968). Lager zur unmittelbaren Kontrolle der Rheinlinie gab es nicht vor dem zweiten vorchristlichen Jahrzehnt. Erst dann war die geeignete Infrastruktur für eine Truppenverlegung an den Rhein vorgegeben. Die Sicherung der Grenzen Galliens war Teil einer großen Reichskonzeption, die Italien größtmögliche Sicherheit gewährleisten sollte (z.B. v. Petrikovits, 1980).

Die Germanenfeldzüge von 12 v. bis 16 n. Chr.

Inwieweit die Niederlage des Lollius 16 v. Chr. (*clades Lolliana*) die Außenpolitik des Augustus beeinflusste, ob er bereits jetzt Germanien erobern wollte, wird bis heute kontrovers diskutiert (z.B. Christ, 1977, Kühnborn, 1988, Lehmann, 1989, Wierschowski, 1999, Wolters, 1999, Kehne, 2002). Er ließ den Großteil der in Gallien stationierten Truppen an den Rhein verlegen und errichtete die Hauptquartiere *Vetera castra* (Fürstenberg bei Xanten) und *Mogontiacum* (Mainz). Weitere Legionen waren in Bonn und Neuß stationiert. Die mit Bedacht gewählte Lage der Lager im Mündungsgebiet von Main und Lippe ermöglichte ein Vordringen über die beiden schiffbaren Flüsse bis tief ins feindliche Territorium (Bremer, 2001). Mit den Truppenverlegungen begann eine fast drei Jahrzehnte dauernde Kriegs- und Besatzungszeit im rechtsrheinischen Germanien.

Die Drususfeldzüge von 12 bis 8 v. Chr.

Die Germanen hatten den Römer in den Feldzügen von 12 bis 8 v. Chr. kaum etwas entgegen zu setzen. Mehrmals flohen sie in die Wälder und entkamen so den von Rom angestrebten Entscheidungsschlachten (z.B. Kehne, 2002). Die kriegerischen Auseinandersetzungen wurden durch Tiberius abgeschlossen. Die Schnelligkeit, mit der Tiberius zuvor aus römischen Gebiet zu seinem verletzten Bruder gelangte, setzt ein in jener Zeit gut funktionierendes Wegenetz mit Wechselstationen voraus (Schönberger & Simon, 1976).

Die Feldzüge endeten mit der vollständigen Unterwerfung der germanischen Stämme zwischen Elbe und Rhein (Wolters, 1999). Nach Beendigung der Kämpfe wurden 40000 Germanen in das Hinterland des Lagers *Vetera castra* umgesiedelt. Das Legionslager Oberaden im rechtrheinischen Germanien und das Rheinlager Dangstetten wurden geräumt. Die Hauptgarnisonen und Winterlager der Truppen am Rhein bestanden aber weiterhin. Von Velleius Paterculus (Vell. Pat. 2, 97, 4), Legat in Germanien, ist überliefert, dass das Land nahezu den Status einer tributpflichtigen Provinz erreichte. Auch wenn sein Resümee als übertrieben gilt, sind aber allen Anschein nach Teile der Legionen und Auxiliarverbände in Germanien geblieben (Lehmann, 1989). Sicherlich gab es vertragliche Regelungen zwischen beiden

Parteien (Simon, 1982). Die vertragliche Bindung der Germanenfürsten fügt sich in das außenpolitische Konzept, vor den Reichsgrenzen einen Kranz von Rom abhängiger Staaten zu legen (Simon, 1982).

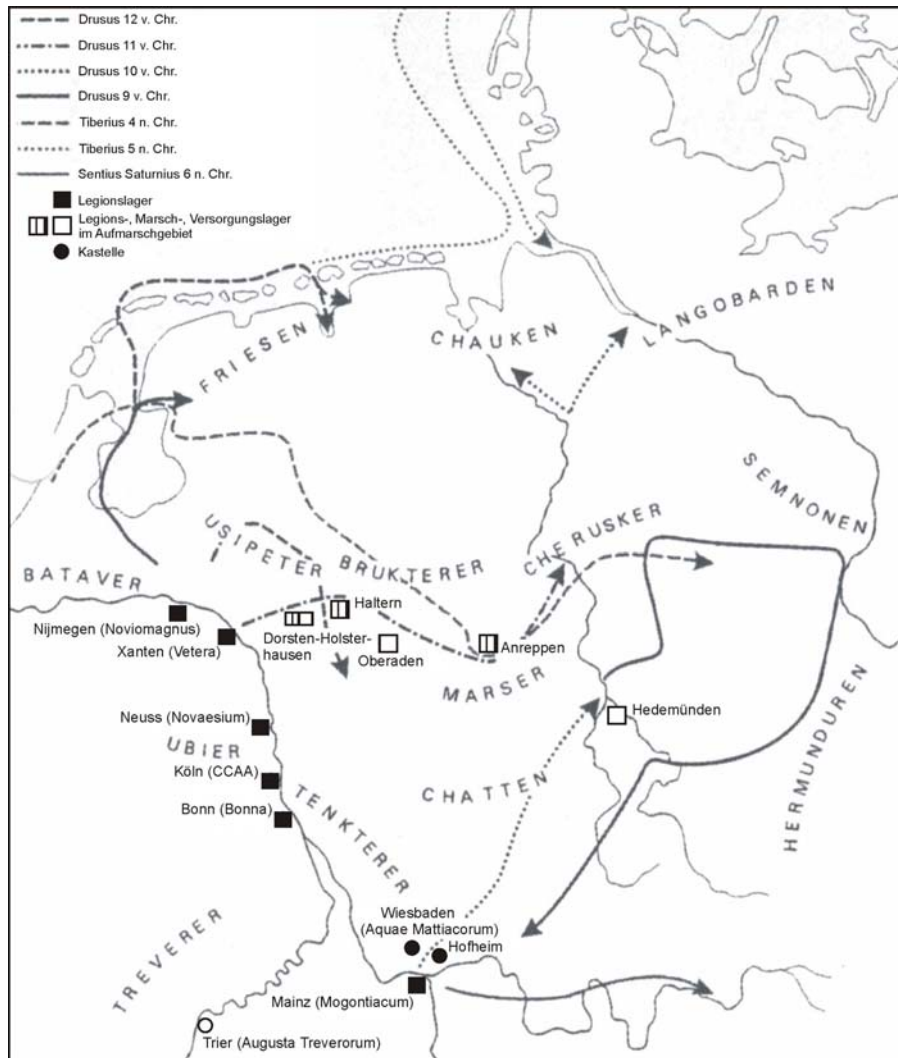


Abb. 2.1: Überblick über die römischen Expeditionen/Unternehmungen nach Germanien von 12 v. bis 6 n. Chr. Die Lager mit offenen Quadraten entsprechen zeitlich dem Oberaden-Horizont, die mit vertikal gestreiften Quadraten dem Haltern-Horizont (Karte nach Wolfram, 1991).

Wie flächendeckend die römische Präsenz im freien Germanien letzten Endes war, ist offen. Das Gebiet zwischen Rhein und Elbe scheint zwischen 12 v. und 9 n. Chr. nie ganz besetzt worden zu sein noch stand es vollständig unter römischer Verwaltung (Eck, 2004a, Lehmann, 1989, Wolters, 1999). Östlich der Weser fehlen jegliche Zeugnisse einer dauerhaften römischen Besetzung. Als östlichstes Exempel römischer Präsenz gilt zurzeit der jüngst entdeckte Lagerkomplex von Hedemünden an der Werra bei Göttingen (Grothe, 2004, 2005a, b). Gilt hier noch Klärungsbedarf, so ist aber festzuhalten, dass sich der Raum zwischen Rhein und Elbe in Rom als *Germania* manifestierte (Wolters, 1999, Eck, 2004a).

Das immensum bellum von 1 bis 6 n. Chr.

Nicht alle Stämme akzeptierten die römischen Lebensgewohnheiten, Gesetze und auferlegten Tributforderungen. Im Jahre 1 n. Chr. begann das sogenannte *immensum bellum*, das erst 6 n. Chr. durch Tiberius beendet werden konnte. Der Aufstand erfasste Stämme wie die Canninefaten, Attuarier, Brukterer und die Cherusker. Genaue Hintergründe für diesen Aufstand der Germanen sind nicht bekannt (z.B. in Simon, 1982, Polenz, 1985, Kunow, 1987, Wolters, 1999).

Auch nach der Unterjochung der Aufständischen war die politische Lage in Germanien keineswegs stabil. Nach Ansicht Kehnes (2002) erstreckte sich die römische Okkupation maximal bis zur Weser. In den Jahren nach den Drususfeldzügen hatte sich zudem durch das Abwandern bedeutender Germanenstämme wie den Markomannen im elbgermanischen Raum ein für Rom bedrohliches Machtpotential konzentriert (z.B. Wolters, 1999). Simon (1982) spricht von der ersten Staatsbildung innerhalb der germanischen Völkerschaft. Mit fast der Hälfte der regulären Großverbände des römischen Heeres rüstete sich Tiberius 6 n. Chr. für einen Präventivangriff. Man fürchtete neben der Herausforderung der römischen Herrschaft in Germanien die Bedrohung der Nordostflanke Italiens (Lehmann, 1989). Aufstände im Balkangebiet machten diesen Angriffsplan aber zunichte.

Die Varus-Schlacht 9 n. Chr.

Der nächste Konflikt folgte wenige Jahre später. P. Quinctilius Varus, Statthalter der Galliens und Germaniens, schürte den Ärger der Rhein-Weser-Germanen durch hohe Steuerforderungen und ein sehr straffes Kontrollsystem. Die Unzufriedenheit der Stammesführer kulminierte 9 n. Chr. im Arminius-Aufstand, bei dem Varus und seine drei Legionen untergingen (z.B. Dio 56.20). Manilius, Cassius Dio, Velleius Paterculus, Florus und Sueton berichten von diesem Trauma, welches eventuell bei Kalkriese am Füße des Wiehengebirges im Osnabrücker Land stattfand (Schlüter, 2001, Wilbers-Rost, 2003, Wiegels, 2007). Auf Jahre hinaus war die Beziehungen zwischen Römern und Germanen abgebrochen. Alle Militärlager im rechtsrheinischen Gebiet sowie die Siedlung Waldgirmes an der Lahn wurden im

gleichen Jahr aufgegeben. Tiberius brauchte zwei Jahre, um das Militär am Rhein zu reorganisieren. Bezeichnend für den Schock Roms ist die Reaktion des Kaisers Augustus auf diese Niederlage. Sueton (*de vita XII caesarum* 23) berichtet, dass er in tiefe Depressionen verfiel und den wenigen Überlebenden angesichts der als schimpflich empfundenen Niederlage verbot, jemals wieder italischen Boden zu betreten.

Die Germanen waren nun die einzigen größeren Gegner, mit dem sich das Römische Reich noch im Kriegszustand befand. Tiberius sammelte in der Folgezeit acht Legionen, das stärkste Heer des *Imperium Romanum*, an der Rheingrenze.

Die Feldzüge des Germanicus 14 bis 16 n. Chr.

Die Rachefeldzüge des Germanicus, Sohn des Drusus, änderten nichts an der Situation, dass das rechtsrheinische Germanien für die Römer verloren war. Trotz eines riesigen Truppenkontingentes gerieten die Legionen mehrmals in arge Bedrängnis. Tiberius, nun Nachfolger des Augustus, orderte seinen Neffen deshalb mit dem Angebot eines Konsulats und der Aussicht auf ein Kommando im Osten des Reiches in den Jahren 16/17 n. Chr. zurück nach Rom (z.B. Wolters, 1999). Es war zu befürchten, dass ein direkt von den Römern kontrolliertes Gebiet bis an die Elbe die Cherusker des Arminius in die Arme des Markomannenkönigs Marbod getrieben und das Gefahrenpotential für das Imperium deutlich erhöht hätte (Lehmann, 1989). Des Weiteren stand der militärische Aufwand zur Zerstörung des germanischen Kampfeswillen nicht im Verhältnis zu dem vorrangigen Ziel, Gallien dauerhaft zu sichern.

Der Rückzug der römischen Truppen an den Rhein 17 n. Chr.

Der endgültige Rückzug in die Rheinbasen wurde in Rom wie ein Sieg gefeiert. Es hieß, man habe alle Germanenstämme zwischen Rhein und Elbe besiegt. Den Markomannen wurden durch einen Friedensschluss die Hände gebunden. Einen offiziellen Rückzug hätte die Weltherrschaftsideologie des Kaiserhauses wohl nicht erlaubt (Lehmann, 1989). Die Bereitstellungslinie, die das Rückgrat der Germanenoffensive war, wurde nun zur Verteidigungslinie mit 50000 Mann, aufgeteilt

in zwei Heere mit jeweils vier Legionen. Im oberrheinischen Militärbezirk (*exercitus superior*) war *Mogontiacum* weiterhin das Hauptquartier, in der niederrheinischen Zone (*exercitus inferior*) das *Oppidum Ubiorum*, das heutige Köln. Doch trotz des Rückzuges der Römer an den Rhein war die Isolation der Germanen wohl nur von kurzer Dauer. Die ökonomische und kulturelle Wirkung Roms auf das sogenannte freie Germanien kam wahrscheinlich nach dem Rückzug der Besatzer erst richtig zur Geltung (z.B. Wiegels, 1977a, Günther, 1983, Kühlborn & Künzl, 1988, Kaiser, 2001, Becker, 2002).

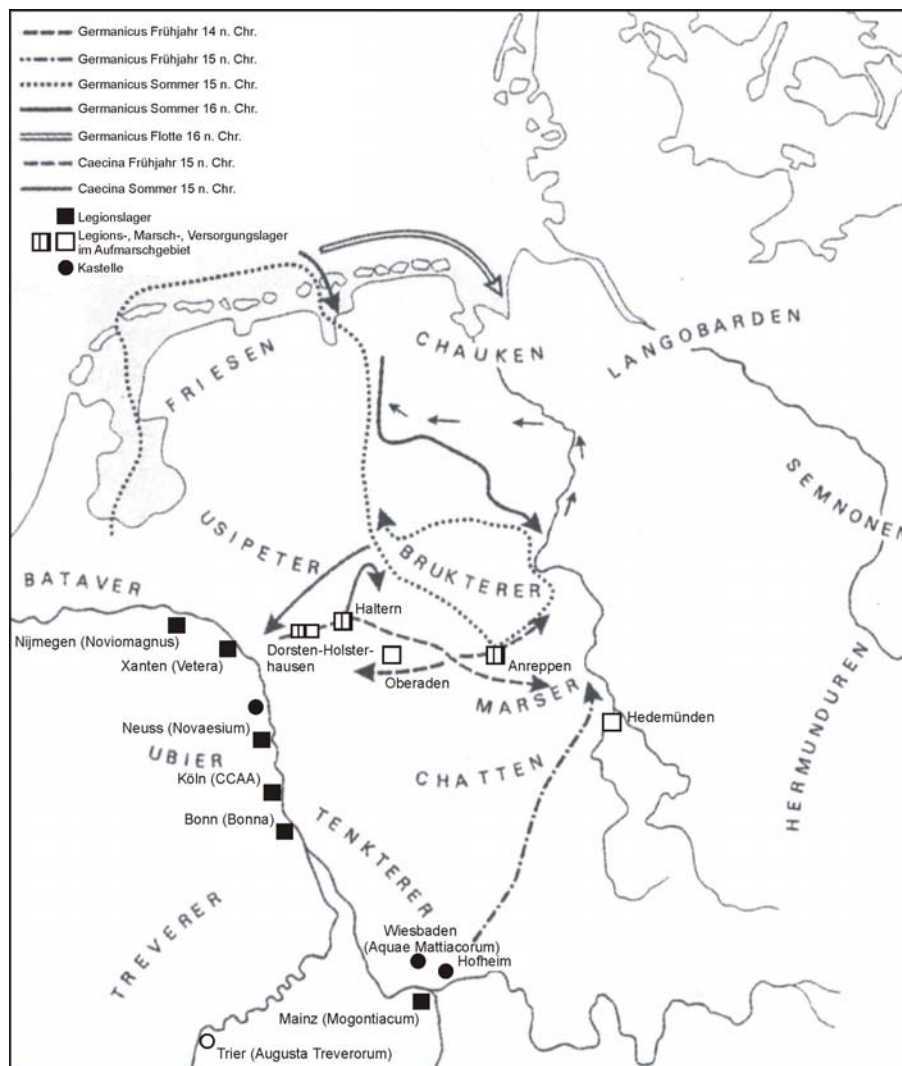


Abb. 2.2: Überblick über die römischen Expeditionen/Unternehmungen nach Germanien von 14 bis 16 n. Chr. Die Lager mit offenen Quadraten entsprechen zeitlich dem Oberaden-Horizont, die mit vertikal gestreiften Quadraten dem Haltern-Horizont (Karte nach Wolfram, 1991).

Aus der Germania Magna gelangten Metall-, Glas- und Tonwaren (*Terra Sigillata*) über Händler ins *Barbaricum*. Im Gegenzug wurden z.B. Vieh, Getreide, Felle oder Bernstein ausgeführt. Ob auch Blei aus dem freien Germanien kam, wird in dieser Arbeit diskutiert. Sicher ist, dass die Römer im grenznahen germanischen Territorium

weiterhin Silber, Kupfer, Blei und Baumaterialien gewannen, mit denen die Militärlager und Städte westlich des Rheins ausgebaut wurden (z.B. Horn, 1987, Gechter, 1993).

Eine ständige militärische Präsenz wurde nun auf den Nord-Süd-Verlauf des Rheins und auf das Friesengebiet beschränkt. Es galt, die noch jungen gallischen Provinzen zu sichern und zu stabilisieren. Wie in Gallien kam es auch im Friesengebiet in den Folgejahren zu Aufständen, ausgelöst durch die sehr hohe Steuerlast durch die Besatzer. Ab 39 n. Chr. waren es rechtsrheinische Stämme wie die Chatten und Chauken, die aufgrund des wachsenden Wohlstandes der römischen Rheinseite Beutezüge nach Gallien unternahmen. Andere Stämme versuchten, sich im unbesiedelten Grenzland niederzulassen. Das Rheingebiet blieb ein ständiger Unruheherd (v. Petrikovits, 1980).

Die Bataveraufstände 69/70 n. Chr.

In den Jahren 69 und 70 n. Chr. gab es erneut heftige Unruhen in Niedergermanien. Politisch ging es auch in Rom in dieser Zeit äußerst brisant zu. Im sogenannten Vierkaiserjahr (69 n. Chr.) stritten die vier Generäle Galba, Otho, Vitellius und Vespasian nach dem Tod Neros um die Vorherrschaft im Römischen Reich. Hier ist auch der Auslöser für die Rebellion der Bataver zu suchen. Die Auxiliarkohorten der Bataver wehrten sich gegen das willkürliche und herrische Verhalten der Römer. Ihnen schlossen sich andere Stämme u.a. von der rechten Rheinseite an, doch behielten die Römer in den Kämpfen die Oberhand. Das *oppidum Cibernodurum* in Xanten wurde aber zerstört.

Die Einrichtung der germanischen Provinzen unter Domitian

Unter Domitian (81 bis 96 n. Chr.) mussten die Römer erneut ihre Vorherrschaft am Rhein verteidigen. Wie auch 69/70 n. Chr. waren die Chatten in die Kämpfe involviert. Sie wurden aber von der römischen Armee großräumig eingekesselt und besiegt. Die äußersten Schneisen, die von den römischen Truppen durch die Wälder geschlagen wurden, verliefen entlang des Taunuskammes. Im Zuge der Einrichtung der neuen germanischen Provinzen *Germania Inferior* und *Superior* bildete der

Gebirgsrücken den ersten Limesabschnitt. Das zurückeroberte Gebiet brachte gutes Ackerland in der Wetterau ein (v. Petrikovits, 1980). In der *Germania superior* war weiterhin Mainz, und in der *Germania inferior* die Kolonie von Köln Hauptsitze der römischen Verwaltung.

Der Limes

Seit dem Ausgang des 1. Jahrhunderts n. Chr. wurde der Limes als feste Reichsgrenze angelegt. Vom Süden lief er über die Donau, der Schwäbischen Alb, dem Odenwald, um die Wetterau und über den Taunuskamm bis zum Mittelrhein und blieb die Nordostgrenze des *Imperium Romanum* bis in das 4. Jahrhundert.

Anmerkung

Die Kampfhandlungen Caesar's, Augustus' und Tiberius' in Gallien und Germanien wurden aus der Sicht des antiken, mittelmittelmeerländischen Kulturkreises beurteilt und bewertet (Wiegels, 2001). Deshalb sollte man die Ausführungen der antiken Schriftsteller jener Zeit kritisch betrachten. Schon Caesars *commentarii de bello Gallico* wird im Hinblick auf die militärisch-imperialen Leistungen seines ärgsten Rivalen Pompeius nicht als objektiver Tatsachenbericht zu verstehen sein (Lehmann, 1989). In der Literatur werden die vermeintlichen Beweggründe für die Germanienfeldzüge noch heute vielfach diskutiert (z.B. Schönberger & Simon, 1976, v. Petrikovits, 1980, Kühlborn, 1988, Lehmann, 1989, Wolters, 1999, Kehne, 2002).

2.2 Die Römerlager an Rhein, Lippe und Werra und das Schlachtfeld Kalkriese

Entlang der militärischen Rheinlinie fungierten die großen Lager *Vetera castra*/Xanten und *Mogontiacum*/Mainz als Hauptquartiere und Basislager. Sie liegen an den strategisch wichtigen Flussmündungen der Lippe und des Mains. Von dort aus konnte in einer Art Zangenbewegung in das rechtsrheinische Germanien vorgestoßen werden.

Die Hauptvorstoßrichtungen in die *Germania Magna* werden durch die römischen Niederlassungen im Lippekorridor und in der Wetterau markiert. Vom Standort *Vetera castra* im Norden ausgehend, folgen nach Osten ungefähr in Tagesmarschabständen Dorsten-Holsterhausen, Haltern, Oberaden mit Beckinghausen und Anreppen, von *Mogontiacum* im Süden aus folgen die Stationen Friedberg, Rödgen und Bad Nauheim (z.B. Wolters, 2002). Die Einheiten operierten wahrscheinlich zwischen den Lagern (Lehmann, 1989), welche nach Wolters (1999) Teil einer sehr flexiblen Besatzungs- und Kontrollstrategie waren. Die Rheinlager waren im Winter Rückzugspunkt und im Sommer Auffang- und Versorgungslager (v. Petrikovits, 1980).

Als best untersuchtes Schlachtfeld der römischen Antike gilt das Schlachtfeld von Kalkriese (Bramsche, Kreis Osnabrück). Es ist durchaus möglich, dass es die Überreste der berühmten *clades Variana* sind, die verstreut am Fuße des Kalkrieser Berges liegen. Neben mehreren Wallanlagen kamen Waffen- und Ausrüstungsteile, Münzen und mehrere tausend Metallfunde zutage (Wilbers-Rost, 2003).

Die nachfolgend beschriebenen Militärlager an Rhein und Lippe werden der Reihe nach von Norden nach Süden aufgeführt.

Noviomagnus/Nijmegen (NL)

Das Lager wurde zur Zeit der Truppenverlegungen des Augustus (15 bis 12 v. Chr.) auf dem linken Rheinufer errichtet (Haalebos, 1999). Es erlangte große Bedeutung in der Zeit der Bataveraufstände 69/70 n. Chr., da es inmitten deren Siedlungsgebietes lag. Es hatte aber nicht nur Kontrollfunktion, sondern förderte auch die städtische Entwicklung in dem bis dahin wenig romanisierten Gebiet (v. Petrikovits, 1980).

Zur Zeit Trajans (98 bis 117 n. Chr.) war Nijmegen eines der drei letzten Legionsstandorte Niedergermaniens, bevor es dann 104 n. Chr. endgültig aufgegeben wurde. Etwa 30 Jahre nach der Bataverrevolte 69/70 n. Chr. war die Bevölkerung so weit romanisiert, dass das Lager überflüssig wurde. Es war danach nur noch einmal für wenige Jahre (121 bis 130 n. Chr.) Legionsstandort (Haalebos, 1999, Kunow, 1987).

Vetera castra I & II/Xanten (Kreis Wesel)

Das Lager von Xanten war Hauptwaffenplatz und Operationsbasis (Lehner, 1930, Hanel, 2006). Es befindet sich auf dem Südhang des Fürstenbergs, dort wo in römischer Zeit die Lippe mündete. Während der Germanenfeldzüge war es zentraler Stützpunkt, von dem aus der Vormarsch durch das Lippetal startete (z.B. Horn, 1987). Angelegt wurde *Vetera I* 12/13 v. Chr. Die Truppenstärke in jener Zeit ist nicht bekannt. Erst für 14 n. Chr. ist die Belegung von *Vetera I* mit zwei Legionen gesichert (z.B. Horn, 1987, Hanel, 1995). Während des Bataveraufstandes wurde das Lager zerstört und nicht wiederbesetzt.

Nach der Reorganisation der Rheinarmee 71 n. Chr. wurde in Xanten nur noch eine Legion stationiert. Das neue Lager *Vetera II* wurde etwa 1 km weiter östlich des Fürstenbergs angelegt. Es bestand bis in die Zeit der zweiten großen Germaneneinfälle um 275/276 n. Chr.

Colonia Ulpia Traiana (CUT)/Xanten (Kreis Wesel)

Die *Colonia Ulpia Traiana* war Roms nördlichste Kolonie auf dem Kontinent. Die Stadtmauer war 3,4 km lang und umfasste einen Innenraum von 73 ha (Horn, 1987). Die Koloniegründung erfolgte wahrscheinlich 98 n. Chr. durch Kaiser Trajan (Marcus Ulpius Traianus).

Der Hafen der römischen Ansiedlung lag an einem natürlich entstandenen Rheinarm. Er bot günstige Transportmöglichkeiten für die Stadt und erschloss den Wasserweg für weiträumige Handelsverbindungen. Angesiedelt haben sich hier zahlreiche gewerbliche Betriebe (Leih, 1995, Kraus, 1992).

Die römischen Lager an der Lippe

Das Marschlager Dorsten-Holsterhausen (Kreis Recklinghausen)

Zehn Marsch- oder Zeltlager sind archäologisch in Dorsten-Holsterhausen nachgewiesen, die nur kurzzeitig bestanden. Platz bot das Areal des größten Lagers

mit über 50 ha wohl für zwei Legionen und deren Auxiliareinheiten. Die Lager sind in die Jahre 11 v. bis 9 n. Chr. zu datieren, wobei ein Lager auch jünger sein kann (v. Schnurbein, 2004, Ebel-Zepezauer, 2003).

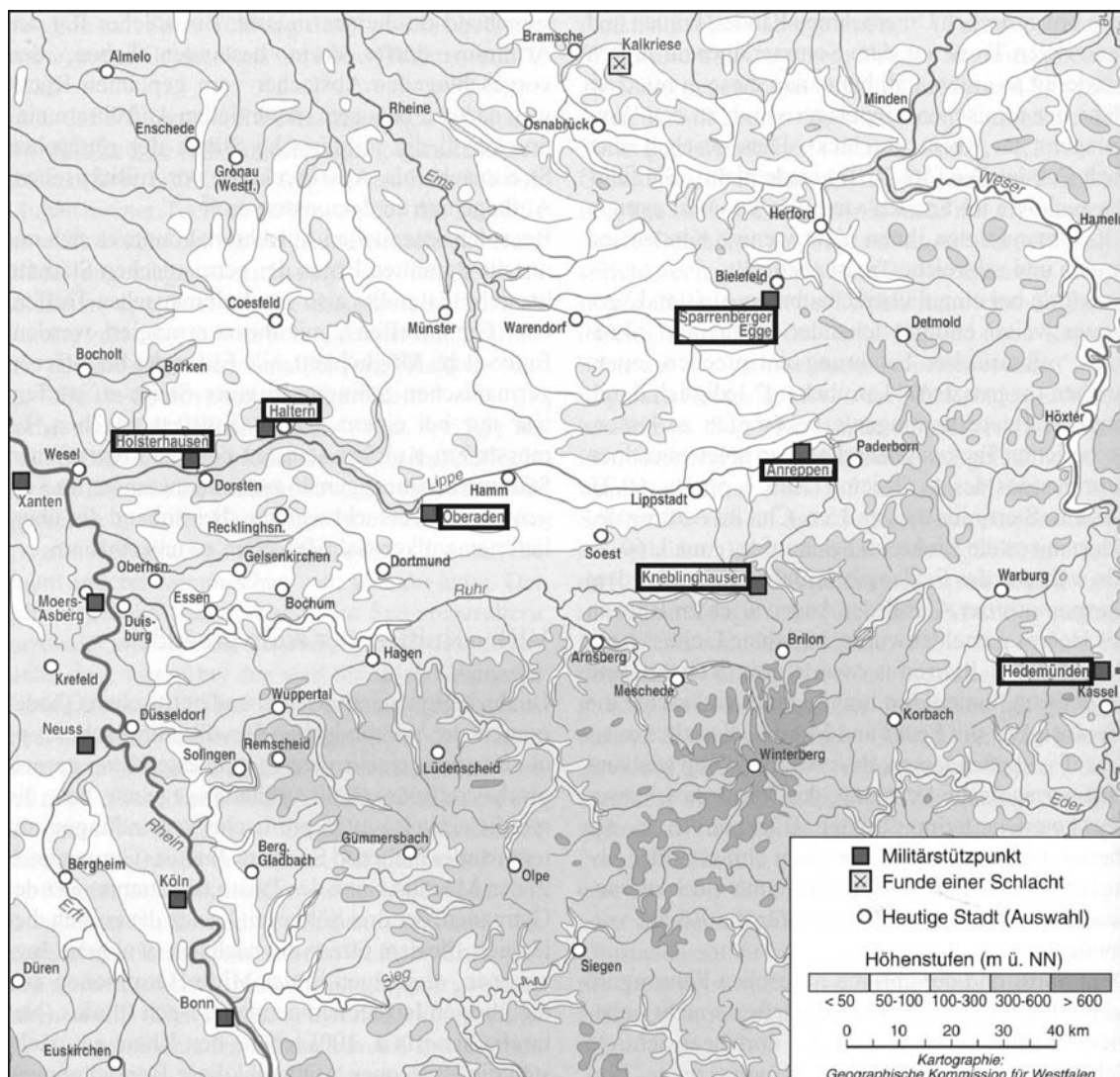


Abb. 2.3: Lage der augusteisch-(tiberischen) Römerlager in Germanien an der Lippe und an der Werra (Hedemünden ca. 15 km NE von Kassel) (unveröffentl. Karte mit freundl. Genehmigung der Stadtarchäologie Soest).

Die Militäranlagen Halterns (Kreis Recklinghausen)

Der Aufbau der Anlagen von Haltern fand nach den Drususfeldzügen statt. Es scheint dies schon ab 8 v. Chr. der Fall gewesen zu sein (Kehne, 2002). Diese Zeitstellung wurde trotz fehlenden entsprechenden Fundmaterials auch von Schönberger & Simon (1976) und Polenz (1985) vermutet. Das Hauptlager kann um die Zeitenwende erbaut worden sein (Kühlborn, 1997). Die dortigen Terra Sigillata-Funde sprechen für eine Spanne von einigen Jahren zwischen der Auffassung des

Lagers in Oberaden (8 v. Chr.) und der Errichtung des Halterner Hauptlagers (Kühlborn, 1997).

In Haltern waren Legionstruppen und Auxiliareinheiten stationiert (z.B. v. Schnurbein 1981; Lehmann, 1989). Man entdeckte Bauten, die darauf schließen lassen, dass auch höhere Offiziere hier lebten (v. Schnurbein, 1981, Wolters, 2002). Es hat deshalb den Anschein, dass Haltern zur Zeit der Statthalterschaft von Varus (ab 7 n. Chr.) Hauptstützpunkt römischer Herrschaft im rechtsrheinischen Germanien und vor allem Sitz des Verwaltungsapparates war (v. Schnurbein, 1981, Polenz, 1985). Die Provinzialisierung der *Germania Magna* war in dieser Zeit anscheinend in vollem Gange (Eck, 2004a). Polenz (1985) und v. Schnurbein (1981) verweisen im Besonderen auf die Verbauung von Bleirohren im Hauptlager hin, da sie auf eine bereits externe Wasserversorgung hinweist, welche man sonst nur in befriedeten Gebieten installierte (Foto 2.1).



Foto 2.1: Teil einer in Haltern verbauten Wasserleitung (D-137/22) aus dem Römermuseum Haltern.

Nebenbei bekam Haltern auch zivilen Charakter, was dadurch belegt ist, dass man auf Frauen- und Kindergräber (insgesamt 50 Gräber) und auf eine umfangreiche und differenzierte Töpferindustrie mit 10 Töpfereien traf (Polenz, 1985, Kühlborn, 1997, Rudnick, 2001, Wolters, 2002, v. Schnurbein, 2004). Es kam zur Serienproduktion von hochwertigen Lampen, glatter und reliefverzierter Sigillata und grünglasierter Keramik. Der Export der Ware in die umliegende Region konnte durch v. Schnurbein (1986) nachgewiesen werden.

Vier wichtige Anlagen existierten in Haltern: Die Uferkastelle, die Anlage „Am Wiegel“, das sogenannte Feldlager und das Hauptlager (v. Schnurbein 1981, Kühlborn, 1997). Das Feldlager gilt als die älteste in Haltern errichtete Anlage (v. Schnurbein 1974, Kühlborn, 1997). Im Hauptlager (18 ha) kann mit der Präsenz von sechs bis sieben Kohorten gerechnet werden. Dies entspricht einer Stärke von 3000 bis 4200 Mann (Kühlborn, 1997).



Foto 2.2: Bleilot (D-137/27) aus den Halturner Lagern.

Das Römerlager Oberaden (Kreis Unna)

Die Anlage von Oberaden bei Bergkamen war ein großes Zweilegionenlager mit etwa 56 ha. Es erstreckte sich auf einer leichten Anhöhe mit einer Ausdehnung von etwa 700 m x 850 m. Es gehört zu den frühesten Lagern im rechtsrheinischen Gebiet (z.B. Kühlborn, 1992, Wolters, 2002). Nach dendrochronologischer Datierung wurde dieser Stützpunkt 11 v. Chr. gegründet. Die große Zahl der hier stationierten Truppen – Legionssoldaten und Auxiliareinheiten - wurde in provisorischen Unterkünften untergebracht. Nur für hohe Offiziere waren feste Quartiere errichtet worden (Kühlborn, 1982, 1995). Die Lagergröße macht deutlich, dass das Lager für zwei Legionen gebaut wurde (Kühlborn, 1995). Festzuhalten ist, dass auch während der Wintermonate Oberaden von starken Truppenverbänden gehalten wurde.

Polenz (1985) hebt hervor, dass die Lage des Oberadener Lagers sehr gut gewählt war. Zum einem trafen an diesem Punkt die beiden von *Asciburgium*/Moers-Asberg und *Vetera castra*/Xanten ausgehenden Routen aufeinander, zum anderen lag das Lager direkt im Rücken der aufständischen Sugambri und erlaubte somit eine bessere Kontrolle des Stammes. Die Räumung des Lagers wird durch numismatische und historische Indizien und durch einen dendrochronologischen Befund in die Jahre 8/7 v. Chr. datiert. Es verlor nach der Umsiedlung der Sugambri in den linksrheinischen Raum anscheinend seine Kontrollfunktion (z.B. Polenz, 1985, Kühlborn, 1997, Wolters, 2002).

Das Uferkastell Oberaden-Beckinghausen (Kreis Unna)

Das kleine Kastell (2,5 ha) auf dem südlichen Hochufer der Lippe gehört wie das nahegelegene Zweilegionenlager in die Zeit der Drususfeldzüge. Nach Wolters (2002) wurden die Soldaten von Oberaden über diese Hafenanlage versorgt. Kunow (1987) und Polenz (1985) nehmen an, dass es vielleicht etwas länger bestand als Oberaden. Somit sollte die Versorgung für die weiter Lippe aufwärts gelegenen Militärbasen garantiert werden (z.B. Anreppen). Nach Kühlborn (1997) fehlen aber jegliche Belege für diese Annahme.

Das Römerlager Anreppen (Kreis Paderborn)

Der Militärstützpunkt Anreppen war ein voll ausgebautes Standlager, das östlichste an der Lippe. Es liegt am Oberlauf der Lippe nahe der Glenne-Mündung und weist mehrere Bauphasen auf (v. Schnurbein, 2004).

Das Lager wurde nach den Drususfeldzügen errichtet. Da dendrochronologisch verwertbare Hölzer bislang fehlen, gibt es nur indirekte Hinweise auf das Gründungsdatum. Keramikfunde und Münzen weisen das 1. Jahrzehnt n. Chr. als Zeithorizont aus (Kühlborn, 1995). Diese zeitliche Einordnung deckt sich mit der Annahme von Polenz (1985), dass das Römerlager von Anreppen in engem Zusammenhang mit den militärischen Operationen des Tiberius während des *immensum bellum* (4 bis 6 n. Chr.) zu setzen ist. Ein riesiges Stabsgebäude und Zentralgebäude werden als Residenz des Tiberius interpretiert (v. Schnurbein, 2004). Lehmann (1989) glaubt, dass es ein Lager für Vexillationseinheiten und Auxiliärverbände war. Beachtlicherweise war es mit 23 ha Fläche größer als das Hauptlager von Haltern, mit dem es zeitgleich existierte. Mehrere Hundertschaften (*centuriae*) fanden im Innenbereich Platz (Kühlborn, 1995).

Die Besonderheit in Anreppen ist die Vielzahl der Magazine. Dem Lager könnte deshalb im Verlauf der Germanenkriege die Rolle einer Versorgungsbasis zuteil geworden sein (Kühlborn, 2004). Obwohl der Kenntnisstand Anfang der 80er Jahre dem heutigen nicht entsprach, vermutete v. Schnurbein (1981) schon damals, dass sich Anreppen nur in das geläufige Bild eines Römerlagers fügen lässt, wenn es sich

hierbei um einen Hafен- oder Stapelplatz handelt. Den zahlreichen Brandspuren zufolge scheint das Lager in einer Feuersbrunst untergegangen zu sein (Kühlborn, 1995).



Foto 2.3: Bleierner Tischfuß (D-204/21) in Muschelform aus dem Anreppener Lager.

Eng mit dem Lager verbunden war eine Handwerkersiedlung, in der auch Blei verarbeitet wurde. Sie existierte aber nicht über dem Abzug der Römer hinaus (Bérenger, 2007).

Die Sparrenberger Egge (Kreis Bielefeld)

Die durch römische Münzfunde erschlossene Anlage liegt im Süden Bielefelds auf einer Anhöhe des Teutoburger Waldes. Bei geschlossenem Grabenverlauf hätte der in die augusteische Zeit datierte römische Wachposten einen Durchmesser von etwa 24 m gehabt. Im Innenraum fanden sich zwar keinerlei Spuren eines Bauwerkes, im Laufe der Ausgrabungskampagne kamen jedoch zumindest römische Schuhsohlennägel ans Tageslicht. Es scheint, dass der Ausbau des Postens nicht vollendet worden ist (Kühlborn, 1997, v. Schnurbein, 2004).

Das Römerlager Kneblinghausen (Kreis Soest)

Südlich von Kneblinghausen, Gemeinde Rüthen, auf einem schmalen Bergrücken zwischen Alme und Möhne wurden 1888 die Überreste einer Befestigungsanlage entdeckt. In Grabungskampagnen ab 1901 kam ein zweiperiodisches Lager zum Vorschein (Karte in Koepp, 1912, Horn, 1987, Sicherl, 2006, Rudnick, 2008). Das ältere Lager bedeckte eine Fläche von 10 ha, das jüngere von etwa 7,5 ha (Kühlborn, 1997). Von Schnurbein (2004) bezeichnet beide als Marschlager. Im

Lagerinneren fanden sich keine römischen Bauspuren, sondern Fundstücke, Gruben und Grubenhäuser einer einheimischen Siedlung der jüngeren Eisenzeit und frühen Römischen Kaiserzeit. Gegenstände, die eine präzise Datierung der beiden Lager zuließen, fehlen (Kühlborn, 1997). Die beiden einzigen römischen Funde sind eine eiserne Deichsel und eine bronzene Gewandspange (Rudnick, 2008). Nach jüngsten Forschungen ist eine Einordnung in die augusteische Zeit und damit in die Zeit der Germanenkriege aufgrund der Torkonstruktionen gut möglich (v. Schnurbein, 2004, Hanel & Rothenhöfer, 2005, Rudnick, 2008).

Das Römerlager Hedemünden an der Werra (Kreis Göttingen)

Das als logistische Nachschubstation angelegte Römerlager liegt etwa 2 km nordwestlich von Hedemünden im unteren Werratal. Es wurde zwischen 11 und 9 v. Chr. erbaut und erfüllte seine ihm angedachte Rolle während des Feldzuges 9 v. Chr. von *Mogontiacum*/Mainz bis zur Elbe. Die Lagerkonstruktion zeigt sich als mehrteiliger Komplex von etwa 25 ha Gesamtgröße. Sie setzt sich nach heutigem Kenntnisstand aus einem Standlager mit 3,2 ha, einem daran angegliederten unbefestigten Aktivitätsbereich zur Lehmentnahme, einem kleinem Marschlager (1,2 ha) und einem großen mit 15 bis 16 ha zusammen (Grote, 2004-2005). Gefunden wurden neben einer größeren Anzahl von Münzen und Keramikfragmenten u.a. auch Reste von Pionieräxten, Lanzenspitzen, Pilumstangen, Sandalennägeln und Zeltheringen.

Die Datierung des Lagers muss noch verfeinert werden. Momentan ist nicht zu klären, ob das Lager noch über die frühe Okkupationsphase hinaus, z.B. bis zur Varus-Schlacht oder den Germanicus-Feldzügen, gehalten wurde (Grothe, 2005).

Asciburgium/Moers-Asberg (Kreis Wesel)

Das Lager befand sich damals an einem noch schiffbaren Altarm des Rheins gegenüber der Ruhrmündung. Die Niederterrasse war hochwasserfrei und deshalb für die Anlage eines Lagers wie geschaffen (Bechert, 1974, Horn, 1987). Von Beginn an bestand die Funktion des Kastells darin, das Gebiet der Ruhrmündung zu überwachen. Schönberger & Simon (1976) datierten das älteste Fundgut in die

Oberadenzeit, neuere Untersuchungen an italienischen Töpferstempeln beweisen aber, dass *Asciburgium* schon um 12/11 v. Chr. militärisch besetzt war (Bechert, 2001).

Mindestens fünfmal kam es zu der Errichtung eines Kastells. Das erste war kaum größer als 1,5 ha. In der Zeit nach den Drususfeldzügen 8 v. Chr. und der Abberufung des Germanicus nach Rom 16 n. Chr. kam es jeweils zum Bau weiterer Kastelle. Ein viertes, während des Bataveraufstandes 69/70 n. Chr. zerstörtes Kastell, wurde unter Nero gebaut. Das letzte Lager wurde unter Vespasian gegründet, 83/85 n. Chr. aber wieder aufgegeben (Bechert, 2001).

Novaesium/Neuss

Bei Neuss öffnet sich die Kölner Bucht zur Niederrheinischen Tiefebene. Ausschlaggebend für die Standortwahl von *Novaesium* war eine bereits in vorrömischer Zeit vorhandene Verkehrsverbindung von Marseille an den Rhein.

Zwölf Bauperioden wurden in Neuss festgestellt. Das älteste Lager wurde gegen 16 v. Chr., 2,5 km südöstlich von Neuss, gegründet und liegt damit direkt an der Erftmündung (Horn, 1987, Hanel 2006). Mit seinen 13-14 ha Grundfläche war es zu klein für eine ganze Legion. Es wird daher für Legionskohorten und Auxilien sowie zur Kontrolle der Erftmündung angelegt worden sein (Gechter 1979; Kaiser, 2001).

Das Lager A wurde kurz nach 10 v. Chr. niedergerissen (Gechter, 1979). Das nächste Lager (43 ha) war größer und besaß Platz für zwei Legionen und zugehörige Hilfstruppen. Noch vor 14 n. Chr. wurde aber auch dieses Lager geräumt (Gechter, 1979). Ihm folgte Lager C, dass mit etwa 80 ha um das mehrfache größer als die vorherigen war. Es existierte nur wenige Jahre. Aus tiberischer Zeit sind noch ein Hilfstruppenlager und ein weiteres Legionslager überliefert (Gechter, 1979). Erst mit der Verlegung der 20. Legion von Köln nach Neuss wurde *Novaesium* Garnisonsstandort und blieb es für rund 70 Jahre (Gechter, 1979, Horn, 1987).

Die große Zahl der stationierten Soldaten und die damit verbundene Kaufkraft förderten in der nahen Umgebung die Ansiedelung von Lagerdörfern und Einzelhof-

stellen. Aber wie auch andernorts bedeutete der Bataveraufstand 69/70 n. Chr., bei dem das Lager zerstört wurde, eine bedeutende Zäsur in der Entwicklung dieser Region (Kaiser, 2001).

Oppidum (Ara) Ubiorum/Köln

Ob das *oppidum Ubiorum*, das vermeintliche Zentrum der durch Agrippa 19/18 v. Chr. in die Kölner Bucht übergesiedelten Ubier, wirklich von diesen gegründet wurde, darf bezweifelt werden. Fest steht, dass die städtebaulichen Kriterien dem hellenistisch-römischen Vorbild folgten und Köln für die Römer geomorphologisch ein strategischer Platz erster Güte war. Viele Gebäude gehören in die Zeit um Christi Geburt. Es ist deshalb unwahrscheinlich, dass Köln noch um die Zeitenwende ein ubisches Bauerndorf gewesen ist, sondern vielmehr schon von Beginn an einen urbanen Charakter besaß (Eck, 2004b). Des Weiteren deutet ein Teil der ausgegrabenen Bauten darauf hin, dass hier bereits das für Köln bezeugte Hauptquartier der römischen Heeresleitung lag (Horn, 1987).

Der in Köln errichtete Altar war namensgebend für das neue *oppidum Ara Ubiorum*. Mit dem Ende der Germanenfeldzüge veränderte sich die Bedeutung des Oppidums, da es jetzt Provinzhauptstadt und nicht mehr geographischer und politischer Mittelpunkt der geplanten Provinz war (Horn, 1987).

Für welchen Zeitraum Köln Garnisonsort war, ist offen. Erst für 14 n. Chr. ist die Stationierung der 1. und 20. Legion belegt. Zur Auflösung des Zweilegionenlagers, welches nahe der Ubierstadt lag, kam es zwischen 30 und 40 n. Chr. In spät-augusteischer/frühtiberischer Zeit wurde 3 km südlich der späteren CCAA ein Flottenlager errichtet. Hier residierte das Oberkommando der Flotte (Horn, 1987, Fischer & Hanel, 2003).

Colonia Claudia Ara Agrippinensium (CCAA)/Köln

Die Civitas der Ubier erhielt 50 n. Chr. unter Kaiser Claudius den Status einer Kolonie (Eck, 2004b). Die Gemeinde nannte sich fortan *Colonia Claudia Ara Agrippinensium*. Auch als Kolonie blieb die Stadt zentraler Verwaltungsplatz für den niedergermanischen Heeresbezirk (Horn, 1987).

Das wohl einschneidendste Ereignis der römischen Stadtgeschichte war die fränkische Belagerung in der Mitte des 4. Jahrhundert n. Chr. Für zehn Monate fiel die Stadt in die Hände der Franken. Die archäologischen Fundhorizonte bezeugen, dass das römische Köln dabei in Schutt und Asche fiel (Horn, 1987).

Bonna/Bonn

Ob *Bonna* zusammen mit *Vetera*, *Mogontiacum* und *Novaesium* zu den frühesten Lagern an Nieder- und Mittelrhein gehört, ist bis heute umstritten (Schönberger 1985, Gechter, 1979). Da es gegenüber der Siegmündung angelegt wurde, wird seine Aufgabe die Kontrolle des Mündungsgebietes und besonders des rechtsrheinischen Gebietes gewesen sein. Eine kleinere Einheit wurde zwischen ca. 16 und 12 v. Chr. hierhin verlegt. Auch eine ubische Ansiedlung befand sich hier (Horn, 1987).

Zwischen 12 v. Chr. und der Zeitenwende ist keine Truppenstationierung feststellbar. Erst kurz nach der Zeitenwende entstand ein neues Lager (Gechter, 1979). Gechter (1979) geht davon aus, dass das militärische Aufgebot von einer gemischten Einheit aus Legionären und Auxiliaren gebildet wurde. Einige Zeit später, ab 30 n. Chr., wurde das alte Lager durch ein größeres aus Holz ersetzt. Grund für diese Maßnahme war die Auflösung des Zweilegionenlagers in Köln und die Einquartierung einer der Kölner Legionen. Während des Bataveraufstandes 69/70 n. Chr. ging es in Flammen auf und wurde durch ein Lager aus Stein ersetzt. Seit dieser Zeit wurde das Provinzleben für ungefähr 200 Jahre durch keine weiteren Unruhen gestört. Die Garnisonsstadt konnte sich in dieser Zeit kontinuierlich weiterentwickeln (Horn, 1987).

Mogontiacum/Mainz

Mogontiacum war ein Zweilegionenlager auf dem sogenannten Kästrich, einem am Main gelegenen Hochplateau. Es wurde zwischen 13 und 11 v. Chr. gegründet (Schönberger 1985). Das Legionslager war zuerst aus Erde und Holz, ab 70 n. Chr. aus Stein gebaut. Es hatte eine Grundfläche von etwa 36 ha und existierte bis ins 4. Jahrhundert.

Nach Einrichtung der germanischen Provinzen unter Domitian war *Mogontiacum* Provinzhauptstadt der *Germania Superior*. Das Ende des römischen Mainz wurde durch die Alamanneneinfälle 368 n. Chr. eingeläutet und 406 n. Chr. durch die Vandalen- und Alanenzüge endgültig besiegelt.

Für Mainz ist die Gründung des Legionslagers bis heute auch das Gründungsdatum der Stadt. Denn unterhalb des Legionslagers entwickelte sich die *canabae*, die Zivilstadt *Mogontiacums*, in der sich die keltischen Bewohner Rheinhessens niederließen (z.B. Jacobi, 1996).

Das Römerlager Dangstetten (Kreis Waldshut)

Das Lager Dangstetten liegt auf einer vorgelagerten Halbinsel gegenüber der Aaremündung in den Hochrhein. Es wurde zwischen 15 bis 12 v. Chr. angelegt. Da es sehr weit südlich am Hochrhein liegt, könnte es während der 15 v. Chr. abgeschlossenen Alpenfeldzüge des Drusus und Tiberius existiert haben. Fest steht, dass es eine günstige Position zu den Donauquellen und dem sich östlich anschließenden Raum besaß. Zusammen mit den Lagern von Oberaden und Bad Nauheim-Rödgen wurde es 9/8 v. Chr. verlassen und durch ein Lager in der Nähe von Augsburg abgelöst (z.B. Lehmann, 1989, Wolters, 2002, zum Römerlager von Rödgen: Schönberger & Simon, 1976, Simon, 1982). In Dangstetten gibt es aber keinerlei Brandspuren (Schönberger 1985, Fingerlin, 1999).

Die Siedlung Waldgirmes (Kreis Gießen)

Die Römer begannen zwischen den heutigen Städten Wetzlar und Gießen, inmitten des besetzten Germaniens, eine neue Stadt zu bauen. Hier lebten wahrscheinlich mehrere hundert Menschen. Erstmals konnte für das innere Germanien eine römische Steinfundamentierung nachgewiesen werden (v. Schnurbein 2003, Becker & Rasbach 2003). Die Ansiedlung von etwa 8 ha Größe war wie ein Militärlager geschützt. Sie war von zwei Gräben und einer Holzerdeumwehrung umgeben. Die Gebäude im Inneren entsprechen dem Muster der antiken Mittelmeerstädte. Z. B. gab es im Zentrum eine Basilika und ein Forum. Wie auch in Haltern verweisen Schlacken, Töpferöfen und Werkzeugfunde auf intensive handwerkliche Tätigkeiten

(z.B. v. Schnurbein et al., 1995). Im Forum stand ein bronzenes vergoldetes Reiterstandbild des Kaisers Augustus, das das älteste seiner Art nördlich der Alpen ist.

Nach Auszählung der Keramikfunde zeigte sich, dass 20 % des Fundgutes germanischen Ursprungs war. Man muss damit rechnen, dass beide Kulturen einen engen Kontakt pflegten. Die Stadt musste für die Einheimischen nicht nur aufgrund der überlegenen Kultur der Römer, sondern schon alleine dadurch, dass sie für damalige Verhältnisse beeindruckende Ausmaße besaß, eine große Anziehungskraft besessen haben (z.B. v. Schnurbein et al., 1995, Becker & Rasbach, 1998, Wolters, 2002, v. Schnurbein, 2002, 2004). Ein jähes Ende fand die junge Siedlung nach der Varus-Niederlage. Da der germanische Kulturkreis städtisches Leben vollends ausschloss, geriet Waldgirmes nach Abzug der Besatzer in Vergessenheit (v. Schnurbein, 2002-2004).

2.3 Die Siedlungen der älteren Römischen Kaiserzeit in Westfalen

Der Alltag der Menschen in der *Germania magna* war von Ackerbau und Viehzucht geprägt und wurde durch handwerkliche Tätigkeit ergänzt. Nur selten finden sich Hinweise „auf eine straffe zentrale Organisation der Menschen und ein differenziertes Sozial- und Siedlungsgefüge“ (Brather, 2002). Die Siedlungen zeigten ein eher gleichförmiges Bild. Abweichungen von der Norm, vielleicht durch den besonderen Status Einzelner, sind selten und offenbar wenig dauerhaft gewesen. Die Grundeinheit der „germanischen“ Siedlungsstellen war der bäuerliche Hof. Hier lebte die „Kernfamilie“, die aus Eltern, Kindern und Großeltern bestand (Brather, 2002).

Für die Wahl der Niederlassungen waren Klima und Bodenart nicht entscheidend. Man wählte als Wohnplatz vielmehr traditionell Hänge an Fluss- oder Bachauen. Solche Höfe lagen um Christi Geburt weit gestreut in der Landschaft. Einige Standorte wurden über Jahrhunderte beibehalten, so dass sich an diesen Stellen regelrechte Wohnhügel, so genannte „Wierden“, ausbildeten (Brather, 2002).

Die zeitliche Einordnung der einheimischen Siedlungen ist i.allg. problematisch (Beispiel Münsterland, s. Grünewald, 2007). Dies gilt im Besonderen für den Übergang von der Eisenzeit zur frühen Römischen Kaiserzeit. Selbst bei

charakteristischen Funden und Befunden, dazu zählen Keramikfunde oder bekannte Hausstrukturen, kann dies der Fall sein (Ebel-Zepezauer, 2001). Deshalb wird nach dem Prinzip des Ausschlusses gearbeitet und alles Material, was nicht mehr der ausgehenden vorrömischen Eisenzeit und noch nicht der jüngeren römischen Kaiserzeit angehört, der älteren römischen Kaiserzeit zugesprochen (Diskussion in Ebel-Zepezauer, 2001).

In den folgenden Absätzen wird ein knapper Überblick über die für diese Arbeit wichtigen Siedlungen Westfalens aus der älteren Römischen Kaiserzeit gegeben. Aus diesen Siedlungen stammt das Bleimaterial und die zahlreichen Kleinbarren, die für Materialanalysen beprobt wurden.

Aus der Siedlung von Albersloh (Kreis Warendorf, s.u.) stammt der von Wilhelmi (Wilhelmi, 1974) beschriebene und hier aufgenommene ringförmige Bleibarren. Die Siedlung von Warburg-Daseburg (Kreis Höxter) wurde durch ihre geographische Nähe zum Arbeitsgebiet und die gleiche Zeitstellung mit in die Auflistung aufgenommen.

Weiteres Fundblei kam aus den hier nicht näher vorgestellten Siedlungen von Bruchhausen (Wüstung Inkenrode), Warburg-Menne, Borgentreich (Wüstung Sunrike), Willebadessen (Kreis Höxter), Bad Lippspringe-Dedinghausen (Kreis Paderborn) und Brilon-Osterhof (Wüstung Düggeler, Hochsauerlandkreis). Für die meisten der dortigen Bodenfunde, zumal Lesefunde, kann die genaue Zeitstellung nicht mehr ermittelt werden, da die Plätze eine zu lange Besiedlungsgeschichte haben. Lediglich der Grabungsplatz von Lippstadt-Dedinghausen kann mit Sicherheit ins 1. Jahrhundert n. Chr. gestellt werden (z.B. in Bode et al., 2003, nach mündlicher Mitteilung von Dr. Bérenger, WMfA, Außenstelle Bielefeld).

Die Siedlung von Balve-Garbeck (Märkischer Kreis)

Grabungen des WMfA Außenstelle Olpe in den Jahren 1984-86 ergaben in Balve-Garbeck ein Großgebäude, mehrere Grubenhäuser und Pfostenspeicher, drei Urnengräber und Spuren eines umfangreichen Eisenhandwerkes. An verschiedenen Stellen wurden insgesamt zehn „Spinnwirtel“ aus Blei zusammengetragen, so dass

man hier auch von einer Textilfabrikation ausging (nach heutiger Erkenntnis handelt es sich hierbei und bei den vielen anderen im westfälischen Raum zusammengetragenen „Spinnwirteln“ aller Wahrscheinlichkeit nach um Bleigussreste (vergl. Melzer & Pfeffer, 2007)). Die begleitende Keramik erlaubte die Datierung in die erste Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. (Kempken, 1990). Ebenfalls wurden am Fundplatz zehn Kleinbarren und Gussreste entdeckt. Die Gussreste lassen vermuten, dass die Bleiobjekte am Ort gegossen wurden (Rehren, 1998, Rothenhöfer, 2004b, 2007).

Die Siedlung von Brilon-Fülsenbecke (Hochsauerlandkreis)

Auf die oberhalb des Aartales gelegene Siedlung am Fülsenbeckbach wurde man erstmals 1936 aufmerksam, als etwas tiefer am Hang ein Kleinbarren und einige Abfallstücke aus Blei zusammen mit Scherben, einem Handmühlenfragment aus Mayener Basaltlava und Hüttenlehm zum Vorschein kamen. Im gleichen Jahr wurden zwei Urnen im Zuge einer Wiesenmelioration entdeckt. Nachfolgende Sondagen aus dem Jahre 1951 brachten weitere Siedlungszeugnisse wie Holzkohle, Eisenschlacken, amorphe Reste von Bleiverarbeitung und erstmals datierbare Keramik der älteren Römischen Kaiserzeit zutage. Rothenhöfer (2007) stellt sie in das 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. Im Gegensatz zu allen anderen Funden dürften die schweren Bleistücke nicht Hang abwärts geschwemmt worden sein, weshalb angenommen wird, dass sie als Reste eines Arbeitsplatzes außerhalb der Siedlung nahe am Bachlauf zu verstehen sind. Wie andernorts finden sich aber keine Belege für die Verhüttung von Bleierzen (Lukanow, 1988).

Die Siedlung von Brilon-Altenbüren (Hochsauerlandkreis)

Ende der 90iger Jahre fand man eine weitere kaiserzeitliche Siedlung, deren Fundgut gleichfalls auf Bleiverarbeitung schließen lässt. Die aufgelesene Keramik lässt keine genaue Datierung des Siedlungsplatzes zu und kann nur grob den ersten zwei Jahrhunderten nach der Zeitenwende zugeordnet werden (Rothenhöfer, 2007). Man konnte hier u. a. einen bleiernen Gusskegel und acht Kleinbarren sichern (Bergen, 2005). Mittlerweile sind über 30 Kleinbarren und zahlreiche amorphe Gussreste aus dem Bereich der Glennequelle und dem Flurstück „Im Südfeld“ bekannt (Rothenhöfer, 2007).

Die Siedlung Soest-„Am Ardey/Rüenstert/Am Brinkenkamp“ (Kreis Soest)

Von der Fundstelle Soest-„Am Ardey“ westlich der Stadt Soest sind seit Ende der siebziger Jahre Siedlungsreste der Römischen Kaiserzeit bekannt (Reichmann, 1978, 1981). Bis zum Jahre 2005 dehnte sich das Grabungsareal auf mehrere Flurstücke aus (Pfeffer, 2001, 2002, Melzer & Pfeffer, 2005, 2007). Ziel der neueren Grabungen war es, die Westausdehnung der Siedlung zu erfassen. Auf dem 40 ha großen Gelände wurden Siedlungen von der Jungsteinzeit bis ins Hochmittelalter ausgegraben und dokumentiert (Melzer & Pfeffer, 2007). Wie Melzer und Pfeffer (2007) betonen, bringen die neuen Funde und Befunde „mit der nachgewiesenen umfangreichen Buntmetall- und vor allem Bleiverarbeitung im 1. nachchristlichen Jahrhundert neue Aspekte zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte der Region hervor.“

Sechs Gehöfte aus dieser Zeit sind nun nachgewiesen, außerdem mehrere Wasserschöpfstellen. Aus Grubenverfüllungen barg man einheimische und teilweise auch römische Keramik, weiterhin Glasarmring-Bruckstücke, Reste von Gusstiegeln, Buntmetall und zahlreichen Bleifluss. Die römische Keramik lässt sich mittlerweile bis ins 3. Jahrzehnt n. Chr., die einheimische leider eher grob in die Zeit ab Christi Geburt bis 70 oder 80 n. Chr. datieren (mündliche Mitteilung Dr. B. Rudnick u. M. A. I. Pfeffer). Auch die schon oben erwähnten „Bleigewichte“ wie aus Brilon und Balve-Garbeck sind in Soest mit sieben Stücken vertreten. Fünf wurden bei den Grabungen geborgen und zwei weitere stammen von einer weiteren Fundstelle aus dem Soester Stadtgebiet. Hinzu kommen zahlreiche „wirtelartige“ Bleiobjekte und möglicherweise einige Modelle. Unglücklicherweise fielen durch den hohen Bekanntheitsgrad der Altgrabung viele Metallfunde privaten Sondengängern in die Hände. Das Blei ließen sie aber anscheinend liegen. So konnte man insgesamt 84 kg Blei zusammentragen, von dem alleine 31 kg aus gesicherten Befunden der älteren Römischen Kaiserzeit stammt (Melzer & Pfeffer, 2007).

Interessanterweise gibt es einige größere blechähnliche Bleifragmente (Foto 2.4), die die Herstellung von Bleipfannen, wie sie von Jülich (2007) für das frühe Mittelalter von Soest beschrieben werden, vermuten lassen. Dadurch erhebt sich der Verdacht, dass u. U. schon in der Antike Solesiedereien in Soest existierten. Eindeutige Belege fehlen jedoch (Melzer & Pfeffer, 2007).



Foto 2.4: bleierner Blechrest (D-133/3) der Buntmetallwerkstätten von Soest.

Die Siedlung von Warburg-Daseburg (Kreis Höxter)

Das historische Siedlungsareal, das die Zeitspanne 20 bis 60 n. Chr. einnimmt, befindet sich südlich des Desenbergs in der Warburger Börde (Günther, 1990). 1973 fand man am Rande eines Gräberfeldes einige Gruben mit Halbfabrikaten von Bronzefibeln, Resten von Schmelztiegeln für den Bronzeguss sowie Keramik. Man mutmaßte hier Werkstätten Einheimischer im Kontext einer Einzelhofsiedlung (Günther, 1983, 1984). Weitere Grabungskampagnen folgten in den Jahren 1974, 1975, 1980 und 1981. Im Vordergrund stand das Ziel, die Schmiedewerkstätten des Gehöfts zu erfassen und die Größe und Struktur zu überschauen (Günther, 1983).

Es zeigte sich, dass der Wirtschaftsbetrieb eine Länge von rund 110 m und eine Breite von 70 m besaß. Im westlichen Teilbereich überwiegen die Hausbefunde, im östlichen die Zeugnisse handwerklicher Tätigkeit wie Schmelzöfen und Werkstätten. Als Überreste der Feinschmieden kamen zutage: Werkzeuge, z.B. ein Eisenhammer, zahlreiche Schmelztiegelrandstücke, Altmetall, Barren, Halbfabrikate aus Bronze, ein Bronzeschmelzofen und auch Bleireste. Außerhalb der Siedlung mögen die Rennöfen gelegen haben, Eisenherstellung ist zumindest durch Schlackenfunde bezeugt. Anscheinend hat man hier die Entwicklung eines Einzelhofes vor Augen, die „von einer kümmerlichen Landwirtschaft zum Handwerkexperiment führte“ (Bérenger, 2007).

Bezüglich des Bleimetalls resümiert Günther (1983, 1990), dass es wohl in nicht geringer Menge verarbeitet wurde. Als Funde zählt er einen Gussfladen und einige

unregelmäßig geformte Stücke Blei sowie einen „Spinnwirtel“ auf. Die Dimension der Siedlung von Soest-„Am Ardey/Rüenstert/Am Brinkenkamp“ ist damit aber nicht erreicht.

Die Siedlung von Sendenhorst-Albersloh (Kreis Warendorf)

1970 stießen Studenten der Universität Münster auf Gruben und Pfostenspuren der älteren Römischen Kaiserzeit. Die als Notgrabung fortgeführte Untersuchung brachte in den Folgejahren ein Siedlungsareal der jüngeren vorrömischen Eisen- und älteren Römischen Kaiserzeit hervor (Wilhelmi, 1974). Mehrere Gruben und Gebäudepfosten kamen ans Tageslicht. Zur Vervollständigung des Siedlungsbildes in Sendenhorst-Albersloh gibt Grünewald (2007) weitere Informationen: in die Eisenzeit gehören mehrere Vorratsgruben mit Grobkeramik und eisernen Fibeln. Überbaut wurden sie von Pfostengebäuden der ältesten Kaiserzeit. Die Siedlung endete im 1. Jahrhundert n. Chr. (Grünewald, 2007).

Wilhelmi (1974) rückt den Fund eines Bleiringes in den Blickpunkt, dessen einziger Vergleichsfund aus der kaiserzeitlichen Siedlung Denekamp bei Overijssel (NL) stammt (Foto 2.5). Weitere Parallelen fehlen sowohl in der *Germania Magna* als auch im Römischen Reich (s. Bergen, 2005). Der Bleiring ist sogar das einzige Bleiobjekt des Münsterlandes, das sicher in frühkaiserzeitlichen Kontext gehört (Grünewald, 2007).



Foto 2.5: ringförmiger Bleibarren von Albersloh (D-135/2), Kreis Warendorf.

Die Siedlungen von Salzkotten-Thüle und Bad Wünnenberg-Bleiwäsche (Kreis Paderborn)

Über die Siedlung von Bad Wünnenberg-Bleiwäsche gibt es nur wenige Informationen. Die Keramik lässt aber eine Zuordnung in das 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. zu (Rothenhöfer, 2004b). Sie ist für diese Arbeit von Bedeutung, da auch hier neben verschiedenen Bleiresten zwei der „germanischen“ Kleinbarren ausgegraben wurden.

Salzkotten-Thüle spiegelt das Bild eines ländlichen Betriebes wider. Hier wurde, wie Bérenger (2007) berichtet, Eisen für den Eigenbedarf verarbeitet. Gut bekannt ist die Zeitstellung dieses Besiedlungsplatzes. Er bestand um die Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. und existierte zeitgleich mit Balve-Garbeck, Brilon-Fülsenbeck, Warburg-Daseburg und Soest (Bérenger, 2002, 2007, Rothenhöfer, 2004b, 2007, s.a. Bode et al., 2003 mit Vorstellung der Bleifunde).

3.1 Einführung

In den folgenden Kapiteln soll ein Überblick über den römischen Bleierzbergbau in Europa und die geologischen Verhältnisse gegeben werden. Auch außerhalb des Kontinentes gab es in dieser Zeit Bergbauaktivitäten. In Nordafrika, gibt es Anzeichen, dass römischer Bergbau auf Blei in Tunesien, Ägypten und Lybien umgegangen ist. Fundmaterial auf alten Halden und historische Texte könnten auf Bergbautätigkeiten vom 2. bis einschließlich dem 5. Jahrhundert n. Chr. hindeuten (Sainfeld, 1956). Ob Blei exportiert wurde, ist ungewiss. Die Bleibarren, die man vor der Küste von Tunesien und im Hafen von Cherchel (Algerien) fand, kommen mit Sicherheit aus Spanien (Nriagu, 1983a, Begemann & Schmitt-Strecker, 1994, Eck, 1994). Ein weiterer Bleibarren stammt vom marokkanischen Festland bei Vilubilis. Auch er ist hispanischer Herkunft (Laubenheimer-Leenhardt, 1973, Meier, 1995).



Abb. 3.1: Überblick über die in der Zeit der Römischen Republik und in der augusteisch-tiberischen Regierungszeit in Frage kommenden Herkunftsgebiete für römisches Blei (Karte nach Boni et al., 2000).

In Vorderasien kommt das Bergbaurevier von Balya, das größte in Nordwestanatolien, für römische Bleigewinnung in Frage. Die Datierung der Funde ist aber nicht eindeutig, da allgemein die griechisch-römische Epoche als Zeitrahmen genannt wird (Nriagu, 1983a). Die Hauptphase der Bergbaus soll im 2. und 1. Jahrhundert v. Chr. gewesen sein (s. Wagner et al., 1985).

Die südspanischen Provinzen und Britannien werden als die Hauptproduzenten für Blei im Römischen Reich gehandelt. Unzweifelhaft war Südspanien zur Zeit der Römischen Republik und dann Britannien in den ersten zwei nachchristlichen Jahrhunderten die wichtigsten Exportländer. Ein Großteil des Bleis ist nach Rom verschifft oder über Land dorthin transportiert worden. Rom, die einzige Millionenmetropole der Antike, brauchte Unmengen an Blei für Kanalisation, Bäder und die Bauten. Die Rolle z.B. von Gallien, Sardinien oder dem Balkanraum bei der Bleiversorgung ist noch Forschungsdesiderat. Für das augusteische Germanien zeichnete sich durch jüngste Untersuchungen an Bleibarren- und Bleimetallfunden ab, dass auch die germanischen Bleierzlagerstätten, zumindest für einige Jahrzehnte, die Bleiversorgung Roms garantierten (Rothenhöfer, 2003-2005, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007, Durali-Müller, 2005, Bode et al., 2007).

3.2 Deutschland

Das Rheinische Schiefergebirge

Das Rheinische Schiefergebirge ist wie die Ardennen, der Harz und der Flechtinger Höhenzug Teil der Rhenoharzynischen Zone. Es stellt den externen Faltungs- und Überschiebungsgürtel des spätpaläozoischen Variszischen Orogens in Zentraleuropa dar. Linksrheinisch endet das Rheinische Schiefergebirge etwa an der Grenze zu Belgien jenseits der Eifeler Nord-Süd-Zone. Im Norden wird es durch das Ruhrgebiet und die Niederrheinische Bucht, im Osten durch Buntsandstein und Tertiär der Hessischen Senke begrenzt (z.B. Henningsen & Katzung, 2002). Der südliche Abschluss wird durch großräumige Verwerfungen markiert, an denen der Taunus gegen die Wetterau und das Mainzer Becken und der Hunsrück gegen die Saar-Nahe-Senke abbrechen. Die Hauptbildungszeit der Faltung und Versätze der Schichten wird zwischen 330 und 270 Millionen Jahre angesiedelt, die metamorphe Umwandlung der Gesteine war relativ schwach (z.B. Ahrendt et al., 1978, Behr et al., 1987). Aufgebaut ist der Gebirgskörper im Wesentlichen aus pelitischen Sedimenten, bimodalen submarinen Vulkaniten und Vulkanoklastika sowie Riffkarbonaten des Unterdevons bis Oberkarbons, jüngere Ablagerungen sind auch vorhanden (z.B. Franke et al., 1978). Das Rheinische Schiefergebirge beherbergt eine große Anzahl an epigenetischen Buntmetallsulfid- und Sideritlagerstätten.

Man unterscheidet zwei Phasen der Mineralisation:

- eine ältere synorogene variszische Generation, die durch Siderit, Zinkblende und silberführenden Bleiglanz charakterisiert ist und während des Karbons in Gesteinen des Unter- und Mitteldevons Platz nahm, und
- eine jüngere postvariszische Generation, die aufgrund der tektonischen Aktivitäten während des Saxonischen Zyklus zum Erliegen kam. Die Hauptphase lag im Zeitraum Kreide-Tertiär. Die Initiierung der hydrothermalen Tätigkeit und der Anhebung des Schiefergebirges durch einen Manteldiapir ist bis heute nicht sicher (z.B. Schaeffer, 1984, Krahn & Baumann, 1996, Jochum, 2000). Die Erze verteilen sich auf die paläozoischen, kretazischen und stellenweise auch auf die tertiären Nebengesteine (z.B. Schriell, 1959, Walther, 1982, Schaeffer, 1984, 1986).

Zu den bekannten in der Vergangenheit abgebauten variszischen Lagerstättenbezirken gehörten der Bensberg (Bergisches Land), der Siegerland-Wied-Distrikt, Ramsbeck (Sauerland) und der Hunsrück. Einige kleinere Vorkommen gibt es in der Osteifel (Reppke, 1993). Die bedeutenden Lagerstätten der jüngeren Erzgeneration liegen im Mechernicher Triasdreieck und im Aachen-Stolberger Raum im Norden der Eifeler Nord-Süd-Zone (z.B. Gussone, 1964, Large et al., 1983, Krahn, 1988, Krahn & Friedrich, 1991). In der Westeifel, im Süden der Eifeler Nord-Süd-Zone, sind die Pb-Zn-Cu-Vererzungen von Rescheid und Bleialf von größerer Bedeutung. Sie zeigen eine ähnliche Mineralparagenese wie die Vorkommen des Mechernicher Triasdreiecks (Höhndorf et al., 1984). Auf der anderen Rheinseite trifft man im Sauerland und Siegerland, aber auch im Harz und in der Hessischen Senke, auf größere postvariszische Buntmetallvorkommen. Als Gangart überwiegt Kalzit/Dolomit, gefolgt von Quarz und Baryt (z.B. Walther, 1982, Schaeffer, 1984, 1986).

Sowohl im linksrheinischen als auch im rechtsrheinischen Schiefergebirge waren überregional wirksame, großräumige Hydrothermalsysteme für die jüngeren, für unsere Arbeit wichtigen, Bleierzlagerstätten, aber auch für die ältere Generation, verantwortlich (z.B. Walther 1982, Schaeffer, 1984). Der hohe „Verwandtschaftsgrad“ äußert sich in einer relativ homogenen Bleiisotopenzusammensetzung z.B. des in

dieser Arbeit im Focus stehenden postvariszischen Bleiglanzes der Nordwesteifel und der Briloner Hochfläche (Höhndorf et al., 1984, Bode et al., 2007). Als sicher gilt, dass die postvariszischen Erze keine Remobilisationen der variszischen Erze darstellen, sondern aus einer radiogeneren Quelle, wahrscheinlich aus demselben Muttergestein wie die variszischen Erze, beliefert wurden (z.B. Schaeffer, 1984, 1986, Höhndorf et al., 1984, Bielicki & Tischendorf, 1991, Krahn & Friedrich, 1991, Lévêque & Haack, 1993, Brauns, 1995, Krahn & Baumann, 1996, Wagner & Schneider, 1999). Wedepohl et al. (1978) führen die Herkunft des Bleis auf Sedimente mit präkambrischem Detritus zurück.

In diesem Kapitel wird schwerpunktmäßig über die für diese Arbeit wichtigen Bergbaureviere der Nordwesteifel, des Sauerlandes (Briloner Hochfläche) und des Bergischen Landes informiert (s. Abb.3.2).

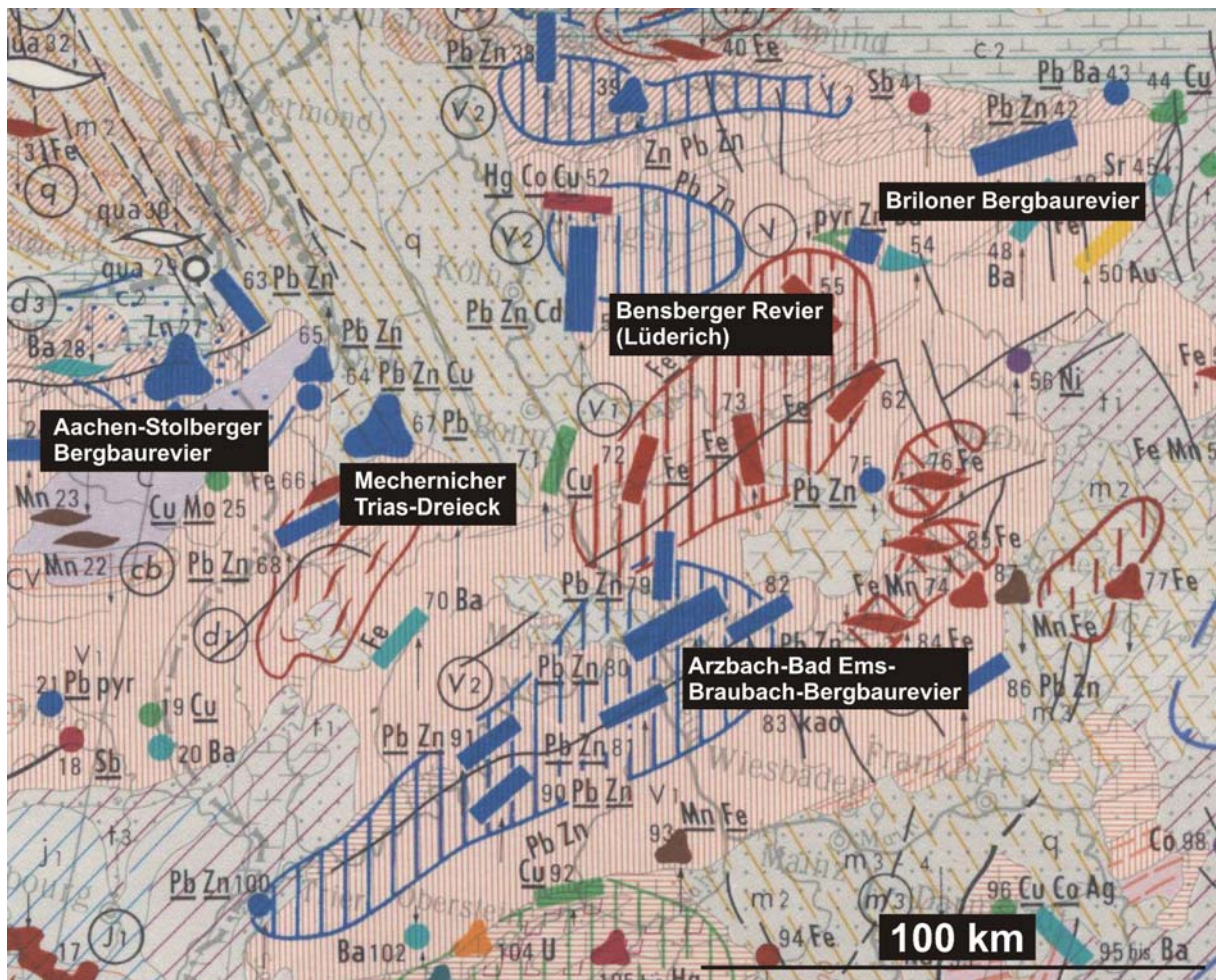


Abb. 3.2: Die Pb-Zn-Vererzungen antiker Bleibergbaureviere des Rheinischen Schiefergebirges. Die blauen Balken zeigen große und kleinere Pb-Zn-Vererzungskörper, die blauen ungeradlinigen Dreiecke „Flecken“ große und kleine Anhäufungen von Pb-Zn-Vererzungen, die blauen Punkte kleine Pb-Zn-Vorkommen. Die blauen Felder mit vertikaler Streifung umfassen hydrothermale postmagmatische Vererzungszonen (Ausschnitt aus „Carte métallogénique de l'Europe, Karte Nr. 5, 1:2500000, Première édition 1968-1970).

3.2a Nordwesteifel

Die Intensität des römischen Bergbaus in der linken Rheinzone ist nicht mit der des Mittelmeerraumes, insbesondere der Iberischen Halbinsel, vergleichbar (v. Petrikovits, 1958). Dass das von den Römern besetzt gewesene Gebiet links und rechts des unteren Rheins zumindest in augusteischer Zeit trotzdem Teil der Bleiversorgung des Imperiums war, dafür sprechen sowohl die im Vorfeld dieser Arbeit erarbeiteten archäologischen/naturwissenschaftlichen als auch die hier vorgestellten naturwissenschaftlichen Untersuchungen (Rothenhöfer, 2003-2006, Durali-Müller, 2005, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Grundsätzlich war aber auch hier der Abbau von Bodenschätzen kaiserliches Privileg (Bechert, 1982). Münzfunde in Halden und Schächten deuten an, dass sehr wahrscheinlich bereits vor der Zeitenwende Bergbau in der Nordwesteifel umging (Rothenhöfer, 2005). Dies unterstützen auch Bleiisotopenuntersuchungen an Bleifunden vom Militärlager Dangstetten und der Kolonie Waldgirmes aus der Zeit der Germanenfeldzüge (Durali-Müller, 2005). Die Datensätze werden für die Provenienzanalysen in dieser Arbeit übernommen. Im 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. wurde das Gewerbe von Kleinunternehmern und Gutshofeignern getragen. In den Gehöften galt das Metallhandwerk wohl eher als Nebenerwerbszweig (v. Petrikovits, 1956, 1958). Initiiert wurde der Bleibergbau im Rheinland sicherlich durch die speziell dafür ausgebildeten Heeresteile (*aerarii*).

Neben den nachfolgend vorgestellten Bergbaurevieren Mechernicher Bleiberg und Aachen-Stolberg, in denen römische Bleigewinnung stattfand, wird auch im Bergbaurevier von Rescheid (Kreis Aachen), das von einer römischen Strasse passiert wird, römischer Bergbau vermutet. Man stieß dort auf römische Brandgräber des 1. bis 3. Jahrhunderts n. Chr. und hat Belege für eine römische Eisengewinnung im nahe gelegenen Reiffersheim (Brunemann et al., 2003).

Der wichtigste antike Bleierzdistrikt der Nordwesteifel dehnt sich zwischen Mechernich-Kommern und Kall-Keldenich im sogenannten Mechernicher Triasdreieck aus (Kreis Euskirchen). Er ist unter dem Namen „Mechernicher Bleiberg“ bekannt und baut sich aus einer grabenähnlichen Depression entlang der nördlichen Grenze des Rheinischen Schiefergebirges auf. Hier lagern Sandsteine und Konglomerate des Buntsandsteins, die diskordant auf Gesteinen des Unteren

Devons aufliegen. Die bauwürdige Zone der Lagerstätte bedeckt eine Fläche von etwa 9 km² und hat eine maximale Mächtigkeit von 60 m. Sie befindet sich in einem intensiv gestörten Bereich am Südostrand des Mechernicher Trias-Dreiecks. Nach Brunemann et al. (2003) besitzt der Mechernicher Bleiberg etwa 120 Millionen t Erzreserven und gehört damit zu den größten Erzlagerstätten Europas.

Geologie des Mechernicher Bleibergs (Kreis Euskirchen)

Die Bleivererzungen sind lagerförmig an den mittleren Buntsandstein gebunden. Im Liegenden folgt erzfreier Buntsandstein und mitteltriassischer Muschelkalk. Die Erz führenden Bereiche können in ihren Mächtigkeiten variieren. Im Südwesten der Lagerstätte sind Konglomerate und im Nordosten Sandsteine vorherrschend (Schalich et al., 1986, Heitfeld et al., 2003).

Die Buntsandsteinfolge besitzt ein Nordwest-Streichen und ein allgemeines Einfallen von 8 bis 15° nach Nordwesten. Aufgrund dessen ist das Ausstreichen an der Oberfläche sehr ausgeprägt. Im Süden, an der Kallmuther Schwelle, streicht der Buntsandstein allmählich aus. Im Norden sorgt eine staffelbruchartige Absenkung, die Mechernicher Störung, für den Abschluss der Lagerstätte (Schalich et al., 1986, Heitfeld et al., 2003). Die Erz führenden Sandsteinflöze des Mechernicher Bleibergs sind vorwiegend hell, mittelkörnig und sehr quarzreich. In der östlichen Zone ist der Sandstein weniger stark zementiert. Der Sandstein zerfällt hier schon während der Aufbereitung. Der Westteil der Lagerstätte ist stärker verkieselt und dolomitisiert. Schwerspat kommt nur selten vor. Stellenweise fungiert der Bleiglanz als Bindemittel (Schalich et al., 1986, Heitfeld et al., 2003).

Die Erze sind als Imprägnationserze ausgebildet und führen hauptsächlich silberarmen Bleiglanz und Zinkblende (Wegener, 1993). Die Hauptmenge des Bleierzes ist in den Sandsteinflözen in Form so genannter „Erzknoten“ verteilt. Dies sind Kügelchen aus Quarzsand, die mit Bleiglanz-, aber auch mit Cerussit-Partikeln verkittet sind. Sie kommen auch in Wolken oder in Schnüren vor. Im Bereich von Störungen ist die Vererzung am intensivsten. Als „Blankgut“ werden mit Bleierz gefüllte Hohlräume und Klüfte bezeichnet. Der durchschnittliche Anteil an Bleierz im Sandstein lag bei 1,1 bis 2,2 % (Schalich et al., 1986).



Foto 3.1: Bleiglanzknotten in den Sandsteinflözen von Mechernich (D-157/2), die Bleiglanzprobe in der Mitte des Bildes (D-157/3) entspricht dem im Text beschriebenen „Blankgut“ (s.o.).

Römische Bleigewinnung am Mechernicher Bleiberg

Das Ausmaß römerzeitlichen Bleierzbergbaus in der Nordwesteifel ist bis heute nicht völlig geklärt. Hinweise auf römischen Bleierzabbau und auf Verhüttung finden sich am Bleiberg bei Mechernich (z.B. Schalich et al., 1986, Wegener, 1994), auf dem Tanzberg bei Keldenich, bei Kommern, Kall und Kallmuth und möglicherweise auch südlich Berg vor Nideggen (Davies, 1935, v. Petrikovits, 1958, Wegener, 1993). Gottschalk (2003) sieht als deutlichstes Indiz für römische Bleigewinnung am Mechernicher Bleiberg, dass die Wasserrohrleitungen von Mechernich auf einer Sohle von ausgewaschenen Sanden lagern, die dortige Halde also älter ist als die Wasserleitung. Weisgerber (2003) berichtet von 1 m mächtigen Schmelzabfällen bei Kall in der Trasse der römischen Eifel-Wasserleitung nach Köln.

Auch am Maubacher Bleiberg soll römischer Bleierzbergbau umgegangen sein (Nriagu, 1983a). Schalich et al. (1986) beschreiben das Fundspektrum für den Bleiberg bei Mechernich: Hier gab es römische Bergetröge, Lampen aus Ton und Blei, einen Bleibarren (der 16. Legion), Tonrohrleitungen und hölzerne Gerinne zum Heranführen des Aufbereitungswassers. Die bedeutendsten römerzeitlichen Abbaugelände, hiervon zeugen ausgedehnte alte Halden ausgewaschener Sande,

waren aber der Tanzberg bei Keldenich und der Bleiberg bei Kommern (z.B. Schalich et al., 1986, Rothenhöfer, 2005).

Preuschen (1956) und Davies (1935) berichten von latène- und römerzeitlichen Münzen, römischer Keramik und Gezähe in den Bleigruben des Mechernicher Triasdreiecks zwischen Mechernich-Kommern und Kall-Keldenich. Die meisten Funde galten schon damals als verschollen. Davies (1935) präzisiert die Fundsituation: die latènezeitlichen Münzen wurden aus den Halden und Stollen von Kommern, Kall, Kallmuth und Keldenich geborgen. Die römischen Münzen stammen aus den Gängen von Mechernich. Davies (1935) datiert sie in die Zeit des Claudius. In Keldenich wurde außerdem römisches Bergmannsgerät und Keramik gefunden. Hier sollen die Bergbauspuren bis in das 4. Jahrhundert n. Chr. reichen. Etwas weiter südlich bei Nettersheim sind Bleischlacken und Sande von Abraumhalden in einem spätrömischen Gebäude verbaut worden (Davies, 1935).

Bis vor Kurzem galt es als wahrscheinlich, dass schon in vorrömischer Zeit Bleierzbergbau im Rheinland betrieben wurde und die römischen Invasoren diesen fortführten (z.B. Gechter, 1993, Wegener, 1993). Die Informationen konnten aber einer erneuten Prüfung in jüngster Zeit nicht standhalten. Es gibt weder direkte Hinweise auf vorrömischen Bleierzbergbau noch konnte man die Verwendung von Blei in eisenzeitlichen Siedlungen belegen (Rothenhöfer, 2005). Eine Neuuntersuchung der nach Davies (1935) und Preuschen (1956) angeblich latènezeitlichen Münzfunde aus den Halden und Schächten bei Keldenich zeigte zudem, dass es sich hierbei mit hoher Wahrscheinlichkeit um ubische Quinare handelt. Sie geben Anlass zu der Annahme, dass erst im Zuge der Anlage der römischen Fernstrasse Trier-Neuß im 2. Jahrzehnt v. Chr. das Bleierzrevier der Nordwesteifel erschlossen wurde (Rothenhöfer, 2005).

Zu den häufigsten montanhistorischen Hinterlassenschaften in der Nordwesteifel gehören die Schürfgräben. Von Petrikovits (1956, 1958) erwähnt die Existenz von insgesamt 96 solcher Schürfgräben. Er beschreibt sie als 15 bis 50 m breit, meist im Hangbereich und mit einer heutigen Tiefe von 50 cm bis 4 m. Die Einfahrtrösche ist heute noch erkennbar. Z.B. erstreckt sich zwischen Berg, Embken und Wollersheim ein ausgedehntes Pingefeld. Besonders oft sind solche Pinggen bei Berg vor

Nideggen anzutreffen (von Petrikovits, 1958). Dort fand man auch im Märzental südwestlich von Berg vor Nideggen zwei römische Schmelz- oder Röstöfen aus der Mitte des 2. Jahrhunderts n. Chr., die wahrscheinlich der Bleigewinnung dienten (v. Petrikovits, 1956, Bachmann, 1977). Sie konnten römischen Gutshöfen zugewiesen werden (v. Petrikovits, 1956, Bachmann, 1977). Von Petrikovits (1956) ist der Überzeugung, dass dort, wo Buntsandstein ansteht und Ackerbau nicht ertragreich war, die römischen Siedler ihr Hauptaugenmerk auf die Metallgewinnung gelegt haben (s.a. Gerlach & Wegener, 1996).

Gottschalk (2003) stellt die Frage nach dem Ende des römischen Bleibergbaus am Mechernicher Bleiberg. Die zeitlich eindeutig einzuordnenden Funde von Mechernich wie der Bleibarren der 16. Legion, die zwischen 43 und 70/71 n. Chr. in Neuss stationiert war oder eine Münze des Claudius aus einer Bleihalde geben hierzu keinen Hinweis. Man kann momentan lediglich feststellen, dass aufgrund von Bleiisotopenvergleichen zwischen rheinländischen römischen Bleisärger aus dem 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. und Bleierz der Nordwesteifel es sehr wahrscheinlich ist, dass das Blei der Särge noch von dort stammt (Gottschalk & Baumann, 2001).

Geologie von Aachen-Stolberg (Kreis Aachen)

Das Aachen-Stolberger Revier gehört zu der NW-Flanke des Hohen Venns und besteht aus kaledonisch gefalteten Quarziten, Phylliten und tonalitischen Eruptiva, von denen die Quarzite morphologisch bestimmend sind. Danach folgen klastische Gesteine als Schiefer, Sandsteine, Quarzite und Konglomerate. Die ersten durchgehenden Kalkbänke stehen erstmals in den Schichten des Givets an.

Der Aachener Kohlenkalk definiert die Wende Devon-Karbon. Die Pb-Zn-Vorkommen südwestlich von Aachen stehen dort an, wo Verwerfungen den Kohlenkalk kreuzen. Man trifft sie in den zerklüfteten, meist grobbankigen Kalken und Dolomiten an (Gussone, 1964, Krahn et al., 1986). Die oberflächennahen Galmeivorkommen sind metasomatisch gebildet. Die primären Sulfidvererzungen, zu denen auch der Bleiglanz gehört, sind Hohlraumfüllungen, die nur zentimeterweise Verdrängungen im Nebengestein bewirkt haben (Gussone, 1964).

Die Pb-Zn-Vorkommen des Aachen-Stolberger Reviers treten ausschließlich in den paläozoischen Gesteinen auf. Sie werden als epithermal eingestuft. Dies entspricht einer Bildungstemperatur von 60 bis 150°C (Radke & Mathis, 1980). Als Quelle gelten ältere Schwarzschiefer und bituminöse Kalksteine, die aufgrund der Deckenstapelung in der Nordwesteifel mehrfach durchwandert werden konnten (Dejonghe & Jans, 1983, zitiert in Krahn et al., 1986).

Im „Kohlenkalk“ (z.B. Grubenfeld Diepenlinchen) dominieren oberflächennah Cerussit, Galmei und Brauneisenstein, untergeordnet findet man u.a. Bleiglanz, Schalenblende, Pyrit und Markasit. Mit zunehmender Teufe überwiegen die Primärerze. Als Gangart herrschen Kalkspat, der an der Oberfläche dolomitisiert ist, und Siderit, welcher meist in Brauneisenstein überführt wurde, vor (Gussone, 1964).



Foto 3.2: Bleiglanzprobe aus den Hastenrather Kalkwerken von Stolberg-Werth.

Römische Bleigewinnung in Aachen-Stolberg

Der Bergbau im Aachen-Stolberger Raum ging bis zum Ende des 19. Jahrhunderts um. Er bildete die Rohstoffgrundlage für das dort angesiedelte Messinggewerbe. In regenarmen Jahren erreichte man in den Gruben der z.T. stark cavernösen Kalke und Dolomite eine Teufe von ca. 45 m. Mancherorts erreichte man immerhin die 100 m-Marke, in der Grube Diepenlinchen sogar eine Teufe von 380 m. Erze sind im Anstehenden praktisch nicht mehr aufgeschlossen und treten nur noch durch den Steinbruchbetrieb zutage (Gussone, 1964).

Die frühesten Belege für Metallproduktion und -handwerk im Aachen-Stolberger Revier gehören in das 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. Am Ortsausgang von Breinigerberg, 5 km südlich von Stolberg, wurden römische Münzen, Scherben, Schlacken und Reste römischer Wohnhäuser ausgegraben. Sie wurden von Schmid-Burgk (1925) als Bergarbeitersiedlung mit angeschlossenen Werkstätten beschrieben. Heute ist sie völlig überbaut (Löhr & Zedelius, 1980).

In nächster Nähe zu dieser Ansiedlung befindet sich der Schlangenberg mit Pingen und eingestürzten Schächten und Stollen (Gussone, 1964, Weisberger, 2003). Hier wurde ab dem 1. Jahrhundert n. Chr. vor allem Galmei zur Messingherstellung abgebaut, rings um den Schlangenberg stehen aber auch Blei-, Eisen- und Kupfererze an (Horn, 1987). Ob der Kupferbedarf für die Messingproduktion aus den lokalen Kupfervorkommen gespeist wurde, ist nicht geklärt (Wegener, 1993).

Auf dem Schlangenberg wurden Scherben aufgelesen, die in das erste Viertel des 1. Jahrhunderts n. Chr. datiert werden konnten. Sie scheinen in ihrer Zeitstellung dem Beginn des dortigen Bergbaus sehr nahe zu kommen. Weiterhin wurden dort auch einige Bleigussstücke, ein Bleigewicht und Bleiglanzreste aufgelesen (Löhr & Zedelius, 1980).

Relikte römischen Hüttenwesens findet man auch im Bergbaurevier „Grunsenbruch“ bei Stolberg, nordöstlich von Gressenich (z. B. Weisgerber, 1993). U.a. wurde dort ein Werkgebäude entdeckt, welches vermutlich Teil eines größeren römischen Gewerbebezirkes war. Die Ausgrabung brachte römische Keramik und Ziegel, Eisenschlacken, Verhüttungs- und Brandspuren zutage. Der Betrieb stammt aus der Wende zwischen 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. Obwohl die Fundsituation vornehmlich auf Eisenproduktion schließen lässt, fanden sich vor Ort auch Bleireste (Jürgens & Vogt, 1981).

Davies (1935) nimmt an, dass, obwohl bei Stolberg über 100 Rennfeueröfen betrieben worden sein sollen, die eigentliche Intention des Bergbaus dem Blei und dem Zink galt. Gleiches gilt für den Raum Breinig-Vicht südlich Stolberg. Die Bergbauspuren von Stolberg-Büsbach, die von Horn (1987) nicht näher ausgeführt

werden, gehören in das 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. Auch hier fand man Überreste einer Bergbausiedlung (Weisgerber, 2003).

Aus Hastenrath, Stolberg, erwähnt Davies (1935) einen Bleierzstollen, der in seinem Ausbau eine römische Handschrift tragen könnte. Wegener (1993) schreibt von Schacht- und Stollenbauten, in denen der „Alte Mann“ Verschalungen ältester Zeit aufweist. Ebenfalls in Hastenrath trifft man auf zahlreiche Pingen, die auf einen Aushub in römischer Zeit schließen lassen. Horn (1987) begründet diese Erkenntnis damit, dass nördlich des Pingenfeldes eine römische Trümmerstelle, die als Überrest einer *villa rustica* interpretiert wird, ausgegraben wurde. Sie gehört in das 2. oder 3. Jahrhundert. Das gleiche Phänomen findet man südwestlich von Hastenrath. Die dortigen Pingenzüge können mit einer *villa rustica* aus dem 1. bis 3. Jahrhundert in Verbindung gebracht werden (Horn, 1987).

3.2b Sauerland

Zur Geologie der Briloner Hochfläche (Hochsauerlandkreis)

Im Briloner Raum im nördlichen Sauerland wurde bis in die jüngste Vergangenheit Bergbau auf Eisen-, Kupfer, Blei- und Zinkerze betrieben. Das gemeinhin als Briloner Galmei-Distrikt bekannte Revier gehört zum nordöstlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges und stellt den Nordflügel des Ostsauerländer Hauptsattels dar. Dieser Nordflügel baut sich aus drei kleineren Spezialsätteln auf. Es sind diese der Messinghäuser, der Briloner und der Scharfenberger Sattel.

Im weiteren Sinne wird die Briloner Hochfläche von mitteldevonisch-oberdevonischen Kalken, vorwiegend Massenkalken, aufgebaut. Sie neigen stark zur Verkarstung. Die morphologischen Unterschiede des Hochplateaus liegen im tektonischen Wechsel dieser Kalkformationen mit weicheren Tonschiefern des Devons und des Kulms, aber auch harten Diabasen und Kieselschiefern, begründet (Paeckelmann, 1925, 1926, 1928, Schriel, 1954). Die Verlandung des Gebietes im Zuge der oberkarbonzeitlichen Faltungsphase (Westphal-Stephan) erfolgte ab dem Namur. Während der nachfolgenden Abtragungsphase am Ende des Karbons und des Rotliegenden kam es zur Herausbildung der grundlegenden morphologischen Elemente des heutigen

Landschaftsbildes. Nach Paeckelmann (1932, 1933) entstand in jener Zeit der so genannte „Primärrumpf“. Die Verkarstung setzte sich bis in den Jura fort.

Mit dem Beginn des Oberkarbons geriet die Briloner Hochfläche vollständig unterhalb des Meeresspiegels. Der Sedimentationszeitraum dauerte aber nicht lange, da sich das Meer im Zuge der Anhebung der Briloner Massenkalk in der ausgehenden Kreide wieder zurückzog. Im Tertiär und Quartär bildete sich das heutige Landschaftsbild heraus, in dem das kretazische Deckgebirge nur noch reliktsch, z.B. bei Bleiwäsche oder Radlinghausen ansteht (Schriel, 1954).

Der Bleiglanz ist das wichtigste Erz, das neben den Zinkerzen die Grundlage des Briloner Bergbaus bildete (Schroers, 1960). Er tritt meist als derbe kompakte Masse silberarmer Glasurerze auf oder ist in Würfeln auf Kalkspat auskristallisiert oder mit diesem verwachsen. In der Oxidationszone ist er zum guten Teil pseudomorph in Cerussit umgewandelt. In den Letten der Dolinen kann man Bleiglanz als mehrere Zentner schweren Brocken finden. Da der Kalkstein im Verkarstungsgebiet sehr rein ist, müssen die Lettentone in den Dolinen vor der Lagerstättenbildung entstanden sein (Schriel, 1954).



Foto 3.3: massives Bleiglanzstück (D-154/2) aus einer Lehmschlotte im Steinbruch „Kirchloh“ bei Brilon.

Es gibt sehr häufig Verwachsungen von Blei- und Zinkerzen, die in der Oxidationszone der Lagerstätten aufgrund der geringeren Mobilität des Bleis als so genannter „bleiischer Galmei“ vorliegen. Diese 30 bis 60 m mächtige Oxidationszone war die Basis des mittelalterlichen und neuzeitlichen Bergbaus. Die eigentliche

primäre Lagerstätte ist in der gesamten Zeit nur in den seltensten Fällen erreicht worden (Schroers, 1960).

Alle Lagerstätten befinden sich innerhalb des devonischen Massenkalks, in den variszisch angelegten Störungen, in den Kalkspatgängen der jüngeren Querstörungen und in der aufliegenden Kreide. Nur im letzteren Falle kann von einer metasomatischen Verdrängungsreaktion gesprochen werden. Dort ist der Bleiglanz mit Baryt vergesellschaftet (Schriel, 1954).

Die Erzgänge innerhalb der variszischen Störungen findet man hauptsächlich im Norden und im Süden des Massenkalk (Markus, 1890, Schriel, 1954). Mächtigkeiten von 2 bis 6 m sind bei diesen nester- oder lagerförmigen Vorkommen keine Seltenheit. Die jüngeren Querstörungen sind wohl zum Großteil auch variszisch angelegt, haben ihre Bedeutung aber erst später im Laufe des Mesozoikums als Bewegungsbahn für die Schollenversätze erhalten (Schriel, 1954). Das Erzvorkommen innerhalb des Massenkalks findet sich in Karstschlotten oder Taschen und als Füllung oder Überkrustung von Einsturzbrekzien (Markus, 1890).

Die Vererzungen des Briloner Sattels sind allesamt jünger als die variszische Faltung im Oberkarbon. Die Altersstellung der Erze in den jungen Decksedimenten ergibt sich unmittelbar aus den stratigraphischen Befunden. Teilweise erfuhren die Bleiglanze in diesen Horizonten die Beimischung einer radiogene Komponente direkt aus dem Wirtsgestein (s. Schaeffer, 1984). Für die Vorkommen in den paläozoischen Gesteinen ist eine stratigraphische Zuordnung nicht möglich. Sie können lediglich als jünger als die variszische Faltung angesehen werden (Schaeffer, 1984) (Abb. 3.3).

Römische Bleigewinnung auf der Briloner Hochfläche

Bemerkenswert ist, dass in der Soester Börde und an anderen Stellen des Sauerland, wie z.B. die Briloner Hochfläche, bedeutende Mengen an Schlacken gefunden werden. Man bezeichnet die Funde vorerst als „Bleischleier“ (mündliche Mitteilung von Dr. Schubert, Westfälisches Museum für Archäologie (WMfA), Außenstelle Olpe). Da eine eingehende Feldforschung zur Typologisierung und Datierung der Verhüttungszeugnisse noch aussteht, kann nur gemutmaßt werden, ob

sie einer antiken Bleigewinnung und damit römischen Bleiproduzenten oder den Einheimischensiedlungen des 1. und 2. Jahrhunderts n. Chr. zugerechnet werden können.

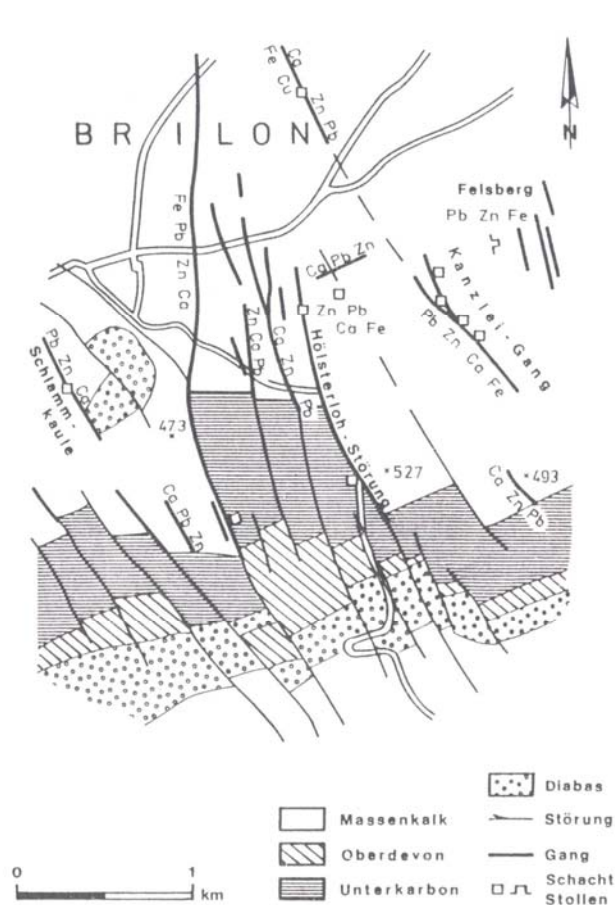


Abb. 3.3: Postvariszisch mineralisierte Querstörungssysteme im „Briloner Graben“ südlich von Brilon (aus Schaeffer, 1984). Auf der Karte eingezeichnet sind die für diese Arbeit wichtigen Lokalitäten Schlammkaule und der Kanzlei-Gang (Grube Kanzlei), in denen den Bleisotopenvergleichen zufolge römische und germanische Bleigewinnung stattgefunden haben könnte (Kapitel 5). Weitere potentielle Orte der antiken Bleigewinnung sind der Scharfenberg nördlich, Nüllstein südöstlich und der Steinbruch „Am Kirchloh“ südlich der Karte.

Bis heute gibt es keinen direkten Beweis für römische Bleigewinnung im Sauerland. Das Römerlager Rüthen-Kneblinghausen nördlich der Briloner Hochfläche, ein eiserner römischer Dolch aus Rösenbeck aus der 1. Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. und republikanische bis frühkaiserzeitliche Münzfunde aus dem Briloner Revier waren lange Zeit die wenigen Zeugen, die eine Präsenz der Besatzer in diesem Bergbauggebiet möglich machten (Hanel & Rothenhöfer, 2005).

Zwei archäologische Funde riefen jüngst eine Diskussion ins Leben, ob die Römer im Briloner Revier nach Bleierzen geschürft und damit den Bleibergbau im Sauerland initiierten hätten (Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Der erste Fund ist ein kleines

Bleifragment mit Inschriftenrest, der zu dem lateinischen Wort [-]PVDENT[IS-] und daher zu dem römischen Namen *Pudens* ergänzt werden konnte. Er kam 2001 als Lesefund in Brilon-Altenbüren zum Vorschein, dort, wo bisher die meisten germanischen Kleinbarren entdeckt wurden (30 Stück). Derselbe Name taucht ebenfalls auf dem zweiten Fund auf, einem unter dem Fundort Rena Maggiore bereits beschriebenen Barren mit der Inschrift PVDENTISGERM aus dem Wrack von Rena Maggiore, Sardinien (Riccardi & Genovesi, 2002). Laut Hanel und Rothenhöfer (2005, 2007) besteht die Möglichkeit, dass beide Funde denselben Unternehmer als Besitzer hatten und zumindest der PVDENTISGERM-Barren der Schiffsladung aus Briloner Bleierz erschmolzen wurde. Käme dieser Bleibarren tatsächlich aus dem Sauerland, würde es bedeuten, dass in der *Germania Magna*, genau wie in Britannien, schon kurz nach der Besetzung Bleibergbau betrieben wurde (über römischen Bergbau in Britannien: z.B. Rickard, 1932, Davies, 1935, Boon, 1972, Brodersen, 1998).

„Germanische“ Bleigewinnung auf der Briloner Hochfläche

Die Diskussionen über einen eigenständigen „germanischen“ Bleierzbergbau basieren bisher lediglich auf indirekten Hinweisen (z.B. Rehren, 1998, Straßburger, 2007). Auf archäologischer Seite ist dies die geographische Nähe der meisten Blei verarbeitenden Siedlungsplätze zu den Bleierzlagerstätten des nördlichen rechtsrheinischen Schiefergebirges (z.B. Laumann, 1987, Lukanow, 1988, Rehren, 1998, Bergen, 2005, Rothenhöfer, 2007). Dass tatsächlich mit Blei gearbeitet wurde, bezeugen Gussabfälle in den Siedlungsbereichen, ein Gusskegel aus Brilon-Altenbüren (Rehren, 1998, Bergen, 2005, ausführliche Zusammenstellung in Straßburger, 2007) und zahlreiche Gusszapfen aus der Siedlung in Soest (Melzer & Pfeffer, 2007). Innerhalb der Siedlung von Balve-Garbeck wurden auch einige Stücke Bleiglanz entdeckt (Bergen, 2005).

Die geochemischen Analysen von Rehren (1998) an den Kleinbarren von Balve-Garbeck und Brilon-Altenbüren ergaben, dass der geringe Silbergehalt der Barren nicht als Folge einer Entsilberung zu erklären ist, sondern reines Werkblei aus silberarmen Bleierzen produziert worden ist. Die nach einer Entsilberung von z.B. Reichblei (Ag>600ppm) zu erwartenden Mindestgehalte an Silber im Blei werden hier

fast immer deutlich unterschritten. Daher ist es vorstellbar, dass die i.allg. silberarmen, postvariszischen Bleierze des Sauerlandes als Quelle gedient haben. Die Produktion von Silber hat anscheinend keine Rolle gespielt. Rehren (1998) hält es für möglich, dass verschiedene Lagerstätten ausgebeutet wurden, da sich die Spurenelementcharakteristik der Barren beider Fundplätze unterscheidet.

Wenn die im Sauerland ansässige Bevölkerung tatsächlich selbst Bleierz förderte, dann muss geklärt werden, ob und warum Bergbau und Verhüttung in Eigeninitiative einsetzte oder ob hier möglicherweise Auftragsarbeiten unter fachkundlicher Anleitung durchgeführt wurden (Diskussion in Melzer & Pfeffer, 2007, Rothenhöfer, 2007). Auf beiden Rheinseiten ist die Gewinnung von Blei vor der römischen Eroberung nicht nachzuweisen. Erst mit der Romanisierung des Rheinlandes setzte eine Bleiproduktion in dieser Region ein (Rothenhöfer, 2005).

3.2c Bergisches Land

Geologie vom Bensberger Revier (Rheinisch-Bergischer Kreis)

Das Bergische Land macht den Großteil des nördlichen Teils des rechtsrheinischen Schiefergebirges aus. Es baut sich aus einer Wechselfolge von Südwest nach Nordost streichenden, mittel- und unterdevonischen Sand-, Schluff- und Tonsteinen auf. Mittel- bis oberdevonische Massenkalken stehen im Umkreis von Wuppertal, Heiligenhaus und Bergisch-Gladbach an. Im Kern einiger Sattelstrukturen (Remscheid-Altenaer-Sattel, Ebbe-Sattel) kommen auch Ablagerungen des Ordoviziums und des obersten Silurs zum Vorschein. Karbon und Devon sind in den tief eingeschnittenen Tälern gut erschlossen. Der tertiäre Vulkanitkomplex des Siebengebirges liegt im Südwesten am Rande der Niederrheinischen Bucht.

Die abbauwürdigen Vererzungen des Bergischen Landes (Spateisenerz, Blei-/Silber-, Kupfer- und Zinkerz) bildeten sich während der variszischen Faltung im Karbon. Sie konzentrieren sich im Bensberger-Engelskirchener Revier und treten innerhalb des Bensberger Antiklinoriums vorwiegend in unterdevonischen Gesteinen auf. Die Gänge selbst sind als tektonische Störungs- und Zerrüttungszonen angelegt. In den Bereichen, wo es zu einer Gangumbiegung kommt, sind die Erzmittel besonders

reichhaltig. Die Pb-Zn-Erze bilden ein netzwerkartiges System, in dem der Bleiglanz sich bevorzugt im Randbereich ansiedelt. Stellenweise kommt er in Nestern und dünnen Lagen innerhalb der massigen Zinkblende vor (Lehmann & Pietzner, 1970). In abweichender Paragenese treten im Bensberger-Engelskirchener Revier auch postvariszische, jüngere Mineralisationen auf (Kirnbauer, 1998).

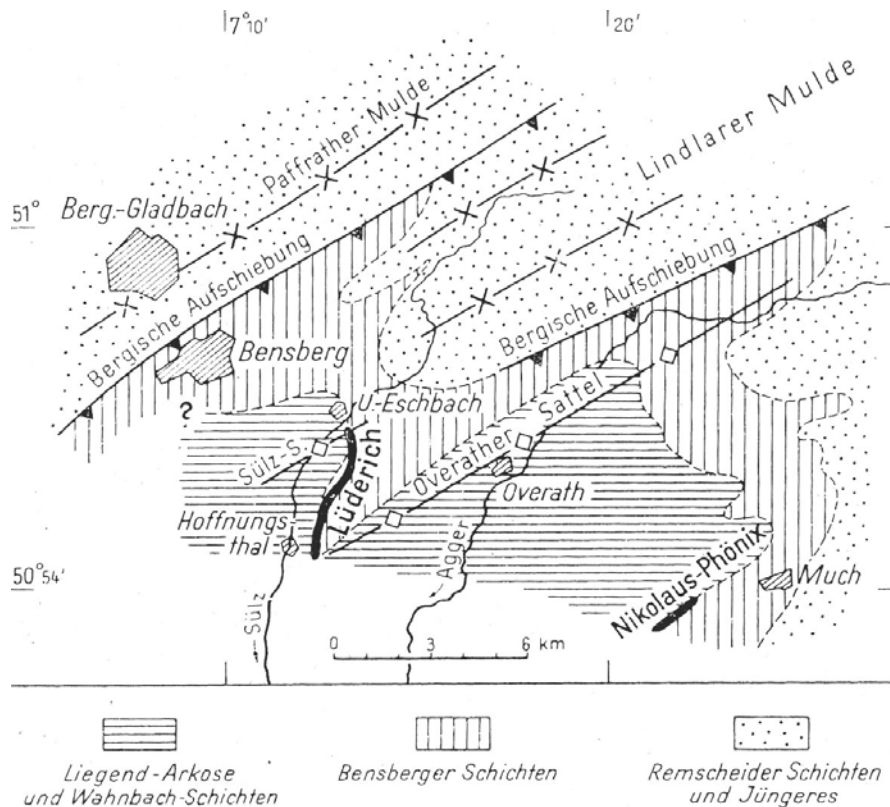


Abb. 3.4: Lageskizze des Lüderich-Gangzuges und des Nikolaus-Phönix-Ganges und Verbreitungsgebiet der Bensberger Schichten (aus Lehmann & Pietzner, 1970).

Der Lüderich-Gangzug, dem das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit gilt, liegt innerhalb dieses Bensberger Reviers (Abb. 3.4). Zusammen mit den Pb-Zn-Erzen der Grube Nicolaus-Phönix umfasst er im Wesentlichen die hiesigen Bleivorkommen. Sowohl die Grube Lüderich als auch die Grube Nicolaus-Phönix liegen in den Bensberger Schichten des Ems. Getrennt werden die beiden Lokalitäten durch den Overrather Sattel. Zu den als einen Gangzug zusammengefasste Lagerstätten des Lüderichs gehören eigentlich mehrere Gangtrümer, die eigene lokale Namen führen (Franziska, Sommer, Bergmannsfreude usw.). Die Längenerstreckung beträgt insgesamt rund 5 km. Tief eingeschnittene Täler wie das Sülzthal erleichterten die Befahrung der erzhöflichen Schichten. Demzufolge lagen dort auch die frühen Bergbauzentren. Die gesamten Aufschlüsse im Liegenden der Lagerstätte bestehen aus Sandstein-Grauwacke-Folgen. Mit zunehmender Teufe schalten sich verstärkt Tonschiefer mit

ein. Im Hangenden lagern Tonschiefer im Wechsel mit Rotschiefern (Lehmann & Pietzner, 1970).

Die Lagerstättenmächtigkeit schwankt zwischen 3 und 40 m. Das Verhältnis Zinkblende zu Bleiglanz wird mit durchschnittlich 5:1 angegeben (Lehmann & Pietzner, 1970). Die Zinkblende ist in Nestern entweder sehr rein und grobkörnig oder bildet zusammenhängende Massen mit den Gangmineralen Quarz und Eisenspat. In sehr jungen Klüften findet man umgelagerte Neubildungen von eisenarmer Zinkblende (Honigblende) und seltener Bleiglanz mit Quarz oder Dolomit. Der Silbergehalt des Bleiglanzes liegt bei ca. 350 g/t (ppm), vereinzelt sogar bei 720 g/t (Lehmann & Pietzner, 1970, Slotta, 1983). Charakteristisch sind die hohen Antimongehalte um die 1000 ppm (Lehmann & Pietzner, 1970).

Römische Bleigewinnung im Bergischen Land (Rheinisch-Bergischer Kreis)

Das auch nach der Varus-Schlacht militärisch kontrollierte Bergische Land hatte für Rom die Funktion, die Soldaten und Zivilisten der gegenüberliegenden Rheinseite mit Rohstoffen zu versorgen. Hier wurden Ziegel gebrannt, Trachyt- und Kalksteine abgebaut, das Vieh geweidet, Wild gejagt, Holzkohle produziert und Blei, Silber und Kupfer gewonnen (Bechert, 1982, Gechter, 2001a, b). Die wenigen einheimischen Kleingruppen durften nur mit Billigung der römischen Besatzer in diesem Protektorat siedeln und wählten den Ort ihrer Niederlassungen nach den wirtschaftlichen Gegebenheiten und dem Wohlwollen der Römer. Mit Dienstleistungen und Warenlieferungen mussten sie ihren Lebensunterhalt sichern und standen deshalb in einem engen Abhängigkeitsverhältnis zu den Besatzern (Gechter, 2001a, b). Der Focus soll im Folgenden auf den frühkaiserzeitlichen Blei-/Silberbergbau von Rösrath-Lüderich liegen:

Drei Blei-/Silberbergbaue sind im östlichen Vorfeld des Rheins bezeugt. Es sind dies die Bergbaue von Rösrath-Lüderich (Rheinisch-Bergischer Kreis), Hennef-Uckerath bei Königswinter-Oberpleis (Rhein-Sieg Kreis) und Engelskirchen-Bliesenbach (Oberbergischer Kreis) (Zusammengefasst in Rothenhöfer, 2005). Alle drei Abbauplätze können durch Keramikfunde in die ersten beiden Jahrzehnte n. Chr. oder durch eine erweiterte chronologische Einordnung in die erste Hälfte des 1.

Jahrhunderts n. Chr. datiert werden. Rothenhöfer (2005) schließt daraus, dass an allen drei Lokalitäten Bergbau zwischen 8 v. und 9 n. Chr. einsetzte, also zu der Zeit, als das freie Germanien Teil des Römischen Reiches war.

Der Blei-/Silberbergbau von Hennef-Uckerath (Rhein-Sieg-Kreis)

Ende des 19. Jahrhunderts wurden auf dem Gelände der Blei- und Zinkwerke Altglück Spuren alter Bergbauaktivität entdeckt. Zu den Zeugnissen gehörten versteinerte Verzimmerungen, Gesenke mit Haspelvorrichtungen, mit Blei beschlagene Handschaufeln und eine Befestigungsanlage (Schaaffhausen, 1884). Die folgende Datierung des Burgus in die augusteisch-tiberische Zeit gelang durch die Funde römischer Importkeramik (Gechter & Gechter-Jones, 1997, Gechter, 1998, Gechter, 2001b). Ein heute 500 m langer und über 30 m breiter Tagebau mit einer Maximalteufe von 12 m ist wohl dieser römischen Nutzungsphase zuzuordnen (Gechter, 2001b). Bleischlacken, Bleiglätte und Bleifluss belegen die Gewinnung von Blei und Silber auf diesem Gelände, aber im Gegensatz zum herkömmlichen Bild römischer Bleigewinnung wurde die Produktion von den Einheimischen aufrecht erhalten und das Blei und Silber von einem römischen Händler weiterverhandelt (Gechter & Gechter-Jones, 1997; Gechter, 2001a, Körlin & Gechter, 2003). Nach Gechter (1998) soll es auf dem Gelände indirekte Hinweise dafür geben, dass auch schon in vorrömischer Zeit Bergbau auf Bleierz betrieben wurde.

Der Blei-/Silberbergbau von Rösrath-Lüderich (Rheinisch-Bergischer Kreis)

Auf dem Lüderich waren es römische Soldaten, die in den ersten beiden Jahrzehnten n. Chr. Blei und Silber gewannen. Die Datierung basiert hauptsächlich auf Terra Sigillata-Funde (z.B. Körlin, 2001, 2006, Körlin & Gechter, 2003). Der Fundplatz liegt im Bereich des „Sommer“-Gangs (Körlin & Gechter, 2003). Von der Silbergewinnung zeugen Bleiglättestücke und -röhrchen, die sich dann bilden, wenn im geschmolzenen Zustand das gegenüber dem flüssigen Blei etwas leichtere Bleioxid während der Kupellation mit Metallstäbchen solange abgezogen wird, bis das vorher mit dem Blei legierte Silber übrig bleibt. Die um die Metallhaken angelagerte Bleiglätte wird dann durch Abschrecken im Wasser vom Haken abgelöst (zur Kupellation Kap. 6). Obwohl Zinkblende in sechsfacher Menge im Gelände ansteht,

galt somit das Interesse dem silberreichen Bleiglanz (Körlin, 2006). Die Spuren dieses Bergbaus, darunter zahlreiche Pingen und Halden, blieben von jüngeren Aktivitäten verschont (Körlin & Gechter, 2003, Körlin, 2006).

In Gruben traf man zuhauf auf Keramikabfall, Holzkohle, veriegelten Lehm, Ofenwandfragmente und Bleiglätte. Die flachen und unregelmäßig geformten Gruben fungierten vor der Befüllung anscheinend als Lehmentnahmestellen (Körlin, 2001, 2006, Körlin & Gechter, 2003).

Schon die geomagnetische Prospektion im Jahre 2001 ließ erahnen, dass man sich nur im Randbereich einer frührömischen Bergbausiedlung befand (Körlin, 2006). Das gesamte Ausmaß des römischen Bergbaus in der Zukunft zu ermitteln, wird kaum möglich sein, da sich an den Grenzen des Grabungsgebietes jüngerer Bergbau aus dem 13. und aus dem 19. Jahrhundert anschließt und somit die römischen Horizonte zerstört haben wird (mündliche Mitteilung Dr. Körlin, Deutsches Bergbau-Museum).

Insgesamt wurden drei Schächte aufgespürt. Einer besaß im Bereich des Mundloches einen nahezu quadratischen Querschnitt von etwa anderthalb Metern. Nach etwa 5,5 m endete der Schacht, der damit wohl ein Prospektionsschacht war und die Erz führende Schicht nicht erreichte (Körlin, 2006).

Die zwei anderen Schächte sind mit einer Teufe von 8 und 7 m deutlich tiefer als der oben beschriebene Prospektionsschacht. Bei der Freilegung der Schächte traf man auf die Reste eines Verschalbrettes, auf Holzfragmente, Lederfetzen, einen Faden und zahlreiche Blattreste, die im Gegensatz zum heutigen Nadelwald auf den Bestand eines Mischwaldes in römischer Zeit schließen ließen (Körlin, 2006).

Etwas abseits des bis 2002 auf dem Lüderich untersuchten Areals traf man im Hangbereich auf mehrere Schlackenstücke. Der Boden gab bei näherer Untersuchung ein Steinpflaster frei, das als Unterbau eines Verhüttungsplatzes diente. Eine bedeckende Lehmschicht glich die Hangneigung der Steinkonstruktion aus. Eine zweite Lage von Bruchsteinen bildete den Unterbau eines Ofens (Foto 3.5, 3.6). Die Bruchsteine waren geschwärzt, manchmal auch gerötet und z.T. verschlackt. Der eigentliche Ofen ist nicht mehr in situ erhalten. Die vorgefundenen

Ofenbruchstücke sind Fragmente von stark geröteten Sandsteinplatten mit einer Stärke von 2-5 cm. Die Oberflächen und die Seitenränder sind oft mehrere Zentimeter stark verschlackt. Man glaubt, dass sich auf dem Unterbau eine zweite Steinlage aus diesen aneinander gelegten Sandsteinplatten, entweder als ebene Fläche angeordnet oder wannenförmig hochgestellt, befand.



Fotos 3.5 (links) und 3.6 (rechts): Unterbaue eines Ofens vom Lüderich (Fotos aus Körlin, 2006).

Mehrere Pfostenlöcher und das Fehlen von verziegeltem Lehm sprechen für einen offenen, vielleicht überdachten Herd ohne Kuppel. Die Hanglage diente der Nutzung des natürlichen Luftzuges. Hang abwärts vom Ofen tauchten in dünnen Lagen die Schlacken auf. Es sind lediglich die Reste der Schlackenhaufen, da der Großteil der Erosion anheim fiel. Weitere Schlacken- und Keramikfunde etwas abseits des Ofens lassen weitere solcher Ofenkonstruktionen vermuten (Körlin, 2006).

Laut Körlin & Gechter (2003) ist das Fehlen von typischen Metallobjekten wie Ausrüstungsgegenständen, Werkzeugen und Kleidungsbestandteilen auffällig.

Der Blei-/Silberbergbau von Engelskirchen-Bliesenbach (Oberbergischer Kreis)

Über die römischen Bergbauaktivitäten auf der Grube Bliesenbach bei Engelskirchen ist nur wenig bekannt (Rothenhöfer, 2005). Lediglich einige Kleinfunde sind erwähnt (Wegener, 1993). Sowohl der antike Bergbau als auch die angeschlossene Siedlung gehören aufgrund der entdeckten Importkeramik in die erste Hälfte des ersten Jahrhunderts n. Chr. Nachweislich wurde hier Bleiglanz verhüttet (Gechter, 2001b).

3.2d weitere Lokalitäten

Arzbach-Bad Ems-Braubach (Rhein-Lahn-Kreis)

An der Lahn 2,5 km nördlich von Bad Ems wurde eine römische Bleihütte mit Schürfgruben und bergmännischem Gezähe entdeckt. Sie wurde innerhalb einer Wallanlage von 30 mal 24 m aufgespürt (Dahm, 1897, zitiert in v. Petrikovits, 1958). Die zwei erhaltenen Schmelzöfen waren aus Bruchsteinmauerwerk gebaut. Die Situation ähnelt der bei Berg vor Nideggen in der Nordwesteifel. Auch dort fand man 1956 zwei römische Schmelzöfen. Es ist jedoch nicht sicher, ob diese zur Blei- oder Silbergewinnung gefertigt wurden (v. Petrikovits, 1958). In geringer Entfernung barg man hier zumindest einige Bleiglättekekuchen (v. Petrikovits, 1956, 1958).

Römische Keramik, massenhaft Bleierz sowie bleireiche Schlacken in allen Stadien der Verhüttung kamen in der Wallanlage ebenso zum Vorschein wie etwas weiter entfernt die dazugehörigen Schürflöcher (Kölscher Löcher) (Davies, 1935, v. Petrikovits, 1958). Die Bleischlacken haben durchschnittlich 35% Blei. Das ist auch für die römische Zeit viel und lässt vermuten, dass die Römer hier prinzipiell nur nach Silber suchten (Craddock, 1995).

Wiesloch (Rhein-Neckar-Kreis)

Wiesloch liegt im Kraichgau. Dieser baut sich aus Schichten des Muschelkalks, des Keupers und des unteren bis mittleren Jura auf. Die bedeutenden Vererzungen befinden sich ausschließlich im oberen und unteren Muschelkalk und sind epigen-metasomatischer Natur (Ostwald & Lieber, 1957, Hildebrandt, 1985, 1989, 1998). Das Zentrum des Erzvorkommens liegt im Raum Wiesloch (Ostwald & Lieber, 1957). Haupterze sind Zinkblende, Bleiglanz, Galmei, Cerussit und Limonit. Die Gangart besteht aus Baryt, Dolomit, Calcit und Gips (Schmitt, 1985, Hildebrandt, 1998). Der Bleiglanz tritt im Wieslocher Revier in Butzen und Nestern zusammen mit Schalenblende auf. Ihm sind signifikante Arsen- und Antimongehalte von bis zu 3% gemein (Schmitt, 1985). In der oberflächennahen Oxidationszone dominieren die karbonatischen Erzminerale. Zinkspat (Galmei) ist teilweise sehr eisenhaltig und bildet derbe Krusten auf Bleiglanz (Ostwald & Lieber, 1957). Der Silbergehalt des

Bleiglanzes wird von Kirchheimer (1977) und Hildebrandt (1989, 1998) mit 300 bis 400, stellenweise mit bis zu 940 ppm, angegeben.

Die römischen Münzen von Wiesloch belegen den Bergbau ab Flavius bis in die Mitte des 2. Jahrhunderts (Davies, 1935, Sprater, 1951, Hildebrandt & Mohr, 1985, Hildebrandt, 1989). Er wird von Davies (1935) als nicht bedeutend eingestuft. Sprater (1951) und Hildebrandt (1998) vermuten hier den von Plinius überlieferten Fund von Galmei in Germanien. Sie begründen es dadurch, dass der Aachen-Stolberger Raum, dem diese Textstelle zumeist zugewiesen wird (z.B. v. Petrikovits, 1958, Weisgerber, 1993), damals in der Provinz *Gallia Belgica* lag. Kirchheimer (1977) berichtet aber, dass der älteste Bergbau dem Bleiglanz galt. In alten Bauen ist der Bleiglanz ausgehauen und die Galmeierze stehen unverritz an oder sind als taubes Gestein verworfen worden. Weisgerber (2003) betont, dass die Deutung der Textstelle des Plinius noch immer der Diskussion unterliegt.

Unter Traian entstand bei Wiesloch ein *vicus*, das bis in das frühe 3. Jahrhundert n. Chr. Bestand hatte (Hildebrandt, 1998). Auch im Bergwerksgebiet standen römische Gebäude. Zu den möglichen Überlieferungen aus jener Zeit gehören Urnen, Lampen und insbesondere Handwerkszeuge aus einem der Bergwerksstollen. Da diese Funde verloren gingen, ist eine Neuüberprüfung nicht möglich. Zumindest hieß dieser Fundort bei den Einheimischen bezeichnenderweise „Römerhöhle“ (Hildebrandt, 1998). Weisgerber (1993) vermutet nicht zwingend eine römische Handschrift in den seiner Ansicht nach zu niedrigen und zu eng vorangetriebenen Stollensystemen. Sie stehen im Gegensatz zu den sonst geräumigeren Fahrten. Hildebrandt (1998) setzt dieser Ansicht aber entgegen, dass der allgemein brüchige Muschelkalk vollkommen andere Abbauverfahren erforderte.

Die Schlackenfunde des dem *vicus* zugehörigen Grabungsareals können nicht als Beleg für römische Bleigewinnung gelten. Sie wurden einer jüngeren Schmiede zugeordnet. Trotzdem weisen ins 3. Jahrhundert n. Chr. datierte Zapfen und Fladen von Bleiglätte und ferner Bleifluss auf hiesige Montanarbeiten hin. Explizit werden von Hildebrandt (1998) drei Bleiobjekte herausgestellt. Es sind zwei scheibenförmige Bleigewichte und eine bleierne Urne. Durch den Bleiisotopenvergleich mit lokalen Bleierz müssen sie aber von andernorts importiert worden sein (Hildebrandt, 1998).

Die Aufgabe dieser Ansiedlung war durch die ständigen Germaneneinfälle ab 254 n. Chr. ausgelöst worden (Hildebrandt & Mohr, 1985). Nach Hildebrandt (1998) sprechen Funde jüngerer römischer Münzen aber durchaus für ein längeres Fortbestehen der Bergbauaktivitäten durch eine verbliebene romanische Restbevölkerung, eventuell sogar bis ins späte 4. Jahrhundert n. Chr.

Badenweiler (Breisgau-Hochschwarzwald)

Badenweiler wurde zwischen 70 und 260 n. Chr. von den Römern besiedelt. Fünf Jahre nach der Niederlassung entstanden hier die ersten römischen Bäder. Kirchheimer (1977) und Mayer (1974) berichten von zerstoßenem Gangmaterial im Mörtel einer Badruine. Das Ganggestein stammt aus Vererzungen des Quarzriff von Badenweiler, wahrscheinlich aus der Grube „Hausbaden“. Aufbereitet wurde Bleierz unweit dieser Badruine. Die Verhüttung des von der Gangart geschiedenen Minerals ist nicht nachweisbar. Offenbar benutzte man aber aus gelbe und rötliche Bleiglätte und rote Mennige für die Glasur von Töpferwaren in einer ausgegrabenen Töpferei. Mennige kommt als seltenes natürliches Mineral im Quarzriff vor. Nach Kirchheimer (1977) hat der mit Baryt und Fluorit verwachsene Bleiglanz bis zu 700 ppm Ag.

Sulzburg (Breisgau-Hochschwarzwald)

Neben dem römischen Bergbau in Badenweiler ist in Baden-Württemberg noch eine weitere Lagerstätte in jener Zeit befahren worden. Der Betrieb fand dort im späten 2. und frühem 3. Jahrhundert n. Chr. statt. Im Gewinn „Mühlematt“ wurden größere Mengen an Erz, Schlacke und Bleiglätte ausgegraben (Maus, 1977, 1993). Wahrscheinlich wurde wie in Badenweiler die Bleiglätte für die Glasur von Töpferwaren verwandt (Kirchheimer, 1977).

Die chemischen Analysen von Bleiglanz führten zu dem Ergebnis, dass das Erz aufgrund der sehr geringen Kobaltgehalte nicht aus der Kolbaltgrube „Segen Gottes“ stammen kann (Maus, 1977). Die mit Fluorit, Baryt und Zinkblende vergesellschafteten Bleierze stammen daher allem Anschein nach aus dem nahe gelegenen Riestergang. Der Silbergehalt des Bleiglanzes wurde auf 750 ppm bestimmt. Von der dazugehörigen Ansiedlung kamen während einer Grabungskampagne u.a. ein

Verhau und eine Badeanlage zum Vorschein (Zimmermann, 1993, Werner & Kaltwasser, 1994, Pause et al., 1994, Pause & Spiong, 1995).

Über weitere Einzelfunde, die in Verbindung mit römischer Blei-/Silbergewinnung im weiteren Kreis des Arbeitsgebietes gebracht werden können, informieren z.B. Davies (1935), Rickard (1932), Nriagu (1983a) und Meier (1995).

3.3 Frankreich

Schon vor der Eroberung Galliens durch die Römer waren die keltischen Bewohner mit der Gewinnung vom Blei, Silber, Eisen und Kupfer vertraut. Funde von Silbermünzen aus dem keltischen Gallien und zeitgenössischen römischen Niederschriften über Beutegut aus den gallischen Kriegen verdichten sich zu dem Schluss, dass die Blei-/Silberminen schon vor der römischen Okkupation weitgehend bekannt waren (Nriagu, 1983a). Guénette-Beck & Villa (2002) sprechen den Lagerstätten der gallischen Provinzen Roms eine nicht geringe Bedeutung zu. Davies (1935) gibt die Römerzeit in Frankreich als den Wendepunkt an, an dem die Lagerstätten erstmals eine mehr als lokale Bedeutung erlangten. Eine Abschätzung des wahren Ausmaßes römerzeitlichen Bergbaus in Frankreich wird aber durch den mittelalterlichen Bergbau verwehrt (Davies, 1935). Rosman et al. (1997) schätzen den Anteil der gallischen Bleierzlagerstätten in römischer Zeit auf 6 %.

Die Produktion der Metalle setzte sich zumindest in der römischen Besatzungszeit fort. Von Plinius ist überliefert, dass in ganz Gallien silberreiche Bleierze gefunden wurden. Die Mengen an Blei und Silber, die Rom aus Gallien bezog, werden aber im Gegensatz zum Beispiel Britannien und Spanien moderat gewesen sein, da die gallischen Bleimineralien klein und bis in die Neuzeit ohne wirtschaftliche Bedeutung waren (Berg et al., 1950, Nriagu, 1983a). Mit wenigen Ausnahmen handelt es sich um mesothermale Vorkommen, die gangförmig in altpaläozoischen Schiefen in der Nähe variszischer Granitstöcke auftreten. In den Schiefen sind die Vorkommen stets gangförmig, im Bereich von Kalksteinschichten findet man metasomatische Verdrängungen (Berg et al., 1950).

Der französische Alpenraum

Die Lagerstätten des französischen Alpenraumes konzentrieren sich auf das mittlere und obere Tal der Isère. In Savoy beispielsweise gibt es viele kleine Kupfer- und Blei-/Silberlagerstätten. Der älteste Bergbau ist aber schwer zu fassen. Entweder ist er mittelalterlich oder wurde wie so häufig zu dieser Zeit zerstört (Davies, 1935). Berg et al. (1950) beschreiben römerzeitlichen Bergbau auf die silberhaltigen Bleierze von Macot in der Tarentaise. Auch Niagru (1983a) erwähnt vorrömische und römische Funde in einigen der kleinen Blei-/Silberbergbaue. In Aiguilles de L'Argentière an der italienischen Grenze gibt es antike Arbeitsspuren auf silberführendes Kupfer- und Bleierz (Gowland, 1902). Davies (1935) erwähnt auch Vorkommen an gediegenem Silber. Jedoch gibt es hier seiner Meinung nach keine direkten Anzeichen auf römischen Bergbau.

Das französische Zentralmassiv

Intensiven Bergbau auf Blei/Silber, aber auch Gold und Zinn, soll es an einigen Stellen im französischen Zentralmassiv gegeben haben. Der Bau des Massivs passt sich ins Gesamtbild des westlichen variszischen Faltungs- und Überschiebungsgürtels. Das Hochplateau baut sich im Wesentlichen aus paläozoischen Schieferen, Sandsteinen und Dolomiten und diskordant folgenden mesozoischen Deckschichten wie Buntsandstein und Muschelkalk auf. Die Pb-Zn-Lagerstätten konzentrieren sich auf den südlichen Abschnitt des Zentralmassivs und speichern ca. 2 Millionen t Pb und Zn (Le Guen et al., 1991). Zwei Generationen konnten durch Bleiisotopenuntersuchungen ausgemacht werden. Eine syngenetisch bis frühepigenetische Population in den kambrischen Gesteinen des Montagne Noir, und eine heterogene Population, in der der Bleiglanz, primär oder remobilisiert, mit herzynischen Granitoiden in Verbindung gebracht werden kann (Brévar et al., 1982, Marignac & Cuney, 1999). Die intensiv untersuchten Lagerstätten von Les Malines besitzen eine sehr homogene Bleizusammensetzung, die dadurch erklärt wird, dass das gesamte Blei aus Kalifeldspäten und Biotiten benachbarter herzynischer Granitintrusionen stammen soll. Dieses Isotopenmuster setzt sich auch in sekundär abgelagerten Lagerstätten der Kreide- und Tertiärzeit fort. Lediglich in der Nachbarschaft kambrischer Dolomite fallen die Erze durch sehr niedrig-radiogene Bleiisotopen auf (Le Guen et al., 1991). Es ist offen, ob dieses Revier in römischer Zeit eine Rolle für

die Blei-/Silbergewinnung spielte, da der mittelalterliche Bergbau sehr intensiv war und die Überlieferung älterer Zeugnisse praktisch unmöglich macht (Trincherini et al., 2001).

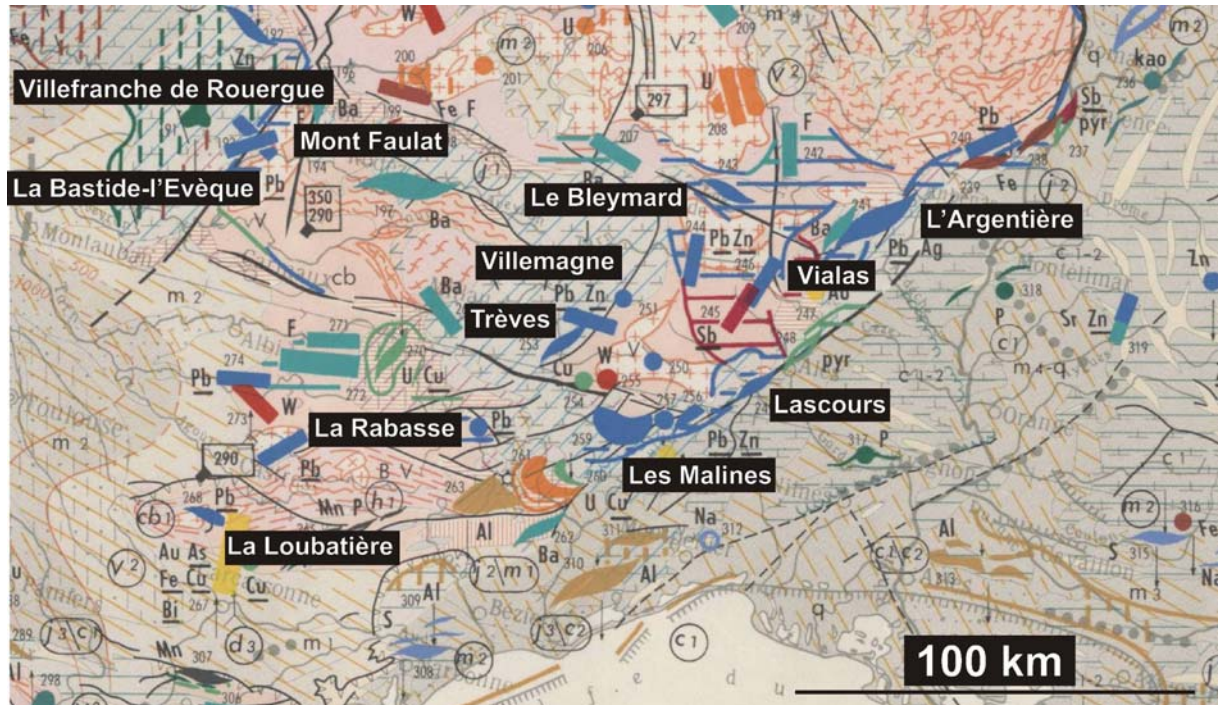


Abb. 3.5: Die Pb-Zn-Vererzungen der Bleibergbaureviere von Cevennen und Montagne Noir, in denen Spuren römischer Bergbaus entdeckt wurden (nach Davies, 1935, Trincherini et al., 2001). Ausnahmen sind die Lagerstätten von Les Malines, die von mittelalterlichem Bergbau stark überprägt wurden. Die blauen Balken zeigen große und kleinere Pb-Zn-Vererzungskörper, die blauen „Spots“ große und kleine Anhäufungen von Pb-Zn-Vererzungen, die blauen Punkte kleine Pb-Zn-Vorkommen und die blauen „Linsen“ stratiforme Pb-Zn-Vererzungen. Die blauen Felder mit horizontaler Streifung umfassen hydrothermale epigenetische Vererzungszonen (Ausschnitt aus „Carte métallogénique de l'Europe, Karte Nr. 4, 1:2500000, Première édition 1968-1970).

Die Bleimineralien von Lozère (Cevennen) im südlichen Zentralmassiv hatten nach Nriagu (1996) einen Produktionsanteil von 3 % in Europas Eisen- und Römerzeit. Archäologische Belege nennt er nicht. Das Gebiet wurde 52 v. Chr. von den Römern erobert und der Provinz *Aquitana* einverleibt (Baron et al., 2006). Die Lagerstätten des Massivs werden vom Bleiglanz dominiert, enthalten aber auch Sphalerit oder Tetrahedrit. Gangminerale sind Baryt, Quarz und weniger weit verbreitet Fluorit. Die Vererzungen durchschneiden als Gänge das paläozoische Grundgebirge und die aufliegenden „dolomitischen Gesteine des Lias. In den Deckschichten gibt es Zonen stratiformer Bleiglanzimprägnation (Baron et al., 2006).

Der griechische Geograf und Historiker Strabo (ca. 63 v. Chr. bis 23 n. Chr.) erwähnt Silberminen im Territorium der Rutener im heutigen Département Aveyron im

südlichen Zentralmassiv. Die Intensität, mit der die Römer den dortigen Erzabbau vorantrieben, ist laut Davies (1935) noch offen. Das Zentrum des dortigen Bergwesens war laut tiberius-zeitlichen Inschriften Villefranche de Rouergue westlich von Rodez. Dort fand man in zwei Minen römische Hinterlassenschaften (Davies, 1935).

Antiken Bergbau gab es außer in Lozère in den Bezirken Ardèche, Gard und Hérault. Davies (1935) unterteilt diese Region in einen nördlichen Distrikt mit Blei- und Silbergewinnung und einen südlichen, in welchem Kupfererzeugung vorherrschte. Die Silberminen im nördlichen Teil waren auch Strabo bekannt. Davies (1935) ist der Meinung, dass sie in vorrömischer Zeit keine oder nur eine geringe Bedeutung hatten. Das Produktionszentrum war anscheinend Vialas (Lozère), da man hier Bleischlackenhalden und alten Bergbau mit römischen Münzen aufspüren konnte (Gowland, 1902). Die nicht unbedeutenden Lagerstätten von Vialas am Südhang des Lozère-Gebirges treten als Gänge in kristallinen Schiefen und in den überlagernden kalkigen Schichten auf (Berg et al., 1950). Weiter westlich, im Osten von Aveyron, gibt es alte Silberminen (Corbières, Creissels, Roquefort-Cenones), weiter südlich in Gard Stollen, die anscheinend in römischer Zeit befahren wurden (Davies, 1935).

In gleicher Richtung, über Gard hinaus, tauchten im Gelände im Verbund mit weiteren Blei-/Silberbergwerken Bleischlacken und –glätte auf (Davies, 1935, Gowland, 1920). In Schächten von St. Félix de Pallière kamen Lampen und Skelette mit römischen Bleifunden zutage. Im Département Hérault, bei Haute-Vallée de l'Orb, fand man ein Bleimedallion aus dem 1. Jahrhundert n. Chr., auf dem ein Silberschmelzofen und die Inschrift *(ar)gentifondinae* abgebildet ist (Craddock, 1995).

Trincherini et al. (2001) fassen zusammen, dass bedeutende römische Bergbauaktivitäten in Le Bleygard, Vialas, Mont Faulat und La Rabasse zu finden sind (s. Abb.3.5). Andere Lokalitäten, wie beispielsweise Trèves, sind wohl nicht von überregionaler Bedeutung gewesen.

Die französischen Pyrenäen

Auch die Pyrenäen sind reich an Bleierzen. Spuren antiken Bergbaus gibt es im westlichen Teil, bei Arles-sur-Tech (Davies, 1935). Die wichtigsten Minen sind bei

Sentein und Rivernert (Ariège) anzutreffen. Ob sie im Römischen Reich in Gebrauch waren, ist offen (Niagru, 1983a). Eine römische Inschrift wurde in den Bleimineralen von Millas entdeckt (Davies, 1935).

Die Bretagne

In Finistère gibt es Bleilagerstätten mit silberreichen Bleiglanz. Hier und in den Minen von Loire-Inférieure fand man Arbeitsgeräte aus Blei. Man rechnet dort mit dem Beginn des Bleierzbergbaus in der Bronzezeit (Gowland, 1920).

Zentralfrankreich

Für Zentralfrankreich, westlich der Loire, erwähnt Davies (1935) die Silberbergwerke von Melle. Sie wurden wahrscheinlich von den Römern entdeckt und mit Sicherheit von ihnen ausgebeutet. In nächster Umgebung tauchten zahlreiche römische Münzen auf.

3.4 Britannien

Aufgrund der Verbreitung von Bleiartefakten und Bleibronzen auf den britischen Inseln nimmt man an, dass schon vor der Ankunft der römischen Eroberer Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. Bleibergbau von den Briten betrieben wurde. Zumindest in den Mendip Hills, in Derbyshire, in Yorkshire und im zentralen Wales wird eisen-, vielleicht auch bronzezeitlicher Bleibergbau eingeräumt (Nriagu, 1983a, Shepherd, 1993).

Britannien war in der Alten Welt aufgrund seiner Zinnvorkommen bekannt. Obwohl das Zinn Britanniens von Plinius erwähnt wird (Plinius 34.156), spielte es bei der römischen Okkupation anscheinend keine bedeutende Rolle, da die Römer bis in die Mitte des 3. Jahrhunderts n. Chr. ihren Zinnbedarf aus den Lagerstätten Galiziens deckten (Rickard, 1932, Davies, 1935, Erwähnung des spanischen Zinns in Plinius, 34.156). Deshalb ist es verständlich, dass Tacitus das Zinn in seinen Annalen übergang und Gold, Silber und Sklaven als die eigentlichen Anreize für die Inbesitznahme der Insel aufzählt. Das Blei erwähnt er nicht.

Obwohl Tacitus über den Gold- und Silberreichtum Britanniens schwärmte, war Blei das eigentliche Raubgut der Römer. Cicero (*Ad Atticum* 4.16) beschwerte sich 100 Jahre vor der Annexion Britanniens bei seinem Freund und Verleger Atticus, dass nur sehr wenig Silber aus Britannien käme. Als Quelle für das wenige britannische Silber diene vermutlich Silber führender Bleiglanz aus den Mendip Hills oder silberhaltiges Kupfererz aus dem Westteil der Insel. In den Mendip Hills und in Nordwales tauchen spätrömische Silbermünzschätze auf (Boon, 1972). Die englischen Bleierzlagerstätten tendieren aber generell zur Silberarmut (Craddock, 1995). Der Bleiglanz mag auch in antiker Zeit einen Höchstwert von 600 ppm nicht überschritten haben (Gowland, 1920). Boon (1972) nennt aber Durchschnittswerte von 1300 ppm Ag für heute anstehenden Bleiglanz.

Die Buntmetallagerstätten werden mit zwei großen gebirgsbildenden Zyklen in Verbindung gebracht. Die ältere, kaledonische Orogenese wirkte sich während des mittleren Paläozoikums hauptsächlich im Nordwesten der britischen Inseln aus und führte zu Vorkommen von Cu, Pb und Zn in den unterpaläozoischen Gesteinen von NW-Wales, Zentralwales, Westshropshire, Westcumbria und den Isles of Man. Die variszische Orogenese überprägte im späten Paläozoikum hauptsächlich den Südwesten Britanniens. Man findet Pb-Zn-Erze in den karbonischen Kalkformationen der Mendips, im Nordosten von Wales und in den Penninen. Kupfer und Sn tritt in Assoziation mit den Graniten von Cornwall und Devon auf. In jüngeren Schichten ist das Kupfervorkommen von Alderley Edge von Bedeutung (Rohl, 1996).

Ob das britannische Blei systematisch entsilbert wurde, ist nicht sicher. Fast alle Barren enthalten zwar sehr wenig Ag, aber nur auf einem Viertel der Barren ist EX ARG (*ex argentariis*) als vermeintlicher Beleg für die Kupellation des Barrenbleis eingeprägt worden (Boon, 1972). Da die Bleibarren mit EX ARG-Stempel aber teilweise mehr Ag besitzen als die ohne Stempel (Boon, 1972), muss die Inschrift EX ARG nicht zwingend Anzeichen für eine Kupellation sein (Gardiner, 2001). Dieser Schluss ist jedoch nicht gültig, da Bleiglätte auch sehr silberreiche Bleitropfen aus der Endphase aufnehmen kann und danach silberreicher sein kann als das Ausgangserz (s. Kapitel 6).

Während der Besetzung kam es anscheinend zur Vervierfachung der Bleiproduktion. Die hohe Zahl an Bleibarrenfunden deutet an, dass die Römer eine gut organisierte Bleiindustrie aufbauten (Nriagu, 1983a). Insgesamt wurden seit dem 16. Jahrhundert 102 römische Bleibarren in England und Wales gefunden (Gardiner, 2001).

Plinius (34.164) berichtet, dass in Spanien und überall in Gallien die Bleierzlagerstätten mit großer Mühe befahren wurden, in Britannien aber so günstig anstanden, dass dort der Bergbau (unter Vespasian, 69 bis 79 n. Chr.) gesetzlich eingeschränkt wurde. In den Penninen wäre es möglich gewesen, mit Hilfe von Stauwasser die meisten Erze aus dem Gestein einfach herauszuwaschen (Scaife et al., 2001). Ob die Römer auf diese Weise voringen, ist in Britannien aber nicht belegt. Festzuhalten bleibt, dass diese gesetzliche Restriktion in römischer Zeit einmalig ist und wahrscheinlich vor sinkenden Bleipreisen, die auch das Kaiserhaus betroffen hätte, bewahren sollte.

Dass dieses Gesetz wirklich seine Wirkung entfaltetete, darf bezweifelt werden. Zwischen 50 und 140 n. Chr. ist in den Sedimenten und Eisablagerungen Europas und Grönlands eine Periode besonders intensiven Bergbaus auf Blei festzustellen (Settle & Petterson, 1980, Nriagu, 1996, 1998, Alfonso et al., 2001, Martínez Cortizas et al., 2002). Gerade in dieser Zeit war der Bleibedarf im Römischen Reich und besonders in Rom enorm. Vor allem die Hauptstadt verschlang für die Kanalisation und den Häuserbau einen Großteil der Bleiproduktion. Rickard (1932) erwähnt, dass die meisten Wasserleitungen Roms in die Zeit von Domitian (81 bis 96 n. Chr.) bis Caracalla (211 bis 217 n. Chr.) datieren.

Die wichtigsten Bergbauggebiete waren die Mendip Hills und die Lagerstätten von Shropshire im Westen Englands (Nriagu, 1983a, Rohl, 1996, Shepherd, 1993). Spuren römischen Bergbaus finden sich in folgenden Bergbaurevieren: in den Mendip Hills in der Grafschaft Somerset, in Shropshire (die Stollen tragen hier immer noch römische Namen), in Flintshire, Yorkshire, Northumberland sowie in Süd- und in Westwales (z.B. Haverfield, 1891, Gowland, 1902, Rickard, 1932, Tylecote, 1964). Neben den Kalkformationen der Mendip Hills liegen die ausgedehntesten Minenfelder in den Penninen (Derbyshire, Yorkshire). Nach Tylecote (1964) waren die produktivsten Minen die von Somerset (Mendip Hills), Derbyshire (Wirksworth,

Flint, and Matlock), Flintshire (Halkin Mountain) and Yorkshire (Wharfedale, Nidderdale, Swaledale) (Abb.3.6). Interessanterweise sind die Bleierzlagerstätten, die am intensivsten bearbeitet wurden, auch die silberärmsten (Nriagu, 1983a).

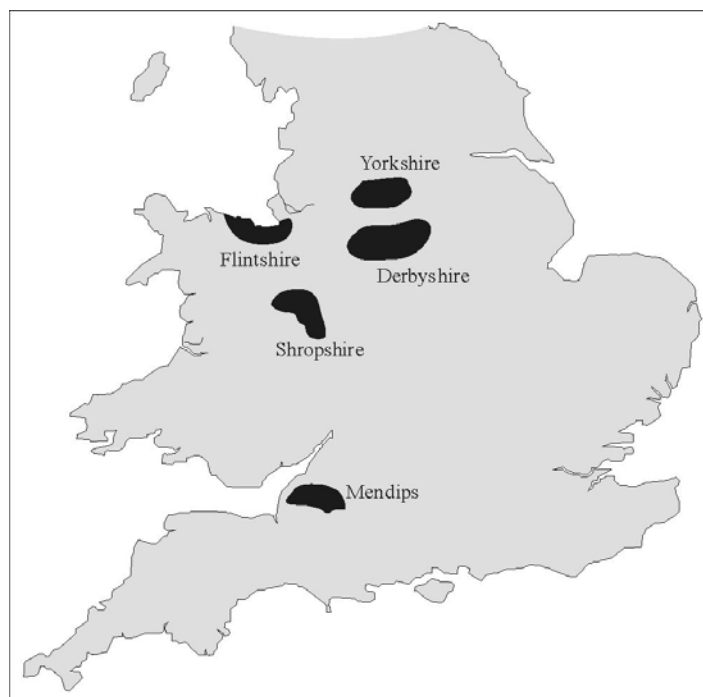


Abb. 3.6: Lage der römischen Bleierzreviere in Britannien (nach Gardiner (2001)).

Die römische Bleigewinnung startete mit großer Sicherheit im Südwesten Englands in den Mendip Hills. Nach der Eroberung unter Claudius 43 n. Chr. wurden dort mindestens sechs Jahre später die ersten römischen Bleibarren gegossen (z.B. Tylecote, 1976). Für Boon (1972) ist es außerdem ein Grund, anzunehmen, dass zumindest die Bleierze der Mendip Hills schon vor der Besetzung bekannt gewesen sein mussten.

Tylecote (1976) datiert den Bleierzbergbau auf die in Derbyshire nahezu silberfreien Bleierze zwischen 117 und 138 A.D. Folgt man Rickard (1932), so tauchten in Derbyshire auch Münzen aus dem 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. auf. Trotz dieser zeitlichen Diskrepanz bleibt festzuhalten, dass die dort gefundenen Barren zu den wichtigsten Beweisen für die römische Bleigewinnung in dieser Region zählen dürften (Parker, 1979).

In Flintshire gibt es besonders zahlreiche Zeitzeugen des römischen Bleibergbaus. Hierzu gehören Bleischlacken, Bleierzstücke, Schmelzreste und zahlreiche Münzen

aus der Zeit von 70 bis 120 n. Chr. Auch Yorkshire's und Shropshire's Bleiminen waren in dieser Zeit im Blickpunkt der römischen Bleiproduktion (Rickard, 1932).

Gardiner (2001) unterteilt den römischen Bleibergbau in vier Phasen: die erste war *die militärische Phase*, die die Kontrolle der Lagerstätten in den Vordergrund stellte. Belege finden sich in den Mendips (s.o.), aber auch in Flintshire. Dort existierten die ersten Forts zeitgleich mit den Minen. Während der zweiten, der *frühen kommerziellen Phase* Ende des 1. und Anfang des 2. Jahrhunderts n. Chr. stabilisierte sich die Provinz *Britannia*. Privatunternehmer (*conductores*) und Gesellschaften (*societas*) durften unter Abgabe eines festgelegten Gewinnanteils die Bleiminen ausbeuten. Die Beschriftungen der Barren aus dieser Zeit belegen dies. In hadrianischer Zeit, im zweiten Viertel des 2. Jahrhunderts n. Chr., kam es zu einem Anstieg des Bleibedarfs, da Massen an Blei für zahlreiche Neuinstallationen und für den Bau des Hadrianwalls benötigt wurden. Die Minen kamen in dieser Zeit für ein Vierteljahrhundert wieder in kaiserlichen Besitz. Die letzte Phase dauerte bis zum Ende des römischen Britanniens und wird von Gardiner (2001) als *späte kommerzielle Phase* verstanden. Zwar sind einige Bleibarren mit kaiserlichen Insignien aus dieser Zeit bekannt, doch scheint der Bergbau sukzessive wieder in Privathand übergegangen zu sein.

Es gibt einen Hiatus in der Produktion zwischen 170 und 280 A.D.: die plausibelste Erklärung hierfür ist die Erschöpfung der oberflächennahen Bleierze (Nriagu, 1983a). Dies deckt sich mit der Tatsache, dass die jüngsten Bleibarren auf der Insel in das Ende des 2. Jahrhunderts n. Chr. datieren. Ebenso stammen die römischen Überreste in den Minen prinzipiell aus den ersten beiden Jahrhunderten (Haverfield, 1891, Davies, 1935, Rickards, 1932). Boon (1972) spekuliert wie Gardiner (2001), dass die Bleigewinnung nachfolgend in die Hände kleinerer Pächtergruppen fiel. Nach Boon (1972) war ab dieser Zeit die Nachfrage nach Blei auf dem Kontinent und der Insel wahrscheinlich gedeckt, da die großen Militärbasen und Stadtbauten errichtet waren und die Wiederverwertung von Bleischrott zur Deckung der Bleibedarfs wohl ausreichte. Aus dem 3. und 4. Jahrhundert tauchen auf der britischen Insel nur noch wenige Belege für römischen Bergbau auf (Haverfield, 1891, Davies, 1936, Rickards, 1932).

Der Export des Bleis vollzog sich von Britannien aus über die Heeresstrassen Galliens (Davies, 1935, Tylecote, 1976). Dies belegen ein Barrenfund aus der Zeit Neros (54 bis 68 n. Chr.) in der Mündung der Somme und vier weitere auf dem Festland gefundene Bleibarren aus der Regierungszeit des Septimius Severus (193-211 n. Chr.) (z.B. Rickard, 1932, Niagru, 1983a). Der Landweg machte die Händler unabhängig von den Jahreszeiten, da die Schiffe im Winter in der Regel im Hafen lagen. Zudem galten die Strassen von Gibraltar (*fretum herculeum*) und Bonifaccio (*fretum gallicum*) als sehr gefährlich (Meier, 1994). Ein weiterer, bisher unpublizierter, britannischer Bleibarren wurde in Caesarea (Israel) entdeckt (mündliche Mitteilung Prof. W. Eck, Universität zu Köln).

3.5 Spanien

Die reichsten variszischen Pb-Zn-Vererzungen Europas befinden sich im Süden der Iberischen Halbinsel. Die Lagerstätten sind Teil des herzynischen Orogenesegürtels, der von Marokko über die Iberische Halbinsel bis nach Frankreich verläuft. Er besteht aus mehr oder weniger metamorph überprägten proterozoischen bis karbonischen Sedimentgesteinen und Magmatiten, die nochmals während der alpinen Orogenese tektonisch beansprucht wurden. Die Iberische Masse, zu der die Sierra Morena und die Sierra de Cartagena zählen, ist Teil dieser metallreichen Zone und führt massive Sulfidvererzungen in Verbund mit Vulkaniten und Schiefergesteinen. Sie ist eines der weltweit größten Sulfidlager und führt hauptsächlich Cu, Pb, Zn, Ag und Au (Sáez et al., 1996, Lecuyer et al., 1998, Leistel et al., 1998). *Hispania* war im Altertum das bedeutendste Land für die Gewinnung von Metall aller Art. Leistel et al. (1998) geben den Bleigehalt mit 34,9 Millionen t an.

Der Großteil der Bleierze liegt in der Sierra Morena. Diese ist aus mehreren geologischen Einheiten aufgebaut (de San José et al., 2004, Tornos & Chiaradia, 2004). Zwei wichtige silberreiche Bergwerke sind die von Linares und Pennroya. In Linares-La Carolina ist wie an vielen anderen Stellen römischer Blei-/Silberbergbau bekannt (z.B. Domergue, 1987b, 1990). Das zweite ökonomisch wichtige Pb-Zn-Vorkommen befindet sich in der Sierra de Cartagena an der spanischen Südostküste. Sie ist Teil der alpin aufgestapelten Betischen Kordilleren, die von Cadix an der atlantischen Küste bis ungefähr nach Valencia zur Mittelmeerküste

verlaufen. Die Vorkommen sind hydrothermal-vulkanogen (Urban, 1968, Pavillon, 1969, Graeser & Friedrich, 1970, Oen et al., 1975, Kager, 1980). Sie sind mit tertiären Andesiten assoziiert und haben nach Graeser & Friedrich (1970) ein Modellalter von ungefähr 30 Millionen Jahren.

In Nord- und Nordwestspanien schließen sich die Westasturische Leonese Zone, die Kantabrische Zone und das Cinco Villa Massiv der westlichen Pyrenäen an. Die dominierenden Pb-Zn-Mineralisationen stehen hier als Adern oder stratigraphisch gebundene Lagerstätten in siliklastischen und kalkigen Gesteinen an. Das baskisch-kantabrische Becken enthält Sedimente von der Trias bis in die untere Kreide. Die Pb-Zn-Erze dieses Beckens sind mit kretazischen Karbonaten assoziiert (Tornos et al., 1996, Velasco et al., 1996).

Die Bergbauzone Nordspaniens reicht von den westlichsten Ausläufern der Pyrenäen bis in den Westteil Galiziens (Velasco et al., 1996). Meier (1994) beschreibt dort zwei römische Bergwerke. Das eine Bergwerk, Arditurri, liegt am Westausläufer der Pyrenäen. Neben Eisenerzen gibt es hauptsächlich silberhaltigen Galenit und Zinkblende in bis zu 4 m langen Nieren oder Linsen. Als Gangart herrscht Fluorit vor. Junger Bergbau hat viele Spuren aus der Antike zerstört. Die römischen Münzen, die neben Bleischlacken, Bleiglätteresten, „kleinen Knöpfen aus Silber“ und römischen Tonlampen gefunden wurden, datieren die Bleigewinnung des Imperiums in die ersten zwei Jahrhunderte n. Chr. Zeitlich schwieriger zu fassen ist der antike Bleibergbau im Bergwerk Penedela in Galizien. Hier steht gangartig silbereicher Bleiglanz an, der in Tage- und Tiefbau gewonnen wurde. Lediglich Terrakotta-Lampen und eisernes Gezähe belegen antike Bleigewinnung in diesem an antiken Goldminen reichen Revier (Meier, 1994).

Der Mineralreichtum der Iberischen Halbinsel verleitete schon die Phönizier und die Karthager, sich in Spanien und Portugal niederzulassen. Nach der Machtübernahme konnten die Römer die von den Karthagern aufgeschlossenen Gruben besetzen und sich somit die Prospektionskosten sparen (Meier, 1997). Kein Gebiet produzierte in römischer Zeit soviel Blei und nach Plinius (34.30) und Strabo (3.2.8) auch Silber, Gold, Kupfer und Eisen wie der Süden der Iberischen Halbinsel (Nriagu, 1983a). Strabo (3.2.11, 3.2.3) berichtet von einer Silbermine an der Quelle der Baetis

(Guadalquivir) und von einer Bleimine bei der heutigen Stadt Ilipa. Beide Minen liegen nordöstlich von Sevilla am Südrand der Sierra Morena. Ferner erwähnt er eine Bleimine bei Sisapo in der Nähe von Cordoba. Die Baetis war mit großen Schiffen bis Sevilla, mit kleineren hinauf bis Córdoba befahrbar (Meier, 1995). Avienus benennt ebenfalls eine Silbermine, lokalisierte sie aber am südwestlichsten Küstenabschnitt Spaniens bei Cádiz. Auch Livius (28.3, 24.25) beschreibt Bleiminen im Südosten Spaniens.

Man kann Namen und Orte römischer Blei-/Silberminen auch aus den Inschriften einiger Bleibarren erlesen. Rickard (1932) und Nriagu (1983a) stellen solche Bleibarren vor, die in Coto Fortuna, Lorca (Cartagena-Mazarrón) und Castulo (Sierra Morena) gegossen wurden.

Dass die spanischen Bleilagerstätten die Hauptquelle für die Bleiverschmutzung in der Römischen Republik und frühen römischen Kaiserzeit waren, konnten Rosman et al. (1997) anhand der in jener Zeit im grönländischen Eis abgelagerten Atmosphäreneinträgen zeigen. Sie versuchten, den Anteil an der Gesamtbleiverschmutzung in jener Zeit zu quantifizieren. Es waren ihrer Ansicht nach die Bleierzlagerstätten von Rio Tinto und Cartagena, die seit 205 v. Chr. bis 50 n. Chr. fast 70 % der Bleiverschmutzung ausmachten. Aufgrund der archäologischen Belege und der antiken Schriftquellen mag man dem Ergebnis, zumindest was die Bleigewinnung in Cartagena betrifft, zustimmen. In Rio Tinto waren es jedoch das Kupfererz und der silberreiche Jarosit, denen der Bergbau in römischer Zeit galt (z.B. Craddock et al., 1985, 1987, Craddock, 1995, Domergue, 1987b, San José et al., 2004). Zwei römische Bleibarren aus Cartagena, die in den Halden Rio Tintos gefunden wurden, gelten als Beweis, dass für das dort angewendete „verbleierne Schmelzen“ Blei importiert werden musste (Palmer, 1927, zitiert in Craddock et al., 1985, 1995).

Die in die Tiefe getriebenen Gänge erreichten in Spanien eine Teufe von 100 bis 300 m (Meier, 1994, Orejas & Sánchez-Palencia, 2002). Sandars (1905) erwähnt, dass er bei der Befahrung der Centenillo-Mine bei Linares (Sierra Morena) selbst in einer Tiefe von 200 m noch nicht unterhalb des „Alten Mannes“ angelangt war. In Mazarrón erreichten die Stollen sogar eine Tiefe von 340 m (Domergue, 1990).

Die Sierra Morena

In der Sierra Morena kennt man 148 Blei-/Silberbergbaue aus der mittleren Bronzezeit bis in die Spätantike (Meier, 1995). Sie sind über die gesamte Sierra verteilt (Abb. 3.7). Mehrere Autoren geben einen Überblick über die römischen Hinterlassenschaften in diesem Bergbauggebiet (Gowland, 1902, 1920, Rickard, 1932, Davies, 1935, Nriagu, 1983a, Meier, 1995). Interessant für den in dieser Arbeit behandelten Zeitrahmen, also die augusteische Kaiserzeit, sind z.B. die Bleigruben von La Carolina im östlichsten Teil der Sierra Morena (s. Domergue, 1987, Trincherini et al., 2001). Sandars (1905) beschreibt die Bleierze als nicht besonders silberreich, aber sehr rein und leicht verhüttbar. In der Bleigrube „El Centenillo“, 15 km von La Carolina, wurden römische Arbeitsgeräte gefunden. Hier wurde auch Blei entsilbert. Silbermünzen eines Hortfundes in den Centenillo-Minen reichen laut Sandars (1905) bis ins Jahr 42 n. Chr.

In dem Gebiet von Azuaga-Fuente Obejuna befinden sich mindesten 21 antike Blei-/Silberbergbaue. Erste Aktivitäten sind für die Bronzezeit überliefert. Die Prägephase in römischer Zeit in dieser Region ist nicht eng eingrenzbar. Keramik- und Münzfunde in den Stollen datieren vom 2./1. Jh. v. Chr. bis ins 2. nachchristliche Jahrhundert (Domergue, 1987b). Insgesamt 28 Bergbaue könnten neben zahlreichen Schmelzplätzen im Revier von Alcuia-Sierra Madrona antik sein. Von insgesamt zwölf Lokalitäten ist dies belegt. Meier (1995) platziert die bedeutende Abbauphase von Bleierzen in die nachchristlichen Jahrhunderte. Das Gebiet von Los Pedroches mit seinen Bergbauzentren war laut Münzen und datierbaren Amphorenbruchstücken auch in der frühen Römischen Kaiserzeit an der Blei-/Silberversorgung des *Imperium Romanum* beteiligt (Domergue, 1987b).

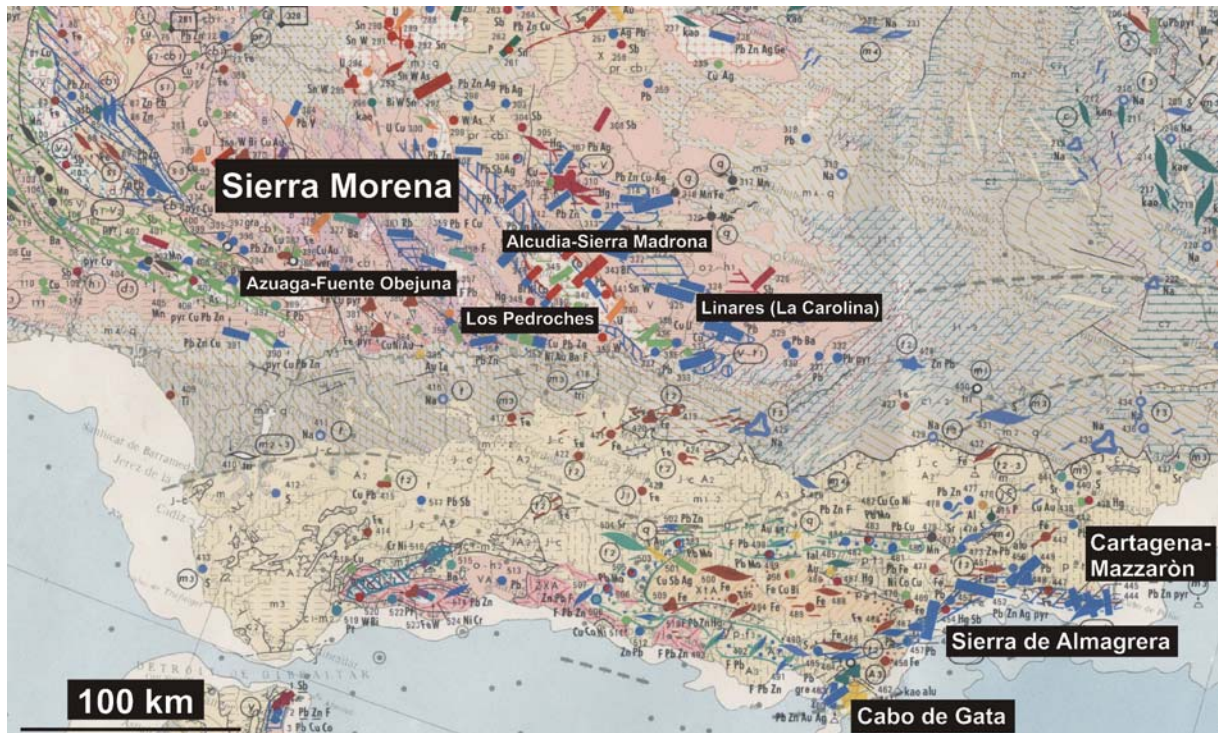


Abb. 3.7: Die Pb-Zn-Vererzungen der antiken Bleibergbaureviere der Sierra Morena und des Südostzipfels der Iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazzarón, Sierra de Almagrera, Cabo de Gata). Die regionale Einteilung bezieht sich auf Meier (1995). Die blauen Balken zeigen große und kleinere Pb-Zn-Vererzungskörper, die blauen Punkte kleinere Pb-Zn-Vorkommen. Die blauen Felder mit vertikaler Streifung umfassen hydrothermale postmagmatische Vererzungszonen, die blauen „Linsen“ stratiforme Pb-Zn-Vererzungen (Ausschnitt aus „Carte métallogénique de l'Europe, Karte Nr. 7, 1:2500000, Première édition 1968-1970).

Cartagena-Mazzarón

In Cartagena und Mazzarón gab es römischen Bergbau vom frühen 2. Jahrhundert v. Chr. bis ins 1. Jahrhundert n. Chr. In Cartagena lag der bedeutendste Handelshafen der römisch-republikanischen Welt. Man findet auch antike Bergbaus Spuren bis weit in den Süden nach Cabo de Gata (Orejas & Sánchez-Palencia, 2002). Hier gibt es die jüngsten Mineralisationen Spaniens, die sich aus miozänen Vulkaniten aufbauen (Arribas et al., 1995) (Abb. 3.7). Rosman et al. (1997) nehmen an, dass die Minen von Cartagena und Mazzarón zweimal soviel Silber lieferten wie die des klassischen Laurions. Laut Orejas & Sánchez-Palencia (2002) hat der Bleiglanz einen Silbergehalt von 1 bis 2 %. Den intensivsten Bergbau gab es zwischen dem späten 2. Jahrhundert v. Chr. und dem mittleren 1. Jahrhundert v. Chr. Einige Bleibarren sind aber auch jünger (Domergue, 1990). Ein Export von Blei fand also auch weiterhin statt. 11 km östlich von Cartagena, bei La Union, breitet sich der Tagebau auf insgesamt 64 km² aus (Meier, 1994). Eine Bergbausiedlung bestand dort von der karthagischen Epoche bis in die frühe Römische Kaiserzeit (Nriagu, 1983a).

Von Cartagena stammt das Blei des Schiffwracks von Mal di Ventre (Sardinien, 70 bis 50 v. Chr.) mit der bisher eindruckvollsten Barrenladung der Antike (siehe Alessandrello et al., 1991, Salvi et al., 1992, Pinarelli et al., 1995). Da fast alle beim Transport verlorenen Bleibarren von Cartagena republikanisch sind, liegt damit ein indirekter Beleg vor, dass das Bergbaubezirk und sein Handelshafen um die Zeitenwende an Bedeutung verloren hat (Meier, 1994).

Die Sierra de Almagrera besitzt drei Blei-/Silberminen und ein reines Silberbergwerk. Ein vor der Küste gesunkenes Schiff aus der 1. Hälfte des 1. Jh. v. Chr. hinterließ insgesamt 15 Bleibarren (Domergue, 1983), die laut Meier (1995) ziemlich sicher im nahen Hinterland produziert wurden. Meier (1995) schätzt, dass besonders nach Erschöpfung der Minen von Cartagena-Mazarrón (60 km nördlich) die hiesigen Bergwerke von den Römern als Silberlieferant geachtet wurden. Das Bleiglanzvorkommen bei Cabo de Gata ist sehr silberarm. Daher wird hier in römischer Zeit wahrscheinlich nur Blei gewonnen worden sein. Archäologische Funde aus römischer Zeit sind vorhanden, sie stammen aber prinzipiell aus dem 2. Jahrhundert v. Chr. (Meier, 1995).

Der Bleibarrenexport

190 Barren aus havarierten Schiffen vor den Balearen und in der Strasse von Bonifaccio ließen sich der Sierra Morena zuordnen (Domergue, 1990). Offensichtlich scheint auch das Blei der Sierra Morena in erster Linie nach Rom befördert worden zu sein.

Jüngst wurde ein Bleibarren von Menorca beschrieben (Rodá, 2004), der der Aufschrift nach aus Cartagena kommt. Das Blei stammt nach Bleiisotopenuntersuchungen aber aus der Sierra Morena. Hier war zu dieser Zeit eine Publikenengesellschaft, die *S(ocietas) C(astulonensis)* tätig. Wenn der Gussstempel den Barren wirklich als von Cartagena stammend ausweist, unterstützt er die Vermutung von Colls et al. (1986), dass auch die Bleibarren vom Cabrera 5-Wrack, die laut Inschriften in Cartagena gefertigt wurden, offensichtlich aus Bleiglanz der Sierra Morena sind. Die Barren wurden produziert, als Agrippa Patron von Carthagera-Mazarrón war und die Verantwortung für viele Monumentalbauten in

Rom innehatte. Anscheinend war die Versorgung mit Blei aus Cartagena schon zum Ende des 1. Jahrhunderts v. Chr. nicht immer gewährleistet und der Bleiexport wurde deshalb schwieriger (s.u.). Agrippa, als Patron von Cartagena auch Zwischenhändler und Kontrolleur des Bleihandels, schien in den Zeiten der Verknappung Blei oder Bleierz aus der Sierra Morena eingekauft zu haben, um den Export nach Rom zu garantieren (Domergue et al., in Druck).

Der Fall der Iberischen Blei-/Silberminen

Nach der augusteischen Epoche wich der Bergbau in Cartagena-Mazzarón im Laufe des 1. Jahrhunderts n. Chr. nach und nach der aufblühenden Landwirtschaft auf Oliven, Wein, Gerste, Rosen und Esparto Gras. Garum, ein Fischsud, wurde ebenfalls verhandelt. Lediglich einige von der Kolonie gehaltene oder verpachtete Silberminen und wenige große Bleiminen hielten sich noch länger (Orejas & Sánchez-Palencia, 2002). Durch Plinius (33.96) ist bezeugt, dass zu dessen Lebzeiten noch Bergbau umging. Die Rentabilität des Bleibergbaus in Spanien litt anscheinend durch die Eroberung Britanniens Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr., dann besonders in flavischer Zeit (Nriagu, 1983a). Meier (1997) setzt den Zeitpunkt, an dem die wirtschaftliche Bedeutung der iberischen Lagerstätten nachließ, allgemein ins 1. und 2. Jahrhundert und nennt die Auserzung des Eisernen Hutes und die Probleme der Wasserhaltung in größeren Tiefen als Hauptgründe.

Wiegels (1977b) sieht Parallelen in den Gemeinden der Baetica. Unter Augustus erlebten sie einen wirtschaftlichen Aufschwung und investierten, nachdem sie zu Municipien erhoben wurden, viel Geld in die Errichtung öffentlicher Gebäude. In flavischer Zeit (69 bis 79 n. Chr.) gerieten sie dann in Finanznöte und erholten sich erst finanziell, als auch hier der Export hispanischer Produkte wie Öl, Wein oder Garum aufblühte.

3.6 Italien

Sardinien

Sardinien ist seit der Frühzeit für seinen Mineralreichtum bekannt. Die Vererzungen Sardinien werden von Pb-Zn-(Ag)-Erzen dominiert. Sie kommen zusammen mit Quarz, Baryt und Fluorit in den verschiedensten Gesteinsserien vom Paläozoikum bis zum Känozoikum vor. Generell kann man den Buntmetallagerstätten sieben Vererzungsphasen zuordnen. Sie werden detailliert von Valera & Valera (2005) beschrieben. Die ergiebigsten Bleierze der mehr als 15 bedeutenden Lagerstätten Sardinien findet man im Umkreis von Iglesias im SW-Zipfel der Insel. Die meisten davon sind bereits erschöpft. Man kann die Pb-/Zn-Lagerstätten grob in zwei Bereiche aufteilen. Die Lagerstätten im Norden sind mit herzynischen Graniten assoziiert, die zusammen mit ordovizisch bis spätpaläozoischen Sedimentgesteinen diesen Inselteil aufbauen. Die südlichen Vorkommen stehen zusammen mit kambrisch-ordovizischen Schichtverbänden in den kambrischen Kalksteinen an (Assereto et al., 1976). Diese Zweiteilung findet man auch bei der Betrachtung der Bleiisotopendaten. Es gibt noch eine dritte Gruppe von Bleierzen, die schichtgebundenen polymetallischen Sulfide. Sie sind komplex zusammengesetzt und haben extrem variable Bleiisotopien (Swainbank et al., 1982, Boni & Koeppl, 1985, Ludwig et al., 1989, Stos-Gale et al., 1995, Valera et al., 2005).

Für den Bleiglanz aus dem Norden der Insel werden charakteristische Gehalte an Bi beschrieben (Jensen & Dessau, 1966). Die Lagerstätten im Süden führen bis zu 4000-6000 ppm Ag im Galenit (Assereto et al., 1976). Anzeichen von Bergbau aus römischen und vorrömischen Tagen gibt es im Distrikt von Ballo bei Monte Narba, Baccu Arroddas, und bei Lula und Orosei nördlich vom Monti del Gennargentu im Südosten der Insel (Davies, 1935). Alessandrello et al. (1991) sind der Ansicht, dass dort im 1. Jahrhundert v. Chr. römischer Bleierzbergbau umging. Eine systematische Erforschung dieser Bergwerke ist bislang nicht unternommen worden. Das ist insofern verwunderlich, als auf Sardinien sehr reichhaltige Blei-Zink-Silber-Lagerstätten auftreten, die bis in die jüngste Vergangenheit abgebaut wurden. Mit großer Wahrscheinlichkeit haben diese industriellen Aktivitäten Spuren der alten Metallgewinnung mehr oder weniger vollständig überdeckt bzw. zerstört.

drängten oder Krankheiten wie Malaria ein Arbeiten zeitweise unmöglich machten. Der Bleibarren von Flumini Maggiore aus hadrianischer Zeit könnte seiner Meinung nach sardisch sein und als erster Beleg für römische Bleigewinnung gelten. Besnier (1920, zitiert in Meier, 1995) beschreibt pyramidenstumpffartige Bleibarren des 1. Jahrhunderts n. Chr. aus Sardinien. Niagru (1983a) hält römischen Bergbau ab dem 2. Jahrhundert n. Chr. für möglich. Zu dieser Zeit, um 230 n. Chr., kam es zur ersten präzisen Erwähnung der Pb-/Ag-Lagerstätten Sardinien durch Solianus (14.3), der den Boden der Insel als sehr silberreich beschreibt. Zwei weitere Bleibarren aus der Römischen Kaiserzeit wurden an der SW-Küste gefunden. Sie erlauben für Niagru (1983a) den Schluss, dass die vorgelagerte Insel Sant`Antioco ein Exportzentrum gewesen sein mag. Im 3. Jahrhundert suchten die Römer nach Ansicht von Boulakia (1972) aufgrund zu langer Transportwege nach Rom und den wachsenden Gefahren auf den Wegstrecken nach nähergelegenen Bleierzlagerstätten. Daher wurde seiner Ansicht nach seit jener Zeit Blei auf Sardinien gewonnen. Jedoch existiert nach Begemann & Schmitt-Strecker (1994) keine überzeugende Evidenz über Bleierzbergbau in der gesamten römischen Zeit. Meier (1995) betont, dass es für die Spätkaizerzeit indirekte Hinweise auf Bleigewinnung in Form von Gesetzeserlassen zur Behandlung von Schuldnern im Bleibergbau oder immigrierten Bergleuten gibt. Niagru (1983a) notierte hierzu, dass im 4. Jahrhundert n. Chr. durch die Kaiser Constantianus, Constans und Theodosianus Erlasse nach Sardinien entsendet wurden, die die Aufnahme von Minenpächtern auf der Insel regeln sollten. Meier (1995) erklärt weiter, dass Sardinien für Rom als Blei- und Silbererzeugerland zunehmend an Bedeutung gewann, je mehr das Reich an seinen Nord- und Ostflanken bedrängt wurde.

Toskana

Über Bergbau in Italien gibt es nur wenige Nachrichten. Mit Ausnahme von Etrurien (Toskana) ist das italienische Festland arm an Metallen (Meier, 1994). Hier gibt es neben Blei- auch große Eisen-, Kupfer- und auch Zinnvorkommen (de Martino, 1985). Silberreiche Bleierze gibt es laut Davies (1935) in Massetano am Fuß der Alpen. Die genaue Zeitstellung der Abbauspuren lässt er aber offen. Corsini et al. (1980) und Manasse & Mellini (2002) beschreiben Bleierzlagerstätten am Valle del Temperino nahe Campiglia Marittima und in Massa Marittima im Süden der Toskana.

Die Vererzungen werden mit pliozänem Vulkanismus in Verbindung gebracht. In der so genannten Serrabottini-Störung sind die Sphalerit-Galenit-Chalkopyrit-Quarz-Adern mehrere Kilometer lang und einige Meter mächtig. Blei und Zn dominieren bei Accessa südlich Massa Marittima (Manasse & Mellini, 2002).

Es gibt weitere Bleierzvorkommen an der Nordspitze von Sizilien und bei Salafossa in der Sappada-Region im Grenzgebiet zwischen den italienischen und den österreichischen Alpen (Davies, 1935, Lagny, 1975).

Trotz des von Plinius überlieferten Beschlusses des römischen Senats, die Bodenschätze Italiens nicht abzubauen, gibt es Quellen, die besagen, dass in Norditalien in römischer Zeit zumindest die Metallverarbeitung florierte und die Erzeugnisse nach Süditalien und in andere Gebieten exportiert wurden (de Martino, 1985). Ein Indiz dafür, dass Blei zur Verarbeitung in die Toskana verhandelt wurde, könnte der Fund eines römischen Bleibarrens im Hafenbecken von Populonia sein (McCann et al, 1977). Er stammt wahrscheinlich aus der Zeit Neros und könnte laut Inschrift aus Britannien oder Spanien stammen (pers. Mitt. Dr. Hanel, Universität zu Köln). Da der Barren verschollen ist, entzieht er sich leider einer Materialanalyse. Trotzdem wird römischer Bergbau in der Toskana, auch auf Kupfer, nicht grundsätzlich ausgeschlossen (pers. Mitt. Dott.ssa. Dallai, Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Universität Siena). Rickard (1932) erwähnt, dass das norditalienische Gebiet zwar frei zugänglich war und gepachtet werden konnte (*ager publicus romanus*), die Zahl der beschäftigten Arbeiter und damit die Effektivität des Bergbaus jedoch begrenzt wurde. Ein weiterer Aspekt für die Verlegung des Bergbaus in die eroberten Provinzen war vielleicht die Gefahr von Sklavenaufständen.

3.7 Griechenland

Die Blei-/Silberbergbaue Griechenlands spielten in der römischen Zeit keine Rolle mehr, zumindest was einen Export von Blei betrifft. Bislang sind keine Bleianalysen römischen Bleis bekannt, die zwingend auf griechische Bleierze hindeuten. Strabon (9,399) erwähnt die Laurionminen gegen Ende des 1. Jahrhunderts v. Chr., wobei er feststellt, dass „die Silberbergwerke Attikas anfangs erwähnenswert waren, jetzt aber

verlassen sind“. Dieses Zitat dient nach Kalcyk (1982) als Beleg, dass noch in der frühen Kaiserzeit ein bescheidener Bergbaubetrieb in Laurion stattfand. Die Römer konzentrierten sich dabei auf die Schlackenhalde. Wahrscheinlich wurden die Arbeiten von römischen Umschmelzern (*flatores*) gewährleistet (Kalcyk, 1982). Dass man die Arbeiten der Römer nicht mehr mit dem Bergbau der Griechen vergleichen kann, meint auch Meier (1994), der beschreibt, dass die Lavriotiki ein brach liegendes, zerstörtes Gebiet war, dem zur Zeit der römischen Besatzung nur wenig seines einstmaligen Glanzes erhalten geblieben war.

Die Lavriotiki, so heißt das Gebiet um Laurion, ist der bergige Teil des Südostens von Attika. Die Geologie von Lavriotiki ist durch eine wechselnde Schichtabfolge von Marmor und kristallinem Schiefer geprägt. Die reichsten Erze sind im Kontakt Marmor-Schiefer zu finden (Pernicka, 1981). Weniger stark ausgebildet sind die Vererzungszonen innerhalb der Schiefer. Die bedeutendsten Lagerstätten stehen nahe der heutigen Stadt Camereza an (Gowland, 1920). Insgesamt bedeckt das durch Halden und Pingen zerfurchte Bergbaugesamt eine Fläche von etwa 200 km² (Schnorrer-Köhler, 1980, Åberg et al., 2001). Das Erz kristallisierte wahrscheinlich aus mehreren hydrothermalen Schüben und kann in eine Gruppe aus Fe-Mn-Erzen und eine Gruppe aus polymetallischen Sulfiden mit Pb, Zn, Cu, Fe und Ag eingeteilt werden (Åberg et al., 2001). Hauptsächlich sind es Galenit, Sphalerit, danach Pyrit und Chalkopyrit, die in einer Matrix aus Fluorit, Quarz, Calcit und Siderit auskristallisierten (Tylecote, 1987, Rehren, 2002). Das Primärerz tritt in Linsen und Gängen mit adern- und taschenförmigen Verästelungen auf (Marinos & Petrascheck, 1956).

An der Oberfläche verwitterte das Primärerz zu Cerussit, Smithonit und Malachit. Das Erz, das in moderner Zeit abgebaut wurde, hat einen durchschnittlichen Bleianteil von 20 bis 60 Gew.-% und 800 bis 3000 ppm Ag (Tylecote, 1987). Da keine Belege für die Röstung von Bleiglanz in Laurion gefunden werden, nimmt man an, dass in der Antike nur die Oxidationszone der Lagerstätte bearbeitet wurde (Tylecote, 1987).

Es gibt drei Stellen, an denen nachweislich verhüttet wurde: Panormos, Thorikos und Megala Pevka (Tylecote, 1987). Die vielen im Gelände verteilten Schächte führen zu einem Netzwerk von Galerien, die man z.T. stockwerkartig angelegt hat. Es sind über

2000 Eingänge beobachtet worden. Der Abbau der Lagerstätten begann bereits zu Beginn des 3. Jahrtausends v. Chr., erlebte eine Blüte um die Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr. und erreichte seinen Höhepunkt im 5. und 4. Jahrhundert v. Chr. In dieser Phase wurden die reichhaltigsten Vererzungen abgebaut (Gale, 1978). Von dieser letzten großen Periode, während der nach Conophagos (1980) ungefähr 1,4 Millionen t Pb und 3500 t Ag produziert wurden, zeugen Reste von nahezu 250 Erzaschanlagen (Rehren, 2002). Patterson (1972) schätzt, dass den Minen zwischen 600 v. Chr. und 100 n. Chr. 1800 t Silber bzw. 600000 t Blei abgetrotzt wurde. Dabei fielen $\frac{3}{4}$ der Produktion auf die ersten beiden Jahrhunderte. Die letzten Spuren bergmännischer Arbeiten stammen aus dem 5. und 6. Jahrhundert n. Chr.

Die intensiven Bergbautätigkeiten in den Minen von Laurion hat mehrere Millionen t Schlacken hinterlassen. Sie waren zur Hälfte an Land angehäuft und der Rest ins nahe gelegene Meer geschüttet worden (Bachmann, 1982a, Schnorrer-Köhler et al., 1982). Eine detaillierte Beschreibung des antiken Bergbaus von Laurion geben Kalcyk (1982) und Weisgerber & Heinrich (1983). Man geht davon aus, dass in der Hochzeit der Silbergewinnung mindestens 10000 bis 20000 Menschen in den Tagebauen arbeiteten (Gentner et al., 1980). Danach schrumpfte der Bergbau bis auf die Hälfte, da die oberflächennahen Zonen erschöpft waren und die Bergleute bis in Tiefen von 100 m vordringen mussten (Weisgerber & Heinrich, 1983). Auch die antiken Schriftquellen vermelden einen Rückgang der Bergbauaktivitäten gegen Ende der klassischen Periode. Xenophon beschwerte sich in der Mitte des 4. Jahrhunderts v. Chr., dass die Minen nicht mehr den Ertrag liefern, wie noch in den Jahren zuvor (Gowland, 1920). Zwar kam es noch zur Lebzeit Xenophons zu einem kurzzeitigen wirtschaftlichen Aufschwung (Kalcyk, 1982), dieser konnte aber den langsamen Rückgang der Produktionszahlen in den nächsten Jahrhunderten nicht aufhalten (Gowland, 1920). Trotzdem sind aus dem 3. und 2. Jahrhundert v. Chr. drei Hüttenwerke mit insgesamt neun einzelnen Hochöfen (Kalcyk, 1982). Rosman et al. (1997) sind der Auffassung, dass 150 v. Chr. die Bergwerke weitestgehend erschöpft waren und den langsamen Untergang der griechischen Zivilisation verursachten. Von Kalcyk (1982) wissen wir aber, dass noch 160 v. Chr. die Prägung neuer Tetradrachmen aus Laurionsilber einsetzte. Der Zeitpunkt, an dem der Pb-/Ag-Bergbau vollends zum Erliegen kam, ist also noch offen. Wilsdorf (1952) macht die Sklavenaufstände zwischen 104 und 99 v. Chr. für das Ende des Bergbaus

verantwortlich und liegt damit rund 50 Jahre später. Im 2. Jahrhundert n. Chr. waren die Blei-/Silberminen Laurions wohl komplett verwaist (Davies, 1935). Es bleibt aber festzuhalten, dass in manchen Stollen Lampen und Münzen der Spätantike gefunden wurden (Meier, 1995). Es ist durchaus möglich, dass Anwohner als Nebenverdienst im bescheidenen Maße weiter Blei gewannen.

Andere Pb-Zn-Lagerstätten in der Ägäis waren viel kleiner als die Attikas und wurden zwischen dem Beginn des 1. Jahrtausends v. Chr. und 350 v. Chr. abgebaut (Gale, 1978). Vielleicht konnten sie den Produktionsrückgang in den Silberminen Laurions eine Zeit lang abfangen (Rosman et al., 1997). Der Silbergehalt in den Vererzungen von Siphnos liegt beispielsweise genauso hoch wie im Bleierz von Laurion, nämlich zwischen 1000 und 500 ppm (Wagner et al., 1980).

3.8 Schweiz/ Österreich

Römische Flurnamen und archäologische Funde in der Schweiz veranlassten Guénette-Beck & Villa (2002), eine bleiisotopische Versuchsreihe zur Frage, ob die Erze des Alpenraumes in römischer Zeit abgebaut wurden, anzugehen. Sie konzentrierten sich bei ihrer Provenienzuntersuchung auf das Schweizer Mittelland zwischen Genf und Basel und dem Wallis. In römischer Zeit führten Handelswege über das Rhôneetal nach Genf, vom Norden über den Rhein nach Basel und vom Süden über den Grossen St. Bernhard nach Martigny. Dort stehen lokale Bleierzvorkommen an. Das archäologische Beprobungsmaterial umfasste den Zeitrahmen vom 1. bis zum 5. Jahrhundert n. Chr. So sollte überprüft werden, ob im Laufe der Jahrhunderte verschiedene, eventuell auch gleichzeitig mehrere Liefergebiete für die Bleiversorgung in der römischen Schweiz in Betracht kommen. Ferner wurde darauf geachtet, dass das Blei aus Städten, aber auch aus kleineren Siedlungen und römischen Gutshöfen stammt. Eventuell wurden die damaligen Städte über den überregionalen Bleiverkehr versorgt, wo hingegen die Dorfgemeinschaften oder die Gutshöfe ihr Blei selbst produzierten.

Guénette-Beck & Villa (2002) kommen zu dem Schluss, dass das Blei der ersten beiden Jahrhunderte n. Chr. zum größten Teil aus Großbritannien und der Nordeifel importiert worden zu sein scheint. Der Bleibedarf des 4. Jahrhunderts wurde allem

Anschein nach aus lokalen Quellen oder durch Bleiabfall gedeckt. Sie begründen das Umschwenken auf die heimischen Lagerstätten mit den Alemanneneinfällen in der 2. Hälfte des 3. Jahrhunderts und den damit einhergehenden Gefahren auf den römischen Handelsstraßen. Der Umfang des lokalen Hüttenwesens auf Blei ist aber ihrer Meinung nach nicht vergleichbar mit dem der antiken Produktionszentren Britanniens und der Nordeifel. Als lokale Bleiquellen für den spätantiken Zeitraum kommen aufgrund der Bleiisotopenvergleiche die Metallagerstätten des Wallis in Frage. Ausgeschlossen werden kann der Bleiberg in Tirol und die von Marcoux (1987, zitiert in Guénette-Beck & Villa, 2002) aufgeführten historischen Lagerstätten der französischen Alpen. Im Wallis sind 50 auf Blei, seltener auf Silber ausgebeutete Bergwerke bekannt, von denen aber nur wenige von historischer Bedeutung sind (Guénette-Beck & Villa, 2002). In die engere Auswahl kommen die Bergwerke von Siviez im Val de Nendaz und die vom Goppenstein im Lötschental. Im Lötschental wird Bergbau durch die Kelten vermutet (Schmutz et al., 1982, zitiert in Guénette-Beck & Villa, 2002).

Zwei in Arbon und Basel gefundene Bleibarren könnten nach Meyer-Boulenaz (1952) auf dem Wasserwege von Spanien oder Gallien in das Alpengebiet gelangt sein. In Magdalensberg, ca. 50 km östlich von Klagenfurt an der österreichisch-slowenischen Grenze, kam in einer spättiberischen Besiedlungsschicht das Bruchstück eines römerzeitlichen Bleibarrens zum Vorschein. Magdalensberg war bis in die 40er Jahre n. Chr. ein Zentrum des alpinen Metallwarenhandels. Dem Bleiisotopenmuster nach stammt das Barrenfragment ebenso wie ein 12 m langes Bleirohr aus augusteischer Zeit von den Bleifeldern Cartagenas (Piccotini et al., 2003).

3.9 Balkan

Die Blei-/Silbergewinnung im größeren Stil setzte in Dalmatien erst in der Römischen Kaiserzeit ein. Im historischen Bergbaugebiet von Sv. Jacob, nahe Zagreb, führt der Bleiglanz durchschnittlich 500 ppm Ag (Durn et al., 1999). Nach Meier (1995) entfaltete sich dort ab dem 2. Jahrhundert n. Chr. ein zur Hauptsache für den Eigenbedarf produzierendes Bergbau- und Hüttengewerbe. Nriagu (1983a) hebt die Bedeutung der Pb-/Ag-Gewinnung im zentralen Balkan deutlich hervor. An mehreren Plätzen (Srebrnac, Drdo Srebrnak, Agentares) findet man große Schlackenhalde

und Stollen mit silberreichem Bleiglanz (Davies, 1935, Berg et al., 1950). Münzfunde datieren in das 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. (Meier, 1995). Im Nordwesten der Provinz *Moesia superior* stehen bedeutende Pb-/Ag-Vorkommen an, die vom 1. bis zum 5. Jahrhundert n. Chr. den lokalen Bedarf gedeckt haben mögen. Meier (1995) schließt aber einen Export im bescheidenen Umfang nicht aus: so wurden jüngst im Hafen von Caesarea sechs Bleibarren gefunden, von denen vier u.a. den Stempel *met(alla) Dard(anica)* aus der Zeit Domitians tragen und wahrscheinlich aus dem Kosovo stammen. Im Bergbauggebiet von Sumadija (Kosmaj-Gebirge), im dem ein römisches Militärlager (Stojnik) liegt, stieß man auf römische Pingen, Stollen, Schlackenhalde und auf etwa ein Dutzend außergewöhnlich große Bleibarren (Meier 1995). Der Bleiglanz ist mit fast 2000 ppm Ag angereichert (Berg et al., 1950). Die römischen Münzen reichen von Hadrian bis Valens (Meier, 1995). Ein weiteres Bergbaurevier liegt etwa 75 km südöstlich von Belgrad. Es war mit Gewissheit z.Z. von Septimus Severus (193 bis 211 n. Chr.) in Betrieb, vielleicht sogar bis ins 5. Jahrhundert n. Chr. (Meier, 1995). Der Bleibergbau in Thrakien ist erst in römischer Zeit sicher nachweisbar. Vor allen im Süden und im Westen gibt es große Pb-/Zn-Vorkommen (Meier, 1995). Ganz im Westen der Provinz lag die Stadt *Pautalia*, bei der im 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. nicht nur Pb-/Ag-Bergbau, sondern auch eine Münzprägwerkstatt betrieben wurde (Davies, 1935). Im Dreiländereck *Macedonia*, *Moesia superior* und *Thracia* ging Pb-/Ag-Bergbau ab dem Ende des 1. Jahrhunderts n. Chr. um (Davies, 1935, Meier, 1995). Ein antikes Bergbaurevier in *Macedonia* von etwa der Größe Laurions befindet sich auf der Halbinsel Chalkidiki. In römischer Hand waren die Gruben seit dem 2. Jahrhundert v. Chr. Schon gegen Ende der Römischen Republik wurden sie aufgelassen, weil die Vorkommen vermutlich erschöpft waren (Healy, 1978).

In diesem Kapitel werden die vom Verfasser beprobten römischen und „germanischen“ Bleifunde Germaniens beschrieben. Es wurde zudem auf Analysen von Trincherini et al. (2001) und Durali-Müller zurückgegriffen.

4.1 Zu den römischen Bleifunden

Die Funde der westfälisch-niedersächsischen Römerlager an der Lippe und Werra

Die frühkaiserzeitlichen römischen Bleifunde der *Germania Magna* stammen aus einem eng begrenzten Zeitraum um Christi Geburt. Die Stand-, Marsch- und Versorgungslager an Lippe, Rhein und Werra, ferner die römische Kolonie von Waldgirmes (Kreis Gießen), sind Ausdruck der drei Jahrzehnte währenden Okkupations- und Provinzialisierungsversuche des Augustus und Tiberius zwischen 12 v. Chr. und 16 n. Chr. Alle befestigten Lager wurden jedoch schon nach der *clades Variana* 9 n. Chr. geräumt. Lediglich die Überreste des Marschlagers von Dorsten-Holsterhausen könnten bei mehrmaliger Nutzung des Areals in die Zeit der *Germanicus*-Rachefeldzüge von 14 bis 16 n. Chr. reichen (v. Schnurbein, 2004). In den Grabungskampagnen kamen vor allem in den Halterner Lagern zahlreiche Bleifunde zutage (z.B. Aßkamp & Rudnick, 2007). Für die Materialanalysen wurden Bleigewichte, Bleilote, spinnwirtelartige Objekte, Schleuderbleie, Bleirohre, -bleche und -bänder, zahlreiche nicht genau definierbare Bleigegegenstände und Gussreste beprobt (Probennahme und Bleiisotopenbestimmung für Dangstetten und Waldgirmes von Durali-Müller, 2005).

Das PVDENS-Bleistück (Brilon-Altenbüren)

Als Lesefund nicht direkt datierbar ist ein 2001 bei Brilon-Altenbüren gefundenes Bleistück (Hanel & Rothenhöfer, 2005). Die Inschriftenreste können zu dem Namen *Pudens* vervollständigt werden. Durch den unten beschriebenen Schiffswrackfund von Rena Maggiore kann es aus der augusteischen Zeit stammen. Dort fand man einen einzelnen Barren mit der Inschrift PVDENTISGERM (siehe auch Kapitel 3.2b).

Die römischen Bleibarren aus Germanien

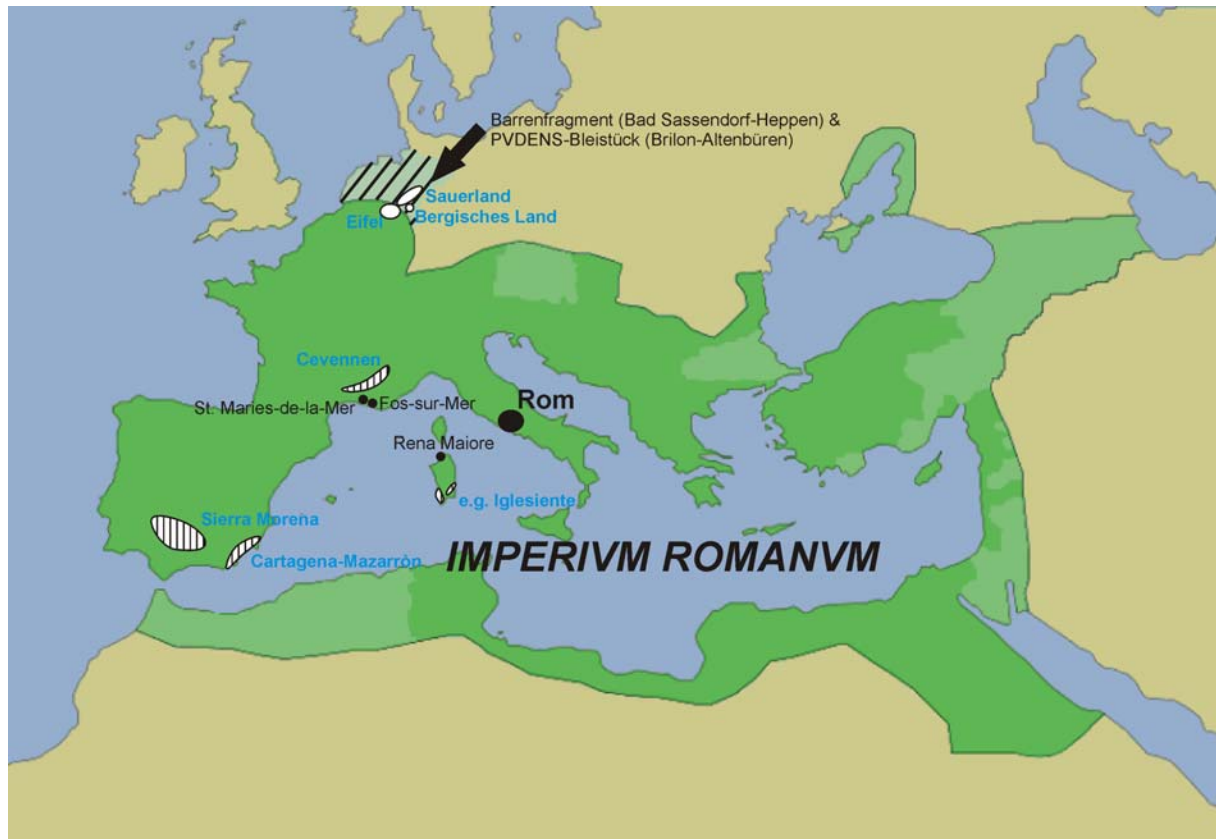


Abb. 4.1: Karte des römisch besetzten Europas unter Augustus mit den im Text beschriebenen Fundplätzen und Bergbaugebieten: die hellgrünen Bereiche innerhalb des Imperiums entsprechen den vom Römischen Reich abhängigen Klientelstaaten, das straffierte Feld kennzeichnet das unter Augustus besetzte Gebiet der Germania (verändert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Roman-Empire-Augustus.png>).

Dass Blei in der frühen Römischen Kaiserzeit aus Germanien exportiert wurde, wird aufgrund von Inschriften auf rund 150 Bleibarren, die im westlichen Mittelmeer entdeckt wurden, vermutet (Überblick in Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007, Abb. 4.1). Römischen Bergbau auf Bleierze soll es in dieser Zeit in der Nordwesteifel gegeben haben (z.B. Davies, 1935, Preuschen, 1956, von Petrikovits, 1956, 1958, 1980, Rothenhöfer, 2005). Auf der anderen Rheinseite ist frühromische Blei-/Silbergewinnung im Bergischen Land belegt (Gechter, 1998, 2001a, b, Gechter & Körlin, 2003, Körlin, 2006). Rothenhöfer (2003a-c, 2004, 2005, 2006) und Hanel & Rothenhöfer (2005) schließen auch die Nutzung der Bleierzlagerstätten des Sauerlandes im von römischen Legionen kurzzeitig besetzten freien Germanien zwischen 8 v. und 9 n. Chr. nicht aus (s. Kapitel 3.2b).

St. Maries-de-la-Mer (Frankreich)

Aus einem Schiffswrack bei St. Maries-de-la-Mer (Long & Domergue, 1995) an der Mündung der Rhône konnten 99 Barren gesichert werden, die aufgrund ihrer Beschriftungen dem augusteischen Germanien zugewiesen wurden. Acht von ihnen sind mit FLAVI VERUCLAE PLVMB GERM beschriftet (Foto 1.3), die 91 übrigen Barren mit L-FL-VER und L-FL-VE. Die Kürzel auf dem Hauptteil der Barren benennen denselben Produzenten wie die acht anderen Barren. Fast alle Bleibarren sind mit IMP CAES markiert und gingen folglich in den Besitz des Kaisers über (Rothenhöfer, 2003-2006).

Fos-sur-Mer (Frankreich)

Ein einzelner Barren mit der Herkunftsbezeichnung PLVMB GER, der ebenfalls in der südfranzösischen Küstenregion (Fos-sur-Mer) verloren ging (Laubenheimer-Leenhardt, 1973), wird einer anonymen Publikanengesellschaft zugewiesen (Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007, Rothenhöfer, 2005).

Rena Maiore (Italien/Sardinien)

Vor der nordsardischen Küste bei Rena Maiore wurden weitere römische Bleibarren aus der frühen Kaiserzeit entdeckt (Riccardi & Genovesi, 2002). 42 Barren des Kontingentes (insgesamt 72 Barren) sind pyramidenstumpfförmig (Typ Domergue IV, s. Domergue, 1990) und mit dem Stempel AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM ausgezeichnet (Foto 4.1), einer trägt die Inschrift PVDENTISGERM. Mindestens diese 43 Barren der Schiffsladung sollen von Germanien in Richtung Rom transportiert worden sein (Rothenhöfer, 2005, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Fünf Bleibarren des Wracks wurden in Sardinien beprobt. Einer der Barren gehört zu der Serie der AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM-Bleibarren. Die anderen vier Exemplare werden von Riccardi & Genovesi (2002, Abb. 6, S. 1320) vorgestellt. Sie sind ohne Herkunftsbezeichnung.



Foto 4.1: Bleibarren von Rena Maiore mit der Inschrift AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM (Foto A. Hauptmann).

Bad Sassendorf-Heppen (Kreis Soest)

Das Teilstück eines römischen Bleibarrrens tauchte als Lesefund in Bad Sassendorf-Heppen, Kreis Soest, auf (Schulten, 1917). Es trägt die Inschrift L-FLA und L-F.VE und wird dem gleichen Produzenten zugeordnet, der auch auf den 99 Barren von St. Maries-de-la-Mer als Besitzer ausgewiesen ist (Long & Domergue, 1995, Trincherini et al., 2001, Rothenhöfer, 2003a-c, 2004, 2005).

Die Funde von der Blei-/Silbergewinnung am Lüderich (Bergisches Land, Rheinisch-Bergischer Kreis), R.A.f.B., Außenstelle Overath, DBM Bochum, Montanarchäologie

Römischer Bergbau auf Bleierze war im Bergischen Land zeitlich begrenzt. Zeugnisse der Bleigewinnung datieren in die augusteische Besatzungszeit, sehr wahrscheinlich auch in das 2. Jahrzehnt n. Chr. (Körlin, 2006). Gechter (2001a) vermutet, dass die römischen Eroberer in jener Zeit Nachschubprobleme für Rohmaterialien zum Aufbau der Städte, Dörfer, Militärlager, Straßen und Höfe hatten. Drei Blei- bzw. Silberbergbaue sind bekannt, nämlich die von Rösrath-Lüderich (Rheinisch-Bergischer Kreis), Hennef-Altglück (Rhein-Sieg Kreis) und Engelskirchen-Bliesenbach (Oberbergischer Kreis) (zusammengefasst in Rothenhöfer, 2005). Auf dem Lüderich waren es römische Soldaten, die hier nicht nur einfach Blei gewannen, sondern dies auch entsilberten (Körlin, 2006). In den Kapiteln 7 und 8 werden einige Bleischlackenreste und vier in verfüllten Gruben gefundene Bleiglättebruchstücke untersucht. Das Spektrum der Bleimetallfunde beschränkte auf eine Bleiklammer, ein

Bleiröhrchen, zwei dünne Bleibleche oder- plättchen, einige Bleistücke und vermutlich zwei Bleiglätzezapfen (s. Tab. 9.40).

4.2 Zu den Bleifunden der Siedlungen der älteren Römischen Kaiserzeit

Die „germanischen“ Kleinbarren und zahlreiche anderen Bleifunde von insgesamt 15 Fundstellen in Westfalen lassen sich nicht so exakt datieren wie die römischen Funde. Nur die Siedlungsreste von Salzkotten-Thüle (Rothenhöfer, 2004b), Balve-Garbeck (Kemken, 1990), Brilon-Fülsenbecke (Lukanow, 1988) und Soest (Pfeffer, 2001, 2002, Melzer & Pfeffer, 2005, 2007) mit ihrem stratifizierten Fundgut geben einen greifbaren Anhaltspunkt. Sie könnten exemplarisch für die Zeitstellung auch der anderen einheimischen Niederlassungen und somit der anderen Barren- und Bleifunde stehen. Das datierbare Material (Keramik, Münzen, etc.) erlaubt eine chronologische Zuordnung der Bleifunde in das 1. Jahrhundert n. Chr., für Soest ist auch eine Datierung in das 3. Jahrzehnt n. Chr. oder früher möglich (s. Kapitel 2.3).

Zumindest in Soest fand eine Bleiverarbeitung in bedeutendem Umfange statt. Es wurden dort 84 kg Blei in Form von Bleistreifen, Gussfladen und Bleiresten gefunden (Melzer & Pfeffer, 2007). Darunter waren auch sieben der mittlerweile gut 70 in Westfalen entdeckten Kleinbarren (Auflistung aller Barrenfunde in Rothenhöfer, 2007). Ob es weitere wichtige Verarbeitungszentren für Blei wie Soest gegeben hat, ist noch offen. Die Buntmetallarbeiten in Balve-Garbeck beispielsweise, dort, wo zehn „germanische“ Kleinbarren entdeckt wurden, fanden allem Anschein nach innerhalb eines Wirtschaftshofes statt (Kempken, 1990). Gleiches gilt für die Werkstätten von Warburg-Daseburg (Kreis Höxter) (Günther, 1983).

Die Kleinbarrenfunde Westfalens und des südlichen Sauerlandes

Tendierte man früher dazu, Bleigegegenstände aus „germanischem“ Siedlungskontext auf einen Import aus dem Römischen Reich zurückzuführen, so kann man seit einigen Jahren zumindest für den westfälischen Raum eine lokale Bleiproduktion zwischen dem 1. und dem 2. Jahrhundert n. Chr. annehmen (Rothenhöfer, 2004b, 2005, 2007). In mehreren Siedlungen der älteren Römischen Kaiserzeit gibt es Anzeichen für Bleiverarbeitung. Die Bleierze könnten aus den lokalen Pb-Zn-

Lagerstätten stammen. Für Lagerstätten des Briloner Raums ist aufgrund der Bleiisotopenvergleiche eine deutliche Übereinstimmung zu verzeichnen (Kapitel 5.2).

Interessant ist in diesem Zusammenhang die schon erwähnten Kleinbarren (Foto 1.4), die erstmals von Laumann (1987) und Lukanow (1988) beschrieben wurden. Ihr Vorkommen und äußeren Erkennungsmerkmale werden detailliert von Rothenhöfer (2004b, 2005, 2007) dargestellt (s. Abb.1.3 und Foto 1.4). Man kann sie allgemein „als flache, oberständig durchlochte und mehrere hundert Gramm schwere Kleinbarren“ bezeichnen (Rothenhöfer, 2007). Sie sind sehr unregelmäßig geformt und variieren z.T. sehr stark in ihrem Gewicht. Noch 1990 bezeichnete Kempken diese Barren als Webgewichte und stützt sich dabei auf „die mehrfach belegte Verwendung von Blei für die Herstellung von Geräten zur Textilverarbeitung“. Die Spinnwirtel, auf die Kempken (1990) sich in seiner Ausführung bezieht, bestanden aber aus den verschiedensten Materialien, weshalb der Fund von Blei nicht zwangsläufig mit der Textilherstellung in Verbindung gebracht werden kann (Bergen, 2005).

Setzt man voraus, dass die Kleinbarren von den Einheimischen selbst produziert wurden und für den Handel vorgesehen waren, so waren sie zumindest nicht bestrebt, die Barren mit einem einheitlichen Handelsgewicht zu versehen, wie es bei den Römern der Fall war (z.B. Weisgerber et al., 2007). Es ging ihnen vielmehr darum, eine simple Form zu entwickeln, mit denen ein leichter Abtransport gewährleistet war. Im Vordergrund stand somit allem Anschein nach die Funktionalität (Diskussion in Rothenhöfer, 2004b, 2005, 2007).

Weitere frühkaiserzeitliche Kleinbarrenfunde aus dem Römischen Reich (Südgallien, Iberische Halbinsel)

Zu den hier aufgelisteten „germanischen“ Kleinbarren der *Germania Magna* findet man ähnliche Vertreter in Gallien und in der Baetica im Süden der iberischen Halbinsel (Sandars, 1905, Cochet, 2000, Rebiscoul, 2004).

Sandars (1905) beschreibt eine steinerne Gussform für „webgewichtsartige Kleinbarren“ aus dem Bergwerksareal Los Palazuelos (Linares, Provinz Jaens).

Entsprechende Barren wurden dort gefunden. Die im Grabungskontext sichergestellten römischen Münzen reichen ins Jahr 42 n. Chr.

Die gallischen Kleinbarren wurden wohl in vorgeformten Vertiefungen im Sand gegossen (Cochet, 2000). Sie werden als Pyramidenstumpfköpfe bezeichnet und haben wie die „germanischen“ Kleinbarren eine Höhe von bis zu 12 cm. Nicht alle haben aber an der Oberseite eine Lochung. Solche Barren mit einer Lochung werden von Cochet (2000) als Webgewichte, Netzgewichte, Lote oder ähnliches interpretiert. Die anderen haben am oberen Ende eine Einkerbung und fungierten nach Ansicht Cochets (2000) als Keil zum Auflegen von Schlag- oder Schleifsteinen. Entgegen Holzkeilen besitzen sie den Vorteil, dass sie bei Feuchtigkeit nicht aufquellen. Einer der beschriebenen Kleinbarren kommt ca. 100 km östlich von Lyon aus Châteauneuf-les-Boissons, bei den übrigen 15 Exemplaren ist die Herkunft nicht mehr zu rekonstruieren.

Die von Rebiscoul (2004) publizierten Kleinbarren stammen aus einer Grabung in Solaize, südlich von Lyon. Eine Beschreibung dieser Barren findet sich in Rothenhöfer (2007). Neben mittelalterlichen Siedlungsrelikten kamen Überreste einer antiken ländlichen Siedlung zum Vorschein. Diese befand sich an einer römischen Handelsstrasse, die von Wien nach Lyon am Rand der französischen Alpen verlief. Die Siedlung fügt sich in ein Netz antiker ländlicher Siedlungen ein. Die Gebäudespuren und verschiedenen Gruben füllen den Zeitraum zwischen dem 1. und 4. Jahrhundert n. Chr. aus.

Aus einer der Gruben wurden laut Rebiscoul (2004) neun Pfund Blei geborgen. Darunter befanden sich auch die fast ein Dutzend zählenden Kleinbarren. Die Grube lag innerhalb eines Gebäudes aus dem 1. nachchristlichen Jahrhundert. Drei Herdstellen wurden ebenfalls innerhalb des Grabungsareals identifiziert. Sie haben hitzegeerötete Wandungen und eine stark holzkohleartige Füllung. Ob in diesen Herdstellen das Blei für die Kleinbarren geschmolzen worden sein könnte und welche Funktion die Bleibarren seiner Ansicht nach erfüllen, wird nicht diskutiert.

5.1 Bleiisotope und Spurenelemente in der Archäometallurgie

Mit Hilfe von Bleiisotopenvergleichen zwischen den drei in dieser Arbeit untersuchten Fundgruppen der frühen Römischen Kaiserzeit und den in dieser Zeit befahrenen Bleierzlagerstätten sollen mögliche Rohstoffquellen für diese Objekte herausgearbeitet werden. Die Fundgruppen sind:

- 1.) die Bleifunde der Römerlager Germaniens,
- 2.) römische Bleibarren aus Germanien sowie
- 3.) Bleifunde und „germanische“ Bleibarren aus den Einheimischensiedlungen Westfalens.

In Germanien selbst kommen Bleierze der Nordwesteifel, des Bergischen Landes und des Sauerlandes in Betracht. Weitere Lieferanten können die Bleierzlagerstätten von Südspanien und Südfrankreich, theoretisch auch Sardinien und Griechenland gewesen sein.

Wie in den Bleiisotopen-Diagrammen gezeigt wird, besitzen die postvariszischen Bleierze der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviers im Sauerland nicht unterscheidbare Isotopenvariationen. Da rund die Hälfte der Bleifunde aus den Römerlagern dem Vergleich zufolge aus diesen Erzen beiderseits des Rheins geschmolzen worden sein könnte und dies für die Bleifunde aus der Zeit der Halturner Lager (s.u.) mit den historischen Überlegungen vereinbar ist, wird zusätzlich zu den Bleiisotopenvergleichen eine Gegenüberstellung von Spurenelementen der Bergbaureviere und solcher Artefakte durchgeführt. Hiermit soll eine Zuordnung dieser Funde zu einem der beiden Lokalitäten ermöglicht werden. Da nach dem archäologischen Befund die „germanische“ Fundgruppe mit ca. 80 Bleiobjekten mit großer Wahrscheinlichkeit aus dem Briloner Revier stammt und sie damit die Charakterisierung der geochemischen Zusammensetzung der dortigen Bleierze u.V. erweitern kann, wird auch sie in die Gegenüberstellung miteinbezogen.

Zur Bleiisotopenanalyse

Bei der Bleiisotopenbestimmung zur Herkunftsermittlung von Metallobjekten, Schlacken oder Bleiglätte steht nicht nur die Messgenauigkeit im Vordergrund, sondern auch die Sammlung möglichst vieler Daten sowohl von den wichtigen

Lagerstätten als auch den Metallen. Die Provenienz von Artefakten und der Nachweis von Mischblei, vor allem, wenn Liefergebiete mit ähnlichen Bleiisotopenzusammensetzungen in Frage kommen, können nur dann überzeugend sichtbar gemacht werden, wenn möglichst viele Objekte in ihrer Bleizusammensetzung einer Lagerstätte entsprechen oder auf einer oder mehreren Mischungslinien zwischen zwei Quellen liegen. In der Archäometrie sind dafür zweidimensionale Diagrammdarstellungen mit ^{206}Pb als Indexisotop üblich ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnis und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnis). Nur in seltenen Fällen besitzen unterschiedliche Lagerstätten identische Anteile aller vier Bleiisotope und sind deshalb nicht unterscheidbar. Spätestens hier kommen Spurenelementanalytik und Archäologie zum Tragen, um das Auswahlverfahren mittels der Bleiisotope durch weitere wissenschaftliche Argumente zu unterstützen.

Dass die Kooperation zwischen Materialwissenschaft und Archäologie bis in die jüngste Vergangenheit von Missverständnissen beeinträchtigt wurde, zeigen die Publikationen von Budd et al., Sayre et al., Gale & Stos-Gale und Pernicka Anfang der 90er Jahre und später von Knapp (2000) und Gale (2000, 2001). Auslöser dieser Debatte waren Provenienzuntersuchungen an bronzezeitlichen mediterranen Ochsenhautbarren. Die Verständigungsschwierigkeiten wurden im Grunde durch Interpretationsprobleme der naturwissenschaftlichen Datensätzen seitens der Archäologen ausgelöst, die Knapp (2000) im Wesentlichen dadurch begründet sah, dass es bis dahin nur wenige Arbeiten als Vorlagen gab, die archäologische und naturwissenschaftliche Forschung verbanden.

Die Verunsicherung der Archäologie bezüglich der Aussagekraft naturwissenschaftlicher Materialforschungen betrifft neben der Skepsis der Genauigkeit der Messungen beispielsweise die Frage, wie sicher das bleiisotopische Muster innerhalb eines Erzkörpers mit der üblichen Anzahl an Proben (ca. 5 bis 15 Proben (d. Verf.)) festgelegt werden kann und ob diese Verteilung auch nach mehreren Metallgewinnungsschritten in den Fundstücken noch erkennbar ist (Budd et al., 1993). Hierzu konstatierte Gulson (1986) schon im Voraus, dass Lagerstätten durchaus ein relativ begrenztes Verteilungsfeld aufweisen. Auch Gale & Stos-Gale (1982, 1992) und Begemann et al. (1989) zeigten in ihren Arbeiten, dass die Variationen innerhalb von Vererzungen, z.B. im mediterranen Raum, begrenzt sind.

Natürlich ist es möglich, dass eine Lagerstätte mehrere Erzgenerationen mit verschiedenen Bleisignaturen enthält und deshalb durch eine entsprechende Ausweitung der Probennahmen charakterisiert werden muss, doch gehört es zu den routinemäßigen Arbeiten der Archäometallurgen, die Geologie einer Lagerstätte zu Beginn eines Projektes zu studieren. Die Bleiisotopenanalysen werden von Messungen genau bekannter Standardlösungen begleitet und damit der Vertrauensbereich eines Probenmessergebnisses bestimmt (interne/externe Massenfractionierungskorrektur). Die statistische Unsicherheit eines Messergebnisses wird in Diagrammen als Fehlerbalken visualisiert, die den Bereich angeben, in dem sich ein Analysenpunkt zu 95% (2SD (Standardabweichung)) aufhält. Die möglichen Abweichungen vom Realwert liegen bei einem hier verwendeten TIMS zwischen 1,8/1000 und 7/10000, je nach betrachtetem Quotient, und entsprechen damit dem allgemein in der Analytik akzeptierten Toleranzbereich. Die Befürchtung von Budd et al. (1993), dass Messungen von Bleiisotopen u.U. zu ungenau sind, kann deshalb als unbegründet zurückgewiesen werden.

Die Interpretationskraft der Bleiisotopie in der Archäometallurgie wird auch deshalb skeptisch beurteilt, weil Mischungseffekte in Metallobjekten, sei es durch Verwendung verschiedener Rohstoffquellen oder durch Aufarbeitung von Metallschrott, u.U. nicht ersichtlich sind. Man kann dieser Skepsis entgegenhalten, dass die Anzahl der genutzten Lagerstätten in der Frühzeit der Metallurgie begrenzt war, so dass man schon zu Beginn einer Untersuchung den Kreis der in Frage kommenden Lagerstätten meist auf eine geringe Zahl reduzieren kann. Die Mischungslinien, auf denen aus verschiedenen Bleiquellen zusammengesetzte Objekte liegen, sind als verbindenden Geraden zwischen Lagerstättenfeldern im Diagramm einfach zu konstruieren. Der Aufenthaltsort von Metallen, die aus dem Erz mehrerer Lagerstätten zusammengesetzt sind, ist in einem Diagramm also definiert.

In der römischen Antike, in der aufgrund eines weit gefächerten Transportnetzes im ganzen Reich und wegen der Aufarbeitung von Metallabfällen am ehesten mit „gemischten“ Bleiisotopenzusammensetzungen in Metallen zu rechnen ist, kommt vereinfachend hinzu, dass die Buntmetallreviere beispielsweise auf der Iberischen Halbinsel oder Britannien bekanntermaßen ihre Prägephasen hatten und deshalb je nach Datierung der zu bearbeitenden Funde aus der Untersuchung ausgeklammert

oder favorisiert werden können (s. Stöllner, 2003). Die Chance, den Ursprung römischer Bleifunde zu ermitteln, ist deshalb generell groß (s.a. Riederer, 1987). Zudem existieren zu den großen Bleierzlagerstätten des *Imperium Romanum* in fast allen Fällen genügend Bleiisotopendaten, um sie zumindest grob zu charakterisieren (z.B. Bode, 2006). Die Befürchtung von Brill et al. (1973), dass eine große Datenbank zu doppeldeutigen Ergebnissen führen könnte, hat sich nicht bestätigt.

Kapitel 5.2 zeigt für die Bleifunde der augusteischen Römerlager der *Germania Magna*, dass bei einer angemessenen Anzahl an Probenanalysen aus einem begrenzten Zeitraum, eine eindeutige Herkunft auch für die aus verschiedenen Lieferquellen gemischten Bleiobjekte hergeleitet werden kann.

Nach wie vor bleibt die Bleiisotopenuntersuchung die hervorstechende Methode, Metallprovenienz und damit die Rekonstruktion von Wirtschaftsbeziehungen und Handelsrouten aufzudecken. Das Bleiisotopenverhältnis in Erzen ist vor allem zeitabhängig und markiert die Lagerstätten, dem geologischen Alter, aber auch den Konzentrationsunterschieden der vier Isotope in den Muttergesteinen entsprechend, mit typischen Bleiisotopenvariationen. Die gegenüber leichten Isotopen geringen Massenunterschiede zwischen den Bleiisotopen und die damit verbundenen sehr geringen Fraktionierungseffekte durch pyrometallurgische Prozesse gewährleisten den direkten Vergleich zwischen Erz und metallischem Endprodukt. Ob Metalle aus primären oder sekundären Erzmineralen verhüttet wurden, ist für die Ermittlung der Herkunft via Bleiisotopie nicht relevant.

Zur Spurenelementanalyse

Spurenelemente in archäologischen Metallobjekten kann man als Verunreinigungen betrachten, die während der Verhüttung aus dem Erz in das Metall gelangen. Es werden solche Spurenelemente vom Metall aufgenommen, die eine geringere Oxidierbarkeit als dieses besitzen. Das sind z.B. für Blei Elemente wie Au, Ag, Co, Ni, As, Sb. Solche Elemente, bzw. auch ihre Verhältnisse zueinander, können als Herkunftsindikatoren für Metallobjekte verwendet werden (z.B. Wagner et al., 1986, Pernicka, 1999). Diese Methode gilt streng genommen nur für reine oxidische Erze. Auf sulfidische Erze, wie den für uns interessanten Bleiglanz, kann der Vergleich der Spurenelementkonzentrationen in Metall und Erz nur bei vorsichtiger Interpretation

der Analysenergebnisse angewendet werden. Bei der Röstung sulfidischer Erze können große Verluste der leicht flüchtigen Elemente As, Sb, Bi (und Pb) auftreten (Prange, 2001). Jeder weitere metallurgische Prozess (Verhüttung, Kupellation) und Zuschläge von Flussmitteln wirkt sich auf die Spurenelementzusammensetzung im Metall aus (Brill & Wampler, 1967; Experimente über das Spurenelementverhalten bei metallurgischen Prozessen in Pernicka & Bachmann, 1983). Die Art der Zuschläge ist nur in seltenen Fällen genau zu rekonstruieren. Deshalb äußern z.B. Seeliger et al. (1985) eher pessimistisch, dass die Zuordnung von Metallartefakten zu entsprechenden Erzlagerstätten nach ihrer chemischen Signatur ausgesprochen schwierig sei, zumal alle Lagerstätten primär und insbesondere sekundär in Zonen unterschiedlicher Mineralzusammensetzung und damit auch unterschiedlichen Spurenelementcharakteristika aufgeteilt sind.

Dennoch konnte Pernicka (1999) sehr überzeugend die grundlegende Bedeutung von Spurenelementen bei Provenienzstudien vor allem von Kupfer- und Bronzeobjekten aufzeigen. Bei einer statistisch verwertbaren Anzahl von Erzproben und Metallobjekten besteht die Chance, chemische Charakteristika zwischen beiden Gruppen herauszuarbeiten. Außerdem bietet die Spurenelementanalytik entgegen der Bleiisotopenvergleichsmethode eine größere Zahl an unabhängigen Variablen und damit prinzipiell bessere Unterscheidungsmöglichkeiten (Pernicka & Bachmann, 1983). Dieser Vorteil kann ausschlaggebend sein, wenn es sich um ein Untersuchungsgebiet handelt, in dem, wie auch in dieser Arbeit, Lagerstätten mit ähnlichen Isotopenzusammensetzungen vorkommen (Nordwesteifel, Briloner Revier (Sauerland)). Entscheidend ist jedoch in erster Linie die Vereinbarkeit der Bleiisotopie einer Metallgruppe mit solchen Lagerstätten.

5.2a Bleiisotopenvergleiche

Die Bleifunde der Römerlager und vom Schlachtfeld Kalkriese im Vergleich mit römischen Bleierzlagerstätten

Von den Bleifunden der augusteischen Römerlager in der *Germania Magna* (s. Kapitel 2.2, 4.1) liegen insgesamt 147 Bleiisotopenanalysen vor. Die Bleiisotopenmessungen von fünfzig Bleiobjekten aus der Römersiedlung Waldgirmes (Kreis

Gießen) und dem Militärlager Dangstetten (Kreis Waldshut) sind den Provenienzstudien von Soodabeh Durali-Müller entnommen (Durali-Müller, 2005). Die Messergebnisse der vom Verfasser analysierten Bleifunde der Militärlager an der Lippe und Werra und vom Schlachtfeld Kalkriese sind in Kapitel 9.1b aufgelistet. Der Übersicht halber werden die Objekte der Lager des Oberaden-Horizontes (ca. 12 bis 8/7 v. Chr.) und die des Haltern-Horizontes (um die Zeitenwende bis 9 n. Chr.) in den Abb. 5.1 und 5.2 getrennt beobachtet. Als Diagramme werden die Varianten $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vorgestellt.

Abbildung 5.1 zeigt die Verteilung der Drusus-zeitlichen Bleifunde (12 bis 8 v. Chr.). Im $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm zeigt sich eine deutliche vertikale Streuung der Daten. Dies gilt vor allem innerhalb der Dangstetten-Fundgruppe. Die Objekte von Oberaden zeigen dort eine engere Gruppierung. Die Auffächerung der Daten in dieser Diagrammvariante ist das Resultat unterschiedlicher Anteile thorogener Bleis (^{208}Pb) in den Bleiprobe. Solche Bleiobjekte mit höheren $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnissen, seien sie von Dangstetten oder Oberaden, stammen aus Bleierzen, deren Muttergestein höhere Th-Gehalte aufwies als das der Bleierze, aus denen die Bleiobjekte mit niedrigeren $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnissen geschmolzen worden sind. Sie fallen damit auch aus dem in beiden Diagrammen der Abb. 5.1 mit einer violettblauen Ellipse unterlegten Datencluster heraus.

Schon vor dem Vergleich dieser Bleifunde mit den in Frage kommenden Rohstoffquellen kann man deshalb wahrscheinlich von mindestens zwei verschiedenen Rohstoffquellen ausgehen. Die Bleiisotopen-Entwicklungskurven in der Erdkruste nach Stacey und Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) in Abb. 5.1 verdeutlichen diese Feststellung. Beide Modelle unterscheiden sich dahingehend, dass das erste von einer zweistufigen Entwicklung im Verlauf der Erdgeschichte ausgeht („episodische“ Bleientwicklung), das zweite von einem kontinuierlichen Wandel der Milieubedingungen durch stetigen Stoffaustausch zwischen Kruste und Mantel („offene“ Bleientwicklung). Das Datencluster der Bleifunde, die im Grunde die Bleiglianze repräsentieren, aus denen sie geschmolzen wurden, befindet sich im Bereich der Entwicklungslinien der für Krustendurchschnitte berechneten Modelle. Dies ist z.B. der Fall für die Buntmineralisationen des Rheinischen Schiefergebirges (Krahn, 1988, Wagner, 1999). Die oberhalb der

Kurven liegenden Bleifunde im unteren Diagramm stammen von Muttergesteinen, deren Bleiisotopenentwicklung vom Krustendurchschnitt abweicht.

Die Bleiartefakte der jüngeren Römerlager in Abb. 5.2 besitzen eine breite Streuung entlang der x-Achse. Eine größere Vertikalverteilung der Messdaten wie in Abb. 5.1 ist lediglich für wenige Objekte im linken Randbereich des unteren Diagramms erkennbar. Gruppierungen der Objekte einzelner Lager sind nicht erkennbar. Die Proben rechts der divergierenden Daten plotten wie die Bleifunde des Datenclusters in Abb. 5.1 in beiden Diagrammen der Abb. 5.2 entlang der Pb-Isotopenentwicklungskurven für krustales Blei nach Cumming & Richards (1975) (CR) und Stacey & Kramers (1975) (SK). Die Bleifunde könnten demzufolge aus Bleierzen geschmolzen worden sein, die zwar verschiedene Alter haben, aber einem gemeinsamen Muttergestein entstammen. Diese Situation trifft für die variszischen und postvariszischen Bleiglianze des Rheinischen Schiefergebirges zu (Schaeffer, 1984, Höhndorf et al., 1984, Bielicki & Tischendorf, 1991, Krahn & Friedrich, 1991 u.a.). Die für die Bleiproduktion anteilmäßig dominanten Lagerstätten, aus denen die Bleimetalle geschmolzen wurden, können genau dort in den Diagrammen liegen, wo die mit violetten Ellipsen unterlegten Datencluster liegen. Eine Datenkonzentration befindet sich zwischen den $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Werten 0,849 und 0,853, eine weitere zwischen den $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Werten 0,856 und 0,861. Die an thorogenem Blei reicheren Bleifunde der Abb. 5.1 und Abb. 5.2 sollten jeweils aus einer weiteren Quelle stammen. Dass sie aus Bleierz einer einzigen Lagerstätte produziert wurden, ist aufgrund der heterogenen Modelalter, die solche Bleifunde liefern, unwahrscheinlich.

Hier bleibt also festzuhalten, dass alleine aufgrund der Verteilung der Bleifunde in den vorgestellten Diagrammen wichtige Aussagen bezüglich der Anzahl und auch der Lage der Bleiliefergebiete zu treffen sind. Die Zonen der dicht gedrängten Messdaten (violette Ellipsen) verkörpern allem Anschein nach die Bleizusammensetzung der hauptsächlich an der Bleiproduktion beteiligten Bleierzlagerstätten. Da sie auf den Bleientwicklungskurven für die Erdkruste der oben genannten Autoren liegen, müssen die lokalen Bleierzlagerstätten des Rheinischen Schiefergebirges als Quelle in Betracht gezogen werden, da sie diesen berechneten Trends folgen. Zwei weitere Quellen außerhalb des Rheinischen Schildes sind

aufgrund der Lage der Bleifunde mit höheren $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnissen in den Abb. 5.1 und 5.2 wahrscheinlich.

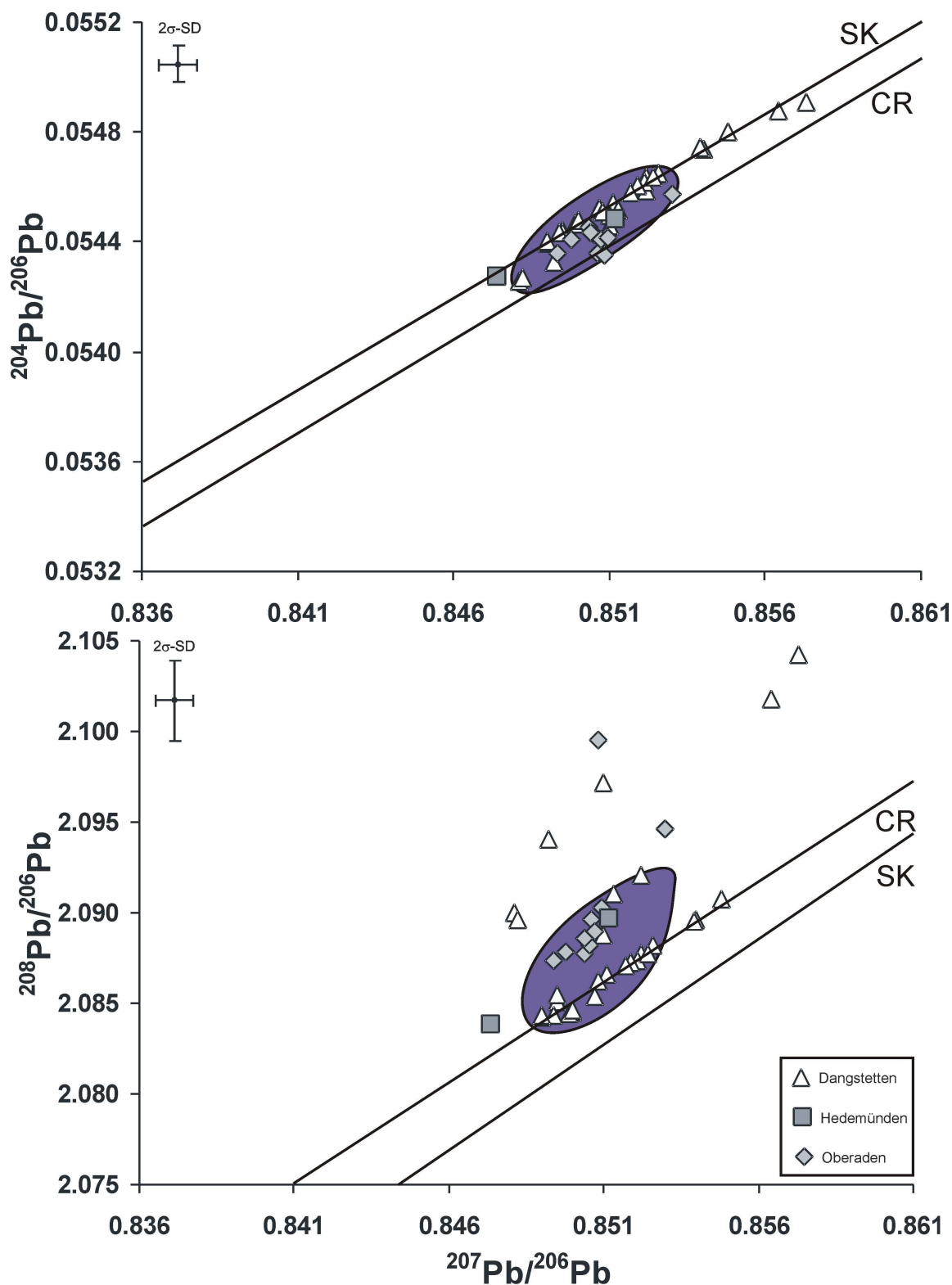


Abb. 5.1: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte aus den augusteischen Römerlagern des Oberaden-Horizontes (Bleiobjekt-daten von Dangstetten: Durali-Müller, 2005). Mit eingetragen sind die Kurven der Pb-Isotopenentwicklung in der Erdkruste nach Stacey & Kramers (SK) (1975) und Cumming & Richards (CR) (1975). Violettblau unterlegt sind die Datencluster der römischen Bleifunde.

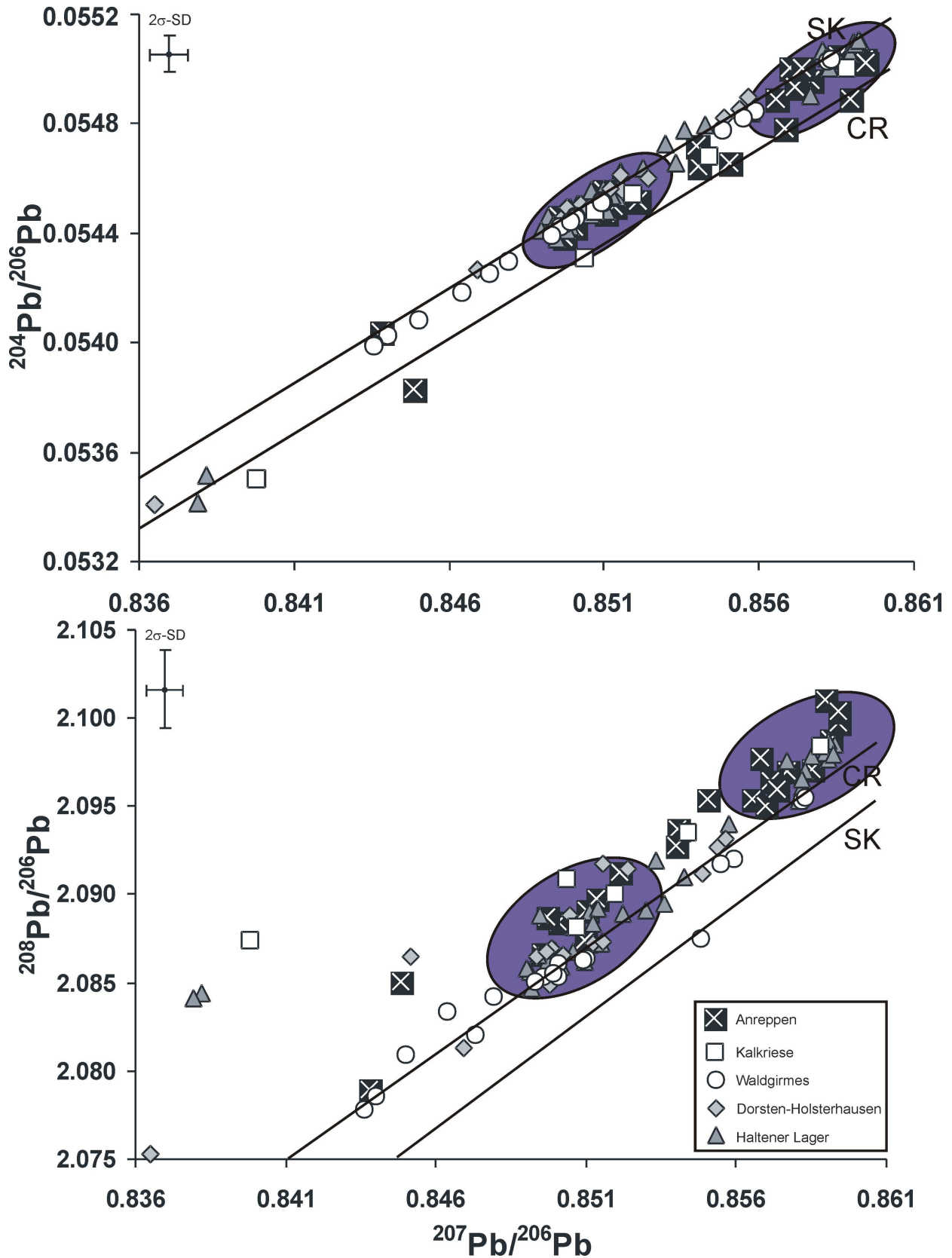


Abb. 5.2: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der augusteischen Römerlager des Haltern-Horizontes und vom Schlachtfeld Kalkriese (Bleiobjektdata von Waldgirmes: Durali-Müller, 2005). Mit eingetragen sind die Kurven der Pb-Isotopenentwicklung in der Erdkruste nach Stacey & Kramers (SK) (1975) und Cumming & Richards (CR) (1975). Violettblau unterlegt sind die Datencluster der römischen Bleifunde.

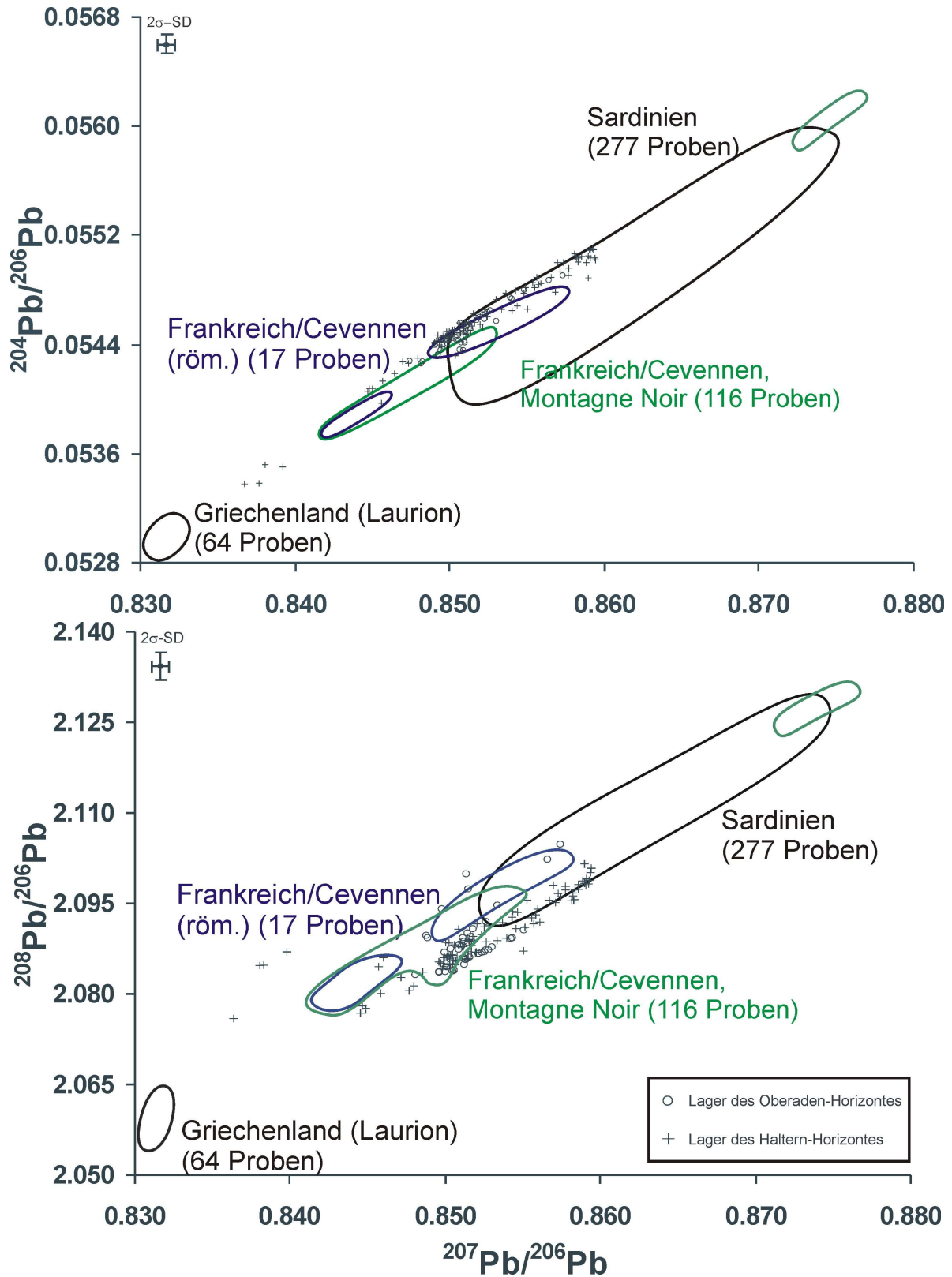


Abb. 5.3: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der augusteischen Römerlager der Germania Magna und vom Schlachtfeld Kalkriese im Vergleich mit den Bleierzlagerstätten Sardiniens und den römerzeitlichen Bleierzlagerstätten der Cevennen (Frankreich, blau) (La Rabasse, Trèves, Villemagne, Le Bleyard, Vialas, L'Argentière), weiteren Lagerstätten der Cevennen und Montagne Noir (grün) und Griechenlands (Laurion) (Barnes et al., 1974, Gale, 1980, Brevart et al., 1982, Swainbank et al., 1982, Boni & Koeppel, 1985, Charef, 1986, Dayton & Dayton, 1986, Gale & Stos-Gale, 1987, Chalkias et al., 1988, Ludwig et al., 1989, Le Guen et al., 1991, Sinclair et al., 1993, Stos-Gale et al., 1995, Valera et al., 2005, Baron et al., 2006) (Bleiobjektdaten von Dangstetten/Waldgirmes: Durali-Müller, 2005).

Trincherini et al. (2001) zählen in Südfrankreich Le Bleymard, Vialas, Mont Faulat und La Rabasse zu den möglicherweise überregional bedeutenden römerzeitlichen Lagerstätten. Davies (1935) nennt weitere Lokalitäten mit römischen Bergbauspuren (s. Abb. 3.5), von denen aber keine Bleiisotopendaten vorliegen. Die Stellung der sardischen Bleierze als Ressource ist noch völlig offen. Man vermutet am ehesten in der späteren römischen Kaiserzeit einen Zugriff auf die Rom nahegelegenen Lagerstätten. Bleierzbergbau in Griechenland spielte zu dieser Zeit sehr wahrscheinlich keine Rolle mehr (s. Kapitel 3).

Eine anschauliche Übereinstimmung der römischen Bleifunde aus Germanien mit den in Abb. 5.3 eingezeichneten antiken Bleierzlagerstätten von Griechenland, Sardinien und Südfrankreich ist nicht erkennbar. Die Messdaten der Bleifunde liegen in beiden Diagrammen bestenfalls im Randbereich des gemeinsamen Isotopenfeldes der Lagerstätten von Sardinien. Für die für die frühkaiserzeitliche Bleigewinnung wichtigen Bergbaureviere von Frankreich in den Cevennen und in der Montagne Noir, seien sie im einzelnen römerzeitlich (blaue Felder) oder nicht, gilt dies vor allem für das $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm. Laurion in Griechenland kann in beiden Diagrammen der Abb. 5.3 als Rohstoffquelle mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Dass die Geschichte des römischen Bleierzbergbaus in Frankreich nur lückenhaft bekannt ist und zu mehreren alten Bergbauen in den Cevennen und in der Montagne Noir keine Isotopenuntersuchungen existieren, muss in der Interpretation der Abb. 5.3 berücksichtigt werden. Deshalb gilt es, für andere Bergbaugebiete im Römischen Reich eine überzeugendere Koinzidenz mit den Bleifunden aus den germanischen Militärlagern zu finden.

Bei dem Vergleich der römischen Bleifunde aus den augusteischen Militärlagern Germaniens mit den zur Zeit der Römischen Republik und beginnenden Römischen Kaiserzeit wirtschaftlich bedeutenden Bleifeldern der Sierra Morena und der Region um Cartagena-Mazzaròn auf der Iberischen Halbinsel (Abb. 3.7), von dort stammen alle bekannten Bleibarren der Römischen Republik (Grögler et al., 1966, Begemann & Schmitt-Strecker, 1994, Pinarelli et al., 1995, Trincherini et al., 2001, Piccotini et al., 2003, Rodá, 2004, Domergue et al., in Druck), zeigen die Bleifunde entweder eine direkte Übereinstimmung mit den Bleierzen oder lassen sich als Mischungen dieser beiden Lagerstätten erklären (Abb. 5.4)

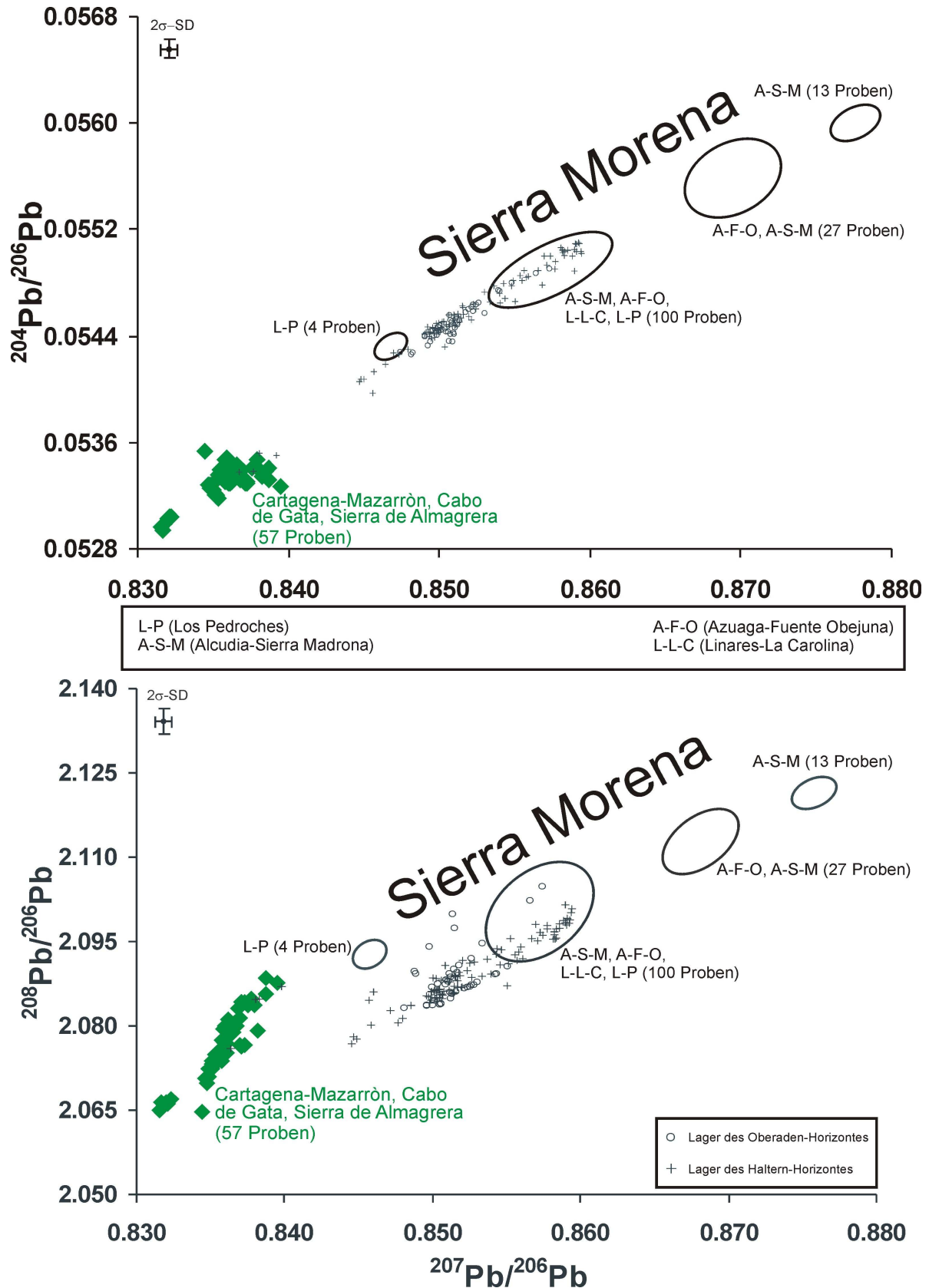


Abb. 5.4: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der augusteischen Römerlager der Germania Magna und vom dem Schlachtfeld Kalkriese im Vergleich mit den republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarrón, Sierra Morena) (Graeser & Friedrich, 1970, Dayton & Dayton, 1986, Lillo, 1992, Arribas & Tosdal, 1994, Stos-Gale et al., 1995, Tornos et al., 1996, Trincherini et al., 2001, Santos Zalduegui et al., 2004, Tornos & Chiaradia, 2004) (Bleiobjektdaten von Dangstetten/Waldgirmes: Durali-Müller, 2005).

Die Bleiisotopenfelder von Azuaga-Fuente Obejuna und Alcudia-Sierra Madrona, beides Regionen in der Sierra Morena, können aufgrund fehlender Übereinstimmung mit den Bleiobjekten als Quelle vernachlässigt werden, trotzdem dort auch um die Zeitenwende Blei produziert wurde (Domergue, 1987b). Das Gebiet von Linares-La Carolina ist aufgrund der Bleiisotopenvergleiche das denkbarere Liefergebiet für das untersuchte Blei innerhalb der Sierra Morena. Bei Linares-La Carolina gibt es zwei bekannte Verhüttungsplätze, die um die Zeitenwende besetzt waren, mit Bleiglanz-, Bleiglätte- und Bleimetallfunden (El Centenillo, Fuente Espi) (Domergue, 1987b). Die Münzfunde datieren bis ins Jahr 42 n. Chr. (Sandars, 1905).

Für wenige Objekte kommen auch die Bleierze der Region Los Pedroches in der Sierra Morena als Rohstoffquelle in Frage. Es sind solche mit höheren $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnissen im unteren Diagramm der Abb. 5.4, die sich zwischen den beiden potentiellen Bleiisotopenfeldern der Sierra Morena verteilen. Los Pedroches ist durch vorrömischen Kupferbergbau bekannt (Domergue, 1987b). Es gibt aber zwei Bleiminen, die in römischer Zeit befahren wurden, wobei in einem Bergwerk („Las Torcas“) auch zwei römische Bleibarren gefunden worden sein sollen (Meier, 1995). Die genaue Zeitstellung des Betriebs in den Minen ist nicht bekannt (Meier, 1995). Die römischen Objekte liegen ebenso auf einer weiter nach links verlängerten Mischungslinie, die die Bleierze der Region um Cartagena-Mazarrón miteinschließen. Da das Blei von vier Bleifunden mutmaßlich von dort stammt, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass auch die Bleifunde entlang der Mischungslinie mit Blei aus Cartagena gemischt sind. Festzuhalten bleibt, dass ein Teil des Bleis der Militärlager mit großer Wahrscheinlichkeit aus den großen Bergbaurevieren der südlichen Iberischen Halbinsel nach Germanien gelangte. Dies geschah mit Sicherheit durch die Truppen selbst, die, wie schon Davies (1935) annahm, ein gewisses Kontingent an Blei und anderen Metallen mit sich geführt haben müssen. Für die Bleifunde der Militärlager in Germanien haben aber neben den spanischen Liefergebieten anscheinend auch die Bleierzlagerstätten der Nordwesteifel als Rohstoffquellen gedient. Durali-Müller (2005) zeigte in ihrer Arbeit, dass das Blei des von ihr untersuchten Lagers Dangstetten am oberen Rhein und der Kolonie Waldgirmes im Kreis Gießen teilweise in der Nordwesteifel gewonnen worden sein sollte. Sie schließt daraus, dass der dortige Bergbau sehr früh nach Ankunft der

Römer initiiert wurde, genau, wie es auch aufgrund von Münzfunden in Keldenicher Stollen von Rothenhöfer (2005) vermutet wird (s. Kapitel 3.2).

Das Blei der Funde aus den Haltern-zeitlichen Legionslagern kann auch aus dem um die Zeitenwende initiierten Blei-/Silberbergbau im Bergischen Land kommen (Kapitel 3.2c) und nach neuesten Forschungen eventuell auch aus dem Bergbaurevier von Brilon im Sauerland (Kapitel 3.2b). Die Gegenüberstellung der Artefakte mit diesen lokalen Rohstoffvorkommen wird in Abb. 5.5 und 5.7 entsprechend erweitert.

Abbildung 5.5 zeigt, dass das Datencluster zwischen den $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Werten von 0,849 und 0,853 im Bereich der Bleierze der Nordwesteifel liegt. Nicht nur die Herkunftsuntersuchungen von Durali-Müller (2005) im südlichen Teil der *Germania Magna*, auch die Hinzunahme der Bleifunde aus den westfälischen Legionslagern im Norden bestätigt damit die Vermutung, dass die Nordwesteifel eine wichtige lokale Bleilieferquelle für die römischen Besatzer war. Dies kann mit Sicherheit für die Funde der Lager des Oberaden-Horizontes prognostiziert werden (Daten mit offenen Kreisen). Die im oberen Diagramm aus der Masse der Eifelerze herausfallenden TIMS-Daten stammen von Large et al. (1983) und besitzen nach Bielicki & Tischendorf (1991) und Krahn & Baumann (1996) zu hohe $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse.

Den Provenienzuntersuchungen von Trincherini et al. (2001) an römischen Bleibarren (Cabrera 5-Wrack, Balearen) folgend, wird in der Abb. 5.5 für die Sierra Morena ein gesonderter Blick auf die Lagerstätten von La Carolina (El Centenillo-Minen) im Erzrevier von Linares gerichtet (in den Diagrammen als perforiertes Feld eingefügt). Um die Zeitenwende scheint dieses Bergbaugesamt von überregionaler wirtschaftlicher Bedeutung gewesen zu sein (s.o.) (s.a. Kapitel 3.5). Cabo de Gata südlich von Cartagena-Mazarrón kann aufgrund fehlender Übereinstimmung mit den vier Objekten auf der linken Seite der Diagramme aus den Provenienzuntersuchungen gestrichen werden. Weiterhin werden Bleiglianzdaten vom Bensberger Revier (Grube Lüderich) im Bergischen Land in die Diagramme von Abb. 5.5 geplottet. Fünf von sechs Bleiglianzen liegen in beiden Fällen im Verteilungsfeld der Sierra Morena.

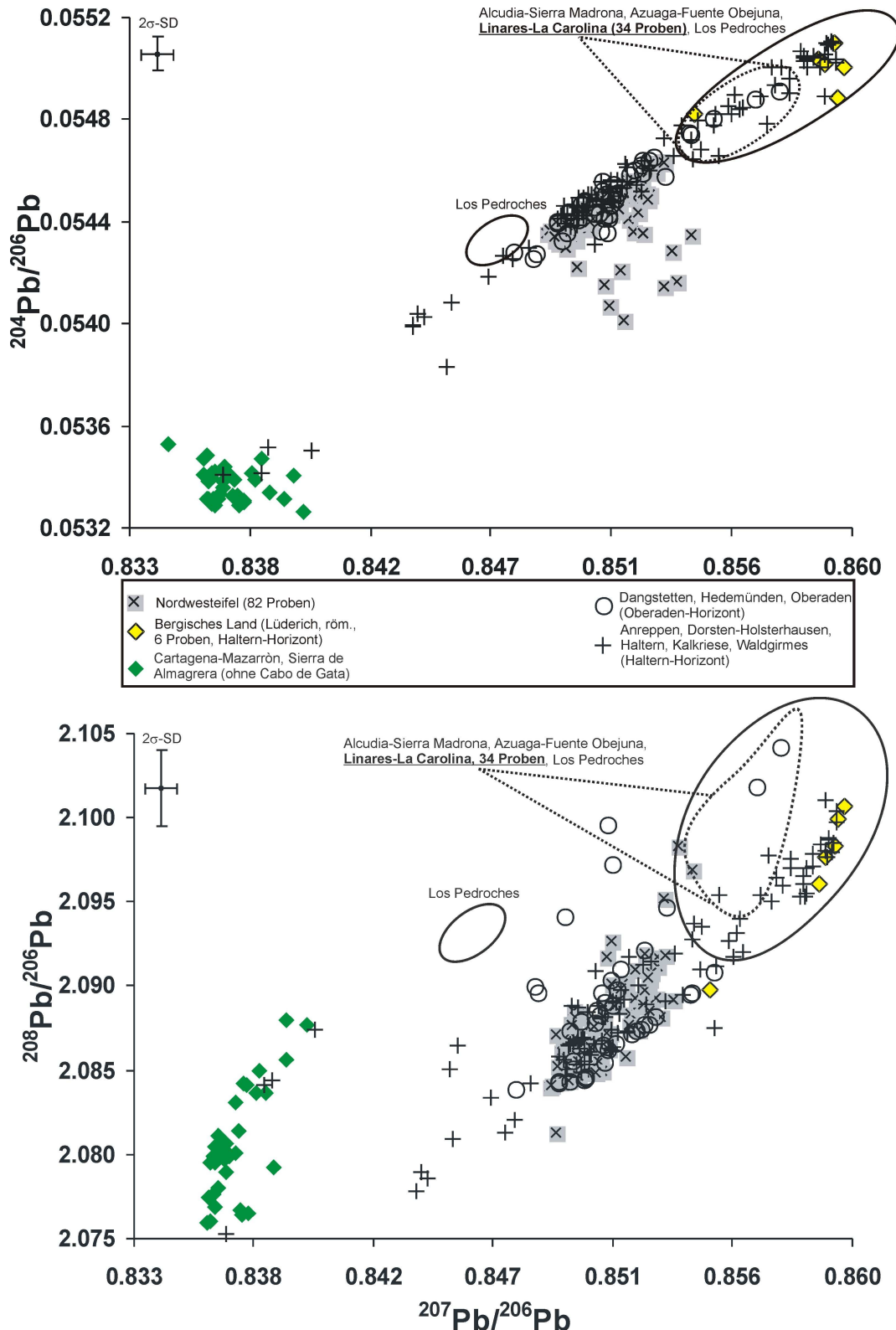


Abb.5.5: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der augusteischen Römerlager der Germania Magna und vom Schlachtfeld Kalkriese im Vergleich mit den potentiellen republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarrón, Sierra Morena) sowie den frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der Nordwesteifel und des Bergischen Landes (Graeser & Friedrich, 1970, Cauet, 1983, Large et al., 1983, Dayton & Dayton, 1986, Krahn, 1988, Bielicki & Tischendorf, 1991, Zwicker et al., 1991, Lillo, 1992, Arribas & Tosdal, 1994, Schneider, 1994, Stos-Gale et al., 1995, Krahn & Baumann, 1996, Tornos et al., 1996, Trincherini et al., 2001, Santos Zalduegui et al., 2004, Tornos & Chiaradia, 2004, Durali-Müller, 2005, eigene Daten) (Bleiobjektdaten von Dangstetten/Waldgirmes: Durali-Müller, 2005).

Nur zwei Bleiobjekte des Oberaden-Horizontes liegen innerhalb des Bleifeldes von Linares-La Carolina im unteren Diagramm der Abb. 5.5. Die übrigen Bleifunde der frühen Römerlager, die nicht im Feld der Nordwesteifel plotten, sind als Mischungen von Bleierz von Linares-La Carolina und der Nordwesteifel und von Linares-La Carolina und Cartagena-Mazarròn, theoretisch auch Los Pedroches, interpretierbar. Das Bergische Land mit seiner Blei-/Silbergewinnung am Lüderich kann nicht nur nach archäologischen Gesichtspunkten, sondern auch dem Bleiisotopenvergleich nach, nicht Teil der Bleiversorgung der Römer während der Drususfeldzüge (12 bis 8/7 v. Chr.) gewesen sein.

Die Objekte der Römerlager des Haltern-Horizontes (Kreuz-Symbole) im rechten Bereich der Diagramme der Abb. 5.5 und 5.7, dort, wo sich das zweite Datencluster neben dem im Bereich der Nordwesteifel befindet, können nicht dem Revier von Linares-La Carolina und damit wohl auch nicht der Sierra Morena zugeordnet werden. Sehr anschaulich wird dies im unteren Diagramm von Abb. 5.5 (Abb. 5.7 ohne Sierra Morena). In allen 4 Diagrammen der beiden Abbildungen überlagert sich dieses Cluster mit den Bleiglanzdaten der Grube Lüderich. Besonders der Umstand, dass die Bleifunde nicht rechts dieser Bleiglanzanalysen plotten, sondern nahezu auf einer Linie, macht eine Herkunft dieser Objekte vom Lüderich sehr wahrscheinlich, obwohl nur wenig Bleiglanzproben zur Analyse vorlagen. Die Objekte, die sich zwischen den Datenwolken, die mit der Nordwesteifel und dem Bergischen Land koinzidieren, befinden, sind allem Anschein nach Mischungen beider Reviere. Theoretisch kann für alle Bleiobjekte des Haltern-Horizontes links der Lagerstätte des Bergischen Landes auch Bleierz von Cartagena-Mazarròn in verschiedenen Anteilen involviert sein. Eine potentielle Bleiquelle, die diesem „Mischungsbereich“ zwischen der Nordwesteifel und dem Bergischen Land abdeckt, ist so wenig bekannt wie eine zwischen der Nordwesteifel und Cartagena-Mazarròn.

Die Haltern-zeitlichen Objekte der linken Hälfte der Diagramme von Abb.5.5 und 5.7 liegen also auf mehreren möglichen Mischungspfaden zwischen den Clustern im Bereich der Nordwesteifel und/oder dem Bergischen Land und dem Bergbaurevier um Cartagena-Mazarròn. Vier Objekte plotten direkt mit dem Bleierz von Cartagena-Mazarròn zusammen.

Das meiste Blei stammt, folgt man den beiden Diagrammen der Abb. 5.5, auch nach der Zeitenwende aus der Nordwesteifel (Haltern-Horizont). Daneben fungierte offensichtlich das Bergische Land als weitere lokale Bleiquelle in Germanien. Das lässt den Schluss zu, dass die Römer ihr Blei in „Friedenszeiten“ ausschließlich aus lokalen germanischen Bleiglanzvorkommen bezogen und der Anteil spanischen Bleis in dem Fundmaterial lediglich das von den Truppen mitgeführte Rohblei darstellt.

Neben der Nordwesteifel kann nach Beendigung der Drususfeldzüge um 8 v. Chr. auch das Sauerland als weiteres Bleiliefergebiet für die Römer gedient haben. Vor allem durch die Neufunde eines Bleistückes in Brilon-Altenbüren und eines Barrens in einem Schiffwrack bei Rena Maiore, welche beide denselben Besitzernamen tragen, fällt der Blick zwangsläufig auf das Bergbaugesamt von Brilon (Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Greifbare archäologische Belege für römischen Bergbau gibt es dort sowie anderswo im Sauerland bis heute aber keine (Straßburger, 2007).

Die Bleisotopenvergleiche zwischen den römischen Bleifunden und Bleierzen des Briloner Bergbaureviers können diese Forschungslücke nicht ausfüllen, da das Bleierz der saxonischen Gangvererzungen im nördlichen Sauerland nicht vom dem der Nordwesteifel unterscheidbar ist. Beide Mineralisationen können auf hydrothermale Lösungen mit ähnlicher Bleizusammensetzung zurückgeführt werden (Höhndorf et al., 1984, Schaeffer, 1984, Krahn & Baumann, 1996). Trotzdem soll in diesem Rahmen in Abb. 5.7 bestätigt werden, dass eine Bleiversorgung der Legionäre aus dem Sauerland möglich ist. Das Briloner Bergbaurevier kann wie die Nordwesteifel für die Lager des Haltern-Horizontes ein wichtiges Liefergebiet gewesen sein. Auffällig ist lediglich, dass das Lager von Anreppen nicht hauptsächlich von dort versorgt wurde (vergl. Abb.5.2), liegt es doch in unmittelbarer Nähe der Anhöhen des Briloner Reviers (Abb. 5.6). Das Bergische Land mit den Bleierzen der Grube Lüderich hatte mindestens denselben Anteil an der Bleiversorgung dieses Lagers und liegt dabei über 150 km entfernt.

Der momentane Stand der Forschung lässt jedoch nur Mutmaßungen in dieser Hinsicht zu, nämlich, dass die Militärlager nur von staatlicher Seite versorgt wurden und deshalb nicht mit Blei aus Brilon, wo vielleicht in den zwei Jahrzehnten der römischen Okkupation lediglich durch Privatunternehmer für den Export in den

Mittelmeerraum produziert wurde (Rothenhöfer 2003-2006, Hanel & Rothenhöfer, 2005, 2007). Die Versorgungswege für die Legionäre liefen demzufolge in einem Stützpunkt am Rhein zusammen und von dort wurde das Blei aus den Lagerstätten der Nordwesteifel und des Bergischen Landes verteilt.

Wie in Kapitel 6 gezeigt wird, ist es möglich, dass auch im Bergischen Land (Lüderich) postvariszischer Bleiglanz verhüttet wurde. Zumindest kommt er nach Kirnbauer (1998) im Bensberger-Engelskirchener Revier untergeordnet vor und zwei Bleireste vom Lüderich tragen eine postvariszische Signatur, so dass hier ein indirekter Hinweis vorliegt. Diese Überlegung kommt aber nur für Bleifunde in Frage, die nach der Zeitenwende produziert wurden, also aus dem Halterner Zeithorizont stammen.

Im Laufe der Arbeit hat sich gezeigt, dass sechs Bleiglanzproben aus dem mittelalterlichen Bergbau in Plettenberg im Sauerland eine Bleiisotopenzusammensetzung aufweisen, die mit denen der Nordwesteifel und der Briloner Hochfläche identisch ist. Dieses Revier liegt jedoch abseits der augusteischen Römerlager der Lippe und keinerlei Indizien deuten dort auf antiken Bleierzbergbau. Die Bleianalysen des Plettenberg-Bleierzses werden deshalb in diesem Kapitel nicht berücksichtigt.

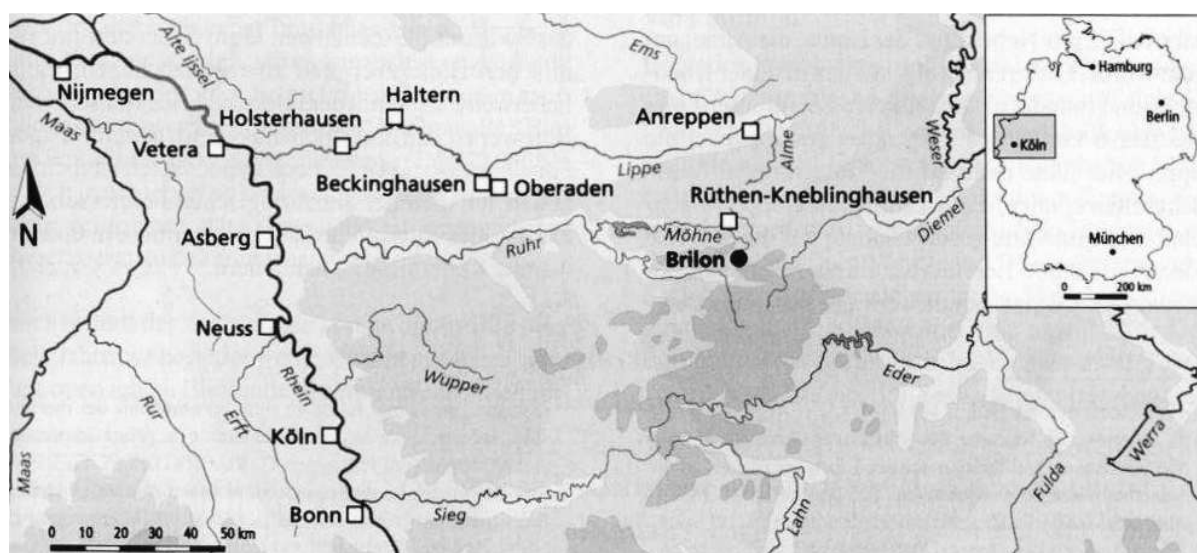


Abb. 5.6: Die römischen Militärlager an Niederrhein und Lippe zur Zeit des Augustus. Südlich von Anreppen befindet sich das historische Bergbaurevier von Brilon (Hochsauerlandkreis) (Karte aus Hanel & Rothenhöfer, 2005).

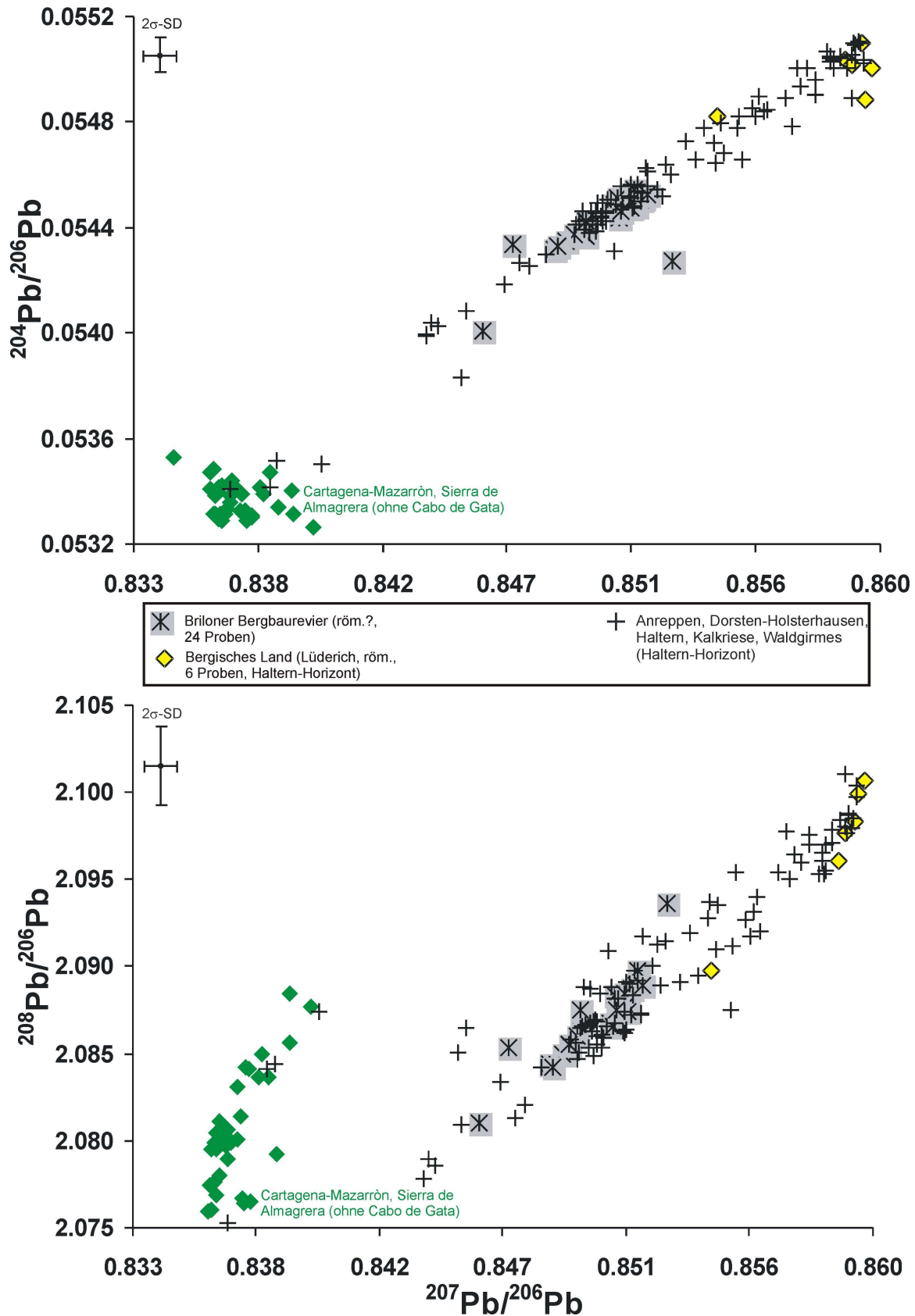


Abb. 5.7: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte aus den augusteischen Römerlagern der Germania Magna des Haltern-Horizontes und vom Schlachtfeld Kalkriese im Vergleich mit Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarrón) und den Bleierzlagerstätten von Brilon und dem Bergischen Land (Graeser & Friedrich, 1970, Schaeffer, 1984, Dayton & Dayton, 1986, Bielicki & Tischendorf, 1991, Zwicker et al., 1991, Arribas & Tosdal, 1994, Stos-Gale et al., 1995, eigene Daten) (Bleiobjektdaten von Waldgirmes: Durali-Müller, 2005).

Die römischen Bleibarren Germaniens im Vergleich mit den augusteischen Bleierzlagerstätten Germaniens, Spaniens und Frankreichs

Die römischen Bleibarren sowie das PVDENS-Bleistück von Brilon-Altenbüren werden nachfolgend auf ihre Herkunft überprüft. Das PVDENS-Bleistück steht, wie in Kapitel 4.1 erläutert wird, in direktem Zusammenhang mit einem einzelnen Bleibarrfund, der zusammen mit 42 anderen mit Wahrscheinlichkeit aus Germanien stammenden Bleibarren im Schiffswrack von Rena Maggiore vor Sardinien gefunden wurde. Die Lagerstättenauswahl in Frankreich beschränkt sich auf die Bleierzanalysen von Les Malines und Mont Faulat in den Cevennen. Von dort könnten nach Trincherini et al. (2001) acht der auch hier in die Bleibarrfundgruppe aufgenommenen Bleibarren von St. Maries-de-la-Mer innerhalb des französischen Gebietes am ehesten stammen. Die Auswahl der Lagerstätten Spaniens und Germaniens ist identisch mit denen der obigen Bleiisotopendiagramme (Abb. 5.3 bis 5.7).

Eine überzeugende bleiisotopische Übereinstimmung der acht von Trincherini et al. (2001) untersuchten Bleibarren von St. Maries-de-la-Mer mit den Bleierzanalysen von Les Malines und Mont Faulat ist in der Abb. 5.8 nicht ersichtlich. Ebenso wie diese Bleibarren (weiße Rauten) liegt auch das mit ihnen in Verbindung stehende Bleibarrfragment von Bad Sassendorf-Heppen (Westfalen) (schwarzer Kasten) im Randbereich der französischen Bleierzanalysen. Weitaus anschaulicher ist eine Zuordnung der Barren zu den Lagerstätten der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviere (Abb. 5.8 und 5.9). Diese Feststellung deckt sich mit der Herkunftsannahme der Archäologen aufgrund der Inschriften der Barren, die auf den germanischen Raum deuten (Rothenhöfer 2003-2006). Von welcher Rheinseite die Exportbarren letztendlich stammen, oder ob Blei sowohl aus dem Sauerland als auch der Eifel exportiert wurde, kann beim geltenden Forschungsstand nicht entschieden werden. Es ist auch möglich, dass Bleibarren dieser Bleiisotopenzusammensetzung aus dem Bergischen Land stammen, wo untergeordnet (!) postvariszischer Bleiglanz ansteht.

Der Halterner Barren der 19. Legion (v. Schnurbein, 1971) (offener Kreis), dies wird besonders in den unteren Diagrammen der Abb. 5.8 und 5.9 unterstrichen, kommt mit großer Wahrscheinlichkeit aus dem Bergischen Land (Grube Lüderich). Dieses

Ergebnis verwundert nicht, stammt doch das Blei einer nicht unerheblichen Anzahl an Bleifunden der augusteischen Römerlager von dort. Eine Herkunft des Barrens aus den Bergbaurevieren der Sierra Morena (Spanien) ist zwar auch möglich, aber aus ökonomischen Gründen sehr unwahrscheinlich.

Vom sardischen Schiffwrack bei Rena Maggiore wurden insgesamt fünf Bleibarren beprobt (graue Dreiecke). Ein Bleibarren besitzt die für römische Bleibarren der frühen römischen Kaiserzeit typische trapezoide Form. Er trägt eine Inschrift, die ihn aus Germanien und aus der augusteischen Zeit stammend einordnet und gehört zu den obig erwähnten 42 Bleibarren (Kapitel 4.1). Die anderen sind flach, rechteckig und ohne Inschrift (Riccardi & Genovesi, 2002). Der Bleibarren mit Beschriftung könnte durchaus den von Trincherini et al. (2001) in Frankreich für die St. Maries-de-la-Mer-Barren favorisierten Lagerstätten entstammen (Abb. 5.8). Die eindeutige Herkunft laut Inschrift und die überzeugende Übereinkunft mit den Lagerstätten von Brilon (Sauerland) und der Eifel in den Abb. 5.8 und 5.9 sprechen aber mit aller Deutlichkeit dagegen, zumal innerhalb des Reviers von Les Malines römischer Bergbau bis dato nicht bezeugt ist (Trincherini et al., 2001).

Das PVDENS-Bleistück von Brilon-Altenbüren kann durchaus aus Bleierz des Briloner Bergbaureviers geschmolzen worden sein (Abb. 5.9). Dies bedeutet, dass der Einzelbarren vom Rena Maggiore-Schiffwrack mit PVDENTISGERM-Stempel (s. Kapitel 4.1) auch von dort kommen kann. Diese erst seit kurzem bekannte Verbindung ist momentan das gewichtigste Indiz für römischen Bergbau im Sauerland um die Zeitenwende!

Eine greifbare Zuordnung der vier Barren von Rena Maggiore, die keine Inschriften tragen, ist nicht möglich. Theoretisch könnte man sie als Mischung aus den spanischen Bleierzlagerstätten der Sierra Morena und Cartagena-Mazarrón definieren (Abb. 5.8 und 5.9). Bis jetzt sind aber nur Bleibarren aus der römischen Zeit bekannt, die die Signatur nur einer Lagerstätte besitzen (z.B. Begemann & Schmitt-Strecker, 1994, Pinarelli et al., 1995, Trincherini et al., 2001, Piccotini et al., 2003). Da aber Produzenten- und Herkunftsstempel fehlen, muss dies für sie nicht zutreffen. Dass die Bleibarren aus der Nordwesteifel oder dem Briloner Revier stammen, wird anhand der Bleiisotopenvergleiche zumindest nicht deutlich.

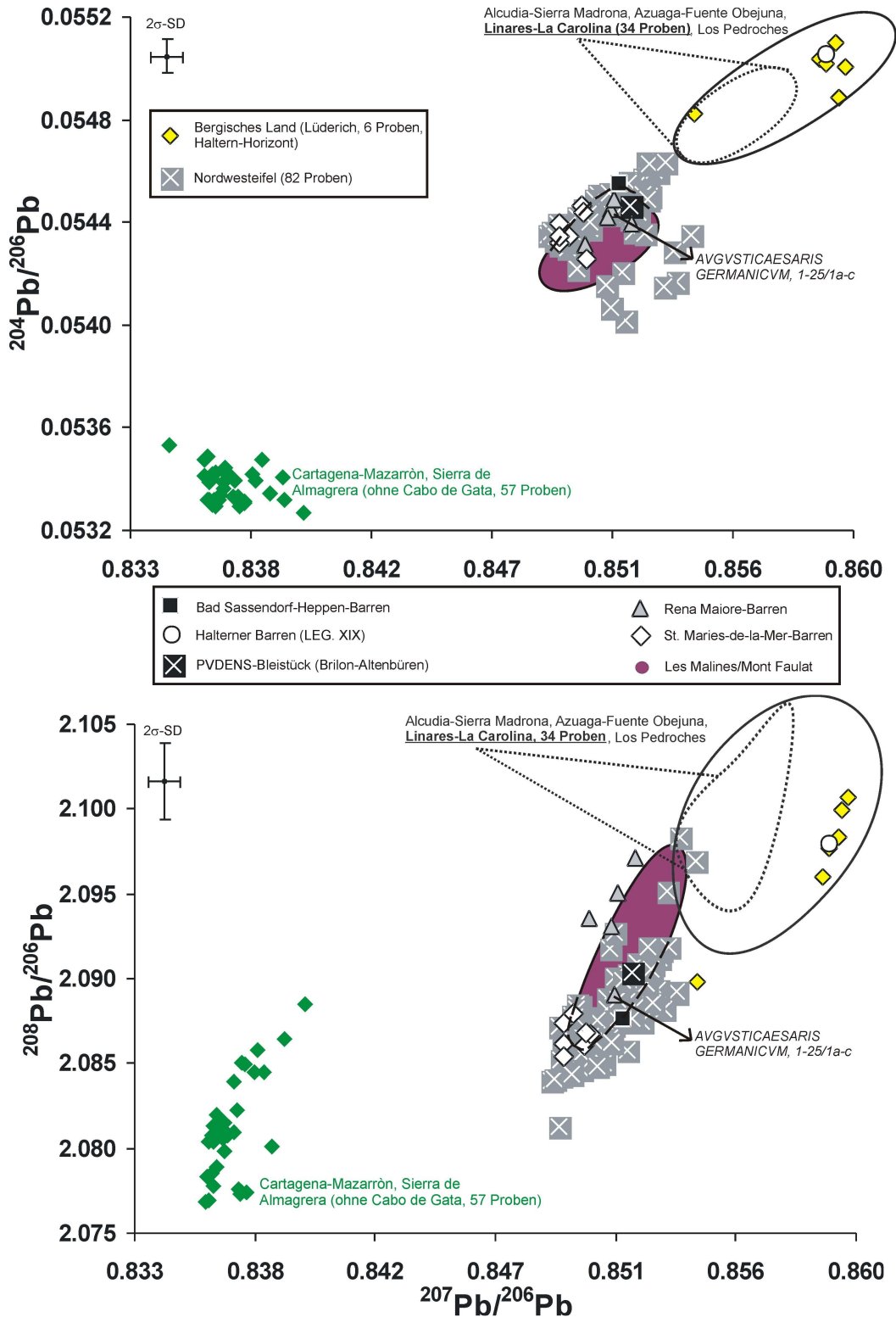


Abb. 5.8: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der in dieser Arbeit vorgestellten römischen Bleibarren und des PVDENS-Bleistücks im Vergleich mit den potentiellen republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarrón, Sierra Morena) und den frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten von Nordwesteifel und Bergisches Land sowie von Les Malines und Mont Faulat in Südfrankreich (Graeser & Friedrich, 1970, Brevart et al., 1982, Cauet, 1983, Large et al., 1983, Charef, 1986, Dayton & Dayton, 1986, Krahn, 1988, Le Guen et al., 1991, Bielicki & Tischendorf, 1991, Zwicker et al., 1991, Lillo, 1992, Sinclair et al., 1993, Arribas & Tosdal, 1994, Schneider, 1994, Stos-Gale et al., 1995, Krahn & Baumann, 1996, Tornos et al., 1996, Trincherini et al., 2001, Santos Zalduegui et al., 2004, Tornos & Chiaradia, 2004, Durali-Müller, 2005, eigene Daten) (Bleibarrdaten von St. Maries-de-la-Mer: Trincherini et al., 2001).

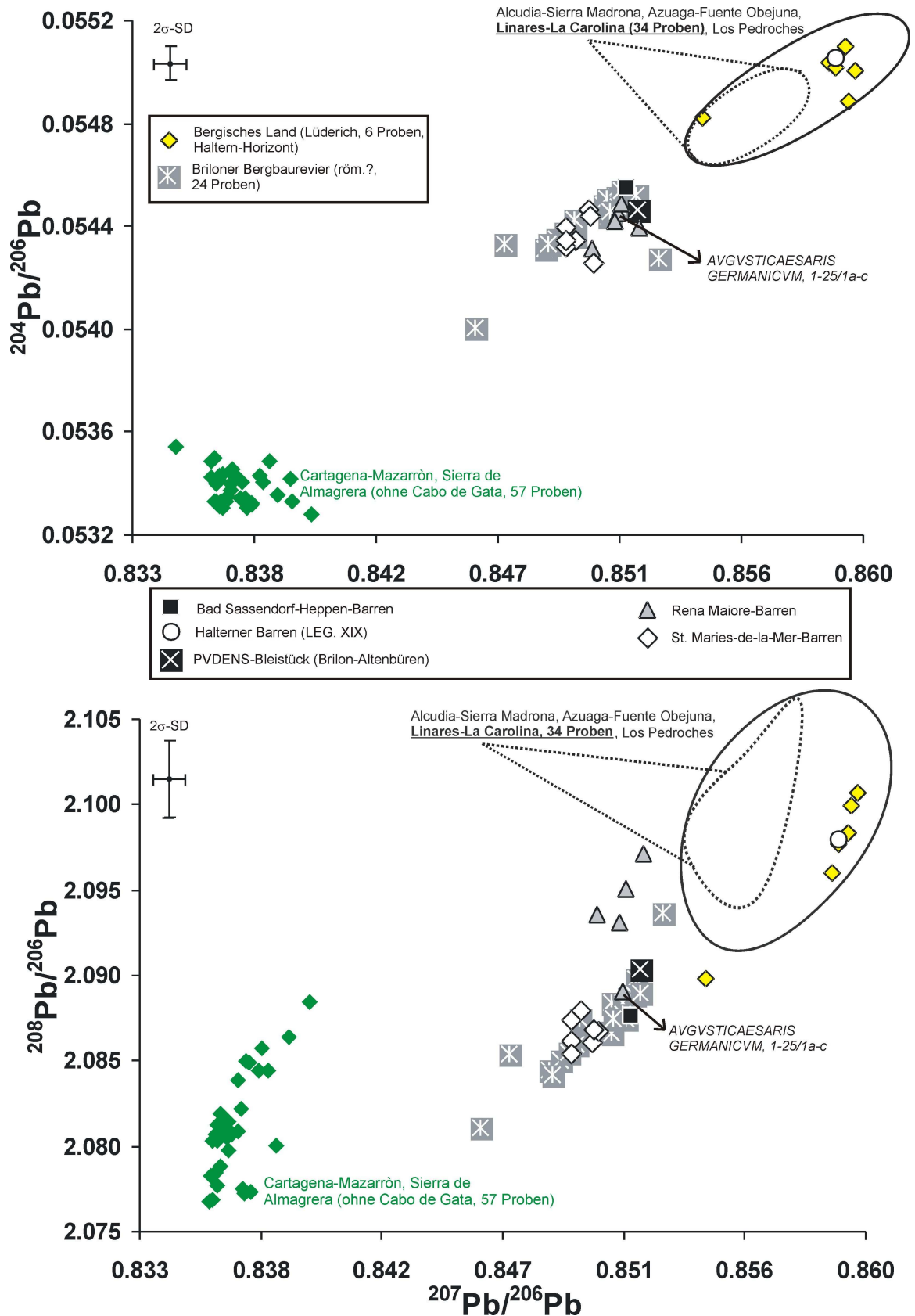


Abb. 5.9: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der in dieser Arbeit vorgestellten römischen Bleibarren und des PVDENS-Bleistücks im Vergleich mit den potentiellen republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarrón, Sierra Morena) und den Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaubereiches von Brilon und des Bergischen Landes (Graeser & Friedrich, 1970, Schaeffer, 1984, Dayton & Dayton, 1986, Bielicki & Tischendorf, 1991, Zwicker et al., 1991, Arribas & Tosdal, 1994, Stos-Gale et al., 1995, eigene Daten) (Bleibarendaten von St. Maries-de-la-Mer: Trincherini et al., 2001).

Trotzdem kann man in Anbetracht der Größe der Fehlerbalken eine Herkunft von dort nicht ausschließlich (Abb. 5.8 und 5.9). Festzuhalten bleibt, dass sich diese vier Bleibarren von den anderen abheben, da sie keine Inschriften führen. Sie wurden wahrscheinlich als reiner Ballast in den Schiffsbäuchen mitgeführt.

Die „germanischen“ Kleinbarren im Vergleich mit den Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon

Weit über die Hälfte der gut 70 in Kapitel 4.2 vorgestellten „germanischen“ Kleinbarren aus dem 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. stammt aus dem historischen Bergbaurevier von Brilon (Sauerland) (s. Abb. 1.3). Allen Barrenfunden ist gemein, dass sie mit Siedlungsspuren in Zusammenhang gebracht werden können. Gussreste als Spuren der Bleiverarbeitung sind die Regel. Eine verlässliche Auskunft über die Zahl, die Verteilung und die Struktur der Siedlungen ist aber noch nicht möglich (Straßburger, 2007). Bergbauaktivitäten aus jener Zeit wurden bislang nicht ausgemacht, werden aber auch nicht ausgeschlossen (Melzer & Pfeffer, 2007, Rothenhöfer, 2007). Flächenhaft auftretende Buntmetallschlacken, sowohl in der Soester Börde als auch auf der Briloner Hochfläche, zeugen zumindest für eine intensive Buntmetallproduktion in der Vergangenheit. Eine Auskartierung der betroffenen Gebiete und die zeitliche Einordnung der Schlacken steht aber noch aus.

Aufgrund der Funddichte der „germanischen“ Kleinbarren im Raum Brilon und den dort zahlreich anzutreffenden Bleierzlagerstätten wurde versucht, möglichst viel Bleiglanzmaterial aus diesem Gebiet zu sammeln. Da die beprobten „germanischen“ Kleinbarren nur geringe Variationen in der Bleiisotopie aufweisen (Abb. 5.10), ist es gut möglich, dass sie aus Bleierz derselben Lokalität geschmolzen wurden.

Als wichtiges Bergbaurevier im Sauerland sticht das Ramsbecker Revier hervor. Die Bleiisotopenanalysen aus der Literatur und der eigenen Probennahmen lieferten jedoch, wie auch die Messungen zahlreicher anderen Bleiglanze von Sauerländer Bleierzlagerstätten, keine überzeugende Übereinstimmung mit den „germanischen“ Kleinbarren. Die für diese Arbeit analysierten Bleiglanzproben aus dem Sauerland sind in den Tab. 9.3 bis 9.8 aufgelistet. Eine Ausnahme bilden die Bleiglanze vom Plettenberg (Märkischer Kreis), wie auch schon für den Isotopenvergleich mit den römischen Bleifunden festgestellt wurde. Weil aber jegliche Zeugnisse antiker

Besiedlung dort fehlen, ist eine Herkunft der Kleinbarren von dort momentan nicht vorstellbar.

Auf der Briloner Hochfläche können nach Auswertung der Messergebnisse die Bleivererzungen des Scharfenbergs, der Grube Kanzlei, von der Lokalität Schlammkaulen und Nüllstein sowie vom Steinbruch „Am Kirchloh“ als Rohstoffquellen für die „germanischen“ Kleinbarren gedient haben (Abb. 3.3). Die Übereinstimmung zwischen Bleierz dieser Lokalitäten und den Barren ist in beiden Diagrammen der Abb. 5.10 sehr überzeugend. Demnach ist eine eigene Bleiproduktion der Einheimischen auf der Briloner Hochfläche auch ohne direkten Feldbeleg sehr gut vorstellbar. Da die Bleigewinnung dem heutigen Kenntnisstand nach ein ganz neuer Wirtschaftszweig für die „Germanen“ gewesen ist, wird sich der Bergbau wahrscheinlich nicht parallel an verschiedenen Stellen im Sauerland entwickelt haben.

Dass es sich bei den „germanischen“ Kleinbarren um importiertes Blei aus den römischen Provinzen handelte, ist nur schwer denkbar, da deren Gewicht stark schwankte (zwischen 400 und 800 g) und dies für römische Handelsware, wie z.B. römische Bleibarren, ungewöhnlich wäre (z.B. Weisgerber et al., 2007). Des Weiteren sprechen die eher unordentlich gegossenen Barren nicht für eine römische Fertigung.

Obwohl sich die 10 Kleinbarren von Balve-Garbeck sowohl in Form als auch der Bleiisotopenzusammensetzung in die Gruppe der übrigen Barren einfügen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie eventuell aus den Lagerstätten um Balve-Garbeck stammen. Rehren (1998) vergleicht die von ihm an den Barren ermittelten Ag-Gehalte mit den Ag-Konzentrationen aus Bleierzen dieser Lagerstätten und findet Parallelen. Leider waren diese Bleierzproben bzw. weiteres Probenmaterial für eine Bleiisotopenuntersuchung nicht zugänglich, um seine Vermutung zu bestätigen.

Festzuhalten bleibt, dass sowohl aufgrund der Fundkonstellation als auch der Bleiisotopenvergleiche, die „germanischen“ Kleinbarren sehr wahrscheinlich auf der Briloner Hochfläche produziert wurden. Entweder wurden sie in den direkt anliegenden Siedlungen weiterverarbeitet oder zu Buntmetallwerkstätten wie die in

Soest abtransportiert. Ob die Handwerker vornehmlich für den Export in die Rheinprovinzen arbeiteten oder für den heimischen Markt, wird zur Zeit noch diskutiert (z.B. Melzer & Pfeffer, 2007, Rothenhöfer, 2007).

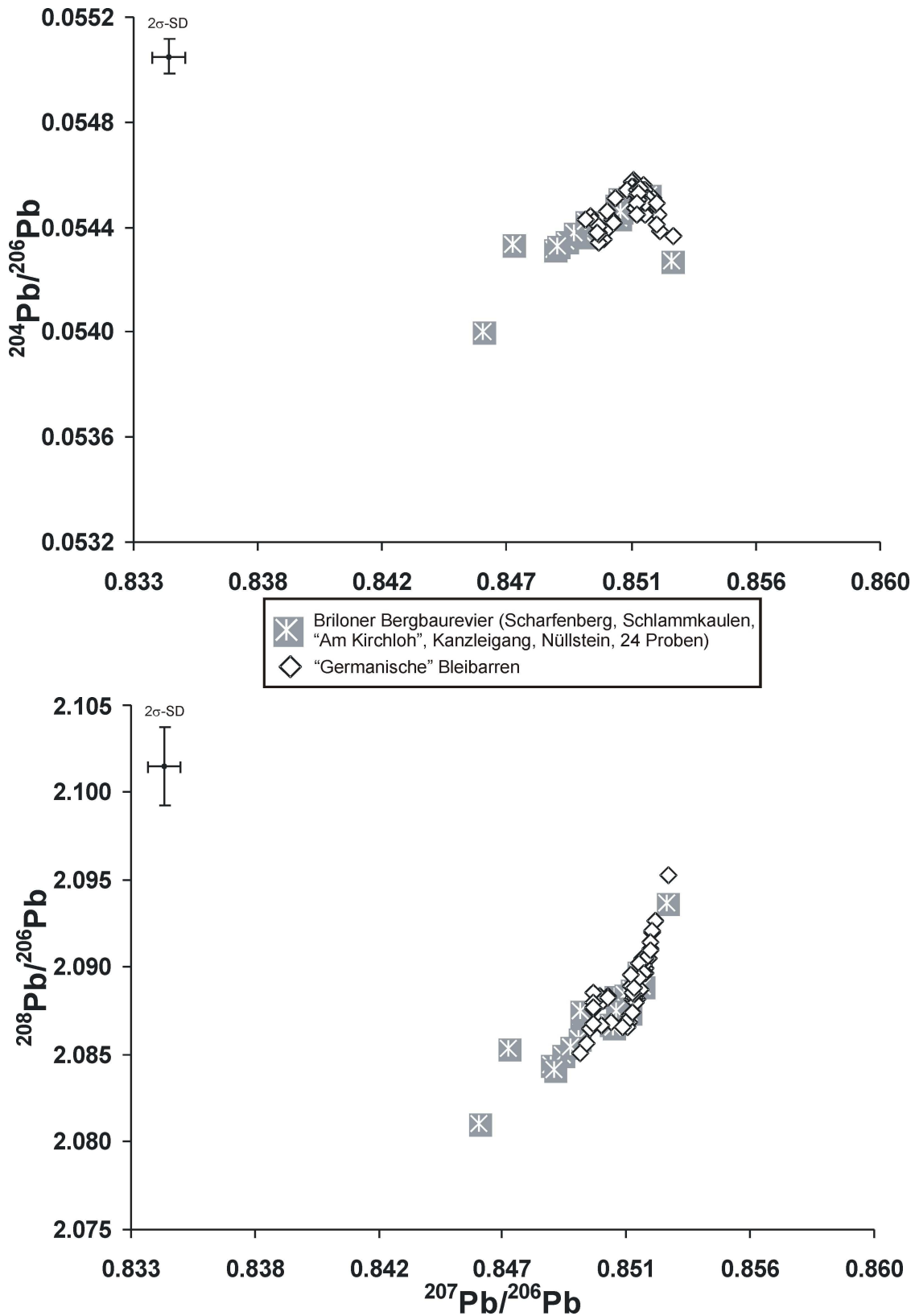


Abb. 5.10: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der „germanischen“ Kleinbarren Westfalens und der Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon (Schaeffer, 1984, eigene Daten, s.a. Bode et al., 2007).

Weitere Bleifunde aus den „germanischen“ Siedlungen Westfalens im Vergleich mit den lokalen Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon

Es ist durchaus möglich, dass fast alle in der Abb. 5.11 vorgestellten 36 Bleifunde der westfälischen Siedlungen aus Bleierzen des Briloner Reviers hergestellt worden sind. Dies würde bedeuten, dass diese Objekte aus dem Blei der hier vorgestellten „germanischen“ Kleinbarren gegossen worden sind. Es unterstützt die Annahme, dass die Barren für den Abtransport in die Verarbeitungswerkstätten produziert wurden und damit keine eigenständige Funktion hatten. Es ist schwierig, den meisten der beprobten Bleiobjekte einen Zweck zuzuordnen, vor allem, wenn es sich um Fragmente handelt. Funde von Blechresten haben z.B. die Frage aufgeworfen, ob nicht schon in der frühen Römischen Kaiserzeit Salz in Soest gewonnen wurde (Melzer & Pfeffer, 2007, s. Foto 2.4).

Die wenigen Objekte, die nicht mit den Bleiglanzdaten von Brilon kongruent sind, ebenfalls lokalen Bleierzlagerstätten im Sauerland zuzuordnen, ist schwierig. Es fehlt hier grundsätzlich für die Vererzungen des Sauerlandes an einer entsprechenden gut ausgearbeiteten Datenbank. Viele Lokalitäten sind nur stichprobenartig auf ihre Bleiisotopie hin untersucht worden.

Aus dem Sauerland besitzt aber z.B. der bleiisotopisch gut charakterisierte Bleiglanz der variszischen Generation vom Ramsbecker Revier mit diesen Bleiobjekten vergleichbare Verhältnisse (Daten von Wedepohl et al., 1978, Large et al., 1983, Schaeffer, 1984, Bielicki & Tischendorf, 1991, Wagner & Schneider, 1999, eigene Daten). Hinweise auf „germanischen“ Bergbau gibt es dort aber keine (Straßburger, 2007).

Vier der 5 Objekte, die mit den Bleiglanzdaten von Brilon keine Koinzidenz zeigen, führen zwischen 3500 und 13000 ppm Sn. Entweder ist der Sn-Anteil durch die Verarbeitung in den Buntmetallwerkstätten, wie z.B. in Soest, gelangt, oder diese Fundstücke sind Teil der Hinterlassenschaften in den geräumten Römerlagern, demzufolge man die Bleifunde den Bleierzen des Bergischen Landes oder der Sierra Morena zuordnen kann (vergl. Abb. 5.4 bis 5.8). In den römischen Bleifunden ist ein Eintrag von Sn durch Recycling keine Seltenheit (Abb. 5.12).

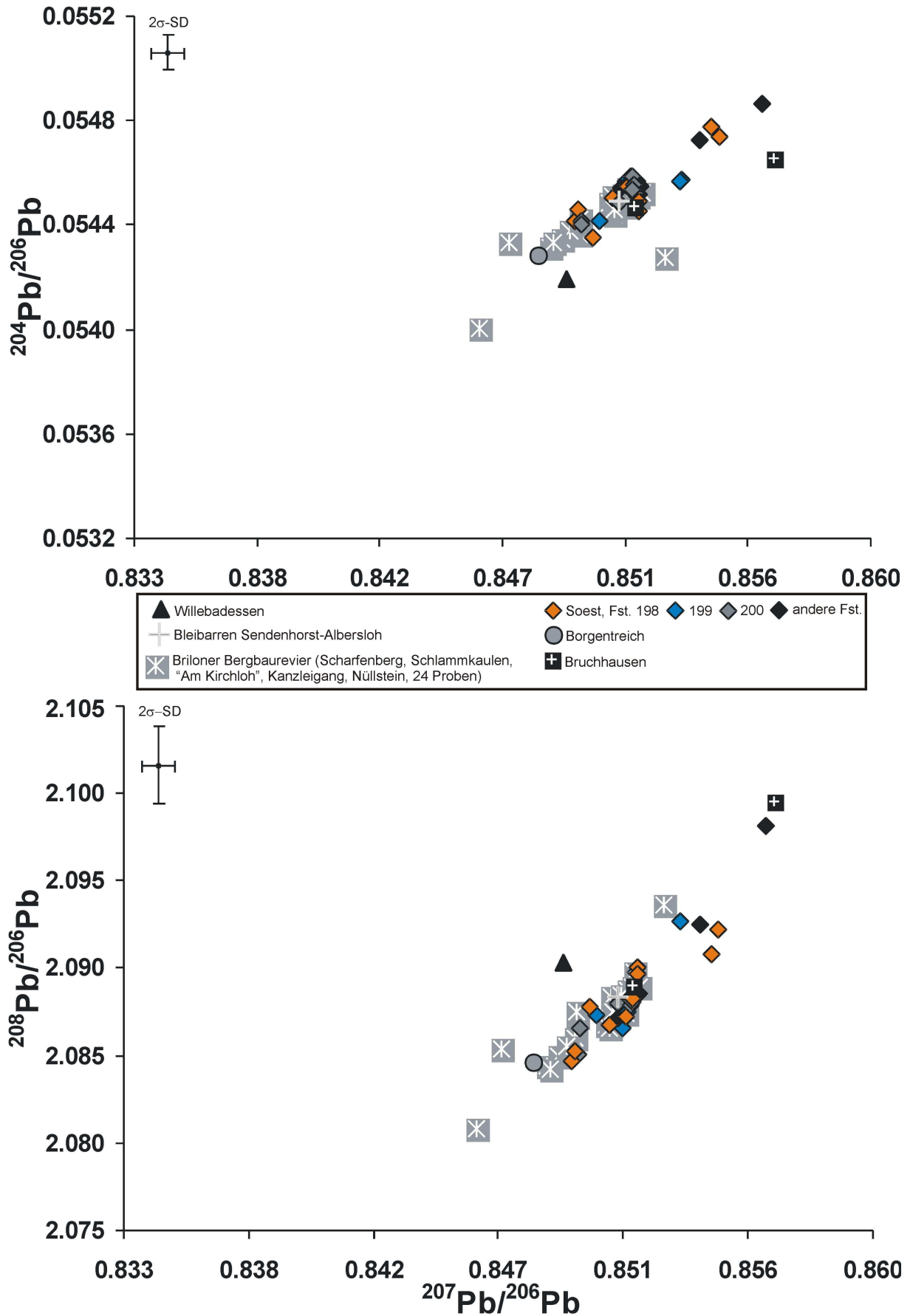


Abb.5.11: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleifunde der „germanischen“ Siedlungen Westfalens und der Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon (Schaeffer, 1984, eigene Daten).

5.2b Spurenelementvergleiche

In diesem Kapitel werden die Spurenelementgehalte von Bleierzproben der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviers (Sauerland) mit solchen Bleimetallfunden der römischen und „germanischen“ Fundgruppe verglichen, die aufgrund der Bleiisotopenvergleiche in diesem Kapitel von beiden Bergbaurevieren stammen können. Im Blickpunkt stehen die römischen Artefakte, da die archäologischen Evidenzen für die „germanischen“ Funde, vor allem der „germanischen“ Kleinbarren, eine Produktion aus den Bleierzen der lokalen Lagerstätten im Sauerland sehr plausibel machen. Dazu gehört, dass über die Hälfte der Kleinbarren im Briloner Bergbaurevier und in allen Fällen zusammen mit Zeugnissen der Bleiverarbeitung gefunden wurden. Die unsaubere Fertigung der Kleinbarren und die starken Schwankungen ihrer Gewichte machen einen Import aus dem Römischen Reich kaum denkbar. Dass Zeugnisse von Bergbauaktivitäten fehlen, ist für die Antike und früheren Epochen nicht ungewöhnlich.

Ziel ist es, Spurenelementcharakteristika in den römischen Probenmaterialien des Haltern-Horizontes aufzufinden, die eine Zuordnung dieser Funde zu dem links- oder rechtsrheinischen Lagerstättendistrikt ermöglichen oder die sich signifikant von denen der germanischen Objekte unterscheiden. Aufgrund der nahezu identischen Bleiisotopenzusammensetzung der Nordwesteifeler Bleierze und der Bleierzlagerstätten im Briloner Raum, ist eine Differenzierung alleinig mit der Bleiisotopie nicht realisierbar.

Die in den Vergleich einfließenden Proben sind in Tab. 5.1 aufgelistet. Theoretisch kann das Blei jener römischen Bleifunde auch aus der Grube Lüderich im Bergischen Land herrühren. Kirnbauer (1998) erwähnt untergeordnete postvariszische Mineralisationen im Bergischen Land. Zwei Bleifunde von der römischen Blei-/Silbergewinnung am Lüderich bestätigten dies (Kapitel 6). Die überwiegende Mehrheit (17 Proben) der von den Lüderich-Grabungen untersuchten metallurgischen Relikte (Bleischlacken, -glätte, -metall) tragen aber Bleiisotopensignaturen von variszischem Bleierz. Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass bedeutende Mengen des im Bergischen Land gewonnenen Bleis aus der postvariszischen Erzgeneration geschmolzen wurden. Und da postvariszischer

Bleiglanz für einen erweiterten Vergleich zwischen Metall und Erz nicht zur Verfügung stand, wird in den folgenden Diagrammen das Bergische Land ausgeklammert.

Der Ag-Gehalt innerhalb einer Lagerstätte kann durchaus starken Schwankungen unterworfen sein kann. Pernicka (1981) und Rehren et al. (1999) nennen als Beispiele die Bleierze von Laurion und die des Siegerlandes. Gleichen sich Ag- und Sb-Gehalt in den Bleiglanzen, können Verwachsungen von Miargyrit (AgSbS_2) mit PbS die Ursache sein (D-157/2, 4, 6). Hohe Sb- und Cu-Anteile kann man auf ein Beisein von Fahlerz (Tetraedrit, $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, Tennantit, $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) zurückführen (D-160/1, 2, D-161/2, 4, 5, D-154/14). In allen Proben fehlen jedoch für Fahlerze typische Bi-Gehalte (Analysen von Fahlerzen z.B. in Krahn & Friedrich, 1991). In mehreren Bleiglanzproben könnten höhere Sb-Werte ohne Korrelation zu Ag oder Cu auf Verunreinigungen des Bleiglanzes mit Boulangerit ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$) oder Jamesonit ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$) zurückzuführen sein (z.B. D-160/6, D-161/1, D-162/1-9, D-154/2, 4, 9, 11-14, 22-24) (s. Schaeffer, 1984).

Die Ag-Konzentrationen der in dieser Arbeit untersuchten Bleiglanze (Tab. 5.1, Abb. 5.12 und 5.13) sind vergleichbar mit den Analysen postvariszischer Bleiglanze von Gussone (1964), Bauer et al. (1979), Schaeffer (1984, 1986), Krahn et al. (1986), Krahn & Friedrich (1991), Reppke (1993) und Wagner (1999). Die Ag-Werte der Bleiglanze schwanken in ihren Arbeiten zwischen 10 und 1000 ppm. Dabei liegen die Bleiglanzanalysen von Lagerstätten des Ostauerländer Hauptsattels, auch die vom Briloner Bergbaurevier, deutlich unterhalb von 100 ppm (Schaeffer, 1984) und stehen damit im Einklang mit den eigenen Analysen (Abb. 5.13). Nur in den jungen Querkluftparagenesen des Ramsbecker Reviers sind es teilweise bis zu 440 (Bauer et al., 1979) bzw. 600 ppm Ag (Wagner, 1999). Die Bleiglanzanalysen aus dem Aachener Revier führen alle zwischen 100 ppm und 1000 ppm Ag (Gussone, 1964, Krahn et al., 1986), die des Mechernicher Bergbaureviers werden als allg. silberarm eingestuft (Wegener, 1993). Die eigenen Analysen in Abb. 5.12 liegen größtenteils unterhalb von 100 ppm Ag und weichen damit etwas von den Literaturdaten ab. Deutliche Unterschiede sind aber nicht zu verzeichnen.

	BLEIGLANZ, NORDWESTEIFEL	BLEIGLANZ, SAUERLAND	BLEIMETALL, RÖMISCH	BLEIMETALL, GERMANISCH
LOKALITÄT	Bleialf, Mechernich, Re- scheid, Stolberg-Werth (29 Analysen)	Brilon (20 Analysen)	40 relevante Analysen von 97	79 relevante Analysen von 83
INV.-NR. UNI MS/DBM	D-157/1-6 D-160/1-7 D-161/1-5 D-162/1-11	D-154/2, 4-9, 11-18, 20-24	D-121/1, 5-6 D-122/1 D-136/1, 4-5, 7, 11-12, 14, 16-17 D-137/1-2, 4, 6-7, 9-15, 17-19, 27-29, 33-34 D-204/5, 7, 14, 18, 21- 23	D-110/1-6 D-122/2-26 D-123/1 D-124/1a D-125/1 D-126/1 D-130/1 D-131/1-3, 5-11 D-132/1-7 D-133/1-6 D-134/1, 3, 5-7 D-135/2 D-150/1-2 D-155/1-9 D-199/1-2

Tab. 5.1: Auflistung der römischen und germanischen Bleiobjekte und Bleiglanze der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviere, die isotopisch miteinander übereinstimmen (ohne die Bleifunde von Waldgirmes (Durali-Müller, 2005), von denen 10 Analysen aus der Nordwesteifel oder dem Sauerland stammen können).

So bleibt vorerst festzuhalten, dass der Ag-Gehalt des Bleiglanzes der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviere kein Unterscheidungskriterium für die Frage nach der Herkunft der römischen Bleiobjekte in Tab. 5.1 darstellt.

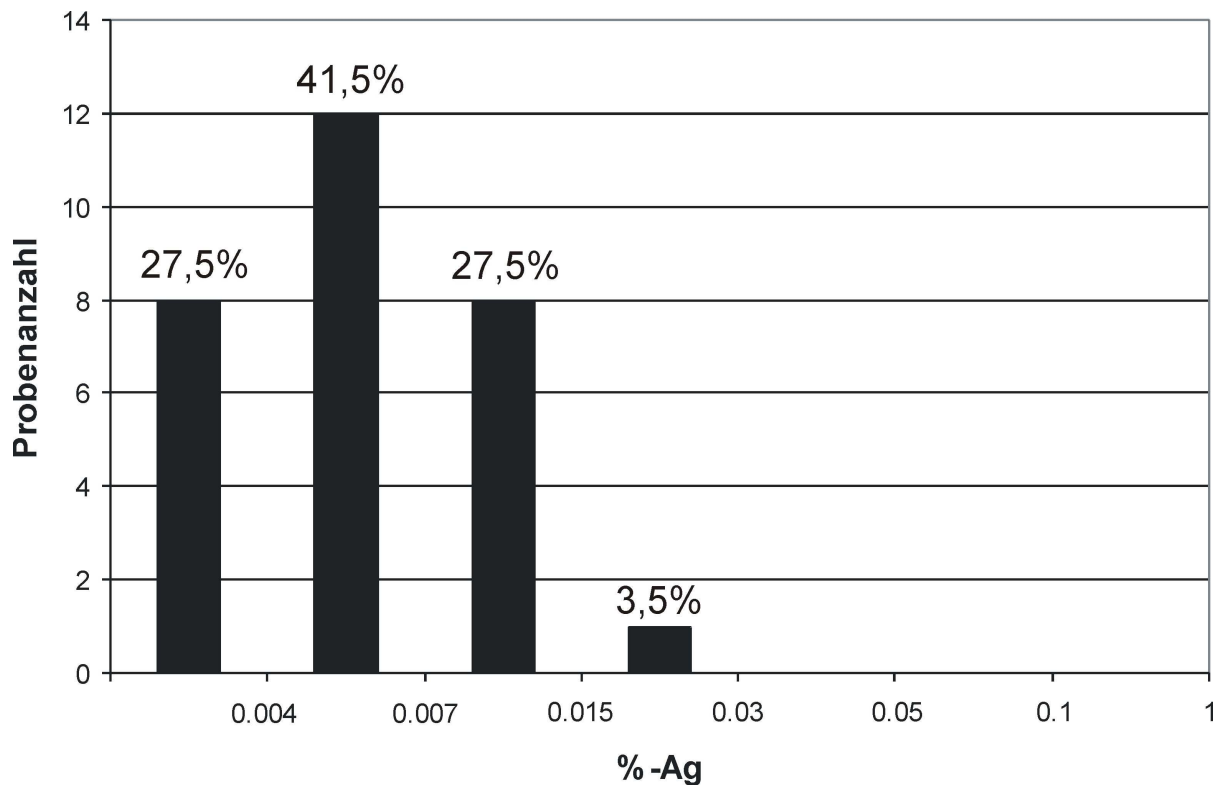


Abb. 5.12: Histogramm für die Ag-Gehalte der 29 in dieser Arbeit untersuchten Bleiglanze der Nordwesteifel (Tab.5.1) mit den prozentualen Anteilen der jeweiligen Gruppen.

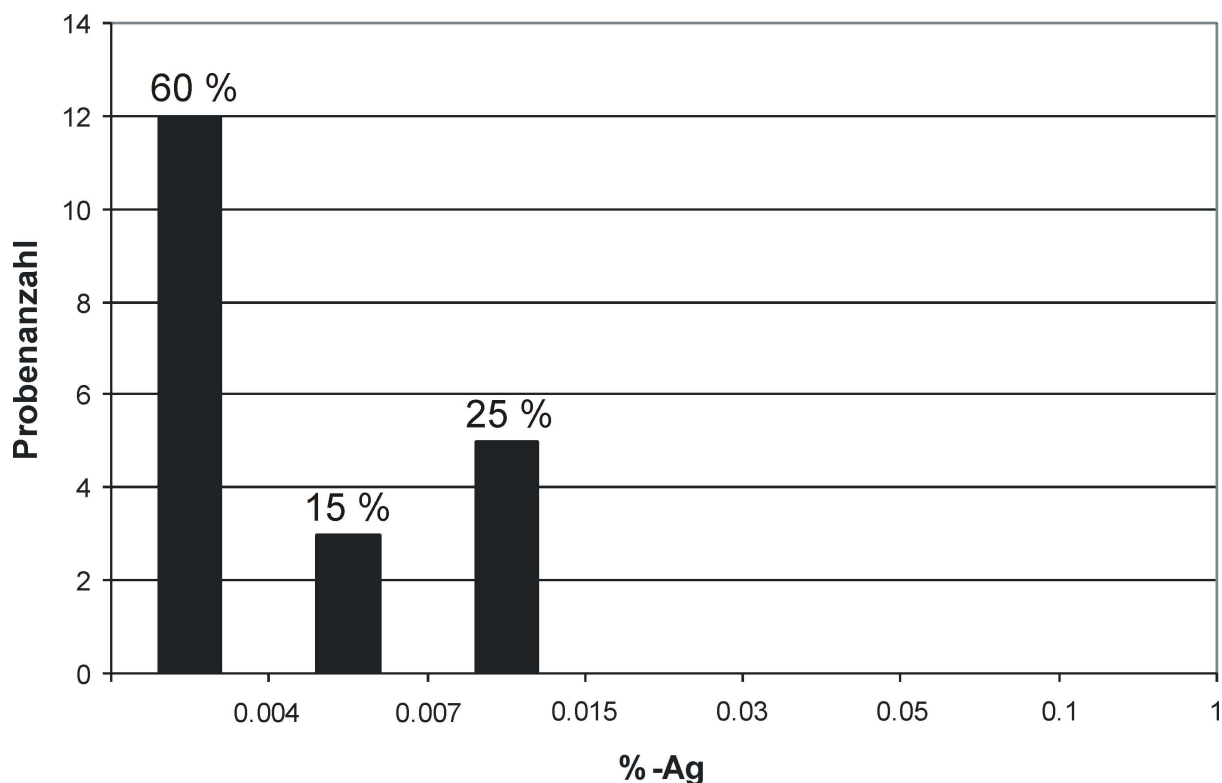


Abb. 5.13: Histogramm für die Ag-Gehalte der 20 in dieser Arbeit untersuchten Bleiglanze des Briloner Bergbaureviers (Tab.5.1) mit den prozentualen Anteilen der jeweiligen Gruppen.

Der Ag-Gehalte der „germanischen“ Bleiobjekte liegen größtenteils (82 %) unterhalb der für kupelliertes Blei erwarteten unteren Entsilberungsgrenze von ca. 70 ppm Ag (Tylecote, 1976, Pernicka, 1987) (Abb. 5.14). Dieser Richtwert gilt natürlich nicht für solches Werkblei aus sehr silberarmen Bleiglanz wie er in den Untersuchungsgebieten vorkommt. Man sollte aber davon ausgehen, zumal keine Bleiglätte in den Siedlungen gefunden wurde und die Silbergewinnung durch die „Germanen“ wohl kaum im Sinne der Römer war, sie also dieses Wissen nicht weitergaben, dass das gesamte „germanische“ Blei reines Werkblei darstellt und nicht kupelliert wurde. Somit lassen sich die Ag-Gehalte im „germanischen“ Blei „direkt“ mit denen im Bleiglanz von Brilon vergleichen. Die Übereinstimmung zwischen beiden Gruppen, die Bleifunde sind wie die Bleierze „meist Ag-arm bis Ag-frei“ (s. Schaeffer, 1984), unterstützt das Ergebnis anhand der Bleiisotopendiagramme in Kapitel 5.1.

Bei den Römern gehörte die Entsilberung von Werkblei jedoch zu den Routinearbeiten in der Bleimetallurgie. Auch im Rheinland und am Lüderich im Bergischen Land wurde in römischer Zeit Werkblei entsilbert (z.B. Davies, 1935, Bachmann, 1977, Körlin & Gechter, 2003). Wie bei den „germanischen“ Bleiobjekten wird für solche Funde, deren Ag-Anteil ebenfalls weit unterhalb von 100 ppm liegt (66 % der

79 römischen Bleiobjekte), eine Betrachtung der theoretischen unteren Entsilberungsgrenze von ca. 70 ppm Ag hinfällig. Die Treibearbeit kann aber nicht ausgeschlossen werden. Die Analysen der vier Bleiglätte-Proben vom Lüderich im Bergischen Land erbrachten höchstens 32 ppm Ag (BG 3) (Tab.9.31). Dies spricht in diesen Fällen für die Verwendung von Ag-armen Bleiglanz. Da Bleiglätte durch Ag-reiche Bleieinschlüsse aber auch über 3000 ppm Ag enthalten kann (vergl. Pernicka et al., 1998), ist generell nicht zu entscheiden, ob Bleimetall entsilbert wurde oder nicht. Es ist deshalb nicht möglich, sichere diesbezügliche Erkenntnisse aus dem Vergleich zwischen den Ag-Konzentrationen der Erze und der Metalle zu ziehen. Deshalb beschränkt sich der sichere Beweis für die Anwendung der Kupellation alleinig auf Funde von Bleiglätte.

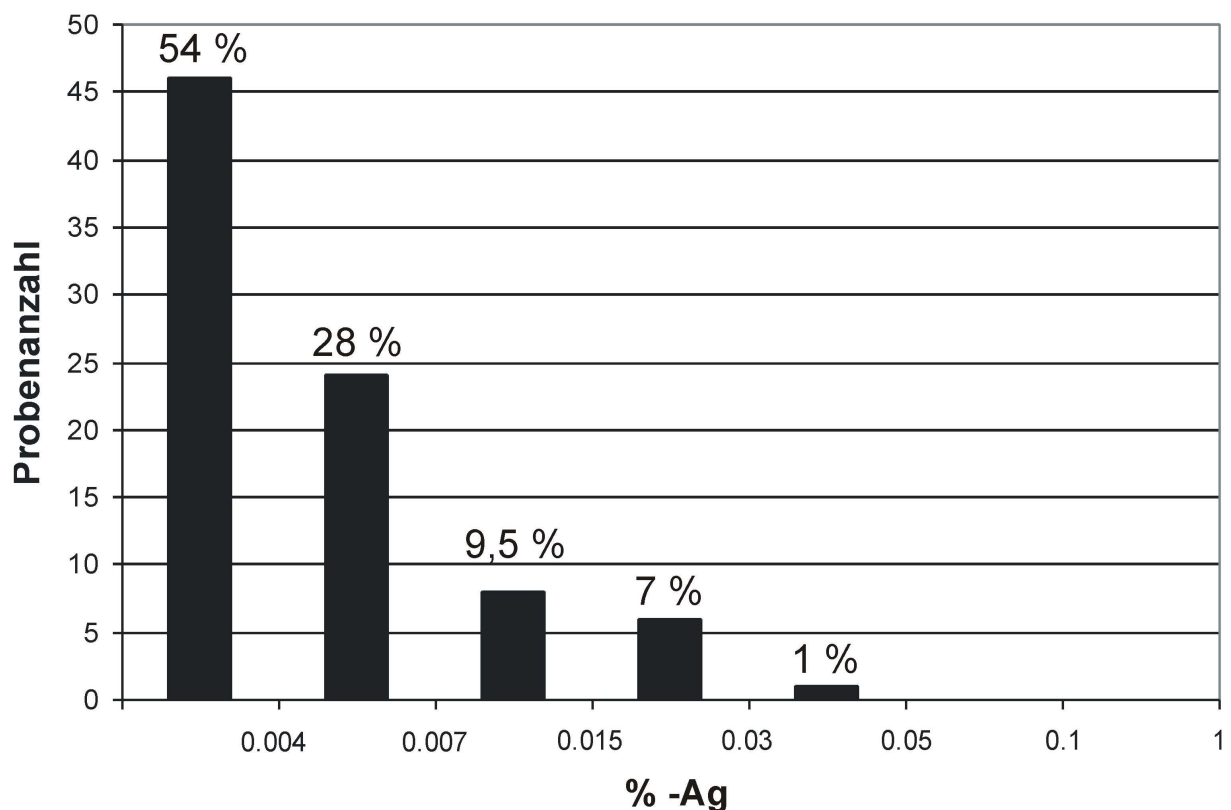


Abb. 5.14: Histogramm für die Ag-Gehalte der 79 „germanischen“ Bleiobjekte aus Westfalen mit den prozentualen Anteilen der jeweiligen Gruppen.

Trotzdem lässt die Abb. 5.15 den vorsichtigen Schluss zu, dass die größere Streuung/homogenere Verteilung der Ag-Gehalte in der römischen Fundgruppe ein Ergebnis der i.d.R. bei den Römern durchgeführten Kupellation an diesem Blei ist. Auch wenn der Bleiglanz silberarm war, und dies zeigen die Analysen in den Abb. 5.12 und 5.13, kann durch Aufnahme von silberreichen Bleitropfen aus der Endphase

der Treibearbeiten die Bleiglätte und somit auch das zurückreduzierte Blei unerwartet silberreich sein.

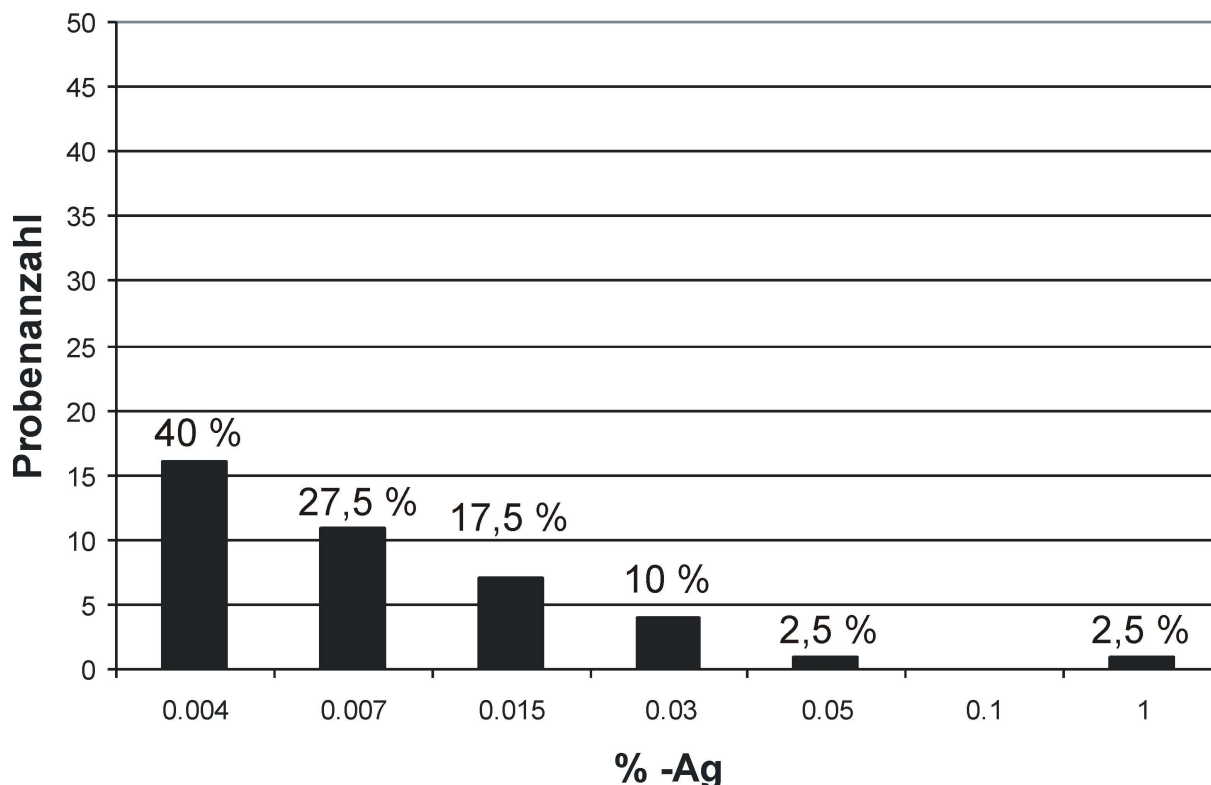


Abb. 5.15: Histogramm für die Ag-Gehalte der 40 römischen Bleiobjekte aus den Haltern-zeitlichen Römerlagern der nördlichen *Germania Magna* mit den prozentualen Anteilen der jeweiligen Gruppen.

Zinneinträge, die eindeutig über die analytische Nachweisgrenze hinausgehen, sind erst nach der Bleierzverhüttung in das Bleimetall gelangt, da Sn nicht in Bleiglanz eingebaut wird. Zudem sind makroskopische Vorkommen von Zinnmineralen im Rheinischen Schiefergebirge nicht bekannt (s. Schaeffer, 1984). Trotzdem kennt man Verwachsungen von Zinnkies ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) mit Chalkopyrit oder Zinkblende und diese Erzminerale sind in dem Arbeitsgebiet mit Bleiglanz mehr oder weniger intensiv vergesellschaftet. Geringe Mengen an Sn im Bleimetall können also durchaus auf dem Wege der Verhüttung in das Endprodukt gelangt sein. Die Anwesenheit von größeren Anteilen an Sn deutet auf die Wiederverwertung von lötzinnhaltigem Bleischrott (z.B. verschweißte Wasserleitungen) (Wytttenbach & Schubiger, 1973).

Zinn ließ sich in rund 50 % der beprobten römischen Bleifunden nachweisen (s. Abb. 5.16 und Tab.9.28). Interessanterweise stammt wiederum 50% des Sn-haltigen Bleis aus den Haltern Lager, also dort, wo auch nachweislich Wasserleitungen verlegt und dann mit Lötzinn verschweißte wurden. Wahrscheinlich waren solche

Schweißnähte die Hauptquelle für Sn in dem Blei (vergl. Grögler et al., 1966, Wyttenbach & Schubiger, 1973).

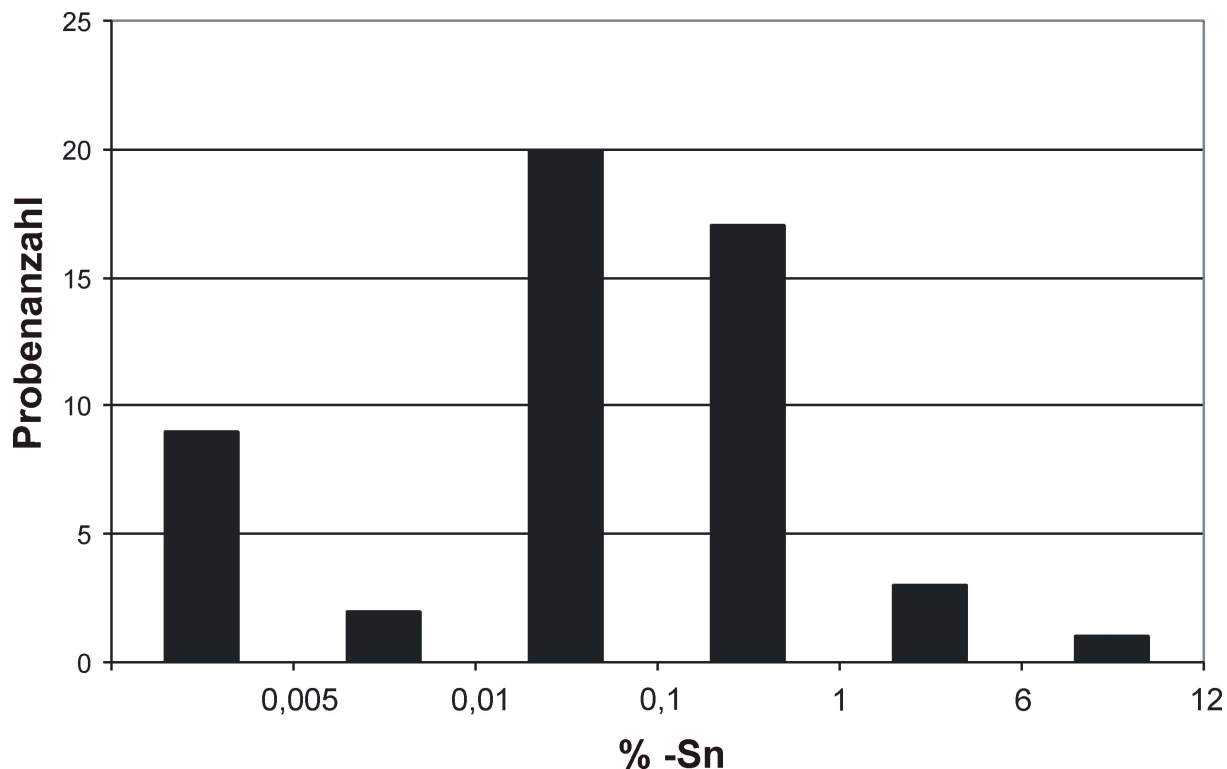


Abb. 5.16: Histogramm für die Sn-Werte von den 50% der römischen Bleifunde, in denen Sn detektiert werden konnte. Die meisten Bleifunde besitzen zwischen 0,01 und 1% Sn.

In den „germanischen“ Objekten ist Sn selten anzutreffen. Nur dreizehn Funde aus verschiedenen Siedlungskontexten besitzen Sn-Anteile (Abb.5.17 und Tabelle 9.29). Auch vier „germanische“ Kleinbarren fallen unter diese Funde (D-122/3, 7, 10, D-123/1). Da ihre Sn-Gehalte gering sind und in den Restlichen der insgesamt 50 Kleinbarren kein Sn nachweisbar ist, kann man davon ausgehen, dass dieses Sn nicht anthropogen ist, zumal die Barren als reine Transportform des im Bergbau gewonnenen Bleis angesehen werden. Die durch hohe Sn-Werte heraus stechenden Bleifunde können entweder aus römischem Importblei bestehen oder vielleicht mit Metallresten der Buntmetallverarbeitung (Bronzen), wie sie für die Siedlung in Soest angenommen wird, kontaminiert sein (s. Melzer & Pfeffer, 2007).

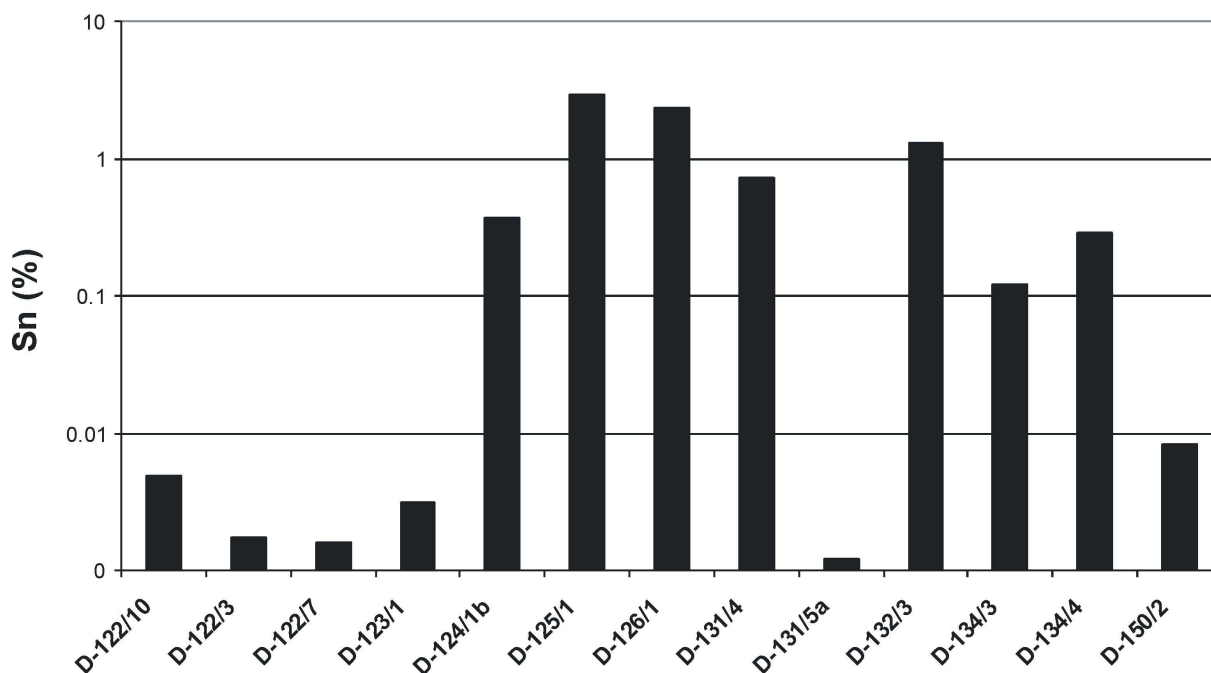


Abb. 5.17: %-Anteile Sn in „germanischen“ Bleiobjekten, in denen Sn nachgewiesen wurde. Die ersten vier Objekte auf der linken Seite entsprechen den im Text erwähnten „germanischen“ Bleibarren.

Für die hier vorgestellten Bleiglanze der Nordwesteifel und des historischen Bergbaureviers von Brilon (Sauerland) fallen einige für die Provenienz i.allg. betrachteten Spurenelemente unter die analytische Nachweisgrenze (vergl. Pernicka, 1990). Es sind dies Se, Te, Ni, Bi und Co. Gleiches zeigt sich für diese Elemente mit ganz wenigen Ausnahmen (Bi, Ni) auf Seiten der Metalle (Tab. 9.28 & 9.29). Demzufolge beschränkt sich das Spektrum der für eine Herkunftsanalyse routinemäßig kontrollierten Spurenelemente in den folgenden Diagrammen auf Ag, Cu, As und Sb.

Neben der Gegenüberstellung von absoluten Anteilen von Spuren in der Provenienzanalytik, kann man auch Elementpaare mit ähnlichen chemischen Eigenschaften gegeneinander auftragen. Da As und Sb beide volatil sind und zur Bildung von Speise (Arsenide, Antimonide) während der Verhüttung neigen, bilden sie in diesem Fall ein Elementpaar, welches gegen das Ag/Cu-Verhältnis von Erz und Metall in Abb. 5.18 geplottet wird. Sowohl Ag als auch Cu wandern bei der Bleigewinnung hauptsächlich in das Werkblei.

Dies ist jedoch nur eine vereinfachte Betrachtungsweise. Liegt der S-Anteil der Ofenbeschickung oberhalb von 2 %, kann sich Stein oder Matte formen, ein Gemisch aus Cu- und Fe-Sulfiden (Tafel & Wagenmann, 1953). Stein kann wiederum Anteile

an Ag, As und Sb binden (Tafel & Wagenmann, 1951). Arsen und Sb besitzen unter reduzierenden Bedingungen eine große Neigung mit Ni, Co, Cu und Fe schwerlösliche Arsenide und Antimonide, die sogenannte Speise, zu bilden, die ebenfalls Ag an sich bindet. Alle hier behandelten Spurenelemente lösen sich zudem in geringem Maße in der Silikatschmelze. Wenn das bei der Verhüttung gewonnene Blei kupelliert wird, treten weitere Verluste an Cu, As und Sb und natürlich Ag auf. Der direkte Vergleich der absoluten Anteile in Metall und Erz gilt also streng genommen nur für sehr reine oxidische Erze und für Blei, welches nicht entsilbert wurde.

Wie groß die Verarmung der hier ausgewählten Spurenelemente (Ag, Cu, As, Sb) auf dem Wege der Verhüttung ist, kann man also nur schwer abschätzen. Dies hängt auch von äußeren Faktoren wie Temperatur, Dampfdruck ab. Generell muss man geringere Konzentrationen der Spurenelemente in den Metallen erwarten. Gerade um den Spurenelementverlust als große Unbekannte während der Verhüttung zu umgehen, werden die vier Spurenelemente in Abb. 5.18 als Elementpaare aufgetragen. Die Verhältnisse von Ag/Cu und As/Sb sollten in den Erzen und Metallen ähnlich sein.

In der Tat streuen alle beteiligten Gruppen in Abb. 5.18 innerhalb eines großen Bereiches. Die römischen und „germanischen“ Bleifunde besitzen tendentiell geringere As/Sb-Verhältnisse als die Bleierze, da As etwas volatil als Sb reagiert und sich bei jedem pyrometallurgischen Prozess das Verhältnis entsprechend zugunsten des Sb verändert. Der dem Diagramm hinzugefügte Bleiglanz von Schaeffer (1984) entsprechen dem in dieser Arbeit untersuchten Bleiglanz.

Eine Differenzierung zwischen den römischen und „germanischen“ Bleifunden oder zwischen dem Bleiglanz der Nordwesteifel und des Briloner Bergbaureviers ist in diesem Diagramm nicht ersichtlich. Die Abb. 5.18 unterstützt aber die These aufgrund der Bleiisotopenuntersuchungen, dass rund die Hälfte des Bleis der römischen Militärlager tatsächlich aus den Erzvorkommen der Nordwesteifel und Briloner Hochfläche innerhalb des damals besetzten Gebietes kommt, als dritte Quelle das Bergische Land.

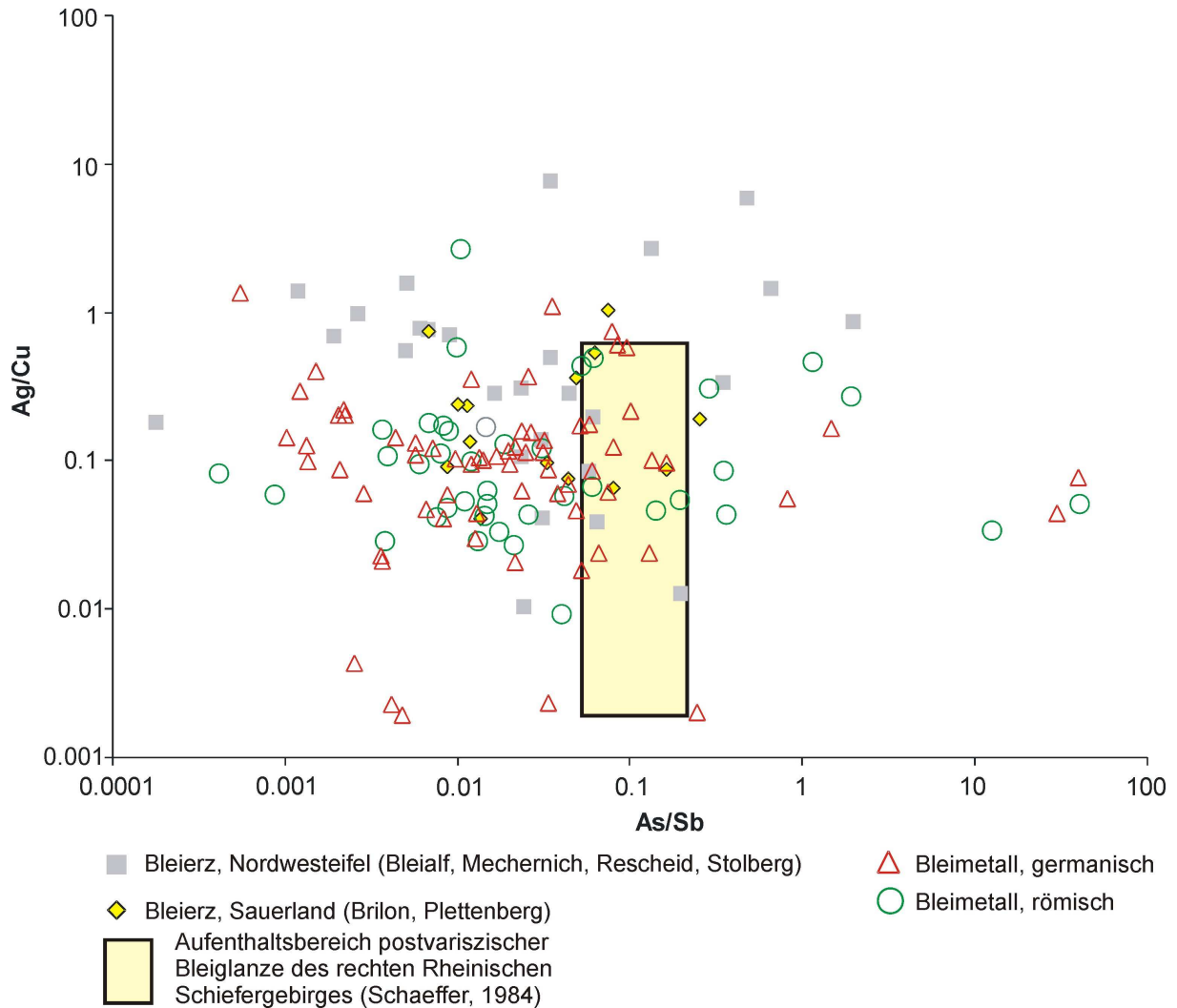


Abb. 5.18: Ag/Cu- und As/Sb-Verhältnisse in den postvariszischen Bleiglanzproben der Nordwesteifel und von Brilon (Sauerland) und in den römischen und „germanischen“ Bleimetallfunden aus Westfalen. Die Spurenelemente in den Metallen sind auf 100 % Pb normiert. Das gelbe Feld gibt den Aufenthaltsbereich von postvariszischen Bleiglanzen des Ostsauerländer Hauptsattels von Schaeffer (1984) an. Proben, in den As und Sb unterhalb der Nachweisgrenze liegen, wurden nicht berücksichtigt.

Die einfache Auftragung der Gehalte von As und Sb in Abb. 5.19 zeigt wie in Abb. 5.18 eine stärkere Verarmung von As in den Metallen als von Sb. Die ungefähre Richtung der Konzentrationsveränderungen der Elemente wird durch den Pfeil im Diagramm angezeigt. Die Messungen von postvariszischem Bleiglanz des Rheinischen Schiefergebirges durch andere Autoren (gelbes Feld) stehen im Einklang mit den eigenen Ergebnissen. Wie in Abb. 5.18 ist es nicht möglich sowohl zwischen den Bleierzen als auch den Bleifunden zu differenzieren.

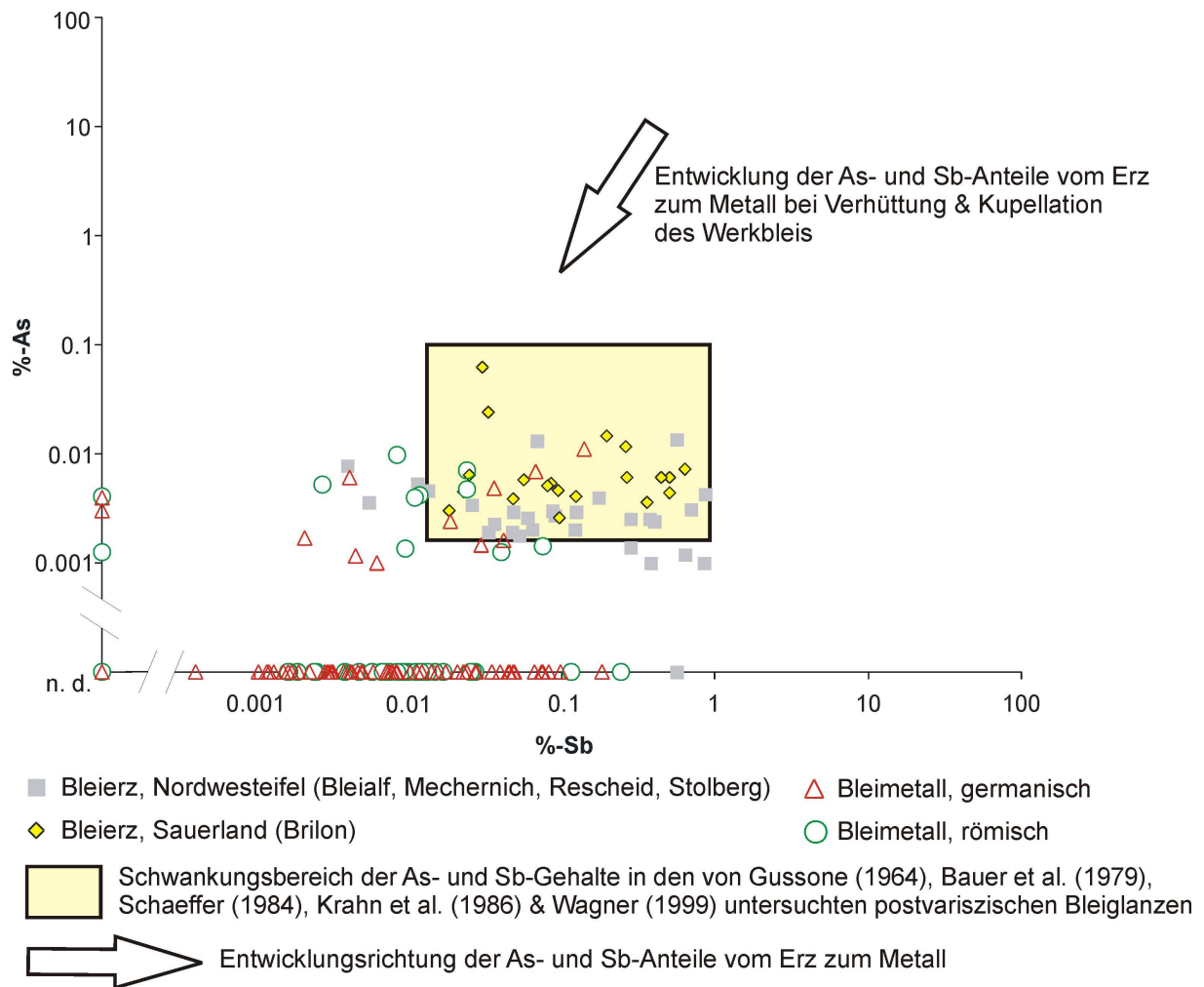


Abb. 5.19: Arsen- und Sb-Gehalte in den für den Spurenelementvergleich ausgewählten Bleiglanz- und Bleimetallproben (s. Tab. 6.1). Die Spurenelemente in den Metallen sind auf 100 % Pb normiert. Das gelbe Feld gibt den Schwankungsbereich von As und Sb in den aus der Literatur bekannten Untersuchungen postvariszischer Bleiglanze im Rheinischen Schiefergebirge, der Pfeil die Entwicklungsrichtung von As und Sb bei Verhüttung und Kupellation an.

Auch die Cu-Gehalte der römischen und „germanischen“ Bleifunde und der Bleiglanze beiderseits des Rheins, aufgetragen gegen die Ag-Gehalte, bilden kein Unterscheidungskriterium (Abb. 5.20). Zur Herstellungstechnik kann ausgesagt werden, dass in fast allen „germanischen“ Bleifunden etwas weniger Cu auftritt als in den römischen, was bedeuten kann, dass die Bleierze vor der Verhüttung nur unzureichend geröstet wurden und deshalb ein signifikanter Teil des Cu als Stein abgeführt wurde. Da die Steinbildung auch zu Ag-Verlusten führen kann, wird sie bei den Römern möglichst vermieden worden sein. Hier könnte ein indirekter Nachweis vorliegen, dass die Römer vornehmlich für die Silbergewinnung Bleierz verhütteten.

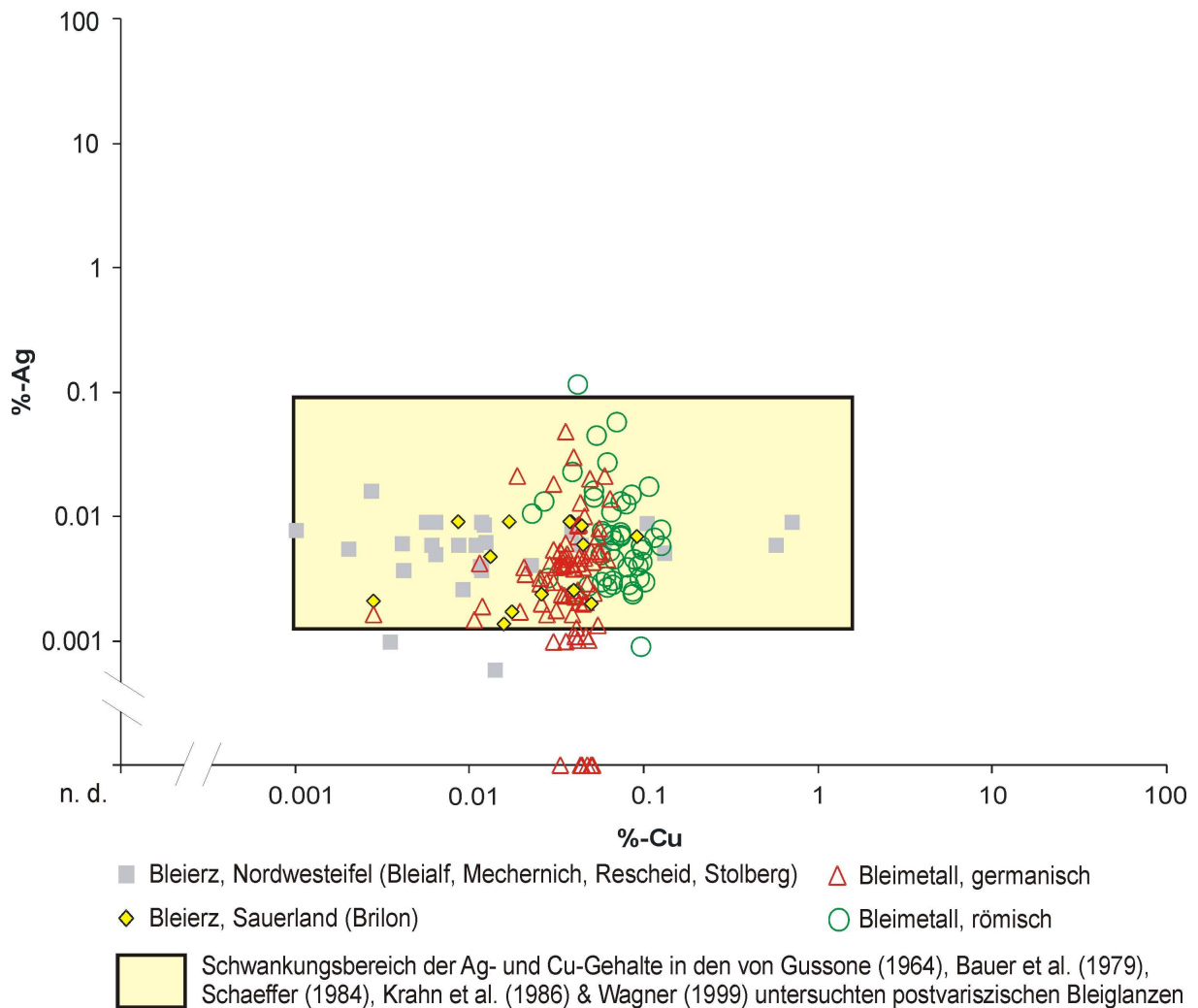


Abb. 5.20: Silber- und Cu-Gehalte in den für den Spurenelementvergleich ausgewählten Bleiglanz- und Bleimetallproben (s. Tab. 6.1). Die Spurenelemente in den Metallen sind auf 100 % Pb normiert. Das gelbe Feld gibt den Schwankungsbereich von Ag und Cu in den aus der Literatur bekannten Untersuchungen postvariszischer Bleiglanze im Rheinischen Schiefergebirge an.

Festzuhalten bleibt abschließend, dass anhand der Spurenelemente eine sichere Zuordnung der römischen und „germanischen“ Fundgruppe zu dem Bergbaurevier der Nordwesteifel oder der Briloner Höhenzüge durch die Vergleiche der hier verwendeten Spurenelemente nicht möglich ist. Die Auswahl war auf nur vier Spurenelemente beschränkt, die keine deutlichen Unterschiede zwischen den Erzproben der rechts- und linksrheinischen Seite und zwischen den archäologischen Fundgruppen aufzeigten. Dass der größere Anteil an Ag-armen bis fast Ag-freien Bleiobjekten in der germanischen Gruppe, die aus archäologischer Sicht mit großer Wahrscheinlichkeit aus dem Sauerland stammen, liegt (Abb. 5.14), ist aber ein starker Hinweis, dass sie aus den dort anzutreffenden Bleierzen verhüttet wurden.

In diesem Kapitel werden Bleischlacken und Bleiglätte der Blei-/Silbergewinnung am Lüderich im Bergischen Land untersucht. Dieser römische Verhüttungsplatz im rechtsrheinischen grenznahen Protektoratsgebiet der Römer war in den ersten beiden nachchristlichen Jahrzehnten in Betrieb, also auch nach dem Truppenrückzug aus der *Germania Magna* 9 n. Chr. (s.a. Kapitel 3.2c). Reste von Öfen, Schächte, Bleischlacken und Bleiglätte sowie einige kleine Bleimetallfunde zeugen von den Arbeiten der römischen Soldaten. Ziel ist es, Informationen über das angewendete Verhüttungsverfahren und über die Treibearbeiten zu gewinnen.

6.1 Allgemeine Verfahrenstechniken zur Bleierzverhüttung und Kupellation

Zur Bleierzverhüttung

Man kann Schlacken allgemein als erstarrte Silikatschmelzen ansprechen, die unerwünschte metallische und nichtmetallische Verunreinigungen der Erze aufnehmen. Ihr Chemismus ist durch die Art des Erzes, der Gangart, der Zuschläge und des angewendeten Verhüttungsverfahrens charakterisiert. Die Eigenschaften von Silikatschmelzen hängen von den Anteilen nichtbrückenbildender Sauerstoffe ab, d.h. dem Anteil von Metalloxiden. Diese schließen Transporteigenschaften (Viskosität, Polymerisationsgrad), thermodynamische Eigenschaften (Aktivierungsenergie, Prozesswärme), die Bildung von Phasengleichgewichten (Liquidustemperaturen von Schmelzen) und das Verteilungsverhalten von Spurenelementen zwischen Festkörper und Schmelze ein (Mysen, 1988). Äußere Einflussparameter sind Prozesstemperatur, O_2 -Partialdruck und die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze am Ende der Verhüttung.

Bei der Verhüttung dienen Schlacken, dadurch, dass sie leichter als das sich abscheidende Metall sind, als Oxidationsschutz und speichern Prozesswärme. Ziel sollte es sein, eine Schlacke zu produzieren, die möglichst wenig des zu gewinnenden Metalls enthält und bei geringer Dichte und Viskosität einen niedrigen Schmelzpunkt besitzt. Gerade diese Eigenschaften ermöglichen ein optimales Absaugern der Metalle.

Schlackenphasen ähneln in ihren Chemismen und ihren physikalischen Eigenschaften den natürlichen Mineralen. Die Ausbildung bestimmter Phasenassoziationen (Metall-Oxid-Silikat) ermöglicht eine grobe Einschätzung der O_2 -Partialdrücke und der Prozesstemperaturen im Ofen (Bachmann, 1980, s. Abb. 6.4). Das Vorkommen von Magnetit (Fe_3O_4), Hämatit (Fe_2O_3), Wüstit (FeO), Fayalit (Fe_2SiO_4) und freiem Eisen ist der genaueste Indikator für den Rahmen, in denen sich O_2 -Partialdrücke und Temperaturen bei der Metallgewinnung bewegten, da das Eisen sowohl im zweiwertigen als auch im dreiwertigen Oxidationszustand vorliegen kann (Das $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ -Verhältnis ist in silikatischen Schmelzen nicht nur vom O_2 -Partialdruck abhängig, sondern ist zusätzlich positiv korreliert mit steigendem Gesamteisengehalt und $Al/(Al+Si)$ -Verhältnis und abnehmendem Polymerisationsgrad der Schmelze (Mysen, 1988)).

Bei glasigen Schlacken ist es problematisch, feinstkristalline Phasen dünnschliff-mikroskopisch oder röntgendiffraktometrisch zu untersuchen. Hier bedarf es der Untersuchung der Phasen mittels EDX (energiedispersive Röntgenanalyse). Generell sind Schlacken mit niedrigen SiO_2 -Gehalten kristallin, wohingegen Schlacken ab etwa 35 Gew.-% SiO_2 bevorzugt Glas bilden (Freund, 1954, Hauptmann et al., 1988). Solche Schlacken haben eine starke Tendenz zu „Unterkühlungserscheinungen“, d.h. sie erstarren ohne wohl definierten Schmelzpunkt (Tafel & Wagenmann, 1953).

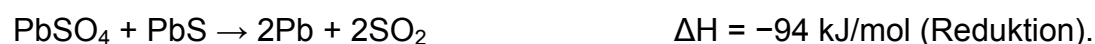
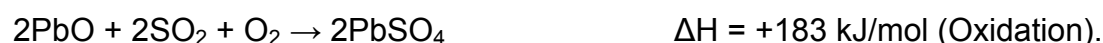
Zu den Prozessen der Bleierzverhüttung

Schlacken der Bleiverhüttung bestehen hauptsächlich aus den Elementen Si, Ca, Mg, Ba, Na, K, Al, Fe und Zn. All diese Elemente liegen als Oxide in der silikatischen Schmelze oder in den sich bei der Abkühlung bildenden Schlackenphasen vor (Pernicka & Bachmann, 1983, Hauptmann et al., 1988). Die Schlacken enthalten weiterhin in unterschiedlichen Konzentrationen und teilweise auch in oxidischer Form Cu, Sn, As, Ni, Sb und Bi (Pernicka et al., 1984). Die Edelmetalle (Au, Ag), die Platingruppenelemente und Bi legieren fast ausschließlich mit dem Werkblei. Kupfer, Sb, Sn und etwas As gehen bei der Verhüttung auch in Teilen in das Werkblei (Craddock et al., 1985). Nickel und Co lösen sich nur sehr wenig in Pb (Tafel & Wagenmann, 1953). Bilden sich Speise (Arsenide, Antimonide) und (Cu-Fe-)Stein bei der Verhüttung, so wird in verschiedenen Anteilen der Großteil von As, Sb, Ni, Co, Cu und Fe gebunden.

Damit möglichst die gesamte Ofenbeschickung schmelzen konnte, wurde im Altertum im Temperaturbereich von 950 bis 1200°C gearbeitet (Conophagos, 1980, Hauptmann et al., 1988). Wenn mit Blasebälgen über Düsen Luft in die Ofenkammer oder auf den Herd eingeblasen wurde, stieg die Temperatur innerhalb kürzester Zeit auf über 1100-1300°C. Eine hohe Temperatur gewährleistet zudem einen guten Schlackenfluss und somit einen einwandfreien und zügigen Verhüttungsprozess (z.B. Tafel & Wagenmann, 1953, Tylecote & Merkel, 1985, Hauptmann et al., 1988). Nach modernen technischen Maßstäben darf die Temperatur nicht zu hoch sein, da sonst zuviel Pb verdampfen und ungewünschte Metalle wie Sb oder As schmelzen und mit dem Pb legieren würden (Tafel & Wagenmann, 1953).

Das Röst-Reaktionsverfahren

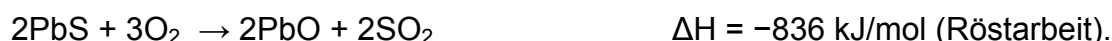
Prinzipiell gibt es zwei Wege, um Bleiglanz (PbS) in metallisches Blei umzuwandeln. Eine Möglichkeit ist das einstufige Röst-Reaktionsverfahren. Es wird bei sehr reinen und reichhaltigen Erzen angewendet (Tafel & Wagenmann, 1953, Day & Tylecote, 1991). Hierfür wird das Erz im Ofen unter Luftzufuhr zum Teil geröstet, so dass die sulfidischen Bleierze, anfangs über Bleisulfat (PbSO₄), zum Oxid umgewandelt werden. Bei Temperaturen von 500 bis 600°C dominiert die Produktion von PbSO₄. Bleioxid (PbO) und PbSO₄ können nun direkt mit dem verbliebenen PbS zu Pb und SO₂-Gas reagieren (s.u.). Während des Prozessablaufes schwimmt die ungeschmolzene Beschickung, mit dem nötigen Brennstoff gemischt, auf dem sich nach und nach ausscheidenden Bleibad. Der Brennstoffeinsatz ist infolge der frei werdenden Energie bei der Entstehung von PbO relativ gering (Tafel & Wagenmann, 1953).



Die Reaktion von Bleiglanz mit PbO ist für die Metallabscheidung maßgebend. Unter Röstbedingungen kann sich im oberen Ofenbereich schon bei Temperaturen von 650 bis 700°C metallisches Blei bilden, welches noch vor der Schlackenbildung in den unteren Ofenbereich sickert. Meier (1995) bezeichnet es als unreines, schlackenähnliches Herdblei. Nach Überschreitung des PbS/PbO-Eutektikums bei 790°C wird die Umwandlung bedeutend schneller. Die optimale Reaktionsgeschwindigkeit erfolgt ab 850°C, nach Eintritt des Schmelzflusses der Teilnehmer. Es sollten trotzdem Temperaturen von ca. 1200°C für eine optimale Schlackenbildung angestrebt werden (Tafel & Wagenmann, 1953, Krajewski & Krüger, 1984).

Das Röst-Reduktionsverfahren

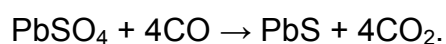
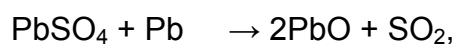
Die zweite im Altertum angewendete Methode, Blei (und Silber) zu gewinnen, ist das zweistufige Röst-Reduktionsverfahren. In ersten Schritt wird der Bleiglanz geröstet, um den Schwefel zu entfernen. Das nun vorliegende Bleioxid wird mit Holzkohle zu Bleimetall reduziert. Die Reduktionsarbeit kann in offenen Herden weit unterhalb von 800°C geleistet werden (Gale & Stos-Gale, 1981a).



Das Rösten der Erze hat verschiedene Vorteile: es vereinfacht die Zerkleinerung der Erzstücke und wandelt Sulfide, Chloride und Karbonate in Oxide um (Craddock, 1995). Die Erze sollten aber auch beim Röst-Reduktionsverfahren so rein wie möglich sein. Es gestattet die sofortige Ausscheidung der Hauptmenge des Bleis bei der Reduktion und erzeugt damit sehr reines Blei (Tafel & Wagenmann, 1953). Zur Röstreduktion in einfachen Herden liegen experimentelle Arbeiten von Tylecote (1962) und Hetherington (1980) vor.

Nach modernen wirtschaftlichen Maßstäben sollte die untere Grenze des Bleigehaltes des Erzgutes bei 60% liegen. Der Beschickung darf bis zu 5 % Kalkstein

zugeschlagen werden, höchstens aber 12 %. Unter Bildung von CaS unterdrückt es die Bildung von PbSO₄, welches die Bleiausbeute herabsetzt, da es nicht unmittelbar im Beisein von PbS, wie im Röst-Reaktionsprozess, zu Pb reduziert werden kann und dem System u.U. noch Pb entzieht:



Noch effektiver als Ca-reicher Zuschlag verhält sich BaO. Es entzieht dem Bleiglanz den Schwefel schon bei Temperaturen von 200 bis 400°C vollständig (Eckstein et al., 1994). Kalkstein setzt aber als zweiten positiven Effekt den Schmelzpunkt herauf, so dass die Röstung vollständig „im Trockenen“ ablaufen kann (Tafel & Wagenmann, 1953, Krajewski & Krüger, 1984). BaO senkt den Schmelzpunkt wie auch Fluorit (Eckstein et al., 1994).

Etwas Schwefel sollte am Ende des Röstens übrig bleiben, da zum einen das Erz sonst sehr mürbe würde und im Ofen zu Staub zerfiele, zum anderen, weil Cu dann nicht als Sulfid mit dem Stein abgeführt werden könnte, sondern in das Werkblei ginge und dessen Schmelzpunkt damit stark erhöhen würde. Auch dieser Effekt würde die Bleiausbeute verringern (Tafel & Wagenmann, 1953). Für das Schmelzen im Reduktionsgang sollte das Erzkonzentrat deshalb noch 1-2 % Schwefel besitzen und nicht „totgeröstet“ werden. Die Höchstgrenze für Zink liegt bei 5 % (Tafel & Wagenmann, 1953, Conophagos, 1980).

Schon geringe Mengen von freier Kieselsäure wirken sich bei der Röstung des Erzes negativ aus, da sich Bleiorthosilikate bilden, die die Erzteilchen mit einer dünnen Haut überziehen und die Reaktivität vermindern (zulässige Höchstmenge SiO₂ etwa 5%) (Freund, 1954, Tafel & Wagenmann, 1953, Krajewski & Krüger, 1984). Die Zugabe von Kalk während der reduzierenden Verhüttung wirkt diesem Effekt entgegen und befreit Blei aus dem Silikat unter Bildung von CaSiO₃ (Tafel & Wagenmann, 1953, Maréchal, 1985).

Weil Fluorit schmelzpunkterniedrigend wirkt, ist seine Gegenwart bei der Röstreaktion äußerst ungünstig. In größeren Mengen macht es die Anwendung des

„trockenen“ Verfahrens praktisch unmöglich. Im zweiten Schritt, der Reduktion des gerösteten Bleis, kann man dessen vorteilhafte Eigenschaft aber nutzen und die Viskosität der Schlacke herabsenken.

Kupfer und Fe sollten nur in geringen Mengen in der Beschickung anteilig sein. Bei höheren Cu-Gehalten entsteht beim Rösten Cu-Stein, der die Charge verklumpen lassen würde. Das gleiche gilt für Fe, sowie für As und Sb, die zu leicht schmelzigen Arsenaten und Antimonaten reagieren. Stein hat außerdem die negative Eigenschaft, Pb und Ag aufzunehmen, welches zu Bleistein führen würde (Berg et al., 1950).

Das Verhalten von PbO bei der Verhüttung

Bleioxid besitzt eine gute Löslichkeit in der Silikatschmelze. Für die Verschlackung des Bleis gilt, dass bei steigendem CO_2/CO -Verhältnis die Aktivität von PbO und damit auch der Verlust an Pb in der Schlacke ansteigt. Generell wird mit steigenden Temperaturen weniger PbO von der Schlacke aufgenommen (Krajewski & Krüger, 1984). Im Bereich der Düsen kann man mit höheren CO_2/CO -Verhältnissen, aber auch mit höheren Temperaturen und damit mit einem geringeren Bleiverlust rechnen (die Umwandlung von C in CO_2 verläuft exotherm). Die Bilanzierung des Bleiverlustes als PbO in der Silikatschmelze ist folglich sehr schwierig.

Während des Röstens entstehen auch Bleimeta- (PbSiO_3) ($530\text{-}700^\circ\text{C}$) und Bleiorthosilikate (Pb_2SiO_4) ($>710^\circ\text{C}$) (Tafel & Wagenmann, 1953). Da Bleisilikate i.allg. langsam kristallisieren, wird man sie in Schlacken normalerweise nicht antreffen (Tafel & Wagenmann, 1953, Freund, 1954). Hauptmann et al. (1988) fanden jedoch Bleisilikate in Bleischlacken von Thasos. Es sind in diesem Spezialfall „einzelne Schlieren mit kristallinen Bleisilikaten und tafeligen Hämatitkristallen, die z.T. in olivin- und franklinithaltige Schmelzen „intrudiert“ waren“. Folglich hat man es hier mit Fremdeinschlüssen zu tun, die vermutlich beim Abstich inkorporiert wurden.

Der Einbau von Pb in Olivine ist zumindest in natürlichen Kristallen äußerst gering. Wedepohl (1956) gibt einen durchschnittlichen Gehalt von 1 ppm Pb an. In synthetischen Olivinen ist der Bleigehalt deutlich höher und liegt im Zehntelprozentbereich (Hauptmann et al., 1988). Auch in natürlichen Pyroxenen ist

der Einbau von Pb mit 6 ppm verschwindend gering. Lediglich pneumatolytische Pyroxene besitzen bis 0,17 % Pb (Wedepohl, 1956). Sowohl die Olivine als auch die Pyroxenen spielen für den Verbleib des Bleis in den Schlacken keine tragende Rolle.

Das Verhalten von Al_2O_3 bei der Verhüttung

Al_2O_3 -Gehalte von über 10 Gew.-% können für den Verhüttungsprozess problematisch sein, da dadurch der Schmelzpunkt und die Viskosität der Schlacke deutlich erhöht wird. Die Schlacke kann dann u.U. schlagartig „einfrieren“ (Schreiner, 2002). Aluminium in größeren Mengen beeinflusst die Struktur einer Schmelze deshalb, weil es hauptsächlich als Netzwerkformer fungiert, wie teilweise auch Fe^{3+} , und zum anderen durch die 4-fach Koordination in seiner Nähe Ladungsdefizite verursacht, die durch andere Kationen ausgeglichen werden müssen (z.B. Mysen, 1988). In geringeren Anteilen ist Al_2O_3 in seinem Bindungsverhalten zu „basischen“ und „sauen“ Oxiden aber vergleichsweise unproblematisch. Nach Bachmann (1978) kann man es als neutrale „Verdünnung“ in einer Schlacke ansehen.

Bei der Kristallisation von silikatischen Mineralen wird zu einem geringen Anteil auch Al^{3+} in das Kristallgitter eingebaut. Mischungsglieder der Spinellgruppe können viel Al^{3+} aufnehmen. Der Rest ist als Al_2O_3 im Schlackenglas gelöst. Die in Kapitel 6.2a beschriebenen Ferritspinelle führen bis 12 Gew.-% Al_2O_3 .

Das Verhalten von FeO/Fe_2O_3 bei der Verhüttung

Wie bei der Kupferverhüttung sind die Bedingungen bei der Bleiverhüttung nicht streng reduzierend. Der Fe-Anteil der Schmelze befindet sich deshalb generell in oxidischer Form. Es gilt allgemein, dass SiO_2 das Oxid des 2-wertigen (als Olivin) und CaO (als Calciumorthosilikat) das des 3-wertigen Fe stabilisiert (Bachmann, 1978). Schwefelrestgehalte bildet zusammen mit Fe und anderen Elementen (s.u.) Stein (z.B. Rehren et al., 1999). Eine Reduktion der FeO-Anteile ist unerwünscht, da sich metallisches Eisen mit Blei vermengen und das Blei damit unbrauchbar machen würde (Tafel & Wagenmann, 1953, Bachmann, 1978). Die Löslichkeit von Fe in Blei ist äußerst gering.

Eisen führende Schlackenphasen sind in der Bleimetallurgie häufig. Aufgrund der raschen Abkühlung der Schlacken kommen aber nur Oxide und einfache Insel- und Kettensilikate in Frage. Eisen kann in 3-facher und 2-facher Oxidationsstufe in Magnetit oder Ferritspinell gebunden sein. Ferritspinell ist in allen Metallhüttenschlacken mit mittleren bis hohen FeO-Gehalten vorhanden. Auch mit der Bildung von Fe-reichem Hedenbergit ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) ist bei entsprechenden FeO- und CaO-Angebot zu rechnen. Bei hohen FeO-Gehalten treten in Schlackengläsern auch Fe-reiche Fayalite auf. FeO kann in den Olivinen isomorph gegen ZnO ausgetauscht werden. Entsprechend erhält man über Zinkfayalit ($(\text{Zn}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$) Zn-reichen Willemit (Zn_2SiO_4) (Freund, 1954).

Das Verhalten von ZnO bei der Verhüttung

Das meiste Zn wird schon bei der Röstung der Erze entfernt. Der Rest geht bei der Verhüttung entweder in die Schlacke oder wird reduziert und dann abgeraucht (Tafel & Wagenmann, 1953). Ab etwa 17% Zn ist die Sättigungslöslichkeit des ZnO im Glas erreicht und die Viskosität der Schlacke steigt erheblich an. Bleischlacken von Herculaneum besitzen bis zu 14% Zink (Krajewski & Krüger, 1984). In solchen Fällen muss man mit Verlusten an metallischen Pb in der Schlacke rechnen.

Viele Schlackenphasen können durch Substitution einen Teil des in der Schlacke gelösten Zn aufnehmen (z.B. Ettler et al., 2000). Zink kann in Magnetit das Fe^{2+} z.T. ersetzen (Zinkferrit, Fe_2ZnO_4) und führt bei entsprechend hohen Zn-Gehalten zur Bildung von Zn-reichem Olivin (Willemit, $(\text{Zn}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$). Auch in Pyroxenen kann Zn eingebaut werden (Freund, 1954, Ettler et al., 2000, Manasse & Mellini, 2002). In von Ettler et al. (2000) untersuchten Schlacken hatten Klinopyroxene bis zu 1,56 Gew.-% ZnO eingebaut. Bekannt sind auch natürliche Pyroxene (Jeffersonit) mit 3-10% Zn (Freund, 1954).

Das Verhalten von Ag, Sn und Bi bei der Verhüttung

Silber und Bi liegen atomar in der Silikatschmelze vor (Krajewski & Krüger, 1984). Silber geht fast vollständig in das gewonnene Blei über (Tylecote, 1976). Ein Teil des Bi wird abgeraucht (Bachmann, 1982b). Bilden sich Stein und Speise, so wird Ag

auch dort gespeichert (Tafel & Wagenmann, 1953, Rehren et al., 1999). Craddock et al. (1987) fanden Ag-Gehalte von bis zu 1 % in Speiserückständen alter Schlackenhalde von Rio Tinto. Eine Rückgewinnung des Ag aus der Speise ist nicht möglich (Kassianidou, 1998). Zinn geht hauptsächlich ins Werkblei (Tafel & Wagenmann, 1953).

Das Verhalten von As und Sb bei der Verhüttung/Speisebildung

Die Prozessparameter zur Speisebildung ähneln denen der Bleigewinnung (Rehren et al., 1999). Ein großer Teil des As geht aber schon als As_2O_3 während des Röstens verloren. Antimon lässt sich ebenfalls leicht abrauchen. Arsen und Sb haben bei reduzierender Ofenatmosphäre eine große Neigung mit Ni, Co, Cu und Fe Arsenide und Antimonide zu bilden. Fehlen die Bedingungen zur Speisebildung, so gehen nicht abgerauchtes As und Sb bis zu einem gewissen Grade ins Werkblei und in den Stein (s.u.), als Oxid aber auch in das Glas der Schlacke. Im besonderen Maße geschieht dies im Kontaktbereich von Speise und Glas (Rehren et al., 1999). Im geschmolzenen Zustand kann Speise Ag und andere Edelmetalle sowie erhebliche Mengen an silberführendem metallischen Pb und auch Sb aufnehmen (Pernicka & Bachmann, 1983, Bachmann, 1991, Keesmann, 1993, Rehren et al., 1999). Der Ag-Gehalt in den Fe-As-Phasen kann 1000 ppm erreichen, liegt aber meistens unterhalb 100 ppm (Keesmann, 1993).

Stein-/Mattebildung

Die Affinität von S zu Fe, Cu und Ni ist sehr hoch. Sofern S nicht abgeraucht wurde, kann sich zusätzlich zur Metall- und/oder Speisephase eine Steinphase bilden (Tafel & Wagenmann, 1951, Krajewski & Krüger, 1984, Maréchal, 1985). Ist der Gehalt an S in der Beschickung jedoch unter 2 %, sollte sich kein Stein bilden, da sowohl das Werkblei als auch die Silikatschmelze ein gewisses Lösungspotential für Sulfide besitzen (Tafel & Wagenmann, 1953). Stein oder Matte ist ein Gemisch aus Cu- und Fe-Sulfiden, spezifisch schwerer als Schlacke und leichter als Werkblei (Bachmann, 1991). Wie Speise nimmt auch Stein Anteile an Ag, Au, As, Sn und Sb auf (Tafel & Wagenmann, 1951). In bleireichen Schlacken besteht Stein aus Pb-, Cu- Fe-

und/oder Zn-Sulfiden, in typischer eutektischer Verwachsung (Rehren et al., 1999). Meist liegt Stein in Tröpfchenform in der Schlacke vor (Tafel & Wagenmann, 1953).

Die oxidischen Schlackenphasen (Spinelle)

Da Ferritspinelle immer zu den Erstkristallisaten gehören, findet man sie praktisch in allen Fe-führenden Metallhüttenschlacken. Im Glas tritt Ferrit in kleinen Körnern, (Oktaeder-)Skeletten oder scharfkantigen Kristallen auf. Substitutionen mit anderen Kationen treten fast immer auf. Das Fe^{2+} kann durch Mg^{2+} , Mn^{2+} oder Zn^{2+} , das Fe^{3+} durch Al^{3+} oder Cr^{3+} ersetzt werden. Charakteristisch für Ferrit sind auch TiO_2 -Gehalte bis 2 Gew.-% (Tafel & Wagenmann, 1953).

Die silikatischen Schlackenphasen

Bei der Ausbildung der Schlackenphasen spielt die Olivin-Mischreihe eine wichtige Rolle. Die Olivine zeigen im Normalfall eine stengelige oder tafelige Ausbildung, Skelette mit weiträumigen Formen sind ebenfalls möglich (Endell et al., 1934). Bei gleichem Chemismus können Olivine sehr variable Formen aufweisen (Faure & Schiano, 2004). Zonarbau mit Mg-reichen Kern und Fe-reichen Rand ist möglich (Hauptmann et al., 1988). Interessanterweise kann die Morphologie der Olivine Informationen über die Abkühlungsgeschwindigkeiten geben. Kühlt eine Schlacke sehr schnell ab, bilden sich fiederförmige Olivine, bei langsamerer Abkühlung bilden sich tafelige Olivine oder „Fensterolivine“ (Donaldson, 1976, Faure & Schiano, 2004).

Je Fe-reicher die Schlacke ist, umso mehr Zn kann bei Bildung von Olivin gebunden werden. Fayalit vermag nach Freund (1954) bis zu 9 Gew.-% ZnO einzubauen. Ettlér et al. (2000) fanden in fayalitischen Olivinen bis zu 7,82 Gew.-% ZnO. In mittelalterlichen Bleischlacken aus dem Harz waren es sogar 12,75 Gew.-% ZnO (Chaudhuri & Newesely, 1993). Fayalit ist über ein weites Feld von Bedingungen stabil. Es gibt Schlacken, die beinahe vollständig aus Fayalit aufgebaut sind.

Willemit ($(\text{Zn,Fe})_2\text{SiO}_4$) tritt in ZnO-reichen Schlacken auf und kann erhebliche Mengen an MnO und FeO aufnehmen (25 bis 30% Gew.-%). Eine uneingeschränkte Mischbarkeit wird jedoch ausgeschlossen. Im Phasendiagramm Fayalit-Willemit

beginnt die Mischungslücke auf der Fayalitseite bei ca. 13-14 Gew.-% ZnO (Ettler et al., 2000).

Weitere wichtige Schlackenminerale sind Pyroxene. Des Öfteren haben sie Magnetit-Einschlüsse. Der häufigste Pyroxen in Bleischlacken ist Hedenbergit (Freund, 1954). Er fällt durch eine kräftige Farbe auf und zeigt Pleochroismus von dunkelgrün nach braun. Er kristallisiert bei etwa 1100°C, wenn genügend CaO oder MgO neben FeO zur Verfügung stehen (Hess et al., 1998).

Glas

Bleioxid hat eine stark Schmelzpunkt erniedrigende Eigenschaft. Trotzdem neigen Pb-reiche Schlacken mit hohen SiO₂-Anteilen zur glasartigen Erstarrung, sofern ein höherer Anteil an zur Phasenbildung geeigneter Zuschläge fehlt. Die Verhüttung von Bleierzen mit hohen Anteilen an basischen Zuschlägen (ca. 45-70 Gew.-%) führt dagegen zu bleiarmer Silikatschmelzen (0-15 Gew.-%), die bei Erreichen von Mindesttemperaturen über 1100°C sehr phasenreich sein können (z.B. Olivin, Hyalophan, Klinopyroxen, Spinell) (vergl. Hauptmann et al., 1988, Heimbruch et al., 1989, Eckstein et al., 1994).

Die Zuschläge/Flussmittel

Unter Zuschläge versteht man Gesteine, Erze oder Schlacken, die den Verhüttungsprozess optimieren sollen (Pernicka et al., 1984). Mit „basischen“ Oxiden (s.o.), so genannten Netzwerkmodifizierern, dies sind Alkali- und Erdalkalimetalle, Fe²⁺ und teilweise Fe³⁺, wird beispielsweise der Polymerisationsgrad und deshalb auch die Viskosität erniedrigt. Der Anteil der nichtbrückenbildenden Sauerstoffe wird erhöht (z.B. Bachmann, 1978, Mysen, 1988).

Flussmittel sind Baryt (BaSO₄), Fluorit (CaF₂), Calcit (CaCO₃), Eisenoxide und Eisensulfide, Kalkstein und Quarz (SiO₂). Fluorit hat die Eigenschaft, den Schmelzpunkt der sich im Ofen bildenden Schlacken zu erniedrigen, so dass die Trennung der Metalle vom Rest der Ofenfüllung vereinfacht wird (Bachmann, 1978). Baryt erleichtert die Entschwefelung des Bleiglanzes und unterdrückt damit die

Bildung von PbSO_4 (s.o.). Im Besonderen mit Fluorit erniedrigt Baryt die Viskosität der Schlacken (Maréchal, 1985). Die höhere Dichte bariumreicher Schlacken kann aber ein Absetzen der metallischen Bestandteile erschweren (Eckstein et al., 1994).

Mit dem Zuschlag von Kalkstein darf man während der Verhüttung an die obere Grenze von 20 % gehen. Kalziumoxid ist eine sehr starke Base und kann PbO deshalb aus der Schlacke verdrängen. Kalkreiche Schlacken sind deshalb besonders bleiarm (Tafel & Wagenmann, 1953). Magnesiumoxid reagiert ähnlich wie CaO , macht die Schlacke aber weitaus flüssiger.

Quarz wird als Sand zugeschlagen. Ohne SiO_2 ist eine dünnflüssige Schlacke kaum denkbar. Siliziumoxid vereinigt sich schon bei recht niedrigen Temperaturen mit den Basen, da SiO_2 in der Hitze sehr reaktiv ist. Die hypothetischen Silikate (z.B. CaSiO_3 , Pb_2SiO_4 , PbSiO_3 , PbFeSiO_4) mit ihren niedrigen Schmelzpunkten ermöglichen es, bei Arbeitstemperaturen um die 1000°C flüssige Schlacken zu erzeugen (s.o., Tafel & Wagenmann, 1953).

Entscheidend für eine effektive Bleiverhüttung ist das Verhältnis zwischen Oxid und SiO_2 . Wichtige Oxide sind FeO , MgO , CaO , BaO , Al_2O_3 . Je größer der Quotient Oxid/ SiO_2 , desto weniger Blei ist in den Schlacken gelöst (z.B. Domergue, 1987b, Bachmann, 1991). Daher ist der hohe Bleigehalt vieler römischer Bleischlacken ein Indiz, dass die Römer keine oder nur wenige Zuschläge beigaben (Bachmann, 1991, s.a. Kapitel 6.2a). Basisch reagierende Zuschläge sind vor allem Eisenerz, Kalk und Baryt.

Römische Öfen und Bleischlacken

Aus der Römerzeit sind sogenannte Herdöfen bekannt, die als einfache trichterförmige Gruben in die Erde eingegraben wurden. Es gab auch niedrige Schachtofen, die etwa 1 m Höhe hatten (Forbes, 1950, Tylecote, 1976). Wahrscheinlich waren sie mit Kaminen ausgerüstet (Forbes, 1950). Beide Varianten werden ausführlich von Tylecote & Merkel (1985) beschrieben. Das sich bildende Herd- oder Werkblei sank durch die Ofencharge in die Ofensohle, die vielleicht mit Kohlepulver oder Lehm ausgekleidet war (Meier, 1995). Um den natürlichen Luftzug zu nutzen, baute man solche Konstruktionen gern an Hängen und orientierte die

Öffnungen des Ofens in Hangrichtung (Bachmann, 1982a, b). Die Schachtöfen aus der Zeit des klassischen Griechenlands in Laurion werden von Conophagos (1980) auf 3 m bis 4 m Höhe geschätzt. Er nennt die gut erhaltenen Öfen von Panormos als Beispiel. Als Wände dienten hitzeresistente Glimmerschiefer. Meistens ist eine Rekonstruktion des Ofenaufbaus, vor allem die Höhe des Ofens, aber nicht mehr möglich. Tylecote (1976) und Bachmann (1982a) nennen einige Beispiele zerstörter Verhüttungsöfen aus Deutschland, Britannien und Griechenland. Hoch gebaute Konstruktionen hatten gegenüber einfachen Gruben zweierlei Vorteil: sie schützten die Arbeiter vor schweren Rauchvergiftungen und ließen Blei- und Zinkoxide im oberen Bereich des Ofens wieder ausfällen. Plinius und Dioscorides erwähnen die Kondensate als geschätzte Nebenprodukte der Bleigewinnung.

Zur Kupellation

Die Anfänge der Kupellation (Treibarbeit), also der Entsilberung von Bleimetall, scheinen frühestens im 4. Jahrtausend v. Chr., zuerst in kleinen Tiegeln (Forbes, 1950), betrieben worden zu sein (Hess et al., 1998, Pernicka et al., 1998). Die Kupellation ist damit der erste eingesetzte chemische Trennprozess der Menschheitsgeschichte (Pernicka, 1990).

Kupelliertes Silber lässt sich deutlich von gediegenem durch seinen Pb-Gehalt unterscheiden. Gediegenes Silber enthält meist weniger als 100 ppm Pb (Pernicka, 1987, 1990), abgetriebenes Silber dagegen nach Gale & Stos-Gale (1981a) und Moesta (1983) 500 ppm bis 2,5 % Pb, nach Pernicka (1987) 100 ppm bis 1000 ppm. Neben Pb könnten Au und Hg als weitere Unterscheidungskriterien dienen. Craddock (1995) beschreibt Au-Anteile von unter 100 ppm in gediegenem Silber. Mit PbS verwachsenes Ag_2S enthält dagegen bis zu 5000 ppm Au (Craddock, 1995). Quecksilber liegt in gediegenem Silber, zumindest in kalt verformten, in signifikanten Mengen vor, wird bei der Kupellation aber komplett entfernt. Andere Elemente wie Cu oder Bi sind als Charakteristikum durch ihre relativ flexiblen Legierungsanteile im Silber eher problematisch (Pernicka & Bachmann, 1983, Craddock et al., 1985).

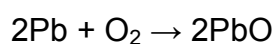
Kupellen oder Treibeherde bestehen im Wesentlichen aus Knochenasche (Ca-Phosphat), kalkigem Mergel, Dolomit oder Bittererde (MgO), welche mit einem

Bindemittel wie Ton in die gewünschte Form gepresst werden. Das Materialgefüge ist bestens geeignet, das sich bildende PbO durch den Kapillarsog aufzunehmen.

In römischer Zeit wurden die Kupellenherde zumindest mit Knochenasche oder Pottasche (K_2CO_3) ausgekleidet (Craddock, 1995). Plinius (33.95) berichtet von der Treibarbeit. Überreste römischer Kupellationsherde findet man u.a. in England und Deutschland (Gowland, 1920, Rickard, 1932, Bachmann, 1978).

In vorrömischer Zeit benutzte man wie in Laurion (dolomitische) Tone als Herdmaterial und entfernte die dem Blei aufschwimmende Bleiglätte durch Abziehen (Conophagos, 1980). Wichtig ist, dass man grundsätzlich refraktäre Materialien verwendet, die sich nicht mit dem reaktionsfreudigen PbO wie beispielsweise Quarz verbinden (Tylecote, 1987). Es würde der Rückführung von PbO zu metallischem Blei entgegenwirken oder, wie bei der Verwendung von Keramiken, auf dem flüssigen Blei eine Bleiglasur bilden lassen, die den Treibeprozess zum Erliegen bringen würde (Bachmann, 1991).

Zur Oxidation flüssigen Bleis zu Bleiglätte war in der Antike und im Mittelalter die Zufuhr von Luft mit Blasebälgen unumgänglich. Nur so konnte garantiert werden, dass die Temperatur sowohl über dem Schmelzpunkt der Bleiglätte ($884^\circ C$) als auch des Silbers ($960^\circ C$) lag (Meier, 1995). Bei $1000^\circ C$ liegen Metall und Oxid als zwei kaum miteinander mischbare Schmelzen vor. Die Trennung erfolgt gravitativ und die Bleiglätte schwimmt auf dem Bleimetall (Rehren & Klappauf, 1995). Die Oxidation verläuft exotherm:



$$\Delta H = -448 \text{ kJ/mol.}$$

Dabei bildet sich an der Oberfläche eine 2-3 mm dicke Schicht aus Bleiglätte, die zu Beginn bei relativ niedrigen Temperaturen mit einem Rechen o.ä. abgezogen werden kann, da sich hier der Hauptteil ungewünschter Elemente sammelt (Tafel & Wagenmann, 1951). Flüssiges Blei sinkt gewöhnlich nicht in dem Kupellenboden. Nur in Rissen und größeren Poren kann es eintreten. Da der Auflastdruck des geschmolzenen Metalls zu Anfang größer ist, sind die in der Kupelle gefangenen Tropfen meist noch nicht allzu sehr mit Ag angereichert. Aufgrund der relativ hohen

Oberflächenspannung des Metallbades kann die Bleiglätte zum Rand der Treibeteller hin leicht abfließen und in der porösen Unterlage einsickern.

Wenn bei höheren Temperaturen im zweiten Schritt, dem sogenannten Feintreiben, alles Blei als Bleiglätte vom Kupellenboden aufgesogen war, blieb das Silber auf der Kupellenoberfläche übrig, welches sich gegebenenfalls durch den „Silberblick“ verriet („König“, Blick- oder Guldisch Silber). Im kleinen Maßstab und mit bekannter Einwaage wird der Vorgang als Probieren bezeichnet.

Bei der Kupellation von Werk- oder Reichblei (>600 ppm Pb) kommt es zu einer Selektion der Spurenelemente. Arsen und Sb werden z.T. verflüchtigt oder wandern zusammen mit Sn schon sehr früh in die Bleiglätte bzw. den Abstrich. Zink geht hauptsächlich durch Flugstaub verloren, ein sehr geringer Teil verbleibt in der Bleiglätte (Pernicka & Bachmann, 1983, Craddock et al., 1985). Nur wenig Cu, maximal 5000 ppm, geht in das Silber, der größte Teil verbleibt in der Bleiglätte. Wismut legiert mit einem Anteil von 1000 ppm bis 1 % mit dem Silberregulus (Gale & Stos-Gale, 1981a, Pernicka & Bachmann, 1983). Höher konzentriert (2-3%) können dort Se und Te sein (Pernicka & Bachmann, 1983). Gold und die Platinmetalle reichern sich vollständig im Silber an (Pernicka, 1990), von dem theoretisch ca. 100 ppm in der Bleiglätte verbleiben (z.B. Rehren, 2002). Die Effizienz der Entsilberung von Werkblei kann durch größere Mengen As und Sb gestört werden. Tafel & Wagenmann (1951) geben als Beispiel einen Sb-Gehalt von über 7000 ppm an.

In der Frühzeit scheint eine Kupellation erst dann lohnenswert gewesen zu sein, wenn das Werkblei einen Ag-Anteil von mindestens 700 bis 800 ppm aufgewiesen hat (Tylecote, 1962, 1976, Gale & Stos-Gale, 1981a, Pernicka et al., 1983). Tylecote (1964, 1987) ist der Annahme, dass in römischer Zeit Blei mit 600 ppm Ag lohnenswert für die Silberproduktion gewesen sein mag. Dies ist ein sehr hoher Wert, wenn man davon ausgeht, dass die technische Entsilberungsgrenze in griechischer Zeit bei 200 ppm bis 250 ppm Ag gelegen haben soll (Forbes, 1950, Tylecote, 1987). Möglicherweise gingen die Römer viel verschwenderischer mit den Rohstoffen und den darin enthaltenen Edelmetallen um als zuvor und danach in der Geschichte (Tylecote, 1987).

6.2a Die Bleischlacken vom Lüderich

Von insgesamt fünf Bleischlacken der Blei-/Silbergewinnung am Lüderich (D-102a-c, e, f) wurden für Lichtmikroskopie und EDX-Analytik Dünnschliffe angefertigt sowie deren Chemismus (Tab. 6.1 und 9.30), Phasenbestand und die Bleiisotopie (Tab. 9.24) bestimmt. Die Archäologie kann Kapitel 3.2c entnommen werden. Von zwei Bleischlacken werden exemplarisch Fotografien der Handstücke und Dünnschliffbilder vorgestellt (D-102a und c, Fotos 6.1 bis 6.4). Bei den Bleischlacken handelt es sich um Verhüttungsrelikte der Zone V nach Keesmann (1993) (Abb. 6.1). Es sind i.allg. glasreiche Schlacken, die durch die geringere Dichte ($3\text{-}4\text{ g/cm}^3$) andere Komponenten wie Stein, Speise und Metallschmelze überlagern. In unserem Fall besitzen sie als äußere Merkmale neben zahlreichen Quarzsandsteinrelikten makroskopisch erkennbare Blasen Hohlräume. Speise- oder (Kupfer)Steinreste wurden nicht nachgewiesen. Entweder war der Rohstoff nicht entsprechend zusammengesetzt, oder die Römer versuchten durch Vorsortierung des Erzgesteins, den Bleiglanz möglichst rein der Verhüttung zuzuführen kann. Ein Platz zum Pochen der Erzgesteine wurde am Lüderich aber nicht entdeckt.

Schlacken mit sehr vielen ungelösten Quarzanteilen werden in der archäologischen Literatur als „free-silica-slags“ bezeichnet. Dies ist eigentlich eine petrographisch irreführende Typologisierung, da sie bedeutet, dass die Silikatschmelzen einen Gleichgewichtszustand erreicht und sich SiO_2 -Überschussphasen dabei gebildet haben (vergl. Keesmann, 1993). Tylecote (1987) nimmt an, dass der Überschuss an Quarz-reichem Material bewusst zugegeben wurde, um das Schlackenvolumen zu vergrößern, so dass man die wertlosen Schlacken wie einen Schwamm aus der Schmelze stoßen konnte. Ohne entsprechende Belege lehnt Hauptmann (2007) diese Vermutung jedoch ab, da es wahrscheinlicher ist, dass die ungelösten Quarz-Einschlüsse aus der Ofenwand, dem Ganggestein oder dem Bodenbereich des Arbeitsplatzes stammen, zumal Körlin (2006) schreibt, dass die Ofenbruchstücke der Ofenunterbaue oft mehrere Zentimeter stark verschlackt sind (Kapitel 3.2c).

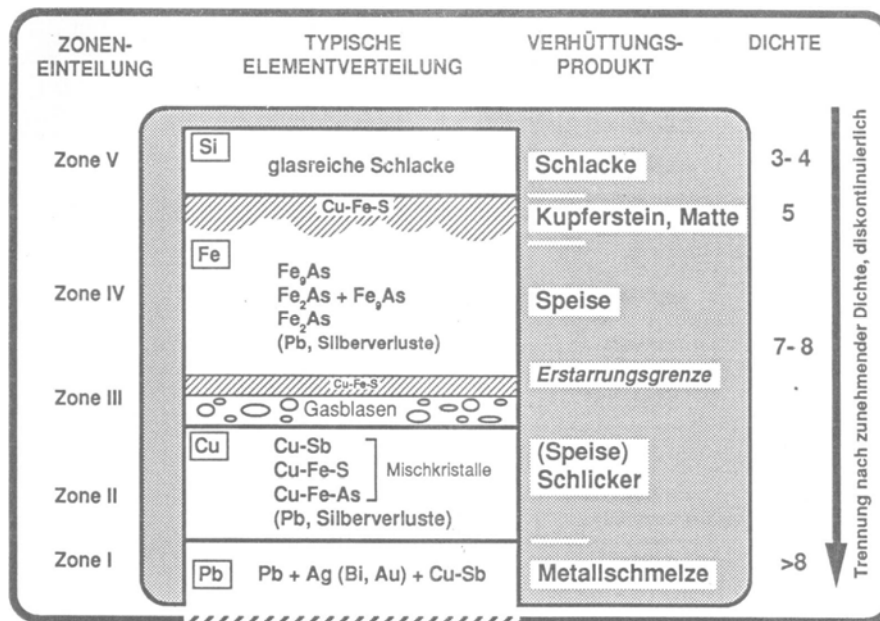


Abb. 6.1: Idealisierte zonale Aufteilung von Bleierz-Verhüttungsprodukten am Beispiel der Blei-/Silbergewinnung von Monte Romero (Rio Tinto, Spanien) (aus Keesmann, 1993). Die Bleischlacken vom Lüderich gehören zur Zone V. Speise oder (Kupfer-)Stein lag nicht in den Schlacken vor.

Vorstellung der Bleischlacken vom Lüderich

Die Oberflächenverwitterung der Bleischlacke D-102a (Foto 6.2) ist weniger stark ausgeprägt als die der Bleischlacke D-102c (Foto 6.4). Die Schlacke D-102a ist äußerlich nahezu schwarz und besitzt nur stellenweise einen weißen Überzug aus Cerussit und Hydrocerussit, meist in kleinen Hohlräumen; oder eine rostig-braune Färbung durch Fe-reiche Verwitterungsprodukte (Goethit, Hämatit). Die Oberfläche der Schlacke D-102c ist dagegen vollständig in eine rotbraune und grüne Farbe übergegangen. Die farbgebenden Verwitterungskrusten durch die Zersetzung des Glases sind im unteren Schlibbfeld von Foto 6.3 zu erkennen.

Die Bleischlacke D-102a ist mit einem großen Fragment verziegelter Ofenwand verwachsen und hat wie die Schlacke D-102c zahlreiche makroskopische Fragmente von Quarzsandstein inkorporiert (Foto 6.1 bis 6.4). Das Dünnschliffbild 6.1 der Bleischlacke D-102a zeigt einen dunklen Reaktionssaum zwischen dem Bleiglas und der Ofenwand. Innerhalb des Glases der Bleischlacke trifft man auf mikroskopische Reste der Ofenwand (Foto 6.5). Da direkt unterhalb der Schmelzherde Sandstein ansteht (Körlin & Gechter, 2003), stammen Einschlüsse davon in den Schlacken sehr wahrscheinlich vom Bodenmaterial in der Nähe der Öfen.

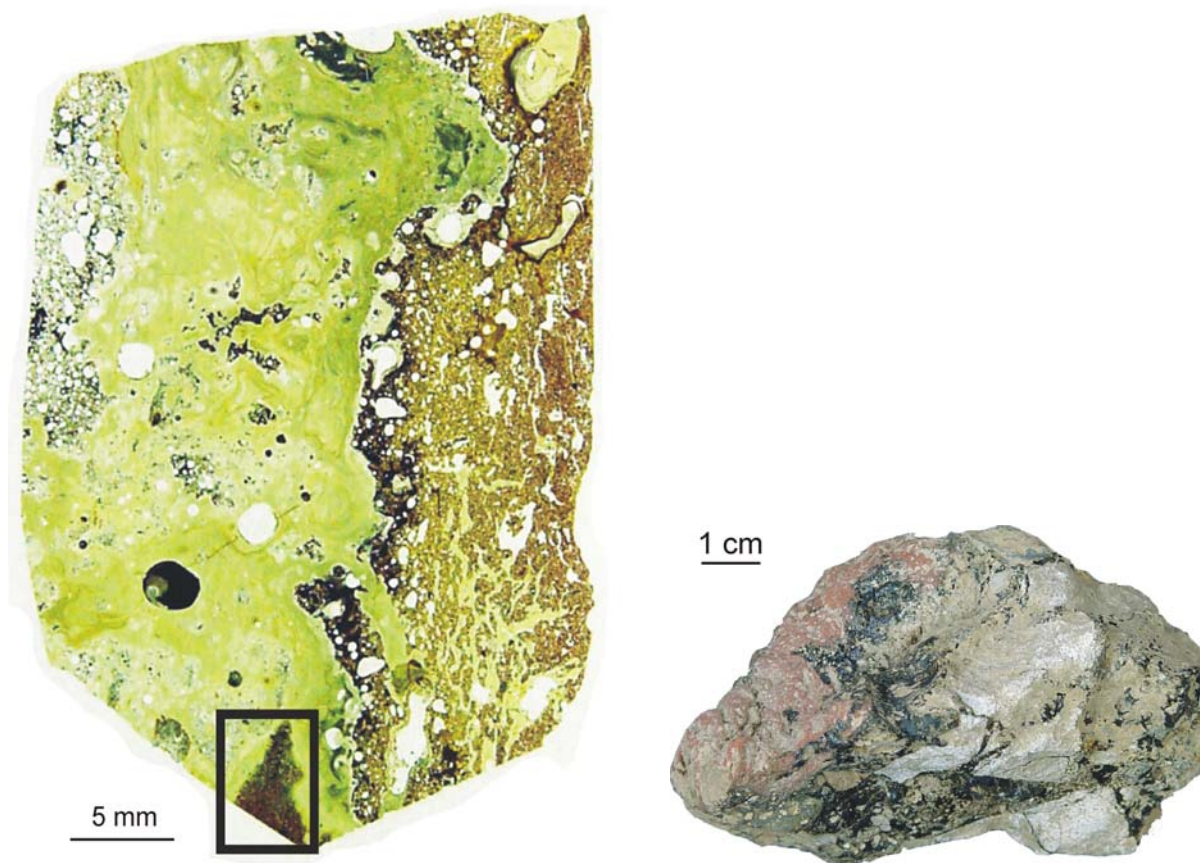


Foto 6.1 (links): Lüderich, Bleischlacke D-102a (Dünnschliff): verziegelte Ofenwandung in der rechten Bildhälfte. Das hell- bis dunkelgrüne Glas besitzt viele Quarz-Einschlüsse, Fragmente der Ofenwandung und zahlreiche Blasen Hohlräume. Der schwarze Rahmen hebt einen keilartig in die Bleischlacke integrierten Teil eines phasenreichen Glases mit Ferrit, Hedenbergit und Olivin hervor, der dunkle tropfenförmige Einschluss im unteren linken Bildbereich ist Bleimetall.

Foto 6.2 (rechts): Lüderich, dunkelgrüne bis schwarze Bleischlacke D-102a mit rotem Ofenziegel (Randbereich links) und zahlreichen hellgrauen Quarzsandsteinfragmenten (rechte Hälfte).

In den Schlacken D-102a und D-102c sind deutliche Heterogenitäten zu erkennen. Im ersten Beispiel (Foto 6.1, unten) ist der markanteste Bereich mit einem schwarzen Rahmen markiert. Hier reicht ein sehr phasenreiches Glas mit Ferrit, Hedenbergit und Olivin wie ein Keil in die ansonsten phasenarme, aber an Quarz-Einschlüssen reiche Schlacke hinein. Da die Grenzen sehr scharf ausgebildet sind, handelt es sich in diesem Fall u.U. um die Wiederaufschmelzung zerschlagener Schlacken. Die Wiederverwertung alter Schlacken für die Blei-/Silberextraktion und auch der Kupfergewinnung ist seit der Frühzeit der Metallurgie vielfach belegt (Bachmann, 1982a, Domergue, 1983, zitiert in Keesmann, 1993, Hauptmann, 2000, 2007). In der zweiten Schlacke (D-102c) erkennt man im linken unteren Teil einen scharfen Farbübergang zwischen dem dort sehr hellen Quarz-reichen Glas I und dem Quarz-reichen, aber dunkelgrünen Glas II. Die schwarzen Bereiche innerhalb von Glas II

bestehen aus massenhaften Vorkommen von Ferritkriställchen (Foto 6.3). Ganz offensichtlich besteht die Bleischlacke aus zwei heterogenen Gläsern, die sich im Chemismus und/oder in ihren Bildungsbedingungen unterscheiden (s.a. Bleischlacke D-102b, Foto 6.6).

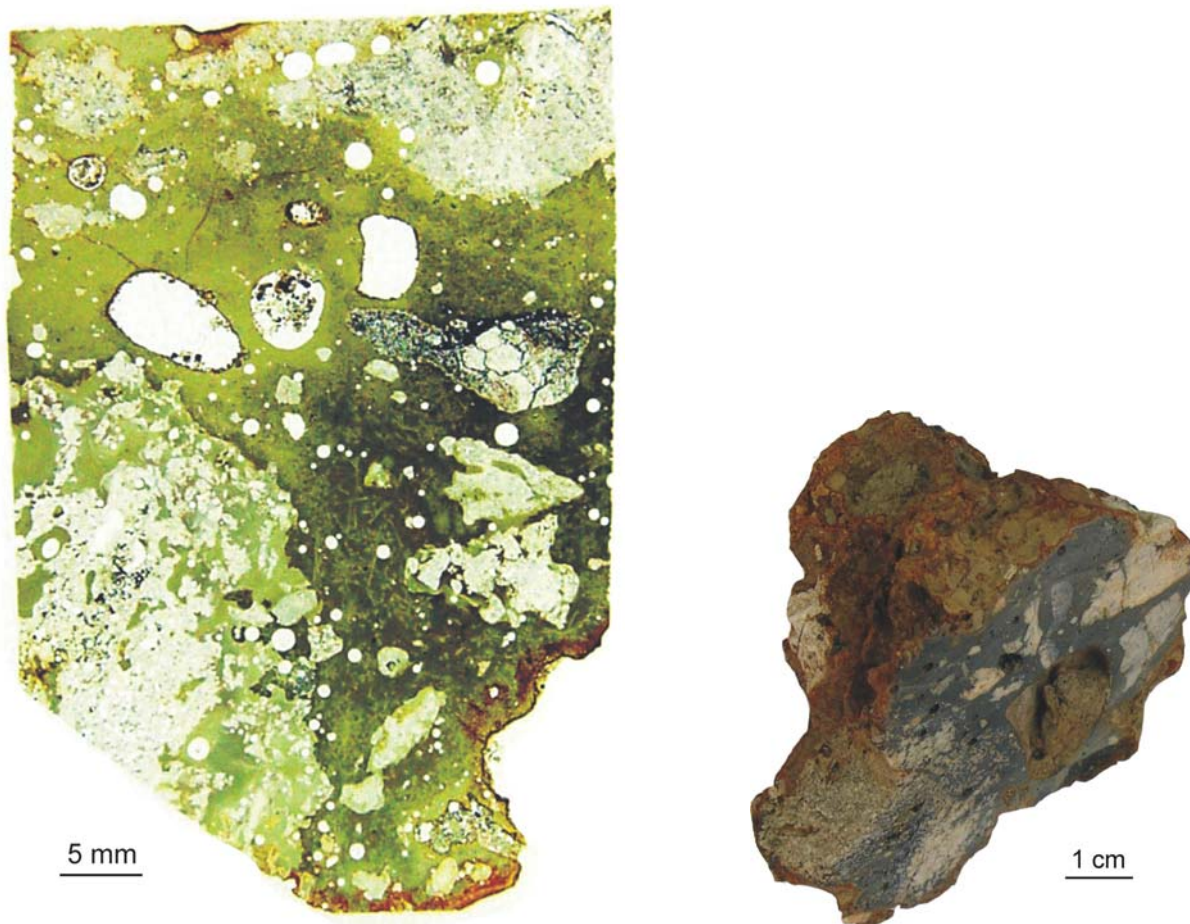


Foto 6.3 (links): Lüderich, Bleischlacke D-102c (Dünnschliffbild): hellgrüner Glastyp I mit vielen kleinkörnigen Quarz-Einschlüssen im unteren linken Bereich im scharfen Kontakt mit einem dunklen Glas II mit großen Entgasungshohlräumen. Dort gibt es auch makroskopische Quarzfragmente, die schwarzen Bereiche führen massenhaft Ferritkriställchen. Die rotgefärbten Ränder des Schliffs führen Hämatit und Goethit als Verwitterungsprodukte.

Foto 6.4 (rechts): Lüderich, Bleischlacke D-102c im Anschnitt. Intensive Verwitterung an der stark porösen Oberfläche (Hämatit, Goethit). Im Anschnitt erkennt man zahlreiche größere Quarzsandstein-Bruckstücke im rechten (Glas II, Foto 6.3) und fein verteilten Quarz im linken Teil der Schlacke (Glas I, Foto 6.3).

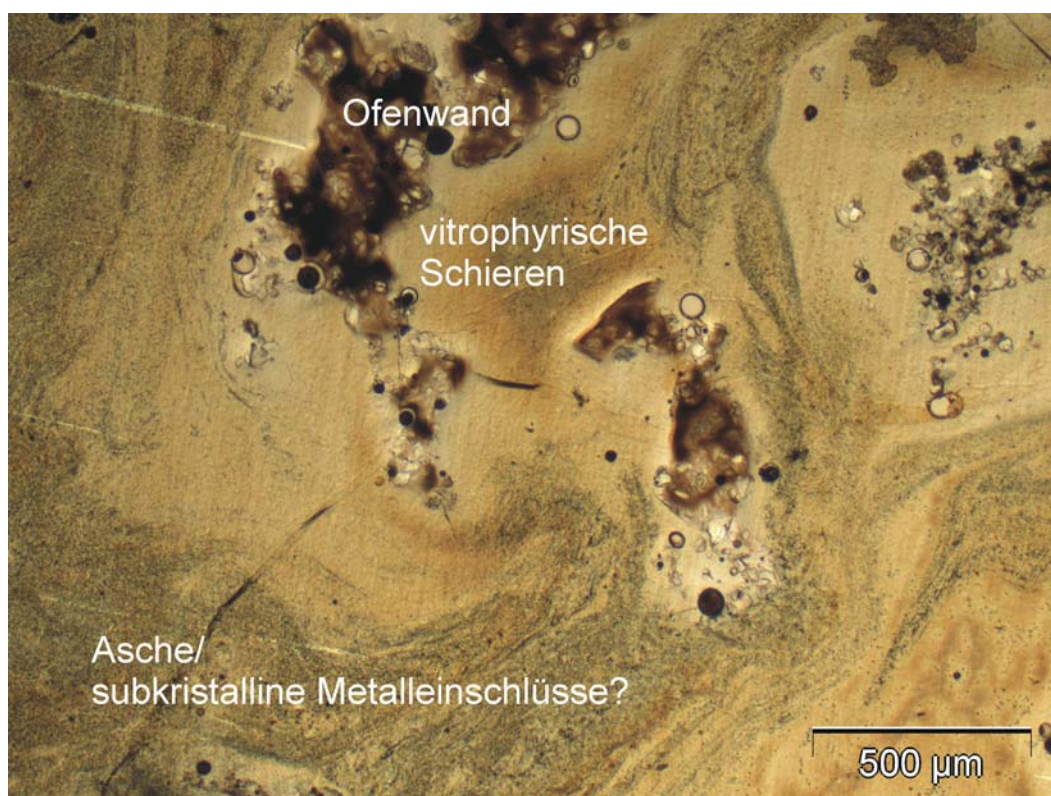


Foto 6.5: Lüderich, Bleischlacke D-102a (Lichtmikroskop, Durchlicht): Glas ohne erkennbare Phasenkristallisation mit teilweise aufgelösten Ofenwandfragmenten und vitrophyrischen Schieren, verursacht durch Auflösung der Ofenwandfragmente. Die Fließbewegungen der Schmelze zwischen den Ofenwandfragmenten werden durch die zahlreichen dunklen Einschlüsse nachgezeichnet. Es könnte sich hierbei um submikroskopische Metalleinschlüsse oder Aschepartikel handeln.

Chemismus der Bleischlacken vom Lüderich

Die in Tab. 9.30 aufgeführten ICP-OES-Analysen des Gesamtchemismus der fünf Bleischlacken werden für deren Interpretation nicht herangezogen. Zum einen sind die Schlacken nicht vollständig verflüssigt worden und enthalten viele nicht gelöste Quarz- und Quarzsandstein-Einschlüsse, die sich besonders in den Schlacken D-102a-c verfälschend auf den Gesamtchemismus auswirken. Zum anderen bestehen die Bleischlackenstücke, wie oben beschrieben wird, aus verschiedenen miteinander verwachsenen, nicht vollständig verflüssigten Silikatschmelzen und gerade deren Chemismus und Phasenbestand soll vergleichend in diesem Kapitel diskutiert werden. Deshalb wurden phasenfreie Bereiche der vollständig verflüssigten Silikatschmelzen zusätzlich mit dem EDX abgescannt, um so einen Eindruck über die Anteile der Hauptkomponenten SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO , ZnO und PbO in den Gläsern oder Teilbereichen der Gläser zu bekommen (Tab. 6.1, fett gedruckte Messwerte). In Abb. 6.2 werden die Ergebnisse der EDX-Analysen visualisiert.

Probe	Oxide	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]	FeO [Gew.-%]	ZnO [Gew.-%]	PbO [Gew.-%]
D-102a		37,85 (63,10)	5,21 (6,48)	3,87 (3,01)	5,19 (8,37)	6,39 (5,15)	39,38 (13,25)
D-102b		33,14 (73,70)	3,52 (6,35)	4,15 (0,97)	13,77 (7,22)	9,72 (2,84)	34,08 (8,08)
D-102c		38,91 (49,70)	4,27 (4,42)	4,90 (3,07)	13,23 (16,23)	8,54 (8,26)	28,91 (20,69)
D-102e		33,79 (35,30)	3,74 (4,18)	4,39 (3,75)	15,40 (24,01)	8,26 (7,62)	33,59 (28,13)
D-102f		41,45 (44,40)	5,08 (4,85)	2,75 (2,32)	12,79 (17,00)	6,67 (6,14)	29,47 (27,91)

Tab. 6.1: Durchschnittliche Zusammensetzung der Gläser der Bleischlacken vom Lüderich nach halbquantitativen EDX-Analysen (Flächenscans, fett) (in Klammern die entsprechenden ICP-OES-Analysen). Die Anzahl der Flächenscans der einzelnen Bleischlacken belief sich zwischen 20 und 60 Analysen (s. Punktwolken in Abb. 6.2) (Daten sind nicht auf 100% normiert). Besonders die Quarzreichen Bleischlacken D-102a, b und c zeigen große Differenzen im Chemismus zwischen EDX- und ICP-OES-Analytik.

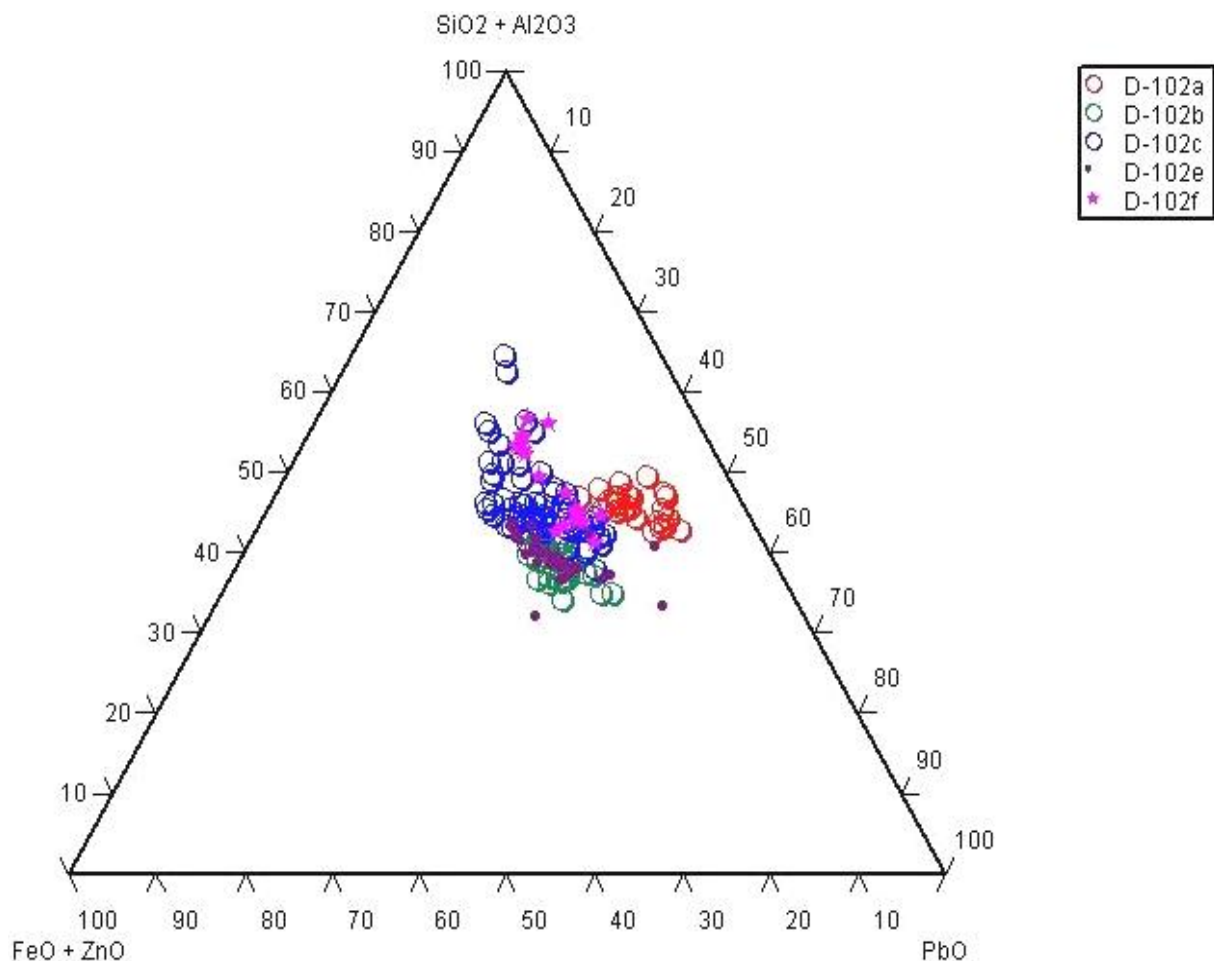


Abb. 6.2: Ternäres Diagramm mit EDX-Analysen der chemischen Komponenten PbO, FeO + ZnO und SiO₂ + Al₂O₃ zur Charakterisierung der Gläser der Bleischlacken D-102a-c & D-102e-f vom Lüderich. Die Analysen zeigen keine deutlichen Abweichungen des Chemismus innerhalb der Schlacken. Da der CaO-Gehalt bei der Bildung der Hauptphasen Ferrit und Olivin keine Rolle spielt und die einzige Ca-reiche Phase Hedenbergit (Hd) nur äußerst selten identifiziert werden konnte, wird der CaO-Gehalt (s. Tab.6.1) nicht berücksichtigt.

Entscheidend für eine effektive Bleiverhüttung ist das Verhältnis zwischen Oxid und SiO₂. Wichtige Oxide sind FeO, Fe₂O₃, ZnO, MgO, CaO, BaO und Al₂O₃. Je größer der Quotient Oxid/SiO₂, desto weniger Blei ist durch forcierte Bildung Pb-freier Phasen in der Silikatschmelze gelöst (Bachmann, 1991). Daher ist ein hoher

Bleigehalt in vielen römischen Bleischlacken ein Indiz, dass die Römer keine oder nur wenige Zuschläge beigaben (Bachmann, 1991, Craddock, 1995). Die Verhüttung von Bleierzen mit hohen Anteilen an basischen Zuschlägen (ca. 45-70 Gew.-%) führt zu bleiarmer Silikatschmelzen (0-15 Gew.-% PbO), die bei Erreichen von Mindesttemperaturen über 1100°C sehr phasenreich sein können (z.B. Olivin, Hyalophan, Klinopyroxen, Spinell) (vergl. Hauptmann et al., 1988, Heimbruch et al., 1989, Eckstein et al., 1994).

Die Zusammensetzung der hier untersuchten Silikatgläser verdeutlicht, dass es sich bei den Bleischlacken vom Lüderich um sehr Pb-reiche Silikatschlacken handelt (30 bis 40 Gew.-% PbO). Ein vergleichbares Beispiel aus römischer Zeit fand man bei Bad Ems, ebenfalls inklusive Bleiglättefunde (s. Kapitel 3.2d). Markante Unterschiede im Gesamtchemismus der Bleischlacken vom Lüderich sind nicht erkennbar. Wie die Vorstellung der Schlackenphasen zeigen wird, können aber schon geringe Abweichungen in der Zusammensetzung der Gläser entscheidend sein, ob sich Schlackenphasen bei der Abkühlung bilden können und welche Phasen dabei dominieren (s.a. Keesmann, 1993). Für die in den vorgestellten Schlacken identifizierten Phasen sind dies vor allem die FeO-, ZnO- (Ferrit, Olivin) und SiO₂-Gehalte, untergeordnet auch die CaO-Gehalte (Hedenbergit).

Der SiO₂-Anteil in den Bleischlacken vom Lüderich von 30 Gew.-% und mehr ist mit dem anderer römischer Bleischlacken vergleichbar (Tylecote, 1987). Weitere antike Bleischlacken mit ähnlich hohen SiO₂-Gehalten, aber wechselnden Gehalten an basischen Oxiden und damit auch wechselnden PbO-Anteilen stammen aus Braubach (Rhein-Lahn-Kreis), Gallien (Mont Lozère), Griechenland (Siphnos, Thasos) und Spanien (Linares-La Carolina, El Centenillo-Mine) (v. Petrikovits, 1958, Conophagos, 1980, Pernicka et al., 1985, Maréchal, 1985, Domergue, 1987b, Hauptmann et al., 1988).

Phasenbestand der Bleischlacken vom Lüderich

Die Zusammensetzung der im folgenden Text und in den Fotos vorgestellten Schlackenphasen wurde mit EDX-Analysen ermittelt. Drei verschiedene Schlackenphasen kristallisierten in den glasreichen Bleischlacken:

-*Magnetit* (Fe_3O_4) mit variablen Anteilen an Al, Ti und Zn. Er wird im folgenden Text und in den Abbildungen allg. als *Ferrit*(-spinell) bezeichnet, außerdem

-*Olivin* mit einem Chemismus zwischen Willemit (Zn_2SiO_4) und Zinkfayalit ($(\text{Fe,Zn})_2\text{SiO}_4$) in den Bleischlacken D-102a und c, und *fayalitischer Olivin* mit bis 8 Gew.-% ZnO in den Bleischlacken D-102 b, e und f, sowie

-untergeordnet *Hedenbergit* mit der durchschnittlichen Zusammensetzung $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,75}\text{Mg}_{0,15}\text{Zn}_{0,1})_2(\text{Si}_{1,8}\text{Al}_{0,2})_2\text{O}_6$. Die petrographische Entwicklung entspricht damit ziemlich genau den von Keesmann (1993) aus der antiken Silbergewinnung in Rio Tinto (Spanien) beschriebenen Bleischlacken, die fayalitischen Olivin und ebenfalls magnetitischen Spinell führen.

Neben den aus den Silikatschmelzen kristallisierten Phasen enthalten die Schlacken auch *Galenit*- und *Bleimetalleinschlüsse*. Teilweise ist im Galenit eine direkte Umwandlung in Blei zu beobachten (Fotos 6.15 und 6.16) (s.a. Keesmann, 1993).

Bei der Abkühlung der flüssigen Silikatschmelzen kristallisierte als erstes körnig ausgebildeter Ferrit. Er wird von Willemit/Zinkfayalit und Hedenbergit umwachsen (Fotos 6.8 bis 6.11). Seine Zusammensetzung hängt stark vom Chemismus des ihm umgebenden Glases ab. Generell bedarf es zur Bildung von Ferrit eines hohen Fe-Gehaltes im Schlackenglas (Tafel & Wagenmann, 1953). Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass FeO in den Ferrit-freien Bereichen der Bleischlacke D-102a bei 5 Gew.-% (s. Abb. 6.2, rote offene Kreise und Tab. 6.1), in den anderen Bleischlacken, in denen Ferrit häufig zugegen war, fast um das dreifache höher lag. In Bleischlacke D-102b, die die höchsten Zn-Gehalte besitzt, war auch der Zn-Anteil im Ferrit am deutlichsten. Hier kristallisierte stellenweise Zinkferrit aus (Fe_2ZnO_4 , entspricht 30 Gew.-% ZnO). Ansonsten variierte der Zn-Anteil im Ferrit zwischen 5 und 20 Gew.-% ZnO. Aluminium wurde im Ferrit mit bis zu 12 Gew.-% Al_2O_3 und Ti mit bis zu 2 Gew.-% TiO_2 eingebaut. Dass auch der O_2 -Partialdruck Einfluss auf die Kristallisation von Ferrit hat, lässt sich anhand des Fotos 6.6 zeigen. Obwohl dort die beiden optisch unterscheidbaren Glastypen nahezu denselben Chemismus aufweisen, kristallisierte nur im Glastyp in der Bildmitte bei entsprechend hohem O_2 -Angebot reichlich Ferrit aus.

Neben Ferrit nimmt auch Olivin Zn und Fe aus der Schmelze auf. Er war in den Bleischlacken D-102a, D-102c und D-102e zu finden. Nur in seltenen Fällen war

seine Ausbildung so deutlich wie in den Fotos 6.7 und 6.8. Zumeist war er unter dem Lichtmikroskop nur mit gekreuzten Nicols eindeutig identifizierbar. Punktgenaue EDX-Analysen, die die reine Zusammensetzung der kryptokristallinen Olivine verlässlich wiedergaben, waren daher äußerst schwierig und oftmals war in den EDX-Messungen auch PbO aus dem Glas mit einigen Gew.-% anteilig. In den Rückstreuielektronenbildern 6.10 und 6.11 ist z.B. kein Olivin zu erkennen, obwohl er in der Matrix vorhanden war (Foto 6.9). Olivin hat in der relativ Fe-armen Schlacke D-102a (ca. 5 Gew.-%, s. Tab. 6.1), dies betrifft nicht den mit einem schwarzen Rahmen markierten Bereich des Fotos 6.1 (s.a. Foto 6.14), und in den Ferrit-reichen Zonen von Bleischlacke D-102c nach EDX-Messungen eine durchschnittliche Mineralzusammensetzung, die der Formel $Zn_{1,5}Fe_{0,5}SiO_4$ entspricht. Damit liegt er chemisch zwischen Willemit (Zn_2SiO_4) und Zinkfayalit ($(Fe,Zn)_2SiO_4$). In den anderen Bleischlacken, deren durchschnittliche Fe-Gehalte um das dreifache höher liegen als in D-102a (nicht in D-102c) und in denen sich wenig Ferritspinell bildete, ist Olivin Fe-reicher. Es ist Fayalit (Fe_2SiO_4) mit bis zu 8 Gew.-% ZnO (vergl. Freund 1954, Chaudhuri & Newesely, 1993, Ettler et al. (2000), die bis zu 12,75 Gew.-% in fayalitischem Olivin fanden). Im Phasendiagramm Fayalit-Willemit beginnt die Mischungslücke auf der Fayalitseite bei ca. 13-14 Gew.-% ZnO (Ettler et al., 2000). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zusammensetzung von Olivin hauptsächlich vom FeO/ZnO-Verhältnis der Silikatschmelze abhängig ist. Deshalb ist er auch dort, wo viel Fe^{2+} durch Ferrit gebunden ist, Zn-reich.

Die Fotos 6.7 und 6.8 zeigt Olivin in verschiedenen Trachten. Er liegt als langstängelige Kristalle, als „Fensterolivin“ und fiederförmig gewachsen vor. Nach Donaldson (1976) und Faure & Schiano (2004) ist die Ausbildung von Olivin u.a. eine Funktion der Abkühlungsgeschwindigkeiten. Fiederartiges Wachstum von Olivin spricht für eine relativ hohe Abkühlungsrate, die Genese von tafeligem, lang gestreckten Olivin oder von „Fensterolivin“ für eine eher geringe. Da aber alle Typen im engen Verbund auftreten, scheint eine Ableitung der Abkühlungsgeschichte der Schlacken aufgrund des Habitus von Olivin in diesen Fallbeispielen nicht praktikabel.

Olivin obliegt bevorzugt der Verwitterung. In den Fotos 6.12 und 6.13 erkennt man deutlich eine über Olivin sich verbreitende Verwitterungsfront. Auch in den Fotos

6.10 und 6.11 ist die sekundäre Umwandlung hauptsächlich auf Olivin beschränkt. In den Fotos 6.7 und 6.8 zeigt Olivin eine durch den Zerfall beginnende Rotfärbung.

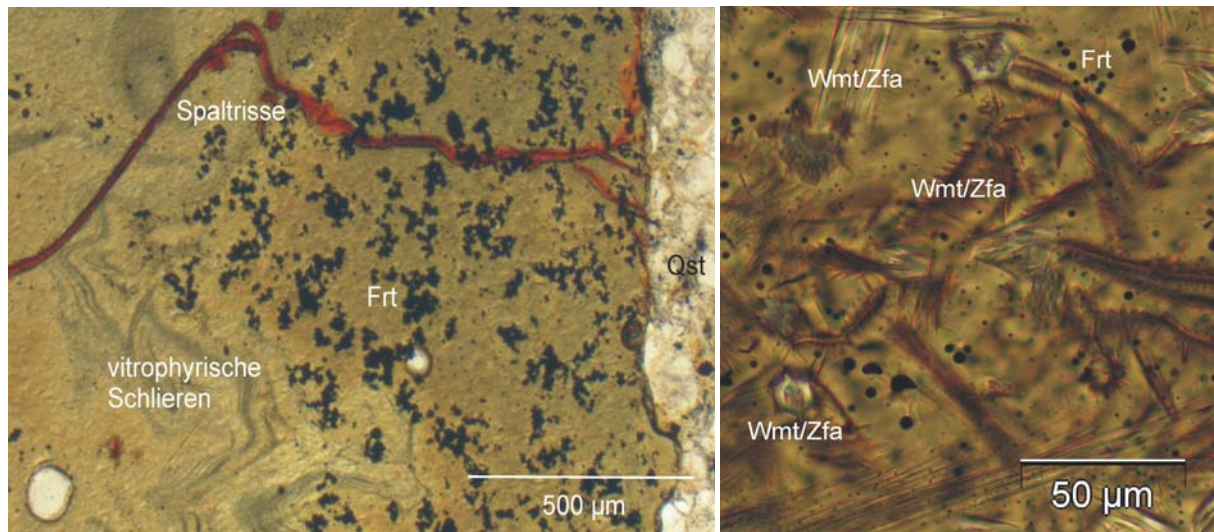


Foto 6.6 (links): Lüderich, Bleischlacke D-102b (Lichtmikroskop, Durchlicht): zwei optisch unterscheidbare Schlackentypen, die nach EDX-Messungen denselben Chemismus besitzen. Typ a im linken Bereich des Fotos ist hell, zeigt vitrophyrisches Gefüge, Fließgefüge ist gut ausgeprägt. Typ b im mittleren Teil des Fotos ist dunkler und enthält dispers verteilte Ferritkriställchen (Frt). Im rechten Bildteil ist Quarzsandstein (Qst) mit etwas Feldspat. Die roten Linen sind Fe-(Hydr-)Oxide, die sich durch Verwitterung entlang der Spaltrisse gebildet hat.

Foto 6.7 (rechts): Lüderich, Bleischlacke D-102c (Lichtmikroskop, Durchlicht): Willemite/Zinkfayalite (Wmt/Zfa) in verschiedenen Ausbildungen; als langstängelige Kristalle, als „Fensterolivine“ und als „Fiederolivine“. Die Olivine sind mit Ferrit (Frt) in der Glas-Matrix assoziiert. Die leichte Rotfärbung der Olivine zeigt den beginnenden Zerfall in Hämatit- und Goethit-reiche sekundäre Produkte.

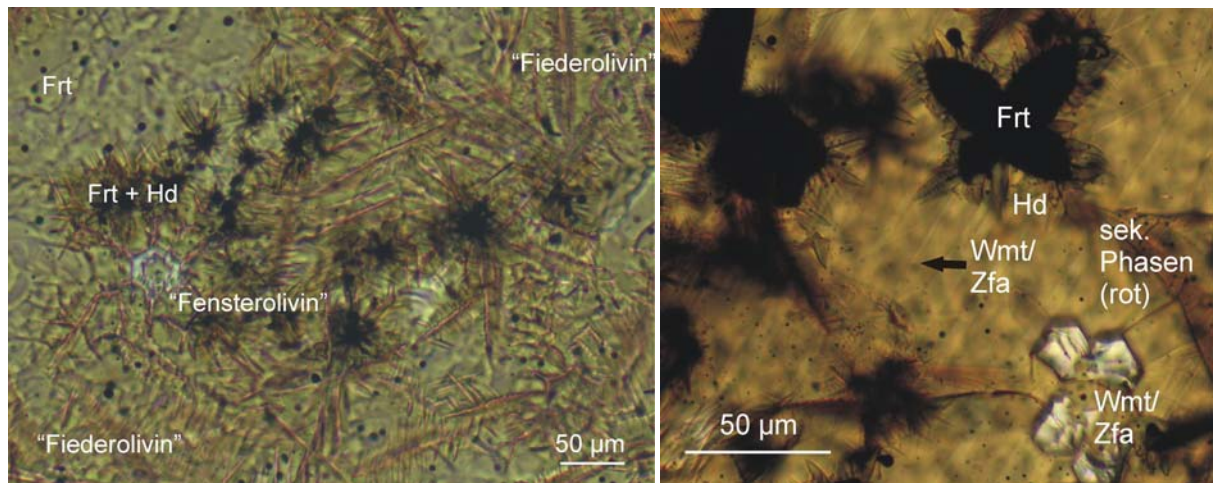
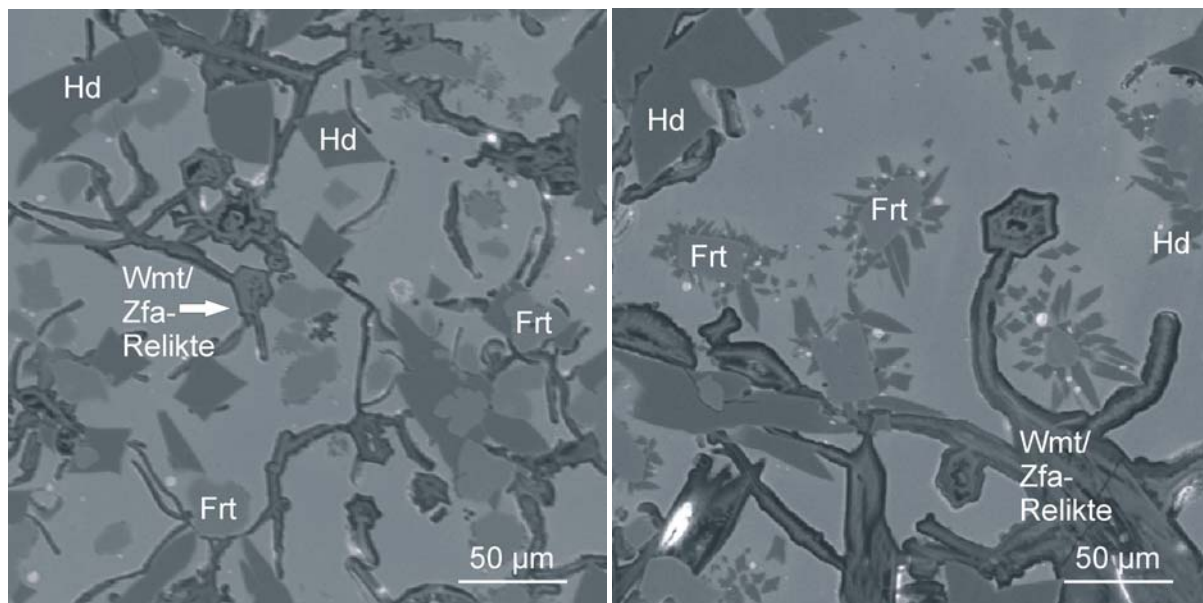


Foto 6.8 (links): Lüderich, Bleischlacke D-102e (Lichtmikroskop, Durchlicht): Phasenassoziation von fayalitischen „Fiederolivinen“ und „Fensterolivinen“ mit körnig ausgebildetem Ferrit (Frt) im Glas. Die „Fensterolivine“ umschließen als Spätkristallisat Ferrit. Tritt Ferrit in Nestern auf, ist er oft von Hädenbergit umwachsen (Frt+Hd).

Foto 6.9 (rechts): Lüderich, Bleischlacke D-102a (Lichtmikroskop, Durchlicht): Phasenassoziation innerhalb des unteren schwarzen Rahmens des Fotos 6.1: auf den früh kristallisierten opaken Ferriten (Frt) ist senkrecht zur Oberfläche grüner Hädenbergit (Hd) aufgewachsen. Die Olivine (Wmt/Zfa) sind tafelig und als Fensterolivine ausgebildet. Die rötlichen Bereiche sind Zonen von teilweise zersetztem Glas.



Fotos 6.10 (links) und 6.11 (rechts): Lüderich, Bleischlacke D-102a (REM, Rückstreuelektronenbilder): Phasenvergesellschaftung von Hedenbergit (Hd), Ferrit (Frt) und verwitterten Willemiten/Zinkfayaliten (Wmt/Zfa) in der Glasmatrix (s. Foto 6.10). Die Hd kristallisierten auf den Frt-Kristalloberflächen oder umschlossen diese.

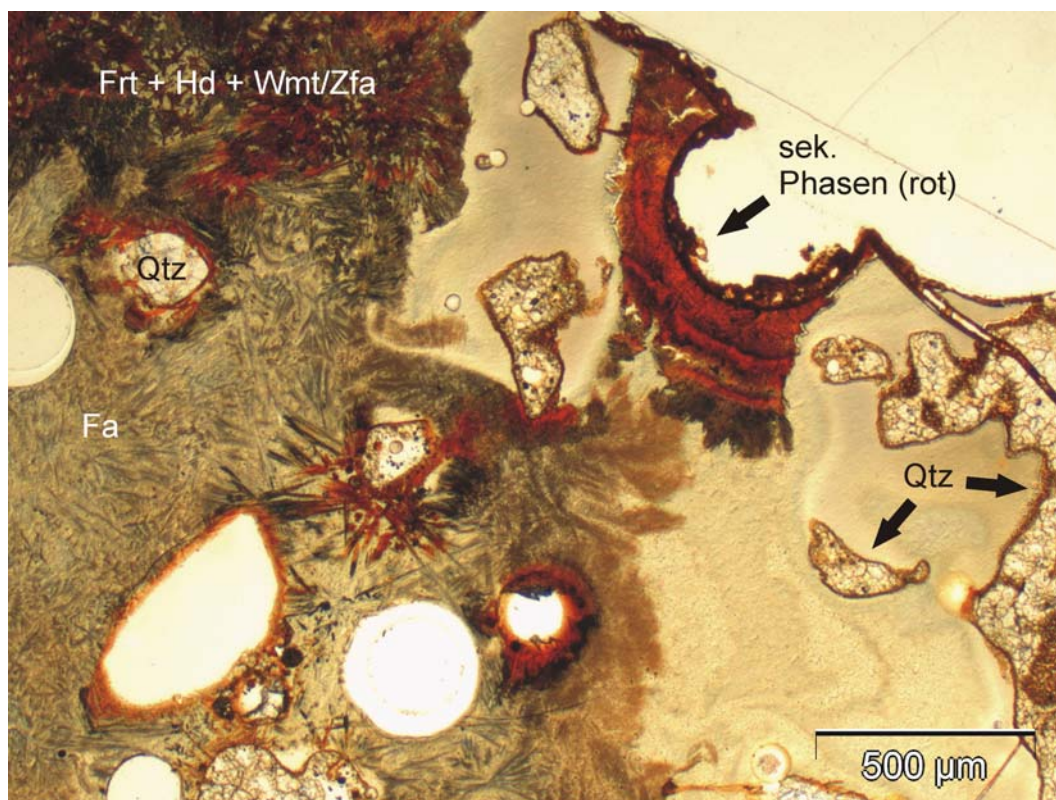


Foto 6.12: Lüderich, Bleischlacke D-102c (Lichtmikroskop, Durchlicht): von Hohlräumen durchsetztes Bleischlackenglas mit relativ wenigen Quarzeinschlüssen (Qtz) und dichtem Wuchs von fayalitischem Olivin (Fa) im linken und von Ferrit (Frt), Hedenbergit (Hd) und Willemit/Zinkfayalit (Wmt/Zfa) im linken oberen Teil des Fotos. Der rechte Teil des Bleischlackenausschnittes hat keine erkennbaren kristallisierten Schlackenphasen, aber mehr Quarz-Einschlüsse als im linken Teil. An mehreren Stellen im Bild sind sekundäre Umwandlungsprodukte (Hämatit, Goethit) erkennbar (rot).

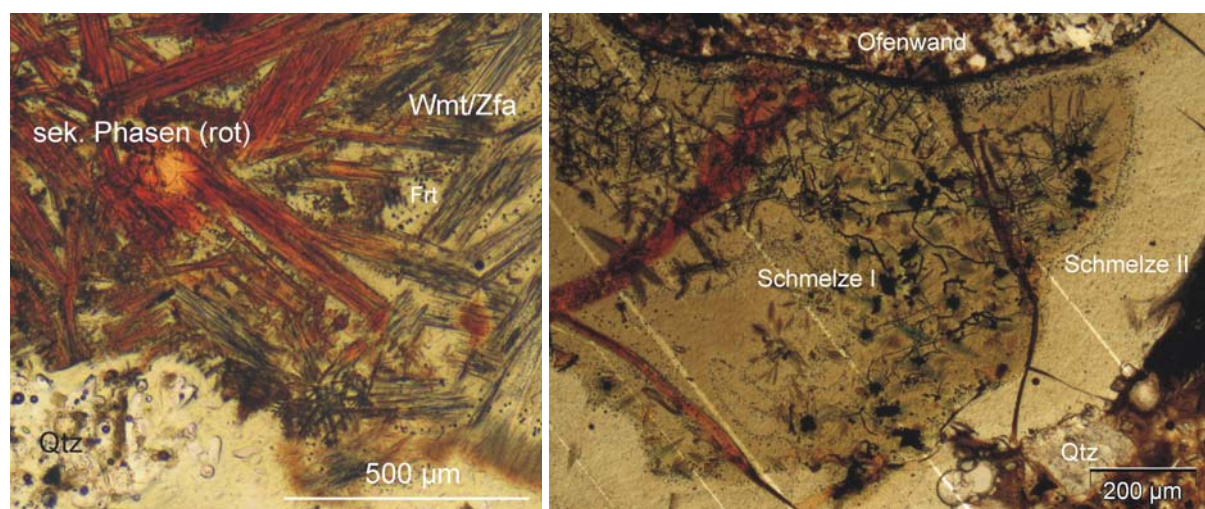


Foto 6.13 (links): Lüderich, Bleischlacke D-102c (Lichtmikroskop, Durchlicht): langstängeliger Wuchs von Willemit/Zinkfayalit (Wmt/Zfa) in Vergesellschaftung mit körnigem Ferrit (Frt), gut sichtbar im mittleren und rechten unteren Bildteil. Im Bereich der Quarze (Qtz) unten links im Bild fand keine erkennbare Phasenbildung statt. Die Verwitterung in sekundäre Phasen (Hämatit, Goethit) (rot) betrifft Wmt/Zfa.

Foto 6.14 (rechts): Lüderich, Bleischlacke D-102a (Lichtmikroskop, Durchlicht): zwei in der Bleischlacke integrierte heterogene Schmelztypen: Schmelze I mit kräftig-grüner Farbe und Willemit/Zinkfayalit (Wmt/Zfa), Ferrit (Frt) und Hedenbergit (Hd) (schwarzer Rahmen in Foto 6.1), Schmelze II ist scheinbar phasenfrei und besitzt eine blaß-braune Farbe. Beide Schmelzen haben leicht abweichende Chemismen: Schmelze I: 6 Gew.-% CaO, 10 Gew.-% ZnO, 10 Gew.-% FeO, 30 Gew.-% SiO₂, 40 Gew.-% PbO. Schmelze II: 3 Gew.-% CaO, 6 Gew.-% ZnO, 6 Gew.-% FeO, 35 Gew.-% SiO₂, 45 Gew.-% PbO.

Im engen Kontakt zu Ferrit steht stellenweise Hedenbergit. Sie kommen in großer Zahl in dem oben angesprochenen mit einem schwarzen Rahmen markierten Bereich der Schlacke D-102a (Fotos 6.1 und 6.9 bis 6.11 und 6.14) und an einigen wenigen Stellen zusammen mit Ferrit-Nestern in der Schlacke D-102e vor (Foto 6.8). Sie kristallisierten entweder nahezu senkrecht auf den Korngrenzen von Ferrit oder umschlossen sie im Zuge des verspäteten Wachstums. In beiden Bleischlacken weist das umgebende Glas für die Schlacken außergewöhnlich hohe CaO-Gehalte von 6 bis zu 7 Gew.-% und FeO-Gehalte über 10 Gew.-% auf (vergl. Durchschnittswerte in Tab. 6.1). In den Ferrit-reichen, aber an Hedenbergit armen Schlacken D-102b, D-102c und dem größten Teil der Schlacke D-102a liegt der CaO-Wert des Glases unterhalb von 5 Gew.-% (s.a. Foto 6.14).

Besonders in der Nähe der sich auflösenden Quarzeinschlüsse wird eine Bildung von Schlackenphasen scheinbar unterdrückt (Fotos 6.12 und 6.13). Das Phasendiagramm (Abb. 6.3) der beiden Hauptkomponenten PbO und SiO₂ der Schlackengläser zeigt, dass PbO zwar eine stark Liquidus absenkende Wirkung auf dieses System hat (s.a. Kuxmann & Fischer, 1974), im Bereich des sich auflösenden

Quarzes dieser Effekt bei hohem SiO_2 -Anteil aber nicht eintrat und die Liquidustemperaturen entsprechend hoch gelegen haben. Solche Gläser erstarren bei der Abkühlung sehr schnell und machen eine Kristallisation von mikro- oder holokristallinen Schlackenphasen damit unmöglich. In Foto 6.5 wird durch subkristallinen Einlagerungen (Metall, Asche?) im Glas deutlich, dass die eigentliche Silikatschmelze noch fließfähig war, als das Glas in direkter Umgebung der in diesem Falle mit Quarz gemagerten Ofenwandfragmente schon erstarrt war. Es bildeten sich wie beim Beispiel der Bleischlacken gleichen Typs von Rio Tinto zwischen den festen Bestandteilen, in diesem Falle hauptsächlich Quarz, während der Verhüttung also durchaus fließfähige eutektische Schlacken (Keesmann, 1993). Eutektische Zonen mit ihren eigenen Schmelzpunkten, können sich bei heterogenen Schlacken auf Zentimeterbereiche (und weniger) reduzieren (Schreiner, 2002).

Rekonstruktion der Prozesstemperaturen

Da schon geringe Gehalte an Alkalielementen die Liquidustemperaturen der Silikatschmelzen absenken (Hauptmann et al., 1988), können die Temperaturen, die während der Verhüttung vorherrschten, zumindest im oberen Teil des Ofens, aus dem die Bleischlacken vermutlich stammen (Zone V, s. Abb. 6.1), nur grob abgeschätzt werden. Durch das Auftreten von Fe-reichen Olivinen dürften die Prozesstemperaturen oberhalb 1200°C gelegen haben (Tylecote & Merkel, 1985). Die Kristallisation von Hedenbergit verlangt Mindesttemperaturen um 1100°C (Hess et al., 1998). Obwohl XRD-Analysen, bei aller Vorsicht, das Auftreten von geringen Mengen Cristobalit anzeigten, ist eine Ableitung der oberen Prozesstemperatur, wie sie für reine Cristobalit-Phasen in Abb. 6.3 abgelesen werden könnten, nicht praktikabel. Für ein Vielkomponenten-System, wie es für die Bleischlacken vom Lüderich zutrifft, ist es kaum möglich, anhand des Auftretens von Cristobalit Mindesttemperaturen abzulesen (pers. Mitt. Prof. Dr. Hauptmann, Deutsches Bergbau-Museum). Das Auftreten von Cristobalit in Verhüttungsschlacken ist nichts Ungewöhnliches (Hauptmann, 2000, 2007). Daher bleibt festzuhalten, dass die Prozesstemperaturen allem Anschein nach mindestens 1200°C erreichten. Im Bereich von Düsen mag die Temperatur auch 1300°C erreicht haben (s. Versuche von Hetherington, 1980, Tylecote & Merkel, 1985).

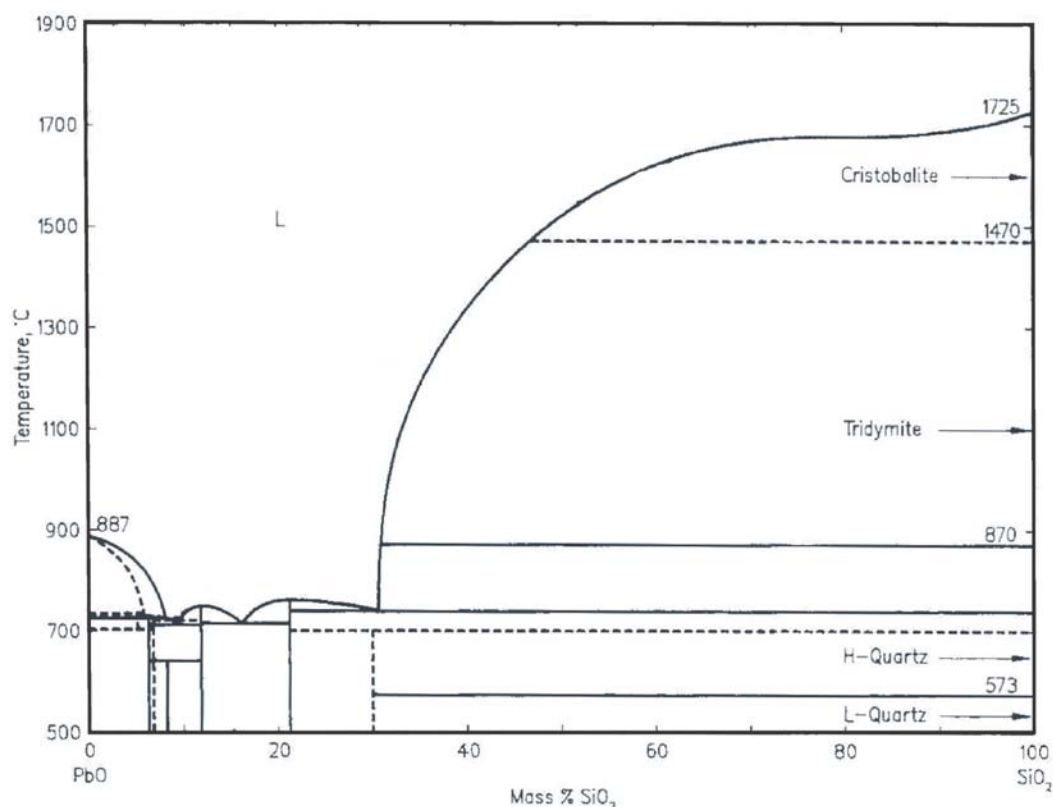


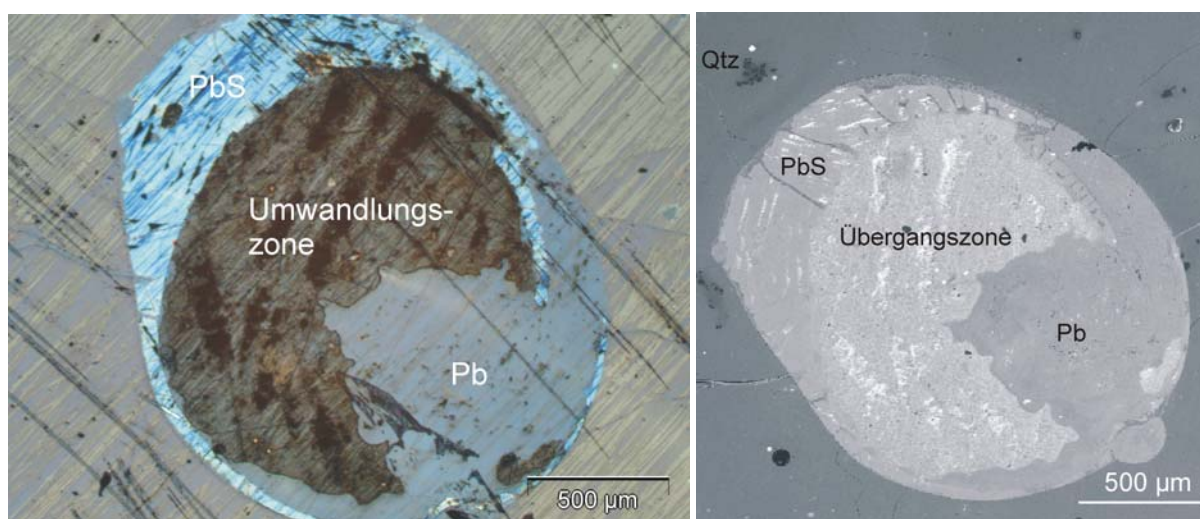
Abb. 6.3: PbO-SiO₂-Phasendiagramm. Ab PbO-Gehalten über 50 Gew.-% besitzt PbO eine stark Liquidus absenkende Wirkung auf das Zwei-Stoff-System (aus Schlackenatlas, 2. Ausgabe, 1995).

Untersuchungen von Craddock (1995) unterstützen die obigen Schlussfolgerungen. Er ist der Auffassung, dass bei der Silberproduktion, und dies ist durch Bleiglättefunde auch nachweislich am Lüderich der Fall gewesen, unter höheren Temperaturen als bei der reinen Bleiproduktion gearbeitet wurde. Dadurch wird gewährleistet, dass die Silberminerale schmelzen und das Ag mit dem Werkblei effektiv legiert. Hohe Bleiverluste durch den Abrauch wurden von den Römern vermutlich in Kauf genommen (Tylecote & Merkel, 1985). Die gleiche Annahme stellte Tylecote (1976, 1987) für die Silbergewinnung in Laurion an, wo sehr wahrscheinlich mit Blasebälgen und Lufdüsen gearbeitet wurde, um ebenfalls hohe Prozesstemperaturen zu erlangen.

Zum angewendeten Verfahren

Die Reaktionszone zwischen Bleiglanz und Bleimetall in den Fotos 6.15 und 6.16 zeigt, dass PbS (im Beisein von PbO) direkt in Blei umgewandelt wurde. Es deutet darauf hin, dass die Römer am Lüderich im Röst-Reaktionsverfahren arbeiteten (s. Kapitel 6.1). Hierfür spricht auch, dass am Ausgrabungsplatz sowohl kein Bereich für die getrennte Röstung der Bleierz gefunden wurde (Körlin, 2006), als auch bei den

Grabungen nur wenig Holzkohle zutage kam. Die direkte Umwandlung von PbS in Pb benötigt relativ wenig Brennstoffzuschlag. Von den Öfen wurden lediglich die Unterbaue gefunden, die aus geschwärzten, manchmal auch geröteten Bruchsteinen von Sandsteinplatten bestanden und stark verschlackt waren (Körlin, 2006) (Kapitel 3.2c, Fotos 3.4 und 3.5). Einen indirekten Hinweis für die Anwendung des Röst-Reaktionsverfahren könnte auch der relativ hohe Zn-Anteil in den Bleischlacken von bis zu 10 Gew.-% ZnO liefern. Wäre das Bleierz vor der reduzierenden Verhüttung in einem vorherigen Schritt geröstet worden, dürfte das meiste Zn mit anderen volatilen Elementen wie As zum größten Teil mit abgeraucht worden sein (s. Kapitel 6.1, Röst-Reduktionsverfahren). Da aber Zinkblende in sechsfacher Menge in der Grube Lüderich ansteht, ist hier Vorsicht geboten.



Fotos 6.15 und 6.16: Lüderich, Bleischlacke D-102a (Lichtmikroskop, Aufsicht, linkes Foto 6.15), (REM-Aufnahme, Rückstreuelektronenbild, rechtes Foto 6.16): In der Schlacke erhaltener, zur Hälfte in Blei (Pb) umgewandelter, Bleiglanz (PbS) mit Reaktionszone.

Zu den pO_2/T -Konditionen während der Verhüttung

Das Feld 1 in der Abb. 6.4 soll die Rahmenbedingungen kennzeichnen, unter denen das PbS im ersten Schritt der für die Blei-/Silbergewinnung am Lüderich angenommene Röst-Reaktion ab Temperaturen von 500 bis 600 °C teilweise in PbO (auch über $PbSO_4$) umgewandelt wurde. Spätestens nach Überschreiten des PbS/PbO-Eutektikums bei 790°C kann der zweite Schritt, die direkte Umwandlung von PbS über PbO in metallisches Blei ablaufen. Die Rahmenbedingungen der Verhüttung unter Berücksichtigung einer Mindestprozesstemperatur von 1100 bis 1300°C sollten unterhalb des Reaktionspfades von PbO/Pb und oberhalb von Wüstit–Magnetit (W-M) gelegen haben (s. Feld 2). Da auch Fayalit kristallisierte, wird

die obere pO_2 -Grenze etwas über der Quarz+Magnetit/Fayalit (QFM)-Reaktionskurve gelegen haben.

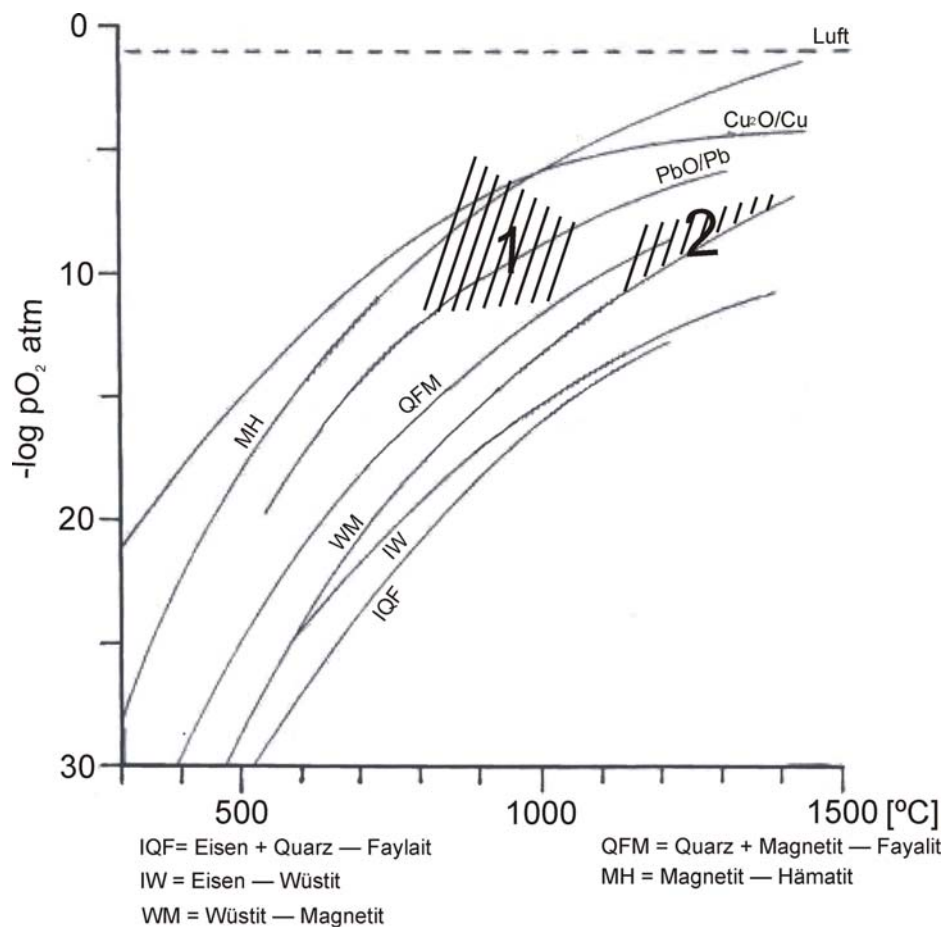


Abb. 6.4: Geschätzte pO_2 /T-Bereiche für die Bildung von Bleimetall bei der Verhüttung von Bleiglanz (Röstreaktion) im pO_2 /T-Diagramm der Systeme Fe-Si-O, Pb-O und Cu-O. Feld 1 entspricht dem ersten Schritt der Röstreaktion, Feld 2 der anschließenden direkten Umwandlung des PbS zu Pb durch PbO (nach Hauptmann et al., 1988).

Dass trotz der reduzierenden Ofenatmosphäre sehr viel Blei als PbO in der Schlacke verloren ging, sollte damit zusammenhängen, dass der Anteil an „basischen“ Flussmitteln relativ gering war und die Schlacken deshalb hauptsächlich (ca. $\frac{2}{3}$) aus PbO und SiO_2 bestehen. Bleischlacken, die von Hauptmann et al. (1988), Heimbruch et al. (1989) und Eckstein et al. (1994) untersucht wurden, besitzen viel höhere Anteile an FeO, CaO, Al_2O_3 und teilweise BaO. Die dadurch weiter abgesenkte Liquidustemperatur und forcierte Phasenbildung drückte den PbO-Gehalt bis auf wenige Gew.-% in der Silikatschmelze herab.

Ob die Römer große Mengen von Ag am Lüderich produzierten, ist sehr fraglich. Es spricht dagegen, dass in allen fünf Bleischlacken trotz der Gegenwart von Bleiglanz-

und Bleimetalleinschlüssen kein Ag detektiert werden konnte und zwei unveröffentlichte Lüderich-Bleiglanzanalysen des DBM lediglich 12 bzw. 13 ppm Ag ergaben. Dem gegenüber enthalten die Bleimetallfunde D-102/1, D-102/31 und D-102/33 vom Lüderich 330 bis 2410 ppm Ag (s. Tab.9.28). Ob sie dem Treibeprozess entgangen sind, kann nicht gesagt werden, da Bleiglätte durch die Aufnahme von Ag-reichen Bleitropfen auch über 3000 ppm Ag enthalten kann (Pernicka et al., 1998). Es mag deshalb auch Ag-reicheren Bleiglanz am Lüderich als den analysierten geben.

Die geringen CaO- und FeO-Gehalte der Gläser deuten auf die Beimischung von wenig Flussmittel wie Calcit oder Siderit hin. Im Grunde können die Gehalte auch direkt aus dem mit Bleiglanz verwachsenem Ganggestein stammen. Der ZnO-Anteil ist durch die mit Bleiglanz assoziierte Zinkblende erklärbar (s. Kapitel 3.2c). Die deutlichen Al-Gehalte bis 5 Gew.-% Al_2O_3 können neben der Zugabe von Tonmineral-reichen Gesteinen Auflösungen der Ofenwandung oder die Aufnahme von Flugasche durch die am Lüderich verwendete Holzkohle darstellen (Foto 6.17) (Newton & Davidson, 1989, Goldenberg, 1996).

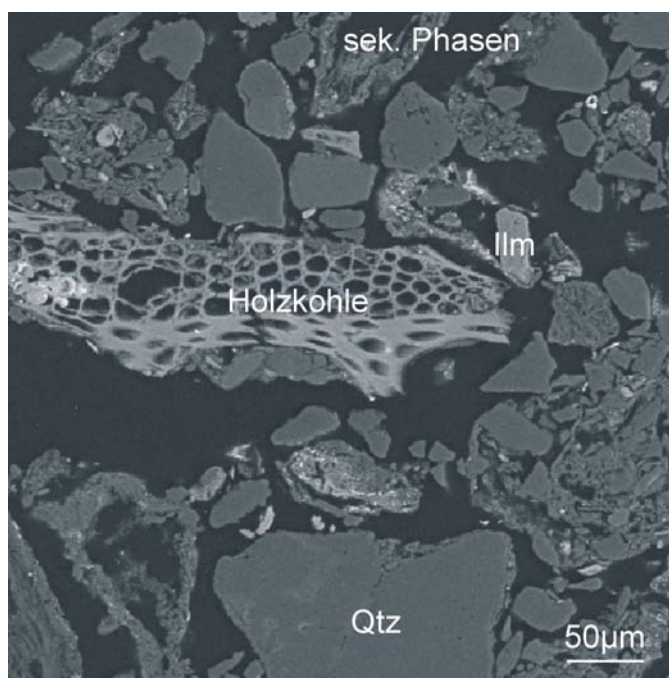


Foto 6.17: Lüderich, Bleischlacke D-102c (REM, Rückstreuungsbild): In einem Hohlraum der Schlacke eingeschlossener Quarz (Qtz) und Ilmenit (Ilm) und Holzkohle. Stellenweise Bildung von sekundären Phasen.

Festzuhalten bleibt abschließend, dass die Römer die Bleierze der Grube Lüderich allem Anschein nach im Sinne des Röst-Reaktionsverfahren verhütteten. Dafür

sprechen die in situ während der Verhüttung in Blei umgewandelten Galeniteinschlüsse in den Bleigläsern. Die Temperaturen müssen aufgrund der Phasenassoziation im oberen Bereich des Verhüttungsofens mindestens im Bereich von 1100 und 1300°C gelegen haben. Damit war gewährleistet, dass eventuell vorhandene Silberverbindungen schmolzen und Ag mit dem Werkblei legierte. Die nachfolgend besprochene Bleiglätte vom Lüderich führt höchstens 32 ppm Ag. In diesen Fällen war der Bleiglanz mit Sicherheit silberarm. Die Ag-reichen Bleimetallfunde vom Lüderich D-102/1, D-102/31 und D-102/33 fallen damit aber nur anscheinend aus der Reihe.

Zur Bleiisotopenzusammensetzung der Bleischlacken

Dem archäologischen Kontext zufolge (Körlin & Gechter, 2003, Körlin, 2006), stammen die Bleischlacken von einer vor Ort durchgeführten Blei-/Silbergewinnung. Fügt man die Bleiisotopendaten der Bleischlackenproben aber in ein $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm (Abb.6.5), so ist die Zuordnung der Bleischlacken zu den Bleierzen der Grube Lüderich zunächst nicht eindeutig. Obwohl sowohl die Schlacken-, als auch die Bleieranalysen ähnliche $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnisse ergaben, liegt das $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnis bei den Bleischlacken zu hoch. In Abb.6.6 ist die Diskrepanz aufgrund des $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Verhältnisses weniger deutlich ausgeprägt. Bei einer durch Standardlösungen kontrollierten Messung des von den Bleischlackenproben chemisch abgetrennten Pb am TIMS sollte man bei gleicher Behandlung von Standard/Probe nicht von solch signifikanten Fraktionierungseffekten ausgehen, wie es die Lage der Bleischlacken in den Abb. 6.5 und 6.6 anzeigen. Eine Quelle für Fraktionierungseffekte kann theoretisch auch eine nicht vollständige Pb-Abtrennung während der Säulenchromatographie darstellen (pers. Mitt. Dr. Upadhyay, Institut für Mineralogie, Münster). Da die Bleiisotopenvariation des variszischen Bleiglanzes vom Lüderich bis jetzt aber nur von sechs Bleiglanzanalysen dargestellt wurde, ist es durchaus plausibel, dass damit die wahre Spannbreite noch nicht festgelegt wurde. Deshalb wird das Bleiisotopenfeld in Abb. 6.5 und 6.6. entsprechend der Bleischlackenmessungen erweitert. Die mit einem blauen Karo in beiden Bleiisotopen-Diagrammen gekennzeichneten Bleimetalle D-102/2 und D-102/3 sind Röhren-förmige Artefakte, die u.U. zwei Bleiglättezapfen darstellen, die bei der Entfernung der Bleiglätte vom flüssigen Metallbad während der Kupellation

entstanden sind. Sie zeigten jüngere postvariszische Bleiisotopen-Signaturen, die für das Bensberger Revier und auch für die fünf Bleischlacken vom Lüderich nicht zutreffen. Nach Kirnbauer (1998) kommen untergeordnet solche Bleiglanze im Bensberger Revier, zudem auch die Grube Lüderich gehört, vor. Deshalb wurde in Abb. 6.5 und 6.6 das Verteilungsfeld für die Bleierze der Grube Lüderich auch gemäß dieser Bleimetallanalysen erweitert.

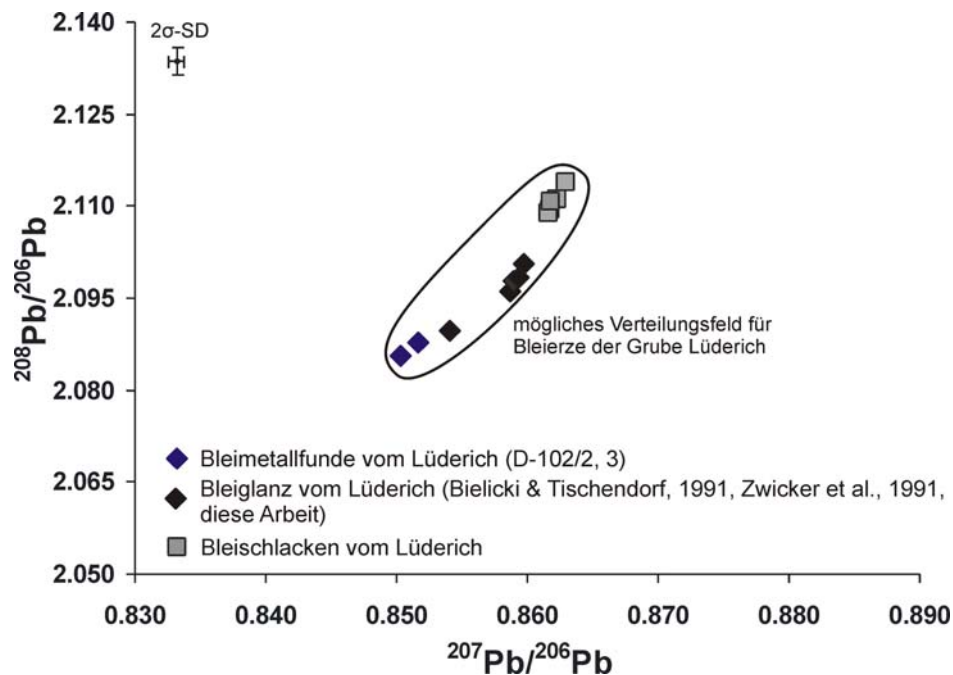


Abb. 6.5: $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Bleierz, -metall und den untersuchten Bleischlacken und dem daraus konstruierten Bleiisotopenverteilungsfeld für den Lüderich.

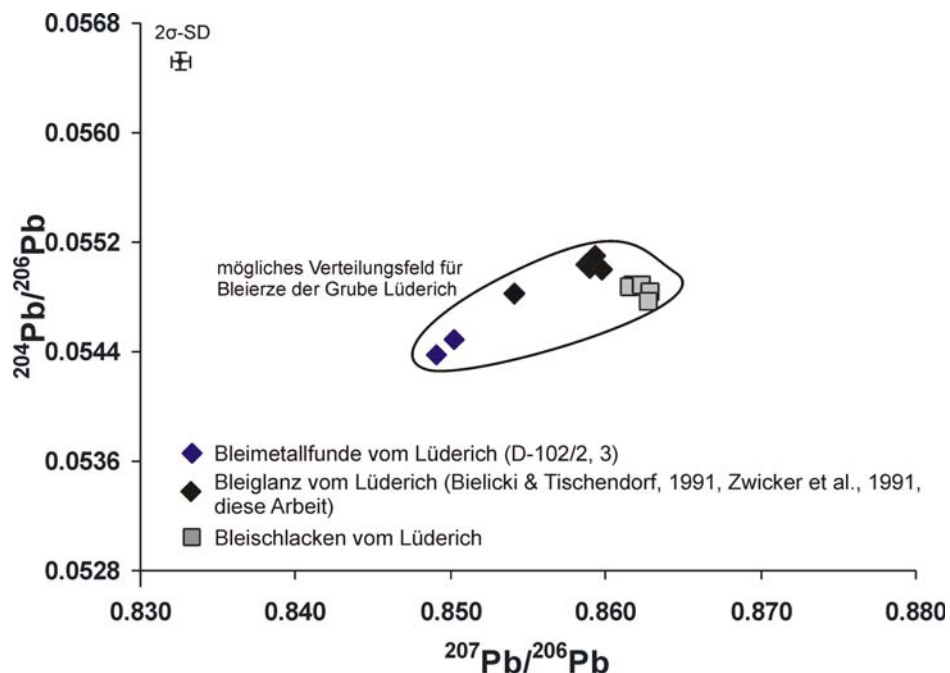


Abb. 6.6: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Bleierz, Bleimetall und den untersuchten Bleischlacken und dem daraus konstruierten Bleiisotopenverteilungsfeld für den Lüderich.

6.2b Die Bleiglätte vom Lüderich

Zur Rekonstruktion der Entsilberungsarbeiten am Lüderich durch die Römer standen insgesamt vier Bleiglättestücke zur Verfügung (BG 1 bis BG 4). An ihnen wurden die chemische Zusammensetzung (Tab. 9.31), der Phasenbestand und die Bleisotopie bestimmt (Tab. 9.25). Wie bei den untersuchten Bleischlacken vom Lüderich werden nachfolgend zwei Bleiglättestücke (BG 2 und BG 4) exemplarisch als Handstück und im Schliffbild vorgestellt (Fotos 6.20 bis 6.23).

Beschreibung der Funde

Das Innere der Bleiglätte zeigt eine typische rote Farbe. Aufgrund des lockeren Gefüges und „Verunreinigungen“, die aus der Herdauskleidung stammen sollten, ist es unwahrscheinlich, dass es sich bei diesen Stücken um reine vom flüssigen Bleimetallbad abgezogene Bleiglätte handelt. Es sollte sich hier um Bruchstücke von Treibetellern handeln, in denen die flüssige Bleiglätte während der Kupellation eingesickert ist.

Bleiglätte BG 2 besitzt eine für Bruchstücke eines Treibetellers typische flache Form (Fotos 6.18 und 6.19). Die Bleiglätte BG 4 ist dagegen eher rundlich geformt (Fotos 6.20 und 6.21). Im Dünnschliffbild von BG 4 fallen im mittleren Bereich Fleißstrukturen auf (Foto 6.20). Man könnte sie insoweit erklären, dass dieses Bleiglättestück aus dem erhöhten Randbereich eines Treibetellers stammt und die flüssige Bleiglätte nach dem Eindringen bis zur Erstarrung noch etwas abgesunken ist.

Die etwas zum Rand hin positionierte „Finne“ der Probe BG 2 (Foto 6.18, untere Seite, Mitte & Foto 6.19, rechtes Teilstück) könnte den Randbereich eines nach und nach verschwindenden Bleiregulus nachzeichnen (vergl. Rehren & Klappauf, 1995). Dementsprechend handelt es sich hier um die Oberseite des Bleiglättestücks. Die weiße Farbe der Außenschicht der Bleiglätte BG 2 und BG 4 wurde durch die Umwandlung von PbO in seine sekundären farblosen Blei(hydro-)-karbonate verursacht.

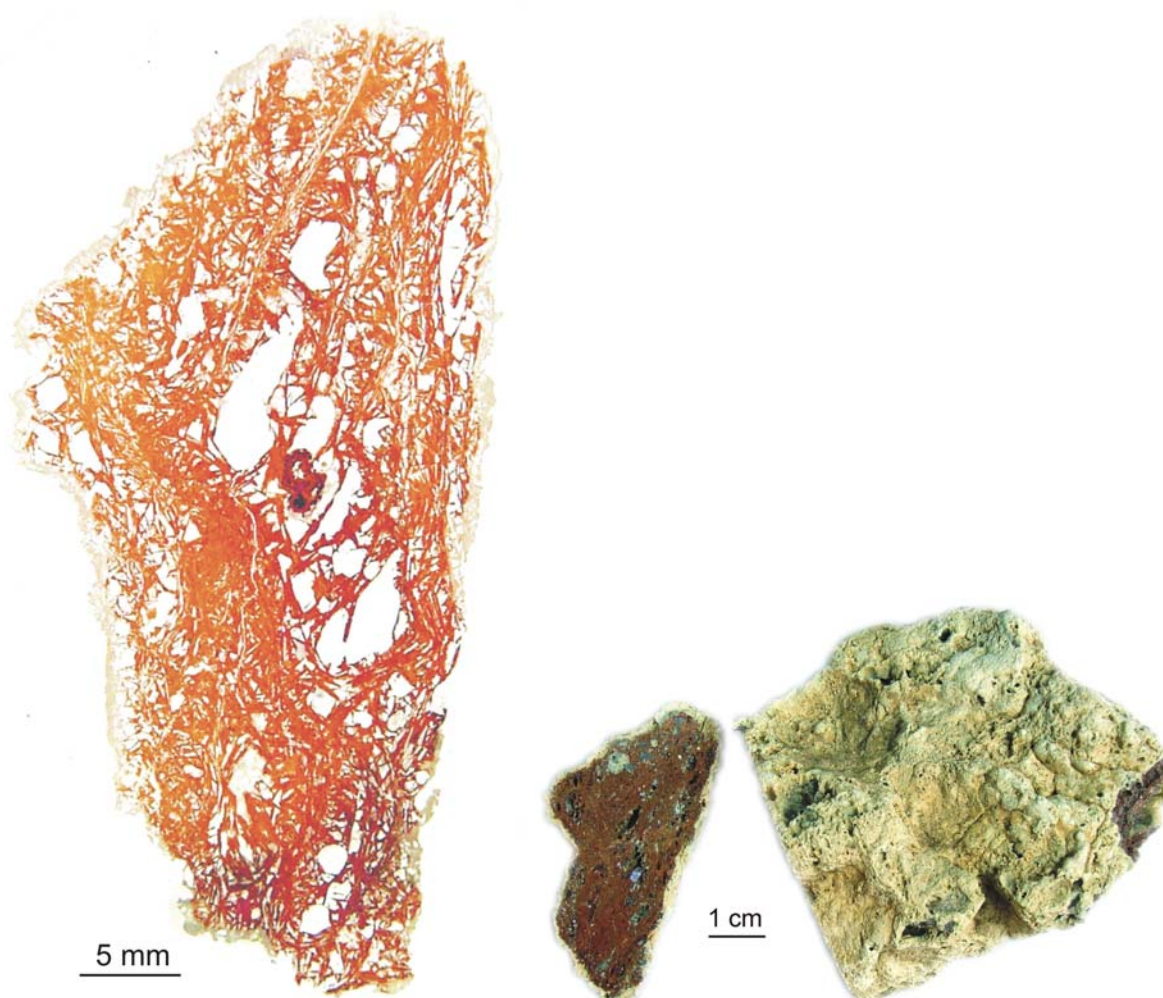


Foto 6.18 (links): Bleiglätte D-102/19b (BG 2), Lüderich (Dünnschliff): die roten Lithargit-Leisten zeichnen das lockere Gefüge des Herdmaterials nach, in dem die flüssige Bleiglätte eingesickert und auskristallisiert ist. Auf der Oberseite hat sich eine Finne geformt, die vermutlich den Rand des flüssigen Bleibades zu Beginn der Treibearbeit darstellt. Der schwarze Punkt in der Mitte des Schliffbildes ist ein Bleimetall-Einschluss.

Foto 6.19 (rechts): Bleiglätte D-102/19b (BG 2), Lüderich (Handstücke): flaches poröses Bleiglättstück mit deutlicher Bildung einer „Finne“ auf der oberen Seite, die wahrscheinlich dem aufliegenden Bleimetallbad geschuldet ist. Die Oberfläche ist unförmig und in farblose sekundäre Bleiminerale (Cerussit, Hydrocerussit) verwittert, das Innere des Bleiglättstückes besitzt eine intensive Rotfärbung (Lithargit, PbO).

Phasenbestand der Bleiglätte vom Lüderich

Die Bleiglättstücke BG 1 bis 4 bestehen fast ausschließlich aus Bleioxid (PbO). Es liegt in den Proben sowohl in der Tieftemperatur (α -PbO)- als auch Hochtemperatur (β -PbO)-Modifikation vor. Als Teil des Kupellenmaterials ist Calcit und Quarz in der Bleiglätte-Matrix überliefert.

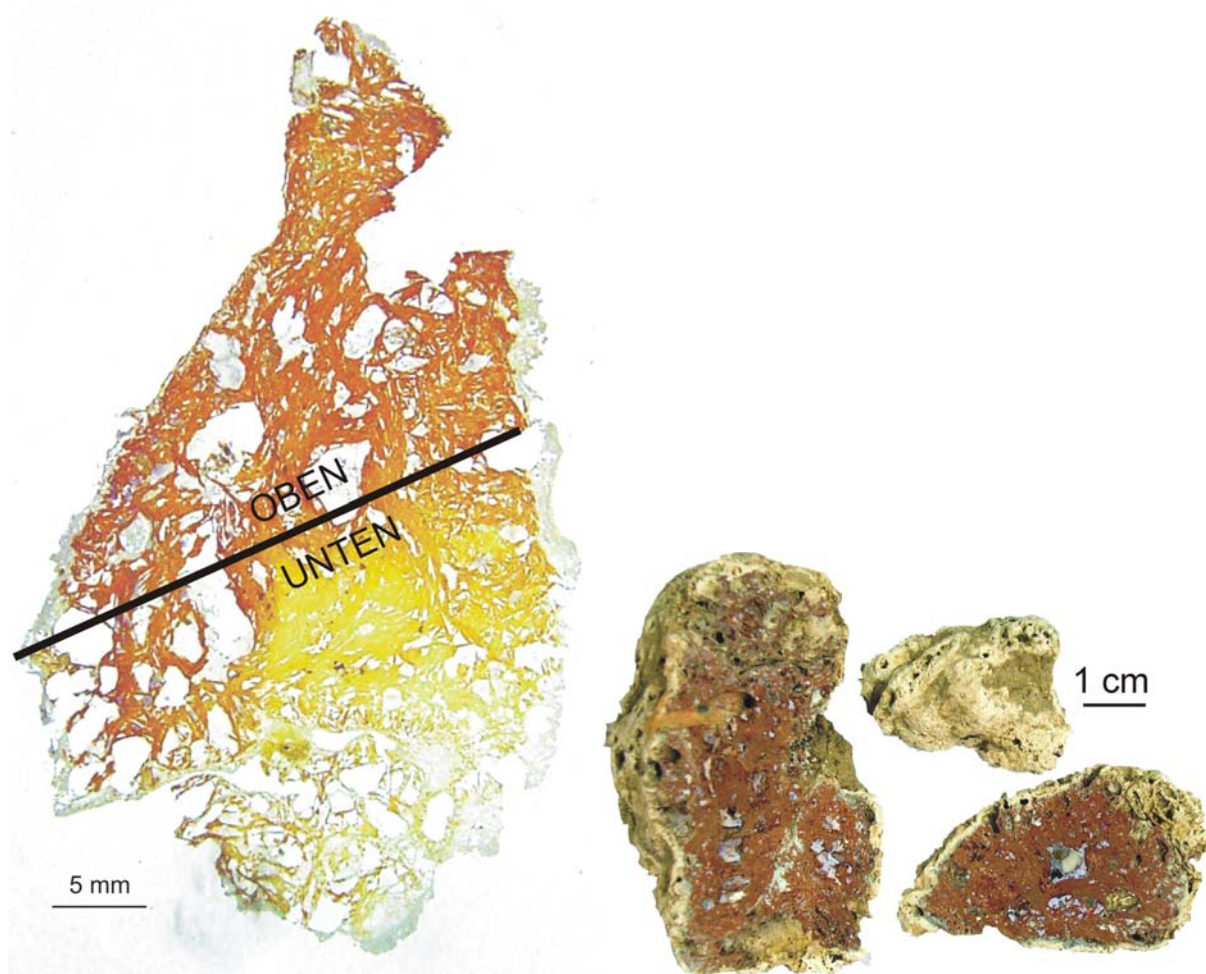


Foto 6.20 (links): Bleiglätte D-102/38 (BG 4), Lüderich (Dünnschliff): unförmiges Bleiglättstück mit großlöchrigem Gefüge. Im oberen Teil kristallisierte vornehmlich roter Lithargit aus, im unteren Teil gelber Massicotit. Der weiße Saum besteht aus sekundär gebildeten Cerussit und Hydrocerussit. In der Mitte der Bleiglätte bildete sich ein Fließgefüge aus, was vermuten läßt, dass es sich hier um den Randbereich eines Treibetellers handelt.

Foto 6.21 (rechts): Bleiglätte D-102/38 (BG 4), Lüderich (Handstücke): unförmiges poröses Bleiglättstück, vermutlich aus dem Randbereich einer Kupelle. Vollständige Verwitterung an der Oberfläche in Cerussit und Hydrocerussit. Im Gegensatz zum Dünnschliffbild 6.23 tritt die Bildung von gelbem Massicotit in Bereichen des Stücks hier nicht deutlich hervor, starke Dominanz anscheinend von rotem Lithargit.

Obwohl die eher rundliche Form der Bleiglätte BG 4 keine Rückschlüsse auf die ehemalige Orientierung innerhalb des Treibetellers liefert, können in diesem Fall die zonalen Unterschiede im Gefüge und die kristallographische Ausbildung, d.h. die Modifikation, der Bleiglätte, indirekte Hinweise über die ursprüngliche Lage der Bleiglätte liefern (Foto 6.20). Der untere Bereich des Fotos 6.20 (s.a. Foto 6.22) zeigt ein eher sperriges, lockeres Gefüge der PbO-Leisten. Dies ist in der unteren Hälfte der Kupelle zu erwarten, da dort weniger flüssige Bleiglätte das Herdmaterial erreicht und der Auflastdruck des Metallbades das Kupellenmaterial eher in den oberen Bereichen staucht. Außerdem ist im unteren Bereich der Bleiglätte gelber Massicotit

(β -PbO) als Hochtemperaturmodifikation des PbO erhalten (Foto 6.20). Seine Anwesenheit spricht für eine schnelle Abkühlung der flüssigen Bleiglätte, wie sie in den Randbereichen oder der Unterseite von Treibetellern zu erwarten ist, da die Umwandlungsgeschwindigkeit von Massicotit in Lithargit (α -PbO) bei der Abkühlung (bei ca. 580°C) sehr gering ist (z.B. Real et al., 1993).

Der Ausschnitt aus dem oberen Teil derselben Bleiglätteprobe in Foto 6.23 zeigt ein dichteres Wachstum und eine vornehmlich lagige Anordnung der PbO-Kristalle wie es in der mit flüssiger Bleiglätte getränkten Oberseite der Treibeteller auftreten sollte. Hier sind typischerweise auch viele Bleitropfen gefangen. Die Massicotite konnten durch den Kontakt mit dem heißen Metallbad langsamer abkühlen und sind allem Anschein nach vollständig in die rote Tieftemperatur-Modifikation Lithargit umgewandelt.

Zonierungen in von Massicot und Lithargit dominierte Bereiche wurden zwar nicht in der Probe BG 2 beobachtet, konnte aber sowohl optisch als auch durch XRD-Analysen für Bleiglätte BG 3 festgestellt werden (Fotos 6.24 und 6.25).

In den Hohlräumen zwischen den PbO-Leisten generierten teilweise filigrane Ausblühungen von stängeligem PbO (Fotos 6.27 und 6.28). Von den großen sperrigen PbO-Tafeln sind einige wahrscheinlich bei der Einbettung im Boden nachträglich gebrochen (Foto 6.30).

Blei als Hauptkomponente der Bleiglättestücke (73-90 at.-%), Gehalte an Cu mit bis zu 3000 ppm und Sb-Anteilen von über 1000 ppm sind durchaus typisch für Bleiglätteanalysen (s. Tab. 9.31) (Hauptmann et al., 1988, Bachmann, 1977, 1982a, Pernicka et al., 1998). Kupfer geht wie die anderen unedlen Metalle schon lange vor Abschluss der Oxidation des Bleis als (Cu-)Oxid in die Glätte (Bachmann, 1977). Der Ag-Gehalt in den Bleiglätteproben liegt mit Ausnahme von BG 3 unterhalb der Nachweisgrenze. Er lag hier bei 13 ppm und sollte aus den in der Kupelle eingeschlossenen Bleitropfen stammen. Da flüssiges Werkblei eher zu Beginn der Kupellation, wenn Ag noch nicht im Bleiregulus höher konzentriert ist, durch das hohe Gewicht des flüssigen Bleimetallbades in die noch nicht vollgesogenen Kupellen einzudringen vermag, spiegelt der Ag-Gehalt der Bleiglätte annäherungsweise den des verhütteten Bleierztes wieder. Tatsächlich steht der Ag-

Anteil der Bleiglätteprobe BG 3 in direktem Einklang mit zwei Bleiglanzanalysen der Grube Lüderich (unveröffentlichte Analysen, DBM). Sie enthielten 12 bzw. 13 ppm Ag (s.a. Kapitel 6.2a).

Bleiglätte kann aber auch ungewöhnlich Ag-reich sein. In solchen Fällen sind anscheinend mit Ag angereicherte Bleitropfen auch aus der Endphase der Treibearbeit in der Glätte gefangen. Pernicka et al. (1998) fanden Beispiele mit über 3000 ppm Ag in Habuba Kabira in Syrien.

Zum Aufbau des Herdmaterials

Anteile an CaO, Al₂O₃, Na₂O und P₂O₅ geben Auskunft über die ursprüngliche Beschaffenheit der porösen Herdmasse (vergl. z.B. Bachmann, 1977, Rehren & Klappauf, 1995). Obwohl die Konzentrationen dieser Oxide in den Proben variieren, tritt CaO (bis 2,86 Gew.-%) und Al₂O₃ (bis 3,05 Gew.-%) gegenüber den anderen genannten Oxiden mengenmäßig hervor (s. Tab. 9.31). Man kann daher am ehesten davon ausgehen, dass calcitischer Mergel (Kalk-Ton-Gemisch) als Hauptbestandteil des Herdes verwendet wurde. Die Fotos 6.22 bis 6.24, 6.26 und 6.27 geben Aufschluss über die Präsenz von Calcit als Teil des Mergels.

Auch die sich um 90 Gew.-% bewegenden Gesamtsummen der Bleiglätte (ICP-OES) deuten auf die Verwendung von calcitischem Kupellenmaterial, da das Beisein von CaCO₃ in den Proben bei ICP-Messungen signifikante Verluste an CO₂ nachsichzieht (s. Tab. 9.31). Gegen die Verwendung von Knochenasche sprechen die geringen P₂O₅-Werte von maximal 0,29 Gew.-% (vergl. Rehren & Klappauf, 1995).

Im Herdmaterial teilweise integrierter Quarz scheint nicht mit der flüssigen Glätte reagiert zu haben, da die EDX-Analysen neben den PbO-Tafeln keine Silikatphasen identifizierten. Da er aber oftmals von den PbO-Leisten fest eingeschlossen ist (Fotos 6.23, 6.26 und 6.30), wird er Teil der Herdmulden gewesen sein, in denen die Treibearbeiten durchgeführt wurden. Tritt er in größeren Hohlräumen auf, kann er auch nach der Einbettung in die Hohlräume der Bleiglätte gelangt sein (Foto 6.29).

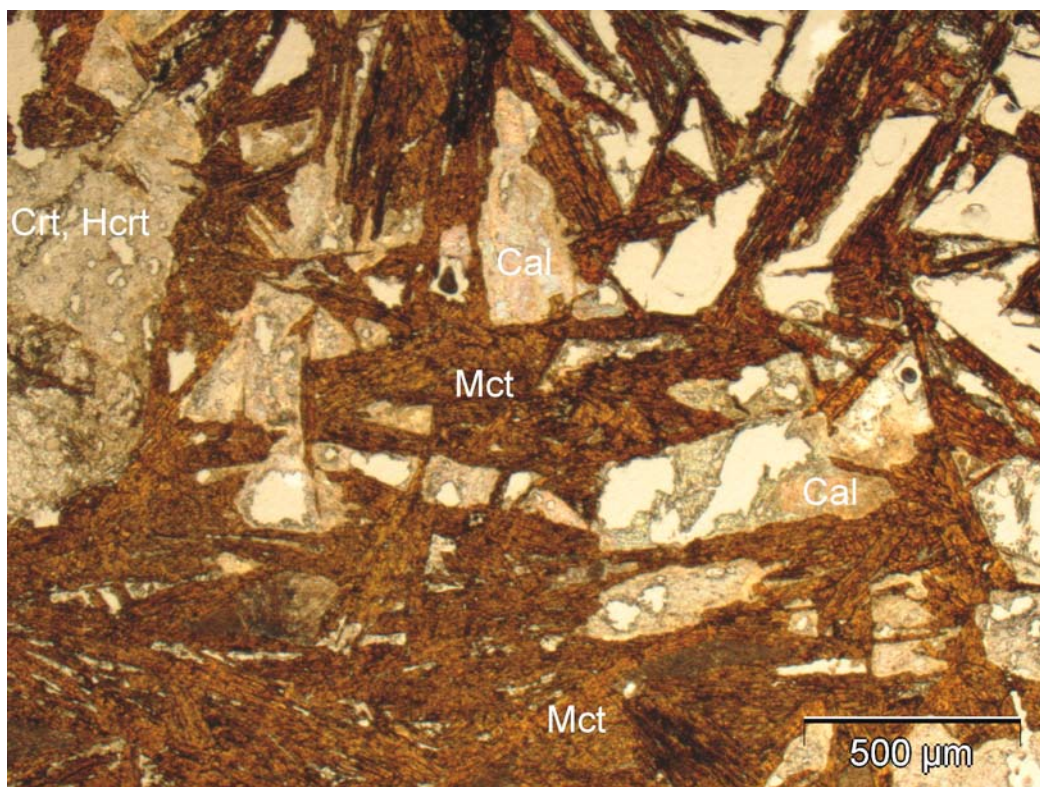


Foto 6.22: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 4, Lüderich): locker gestapelte, unregelmäßig gewachsene Massicotit (Mct)-Leisten aus dem gelb gefärbten Bereich der Bleiglätte BG 4 (Foto 6.20), zusammen mit stark angewitterten Calciten (Cal) aus dem Herdmaterial und Cerussit (Crt)/Hydrocerussit (Hcrt) aus der Verwitterung.

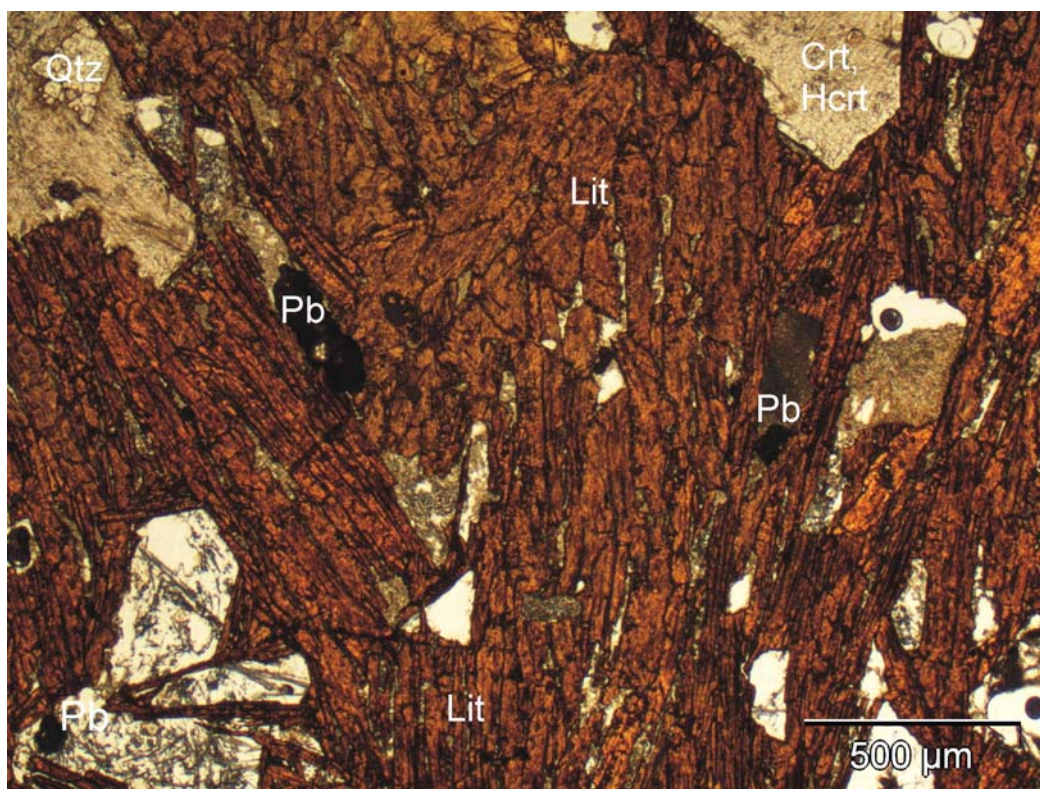


Foto 6.23: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 4, Lüderich): eingeregelt Lithargit (Lit)-Leisten aus dem roten, vermutlich oberen Bereich der Bleiglätte BG 4 (Foto 6.20) mit Bleimetall-Einschlüssen (Pb) und Quarz (Qtz)-Einschlüssen. Stellenweise Überführung der Bleiglätte in Cerussit (Crt)/Hydrocerussit (Hcrt).

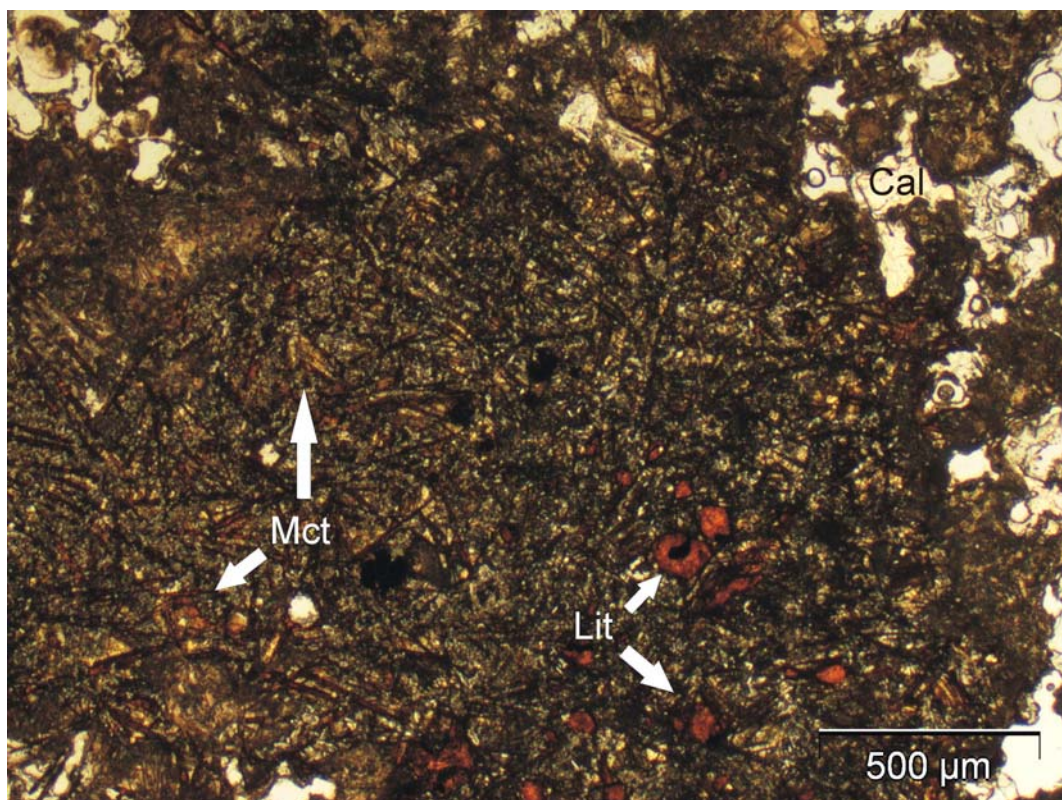


Foto 6.24: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 3, Lüderich): dichtes Aggregat stark überprägter Lithargite (Lit) und Massicotite (Mct) in der stark verwitterten Bleiglätte BG 3, im Verbund mit einzelnen Calciten (Cal). Das Foto stammt aus dem mittleren Bereich der Bleiglätte in der Übergangszone zwischen gelblicher und rötlicher Bleiglätte.

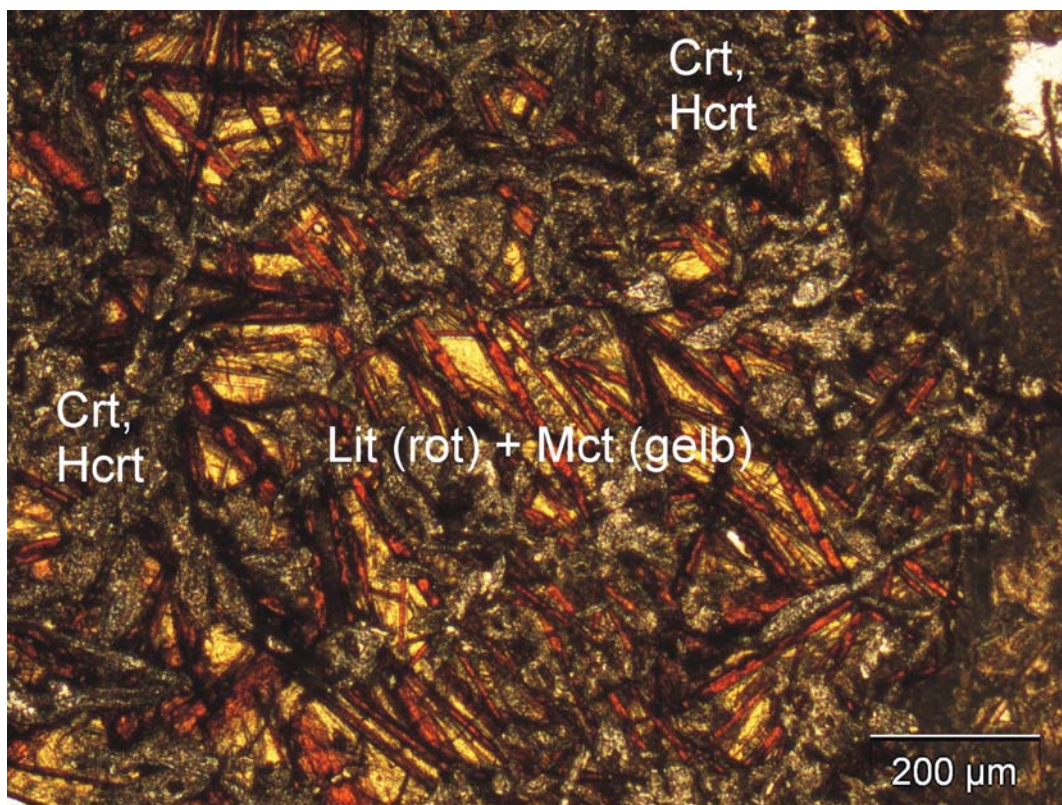


Foto 6.25: Lichtmikroskop, gekreuzte Nicols (BG 3, Lüderich): farblich gut unterscheidbare unregelmäßige Lithargite (Lit) und Massicotite (Mct), überprägt von Cerussit (Crt) und Hydrocerussit (Hcrt) als Verwitterungsprodukte. Das Bild stammt aus dem mittleren Bereich der Bleiglätte in der Übergangszone zwischen gelblicher und rötlicher Bleiglätte.

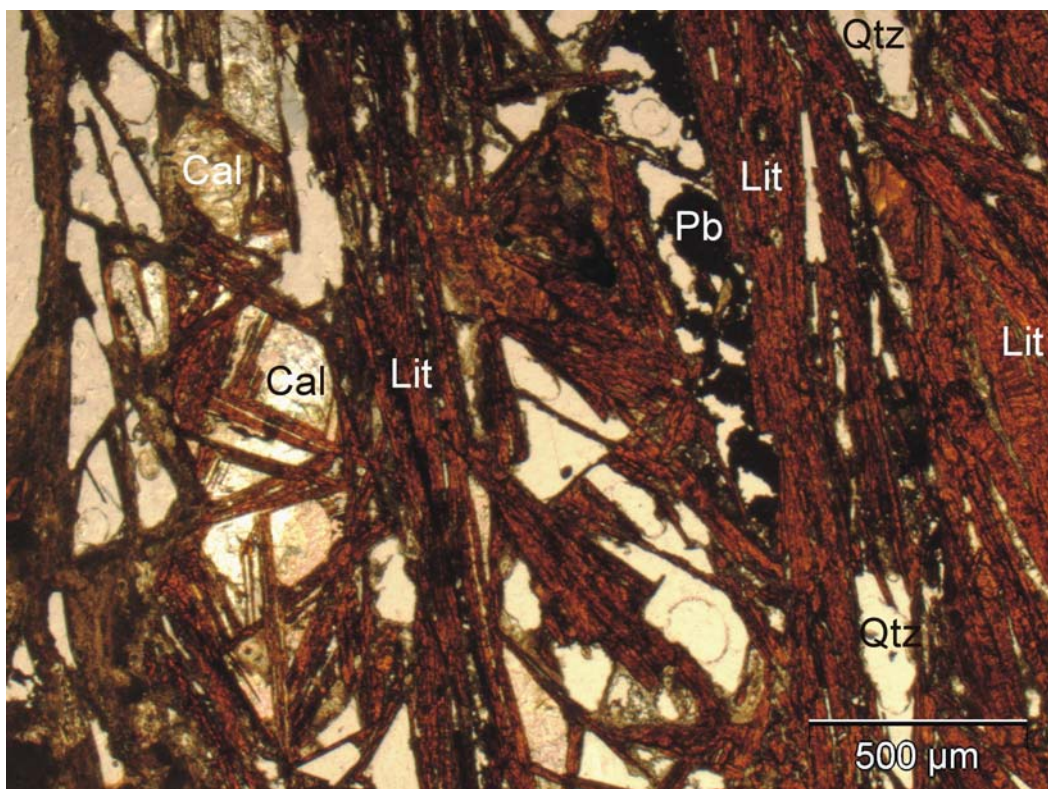


Foto 6.26: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 2, Lüderich): größtenteils lagig, teilweise sperrig angeordnete Lithargite (Lit) im oberen Bereich der Bleiglätte BG 2 (linker Teil Foto 6.18) mit Bleitropfen (Pb), Calciten (Cal) und Quarzkörnern (Qtz).

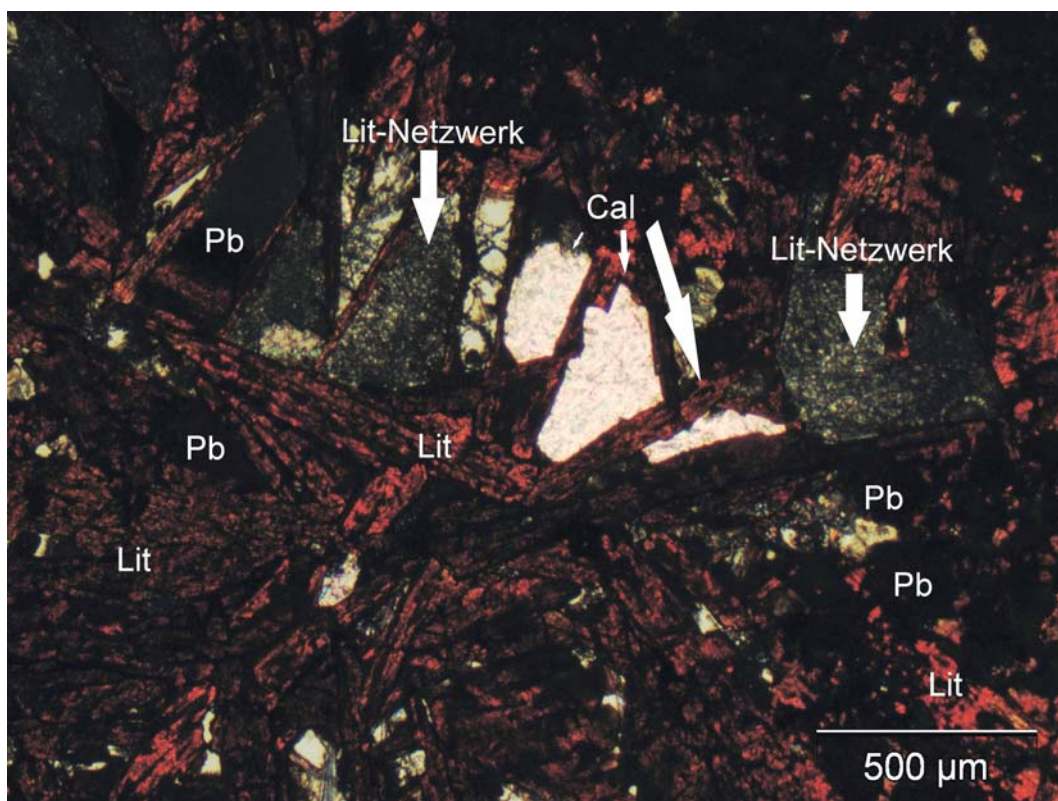


Foto 6.27: Lichtmikroskop, gekreuzte Nicols (BG-1, Lüderich): Calcit (Cal) und Bleitropfen (Pb) innerhalb gestapelter Lithargit (Lit)-Leisten. Die Hohlräume sind mit fein verästelt Lit ausgefüllt.

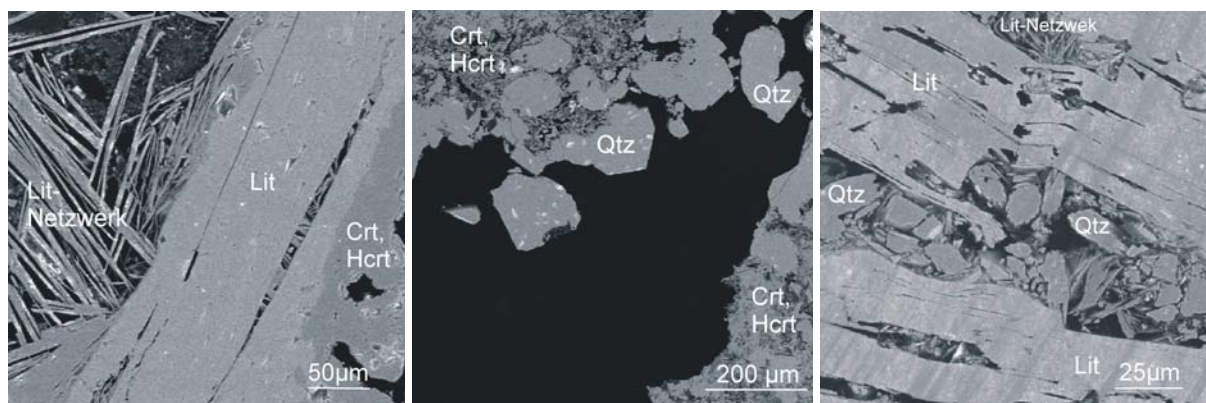


Foto 6.28 (links): REM, Rückstreuelektronenbild (BG 1, Lüderich): Lithargit (Lit)-Leisten und filigran gewachsener Lit in den Hohlräumen (s. Foto 6.27). Lithargite (Lit) sind an den Rändern in Cerussit (Crt) und Hydrocerussit (Hcrt) umgewandelt.

Foto 6.29 (Mitte): REM, Rückstreuelektronenbild (BG 3, Lüderich): sekundäre Umwandlungsprodukte Cerussit (Crt) und Hydrocerussit (Hcrt) in der Bleiglätte zusammen mit in den Hohlräumen akkumulierten Quarz (Qtz).

Foto 6.30 (rechts): REM, Rückstreuelektronenbild (BG 4, Lüderich): In den Hohlräumen von mechanisch beanspruchten Lithargit (Lit)-Leisten eingeschlossene Quarze (Qtz) zusammen mit filigran gewachsenem Lit als Hohlraumfüllung.

Festzuhalten bleibt, dass nicht nur die geringen Ag-Gehalte im Bleiglanz, sondern auch in der Bleiglätte eine lohnenswerte Silbergewinnung am Lüderich in Frage stellen. Vielleicht währten deshalb die Aktivitäten bezüglich der Silberproduktion am Lüderich nach heutigem Wissensstand lediglich zwei Jahrzehnte (Körlin & Gechter, 2003, Körlin, 2006).

Zur Bleisotopie der Bleiglätte und von Bleifunden vom Lüderich

Die Bleisotopenanalysen der Bleiglättestücke ergeben eine eindeutige Zuordnung zu den analysierten Bleierzen der Grube Lüderich. Bei den Bleimetallfunden lagen zwei Objekte (D-102/2, D-102/33) außerhalb der sich ansonsten mit den Erzen und der Bleiglätte gruppierenden Metalle, darunter ein Fund, der einen Bleiglättezapfen bzw. -haken darstellen könnte und deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit auch vom Lüderich stammt (D-102/2). Die beiden Funde sind isotopisch kongruent zu postvariszischen Bleierzen, wie sie untergeordnet im Bensberger-Engelskirchener Revier, zu dem die Grube Lüderich gehört, auftreten (Kirnbauer, 1998). Die Masse des am Lüderich produzierten Bleis, das deutet die Verteilung der Isotopenanalysen an, dürfte aber wie die untersuchte Bleiglätte und die anderen Bleiobjekte variszische Bleisignaturen tragen.

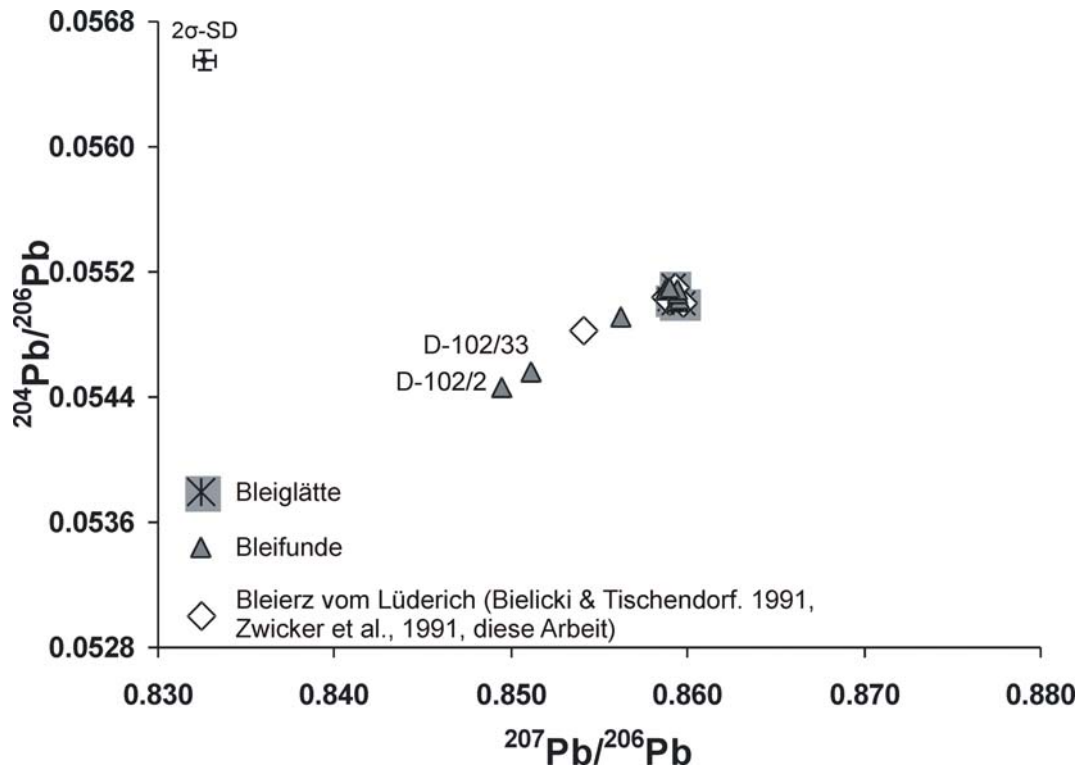


Abb. 6.7: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm der Bleiisotopenzusammensetzung der Bleiglätte und Bleifunden vom Lüderich und Bleiglanz der Grube Lüderich. Die Bleifunde D-102/2 und D-102/3 zeigen, dass anscheinend teilweise auch postvariszischer Bleiglanz verhüttet wurde (s. Text).

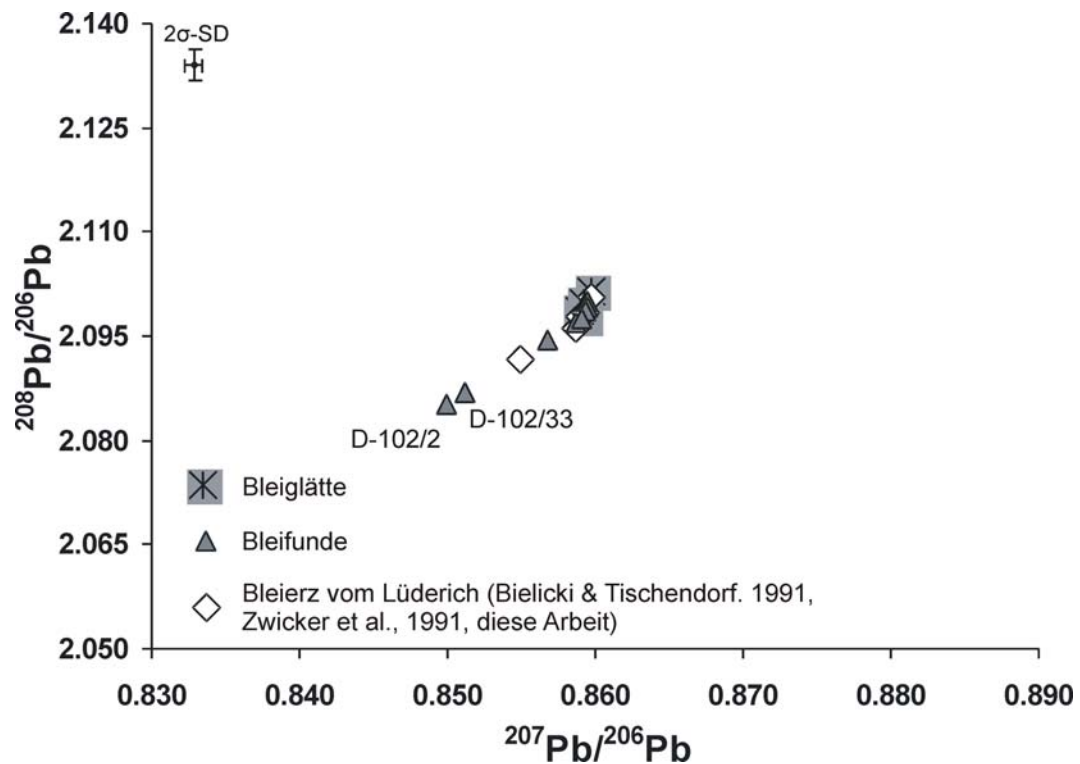


Abb. 6.8: $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm der Bleiisotopenzusammensetzung der Bleiglätte und Bleifunden vom Lüderich und Bleiglanz der Grube Lüderich. Die Bleifunde D-102/2 und D-102/3 zeigen, dass anscheinend teilweise auch postvariszischer Bleiglanz verhüttet wurde (s. Text).

Das Hauptanliegen dieser Arbeit bestand darin, den bestehenden Informationsstand über die Versorgungssituation im Römischen Reich der frühen Kaiserzeit mit Blei zu bestätigen und möglichst neue Erkenntnisse darüber zu gewinnen. Hierfür wurden Herkunftsuntersuchungen an römischen und „germanischen“ Bleifunden Westfalens aus der Zeitenwende und des 1. und 2. Jahrhunderts n. Chr. durchgeführt. Als vorrangiges Hilfsmittel diente die Bleiisotopenanalyse.

Archäologische und naturwissenschaftliche Arbeiten aus jüngster Zeit stellten heraus, dass die Römer sehr wahrscheinlich schon früh nach Ankunft an den Rhein im 2. Jahrzehnt v. Chr. nach Rohstoffen, darunter auch Blei und Silber, gesucht haben. Dass die Römer in der nördlichen Eifel fündig wurden, darauf deuten Münzfunde in Stollen am Kallmuther Berg und Bleiisotopenvergleiche von Bleierz der Nordwesteifel mit Bleifunden aus den römischen augusteischen Standorten in der südlichen *Germania Magna* (Waldgirmes, Dangstetten). Diese ganz neue Erkenntnis wurde durch eigene Probennahmen an weiterem Bleiglanz des Rheinischen Schiefergebirges und an Bleifunden der Römerlager der nördlichen *Germania Magna* überprüft. Neben den Messungen der Bleiisotope wurden auch die Spurenelemente bestimmt.

Das Hauptarbeitsgebiet lag in Westfalen, also in dem für kurze Zeit im Focus römischer Expansionspolitik liegenden Gebietes des freien Germaniens. Durch die besondere Konstellation, dass die Römerlager der Germanienfeldzüge eine nur sehr kurze, aber äußerst gut rekonstruierte Zeitspanne römischer Geschichte widerspiegeln, konnten die naturwissenschaftlichen Ergebnisse in den eng gestrickten geschichtlichen Hintergrund eingeflochten und auf ihre Plausibilität hin überprüft werden. Insgesamt flossen 150 Bleimetallanalysen in die Herkunftsanalyse ein und ermöglichten im Rahmen ihrer Aussagekraft neue wichtige Erkenntnisse.

Neben der Bestätigung der Nordwesteifel als eine sehr wahrscheinliche Bleilieferquelle für die Römer vor Ort, konnte herausgearbeitet werden, dass die Legionen noch Blei von der Iberischen Halbinsel mit sich führten.

Für das Blei der Lager des Haltern-Horizontes (ab der Zeitenwende bis 9 n. Chr.) kommen noch zwei weitere lokale Bleiliefergebiete in Betracht. Mit großer

Wahrscheinlichkeit gelangte Blei von der römischen Blei-/Silbergewinnung am Lüderich (Bergisches Land) in die Römerlager. Die Analysen von Bleierz des historischen Bergbaureviers von Brilon unterstützen die Annahme einiger Archäologen, dass um die Zeitenwende auch im Sauerland römischer Bleierzbergbau umgegangen sein könnte. Theoretisch kann dort gewonnenes Blei in die Versorgung der Lager des Haltern-Horizontes mit eingegangen sein. Die Bleiisotopensignaturen der Bleierze von Brilon und der Nordwesteifel lassen sich aber nicht unterscheiden und die erweiterte Überprüfung mit Hilfe von Spurenelementvergleichen brachte keine Auflösung.

Das gleiche „Dilemma“ trifft auch für eine weitere römische Fundgruppe zu. Es handelt sich hier um 150 römische Bleibarren aus dem Mittelmeerraum, die den Inschriften zufolge aus dem augusteischen Germanien stammen. Auch sie sind bleiisotopisch sowohl mit den Bleierzen der Nordwesteifel als auch des Briloner Reviers kongruent. In diesem Fall fehlte es an Spurenelementdaten, um auch hier die Provenienzuntersuchung wie im obigen Fall zu erweitern. Doch konnte die Annahme, dass um die Zeitenwende von Germanien nach Rom Blei exportiert wurde, mit den Bleiisotopenuntersuchungen unterstrichen werden.

Das „germanische“ Blei stammt aus den Siedlungskontexten in Westfalen und dem nördlichen Sauerland des 1. und 2. Jahrhunderts n. Chr. Hier treten besonders die zahlreichen Kleinbarren hervor (70 Stück). Die Bleiisotopendaten von 50 Kleinbarren gruppieren sich eng und stimmen gut mit den Bleierzen von Brilon überein. Der größte Anteil der Barren wurde auch dort entdeckt. Die Kleinbarren wurden in Siedlungen gebracht, in denen im 1. Jahrhundert n. Chr. die Buntmetallverarbeitung florierte. Ein Teil davon könnte auch ins benachbarte Römische Reich getauscht oder verkauft worden sein. Als Zentrum der Metallverarbeitung sticht Soest hervor. Die Untersuchungen der Archäologen und die vorgestellten naturwissenschaftlichen Auswertungen belegen erstmalig eine eigens durchgeführte Bleigewinnung und –verarbeitung, ein für die Einheimischen, die hauptsächlich Bauern und Viehzüchter waren, ganz neuer Wirtschaftszweig. Hinweise auf Silberextraktion gibt es keine. Da Blei im Alltagsleben der Einheimischen vor Ankunft der Römer an den Rhein keine Rolle spielte, kann man mutmaßen, dass die Bleiproduktion von außen her initiiert wurde. Dies konnten nur die Römer gewesen sein, die eventuell einige Jahrzehnte

zuvor in Brilon Bleierz schmolzen und abtransportierten (s.o.). In diesem Sinne führten die Einheimischen die Bleigewinnung einfach weiter.

Weitere archäometallurgische Untersuchungen wurden an Bleiglätte und an Bleischlacken durchgeführt. Sie fielen bei der römischen Blei-/Silbergewinnung am Lüderich im Bergischen Land in den ersten zwei Jahrzehnten n. Chr. an. Die Bleischlacken sind äußerst bleireich, relativ arm an basischen Zuschlägen und deshalb sehr glasig ausgebildet und phasenarm. Sie führen als Schlackenphasen ferritischen Spinell, Hedenbergit sowie fayalitischen, aber auch Zn-reichen Olivin (Willemit/Zinkfayalit). Die Bleierze wurden bei hohen Temperaturen (1100 bis 1300°C) verhüttet. Wahrscheinlich wurde nach dem Röst-Reaktionsverfahren gearbeitet. Hohe Bleiverluste in der Schlacke oder durch den Abrauch spielten anscheinend keine Rolle. Wichtig war, dass alle silberführenden Verbindungen zerstört wurden, damit alles Silber mit dem Werkblei legieren konnte.

Die Bleiglätte zeigt eine typische Ausbildung. Die Bleioxidtafeln bestehen aus Lithargit (Tiefemperaturmodifikation) und Massicotit (Hochtemperaturmodifikation). Als Herdmaterial wurde calcitischer Mergel verwendet. Geringe Ag-Gehalte in der Bleiglätte und in Bleiglanz vom Lüderich von höchstens 13 ppm stellen aber eine hohe Silberausbeute am Lüderich in Frage.

Summary

The main issue of this paper was to reconstruct the lead supply in Germania during the early Roman Emperorship. The main tool was lead isotope analysis (LIA). Therefore, a great number of samples were taken from Roman and "Germanic" lead objects in Westphalia (NW-Germany, right of the river Rhine). The Roman ones come from legionary camps, which were built during the occupation phase in the Germania Libera from 12 BC to 9 AD. The data approved recent investigations that shortly after the arrival of the Romans lead ore mining was initiated in the Eifel region at the border area of the Gallic provinces. Even so, the prominent non-ferrous metal ores from Spain could partially be detected inside the lead objects.

Certainly, a military lead/silver smelting site in the Germania Libera close to Cologne (Lüderich, Bergisches Land) became an additional lead source and, possibly, lead ores (Brilon, Sauerland) nearby the military camps of Westphalia as well. The find of a lead object from there, strongly connected by inscriptions with a Roman lead ingot from a shipwreck at the coast of Sardinia, chiefly gave rise to this assumption. Unfortunately, the postvariscan lead ores in Brilon are not distinguishable from the relevant ones in the Eifel region. Trace element measurements of galena samples from both of the mining territories and from Roman and “Germanic” lead objects, which isotopically match with these samples, did not sufficiently help to differ between the ores and, in addition, to solve the provenance problem of the Roman finds. At least, it can be stated, that most likely the main part of the Augustan Roman objects comes from German lead ores.

The same case cropped up for another group of archaeological finds, namely about 150 Roman lead ingots from the western Mediterranean Sea with inscriptions pointing to Augustan Germania. LIA of nine ingots, like the lead objects described above, favored again the Eifel ores and the ores from Brilon. Lacking trace element data retarded an enhanced provenance study. Nevertheless, the LIA interpretation confirmed the assumption of archaeologists that in Augustan time, between the apparent gradual fall of the Spanish mines and the occupation of the British ores, the German lead recourses took the position of an important lead provider for Rome.

It is strongly believed that the “Germanic” lead finds from Westphalian settlements of the 1st and 2nd century AD, including a group of small pierced lead ingots (400 to 800 g), came from local lead ores. One settlement had many workshops for metalworking and is regarded as the economic center. Most of the “Germanic” ingots were detected at the lead ores of Brilon. Isotopically and by trace element contents, the lead finds and the lead ingots greatly match with these ores. Because the inhabitants in the antic Westphalia did not deal with lead in earlier times, one can state, that the “Germanic” tribes simply continued Roman mining at this site, which obviously did not include silver production. It seems that the “Germanics”, known as farmers with little metalworking, started a new economic sector by order of the Roman neighbors in Westphalia. This is unique for the “Germanic” culture at that time.

Additionally to the comparison of lead and ores by LIA and trace elements, lead slags and litharge from a Roman Augustan lead/silver smelting site in the Bergische Land (Lüderich, close to Cologne) were investigated. Basically, the lead slags are rich in PbO and very glassy due to a high silica content and a lack of basic components. Inside the silica melt, ferrite, hedenbergite, fayalitic and Zn-rich olivine (willemite/zincfayalite) could be detected. The chemical compositions and the slag phases show that the Romans were smelting within temperatures from circa 1100 to 1300°C. This is typical for silver production as the main task. The litharge samples consist of massicote (high temperature modification) as well as litharge (low temperature modification) showing different levels of cooling in the samples. The cupellation hearths were composed of marl, proven by both significant calcium and alumina contents in the analysis and calcite inclusion inside the litharge matrix. Striking low Ag contents up to maximal 13 ppm in the litharge as well as galena showed that silver production probably was not very successful.

- Åberg, G./Charalampides, G./Fosse, G./Hjelmseth, H. (2001): The use of Pb isotopes to differentiate between contemporary and ancient sources of pollution in Greece. *Atmospheric Environment* 35, S. 4609-4615.
- Ahrendt, H./Hunziker, J. C./Weber, K. (1978): K/Ar-Altersbestimmung an schwach metamorphen Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 129, S. 229-247.
- Alessandrello, A./Cattadori, C./Fiorentini, G./Gervasio, G./Heuser, G./Mezzorani, G./Pernicka, E./Quarati, P./Salvi, D./Sverzellati, P./Zanotti, L. (1991): Measurements on radioactivity of ancient roman lead to be used as shield in searches for rare events. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 61, S. 106-117.
- Alfonso, S./Grousset, F./Massé, L./Tastet, J.-P. (2001): A European lead isotope signal recorded from 6000 to 300 years BP in coastal marshes (SW France). *Atmospheric Environment* 35, S. 3595-3605.
- Arribas, A. Jr./Tosdal, R. M. (1994): Isotopic composition of Pb and S in base and precious metal deposits of the Betic Cordillera, Spain: origin and relationship to other European deposits. *Economic Geology* 89, S. 1074-1093.
- Arribas, A., Jr./Cunningham, C. G./Rye, R. O./Kelly, W. C./Podwysocki, M. H./McKee, E. H./Tosdal, R. M. (1995): Geology, geochronology, fluid inclusions and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit Spain. *Economic Geology* 90, S. 795-822.
- Assereto, R./Brigo, L./Brusca, C./Omenetto, P./Zuffardi, P. (1976): Italian Ore/Mineral Deposits Related to Emersion Surfaces – a Summary. *Mineralium Deposita* 11, S. 170-179.
- Aßkamp, R./Rudnick, B. (2007): Römische Bleifunde aus Haltern. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 33-40.
- Aufderheide, A. C./Rapp Jr., G./Wittmers Jr., L. E./Wallgren, J. E./Macchiarelli, R./Fornaciari, G./Mallegni, F./Corruccini, R. S. (1992): Lead exposure in Italy: 800 BC – 700 AD. *International Journal of Anthropology* 7, S. 9-15.
- Bachmann, H.-G. (1977): Bleiglätte-Fund aus der Nordeifel. *Bonner Jahrbücher* 177, S. 617-622.
- Bachmann, H.-G. (1978): Schlacken: Indikatoren Archäometallurgischer Prozesse. In: Hennicke, H. W. (Hrsg.) *Mineralogische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle. Diskussionstagung des Arbeitskreises Archäometrie in der Fachgruppe Analytische Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker vom 24.-26. Februar 1977 in Heidelberg (Hagen 1978)*, S. 66-103.
- Bachmann, H.-G. (1980): Early copper smelting techniques in Sinai and in the Negev and deduced slag investigations. In: Craddock, P. T. (Hrsg.) *Scientific studies in the early mining and extractive metallurgy (London 1980)*, S. 103-134.

- Bachmann, H.-G. (1982a): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion. II. Charakterisierung von Bleiverhüttungsschlacken aus Laurion. *Erzmetall* 35, S. 246-251.
- Bachmann, H.-G. (1982b): The identification of slags from archaeological sites. *Occasional Publication 6/ Institute of Archaeology*, 37pp.
- Bachmann, H.-G. (1991): Archäometallurgie des Silbers. *Die Geowissenschaften* 9, S. 12-17.
- Baron, S./Carignan, J./Laurent, S./Ploquin, A. (2006): Medieval lead making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): Tracing ore sources using lead isotopes. *Applied Geochemistry* 21, S. 241-252.
- Barnes, I. L./Shields, W. R./Murphy, T. J./Brill, R. H. (1974): Isotopic analysis of Laurion lead ores. *Archaeological chemistry* 138, S. 1-10.
- Bauer, G./Ebert, A./Hesemann, J./v. Kamp, H./Müller, D./Pietzner, H./Podufal, P./Scherp, A./Wellmer, F.-W. (1979): Die Blei-Zink-Erzlagerstätten von Ramsbeck und Umgebung. *Geologisches Jahrbuch, Reihe D (Mineralogie, Petrographie, Geochemie, Lagerstättenkunde)*, Heft 33, 377pp.
- Bechert, T. (1974): Asciburgium - Ausgrabungen in einem römischen Kastell am Niederrhein. *Duisburger Forschungen* 20, 215pp.
- Bechert, T. (1982): Römische Germanien zwischen Rhein und Maas: die Provinz Germania inferior (München 1982) 290pp.
- Bechert, T. (2001): Caput rurae fluminis – Asciburgium im 1. Jahrhundert. In: Hopp, D./Trümpler, Ch. (Hrsg.): *Die frühe römische Kaiserzeit im Ruhrgebiet* (Essen 2001), S. 51-62.
- Becker, M. (2002): Germanen. Freunde und Feinde der Römer. In: Menghin, W./Planck, D. (Hrsg.) *Menschen, Zeiten, Räume – Archäologie in Deutschland* (Berlin 2002) S. 284-288.
- Becker, A./Rasbach, G. (2003): Die spätaugusteische Stadtgründung in Lahnau-Waldgirmes. *Archäologische, architektonische und naturwissenschaftliche Untersuchungen. Germania* 81, S. 147-199.
- Begemann, F./Schmitt-Strecker, S./Pernicka, E. (1989): Isotopic composition of lead in early metal artefacts. Results, possibilities and limitations. In: Hauptmann, A./Pernicka, E./Wagner, G. A. (Hrsg.): *Archäometallurgie der Alten Welt – Der Anschnitt, Beiheft 7* (Bochum 1989) S. 269-278.
- Begemann, F./Schmitt-Strecker, S. (1994): Das Blei von Schiff und Ladung: Seine Isotopie und mögliche Herkunft. In: Hellenkemper-Salies, G. (Hrsg.): *Das Wrack. Der Antike Schiffsfund von Mahdia* (Köln 1994) S. 1073-1076.

- Behr, H.-J./Horn, E.-E./Frentzel-Beyme, K./Reutel, C. (1987): Fluid inclusions characteristics of the variscan and postvariscan mineralization fluids in the Federal Republic of Germany. *Chemical Geology* 61, S. 273-285.
- Bendall, Ch. (2003): The application of trace element and isotopic analyses to the study of Celtic gold coins and their metal sources. Dissertation Johann Wolfgang Goethe Universität (Frankfurt 2003) 141pp.
- Bérenger, D. (2002): Steinzeitjäger und Germanen in Thüle. *Archäologie in Ostwestfalen* 7, S. 9-13.
- Bérenger, D. (2007): Frühromische Kaiserzeit und Blei in Ostwestfalen-Lippe. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 25-31.
- Berg, G./Friedensburg, F./Sommerlatte, H. (1950): Blei und Zink. In: Friedensburg, F. (Hrsg.): *Die metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung*, Heft 9 (Stuttgart 1950).
- Bergen, Ch. (2005): Technologische und kulturhistorische Studien zu Bleifunden im 1. Jahrtausend. Dissertation Universität Münster. Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Münster, Band 125, 222pp.
- Bernard, H./Domergue, C. (1991): Les lingots de plomb de l'épave romaine Sud Perduto 2 (Bouches de Bonifacio, Corse). *Bulletin de la Société des Sciences Historiques et Naturelles de la Corse* 111, S. 41-96.
- Berti, F. (1985): La nave romana di Valle Ponti (Chomacchio). *Rivista di studi Liguri* 51, S. 553-570.
- Besnier, M. (1920): Le commerce du plomb à l'époque romaine d'après les ingots estampillés. *Revue Archéologique* 12, S. 211-244.
- 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, S. 440-461.
- Bode, M./Hauptmann, A./Mezger, K./Prange, M. (2003): Vorläufige Ergebnisse zur geochemischen und Blei-isotopischen Provenienzuntersuchung einiger westfälischer Bleifunde mittels Vergleich mit heimischen Bleierz. *Archäologie in Ostwestfalen* 8, S. 43-46.
- Bode, M. (2006): Neues aus dem Alten Rom mit Hilfe der Archäometallurgie. In: Köhne, R./Reininghaus, W./Stöllner, Th. (Hrsg.) *Bergbau im Sauerland. Westfälischer Bergbau in der Römerzeit und im frühen Mittelalter. Schriften der Historischen Kommission für Westfalen* 20 (Münster 2006) S. 32-44.
- Bode, M./Hauptmann, A./Mezger, K. (2007): Rekonstruktion fruhkaiserzeitlicher Bleiproduktion in Germanien: Synergie von Archäologie und Materialwissenschaften. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 105-124.

- Boni, M./Köppel, V. (1985): Ore-lead pattern from the Iglesias-Sulcis area (SW Sardinia) and the problem of remobilization of metals. *Mineralium Deposita* 20, S. 185-193.
- Boni, M./Di Maio, G./Frei, R./Villa, I. M. (2000): Lead isotopic evidence for a mixed provenance for Roman water pipes from Pompeii. *Archaeometry* 42, S. 201-208.
- Boon, G. C. (1972): Non-ferrous metal-mining in Roman Britain with especial reference to Wales. In: Eighth Annual Conference, Cardiff, September 15-17 (Cardiff 1972) S. 1-7.
- Borchert, H. (1978): Lernblätter zur Geochemie und Lagerstättenkunde (Essen 1978) 119pp.
- Boulakia, J. D. C. (1972): Lead in the Roman World. *American Journal of Archaeology* 76, S. 139-144.
- Boutron, C. F. (1995): Historical reconstruction of the earth's past atmospheric from Greenland and Antarctic snow and ice cores. *Environmental Review* 3, S. 1-28.
- Boutron, C. F. (1999): Antarctic and Greenland snow and ice cores: Archives of the climate and pollution of the atmosphere of the earth. *Korean Journal of Polar Research* 10, S. 45-52.
- Brännvall, M.-L./Bindler, R./Emteryd, O./Nilsson, M./Renberg, I. (1997): Stable isotope and concentration of atmospheric lead pollution in peat and lake sediments in Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 100, S. 243-252.
- Braidwood, R., Braidwood, L. (1960): Excavation in the plain of Antioch. *Oriental Institute Publication* 60.
- Braidwood, R., Braidwood, L. (1983): Prehistoric Archaeology along the Zagros Flanks. *Oriental Institute Publication* 138.
- Brather, M.-J. (2002): Im Inneren Germaniens. Siedlungen und Metallverarbeitung. In: Menghin, W./Planck, D. (Hrsg.) *Menschen, Zeiten, Räume – Archäologie in Deutschland* (Berlin 2002) S. 289-292.
- Brauns, C. M. (1995): Isotopenuntersuchungen an Erzen des Siegerlandes. (Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen) (Gießen 1995).
- Bremer, E. (2001): Die Nutzung des Wasserweges zur Versorgung der römischen Militärlager an der Lippe. *Veröffentlichungen der Altertumskommission für Westfalen* 12, 111pp.
- Brévar, O./Dupré, B./Allègre, C. J. (1982): Metallogenic provinces and the remobilization process studied by lead isotopes: lead-zinc ore deposits from the southern Massif Central, France. *Economic Geology* 77, S. 564-575.

- Brill, R. H./Wampler, J. M. (1965): Isotope studies of ancient lead. *American Journal of Archaeology* 69, S. 165-166.
- Brill, R. H./Wampler, J. M. (1967): Isotope studies of ancient lead. *American Journal of Archaeology* 71, S. 63-77.
- Brill, R. H./Shields, W. R./Wampler, J. M. (1973): New directions in lead isotope research. In: *Museum of Fine Arts (Hrsg.) Application of science in examination of works of art (Boston 1973) S. 73-83.*
- Brodersen, K. (1998): *Das römische Britannien. Spuren seiner Geschichte.* (Darmstadt 1998) 260pp.
- Brunemann, H.-G./John, M./Knauf, N. (2003): Die Eifeler Bleierzgruben von Rescheid, Bleialf und Mechernich – eine bergbauhistorische Übersicht. In: *Reger, K. (Hrsg.) Tagungsband: 6. Internationaler Bergbau-Workshop Rescheid/Eifel 1.-5. Oktober (Hellenthal/Eifel 2003) S. 24-33.*
- Budd, P./Gale, D./Pollard, A. M./Thomas, R. G./Williams, P. A. (1993): Evaluating lead isotope data: further observations. *Reply. Archaeometry* 35, S. 241-247.
- Budd, P./Scaife, B./Taylor, T./Thomas, R. G. (1994): Untangling the web: some new views on the origins of prehistoric metallurgy. *Historical Metallurgy* 28, S. 98-102.
- Budd, P./Haggerty, R./Pollard, A. M./Scaife, B./Thomas, R. G. (1995a): New heavy isotope studies in archaeology. *Israel Journal of Chemistry* 35, S. 125-130.
- Budd, P./Pollard, A. M./Scaife, B./Thomas, R. G. (1995b): The possible fractionation of lead isotopes in ancient metallurgical processes. *Archaeometry* 37, S. 143-150.
- Budd, P./Haggerty, R./Pollard, A. M./Scaife, B./Thomas, R. G. (1996): Rethinking the quest for provenance. *Antiquity* 70, S. 168-174.
- Cameron, A.E./Smith, D.H./Walker, R.L. (1969): Mass spectrometry of nanogram size samples of lead. *Analytical Chemistry* 41, S. 525-526.
- 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, S. 1-67.*
- Chalkias, G./Vavelidis, M./Schmitt-Strecker, S./Begemann, F. (1988): Geologische Interpretation der Blei-Isotopen-Verhältnisse von Erzen der Insel Thasos, der Ägäis und Nordgriechenlands. In: *Wagner, G. A./Weisgerber, G. (Hrsg.) Antike Edel-und Buntmetallgewinnung auf Thasos (Bochum 1988) S. 59-74.*

- Charef, A. (1986): La nature et le rôle des phases associées à la minéralisation Pb-Zn dans les formations carbonatées et leurs conséquences métallogénique. Etude des inclusions fluides et des isotopes (H, C, O, S, Pb) des gisements des Malines (France), Fedj-el-Adoum et Jbel-Hallouf-Sidi Bou Aouane (Tunisie). Dissertation Universität Nancy, 291pp.
- Chaudhuri, J. N. B./Newesely, H. (1993): Mineralogical characterization of old Harz Mountain slags. Canadian Metallurgical Quarterly 32, S. 1-12.
- Christ, K. (1977): Zur augusteischen Germanenpolitik. Chiron 7, S. 149-205.
- Cochet, A. (2000): Le plomb en Gaule romaine. Techniques de fabrication et produits. Monographies Instrumentum 13, Éditions Monique Mergoïl (Hrsg.), Montagnac, 223pp.
- Colls, D./Domergue, C./Guerrero Ayuso, V. (1986): Les lingots de plomb de l'épave romaine Carbrera 5 (Île de Carbrera, Baléares). Archaeonautica 6, S. 31-80.
- Conophagos, C. E. (1980): Le Laurium antique et la technique greque de la production de l'argent (Athen 1980) 458pp.
- Corsini, F./Cortecci, G./Leone, G./Tenelli, G. (1980): Sulfur Isotope Study of the Skarn- (Cu-Pb-Zn) Sulfide Deposit of Valle del Temperino, Campiglia Marittima, Tuscany, Italy. Economic Geology 75, S. 83-96.
- Craddock, P. T./Freestone, I. C./Gale, N. H./Meeks, N. D./Rothenberg, B./Tite, M. S. (1985): The investigation of a small heap of silver smelting debris from Rio Tinto, Huelva, Spain. British Museum Occasional Papers 48, S. 199-217.
- Craddock, P. T./Freestone, I. C./Hunt Ortiz, M. (1987): Recovery of silver from speiss at Rio Tinto (SW Spain). Institute for Archaeo-Metallurgical Studies (IAMS) 10/11, S. 8-10.
- Craddock, P. T. (1990): Copper smelting in Bronze Age Britain. In: Crew, p., Crew, S. (Hrsg.) Early mining in the British Isles, Occ. Papers 1, Plas Tan y Bwlch, S. 69-71.
- Craddock, P. T. (Hrsg.) (1995): Early Metal Mining and Production (Edinburgh 1995) 363 pp.
- Cumming, G. L./Richards, J. R. (1975): Ore lead isotope ratios in a continuously changing Earth. Earth and Planetary Science Letters 28, S. 155-177.
- Dahm, O. (1897): Der römische Bergbau an der unteren Lahn. Bonner Jahrbücher-Jahrbücher des Vereins von Alterthumsfreunden im Rheinlande 101, S. 117-127.
- Davies, O. (1935): Roman mines in Europe (Oxford 1935) 291pp.
- Day, J./Tylecote, R. F. (1991): The Industrial Revolutions in Metals (London 1991), 318pp.

- Dayton, J. E./Dayton, A. (1986): Uses and limitations of lead isotopes in archaeology. In: Olin, J. S./Blackmann, M. J. (Hrsg.) Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium (Washington D.C. 1986) S. 13-41.
- Dejonghe, L./Jans, D. (1983): Les gisements plombo-zincifères de l'Est de la Belgique. Chron. Rech. Minéral. 470, S. 3-24.
- Doe, B. R./Stacey, J. S. (1974): The Application of Lead Isotopes to the Problems of Ore Genesis and Ore Prospect Evaluation: A Review. Economic Geology 69, S. 757-776.
- Domergue, C. (1983): La mine antique d'Aljustrel (Portugal) et les tables de bronze de Vipasca. In: Publications du centre P. Paris No. 9 (Paris 1983), 210pp.
- Domergue, C. (1987a): Les lingots de plomb de l'épave romaine de Valle Ponti (Chomacchio). Epigraphica, Rivista Italiana de Epigrafia 49, S. 109-175.
- Domergue, C. (1987b): Catalogue des mines et des fonderies antiques de la Péninsule Ibérique, 2 vol. et une pochette de cartes. Publications de la Casa de Velázquez, Série Archéologie VIII, 598pp.
- Domergue, C. (1990): Les mines de la péninsule ibérique dans l'antiquité romaine. Collection de l'École Française de Rome 127, 626pp.
- Domergue, C./Quarati, P./Nesta, A./Trincherini, P. R. (eingereicht): Retour sur les lingots de plomb de Comacchio (Ferrara, Italie) en passant par l'archéométrie et l'épigraphie. Kongress Minería antigua: estudios regionales y temas de investigación actual. 28.-29. November 2005. <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0605/0605044.pdf>.
- Donaldson, C. H. (1976): An experimental investigation of olivine morphology. Contributions to mineralogy and petrology 57, S. 187-195.
- Duncan, I. J. (1985): Lead Isotope Systematics and the Evolution of the Core, Mantle, Crust and Atmosphere. Journal of Geodynamics 2. S. 1-21.
- Dunlap, Ch. E./Steinnes, E./Russell Flegal, A. (1999): A synthesis of lead in two millennia of European air. Earth and Planetary Science Letters 167, S. 81-88.
- 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 Universität Frankfurt am Main) www.publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2006/2578/, 128pp.
- Durn, G./Miko, S./Čovic, M./Barudžija, U./Tadej, N./Namjesnik-Dejanoić, Palinkaš, L. (1999): Distribution and behaviour of selected elements in soil developed over a historical Pb-Ag mining site at Sv. Jakob, Croatia. Journal of Geochemical Exploration 67, S. 361-376.

- Ebel-Zepezauer, W. (2001): Siedlungen der älteren römischen Kaiserzeit im Ruhrgebiet. In: Hopp, D./Trümpler, Ch. (Hrsg.): Die frühe römische Kaiserzeit im Ruhrgebiet (Essen 2001), S. 107-114.
- Ebel-Zepezauer, W. (2003): Die augusteischen Marschlager in Dorsten-Holsterhausen. *Germania* 81, S. 539-554.
- Eck, W. (1994): Die Bleibarren. In: Hellenkemper-Salies, G. (Hrsg.) *Das Wrack. Der Antike Schiffsfund von Mahdia* (Köln 1994), S. 89-95.
- Eck, W. (2004a): Augustus und die Grossprovinz Germanien. *Kölner Jahrbuch* 37, S. 11-22.
- Eck, W. (2004b): Köln in römischer Zeit: Geschichte einer Stadt im Rahmen des Imperium Romanum (Köln 2004) 862pp.
- Eckstein, K./Rehren, Th./Hauptmann, A. (1994): Die Gewinnung von Blei und Silber. *Der Anschnitt* 46, S. 122-132.
- Eiseman, C. J. (1980): Greek lead: ingots from a shipwreck raise questions about metal trade in Classical times. *Expedition* 22, S. 41-47.
- Endell, K./Tielsch, A./Wens, C. (1934): Über die Temperatur-Viskositätsbeziehungen einiger Bleischlacken. *Metall und Erz* 16, S. 353-357.
- Ettler, V./Johan, Z./Touray, J.-C., Jelínek, E. (2000): Zinc partitioning between glass and silicate phases in historical and modern lead-zinc metallurgical slags from the Přebram district, Czech Republic. *Earth and Planetary Sciences* 331, S. 245-250.
- Evans, A. M. (1992): *Erzlagerstättenkunde* (Stuttgart 1992) 356pp.
- Faure, G. (1986): *Principles of Isotope Geology*, 2nd Edition (New York 1995) 608pp.
- Faure, F./Schiano, P. (2004): Crystal morphologies in pillow basalts: implications for mid-ocean ridge processes. *Earth and Planetary Science Letters* 220, S. 331-344.
- Fensterbusch, C. (1991): *Vitruvii de architectura libri decem*, Vitruv, Zehn Bücher über Architektur, übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. Curt Fensterbusch, 5. Auflage (Darmstadt 1991).
- Fingerlin, G. (1999): Römische und keltische Reiter im Lager der XIX. Legion von Dangstetten am Hochrhein. *Archäologische Nachrichten aus Baden* 60, S. 3-18.
- Fiorini, E. (1991): L'impiego del piombo romano nelle ricerche di eventi rari. *Il Nuovo Saggiatore* 7, S. 29-39.
- Fischer, Th./Hanel, N. (2003): Neue Forschungen zum Hauptstützpunkt der Classis Germanica in Köln-Marien burg (Alteburg). *Kölner Jahrbuch* 36, S. 567-585.

- Forbes, J. R. (1950): Metallurgy in Antiquity. A notebook for archaeologists and technologists (Leiden 1950) 489pp.
- Frangipane, M. (1998): Arslantepe 1996: The finding of an EBA „Royal Tomb“. Kazi Sonuçları Toplantısı I XIX, S. 291-309.
- Franke, W./Eder, W./Engel, W./Langenstrassen, F. (1978): Main aspects of geosynclinal sedimentation in the Rhenohercynian zone. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 129, S. 201-216.
- Freund, H. (1954): Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Band II, Teil II: Mikroskopie der Erze, Aufbereitungsprodukte und Hüttenschlacken (Frankfurt 1954) 654pp.
- Gale, N. H. (1978): Some Aspects of Lead and Silver Mining in the Aegean. In: Dumas, C. (Hrsg.) Thera and the Aegean World II. Papers and Proceedings of the Second International Scientific Congress, Santorini, Greece (London 1978), S. 161-195.
- Gale, N. H. (1980): Early Bronze Age lead-silver mining and metallurgy in the Aegean: the ancient workings on Siphnos. In: Craddock, P. T (Hrsg.) Scientific Studies in Early Mining and Extractive Metallurgy (London 1980), S. 63-80.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1981a): Lead and silver in the ancient Aegean. Scientific American 6, S. 142-152.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1981b): Cycladic lead and silver metallurgy. Annual British School Athens 76, S. 169-224.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1982): Bronze Age copper sources in the Mediterranean: A new approach. Science 216, S. 11-19.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1987): Oxhide ingots from Sardinia, Crete and Cyprus and the Bronze Age copper trade: new scientific evidence. Studies in Sardinian Archaeology 3. Nuragic Sardinia and the Mycenaean World. BARIS 387, S. 159-198.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1992): Evaluating lead isotope data: comments on E. V. Sayre, K. A. Yener, E. C. Joel and I. L. Barnes, 'Statistical evaluation of the presently accumulated lead isotope data from Anatolia and surrounding regions', ..., I. Archaeometry 34, S. 311-316.
- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (1993): Comments on P. Budd, D. Gale, A. M. Pollard, R. G. Thomas and P. A. Williams, 'Evaluating lead isotope data: Further observations', *Archaeometry*, 35 (2) (1993), and reply. Comments...II. Archaeometry 35, S. 252-259.
- Gale, N. H./Woodhead, A. P./Stos-Gale, Z. A./Walder, A./Bowen, I. (1999): Natural variations detected in the isotopic composition of copper: possible applications to archaeology and geochemistry. International Journal of Mass Spectrometry 184, S. 1-9.

- Gale, N. H./Stos-Gale, Z. A. (2000): Lead isotope analysis applied to provenance studies. In: Ciliberto, E./Spoto, G. (Hrsg.) *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology* (New York 2000), S. 503-584.
- Gale, N. H. (2001): Archaeology, science-based archaeology and the Mediterranean Bronze Age metals trade: a contribution to the debate. *European Journal of Archaeology* 4(1), S. 113-130.
- Gardiner, V. (2001): An Analysis of Romano-British Lead Pigs. *Institute for Archaeo-Metallurgical Studies (IAMS) 21*, S. 11-13.
- Gechter, M. (1979): Die Anfänge des niedergermanischen Limes. *Bonner Jahrbücher* 179, 129pp.
- Gechter, M. (1993): Römischer Bergbau in der Germania Inferior. Eine Bestandsaufnahme. In: Steuer, H./Zimmermann, U. (Hrsg.) *Montanarchäologie in Europa - Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa" 4. bis 7. Oktober 1990. Archäologie und Geschichte, Bd. 4* (Sigmaringen 1993) S.161-165.
- Gechter, M./Gechter-Jones, J. (1997): Die Befestigung einer frühromischen Handelsstation im freien Germanien. *Archäologie im Rheinland* 1996, S.45-47.
- Gechter, M. (1998): Neues zum römerzeitlichen Bergbau im Bergischen Land. *Archäologie im Rheinland* 1997, S. 91-93.
- Gechter, M. (2001a): Die Wirtschaftsbeziehungen zwischen dem Römischen Reich und dem Bergischen Land . In: Grünewald, T. (Hrsg.) *Germania Inferior. Besiedlung, Gesellschaft und Wirtschaft an der Grenze der römisch-germanischen Welt* (Berlin 2001), S. 517-546.
- Gechter, M. (2001b): Ein Überblick über den Forschungsstand zur Montanarchäologie im Bergischen Land. In: Pohl, E./Recker, U./Theume, C. (Hrsg.) *Archäologisches Zellwerk. Beiträge zur Kulturgeschichte in Europa und Asien. Festschrift für Helmut Roth zum 60. Geburtstag* (Rahden 2001) S. 39-45.
- Gee, C./Ramsey, M. H./Maskall, J./Thornton, I. (1997): Mineralogy and weathering process in historical smelting slags and their effect on the mobilisation of lead. *Journal of Geochemical Exploration* 58, S. 249-257.
- Gentner, W./Gropengiesser, H./Wagner, G. A. (1980): Blei und Silber im ägäischen Raum. In: von Dittfurth, H. (Hrsg.) *Ein Panorama der Naturwissenschaften* (Mannheim 1980) S. 143-215.
- Gerlach, R./Wegener, W. (1996): Bergbau und Metallverarbeitung im Raum Blankenheim. *Archäologie im Rheinland* 1995, S. 144-148.

- Goldenberg, G. (1996): Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Schwarzwald. Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert. In: Goldenberg, G./Otto, J./Steuer, H. (Hrsg.) Metallhüttenwesen im Schwarzwald (Sigmaringen 1996), S. 9-274.
- Gottschalk, R./Baumann, A. (2001): Material provenance of late-Roman lead coffins in the Rhineland, Germany. *European Journal of Mineralogy* 13, S. 197-205.
- Gottschalk, R. (2003): Studien zu spätrömischen Grabfunden in der südlichen Niederrheinischen Bucht (Dissertation Rheinische Friedrichs-Wilhelms-Universität Bonn 2003) 160pp.
- Gowland, W. (1902): The early metallurgy of silver and lead: part 1 – Lead. *Archaeologia* 57, S.359-422.
- Gowland, W. (1920): Silver in Roman and Earlier Times. *Archaeologia* LXIX, S. 121-160.
- Graeser, S./Friedrich, G. (1970): Zur Frage der Altersstellung und Genese der Blei-Zink-Vorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien. *Mineralium Deposita* 5, S. 365-374.
- Grögler, N./Geiss, J./Grünenfelder, M./Houtermans, F. G. (1966): Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft römischer Bleirohre und Bleibarren. *Zeitschrift für Naturforschung* 21 a, S. 1167-1172.
- Grote, K. (2004): Erstes Römerlager in Niedersachsen. *Archäologie in Deutschland* 5/2004, S. 4-5.
- Grote, K. (2005a): Römer an der Werra. Das Militärlager bei Hedemünden im südlichen Niedersachsen. *Archäologie in Niedersachsen* 8, S. 113-117.
- Grote, K. (2005b): Römerlager Hedemünden. Vor 2000 Jahren: Römer an der Werra. Ein herausragendes archäologisches Kulturdenkmal und seine Funde. *Sydekum-Schriften zur Geschichte der Stadt Münden* 34, 84pp.
- Grünewald, G. (2007): Das Münsterland in der späten Eisenzeit und frühen Kaiserzeit. Ein Überblick. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 15-24.
- Guénette-Beck, B./Villa, I. M. (2002): Über die Bleiversorgung der römischen Westschweiz. *Helvetica archaeologica* 33, S. 151-162.
- Günther, K. (1983): Eine Siedlung der älteren Kaiserzeit mit Schmiedewerkstätten bei Warburg-Daseburg, Kr. Höxter (Westfalen) *Germania* 61, S. 1-31.
- Günther, K. (1984): Eine Siedlung der älteren römischen Kaiserzeit mit Schmiedewerkstätten bei Warburg-Daseburg, Kreis Höxter. *Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe* 1.1983, S. 61-64.

- Günther, K. (1990): Siedlung und Werkstätten von Feinschmieden der älteren Römischen Kaiserzeit bei Warburg-Daseburg. In: Trier, B. (Hrsg.) *Bodenaltertümer Westfalens* 24 (Münster 1990) 125pp.
- Gulson, B. L./Mizon, K. J. (1979): Lead isotopes as a tool for gossan assessment in base metal exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 11, S. 299-320.
- Gulson, B. L. (1986): Lead isotopes in mineral exploration. *Developments in Economic Geology* 23, 245pp.
- Gussone, R. (1964): Untersuchungen und Betrachtungen zur Paragenese der Blei-Zink-Erzlagerstätten im Raume Aachen-Stolberg (Dissertation Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen 1964) 130pp.
- Haalebos, J. K. (1999): Das grosse Lager auf dem Hunerberg in Nijmegen (NL). In: *Landschaftsverband Osnabrücker Land e. V. (Hrsg.) Rom, Germanien und die Ausgrabungen von Kalkriese* (Osnabrück 1999), S. 381-399.
- Hanel, N. (1995): *Vetera I. Die Funde aus den römischen Lagern auf dem Fürstenberg bei Xanten*. *Rheinische Ausgrabungen* 35, 1115 pp.
- Hanel, N./Rothenhöfer, P. (2005): Germanisches Blei für Rom. Zur Rolle des römischen Bergbaus im rechtsrheinischen Germanien im frühen Prinzipat. *Germania* 83, S. 52-65.
- Hanel, N. (2006): Neuss – Novaesium. In: Reddé, M. (Hrsg.) *Les fortification militaires. L'architecture de la Gaule Romaine* 100 (Paris 2006) S. 340-344.
- Hanel, N./Rothenhöfer (2007): Römische Bleigewinnung im Raum Brilon und der Bleitransport nach Rom. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 41-46.
- Hauptmann, A./Pernicka, E./Wagner, G. A. (1988): Untersuchungen zur Prozesstechnik und zum Alter der frühen Blei-Silbergewinnung auf Thasos. *Der Anschnitt, Beiheft* 6, S. 88-112.
- Hauptmann, A./Begemann, F./Heitkemper, E./Pernicka, E./Schmitt-Strecker, S. (1992): Early copper production at Feinan, Wadi Arabah, Jordan. *Archeomaterials* 6, S. 1-33.
- Hauptmann, A. (2000): Zur frühen Metallurgie des Kupfers in Fenan, Jordanien. *Der Anschnitt, Beiheft* 11, 320pp.
- Hauptmann, A. (2007): *The Archaeometallurgy of Copper. Evidence from Faynan, Jordan* (Berlin 2007) 388pp.
- Haverfield, F. (1891): The administration of the roman mines. *Journal of the Chester Architectural, Archaeology and History Society* 4, S. 80-95.
- Healy, J. F. (1978): *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World* (London 1978) 316pp.

- Heimbruch, G./Koerfer, S./Brockner, W. (1989): Archäometrische Untersuchungen an Erz-, Schlacken-, Metall- und Bleiglätte-funden der Grabung 1987. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 2/89, S. 103-110.
- Heitfeld, K.-H./Heitfeld, M./Rosner, P./Mühlenkamp, M./Krings, K. (2003): Bergbaulich-geotektonische Untersuchungen zur Bewertung des Gefährdungspotenzials im Altbergbaubereich Mechernicher Bleiberg. Vortrag anlässlich des 3. Altbergbau-Kolloquiums Freiberg, 06. bis 08.11.2003 (Freiberg 2003) 15pp.
- Henningsen, D./Katzung, G. (2002): Einführung in die Geologie Deutschlands. 6. Auflage (Heidelberg 2002) 230pp.
- Herschend, F. (1995): Friends of Trimalchio`s: a study of Spanish lead ingots from three roman wrecks. *Tor* 27, S. 269-310.
- Hess, K./Hauptmann, A./Wright, H./Whallon, R. (1998): Evidence of fourth millennium BC silver production at Fatmalı-Kalecik, East Anatolia. *Der Anschnitt, Beiheft* 8, S. 57-67.
- Hetherington, R. (1980): Investigations into primitive lead smelting and its products. *British Museum Occasional Paper* 17, S. 27-40.
- Hildebrandt, L. H. (1985): Geologie und Genese der Wieslocher Lagerstätte. *Lapis* 12, S. 13-14.
- Hildebrandt, L. H./Mohr, H. (1985): Der Bergbau bei Wiesloch. Über 2000 Jahre Silber-, Blei- und Zinkgewinnung. *Lapis* 12, S. 15-22.
- Hildebrandt, L. H. (1989): Der mittelalterliche Blei-Zink-Silber-Bergbau im nordwestlichen Kraichgau südlich Heidelberg. In: Hauptmann, A./Pernicka, E./Wagner, G. A. (Hrsg.) *Archäometallurgie der Alten Welt. Beiträge zum Internationalen Symposium „Old World Archaeometallurgy“*, Heidelberg 1987, *Der Anschnitt, Beiheft* 7 (Bochum 1989), S. 241-246.
- Hildebrandt, L. H. (1998): Die Schwermetallbelastungen durch den historischen Bergbau im Raum Wiesloch. Heidelberg 1998. Dissertation Ruprecht-Karl-Universität Heidelberg, 298pp.
- Höhndorf, A./Large, D./Schaeffer, R. (1984): Blei-Isotopen in Bildungen der postvaristischen Mineralisation in Norddeutschland. In: Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute (Hrsg.) *Postvaristische Gangmineralisationen in Mitteleuropa. Alter, Genese und wirtschaftliche Bedeutung* (Weinheim 1984), S. 271-281.
- Hong, S./Candelone, J.-P./Patterson, C. C./Boutron, C. F. (1994): Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations. *Science* 265, S. 1841-1843.
- Horn, H. G. (1987): *Die Römer in Nordrhein-Westfalen* (Stuttgart 1987) 689pp.

- Jacobi, H. (1996): MOGONTIACUM – das römische Mainz (Mainz 1996) 879pp.
- Jensen, M. L./Dessau, G. (1966): Ore Deposits of Southwestern Sardinia and their Sulfur Isotopes. *Economic Geology* 61, S. 917-932.
- Jochum, J. (2000): Variscan and post-variscan lead-zinc mineralization, Rhenish Massif, Germany: evidence for sulfide precipitation via thermochemical sulfate reduction. *Mineralium Deposita* 35, S. 451-464.
- Jürgens, A./Vogt, Th. (1981): Reste römischer Gewerbebetriebe in Stolberg-Gressenich, Kr. Aachen. *Ausgrabungen im Rheinland 1979/80*, S. 129-132.
- Kager, P. C. A. (1980): Mineralogical investigations on sulfides, Fe-Mn-Zn-Mg-Ca-Carbonates, Greenalite and associated minerals in the Pb-Zn-deposits in the Sierra de Cartagena, province of Murcia, SE Spain (Dissertation Universität Amsterdam). *GUA Papers of Geology* 12, Series 1, 203pp.
- Kaiser (2001): Novaesium vom Beginn der Germanenoffensive bis zur Aufgabe des Legionsstandortes. In: Hopp, D./Trümpler, Ch. (Hrsg.): *Die frühe römische Kaiserzeit im Ruhrgebiet* (Essen 2001), S. 13-16.
- Kalcyk, H. (1982): Das Münzsilber der attischen Tetradrachmen des Neuen Stils. *Numismatisches Nachrichtenblatt* 31, S. 242-247.
- Kassianidou, V. (1998): `Was silver actually recovered from speiss in antiquity? Reconsidering the evidence from Rio Tinto`. In: Rehren, Th./Hauptmann, A./Muhly, J. (Hrsg.) *Metallurgica Antiqua, Der Anschnitt, Beiheft 8* (Bochum, 1998), S. 69-76.
- Keessmann, I. (1993): Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer- und Silberverhüttung in Südwestspanien. In: Steuer, H./Zimmermann, U. (Hrsg.) *Montanarchäologie in Europa - Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa" 4. bis 7. Oktober 1990. Archäologie und Geschichte, Bd. 4* (Sigmaringen 1993) S.105-122.
- Kehne, P. (2002): Limitierte Offensiven: Drusus, Tiberius und die Germanenpolitik im Dienste des augusteischen Prinzipats. In: Spielvogel, J. (Hrsg.) *Res publica reperta. Zur Verfassung und Gesellschaft der römischen Republik und des frühen Prinzipats* (Stuttgart 2002), S. 297-321.
- Kempken, F. (1990): Die germanische Siedlung von Balve-Garbeck (ungedruckte Magisterarbeit Universität Marburg).
- Kirchheimer, F. (1977): Bericht über Spuren römerzeitlichen Bergbaus in Baden-Württemberg. *Archäologische Nachrichten aus Baden* 19, S. 16-24.

- Kirnbauer, T. (Hrsg.) (1998): Geologie und hydrothermale Mineralisation im rechtsrheinischen Schiefergebirge. In: Nassauischer Verein für Naturkunde, Sonderband 1 (Wiesbaden 1998) 328pp.
- Klappauf, L./Linke, F.-A. (1989): Der Fall: Johanneser Kurhaus bei Clausthal-Zellerfeld. Grabungsbefunde des mittelalterlichen Verhüttungsplatzes der Blei- und Silbergewinnung. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 2/89, S. 86-92.
- Klein, S./Lahaye, Y./Brey, G.P./Kaenel, von H.-M. (2004): The early Roman Imperial Aes coinage II: tracing the copper sources by analysis of lead and copper isotopes – copper coins of Augustus and Tiberius. *Archaeometry* 46, S. 469-480.
- Knapp, A. B. (2000): Archaeology, science-based archaeology and the Mediterranean Bronze Age metals trade. *European Journal of Archaeology* 3, S. 31-56.
- Koepp, F. (1912): Die Römer in Deutschland (Bielefeld & Leipzig 1912) 182pp.
- Koger, B./Lippolt, H. J. (1982): Bleimodelle und Zeit: Wandel in der Interpretation von Blei-Isotopen-Verhältnissen. *Der Aufschluss* 33, S. 291-311.
- Kohlmeyer, K. (1994): Zur frühen Geschichte von Blei und Silber. In: Wartke, R. (Hrsg.) *Handwerk und Technologie im Alten Orient* (Mainz 1994), S. 41-48.
- Körlin, G. (2001): Römische Bleiverhüttung auf dem Lüderich im Bergischen Land. *Archäologie im Rheinland 2000*, S. 88-90.
- Körlin, G./Gechter, M. (2003): Römischer Bergbau auf dem Lüderich – Vorbericht über die Grabungen 2000-2002. In: Stöllner, Th./Körlin, G./Steffens, G./Cierny, J. (Hrsg.) *Man and Mining – Mensch und Bergbau. Studies in Honour of Gerd Weisgerber on Occasion of his 65th Birthday*. *Der Anschnitt, Beiheft 16*, S. 237-248.
- Körlin, G. (2006): Römischer Bergbau auf dem Lüderich bei Rösrath, Rheinisch-Bergischer Kreis. In: Köhne, R./Reininghaus, W./Stöllner, Th. (Hrsg.) *Bergbau im Sauerland. Westfälischer Bergbau in der Römerzeit und im frühen Mittelalter. Schriften der Historischen Kommission für Westfalen 20* (Münster 2006) S. 21-31.
- Krahn, L./Friedrich, G./Gussone, R./Scheps, V. (1986): Zur Blei-Zink-Vererzung in Carbonatgesteinen des Aachen-Stolberger Raums. *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen* 34, S. 133-157.
- Krahn, L. (1988): Buntmetall-Vererzung und Blei-Isotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten (Dissertation, RWTH Aachen 1988) 199pp.
- Krahn, L./Friedrich, G. (1991): Zur Genese der Buntmetall-Vererzungen im westlichen Rheinischen Schiefergebirge. *Erzmetall* 44, S.23-29.

- Krahn, L./Baumann, A. (1996): Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany. *Mineralium Deposita* 31, S. 225-237.
- Krajewski, W./Krüger, J. (1984): Schlacken und Steinbildung bei der thermischen Blei- und Blei-Zink-Erzeugung. In: Koch, K./Janke, D. (Hrsg.) *Schlacken in der Metallurgie* (Düsseldorf 1984) S. 147-160.
- Kraus, K. (1992): Colonia Ulpia Traiana, Insula 38. Untersuchungen zur Feinkeramik anhand der Funde aus den Grabungen der sogenannten Herbergsthermen. *Xantener Berichte* 1, 297pp.
- Krysko, W. W. (1979): *Blei in Geschichte und Kunst* (Stuttgart 1979) 224pp.
- Kühlborn, J.-S. (1982): Die neuen Grabungen in der Nordwestecke des römischen Legionslagers Oberaden. *Germania* 60, S. 501-512.
- Kühlborn, J.-S./Künzl, E. (1988): Vorbemerkung. In: *Kaiser Augustus und die verlorene Republik. Katalog zur Ausstellung im Martin-Gropius-Bau (7.6-14.8.1988)*, Berlin (Mainz 1988) S. 529-530.
- Kühlborn, J.-S. (1988): Die Zeit der augusteischen Angriffe gegen die rechtsrheinischen Germanenstämme. In: *Kaiser Augustus und die verlorene Republik. Katalog zur Ausstellung im Martin-Gropius-Bau (7.6-14.8.1988)*, Berlin (Mainz 1988) S. 530-541.
- Kühlborn, J.-S. (1992): Das Römerlager in Oberaden III. Ausgrabungen im nordwestlichen Lagerbereich und weitere Baustellenuntersuchungen der Jahre 1962-1988. In: *Bodenaltertümer Westfalens* 27 (Münster 1992) 298pp.
- Kühlborn, J.-S. (1995): Die Grabungen in den westfälischen Römerlagern Oberaden und Anreppen. In: Horn, H. G./Hellenkemper, H./Koschik, H./Trier, B. (Hrsg.) *Ein Land macht Geschichte. Archäologie in Nordrhein-Westfalen* (Köln 1995) S. 203-209.
- Kühlborn, J.-S. (1997): Die römischen Militäranlagen in Westfalen. In: *WMfA* (Hrsg.) *Hinter Schloß und Riegel. Burgen und Befestigungen in Westfalen* (Bönen 1997) S. 77-119.
- Kühlborn, J.-S. (2004): Versorgungsbasis in Germanien. *Archäologie in Deutschland* 4/2004, S. 53.
- Kunow, J. (1987): Die Militärgeschichte Niedergermaniens. In: Horn, H. G. (Hrsg.) *Die Römer in Nordrhein-Westfalen* (Stuttgart 1987) S. 27-109.
- Kuxmann, U./Fischer, P. (1974): Beitrag zur Kenntnis der Zustandsdiagramme PbO-Al₂O₃, PbO-CaO und PbO-SiO₂. *Erzmetall* 27, S. 533-537.

- Kylander, M. E./Weiss, D. J./Martínez Corízas, A./Spiro, B./Garcia-Sanchez, R./Coles, B. J. (2005): Refining the pre-industrial atmospheric Pb isotope evolution curve in Europe using an 8000 year old peat core from NW Spain. *Earth and planetary Science Letters* 240, S. 467-485.
- Lagny, Ph. (1975): Le gisement plombo-zincifère de Salafossa (Alpes italiennes orientales): Remplissage d'un paléokarst triasique par des sédiments sulfures. *Mineralium Deposita* 10, S. 345-361.
- Large, D./Schaeffer, R./Höhndorf, A. (1983): Lead isotope data from selected galena occurrences in the North Eifel and North Sauerland, Germany. *Mineralium Deposita* 18, S. 235-243.
- Larson, P. B./Maher, K./Ramos F. C./Chang, Z./Gaspar, M./Meinert, L. D. (2003): Copper isotope ratios in magmatic and hydrothermal ore-forming environments. *Chemical Geology* 201, S. 337-350.
- Laumann, H. (1987): Eine germanische Siedlung des 1. Jahrhunderts n. Chr. in Balve-Garbeck. *Märker* 36, S. 75-79.
- Laubenheimer-Leenhardt, F. (1973): Recherches sur les lingots de cuivre et de plomb d' époque romaine dans les régions de Languedoc-Roussillon et de Provence-Corse. *Revue Archéologique de Narbonnaise* 3, S. 195-197.
- Lecuyer, J. L./Leistel, J. M./Marcoux, E./Milési, J. P./Thièblemont, D. (1998): Late Devonian – Early carboniferous peak sulphide mineralization in the Western Hercinides. *Mineralium Deposita* 33, S. 208-220.
- Le Guen, M./Orgeval, J.-J./Lancelot, J. (1991): Lead isotope behavior in a polyphased Pb-Zn ore deposit: Les Malines (Cévennes, France). *Mineralium Deposita* 26, S. 180-188.
- Lehmann, H./Pietzner, H. (1970): Der Lüderich-Gangzug und das Gangvorkommen Nikolaus-Phönix im Bergischen Land. Ein Beitrag zur Geologie und Geochemie. *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen* 17, S. 589-664.
- Lehmann, G. A. (1989): Zum Zeitalter der römischen Okkupation Germaniens: neue Interpretationen und Quellenfunde. *Boreas - Münstersche Beiträge zur Archäologie* 12, S. 207-230.
- Lehner, H. (1930): *Vetera*. *The Journal of Roman Studies* 20, S. 112-113.
- Leih, S. (1995): Der römische Hafen der *Colonia Ulpia Traiana* in Xanten. In: Horn, H. G./Hellenkemper, H./Koschik, H./Trier, B. (Hrsg.): *Ein Land macht Geschichte*. *Archäologie in Nordrhein-Westfalen* (Köln 1995), S. 233-235.
- Leistel, J. M./Marcoux, E./Thièblemont, D./Quesada, C./Sánchez, A./Almódovar, G. R./Pascual, E./Sáez, R. (1998): The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita* 33, S. 1-30.

- Lévêque, 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, S. 197-210.
- Lillo, J. (1992): Vein-type base-metal ores in Linares-La Carolina (Spain): ore-lead isotopic constrains. *European Journal of Mineralogy* 4, S. 337-343.
- Liou, B./Domergue, C. (1991): Le commerce de la Bétique au I^{er} siècle de notre ère. L'épave Sud Lavezzi 2 (Bonifacio, Corse du Sud). *Archaeonautica* 10 (1990), S. 56-94.
- Löhr, H./Zedelius, V. (1980): Der `Schlangenberg`. Ein Platz der frühromischen Okkupation bei Stolberg-Breinigerberg, Kreis Aachen. *Archäologie im Rheinland* 1979, S. 93-99.
- Long, L./Domergue, C. (1995): Le véritable plomb de L. Flavius Verucula et autre lingots. *Mélanges de L'École Française de Rome – Antiquité (MEFRA)* 107, S. 801-867.
- Ludwig, K. R./Vollmer, R./Turi, B./Simmons, K. R./Perna, G. (1989): Isotopic constraints on the genesis of basemetal ores in southern and central Sardinia. *European Journal of Mineralogy* 1, S. 657-666.
- Lukanow, S. (1988): Fundchronik Hochsauerlandkreis 1948-1980. Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe, Beiheft 1, 66pp.
- Mallowan, M. E., Rose, J.C. (1935): Excavations at Tall Arpachiyah 1933. *Iraq* 2, S. 1-178.
- Manasse, A./Mellini, M. (2002): Chemical and textural characterisation of medieval slags from the Massa Marittima smelting sites (Tuscany, Italy). *Journal of Cultural Heritage* 3, S. 187-198.
- Marcoux, E. (1987): Isotopes du plomb et paragenèses métalliques, traceurs de l'histoire des gîtes minéraux. Document du BRGM 1987/117.
- Marcus, A. (1890): Beschreibung der Bergreviere Arnsberg, Brilon und Olpe sowie der Fürstenthümer Waldeck und Pyrmont (Bonn 1890) 230pp.
- Maréchal, J. R. (1985): Methods of ore roasting and the furnaces used. *British Museum Occasional Paper* 48, S. 29-41.
- Marignac, C./Cuney, M. (1999): Ore deposit of the French Massif Central: insight into the metallogenesis of the variscan collision belt. *Mineralium Deposita* 34, S. 472-504.
- Marinos, G./Petrascheck, W. (1956): Laurium. *Geological and Geophysical Research IV* (Athen 1956) 247pp.

- Martínez Cortizas, A./Pontevedra Pombal, X./Nóvoa Muñoz, J. C./García-Rodeja, E. (1997): Four thousand years of atmospheric Pb, Cd and Zn deposition recorded by ombrotrophic peat bog of Penido Vell (Northwestern Spain). *Water, Air and Soil Pollution* 100, S. 387-403.
- Martínez Cortizas, A./García-Rodeja, E./Pontevedra Pombal, X./Nóvoa Muñoz, J. C./Weiss, D./Cheburkin, A. (2002): Atmospheric Pb deposition in Spain during the last 4600 years recorded by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as archive. *The Science of the Total Environment* 292, S. 33-44.
- Martino de, F. (1985): *Wirtschaftsgeschichte des Alten Rom* (München 1985) 766pp.
- Maus, H. (1977): Römischer Bergbau bei Sulzburg (Baden). *Der Aufschluss* 28, S. 165-176.
- Maus, H. (1993): *Geologie und früher Bergbau bei Sulzburg. Geschichte der Stadt Sulzburg* 1, S. 9-71.
- Mayer (1974): Carl Christian Gmelins geologisch-mineralogische Reisen und Exkursionen, Teil III. *Der Aufschluss* 23, S: 75-78.
- McCann, A. M./Bourgeois, J./Lyding Will, E. (1977): Underwater Excavations at the Etruscan Port of Populonia. *Journal of Field Archaeology* 4, S. 275-296.
- Meier, S. W. (1994): Der Blei-Fernhandel in republikanischer Zeit. In: Hellenkemper-Salies, G. (Hrsg.) *Das Wrack. Der Antike Schiffsfund von Mahdia* (Köln 1994), S. 767-786.
- Meier, S. W. (1995): *Blei in der Antike. Bergbau, Verhüttung, Fernhandel.* Dissertation Universität Zürich (Zug 1995) 293pp.
- Meier, S. W: (1997): Blei-Fernhandel in römischer Zeit (2. Jh. v. Chr. – 4. Jh. n. Chr.). *Helvetia Archaeologica* 28, S. 2-14.
- Melzer, W./Pfeffer, I. (2005): Römerzeitliche Bleiverarbeitung in Soest. In: *Von Anfang an. Archäologie in Nordrhein-Westfalen, Katalog* (Köln 2005).
- Melzer, W./Pfeffer, I. (2007): Soest – Ein Zentrum der Bleiverarbeitung im 1. Jahrhundert nach Christus. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 91-104.
- Merpert, N./Munchaev, R. M./Bader, N. O. (1977): The earliest metallurgy of Mesopotamia. *Sovetskaya Arkheologiya* 3, S. 154-65.
- Meyer-Boulenaz, O. (1952): Der römische Bleibarren von Arbon. *Ur-Schweiz XVI*, S.51-54.
- Moesta, H. (1983): *Erze und Metalle – ihre Kulturgeschichte im Experiment* (Berlin 1983) 189pp.

- Mysen, B. O. (1988): Structure and properties of silicate melts (Amsterdam 1988) 354pp.
- Newton, R. G./Davison, S. (1989): Conversion of glass (London 1989) 135pp.
- Nriagu, J. O. (1983a): Lead and lead poisoning in the antiquity (New York 1983) 437pp.
- Nriagu, J. O. (1983b): Saturnine gout among roman aristocrats. Did lead poisoning contribute to the fall of the empire? *New England Journal of Medicine* 308, S. 660-663.
- Nriagu, J. O.(1996): A history of global metal pollution. *Science* 272, S. 223-224.
- Nriagu, J. O. (1998): Tales told in lead. *Science* 281, S. 1622-1623.
- Oen, I. S./Windt, C. J./Winnubst, T. G. M./Kager, P. (1975): Epigenetic Lead-Zinc Mineralization in Miocene Pebbly Mudstones, Sierra de Cartagena, Spain. *Mineralium Deposita* 10, S. 362-373.
- Orejas, A./Sánchez-Palencia, F. J. (2002): Mines, territorial organization, and social structure in Roman Iberia: Carthago Noua and the peninsular northwest. *American Journal of Archaeology* 106, S. 581-599.
- Ostwald, D./Lieber, W. (1957): Blei- und Zinkminerale von Nussloch nahe Wiesloch. *Der Aufschluss* 8, S. 156-159.
- Paeckelmann, W. (1925): Bemerkungen über die geologischen Verhältnisse der Gegend von Brilon i. Westf. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch der Preußischen Geologischen Anstalt für 1925, Band XLVI., S. 210-230.
- Paeckelmann, W. (1926): Der Briloner Massenkalksattel, die Devon-Carbonmulde von Nehden und das Oberdevon-Culmgebiet von Rixen, Scharfenberg und Wülfte. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch der Preußischen Geologischen Anstalt für 1926, Band XLVII., S. 19-35.
- Paeckelmann, W. (1928): Der geologische Bau des Gebietes zwischen Bredelar, Marsberg und Adorf am Nordostrand des Rheinischen Schiefergebirges. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch der Preußischen Geologischen Anstalt für 1928, Band XLIX., S. 370-412.
- Paeckelmann, W. (1932): Die Rumpffläche des nordöstlichen Sauerlandes. *Jahrbuch der Preußischen Geologischen Anstalt für 1932*, Band 52, S. 472-518.
- Paeckelmann, W. (1933): Die Grundzüge der Tektonik des östlichen Sauerlandes. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch der Preußischen Geologischen Anstalt für 1933, Band 54, S. 217-260.
- Palmer, R. E. (1927): Notes on some mine equipments and systems. *Journal of the Institute of Mining and Metallurgy* 36, S. 299-336.

- Palmieri, A., Hauptmann, A., Hess, K. (1998): The metal objects in the "royal" tomb dating from 3000 B. C. Found at Arslantepe (Malatya): A new alloy (Cu-Ag). *Arkeometri Sonuçları Toplantısı XIII*, S. 115-121.
- Parker, A. J. (1974): Lead ingots from a Roman ship at Ses Salines, Majorca. *The International Journal of Nautical Archaeology* 3.
- Parker, H. M./Willies, L. M. (1979) : *Peakland lead mines and miners* (London 1979) 86pp.
- Patterson, C. C. (1972): Silver stocks and losses in ancient and medieval times. *Economic History Review*, 2nd Series, S. 205-235.
- Pause, C./Spiong, S./Stelze-Hüglin, S./Steuer, H. (1994): Montanarchäologische Ausgrabungen im Bergbaurevier Sulzburg, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1993*, S. 314-319.
- Pause, C./Spiong, S. (1995): Siedlungsarchäologische Untersuchungen im Bergbaurevier Sulzburg, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1994*, S. 334-341.
- Pavillon, M.-J. (1969): Les minéralisations plombo-zincifères de Carthagène (Cordillères bétiques, Espagne). *Mineralium Deposita* 4, S. 368-385.
- Pernicka, E. (1981): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion. I. Chemische Analyse griechischer Blei-Silber-Erze. *Erzmetall* 34, S. 396-400.
- Pernicka, E./Wagner, G. A./Assimenos, K./Doumas, C./Begemann, F./Todt, W. (1983): An analytical study of prehistoric lead and silver artifacts from the aegean. In: Aspinall, A./Warren, S. E. (Hrsg.) *The Proceedings of the 22nd Symposium on Archaeometry* (Bradford 1983) S. 292-302.
- Pernicka, E./Bachmann, H.-G. (1983): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion. III. Das Verhalten einiger Spurenelemente beim Abtreiben des Bleis. *Erzmetall* 36, S. 592-597.
- Pernicka, E./Seeliger, T. C./Wagner, G. A./Begemann, F./Schmitt-Strecker, S., Eibner, C., Öztunalı, Ö., Baranyi, I. (1984): Archäometallurgische Untersuchungen in Nordwestanatolien. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 31, S. 533-599.
- Pernicka, E./Lutz, Ch./Bachmann, H.-G./Wagner, G. A./Elitzsch, Ch./Klein, E. (1985): Alte Blei-Silber-Verhüttung auf Siphnos. In: Wagner, G. A./Weisgerber, G. (Hrsg.) *Silber, Blei und Gold auf Sifnos, prähistorische und antike Metallproduktion. Der Anschnitt, Beiheft 3* (Bochum 1985), S. 185-199.
- Pernicka, E./Wagner, G. A. (1985): Die metallurgische Bedeutung von Sifnos im Altertum. In: Wagner, G. A./Weisgerber, G. (Hrsg.) *Silber, Blei und Gold auf Sifnos, prähistorische und antike Metallproduktion. Der Anschnitt, Beiheft 3* (Bochum 1985), S. 200-211.

- Pernicka, E. (1987): Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum: Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 34, S. 607-714.
- Pernicka, E. (1990): Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 37, 129pp.
- Pernicka, E. (1993): Comments on P. Budd, D. Gale, A. M. Pollard, R. G. Thomas and P. A. Williams, 'Evaluating lead isotope data: Further observations', *Archaeometry*, 35 (2) (1993), and reply. Comments...III. *Archaeometry* 35, S. 259-262.
- Pernicka, E./Rehren, T./Schmitt-Strecker, S. (1998): Late Uruk silver production by cupellation at Habuba Kabira, Syria. *Der Anschnitt, Beiheft 8*, S. 123-134.
- 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*. BAR International Series, 792, S. 163-171.
- Petrikovits, H. von (1956): Neue Forschungen zur römerzeitlichen Besiedlung der Nordeifel. *Germania* 34, S. 99-125.
- Petrikovits, H. von (1958): Bergbau und Hüttenwesen in der römischen Rheinzone. *Erzmetall* 11, S. 594-600.
- Petrikovits, H. von (1980): *Die Rheinlande in römischer Zeit* (Düsseldorf 1980) 386pp.
- Pfeffer, I. (2001): Neue Ausgrabungen in Soest-„Ardey“. Ein Zwischenbericht über die laufenden Grabungen. *Soester Zeitschrift* 113, S. 4-7.
- Pfeffer, I. (2002): Buntmetall und Blei zur Römerzeit. *Archäologie in Deutschland* 1/2002, S. 51-52.
- Piccotini, G./Schroll, E./Spindler, P. (2003): Ein römerzeitlicher Bleibarren vom Magdalensberg. In: *Rudolfinum. Jahrbuch des Landesmuseums Kärnten* 2002/2003 (Klagenfurt 2003) S. 153-161.
- Pinarelli, L./Salvi D./Ferrera, G. (1995): The source of ancient Roman lead, as deduced from lead isotopes: the ingots from the Mal di Ventre wreck (Western Sardinia, Italy). *Science and Technology for Cultural Heritage* 4, S. 79-86.
- Plattner, C. F. (1856): *Die metallurgischen Prozesse theoretisch betrachtet* (Freiberg 1856) 380pp.
- Polenz, H. (1985): *Römer und Germanen in Westfalen* (Münster 1985) 112pp.

- Pomiès, C./Cocherie, A./Guerrot, C./Marcoux, E./Lancelot, J. (1998): Assessment of the precision and accuracy of lead-isotope ratios measured by TIMS for geochemical applications: example of massive sulphide deposits (Rio Tinto, Spain). *Chemical Geology* 144, S. 137-149.
- Prange, M. (2001): 5000 Jahre Kupfer im Oman. *Metalla* 8, Band 2, 126pp.
- Preuschen, E. (1956): Zur ältesten Geschichte des Mechernicher Bleierzbergbaues. *Der Anschnitt* 6, S. 32-33.
- Radke, B. M./Mathis, R. L. (1980): On the Formation and Occurrence of Saddle Dolomit. *Journal of Sedimentary Petrology* 50, S. 1149-1169.
- Rapp, G. (2002): *Archaeomineralogy* (Berlin 2002) 326pp.
- Ramdohr, P./Strunz, H. (1967): *Lehrbuch der Mineralogie*. 15. Auflage (Stuttgart 1967) 820pp.
- Real, C./Alcalá, M. D./Criado, J. M. (1993): Correlation between the structural defects induced by ball-milling of Pb₃O₄ and the structure of PbO yielded from its thermal decomposition. *Solid State Ionics* 63-65, S. 702-706.
- Rebiscoul, A. (2004): Solaize. Rues du Pilon et du Repos, Clos des Eparviers. In: Direction Regionale des Affaires Culturelles. Service Regional de l'Archéologie (Hrsg.). *Bilan scientifique de la région Rhône-Alpes 2002 (2004)*, S. 185-188.
- Rehren, T./Klappauf, L. (1995): ...ut oleum aquis. Vom Schwimmen des Silbers auf Bleiglätte. *Metalla* 2, S. 19-28.
- Rehren, T./Hauptmann, A. (1995): Silberraffinations-Schlacken aus der CUT (Xanten), Insula 39: Mineralogische Untersuchung und archäologische Interpretation. In: Precht, R. (Hrsg.): *Xantener Berichte. Grabung – Forschung – Präsentation, Band 6* (Köln 1995), S. 119-137.
- Rehren, T. (1998): Die Zusammensetzung einiger germanischer und römischer Bleifunde aus Nordrhein-Westfalen. *Metalla* 5, S. 63-69.
- Rehren, T./Schneider, J./Bartels, Ch. (1999): Medieval lead-silver smelting in the Siegerland, West Germany. *The Journal of the Historical Metallurgy Society* 33, S. 73-84.
- Rehren, T. (2002): Ores from the ore washeries in the Lavriotiki. *Metalla* 9, S. 27-46.
- Reichmann, Ch. (1978): Ausgrabungen beim Hof Risse-Ardey zu Soest. *Soester Zeitschrift* 90, S. 4-13, 19-22.
- Reichmann, Ch. (1981): Siedlungsreste der vorrömischen Eisenzeit, jüngeren römischen Kaiserzeit und Merowingerzeit in Soest-Ardey. *Germania* 59, S. 51-77.
- Renberg, I./Persson, M. W./Emteryd, O. (1994): Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments. *Nature* 368, S. 323-326.

- Reppke, V. (1993): Varistische und postvaristische Buntmineralisationen in der östlichen Eifel (Linksrheinisches Schiefergebirge). Ein mineralogischer und bergbauhistorischer Überblick. Dissertation Göttingen, 347pp.
- Riccardi, E./Genovesi, S. (2002): Un carico di piombo da Rena Maggiore (Aglientu). *L’Africa romana* 14, S. 1311-1329.
- Richards, T. W./King, H. S./Hall, L. P. (1926): Attempts to fractionate mixed isotopes of lead, and the atomic weight of this metal. *Journal of American Chemical Society* 48, S. 1530-1543.
- Rickard, T. A. (1932): *Man and Metals. A history of mining in relation to the development of civilization. Volume 1* (New York & London 1932) 506pp.
- Riederer, J. (1987): Chemie und Physik im Dienst der archäologischen Forschung. *Helvetica Archaeologica* 18, S. 2-35.
- Rodá, I. (2004): Agripa y el comercio del plomo. *Revista del Museo Arqueológico Municipal de Cartagena* 3, S. 183-194.
- Rohl, B. M. (1996): Lead isotope data from the Isotracer Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 2, galena from Britain and Ireland. *Archaeometry* 38, S. 165-179.
- Rosman, K. J. R./Chisholm, W./Hong, S./Candelone, J.-P./Boutron, C. F. (1997): Lead from Carthaginian and Roman Spanish mines isotopically identified in Greenland ice dated from 600 B.C. to 300 A.D. *Environmental Science & Technology* 31, S. 3413-3416.
- Rothenhöfer, P. (2003a): Geschäfte in Germanien. Zur Ausbeutung von Erzlagerstätten unter Augustus in Germanien. *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik* 143, S. 277-286.
- Rothenhöfer, P. (2003b): Lucius Flavius Verucla – ein römischer Großunternehmer in Germanien. Neue Erkenntnisse zu einem alten Fundstück im Burghofmuseum Soest. In: Wex, N. (Hrsg.) *Soester Zeitschrift. Zeitschrift des Vereins für Geschichte und Heimatpflege Soest*, S. 12-21.
- Rothenhöfer, P. (2003c): Von Ramsbeck nach Rom – Römischer Bergbau im Sauerland. Neue Erkenntnisse zum römischen Germanien unter Augustus. *Sauerland* 3, S. 139-143.
- Rothenhöfer, P. (2004a): Das römische Germanien um die Zeitenwende. Neue Forschungen und Erkenntnisse. *Geschichte/Politik und ihre Didaktik* 32, S. 128-135.
- Rothenhöfer, P. (2004b): Das Blei der Germanen. Bemerkungen zu einer neuen Fundgattung und zur Aufnahme der Bleiproduktion durch Germanen während der älteren Römischen Kaiserzeit in Westfalen. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 34, S. 423-434.

- Rothenhöfer, P. (2005): Die Wirtschaftsstrukturen im südlichen Niedergermanien. Untersuchungen zur Entwicklung eines Wirtschaftsraumes an der Peripherie des Imperium Romanum. Kölner Studien zur Archäologie der Römischen Provinzen 7, 320 pp.
- Rothenhöfer, P. (2006): *Metalla pretium victoriae* – Neue Erkenntnisse zum römischen Bergbau in Germanien während der Okkupationszeit. In: Köhne, R./Reininghaus, W./Stöllner, T. (Hrsg.): Bergbau im Sauerland. Westfälischer Bergbau in der Römerzeit und im frühen Mittelalter. Schriften der Historischen Kommission für Westfalen 20. Münster 2006, S. 5-20.
- Rothenhöfer, P. (2007): *Iam et plumbum excoquere docuimus?* – Zum Phänomen der germanischen Bleiproduktion im nördlichen Sauerland während der römischen Kaiserzeit. Soester Beiträge zur Archäologie 8, S. 47-55.
- Rudnick, B. (2001): Die römischen Töpfereien von Haltern. In: Isenberg, G. (Hrsg.) Bodenaltertümer Westfalens 36 (Mainz 2001) 364pp.
- Rudnick, B. (2008): Römerlager in Westfalen. Kneblinghausen, Gemeinde Rüthen, Kreis Soest. Heft 1, Altertumskommission für Westfalen (Hrsg.), 30pp.
- Rüger, C. B. (1968): Germania Inferior. Untersuchungen zur Territorial- und Verwaltungsgeschichte Niedergermaniens in der Prinzipatszeit. Bonner Jahrbücher, Beiheft 30, 107pp.
- Sáez, R./Almodóvar, G. R./Pascual, E. (1996): Geological constraints on massive sulphide genesis in the Iberian Pyrite Belt. Ore Geology Reviews 11, S. 429-451.
- Sainfeld, R. (1956): The lead-zinc-bearing deposits of Tunisia. Economic Geology 51, S. 150-177.
- Salvi, D. (1992): Le 'massae plumbae` di Mal di Ventre. L`Afrika romana. Atti del IX Convegno di Studio 9, S. 660-672.
- Salvi, D/Santoni, V./Fiorini, E./Pascolini, A./Carpano, C. M./Lattanzi, G. (1992): La Nave del piombo. Archeologia Viva XI, S.56-66.
- Sanders, H. (1905): De Lineares bas-reliefs and Roman mining operations in Baetica. Archaeologia 59, S. 311-332.
- San José, de, M. A./Herranz, P./Pieren, A. P. (2004): A review of the Ossa-Morena Zone and its limits. Implications for the definition of the Lusitan-Marianic Zone. Journal of Iberian Geology 30, S. 7-22.
- Santos Zalduegui, J. F./García de Madinabeitia, S./Gil Ibarguchi, J. I./Palero, F. (2004): A lead isotope database: the Los Pedroches-Alcudia area (Spain); implications for archaeometallurgical connections across southwestern and southeastern Iberia. Archaeometry 46, S. 625-634.

- Sayre, E. V./Yener, K. A./Joel, E. C. (1993): Comments on P. Budd, D. Gale, A. M. Pollard, R. G. Thomas and P. A. Williams, 'Evaluating lead isotope data: Further observations', *Archaeometry*, 35 (2) (1993), and reply. Comments...I. *Archaeometry* 35, 2, S. 247-252.
- Scaife, B./Barreiro, B. A./McDonnell, J. G./Pollard, A. M. (2001): Lead isotope ratios of 36 galenas from the Northern Pennines. Online: <http://brettscaife.net/lead/npennine/npennine.html>.
- Schaaffhausen, H. (1884): Bergbau-Alterthümer. *Bonner Jahrbücher* 77, S. 210-213.
- Schaeffer, R. (1984): Die postvariszischen Mineralisationen im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge. Braunschweiger geologisch-paläontologische Dissertation 3 (Braunschweig 1984) 206pp.
- Schaeffer, R. (1986): Geochemische Charakteristik und Genese der jungmesozoisch-tertiären Vererzung im Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge). *Fortschritte Geologie Rheinland und Westfalen* 34, S. 337-381.
- Schalich, J./Schneider, F. K./Stadler, G. (1986): Die Bleierzlagerstätte Mechernich - Grundlage des Wohlstands, Belastung für den Boden. *Fortschritte Geologie Rheinland und Westfalen*, 34, S. 11-91.
- Schlüter, W. (2001): Die Varusschlacht. Archäologische Forschungen in Kalkriese bei Osnabrück. In: Hopp, D./Trümpler, Ch. (Hrsg.) *Die frühe römische Kaiserzeit im Ruhrgebiet* (Essen, 2001) S. 17-24.
- Schmid-Burgk, M.(1925): Breinigerberg: Römische Ansiedlung. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins* 45, 283pp.
- Schmitt, B. (1985): Die Mineralien der Grube „Segen Gottes“. *Lapis* 12, S. 23-34.
- Schmutz, L./Bellwald, W./Bachmann, A. (1982): Das Bleibergwerk Goppenstein: Lagerstättenkunde, Geschichte, Technik. *Minaria Helvetica* 2, S. 24-48.
- Schneider, J. (1994): Geochemische Untersuchungen zur Genese von Buntmetallvererzungen in der Nordeifel (unveröffentlichte Diplomarbeit 1994, Universität Gießen) 157pp.
- Schnorrer-Köhler, G. (1980): Mendipit $Pb_3Cl_2O_2$. Neufund für Laurion, Griechenland. *Der Aufschluss* 31, S. 153-155.
- Schnorrer-Köhler, G./Standfuss, K./Standfuss, L. (1982): Connelit, Botallackit, Paratacamit und Leadhillit in den antiken Bleischlacken Laurions. *Der Aufschluss* 33, S. 3-6.
- Schnurbein v., S. (1971): Ein Bleibarren der 19.Legion aus dem Hauptlager von Haltern. *Germania* 49, S. 132-136.

- Schnurbein v., S. (1974): Die römischen Militäranlagen bei Haltern : Bericht über die Forschungen seit 1899. *Bodenaltertümer Westfalens* 14, 81pp.
- Schnurbein v., S. (1981): Untersuchungen zur Geschichte der römischen Militärlager an der Lippe. *Bericht der Römisch-Germanischen Kommission* 62, S. 5-101.
- Schnurbein v., S. (1986): Haltener Sigillata-Produkte in rheinischen Stützpunkten. *Germania* 64, S. 45-59.
- Schnurbein v., S./Wigg, A./Wigg, D. G. (1995): Ein spätaugusteisches Militärlager in Lahnau-Waldgirmes (Hessen). *Bericht über die Grabungen 1993–1994. Germania* 73, S. 337–367.
- Schnurbein v., S. (2002): Augustus in Germanien. *Neue Archäologische Forschungen – Frühjahr 2002 (Amsterdam 2002)* 517pp.
- Schnurbein v., S. (2003): Augustus in Germania and his new „town“ at Waldgirmes east of the Rhine. *Journal of Roman Archaeology* 16, S. 93-107.
- Schnurbein, v., S. (2004): Von Drusus bis Varus. *Archäologie in Deutschland* 5/2004, S. 40-43.
- Schönberger, H., Simon, H.-G. (1976): Römerlager Rödgen. *Limesforschungen* 15, 264pp.
- Schönberger, H. (1985): Die römischen Truppenlager der frühen und mittleren Kaiserzeit zwischen Nordsee und Inn. *Bericht der Römisch-Germanischen Kommission* 66, S. 321-497.
- Scheiner, M. (2002): Mineralogical and geochemical investigations into prehistoric smelting slags from Tepe Sialk/ Central Iran. *Dissertation Freiberg*, 82pp.
- Schriel, W. (1954): Der Briloner Galmei-Distrikt. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 106, 638pp.
- Schriel, W. (1959): Zusammenhang alter (varistischer) und junger (tertiärer) Erzparagenesen, geschildert anhand von Blei-Zink-Lagerstätten am Nord- und Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. *Freiberger Forschungshefte* 57, S. 125-150.
- Schrön, W./Rösler, H.-J./Jentzsch, F./Malepsky, R./Rosales, H./Wahren, K.-H./Kramer, E. (1975): Drei neue geochemisch-mineralogische Komplexstandards Galenit GF-1, Spalerit SF-1 und Pyrit PS-1. *Zeitschrift für angewandte Geologie* 21, S. 17-25.
- Schroers, H.-H. (1960): Aus der Geschichte des Bergbaus um Brilon. *Der Anschnitt* 12, S. 11-12.
- Schulten, A. (1917): Eine neue Römerspur in Westfalen. *Bonner Jahrbücher* 124, S. 88-91.

- Seeliger, T. C./Pernicka, E./Wagner, G. A./Begemann, F./Schmitt-Strecker, S./Eibner, C./Öztunali, Ö./Baranyi, I. (1985): Archäometallurgische Untersuchungen in Nord- und Ostanatolien. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz* 32, S. 597-659.
- Settle, D. M./Peterson, C. C. (1980): Lead in albacore: guide to lead pollution in Americans. *Science* 207, S. 1167-1176.
- Shepherd, R. (1993): *Ancient mining* (London 1993) 494pp.
- Shotyk, W./Weiss, D./Appleby, P. G./Cheburkin, A. K./Frei, R./Gloor, M./Kramers, J. D./Reese, S./Van der Knaap, W. O. (1998): History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland. *Science* 281, S. 1635-1640.
- Sicherl, B. (2006): Geschichte der Altertumskommission für Westfalen von 1896 bis 1969. *Veröffentlichungen der Altertumskommission für Westfalen* 16, S. 11-72.
- Simon, H.-G. (1982): Eroberung und Verzicht. Die römische Politik in Germanien zwischen 12 v. Chr. und 16 n. Chr. In: Baatz, D./Herrmann, F.-R. (Hrsg.) *Die Römer in Hessen* (Stuttgart 1982) S. 38-57.
- Sinclair, A. J./Macquar, J. C./Rouvier, H. (1993): Re-evaluation of the lead isotopic data, southern Massif Central, France. *Mineralium Deposita* 28, S. 122-128.
- Slotta, R. (1983): *Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 4/I: Der Metallergbergbau. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum* 26. Bochum, 1165pp.
- Smirnow, S. S. (1954): *Die Oxidationszone sulfidischer Lagerstätten* (Berlin 1954) 312pp.
- Song, Y./Wilson, M. J./Moon, H.-S./Bacon, J. R./Bain, D. C. (1999): Chemical and mineralogical forms of lead, zinc and cadmium in particle size fractions of some wastes, sediments and soils in Korea. *Applied Geochemistry* 14, S. 621-633.
- Sperl, G. (1990): Zur Urgeschichte des Bleies. *Zeitschrift für Metallkunde* 81, S. 799-801.
- Sprater, F. (1951): Römischer Bergbau von Wiesloch. *Pfälzer Heimat* 2, S. 88-89.
- Stacey, J. S./Kramers, J.D. (1975): Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters* 26, S. 207-221.
- Stöllner, Th. (2003): Mining and Economy – a Discussion of Spatial Organisations and Structures of Early Raw Material Exploitation. In: Stöllner, Th., Körlin, G., Steffens, G., Cierny, J. (Hrsg.) *Man and Mining – Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65th birthday* (Bochum 2003), S. 415-446.

- Stos-Gale, Z./Gale, N. H./Houghton, J./Speakman, R. (1995): Lead isotope data from Isotracer Laboratory, Oxford: *Archaeometry* data base 1, ores from the western Mediterranean. *Archaeometry* 37, S. 407-415.
- Straßburger, M. (2007): *Plumbi nigri origo duplex est* – Bleierzbergbau der römischen Kaiserzeit im nordöstlichen Sauerland. *Soester Beiträge zur Archäologie* 8, S. 57-70.
- Swainbank, I. G./Shepherd, T. J./Caboi, R./Massoli-Novelli, R. (1982): Lead isotopic composition of some galena ores from Sardinia, *Periodico di Mineralogia* 51, S. 275-286.
- Tafel, V./Wagenmann, K. (1951): *Lehrbuch der Metallhüttenkunde*. Band I, 2. Auflage (Leipzig 1951) 693pp.
- Tafel, V./Wagenmann, K. (1953): *Lehrbuch der Metallhüttenkunde*. Band II, 2. Auflage (Leipzig 1951) 760pp.
- Todt, W./Cliff, R. A./Hanser, A./Hofmann, A. W. (1996): Evaluation of a ^{202}Pb - ^{205}Pb double spike for high-precision lead isotope analysis. *Geophysical Monograph* 95, S. 429-437.
- Tornos, F./Ribera, F./Shepard, T. J./Spiro, B. (1996): The geological and metallogenic setting of stratabound carbonate-hosted Zn-Pb mineralizations in the West Asturian Leonese zone, NW Spain. *Mineralium Deposita* 31, S. 27-40.
- Tornos, F./Chiaradia, M. (2004): Plumbotectonic evolution of the Ossa Morena zone, Iberian Peninsula: tracing the influence of mantle-crust interaction in ore-forming processes. *Economic Geology* 99, S. 965-985.
- Trincherini, P. R./Barbero, P./Quarati, P./Domergue, C./Long, L. (2001): Where do the lead ingots of the Saintes-Maries-de-la-Mer wreck come from? *Archaeology compared with Physics*. *Archaeometry* 43, S. 393-406.
- Tylecote, R. F. (1962): *Metallurgy in Archaeology* (London 1962) 368pp.
- Tylecote, R. F. (1964): Roman Lead Working in Britain. *British Journal for the History of Science* 2, S. 25-43.
- Tylecote, R. F. (1976): *A History of Metallurgy* (London 1976) 182pp.
- Tylecote, R. F./Merkel, J. F. (1985): Experimental smelting techniques: achievements and future. *British Museum Occasional Papers* 48, S. 3-20.
- Tylecote, R. F. (1987): *The Early History of Metallurgy in Europe* (London 1987) 391pp.
- Urban, H. (1968): Neue Untersuchungsergebnisse zur Genese der im östlichen Teil der Erzprovinz von Cartagena (Spanien) gelegenen Blei-Zinkerz-Vorkommen. *Mineralium Deposita* 3, S. 162-170.

- Valera, P. G./Valera, R. G. (2005): Outline of geology and mineral deposits of Sardinia. In: Lo Schiavo, F./Giunlia-Mair, A./Sanna, U./Valera, R. (Hrsg.) *Archaeometallurgy in Sardinia from the origins to the beginning of the Early Iron Age*. Monographies Instrumentum 30 (Montagnac 2005) S. 35-42.
- Valera, P. G./Valera, R. G./Rivoldini, A. (2005): Sardinian ore deposits and metals in the Bronze Age. In: Lo Schiavo, F./Giunlia-Mair, A./Sanna, U./Valera, R. (Hrsg.) *Archaeometallurgy in Sardinia from the origins to the beginning of the Early Iron Age*. Monographies Instrumentum 30 (Montagnac 2005) S. 43-87.
- Velasco, F./Pesquera, A./Herrero, J. M. (1996): Lead isotope study of Zn-Pb ore deposits associated with the Basque-Cantabrian basin and paleozoic basement, Northern Spain. *Mineralium Deposita* 31, S. 84-92.
- Veny, C. (1970): Diecisiete lingotes de plombo de una nave romana de Ses Salines (Mallorca). *Ampurias* 31-32.
- Wagner, G. A./Gentner, W./Gropengiesser, H. (1979): Evidence of 3rd millenium lead-silver mining on Siphnos island (Cyclades). *Naturwissenschaften* 66, S. 157-58.
- Wagner, G. A./Gentner, W./Gropengiesser, H./Gale, N. H. (1980): Early Bronze-Age lead-silber mining and metallurgy in the Aegean: The ancient workings on Siphnos. *British Museum Occasional Paper* 20, S. 63-85.
- Wagner, G. A./Pernicka, E./Seeliger, T. C./Öztunali, Ö./Baranyi, I./Begemann, F./Schmitt-Strecker, S. (1985): Geologische Untersuchungen zur frühen Mtallurgie in NW-Anatolien. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 101/102, S. 45-81.
- Wagner, G. A./Pernicka, E./Seeliger, T. C./Lorenz, I. B./Begemann, F., Schmitt-Strecker, S./Eibner, C./Öztunali, Ö. (1986): Geochemische und isotopische Charakteristika früher Rohstoffquellen für Kupfer, Blei, Silber und Gold in der Türkei. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz* 33, S. 723-752.
- Wagner, G. A./Pernicka, E. (1988): Blei und Silber im Altertum: ein Beitrag der Archäometrie. *Chemie in unserer Zeit* 2, S. 47-56.
- Wagner, Th. (1999): Spätvaristische hydrothermale Mineralisation im Rheinischen Schiefergebirge. Dissertation Freiberg, 194pp.
- Wagner, T./Schneider, J. (1999): Ore remobilization related to sulphide-sulphosalt reactions in hydrothermal vein systems of the Dörnberg-Aurora (Ramsbeck) deposit, NW Germany: evidence from small-scale Pb-isotopic studies. In: Stanley, C. J. (Hrsg.) *Mineral Deposits: Processes to Processing*. Proc. 5th biennial meeting and 10th quadrennial IAGOD symposium, Balkema, Rotterdam (Rotterdam 1999) S. 995-998.
- Walford, A. J. (1980): *Walford`s Guide to Reference Material* (Oxford 1980) 698pp.

- Walther, H. W. (1982): Die varistische Lagerstättenbildung im westlichen Mitteleuropa. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 133, S. 667-698.
- Wedepohl, K.-H. (1956): Untersuchungen zur Geochemie des Bleis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 10, S. 69-148.
- Wedepohl, K.-H./Delevaux, M. H./Doe, B. R. (1978): The potential source of lead in the Permian Kupferschiefer bed of Europe and some selected paleozoic mineral deposits in the Federal Republic of Germany. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 65, S. 273-281.
- Wegener, W. (1993): Montanarchäologische Prospektion im Rheinland. In: Steuer, H./Zimmermann, U. (Hrsg.) *Montanarchäologie in Europa - Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa"* 4. bis 7. Oktober 1990. *Archäologie und Geschichte*, Bd. 4 (Sigmaringen 1993) S. 168-176.
- Wegener, W. (1994): Archäologische Forschung und Bestandsaufnahme am Mechernicher Bleiberg. *Archäologie im Rheinland* 1993, S. 168-170.
- Weisgerber, G./Heinrich, G. (1983): Laurion – und kein Ende? Kritische Bemerkungen zum Forschungsstand über eines der bedeutendsten antiken Bergreviere. *Der Anschnitt* 35, S. 190-200.
- Weisgerber, G. (1993): Römischer Erzbergbau in Deutschland. *Archäologie in Deutschland*, Sonderheft 1993, S. 55-62.
- Weisgerber, G. (2003): Römischer Bergbau von Iberien bis Dakien. In: Reger, K. (Hrsg.) *Tagungsband: 6. Internationaler Bergbau-Workshop Rescheid/Eifel* 1.-5. Oktober (Hellenthal/Eifel 2003) S. 144-149.
- Weisgerber, G./Craddock, P. T./Meeks, N. D./Baumer, U./Koller, J. (2007): Roman brass and lead Ingots from the western Mediterranean. In: La Niece, S./Hook, D./Craddock, P. T. (Hrsg.) *Metals and Mines. Studies in Archaeometallurgy* (London 2007) S. 148-158.
- Werner, W./Kaltwasser, S. (1994): Zur Geschichte des Bergbaureviers Freiamt Sexau (Mittlerer Schwarzwald). *Abhandlungen des geologischen Landesamt Baden-Württemberg* 14, S. 221-279.
- Wertimie, Th. A. (1973): The beginnings of metallurgy: A new look. *Science* 182, S. 875-887.
- Wiegels, R. (1977a): Kaiserzeitlicher Südweineexport nach dem freien Germanien? Zur Frage der Verwendungszwecke der römischen Bronzegeräte und Trinkgefäße im germanischen Norden. In: Wiegels, R. (Hrsg.) *Studien zur Römerzeit in Gallien, Germanien und Hispanien*. (Bühl/Baden 1977) S. 67-74.

- Wiegels, R. (1977b): Zum wirtschaftlichen Aufschwung der Baetica zur Zeit Trajans und Hadrians. In: Wiegels, R. (Hrsg.) Studien zur Römerzeit in Gallien, Germanien und Hispanien. (Bühl/Baden 1977) S. 119-126.
- Wiegels, R. (2001): *Vae victis* - Siegermacht und Besiegenschicksal in den frühen Gallien- und Germanienkriegen Roms. In: D. Hopp / Ch. Trümpler (Hrsg.), Die frühe römische Kaiserzeit im Ruhrgebiet (Essen 2001), S. 191-228.
- Wiegels, R. (2007): Die Varusschlacht. Wendepunkt der Geschichte? (Stuttgart 2007) 132pp.
- Wierschowski, L. (1999): Germanen und Römer. Nordwestdeutschland im Spannungsfeld der römischen Politik der Kaiserzeit. In: Fansa, M. (Hrsg.) Über allen Fronten. Nordwestdeutschland zwischen Augustus und Karl dem Großen (Oldenburg 1999), S. 8-18.
- Wilbers-Rost, S. (2003): Die Befunde auf dem "Oberesch" in Kalkriese und die Varusschlacht. Archäologie in Niedersachsen 6, S. 30-36.
- Wilhelmi, K. (1974): Ein Bleiringbarren aus der Kaiserzeitsiedlung Albersloh, Kr. Münster. Germania 52, S. 473-478.
- Wilsdorf (1952): Bergleute und Hüttenmänner im Altertum bis zum Ausgang der römischen Republik, ihre wirtschaftliche, soziale und juristische Lage. Freiburger Forschungshefte 1, 180pp.
- Wolfram, H. (1991): Das Reich und die Germanen. Zwischen Antike und Mittelalter (Berlin 1991) 476pp.
- Wolters, R. (1999): Germanien im Jahre 8 v. Chr. In: Schlüter, W./Wiegels, R. (Hrsg.) Rom, Germanien und die Ausgrabungen von Kalkriese (Osnabrück 1999) S. 591-637.
- Wolters, R. (2002): Die Römer in Germanien. 3. Auflage (München 2002) 128pp.
- Wytenbach, A./Schubiger, P. A. (1973): Trace element content of Roman lead by Neutron Activation Analysis. Archaeometry 15, S. 199-207.
- Zhu, X. K./O`Nions, R. K./Guo, Y./Belshaw, N. S./Rickard, D. (2000): Determination of natural Cu-isotope variation by plasma-source mass spectrometry: implications for use as geochemical tracers. Chemical Geology 163, S. 139-149.
- Zimmermann, U. (1993): Untersuchungen zum frühen Bergbau im Südschwarzwald. Archäologie und Geschichte 4, S. 201-229.
- Zwicker, U./Gale, N. H./Stos-Gale, Z. (1991): Metallographische, analytische und technologische Untersuchungen sowie Messungen der Bleisotope an Otto-Adelheid-Pfennigen und Vergleichsmünzen meist aus dem 9.-11. Jahrhundert. In: Hatz, G./Hatz, V./Zwicker, U./Gale, N. H./Gale, Z. (Hrsg.) Otto-Adelheid-Pfennige. Commentationes de Nummis Saeculorum IX-XI. The Royal Swedish Academy of Letters, History and Antiquities (Stockholm 1991) S. 59-146.

9.1a Bleiisotopendaten *Bleiglanz*Tab. 9.1: *Bleiglanzproben aus Niedersachsen und Ostwestfalen.*

NIEDERSACHSEN/ OSTWESTFALEN	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Hasbergen (Kr. Os), Hüggel, NW-Hang Silberberg	D-141/1	2,091	0,8505	38,40	15,62	18,36
Helpup (Kr. Dt), Stbr. Währentrup, Naturkundemuseum Bielefeld.	D-143/1	2,074	0,8410	38,58	15,64	18,60
s. o., Prof. Schröder, Universität Bochum	D-208/1	2,070	0,8385	38,58	15,63	18,64
s. o.	D-208/2	2,075	0,8413	38,59	15,65	18,60
s. o.	D-208/3	2,074	0,8412	38,55	15,63	18,59
s. o., Geologischer Dienst Krefeld	D-208/4	2,073	0,8411	38,52	18,58	15,63
s. o.	D-208/5	2,074	0,8412	38,54	18,58	15,63
s. o.	D-208/6	2,074	0,8410	38,57	18,60	15,64
s. o.	D-208/7	2,075	0,8412	38,57	18,59	15,64
s. o.	D-208/8	2,074	0,8411	38,58	18,60	15,64
Oeynhaus (Kr. Hx), Stbr. Oeynh., Naturkundemuseum Bielefeld	D-144/1	2,071	0,8381	38,69	15,66	18,68

Tab. 9.2: *Bleiglanzproben aus dem Ruhrgebiet und dem Rheinland.*

RUHRGEBIET/ RHEINLAND	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bochum, Lottental, Stbr. Klosterbusch, Naturkundemuseum Bielefeld	D-147/1	2,103	0,8582	38,23	15,60	18,18
Lintorf/Ratingen (Kreis Me), Gr. Friedrichsglück, Prof. Kirnbauer	D-181/1	2,093	0,8536	38,28	15,61	18,29

Tab. 9.3: *Bleiglanzproben aus Ramsbeck (Sauerland).*

SAUERLAND/ RAMSBECK (HSK)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Gr. Bastenberg, Venetianerstollen	D-119/1	2,093	0,8529	38,39	15,64	18,34
s. o.	D-119/2	2,094	0,8547	38,29	15,63	18,29
Gr. Bastenberg, Venetianerstollen	D-119/3	2,096	0,8567	38,26	15,64	18,25
s. o.	D-119/4	2,096	0,8567	38,25	15,63	18,25

Fortsetzung Tab. 9.3

s. o., Bernhard- & Schafstallstollenniveau, Prof. Kirnbauer	D-119/14	2,086	0,8496	38,35	15,62	18,38
s. o., Alexandergang, Geologischer Dienst Krefeld	D-119/20	2,095	0,8574	38,10	15,60	18,19
s. o.	D-119/21	2,093	0,8561	38,15	15,60	18,22
Gr. Alexander, Heimatverein Rescheid	D-119/5	2,093	0,8562	38,18	15,62	18,25
s. o., Caesarstollen, Halde, Prof. Kirnbauer	D-119/9	2,093	0,8567	38,10	15,60	18,20
s. o.	D-119/10	2,094	0,8566	38,16	15,61	18,22
Gr. Ramsbeck, Bergbau-Museum Ramsbeck	D-119/6	2,093	0,8542	38,30	15,63	18,29
s. o.	D-119/7	2,082	0,8466	38,29	15,61	18,44
s. o.	D-119/8	2,093	0,8575	38,21	15,63	18,22
s. o., Geologischer Dienst Krefeld	D-119/16	2,096	0,8573	38,19	15,62	18,22
s. o., 300 m Sohle	D-119/17	2,077	0,8462	38,32	15,61	18,45
s. o.	D-119/29	2,096	0,8574	38,16	15,61	18,21
s. o.	D-119/30	2,086	0,8497	38,36	15,63	18,39
s. o., Plutogang, Quersohle 4	D-119/19	2,093	0,8565	38,13	15,60	18,21
s. o., Plutogang	D-119/22	2,095	0,8559	38,21	15,61	18,24
s. o.	D-119/34	2,094	0,8568	38,13	15,60	18,21
s. o., Plutogang, Querkluft ü. 120 m	D-119/23	2,088	0,8512	38,27	15,60	18,33
s. o., liegender Gang	D-119/32	2,094	0,8567	38,14	15,60	18,21
Gr. Aurora, Auroragang, 2. Teilscholle oberh. Wilhelmstollen, Prof. Kirnbauer	D-119/11	2,093	0,8562	38,15	15,60	18,22
s. o., Willibald IV	D-119/13	2,092	0,8541	38,22	15,61	18,27
Gr. Dörnberg, Ludwigstollen, Luisenkluft, Prof. Kirnbauer	D-119/12	2,089	0,8522	38,26	15,60	18,31
s. o., Geologischer Dienst Krefeld	D-119/24	2,087	0,8505	38,31	15,61	18,36
s. o.	D-119/31	2,087	0,8503	38,34	15,62	18,37
s. o.	D-119/35	2,084	0,8502	38,15	15,56	18,31
s. o., Zerrkluft, Prof. Kirnbauer	D-119/15	2,095	0,8568	38,15	15,61	18,21
s. o., Trum C, Geologischer Dienst Krefeld	D-119/33	2,095	0,8575	38,11	15,60	18,19

Tab. 9.4: Bleiglanzproben aus Plettenberg (Sauerland).

SAUERLAND/ PLETTENBERG (MÄRKISCHER KREIS)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
k. a.	D-120/1	2,089	0,8511	38,39	15,64	18,38
Gr. Rabor, „Hohe Molmert“, Heimatverein Rescheid	D-120/2	2,091	0,8509	38,49	15,66	18,41
Gr. Emanuel, Bommecketal, Hr. Köhne	D-120/3	2,092	0,8515	38,50	15,67	18,40
s. o., Prof. Kirnbauer (1923)	D-120/4	2,088	0,8503	38,36	15,63	18,38
s. o.	D-120/5	2,088	0,8508	38,32	15,62	18,35
s. o.	D-120/6	2,085	0,8494	38,32	15,61	18,38

Tab. 9.5: Bleiglanzproben aus Bad Wünnenberg-Bleiwäsche („Sauerland“).

„SAUERLAND“/ BAD WÜNNENBERG- BLEIWÄSCHE (KREIS PB)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
k. a., Naturkundemuseum Bielefeld	D-139/1	2,083	0,8463	38,47	15,63	18,47
k. a., Heimatverein Rescheid	D-139/2	2,083	0,8470	38,45	15,63	18,46
nordwestlich Eickenberg, Bergbau- Museum Ramsbeck	D-139/3	2,085	0,8471	38,48	15,63	18,45
Stbr. Bleiwäsche, Lehmschlotte im Karst, Hr. Simon	D-139/4	2,092	0,8482	38,76	15,72	18,53
s. o.	D-139/5	2,081	0,8461	38,44	15,63	18,47
s. o.	D-139/6	2,085	0,8469	38,50	15,64	18,47
s. o.	D-139/7	2,084	0,8475	38,39	15,61	18,42
s. o.	D-139/8	2,084	0,8476	38,40	15,62	18,42
s. o.	D-139/9	2,085	0,8475	38,42	15,62	18,43
s. o.	D-139/10	2,080	0,8458	38,39	15,61	18,46
s. o.	D-139/11	2,086	0,8477	38,47	15,63	18,44
s. o.	D-139/12	2,081	0,8455	38,47	15,63	18,49
s. o.	D-139/13	2,078	0,8448	38,41	15,61	18,48
Stbr. Ehley, Lehmtonde, Geologischer Dienst Krefeld	D-139/14	2,084	0,8472	38,42	15,62	18,44

Tab. 9.6: Bleiglanzproben aus Rüthen-Kallenhardt (Sauerland).

SAUERLAND/ RÜTHEN- KALLENHARDT (KREIS SOEST)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
k. a., Naturkundemuseum Bielefeld	D-140/1	2,081	0,8460	38,41	15,62	18,46
Stbr. Kattensiepen, Hr. Köhne	D-140/2	2,092	0,8522	38,37	15,63	18,34
s. o.	D-140/3	2,091	0,8520	38,32	15,62	18,33
s. o.	D-140/4	2,091	0,8522	38,35	15,63	18,34
s. o.	D-140/5	2,091	0,8520	38,34	15,62	18,33

Tab. 9.7: Bleiglanzproben aus Brilon (Sauerland).

SAUERLAND/ BRILON (HSK)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Stbr. Kirchloh, Lehmschlotte, 30 m u. Geländekante, Fr. Beele	D-154/1	2,089	0,8516	38,31	15,62	18,34
s. o.	D-154/2	2,094	0,8525	38,59	15,71	18,42
s. o.	D-154/4	2,089	0,8512	38,34	15,62	18,35
s. o.	D-154/5	2,090	0,8514	38,34	15,62	18,34
s. o.	D-154/6	2,088	0,8506	38,36	15,62	18,37
s. o.	D-154/7	2,088	0,8508	38,31	15,62	18,35
s. o.	D-154/8	2,088	0,8509	38,29	15,61	18,34
s. o.	D-154/9	2,089	0,8514	38,32	15,62	18,35
s. o.	D-154/10	2,087	0,8504	38,30	15,61	18,35
s. o.	D-154/11	2,088	0,8510	38,33	15,62	18,35
s. o.	D-154/12	2,087	0,8505	38,28	15,60	18,34
s. o., Geologischer Dienst Krefeld	D-154/22	2,088	0,8509	38,33	15,62	18,35
s. o.	D-154/23	2,088	0,8510	38,32	15,62	18,36
s. o.	D-154/24	2,087	0,8511	38,27	15,60	18,33
Gr. Kanzlei, Halde, Fr. Beele, Hr. Schudelski	D-154/14	2,087	0,8506	38,33	15,62	18,36
s. o.	D-154/15	2,084	0,8482	38,38	15,62	18,41
s. o.	D-154/16	2,085	0,8467	38,38	15,58	18,40
s. o.	D-154/17	2,087	0,8493	38,39	15,62	18,39

Fortsetzung Tab. 9.7

Gr. Kanzlei, Halde, <i>Fr. Beele, Hr. Schudelski</i>	D-154/18	2,085	0,8486	38,36	15,61	18,40
s. o.	D-154/19	2,085	0,8489	38,35	15,61	18,39
s. o.	D-154/20	2,084	0,8483	38,36	15,61	18,41
Brilon (Schlammkaulen), <i>Fr. Beele</i>	D-154/3	2,086	0,8492	38,36	15,62	18,39
Brilon (Nüllstein), aus Lehmhorizont nahe Pinginfeld, <i>Dr. Bergmann</i>	D-154/21	2,088	0,8493	38,36	15,61	18,37
Brilon-Messinghausen, Gr. Weisskaule, Halde, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-154/25	2,080	0,8455	38,41	15,61	18,46
s. o.	D-154/26	2,079	0,8451	38,44	15,62	18,49
Brilon-Madfeld, Stbr. Deuba, <i>Fr. Beele, Hr. Simon</i>	D-180/2	2,088	0,8480	38,53	15,65	18,46
s. o.	D-180/3	2,085	0,8477	38,44	15,63	18,43
s. o.	D-180/4	2,085	0,8475	38,43	15,62	18,43
s. o.	D-180/5	2,087	0,8479	38,51	15,65	18,45
s. o.	D-180/6	2,085	0,8478	38,44	15,63	18,43
s. o.	D-180/7	2,085	0,8478	38,46	15,63	18,44
s. o.	D-180/8	2,083	0,8467	38,43	15,62	18,45
s. o.	D-180/9	2,084	0,8471	38,42	15,61	18,43
s. o.	D-180/10	2,084	0,8471	38,44	15,62	18,44
s. o.	D-180/11	2,084	0,8471	38,43	15,62	18,44
s. o.	D-180/12	2,084	0,8472	38,45	15,63	18,45
s. o.	D-180/13	2,084	0,8470	38,44	15,62	18,45
Brilon-Rösenbeck, Stbr. Burg, <i>Hr. Schudelski</i>	D-207/1	2,114	0,8623	38,18	15,58	18,06

Tab. 9.8: weitere Bleiglanzproben aus dem Sauerland.

SAUERLAND/ WEITERE LOKALITÄTEN	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Lüdenscheid (Märkischer Kreis), Gr. Olfa (Germelin), <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-146/1	2,092	0,8568	38,11	15,60	18,21
Müschede (HSK), Stbr. Müschede/Lauwehr, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-148/1	2,095	0,8557	38,20	15,60	18,23
Iserlohn (Märkischer Kreis), Gr. Westig, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-149/1	2,097	0,8551	38,35	15,64	18,29
s. o., <i>Hr. Westermann</i>	D-149/2	2,086	0,8487	38,38	15,62	18,40

Fortsetzung Tab. 9.8

Iserlohn, Bräkerkopf, Südhang, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-149/3	2,094	0,8560	38,22	15,63	18,26
s. o.	D-149/4	2,092	0,8558	38,15	15,61	18,24
Olsberg-Wulmeringhausen (HSK), Gr. Gottesgabe, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-151/1	2,095	0,8574	38,12	15,60	18,20
s. o., Hr. Köhne	D-151/2	2,095	0,8571	38,15	15,61	18,21
s. o., Gr. Juno, Elpetal, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-152/1	2,095	0,8569	38,22	15,63	18,24
Bestwig-Berlar (HSK), Gr. Alexander, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-153/1	2,092	0,8565	38,05	15,58	18,19
Sundern-Bönkhausen (HSK), Gr. Churfürst-Ernst, 500 m nach Stolleneingang, <i>Prof. Kimbauer</i>	D-183/1	2,090	0,8514	38,36	15,63	18,36
s. o., Halde, Hr. Köhne	D-183/2	2,084	0,8487	38,34	15,62	18,40
Bestwig-Heinrichsdorf, Gr. Alte Ries, Halde, Hr. Köhne	D-205/1	2,097	0,8580	38,18	15,62	18,20
Lichtenau-Blankenrode (Kreis Paderborn), Gr. Bleikaulen, Hr. Köhne	D-206/1	2,079	0,8440	38,50	15,62	18,51
s. o.	D-206/2	2,082	0,8447	38,54	15,63	18,51
s. o.	D-206/3	2,080	0,8441	38,51	15,62	18,51
Bestwig, „Rieser Gang“, Halde, <i>Dr. Bergmann</i>	D-210/1	2,096	0,8575	38,13	15,60	18,19
s. o.	D-210/2	2,096	0,8572	38,18	15,61	18,21
Hemer-Becke (Märkischer Kreis), Str. Oese, 1. und 2. Strosse, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-215/1	2,091	0,8527	38,29	15,61	18,31

Tab.9. 9: Bleiglanz aus der Nordwesteifel.

NORDWESTEIFEL	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Mechernich-Kallmuth (Kreis Euskirchen), „Kallmuther Berg“, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-157/1	2,089	0,8506	38,38	15,63	18,37
s. o.	D-157/2	2,092	0,8527	38,30	15,61	18,31
s. o.	D-157/3	2,090	0,8523	38,25	15,60	18,30
s. o., <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-157/4	2,091	0,8527	38,30	15,62	18,32
s. o.	D-157/5	2,086	0,8505	38,28	15,60	18,35
Mechernich, „Westfeld“, Halde, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-157/6	2,090	0,8524	38,29	15,61	18,32
Kall-Keldenich (Kreis Euskirchen), Caller Stollen, Halde, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-159/1	2,090	0,8513	38,38	15,63	18,37
Rescheid (Kreis Euskirchen), Gr. Schwalenbach, Gute-Hoffnungs- Gang, <i>Heimatverein Rescheid</i>	D-160/1	2,085	0,8498	38,30	15,61	18,37
s. o., Halde	D-160/2	2,085	0,8498	38,28	15,60	18,36
s. o.	D-160/4	2,086	0,8500	38,34	15,62	18,38

Fortsetzung Tab. 9.9

s. o., <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-160/7	2,084	0,8499	38,28	15,61	18,36
s. o.	D-160/8	2,086	0,8503	38,34	15,63	18,38
s. o., Gr. Wohlfahrt, Bärwurzelgang, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-160/5	2,086	0,8497	38,34	15,62	18,38
s. o., Halde am Schacht	D-160/6	2,086	0,8503	38,30	15,61	18,36
Oberdalmscheid (Kreis Euskirchen, Gr. Theresia, Halde, <i>Heimatverein Rescheid</i>)	D-160/3	2,085	0,8497	38,31	15,61	18,37
Bleialf (Eifelkreis Bitburg-Prüm), k. a., <i>Hr. Glasmacher</i>	D-161/1	2,086	0,8493	38,37	15,62	18,39
s. o., Richelsberger Gangzug, Halde, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-161/2	2,086	0,8502	38,28	15,61	18,36
s. o.	D-161/5	2,086	0,8504	38,32	15,62	18,37
s. o., 800 m südwestlich Alberberg	D-161/3	2,086	0,8500	38,32	15,62	18,37
s. o., Halde im Uchenbachtal	D-1601/4	2,088	0,8514	38,29	15,61	18,34
Stolberg-Werth (Kreis Aachen), Hastenrather Kalkwerke, <i>Hr. Holtz</i>	D-162/1	2,088	0,8497	38,44	15,64	18,41
s. o.	D-162/2	2,088	0,8494	38,40	15,62	18,39
s. o.	D-162/3	2,087	0,8492	38,37	15,61	18,39
s. o.	D-162/4	2,087	0,8493	38,38	15,62	18,39
s. o.	D-162/5	2,087	0,8493	38,37	15,61	18,39
s. o.	D-162/6	2,088	0,8495	38,41	15,63	18,40
s. o.	D-162/7	2,087	0,8494	38,40	15,62	18,40
s. o.	D-162/8	2,089	0,8495	38,44	15,64	18,41
s. o.	D-162/9	2,088	0,8496	38,43	15,63	18,40
s. o.	D-162/10	2,088	0,8495	38,40	15,63	18,40
s. o., <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-162/11	2,087	0,8491	38,38	15,62	18,39
Maubach (Kreis Düren), Tagebau Maubacher Bleiberg, Hochscholle, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-218/1	2,092	0,8530	38,29	15,61	18,30
Maubach-Leudersdorf, <i>Geologischer Dienst Krefeld</i>	D-218/2	2,088	0,8507	38,34	15,62	18,36

Tab. 9.10: Bleiglanzproben aus der Osthifel.

ÖSTLICHE EIFEL (Dr. Reppke)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Reiferscheid (Kreis Altenkirchen), Halde oberer Stollen	D-163/1	2,086	0,8495	38,34	15,62	18,38
Antweiler, (Kreis Ahrweiler), Gr. Ahrglück, Germanenstollen, Halde (Ahr/A-4)	D-164/1	2,085	0,8488	38,36	15,62	18,40
s. o., Gr. Bergsegen (Ber-I-2)	D-164/2	2,087	0,8499	38,39	15,63	18,39
Fuchshofen (Kreis Ahrweiler), Gr. Dorothea, tiefer Stollen, Halde (Do-16)	D-165/1	2,086	0,8496	38,25	15,62	18,38
s. o., (Do-17)	D-165/2	2,084	0,8490	38,29	15,60	18,37
Mayen (Kreis Mayen-Koblenz), Gr. Silbersand, Halde (Sil-13)	D-166/1	2,099	0,8590	38,11	15,60	18,16
Leimbach (Kr. Ahrweiler) (Lei-11)	D-167/1	2,095	0,8549	38,28	15,62	18,27
Hönningen-Liers (Kreis Ahrweiler), Gr. Marianne, oberer Stollen, Halde (Ma-1)	D-168/1	2,085	0,8480	38,39	15,62	18,41
Monreal (Kreis Mayen-Koblenz), Gr. Herfeldt, tiefer Stollen, Halde II (Her-5)	D-169/1	2,085	0,8495	38,30	15,61	18,37
Virneburg (Kreis Mayen- Koblenz), Gr. Bendisberg (Ben-5)	D-170/1	2,099	0,8594	38,13	15,61	18,16
Winnen bei Altenahr (Kreis Ahrweiler), Gr. Hohentürme, Prinzenbacher Tal (Ho/W-1)	D-171/1	2,095	0,8552	38,23	15,61	18,25
Hönningen-Obliers (Kreis Ahrweiler), Gr. Auf Glück (Auf-1)	D-172/1	2,085	0,8469	38,51	15,64	18,46
Lind (Kreis Ahrweiler), Gr. Elisabeth, Halde am Stollen (Eli- 3)	D-173/1	2,085	0,8479	38,44	15,63	18,44
Bad Münstereifel-Willerscheid (Kreis Euskirchen), Gr. Glücksthal (Ge-W-2)	D-174/1	2,086	0,8492	38,37	15,62	18,40
Lind-Plittersdorf (Kreis Ahrweiler), Gr. Saarwegen (Saa-3)	D-175/1	2,098	0,8592	38,09	15,60	18,16
Adenau (Kreis Ahrweiler), Gr. Aden., Halde a. o. Stollen (Ad-2)	D-176/1	2,098	0,8591	38,08	15,60	18,15
Schuld (Kreis Ahrweiler), Strb., (Leitsch-1)	D-177/1	2,096	0,8542	38,41	15,66	18,33
Bad Münstereifel-Hummerzheim (Kreis Euskirchen), Gr. Klappertshardt, Halde (G1-K-4)	D-178/1	2,085	0,8494	38,33	15,61	18,38
Hönningen (Kreis Ahrweiler), Gr. Carolus Magnus (C-M-1)	D-179/1	2,086	0,8485	38,44	15,64	18,43

Tab. 9.11: weitere Bleiglanzproben aus Deutschland und Frankreich.

BERGISCHES LAND	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Rösrath (Rheinisch-Bergischer Kreis), Gr. Lüderich, Dr. Gechter, Dr. Körlin	D-102/17	2,098	0,8590	38,13	15,61	18,18
s. o.	D-102/18a	2,101	0,8597	38,19	15,63	18,18
s. o., Geologischer Dienst Krefeld	D-102/43	2,098	0,8593	38,08	15,60	18,15
Velbert-Hohmannsburg (Kreis Mettmann), Gr. Glück Auf, Prof. Kirnbauer	D-182/1	2,100	0,8566	38,29	15,62	18,23

Fortsetzung Tab. 9.11

SCHWARZWALD	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Badenweiler (Breisgau-Hochschwarzwald), Quarzriff, Heimatverein Rescheid	D-145/1	2,072	0,8383	38,66	15,64	18,65
SIEGERLAND	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Müsen (Kreis Siegen-Wittgenstein), Gr. Jungfer, 30 m oberh. Stahlberger Stollen, Prof. Kimbauer	D-184/1	2,098	0,8581	38,15	15,60	18,18
Wilnsdorf-Wilgersdorf (Kreis Siegen-Wittgenstein), Gr. Neue Hoffnung, Prof. Kimbauer	D-185/3	2,098	0,8573	38,25	15,63	18,23
Burbach (Kreis Siegen-Wittgenstein), Gr. Peterszeche, Prof. Kimbauer (380)	D-186/1	2,085	0,8473	38,41	15,61	18,42
s. o., Gr. Viktorsfeld, Halde, Geologischer Dienst Krefeld	D-186/2	2,087	0,8465	38,54	15,63	18,47
s. o., Gr. Grüne Hoffnung, Halde	D-186/4	2,088	0,8521	38,15	15,57	18,27
Müsen, Gr. Wilder Mann, St. Martins-Gang, Erbstillensole, Prof. Kimbauer	D-187/1	2,099	0,8587	38,15	15,61	18,18
s. o., Gr. Wilder Mann, Halde, Geologischer Dienst Krefeld	D-187/5	2,100	0,8586	38,18	15,61	18,19
LAHN-GEBIET (Prof. Kimbauer)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Holzappel (Rhein-Lahn-Kreis), Gr. Holzappel	D-195/1	2,093	0,8566	38,17	15,62	18,23
TAUNUS (Prof. Kimbauer)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Idstein-Heftrich (Rheingau-Taunus-Kreis), Gr. Hannibal	D-192/1	2,086	0,8458	38,54	15,63	18,48
Rüdesheim-Assmannshausen (Rheingau-Taunus-Kreis), Gr. Silberberg, Stollenhalde (155)	D-196/1	2,083	0,8463	38,44	15,62	18,46
Kelkheim-Ruppertsheim (Main-Taunus-Kreis), Rossert-Berg (2075)	D-198/1	2,088	0,8518	38,36	15,65	18,37
HUNSRÜCK (Prof. Kimbauer)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Waldesch (Kreis Mayen-Koblenz), Gr. Silberberg, Halde (1737)	D-189/1	2,096	0,8578	38,10	15,59	18,18
Irmenach (Kreis Bernkastel-Wittlich), Traben-Trarbach, Gr. Gondenau	D-197/1	2,093	0,8569	38,11	15,60	18,20
Bernkastel, Kautenbachtal	D-209/1	2,082	0,8472	38,67	15,62	18,43
FRANKREICH/ CEVENNEN	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
l'Argentière, Vererzung im Sandstein, Prof. Schaeffer	F-220/1	2,101	0,8543	38,49	15,65	18,32

9.1b Bleisotopendaten *Bleimetall (römisch)*Tab. 9.12: *Bleimetallproben vom römischen Pb-/Ag-Bergbaurevier des Lüderichs.*

LÜDERICH (RHEINISCH- BERGISCHER KREIS)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleiklammer	D-102/1	2,100	0,8594	38,17	15,62	18,18
Bleiglättezapfen	D-102/2	2,100	0,8594	38,18	15,62	18,17
Bleiglättezapfen	D-102/3	2,100	0,8595	38,18	15,62	18,18
Bleiröhrchen	D-102/30	2,097	0,8587	38,07	15,59	18,15
Bleistück	D-102/31	2,099	0,8594	38,13	15,61	18,16
Bleistück	D-102/32	2,099	0,8594	38,10	15,60	18,15
Bleistück	D-102/33	2,086	0,8512	38,25	15,60	18,33
Bleiplättchen mit Nadelloch	D-102/35	2,094	0,8562	38,14	15,59	18,21
Bleiblech	D-102/36	2,086	0,8494	38,30	15,60	18,36
Bleistück	D-102/37	2,098	0,8590	38,07	15,59	18,15

Tab. 9.13: *Bleimetallproben vom Kalkrieser Schlachtfeld.*

KALKRIESE (KREIS OSNABRÜCK)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
schifförmiger Bleibarren	D-121/1	2,091	0,8504	38,50	15,66	18,41
Bleigewicht	D-121/2	2,093	0,8544	38,29	15,63	18,29
Schleuderblei	D-121/3	2,087	0,8398	39,02	15,70	18,69
rechteckiges Bleigewicht	D-121/4	2,098	0,8588	38,15	15,61	18,18
spinnwirtelartiges Bleiobjekt	D-121/5	2,090	0,8519	38,32	15,62	18,33
Bleigewicht	D-121/6	2,088	0,8507	38,33	15,62	18,36

Tab. 9.14: *Bleimetallproben der Marschlager von Dorsten-Holsterhausen.*

HOLSTERHAUSEN (KREIS RECKLINGHAUSEN)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleistück	D-136/1	2,087	0,8503	38,28	15,60	18,35
Bleirest	D-136/3	2,092	0,8516	38,34	15,61	18,33
Bleirest	D-136/4	2,091	0,8524	38,31	15,61	18,31
Bleirest	D-136/5	2,087	0,8493	38,35	15,61	18,38
rundes Bleigewicht	D-136/6	2,093	0,8556	38,13	15,59	18,22
Bleilot	D-136/7	2,087	0,8499	38,34	15,61	18,37
spinnwirtelartiges Bleiobjekt	D-136/8	2,091	0,8549	38,15	15,59	18,24
Bleigewicht	D-136/9	2,081	0,8469	38,35	15,61	18,43
Bleigewicht	D-136/10	2,156	0,9035	36,97	15,50	17,15

Fortsetzung Tab. 9.14

Bleigewicht	D-136/11	2,089	0,8505	38,34	15,61	18,35
Bleigewicht	D-136/12	2,087	0,8497	38,32	15,60	18,36
Bleilot	D-136/13	2,093	0,8554	38,15	15,59	18,23
spinnwirtelartiges Bleiobjekt	D-136/14	2,087	0,8512	38,25	15,60	18,33
Bleiloffragment	D-136/15	2,075	0,8365	38,86	15,66	18,72
spinnwirtelartiges Bleiobjekt	D-136/16	2,087	0,8516	38,22	15,59	18,31
Schleuderblei	D-136/17	2,085	0,8498	38,26	15,59	18,35

Tab. 9.15: Bleimetallproben der Halterner Lager.

HALTERN (KREIS RECKLINGHAUSEN)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
rundes Bleistück	D-137/1	2,092	0,8533	38,28	15,61	18,30
Bleirest	D-137/2	2,087	0,8499	38,34	15,62	18,37
Bleirest	D-137/3	2,096	0,8582	38,07	15,59	18,16
Bleigewicht	D-137/4	2,086	0,8497	38,31	15,60	18,38
Bleigewicht	D-137/5	2,098	0,8590	38,07	15,59	18,15
Bleigewicht	D-137/6	2,085	0,8491	38,32	15,60	18,37
Bleigewicht	D-137/7	2,087	0,8498	38,35	15,62	18,38
rundes Bleistück	D-137/8	2,091	0,8543	38,18	15,59	18,25
Bleigewicht	D-137/9	2,086	0,8499	38,28	15,60	18,35
rechteckiges Bleistück	D-137/10	2,086	0,8502	38,27	15,60	18,35
Bleihütchen	D-137/11	2,089	0,8530	38,17	15,59	18,27
rundes Bleigewicht	D-137/12	2,087	0,8506	38,25	15,59	18,33
runder Bleigegegenstand	D-137/13	2,089	0,8523	38,23	15,60	18,30
runder Bleigegegenstand	D-137/14	2,087	0,8515	38,28	15,59	18,31
Bleigegegenstand	D-137/15	2,085	0,8492	38,44	15,64	18,36
Bleischeibe	D-137/16	2,089	0,8536	38,15	15,58	18,26
Bleigegegenstand	D-137/17	2,086	0,8510	38,24	15,65	18,33
Bleigegegenstand	D-137/18	2,088	0,8506	38,34	15,62	18,36
Bleigewicht	D-137/19	2,089	0,8511	38,34	15,62	18,35
hohles Bleistück	D-137/20	2,095	0,8581	38,05	15,58	18,16
Bleibarren, XIX LEGIO	D-137/21	2,098	0,8590	38,11	15,60	18,16
Bleirohr	D-137/22	2,098	0,8585	38,11	15,60	18,17
Bleirohrabschluss	D-137/23	2,097	0,8583	38,12	15,60	18,18
Bleifluss	D-137/24	2,099	0,8593	38,09	15,60	18,15
Bleifluss	D-137/25	2,099	0,8591	38,09	15,59	18,15
Bleifluss	D-137/26	2,097	0,8582	38,09	15,59	18,17
Bleilot	D-137/27	2,086	0,8490	38,33	15,60	18,38
Bleilot	D-137/28	2,089	0,8495	38,41	15,62	18,39
Bleiring	D-137/29	2,089	0,8514	38,31	15,61	18,34
gabelförmiges Bleiobjekt	D-137/30	2,094	0,8558	38,18	15,60	18,23
tellerförmiges Bleiobjekt	D-137/31	2,084	0,8382	39,12	15,66	18,69
Schleuderblei	D-137/32	2,098	0,8577	38,20	15,62	18,21

Fortsetzung Tab. 9.15

Schleuderblei	D-137/33	2,087	0,8494	38,34	15,61	18,37
Bleigewicht	D-137/34	2,088	0,8512	38,29	15,61	18,33
Bleigewicht	D-137/35	2,098	0,8592	38,07	15,59	18,15
Bleifüllung eines Kupfergewichts	D-137/36b	2,084	0,8379	39,02	15,69	18,72

Tab. 9.16: Bleimetallproben des Lagers von Oberaden.

OBERADEN (KREIS UNNA)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleifluss	D-203/1	2,087	0,8494	38,40	15,63	18,40
Bleiplättchen	D-203/2	2,088	0,8504	38,34	15,62	18,36
Bleiplättchen	D-203/3	2,090	0,8506	38,44	15,65	18,40
Bleiblechfragment	D-203/4	2,090	0,8509	38,41	15,63	18,37
verschmolzenes Bleistück	D-203/5	2,088	0,8498	38,37	15,62	18,38
Bleistück	D-203/6	2,088	0,8505	38,36	15,63	18,37
ringförmiges Bleistück	D-203/7	2,095	0,8530	38,38	15,63	18,32
Bleistück	D-203/8	2,100	0,8508	38,63	15,65	18,40
Bleifluss	D-203/9	2,089	0,8507	38,39	15,63	18,38
Bleifragment	D-203/10	2,090	0,8509	38,42	15,64	18,38
gefaltetes Blech	D-203/11	2,089	0,8504	38,37	15,62	18,37

Tab. 9.17: Bleimetallproben des Lagers von Anreppen.

ANREPPEN (KREIS PADERBORN)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleistück	D-204/1	2,099	0,8591	38,13	15,61	18,17
Bleiplatte	D-204/2	2,098	0,8568	38,29	15,64	18,25
Bleistück	D-204/3	2,101	0,8590	38,27	15,65	18,22
Bleistück	D-204/4	2,100	0,8594	38,16	15,62	18,17
Bleifragment	D-204/5	2,091	0,8521	38,36	15,63	18,34
Bleifragment	D-204/6	2,095	0,8566	38,17	15,60	18,22
Bleifragment	D-204/7	2,089	0,8510	38,35	15,62	18,36
Bleifluss	D-204/8	2,094	0,8540	38,31	15,63	18,30
Bleifluss	D-204/9	2,079	0,8438	38,47	15,61	18,50
Bleistück	D-204/10	2,095	0,8550	38,34	15,64	18,30
Bleiglanzstück	D-204/11	2,085	0,8449	38,73	15,69	18,58
keilförmiges Bleistück	D-204/12	2,100	0,8594	38,17	15,62	18,17
Bleifragment	D-204/13	2,096	0,8570	38,09	15,58	18,18
Gefaltetes, profiliertes Bleiband	D-204/14	2,088	0,8501	38,37	15,62	18,37
Bleifluss	D-204/15	2,097	0,8577	38,15	15,60	18,19
Bleistab	D-204/16	2,093	0,8540	38,25	15,61	18,28
Bleiklumpen	D-204/17	2,097	0,8585	38,09	15,60	18,17

Fortsetzung Tab. 9.17

Bleiröhrchen	D-204/18	2,087	0,8510	38,26	15,60	18,33
Bleifragment	D-204/19	2,096	0,8571	38,16	15,60	18,20
Bleiklumpen	D-204/20	2,096	0,8574	38,11	15,59	18,18
Bleischfuß	D-204/21	2,087	0,8495	38,31	15,60	18,36
Bleistück	D-204/22	2,089	0,8497	38,41	15,62	18,39
Bleiklumpen	D-204/23	2,090	0,8513	38,34	15,62	18,35

Tab. 9.18: Bleimetallproben des Lagers von Hedemünden.

HEDEMÜNDE (KREIS GÖTTINGEN)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleimarkte mit konzentrischen Ringen	D-213/1	2,084	0,8474	38,39	15,61	18,42
Bleirest	D-213/2	2,090	0,8512	38,35	15,62	18,35

Tab. 9.19: Das PVDENS-Bleistück und der römische Bleibarren von Bad Sassendorf-Heppen.

SAUERLAND	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
PVDENS-Bleistück, Brilon-Altenbüren	D-122/1	2,090	0,8516	38,38	15,64	18,36
römischer Bleibarren, Bad Sassendorf	D-135/1	2,088	0,8513	38,27	15,61	18,33

Tab. 9.20: Die römischen Bleibarren von Rena Maggiore.

RENA MAIORE (SARDINIEN)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM- Bleibarren	1-25/1a	2,089	0,8508	38,34	15,62	18,36
s. o., gleicher Barren	1-25/1b	2,088	0,8507	38,34	15,62	18,36
s. o., gleicher Barren	1-25/1c	2,089	0,8510	38,36	15,63	18,37
flacher, rechteckiger Barren ohne Inschrift	1-25/2	2,094	0,8500	38,54	15,65	18,41
s. o.	1-25/3	2,097	0,8517	38,56	15,66	18,39
s. o.	1-25/4	2,093	0,8508	38,46	15,64	18,38
s. o.	1-25/5	2,095	0,8511	38,45	15,62	18,35

9.1b Bleisotopendaten *Bleimetall (germanisch)*

Tab. 9.21: Die „germanischen“ Kleinbarren aus Westfalen.

KLEINBARREN (WESTFALEN- SAUERLAND)	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Soest	D-131/1	2,087	0,8511	38,24	15,59	18,32
s. o.	D-131/2	2,087	0,8510	38,23	15,59	18,32
s. o.	D-131/3	2,088	0,8513	38,29	15,61	18,34
s. o.	D-132/4	2,086	0,8495	38,31	15,61	18,37
s. o.	D-132/6	2,088	0,8514	38,27	15,61	18,33
s. o.	D-134/1	2,087	0,8511	38,26	15,60	18,33
s. o.	D-134/5	2,089	0,8514	38,29	15,61	18,33
Brilon-Osterhof	D-110/5	2,093	0,8521	38,49	15,68	18,39
s. o.	D-110/6	2,089	0,8515	38,29	15,61	18,33
s. o.	D-199/1	2,091	0,8518	38,35	15,63	18,35
s. o.	D-199/2	2,087	0,8504	38,28	15,60	18,34
Brilon-Altenbüren	D-122/2	2,091	0,8519	38,40	15,64	18,36
s. o.	D-122/3	2,092	0,8520	38,42	15,65	18,37
s. o.	D-122/4	2,091	0,8516	38,36	15,63	18,35
s. o.	D-122/5	2,090	0,8517	38,34	15,63	18,35
s. o.	D-122/6	2,095	0,8525	38,54	15,68	18,39
s. o.	D-122/7	2,090	0,8517	38,36	15,63	18,35
s. o.	D-122/8	2,090	0,8515	38,39	15,64	18,37
s. o.	D-122/9	2,092	0,8519	38,45	15,66	18,38
s. o.	D-122/10	2,088	0,8503	38,37	15,62	18,37
s. o.	D-122/13	2,090	0,8516	38,33	15,62	18,34
s. o.	D-122/14	2,091	0,8519	38,39	15,64	18,35
s. o.	D-122/15	2,087	0,8509	38,26	15,60	18,33
s. o.	D-122/16	2,087	0,8497	38,34	15,61	18,38
s. o.	D-122/17	2,089	0,8512	38,35	15,62	18,36
s. o.	D-122/18	2,088	0,8500	38,42	15,64	18,40
s. o.	D-122/19	2,088	0,8513	38,29	15,61	18,34
s. o.	D-122/20	2,089	0,8515	38,34	15,63	18,35
s. o.	D-122/21	2,088	0,8498	38,39	15,63	18,39
s. o.	D-122/22	2,088	0,8512	38,29	15,61	18,33
s. o.	D-122/23	2,088	0,8513	38,30	15,61	18,34
s. o.	D-122/24	2,091	0,8519	38,37	15,63	18,35
s. o.	D-122/25	2,088	0,8513	38,28	15,61	18,33
s. o.	D-122/26	2,088	0,8513	38,31	15,62	18,35
Brilon-Fülsenbecke	D-150/1	2,088	0,8504	38,38	15,63	18,38
Balve-Garbeck	D-155/1	2,087	0,8501	38,32	15,61	18,36
s. o.	D-155/2	2,089	0,8513	38,31	15,61	18,34
s. o.	D-155/3	2,085	0,8493	38,31	15,60	18,37
s. o.	D-155/4	2,087	0,8512	38,31	15,62	18,35
s. o.	D-155/5	2,089	0,8498	38,44	15,64	18,40

Fortsetzung Tab. 9.21

s. o.	D-155/6	2,087	0,8498	38,36	15,62	18,38
Balve-Garbeck	D-155/7	2,090	0,8512	38,38	15,63	18,37
s. o.	D-155/8	2,088	0,8498	38,40	15,63	18,39
s. o.	D-155/9	2,088	0,8498	38,39	15,63	18,39
Bad Wünnenberg- Bleiwäsche	D-110/1	2,087	0,8510	38,25	15,60	18,33
s. o.	D-110/2	2,090	0,8517	38,37	15,63	18,36
Warburg-Menne	D-110/3	2,088	0,8501	38,39	15,63	18,38
Salzkotten-Thüle	D-110/4	2,090	0,8517	38,34	15,62	18,35
Lippstadt-Dedinghausen	D-123/1	2,089	0,8512	38,31	15,61	18,34

Tab. 9.22: Die Bleifunde der frühkaiserzeitlichen Siedlung von Soest.

SOEST	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleibarrenfragment	D-130/1	2,087	0,8508	38,27	15,60	18,34
„Formstück“	D-131/4	2,091	0,8542	38,17	15,59	18,26
Bleirest	D-131/5a	2,090	0,8515	38,35	15,63	18,35
Bleirest	D-131/5b	2,090	0,8515	38,38	15,64	18,36
Bleirest	D-131/6a	2,088	0,8513	38,30	15,61	18,34
Bleirest	D-131/6b	2,087	0,8511	38,26	15,60	18,33
„Bleispirale“	D-131/7	2,090	0,8515	38,35	15,63	18,35
Bleiobjekt	D-131/8a	2,088	0,8498	38,41	15,64	18,40
Bleistreifen	D-131/8b	2,087	0,8505	38,29	15,61	18,35
Bleirest	D-131/9	2,087	0,8511	38,26	15,60	18,33
Bleirest	D-131/10	2,085	0,8491	38,31	15,61	18,38
Gussabfall	D-131/11	2,085	0,8493	38,29	15,59	18,36
Bleirest	D-132/1	2,087	0,8501	38,36	15,62	18,38
Bleiobjekt	D-132/2	2,087	0,8510	38,24	15,60	18,33
verziertes Bleiobjekt	D-132/3	2,093	0,8531	38,35	15,63	18,32
Bleiblech	D-132/5	2,088	0,8513	38,28	15,61	18,33
Bleiabfall	D-132/7	2,088	0,8512	38,24	15,59	18,32
Bleistreife	D-133/1	2,088	0,8508	38,32	15,62	18,35
Gussabfall	D-133/2	2,085	0,8494	38,32	15,61	18,38
Bleiblech	D-133/3	2,087	0,8494	38,35	15,61	18,38
Bleiabfall	D-133/4	2,088	0,8513	38,25	15,60	18,32
Bleiobjekt	D-133/5	2,088	0,8513	38,27	15,60	18,33
„barrenartiges Bleistück“	D-133/6	2,088	0,8513	38,29	15,61	18,34
„barrenartiges Bleistück“	D-134/2	2,094	0,8560	38,16	15,60	18,23
Bleiblech	D-134/3	2,090	0,8515	38,33	15,62	18,34
verziertes Bleiobjekt	D-134/4	2,093	0,8538	38,24	15,60	18,27
Schleuderblei	D-134/6	2,089	0,8516	38,29	15,61	18,33
Schleuderblei	D-134/7	2,088	0,8514	38,27	15,60	18,33

Tab. 9.23: Bleifunde aus weiteren Siedlungskontexten Westfalens.

WEITERE LOKALITÄTEN	INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Bleirest, Bruchhausen	D-124/1a	2,089	0,8513	38,35	15,63	18,36
Bleirest, Bruchhausen	D-124/1b	2,100	0,8564	38,42	15,67	18,30
Bleirest, Warburg-Menne	D-125/1	2,085	0,8478	38,40	15,62	18,42
Bleirest, Willebadessen	D-126/1	2,090	0,8488	38,56	15,66	18,45
Bleistück, Brilon- Altenbüren	D-122/11	2,088	0,8475	38,58	15,66	18,47
bandförmiges Bleistück, Brilon-Altenbüren	D-122/12	2,167	0,9110	36,84	15,49	17,01
ringförmiger Bleibarren, Sendenhorst	D-135/2	2,088	0,8508	38,32	15,61	18,35
bandförmiges Bleistück, Brilon-Fülsenbecke	D-150/2	2,088	0,8509	38,30	15,61	18,35

9.1c Bleischlacke

Tab. 9.24: Die Bleischlackenproben vom Lüderich (Bergisches Land).

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
D-102a	2,109	0,8618	38,43	15,70	18,22
D-102b	2,109	0,8616	38,43	15,70	18,22
D-102c	2,111	0,8623	38,47	15,71	18,22
D-102e	2,114	0,8628	38,56	15,74	18,24
D-102f	2,111	0,8619	38,53	15,73	18,26

9.1d Bleiglätte

Tab. 9.25: Die Bleiglätteproben vom Lüderich (Bergisches Land).

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
D-102/19a (BG1)	2,101	0,8597	38,21	15,63	18,18
D-102/19b (BG2)	2,099	0,8590	38,14	15,61	18,17
D-102/34 (BG3)	2,098	0,8592	38,07	15,59	18,15
D-102/38 (BG4)	2,100	0,8592	38,18	15,62	18,18

9.2a Haupt- und Spurenelemente Bleiglanz (Eifel)

Tab. 9.26: Chemische Zusammensetzung der mit den römischen und germanischen Bleiobjekten bleiisotopisch kongruenten Bleiglanze der Nordwesteifel.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM CHEMISMUS	D-157/1 (MECHERNICH)	D-157/2	D-157/3	D-157/4	D-157/5	D-157/6	D-160/1 (RESCHIED)	D-160/2
SiO ₂ [wt%]	1,40	63,40	1,77	7,84	0,43	20,30	11,69	0,22
TiO ₂	0,01	0,46	0,05	0,08	0,01	0,54	0,07	<0,01
Al ₂ O ₃	0,14	3,47	0,21	1,30	0,04	3,13	0,60	0,01
Fe ₂ O ₃	<0,01	0,16	0,01	0,21	0,83	0,19	1,13	0,17
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01
MgO	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,41	<0,01
CaO	<0,01	0,06	<0,01	0,01	<0,01	0,07	0,61	<0,01
S [at%]	14,1	4,4	14,7	15,1	15,1	11,7	14,1	15,6
Pb	84,1	25,3	83,3	72,5	83,1	62,7	70,5	82,7
Cr [ppm]	580	510	190	250	150	420	200	150
Zn	20	340	1800	24290	240	2000	20	<0,001
As	20	80	50	40	20	50	130	20
Cu	90	40	120	40	10	30	7080	1030
Ag	26	37	39	60	78	161	91	87
Sb	1230	40	130	60	530	110	680	330
Σ [wt%]	100,0	97,5	100,2	99,5	99,6	99,0	99,9	98,9

Fortsetzung Tab. 9.26

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM CHEMISMUS	D-160/3 (RESCHIED)	D-160/4	D-160/5	D-160/6	D-160/7	D-161/1 (BLEIALF)	D-161/2	D-161/3
SiO ₂ [wt%]	0,59	0,27	2,74	8,12	7,20	0,59	1,75	2,23
TiO ₂	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	0,10	<0,001	0,02	0,01
Al ₂ O ₃	<0,01	0,04	0,10	0,69	0,37	0,08	0,15	0,14
Fe ₂ O ₃	0,14	<0,01	0,16	0,08	0,22	0,01	0,21	<0,01
MnO	0,02	<0,01	0,02	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	0,02	<0,01	0,02	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
S [at%]	15,3	15,6	13,8	13,2	13,6	14,8	15,1	14,9
Pb	83,8	83,4	79,5	77,1	78,4	82,2	83,1	82,4
Cr [ppm]	160	150	30	130	70	180	150	150
Zn	10	10	20	30	40	<0,001	30	10
As	30	30	20	30	20	30	20	30
Cu	120	380	140	40	1670	120	1300	20
Ag	62	76	60	10	<0,001	37	51	55
Sb	870	480	650	600	470	1250	360	260
Σ [wt%]	100,0	99,4	96,5	99,6	100,1	97,9	100,5	99,7

Fortsetzung Tab. 9.26

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	D-161/4 (BLEIALF)	D-161/5	D-162/1 (STOLBERG)	D-162/2	D-162/3	D-162/4	D-162/5	D-162/6
CHEMISMUS								
SiO₂ [wt%]	14,44	3,80	0,76	0,06	0,03	<0,01	0,04	0,21
TiO₂	0,12	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al₂O₃	1,14	0,22	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10	0,02
Fe₂O₃	0,12	0,10	0,07	0,02	<0,01	<0,01	0,62	0,08
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	0,01	<0,01	0,12	0,13	0,09	0,11	0,03	1,09
S [at%]	12,9	13,7	14,4	14,1	15,0	14,8	14,2	13,2
Pb	70,5	83,2	81,9	84,5	83,2	84,5	81,8	83,4
Cr [ppm]	260	170	30	40	40	50	80	200
Zn	490	30	1120	260	170	860	370	1220
As	140	40	30	30	20	10	40	<0,001
Cu	5710	580	110	120	60	60	110	220
Ag	59	62	<0,001	90	50	60	60	40
Sb	5600	1730	6940	2810	4000	3830	8640	5650
Σ [wt%]	100,5	101,4	98,2	99,2	98,8	99,9	97,7	98,8

Fortsetzung Tab. 9.26

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	D-162/7 (STOLBERG)	D-162/8	D-162/9	D-162/10	D-162/11
CHEMISMUS					
SiO₂ [wt%]	0,08	0,43	0,19	0,13	0,32
TiO₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al₂O₃	0,09	0,03	0,07	0,10	0,03
Fe₂O₃	0,28	0,05	<0,01	0,31	0,27
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
MgO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
CaO	0,04	0,38	0,05	0,62	0,68
S [at%]	14,7	14,4	14,8	13,4	13,7
Pb	82,1	82,8	82,1	82,3	82,1
Cr [ppm]	90	50	50	60	70
Zn	270	130	730	450	170
As	10	10	10	30	30
Cu	90	60	60	120	430
Ag	60	90	90	90	60
Sb	6330	2800	8470	3750	900
Σ [wt%]	98,0	98,4	98,1	97,4	97,3

9.2a Haupt- und Spurenelemente Bleiglanz (Sauerland)

Tab. 9.27: Chemische Zusammensetzung der mit den römischen und germanischen Bleiobjekten bleiisotopisch kongruenten Bleiglanze des Sauerlandes.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM CHEMISMUS	D-120/1 (PLETTENBERG)	D-120/2	D-120/3	D-120/4	D-120/6	D-154/2 (BRILON- KIRCHLOH)	D-154/4	D-154/5
SiO ₂ [wt%]	4,44	4,48	0,73	0,45	1,18	0,22	0,31	0,83
TiO ₂	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al ₂ O ₃	1,05	0,22	<0,01	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06
Fe ₂ O ₃	0,46	<0,01	<0,01	0,33	0,69	<0,01	0,04	<0,01
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,03	0,03
S [at%]	14,1	13,3	14,9	15,0	14,7	14,0	13,0	13,8
Pb	77,4	80,4	83,2	82,1	81,6	84,3	84,2	83,2
Cr [ppm]	150	170	1240	180	170	40	300	60
Zn	160	10	30	30	40	40	50	2410
As	190	40	30	50	80	70	60	40
Cu	40	30	50	60	70	380	450	380
Ag	35	29	37	25	19	90	60	90
Sb	90	150	90	230	150	6370	5080	3570
Σ [wt%]	97,6	98,4	99,0	98,0	98,3	99,3	98,3	98,6

Fortsetzung Tab. 9.27

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM CHEMISMUS	D-154/6 (BRILON- KIRCHLOH)	D-154/7	D-154/8	D-154/9	D-154/11	D-154/12	D-154/13	D-154/22
SiO ₂ [wt%]	0,53	0,32	0,30	0,03	0,04	0,36	0,50	0,73
TiO ₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al ₂ O ₃	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07
Fe ₂ O ₃	1,23	1,82	3,46	0,01	0,28	2,38	2,54	1,44
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03
S [at%]	13,5	12,8	11,6	12,6	11,1	9,9	11,9	14,3
Pb	79,7	84,2	78,5	81,8	80,4	79,3	78,3	82,1
Cr [ppm]	<0,001	30	60	50	60	130	80	40
Zn	790	180	360	20	100	270	270	220
As	150	50	50	60	40	60	30	40
Cu	90	170	130	500	260	170	260	180
Ag	90	90	50	20	20	<0,001	<0,001	20
Sb	1960	860	950	4500	5080	560	960	1230
Σ [wt%]	95,4	99,4	94,1	95,1	92,5	92,2	93,5	98,9

Fortsetzung Tab. 9.27

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	D-154/23 (BRILON- KIRCHLOH)	D-154/24	D-154/14 (BRILON, GRUBE KANZLEI)	D-154/15	D-154/16	D-154/17	D-154/18	D-154/20	D-154/21
CHEMISMUS									
SiO₂ [wt%]	0,59	0,78	1,37	1,31	1,78	0,69	1,57	1,06	0,37
TiO₂	<0,01	<0,01	0,08	0,09	0,08	0,04	0,02	<0,01	<0,01
Al₂O₃	0,09	0,09	0,33	0,31	0,33	0,23	0,11	0,09	0,08
Fe₂O₃	2,26	2,21	1,95	0,68	0,46	0,10	15,2	5,75	<0,01
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01	0,01	<0,01
CaO	0,04	0,03	0,16	0,12	0,14	0,07	0,11	0,08	0,06
S [at%]	13,7	13,7	7,0	8,3	8,2	11,5	7,7	10,3	12,4
Pb	82,5	76,9	79,8	81,8	81,8	80,3	72,9	78,5	82,8
Cr [ppm]	80	60	230	210	210	90	300	300	40
Zn	960	540	3090	5820	2420	290	6120	7550	450
As	50	60	120	60	40	30	620	240	<0,001
Cu	180	160	920	440	400	160	480	410	30
Ag	<0,001	<0,001	70	80	30	10	<0,001	<0,001	20
Sb	810	2670	2630	250	480	180	300	330	150
Σ [wt%]	99,4	94,1	91,4	93,4	93,2	93,1	98,4	96,7	95,8

9.2b Haupt- und Spurenelemente Bleimetall (römisch)

Tab. 9.28: Auf Pb normierte Spurenelementgehalte der römischen Bleiobjekte.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	Lokalität	Ag [ppm]	As [ppm]	Bi [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Sb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]
D-102/1	Lüderich	510	n. d.	130	3500	110	n. d.	160	120
D-102/2	Lüderich	n. d.	20	n. d.	15900	4800	150	10	90
D-102/3	Lüderich	n. d.	20	n. d.	5400	3800	270	n. d.	220
D-102/31	Lüderich	2410	n. d.	n. d.	850	n. d.	60	n. d.	n. d.
D-102/33	Lüderich	330	n. d.	90	910	30	1020	n. d.	n. d.
D-121/1	Kalkriese	30	n. d.	n. d.	480	10	n. d.	n. d.	n. d.
D-121/2	Kalkriese	70	n. d.	n. d.	790	40	270	1530	n. d.
D-121/3	Kalkriese	110	20	n. d.	590	20	110	230	n. d.
D-121/4	Kalkriese	50	n. d.	n. d.	1220	20	210	20	n. d.
D-121/5	Kalkriese	160	70	n. d.	520	30	240	117090	n. d.
D-121/6	Kalkriese	50	n. d.	n. d.	640	10	2420	n. d.	n. d.
D-122/1	Brilon-Altenb.	30	n. d.	n. d.	620	n. d.	70	n. d.	n. d.
D-135/1	B. Sf.-Heppen	10	n. d.	n. d.	340	n. d.	380	n. d.	20
D-136/1	Holsterhausen	170	n. d.	n. d.	1070	n. d.	270	280	20
D-136/2	Holsterhausen	120	n. d.	n. d.	870	n. d.	320	420	n. d.
D-136/3	Holsterhausen	620	n. d.	30	700	n. d.	1140	110	n. d.
D-136/4	Holsterhausen	270	n. d.	n. d.	620	n. d.	20	2040	n. d.
D-136/5	Holsterhausen	60	n. d.	n. d.	670	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-136/6	Holsterhausen	90	n. d.	n. d.	950	n. d.	220	20	10
D-136/7	Holsterhausen	110	100	n. d.	230	n. d.	80	n. d.	20
D-136/8	Holsterhausen	60	n. d.	n. d.	410	n. d.	530	880	n. d.
D-136/9	Holsterhausen	130	n. d.	n. d.	220	n. d.	n. d.	530	n. d.
D-136/10	Holsterhausen	380	n. d.	n. d.	670	n. d.	30	n. d.	n. d.
D-136/11	Holsterhausen	230	n. d.	n. d.	390	n. d.	100	n. d.	10
D-136/12	Holsterhausen	60	n. d.	90	970	n. d.	1160	n. d.	10
D-136/13	Holsterhausen	90	n. d.	20	590	n. d.	1090	120	n. d.
D-136/14	Holsterhausen	450	n. d.	n. d.	530	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-136/15	Holsterhausen	130	n. d.	20	560	n. d.	4050	1650	n. d.
D-136/16	Holsterhausen	20	n. d.	n. d.	870	n. d.	80	n. d.	70
D-136/17	Holsterhausen	20	n. d.	n. d.	870	n. d.	50	n. d.	70
D-137/1	Haltern	1140	n. d.	n. d.	420	n. d.	100	1284	40
D-137/2	Haltern	110	n. d.	n. d.	650	n. d.	70	n. d.	n. d.
D-137/3	Haltern	140	n. d.	n. d.	710	n. d.	3350	40	n. d.
D-137/4	Haltern	30	n. d.	n. d.	1020	n. d.	260	n. d.	20
D-137/5	Haltern	20	n. d.	n. d.	810	n. d.	60	280	10
D-137/6	Haltern	70	n. d.	n. d.	660	n. d.	260	110	20

D-137/7	Haltern	50	40	n. d.	560	n. d.	120	1510	10
D-137/8	Haltern	60	n. d.	20	460	n. d.	150	3140	10

Fortsetzung Tab. 9.28

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	Lokalität	Ag [ppm]	As [ppm]	Bi [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Sb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]
D-137/9	Haltern	70	n. d.	n. d.	740	n. d.	170	340	10
D-137/10	Haltern	10	n. d.	n. d.	970	n. d.	20	n. d.	100
D-137/11	Haltern	30	n. d.	n. d.	290	n. d.	120	15770	n. d.
D-137/12	Haltern	30	n. d.	n. d.	600	n. d.	90	3070	20
D-137/13	Haltern	30	n. d.	n. d.	580	n. d.	70	30	20
D-137/14	Haltern	30	n. d.	n. d.	940	n. d.	60	520	20
D-137/15	Haltern	80	10	n. d.	580	n. d.	750	n. d.	10
D-137/17	Haltern	130	n. d.	n. d.	740	n. d.	150	1770	n. d.
D-137/18	Haltern	30	n. d.	20	670	n. d.	130	760	60
D-137/19	Haltern	40	n. d.	n. d.	800	n. d.	110	10	40
D-137/20	Haltern	30	n. d.	n. d.	590	n. d.	70	540	n. d.
D-137/21	Haltern	80	n. d.	n. d.	1540	n. d.	80	n. d.	n. d.
D-137/22	Haltern	90	n. d.	n. d.	530	n. d.	n. d.	1260	n. d.
D-137/23	Haltern	20	n. d.	n. d.	700	n. d.	40	n. d.	n. d.
D-137/24	Haltern	70	n. d.	n. d.	590	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-137/25	Haltern	50	n. d.	n. d.	690	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-137/26	Haltern	100	n. d.	n. d.	600	n. d.	2730	20	n. d.
D-137/27	Haltern	40	n. d.	n. d.	980	n. d.	40	n. d.	n. d.
D-137/28	Haltern	130	n. d.	n. d.	800	n. d.	110	2320	n. d.
D-137/29	Haltern	20	n. d.	n. d.	400	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-137/30	Haltern	200	n. d.	n. d.	740	n. d.	n. d.	1100	n. d.
D-137/31	Haltern	260	n. d.	50	350	n. d.	4260	1470	n. d.
D-137/32	Haltern	30	n. d.	n. d.	790	n. d.	90	240	n. d.
D-137/33	Haltern	80	n. d.	n. d.	1250	n. d.	70	n. d.	n. d.
D-137/34	Haltern	70	n. d.	n. d.	750	n. d.	n. d.	280	n. d.
D-137/35	Haltern	50	n. d.	n. d.	740	n. d.	50	n. d.	n. d.
D-137/36b	Haltern	310	n. d.	50	810	n. d.	13610	n. d.	n. d.
D-203/1	Oberaden	580	n. d.	n. d.	700	n. d.	n. d.	n. d.	20
D-203/4	Oberaden	150	n. d.	n. d.	860	n. d.	120	n. d.	n. d.
D-203/5	Oberaden	70	n. d.	n. d.	740	n. d.	80	n. d.	n. d.
D-203/6	Oberaden	30	n. d.	n. d.	660	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-203/7	Oberaden	140	n. d.	n. d.	890	n. d.	n. d.	90	n. d.
D-203/9	Oberaden	30	10	n. d.	820	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-203/10	Oberaden	50	n. d.	n. d.	680	n. d.	20	n. d.	n. d.
D-204/1	Anreppen	30	10	n. d.	n. d.	n. d.	10	n. d.	n. d.
D-204/2	Anreppen	70	n. d.	n. d.	460	n. d.	450	2290	n. d.
D-204/3	Anreppen	70	n. d.	n. d.	460	n. d.	170	10	n. d.
D-204/4	Anreppen	30	n. d.	n. d.	850	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-204/5	Anreppen	60	10	n. d.	1250	n. d.	100	1930	n. d.
D-204/6	Anreppen	60	n. d.	n. d.	520	n. d.	120	1510	50
D-204/7	Anreppen	70	10	n. d.	590	n. d.	400	1460	n. d.
D-204/8	Anreppen	30	n. d.	10	550	n. d.	110	230	n. d.
D-204/9	Anreppen	50	10	n. d.	540	n. d.	70	1580	n. d.
D-204/10	Anreppen	40	n. d.	n. d.	570	n. d.	40	n. d.	20
D-204/12	Anreppen	20	n. d.	n. d.	890	n. d.	n. d.	n. d.	30
D-204/13	Anreppen	90	n. d.	n. d.	550	n. d.	20	90	n. d.
D-204/14	Anreppen	70	n. d.	n. d.	1160	n. d.	20	n. d.	n. d.
D-204/15	Anreppen	30	n. d.	n. d.	740	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-204/16	Anreppen	30	n. d.	n. d.	1240	n. d.	n. d.	420	20
D-204/17	Anreppen	50	n. d.	n. d.	240	n. d.	20	5140	n. d.
D-204/18	Anreppen	130	n. d.	n. d.	270	n. d.	20	n. d.	n. d.
D-204/19	Anreppen	40	n. d.	n. d.	1380	n. d.	410	20	n. d.
D-204/20	Anreppen	60	n. d.	n. d.	950	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-204/21	Anreppen	50	50	n. d.	980	n. d.	240	110	n. d.
D-204/22	Anreppen	40	40	n. d.	930	n. d.	110	n. d.	n. d.
D-204/23	Anreppen	40	40	n. d.	880	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-213/1	Hedemünden	100	690	40	220	n. d.	290	13460	n. d.
D-213/2	Hedemünden	140	50	n. d.	520	n. d.	30	60	n. d.

9.2b Haupt- und Spurenelemente Bleimetall (germanisch)

Tab. 9.29: Auf Pb normierte Spurenelementgehalte der germanischen Bleiobjekte.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	Lokalität	Ag [ppm]	As [ppm]	Bi [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Sb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]
D-110/1	B.-Wb.-Bleiw.	40	n. d.	n. d.	420	10	70	n. d.	n. d.
D-110/2	B.-Wb.-Bleiw.	300	110	n. d.	400	20	1400	n. d.	n. d.
D-110/3	Warbg.-Menne	50	n. d.	n. d.	430	10	40	n. d.	n. d.
D-125/1	Warbg.-Menne	140	70	n. d.	650	10	680	29300	n. d.
D-110/4	Salzkotten-Th.	20	n. d.	n. d.	370	60	40	n. d.	n. d.
D-110/5	Brilon-Osterh.	20	40	140	260	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-110/6	Brilon-Osterh.	20	30	170	450	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-199/1	Brilon-Osterh.	n. d.	n. d.	n. d.	460	n. d.	400	n. d.	n. d.
D-199/2	Brilon-Osterh.	50	n. d.	n. d.	310	n. d.	20	n. d.	n. d.
D-122/2	Brilon-Altenb.	20	n. d.	140	420	n. d.	150	n. d.	n. d.
D-122/3	Brilon-Altenb.	20	20	130	320	n. d.	20	20	340
D-122/4	Brilon-Altenb.	30	n. d.	n. d.	280	n. d.	60	n. d.	n. d.
D-122/5	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	360	n. d.	30	n. d.	n. d.
D-122/6	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	330	n. d.	40	n. d.	n. d.
D-122/7	Brilon-Altenb.	20	n. d.	80	200	n. d.	20	20	10
D-122/8	Brilon-Altenb.	210	n. d.	70	190	n. d.	30	n. d.	20
D-122/9	Brilon-Altenb.	20	10	140	520	n. d.	300	n. d.	20
D-122/10	Brilon-Altenb.	70	60	120	420	n. d.	40	50	30
D-122/11	Brilon-Altenb.	50	n. d.	100	570	n. d.	30	n. d.	20
D-122/12	Brilon-Altenb.	20	10	200	n. d.	n. d.	50	n. d.	n. d.
D-122/13	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	360	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-122/14	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	340	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-122/15	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	420	n. d.	180	n. d.	n. d.
D-122/16	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	500	n. d.	100	n. d.	40
D-122/17	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	510	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-122/18	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	330	n. d.	140	n. d.	n. d.
D-122/19	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	350	n. d.	30	n. d.	n. d.
D-122/20	Brilon-Altenb.	40	n. d.	n. d.	390	n. d.	70	n. d.	n. d.
D-122/21	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	550	n. d.	50	n. d.	n. d.
D-122/22	Brilon-Altenb.	80	n. d.	n. d.	550	n. d.	980	n. d.	20
D-122/23	Brilon-Altenb.	40	n. d.	90	110	n. d.	40	n. d.	n. d.
D-122/24	Brilon-Altenb.	n. d.	n. d.	n. d.	510	n. d.	210	n. d.	n. d.
D-122/25	Brilon-Altenb.	130	n. d.	n. d.	440	n. d.	820	n. d.	n. d.
D-122/26	Brilon-Altenb.	50	n. d.	n. d.	610	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-150/1	Brilon-Fülßen.	30	n. d.	110	250	n. d.	n. d.	n. d.	50
D-150/2	Brilon-Fülßen.	40	10	120	400	n. d.	60	80	20
D-123/1	Lippstdt.-Ded.	20	n. d.	n. d.	350	30	n. d.	30	n. d.
D-124/1a	Höxter-Bruch.	180	n. d.	n. d.	300	20	10	n. d.	n. d.
D-124/1b	Höxter-Bruch.	30	n. d.	n. d.	110	40	1460	3690	n. d.
D-126/1	Willebadessen	50	50	n. d.	460	10	360	23210	n. d.
D-130/1	Soest	10	20	n. d.	550	20	190	n. d.	30
D-131/1	Soest	20	n. d.	n. d.	120	n. d.	40	n. d.	10
D-131/2	Soest	20	n. d.	n. d.	30	n. d.	10	n. d.	10
D-131/3	Soest	20	n. d.	n. d.	470	10	80	n. d.	40
D-131/4	Soest	80	n. d.	20	270	n. d.	620	7260	n. d.
D-131/5a	Soest	10	n. d.	n. d.	300	n. d.	n. d.	10	20
D-131/5b	Soest	20	n. d.	n. d.	280	n. d.	110	n. d.	10
D-131/6a	Soest	10	n. d.	10	470	n. d.	280	n. d.	n. d.
D-131/6b	Soest	10	n. d.	n. d.	480	n. d.	270	n. d.	10
D-131/7	Soest	10	n. d.	10	420	n. d.	20	n. d.	30
D-131/8a	Soest	20	n. d.	n. d.	390	n. d.	10	n. d.	30
D-131/8b	Soest	10	n. d.	n. d.	380	n. d.	20	n. d.	30
D-131/9	Soest	10	n. d.	n. d.	110	n. d.	30	n. d.	10
D-131/10	Soest	20	n. d.	n. d.	340	n. d.	20	n. d.	40
D-131/11	Soest	20	n. d.	n. d.	410	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-132/1	Soest	30	20	n. d.	480	10	420	n. d.	10
D-132/2	Soest	10	n. d.	n. d.	440	10	50	n. d.	30
D-132/3	Soest	30	n. d.	50	300	n. d.	740	12960	n. d.
D-132/4	Soest	30	n. d.	n. d.	420	n. d.	350	n. d.	10
D-132/5	Soest	30	n. d.	n. d.	250	n. d.	50	n. d.	n. d.
D-132/6	Soest	n. d.	n. d.	n. d.	440	n. d.	240	n. d.	n. d.
D-132/7	Soest	n. d.	n. d.	n. d.	480	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-133/1	Soest	10	n. d.	n. d.	410	n. d.	80	n. d.	30

Fortsetzung Tab. 9.29

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	Lokalität	Ag [ppm]	As [ppm]	Bi [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Sb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]
D-133/2	Soest	210	n. d.	n. d.	600	n. d.	80	n. d.	n. d.
D-133/3	Soest	40	n. d.	n. d.	340	n. d.	50	n. d.	n. d.
D-133/4	Soest	n. d.	n. d.	n. d.	330	n. d.	n. d.	n. d.	30
D-133/5	Soest	40	n. d.	n. d.	320	n. d.	10	n. d.	n. d.
D-133/6	Soest	n. d.	n. d.	n. d.	430	n. d.	30	n. d.	n. d.
D-134/1	Soest	20	n. d.	n. d.	390	n. d.	120	n. d.	20
D-134/2	Soest	240	n. d.	n. d.	750	n. d.	6340	n. d.	n. d.
D-134/3	Soest	200	n. d.	40	500	n. d.	670	1230	n. d.
D-134/4	Soest	100	n. d.	10	250	n. d.	280	2860	n. d.
D-134/5	Soest	40	n. d.	n. d.	400	n. d.	80	n. d.	n. d.
D-134/6	Soest	30	n. d.	n. d.	210	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-134/7	Soest	80	n. d.	n. d.	420	n. d.	490	n. d.	n. d.
D-135/2	Sendenhorst	n. d.	n. d.	n. d.	500	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-155/1	Balve-Garb.	40	n. d.	n. d.	290	n. d.	230	n. d.	30
D-155/2	Balve-Garb.	70	n. d.	n. d.	550	n. d.	750	n. d.	n. d.
D-155/3	Balve-Garb.	40	n. d.	n. d.	450	n. d.	480	n. d.	20
D-155/4	Balve-Garb.	480	n. d.	n. d.	350	n. d.	1830	n. d.	n. d.
D-155/5	Balve-Garb.	50	n. d.	n. d.	360	n. d.	170	n. d.	n. d.
D-155/6	Balve-Garb.	60	n. d.	n. d.	350	n. d.	20	n. d.	n. d.
D-155/7	Balve-Garb.	40	n. d.	n. d.	200	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
D-155/8	Balve-Garb.	90	n. d.	n. d.	430	n. d.	450	n. d.	n. d.
D-155/9	Balve-Garb.	100	n. d.	n. d.	460	n. d.	460	n. d.	n. d.

9.2c Haupt- und Spurenelemente Bleischlacken (Lüderich)

Tab. 9.30: Chemische Zusammensetzung der bearbeiteten Bleischlacken vom Lüderich (Bergisches Land).

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	D-102a	D-102b	D-102c	D-102e	D-102f
CHEMISMUS					
SiO ₂ [wt%]	63,10	73,70	49,70	35,30	44,40
TiO ₂	0,39	0,39	0,26	0,25	0,27
Al ₂ O ₃	6,48	6,35	4,42	4,18	4,85
Fe ₂ O ₃	7,53	6,50	14,60	21,60	15,30
MnO	0,24	0,10	0,28	0,43	0,49
Na ₂ O	0,54	0,09	0,18	0,17	0,14
MgO	0,58	0,27	0,39	0,42	0,48
CaO	3,01	0,97	3,07	3,75	2,32
ZnO	5,15	2,84	8,26	7,62	6,14
S [at%]	0,14	0,06	0,23	0,28	0,17
Pb	12,3	7,5	19,2	27,1	25,9
Cr [ppm]	80	100	100	60	70
As	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Cu	440	1100	2700	2300	1000
Ag	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Sb	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Ba	430	170	330	360	320
Ni	30	40	50	30	30
Σ [wt%]	100,7	99,5	100,5	100,9	100,8

9.2d Haupt- und Spurenelemente Bleiglätte (Lüderich)

Tab. 9.31: Chemische Zusammensetzung der bearbeiteten Bleiglätte vom Lüderich (Bergisches Land).

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	D-102/19a (BG1)	D-102/19b (BG2)	D-102/34 (BG3)	D-102/38 (BG4)
CHEMISMUS				
SiO ₂ [wt%]	0,73	0,38	4,19	0,38
TiO ₂	0,02	n. d.	0,56	0,02
Al ₂ O ₃	0,35	0,07	3,05	0,21
Fe ₂ O ₃	0,03	n. d.	0,38	n. d.
MnO	0,02	n. d.	0,12	n. d.
Na ₂ O	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
MgO	0,09	n. d.	0,17	0,01
CaO	1,00	0,05	2,86	0,02
P ₂ O ₅	0,04	0,08	0,29	0,02
S [at%]	0,11	0,02	0,62	0,04
Pb	89,8	87,7	73,4	87,4
Cr [ppm]	230	180	290	170
Zn	140	10	2700	20
As	50	40	150	40
Cu	3200	1500	3300	1500
Ag	<0,001	<0,001	32	<0,001
Sb	n. d.	n. d.	1200	n. d.
Ba	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Ni	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Σ [wt%]	92,5	88,4	86,2	88,3

9.3 Fundliste

In diesem Kapitel werden die vom Verfasser beprobten römischen und germanischen Bleifunde Germaniens aufgelistet. Im ersten Teil werden die römischen Bleifunde aus den Militärlagern Westfalens und vom Kalkrieser Schlachtfeld aufgeführt. Fünf Bleibarren aus dem augusteischen Schiffwrack von Rena Maggiore (Sardinien) (Riccardi & Genovesi, 2002), von denen einer aufgrund seiner Inschriften aus dem römischen Germanien stammt, und ein römisches Bleibarrenfragment aus Bad Sassendorf-Heppen in Westfalen (Schulten, 1917) werden ebenfalls vorgestellt.

Im zweiten Teil werden die Bleifunde der westfälischen Siedlungen der frühen Römischen Kaiserzeit (1. und 2. Jahrhundert n. Chr.) aufgelistet. Von den mittlerweile fast 70 in Westfalen entdeckten Kleinbarren werden in diesem Kapitel rund 50 Stück vorgestellt (detaillierte Diskussion über die Barren in Rothenhöfer, 2004b, 2007 und Bérenger, 2007).

Tab. 9.32: *Bleifunde der Marschlager von Dorsten-Holsterhausen (Kreis Recklinghausen), Projekt Dorsten-Kreskenhof, Ruhr-Universität Bochum, Institut für Ur- und Frühgeschichte.*

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. RUB	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-136/1	5805	Bleistück, Lesefund, 180g	X	X
D-136/2	5860	Bleirest aus röm. Graben, 6g		X
D-136/3	5838	Bleirest	X	X
D-136/4	4722	Bleirest aus röm. Graben, 12g	X	X
D-136/5	4464	Bleirest, 9g	X	X
D-136/6	5390	rundes Bleigewicht mit mittiger Lochung, 77g	X	X
D-136/7	14	röm. Bleilot aus einem „german.“ Haus, 31g	X	X
D-136/8	6368	spinnwirtelartiges Bleiobjekt, 18g	X	X
D-136/9	4866	Bleigewicht, 29g	X	X
D-136/10	37	Bleigewicht mit Henkel, 12g	X	X
D-136/11	4444	zylinderförmiges Bleigewicht, 27g	X	X
D-136/12	4482	Bleigewicht, 16g	X	X
D-136/13	4344	Bleilot, 19g	X	X
D-136/14	6420	spinnwirtelartiges Bleiobjekt, 8g	X	X
D-136/15	5699	Bleilotfragment, 14g	X	X
D-136/16	3939	spinnwirtelartiges Bleiobjekt, 11g	X	X
D-136/17	4632	Schleuderblei, 32g	X	X

Tab. 9.33: Bleifunde der Halterner Lager (Kreis Recklinghausen), Westfälisches Museum für Archäologie.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-137/1	237	rundes Bleistück mit Lochung, 574g	X	X
D-137/2	242	Bleirest, 572g	X	X
D-137/3	241	Bleirest, 848g	X	X
D-137/4	222 (1)	Bleigewicht mit Eisenhenkeln, 310g	X	X
D-137/5	Alte Post, 235/2	Bleigewicht mit Eisenhenkeln, > 1kg	X	X
D-137/6	236	Bleigewicht, 638g	X	X
D-137/7	237	Bleigewicht, > 1kg	X	X
D-137/8	223	rundes Bleistück mit Lochung in der Mitte, 778g	X	X
D-137/9	234 (Mai 1956: 259)	Bleigewicht, > 6kg	X	X
D-137/10	227 (25/29589)	rechteckiges Bleistück mit Lochung, > 1kg	X	X
D-137/11	222 (2)	Bleihütchen, 34g	X	X
D-137/12	171 (208)	rundes Bleigewicht mit Lochung, 101g	X	X
D-137/13	229 (1)	runder Bleigegegenstand mit Lochung, 37g	X	X
D-137/14	229 (2)	runder Bleigegegenstand, 24g	X	X
D-137/15	172/229	Bleigegegenstand, 52g	X	X
D-137/16	231 (1)	Bleischeibe, mittig gelocht, 52g	X	-
D-137/17	231 (2)	Bleigegegenstand, 40g	X	X
D-137/18	173/229	Bleigegegenstand, seitlich gelocht, 188g	X	X
D-137/19	137/229	Bleigewicht mit Lochung, 149g	X	X
D-137/20	137/20	hohles Bleistück, 146g	X	X
D-137/21	k.a.	röm. Bleibarren, XIX LEGIO, >60kg	X	X
D-137/22	254	Bleirohr, L. 50cm, D. 6cm	X	X
D-137/23	Ha67/LF99	Bleirohrabschluss, L. 13cm, B. 12cm	X	X
D-137/24	240	Bleifluss	X	X
D-137/25	239	Bleifluss	X	X
D-137/26	241	Bleifluss	X	X
D-137/27	222 (3)	Bleilot	X	X
D-137/28	Ha63/98A	Bleilot	X	X
D-137/29	232	Bleiring	X	X
D-137/30	Ha, Wellm. Grube 24, 1964	gabelförmiges Bleiobjekt mit Rinnen	X	X
D-137/31	155	tellerförmiges Bleiobjekt mit Eisenbeschlag	X	X
D-137/32	Ha68/402	Schleuderblei	X	X
D-137/33	Ha67/LF60	Schleuderblei	X	X
D-137/34	Ha56/505	Bleigewicht	X	X
D-137/35	Ha84.593, F1	Bleigewicht	X	X
D-137/36b	k.a.	Bleifüllung eines glockenförm. Kupfergewichts	X	X

Tab. 9.34: Bleifunde des Lagers von Oberaden (Kreis Unna), Westfälisches Museum für Archäologie.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-203/1	Oa85.051/F (Gr. 112)	Bleifluss	X	X
D-203/2	Oa86.017/F (Gr. 67)	Bleiplättchen	X	-
D-203/3	Oa86.017/F (Gr. 67)	Bleiplättchen	X	-
D-203/4	Oa86.033/F (Gr. 88a)	Bleiblechfragment	X	X
D-203/5	Oa92.034/F (Gr. 24)	verschmolzenes Bleistück	X	X
D-203/6	Oa91.044/F (Gr. 53)	Bleistück	X	X
D-203/7	Oa96.044/F	ringförmiges Bleistück	X	X
D-203/8	Oa96.058/F	Bleistück	X	-
D-203/9	Oa2002.013/F1	Bleifluss	X	X
D-203/10	Oa2000.013/F2, Planum 2, Graben 1	Bleifragment	X	X
D-203/11	Oa2003.053/F1, Graben	gefaltetes Blech	X	-

Tab. 9.35: Bleifunde des Lagers von Anreppen (Kreis Paderborn), Westfälisches Museum für Archäologie.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-204/1	An90.221/F, Lage F4	längliches Bleistück	X	X
D-204/2	An90.232/F	Bleiplatte	X	X
D-204/3	An90.358/F, Fst. 10	Bleistück	X	X
D-204/4	An90.005/F1 (Gr. 17)	Bleistück	X	X
D-204/5	An92.032/F1, Fst. 69	Bleifragment	X	X
D-204/6	An93.023/F1 (Gr. 70)	Bleifragment	X	X
D-204/7	An93.027/F1 (Gr. 74)	Bleifragment	X	X
D-204/8	An93.070	Bleifluss	X	X
D-204/9	An95.144/F1 (Gr. 154) Fst. 79	Bleifluss	X	X
D-204/10	An99.145/F1 (Gr. 191) Fst. 16	Bleistück	X	X
D-204/11	An2000.016/F2	Bleiglanzstück	X	-
D-204/12	An2000.258/F1	keilförmiges Bleistück	X	X
D-204/13	An92.144/F1	Bleifragment, 12,5g	X	X
D-204/14	An92.152/F1	gefaltetes, profiliertes Bleiband	X	X
D-204/15	An90.350/F	Bleifluss, 38g	X	X
D-204/16	An95.235/F1	Bleistab, 265g	X	X
D-204/17	An94.225/F1	Bleiklumpen, 28,5g	X	X
D-204/18	An94.056/F1	Bleiröhrchen, 20g	X	X
D-204/19	An91.068/F1	Bleifragment, 17g	X	X
D-204/20	An95.126/F1	Bleiklumpen, 52,5g	X	X
D-204/21	An2000.257/F1	Bleitschuß in Muschelform, 60,5g	X	X
D-204/22	An92.011/F1	vierkantiges Bleistück, 133g	X	X
D-204/23	An94.232/F1	Bleiklumpen, 1308g	X	X

Tab. 9.36: Bleifunde des Lagerkomplexes von Hedemünden (Kreis Göttingen), Archäologische Denkmalpflege Göttingen.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. AD GÖTTINGEN	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-213/1	k.a.	Bleimarke mit konzentrischen Ringen, 6g	X	X
D-213/2	k.a.	Bleirest, 8g	X	X

Tab. 9.37: Bleifunde des Schlachtfeldes von Kalkriese (Kreis Osnabrück), Museum Kalkriese.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. KALKRIESE	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-121/1	22390	schifförmiger Bleibarren, 277,5g	X	X
D-121/2	1723	Bleigewicht, 12g	X	X
D-121/3	33W	Schleuderblei, nicht stratifiziert, 42g	X	X
D-121/4	1725	rechteckiges Bleigewicht, 38g	X	X
D-121/5	1	spinnwirtelartiges Bleiobjekt, 34g, Sondierungsfund	X	X
D-121/6	C1	Bleigewicht mit obenständiger Lochung, 101g, Sondierungsfund	X	X

Tab. 9.38: Das römische PVDENS-Bleistück von Brilon-Altenbüren (HSK), Westfälisches Museum für Archäologie, Außenstelle Olpe.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-122/1	k.a.	stark fragmentiertes rundes Bleistück mit Inschrift	X	X

Tab. 9.39: Die römischen Bleibarren aus Westfalen und dem Mittelmeerraum.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. STADT- ARCHÄOLOGIE SOEST	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-135/1	83-3729, Bad Sassendorf-Heppen (Kr. SO), Lesefund	Teilstück eines römischen Bleibarrens, ~ 13kg	X	X
INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGICA, SARDINIA	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
1-25/1a	k.a.	pyramidenstumpfförmiger Bleibarren mit Inschrift AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM, Rena Maggiore (Sardinien)	X	-
1-25/1b	k.a.	(ders.)	X	-
1-25/1c	k.a.	(ders.)	X	-
1-25/2	k.a.	nahezu rechteckiger, flacher Bleibarren ohne Inschrift	X	-
1-25/3	k.a.	nahezu rechteckiger, flacher Bleibarren ohne Inschrift	X	-
1-25/4	k.a.	nahezu rechteckiger, flacher Bleibarren ohne Inschrift	X	-
1-25/5	k.a.	nahezu rechteckiger, flacher Bleibarren ohne Inschrift	X	-

Tab. 9.40: Die Funde vom römischen Blei-/Silbergewinnungsplatz am Lüderich (Bergisches Land, Rheinisch-Bergischer Kreis), Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege, Außenstelle Overath, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Abteilung Montanarchäologie und Archäometallurgie.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. RAB/DBM	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-102/1	OV97/100, 3-3	Bleiklammer, 14g	X	X
D-102/2	OV97/100, 1-8	Bleiglättezapfen, 22g	X	X
D-102/3	OV97/100, 2-8	Bleiglättezapfen, 25g	X	X
D-102/30	OV00/084, 2-12-1	Bleiröhrchen, 7g	X	-
D-102/31	OV00/084, 37-5	Bleistück, 17g	X	X
D-102/32	OV00/084, 19-14	Bleistück, 10g	X	-
D-102/33	OV00/084, 7-2	Bleistück, 12g	X	X
D-102/35	OV00/084, 19-17	Bleiplättchen mit Nadelloch, 26,5g	X	-
D-102/36	OV00/084, 24-4	Bleiblech, 7,5g	X	-
D-102/37	OV00/084, 26-4	Bleistück, 75,5g	X	X
D-102/19a (BG1)	OV00/084, 26-4	Bleiglätte, 370g	X	X
D-102/19b (BG2)	OV00/084, 26-4	Bleiglätte, 486g	X	X
D-102/34 (BG3)	OV00/084, 19-14	Bleiglätte, 452g	X	X
D-102/38 (BG4)	OV00/084	Bleiglätte, 380g	X	X
D-102/a	OV03/110, 29-10	Bleischlacke, 320g	X	X
D-102/b	OV03/110, 29-10	Bleischlacke, 285g	X	X
D-102/c	OV03/110, 29-10	Bleischlacke, 210g	X	X
D-102/e	OV03/110, 29-10	Bleischlacke, 230g	X	X
D-102/f	OV03/110, 29-10	Bleischlacke, 295g	X	X

Tab. 9.41: Die Bleifunde der „germanischen“ Siedlung von Soest, Stadtarchäologie Soest.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. STADT- ARCHÄOLOGIE SOEST	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-130/1	02/1, Fundstelle 228, Lese Fund	Bleibarrenfragment, 1,11kg	X	X
D-131/4	02/20, Fundstelle 198, F 887	„Formstück“, 60g	X	X
D-131/5a	02/5, Fundstelle 198, F 883	Bleirest, 168g	X	X
D-131/5b	02/6, Fundstelle 198, F 883	Bleirest, 68g	X	X
D-131/6a	02/7, Fundstelle 198, F 767	Bleirest, 61g	X	X
D-131/6b	02/8, Fundstelle 198, F 767	Bleirest, 105g	X	X
D-131/7	02/9, Fundstelle 198, F 618	„Bleispirale“, 20g	X	X
D-131/8a	02/10, Fundstelle 198, F 734	Bleiobjekt, 35g	X	X
D-131/8b	02/11, Fundstelle 198, F 734	Bleistreifen, 36g	X	X
D-131/9	02/12, Fundstelle 198, F 887	Bleirest, 150g	X	X
D-131/10	02/13, Fundstelle 198, F 617	Bleirest, 37g	X	X

Fortsetzung Tab. 9.41

D-131/11	04/7, Fundstelle 198, F 1015	Gussabfall, 60g	X	X
D-132/1	02/14, Fundstelle 199, F 148	Bleirest, 44g	X	X
D-132/2	02/15, Fundstelle 199, Lesefund	Bleiobjekt, 82g	X	X
D-132/3	02/16, Fundstelle 199	verziertes Bleiobjekt, 250g	X	X
D-132/5	04/7, Fundstelle 199, F 1284	Bleiblech, 2,3kg	X	X
D-132/7	04/6, Fundstelle 199, F 2805	Bleiabfall, ~ 4kg	X	X
D-133/1	02/18, Fundstelle 200, Quadrant 8	Bleistreifen, 674g	X	X
D-133/2	04/133, Fundstelle 200, Lesefund	Gussabfall, 58g	X	X
D-133/3	04/8, Fundstelle 200, F 2472	Bleiblech, 1,3kg	X	X
D-133/4	04/134, Fundstelle 200, F 2472	Bleiabfall, 180g	X	X
D-133/5	04/135, Fundstelle 200, F 2370	Bleiobjekt, 576g	X	X
D-133/6	02/21, Fundstelle 200, Lesefund	„barrenartiges Bleistück“, 2,6kg	X	X
D-134/2	04/136, Fundstelle 150, Lesefund	„barrenartiges Bleistück“, 247g	X	X
D-134/3	04/137, Fundstelle 252, Lesefund	Bleiblech, 239g	X	X
D-134/4	04/11, Fundstelle 163, Lesefund	verziertes Bleiobjekt, 50g	X	X
D-134/6	04/139, Fundstelle 201, Lesefund	Schleuderblei, 22g	X	X
D-134/7	04/140, Fundstelle 166, Lesefund	Schleuderblei, 57g	X	X

Tab. 9.42: Die Bleifunde der „germanischen“ Siedlungen von Brilon-Altenbüren, Brilon-Fülßenbecke (Hochsauerlandkreis), Bruchhausen, Warburg-Menne, Willebadessen (Kreis Höxter) und Sendenhorst-Albersloh (Kreis Warendorf), Westfälisches Museum für Archäologie, Münster und die Außenstellen Bielefeld und Olpe.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOPIE	SPURENELEMENTE
D-124/1a	k. a., Lesefund, Bruchhausen, Wüstung Inkenrode,	Bleirest	X	X
D-124/1b	k. a., Lesefund, Bruchhausen, Wüstung Inkenrode	Bleirest	X	X
D-125/1	k. a., Lesefund, Warburg-Menne, Wüstung Sunrike	Bleirest	X	X
D-126/1	k. a., Lesefund, Willebadessen, Teichacker	Bleirest	X	X
D-122/11	k. a., Brilon-Altenbüren	Bleistück	X	X
D-122/12	k. a., Brilon-Altenbüren	bandförmiges Bleistück, 284g	X	X
D-135/2	k.a., Sendenhorst-Albersloh	ringförmiger Bleibarren, ~ 4,4kg	X	X
D-150/2	6669, Brilon-Fülßenbecke, Lesefund	bandförmiges Bleistück, 390g	X	X

Tab. 9.43: Die „germanischen“ Kleinbarren der Siedlung Soest, Stadtarchäologie Soest.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. STADT- ARCHÄOLOGIE SOEST	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-131/1	02/2, Fundstelle 198, LeseFund	Bleibarren, 628g	X	X
D-131/2	02/3, Fundstelle 198, LeseFund	Bleibarren, 548g	X	X
D-131/3	02/4, Fundstelle 198, Abraum von Haus 1	Bleibarren, 494g	X	X
D-132/4	02/17, Fundstelle 199, LeseFund	Bleibarren, 468g	X	X
D-132/6	02/118, Fundstelle 199, F 2805	Bleibarren, 354g	X	X
D-134/1	02/19, Fundstelle 225, LeseFund	Bleibarren, 452g	X	X
D-134/5	04/138, Fundstelle 225, LeseFund	Bleibarren, 228g	X	X

Tab. 9.44: Die „germanischen“ Kleinbarren von Brilon-Osterhof (HSK), Westfälisches Museum für Archäologie Münster und Olpe.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-110/5	Olpe, 8214 1/1, Wüstung Düggeler	Bleibarren, 430g	X	X
D-110/6	Olpe, 8214 1/2, Wüstung Düggeler	Bleibarren, 365g	X	X
D-199/1	Münster, k. A., Wüstung Düggeler	Bleibarren, 478,5g	X	X
D-199/2	Münster, k. A., Wüstung Düggeler	glockenförmiger Bleibarren, 374,5g	X	X

Tab. 9.45: Die „germanischen“ Kleinbarren von Brilon-Altenbüren und Brilon-Fülsenbecke (Hochsauerlandkreis), Westfälisches Museum für Archäologie, Museum Herne.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-122/2	k. a.	kubusförm. Bleibarren, 413g	X	X
D-122/3	k. a.	Bleibarren, mit rechteckiger Lochung, 362g	X	X
D-122/4	k. a.	Bleibarren, 429g	X	X
D-122/5	k. a.	Bleibarren mit rechteckiger Lochung, 345g	X	X
D-122/6	k. a.	Bleibarren mit rechteckiger Lochung, 462g	X	X
D-122/7	k. a.	Bleibarren mit rechteckiger Lochung, 343g	X	X
D-122/8	k. a.	Bleibarren, 393g	X	X
D-122/9	k. a.	Bleibarren, 471g	X	X
D-122/10	k. a.	unförm. Bleibarren, 470g	X	X
D-122/13	k. a.	fladenförm. Bleibarren, 449g	X	X
D-122/14	k. a.	fladenförm. Bleibarren, 377g	X	X
D-122/15	k. a.	Bleibarren, 331g	X	X
D-122/16	k. a.	Bleibarren, 343g	X	X
D-122/17	k. a.	Bleibarren, 751g	X	X

Fortsetzung Tab. 9.45

D-122/18	k. a.	Bleibarren, 305g	X	X
D-122/19	k. a.	Bleibarren, 322g	X	X
D-122/20	k. a.	unförm. Bleibarren, 221g	X	X
D-122/21	k. a.	Bleibarren, 467g	X	X
D-122/22	k. a.	Bleibarren, 483g	X	X
D-122/23	k. a.	Bleibarren, 337g	X	X
D-122/24	k. a.	unförm. Bleibarren ohne Lochung, 495g	X	X
D-122/25	k. a.	Bleibarren, 200g	X	X
D-122/26	k. a.	glockenförm. Bleibarren, 537g	X	X
D-150/1 (Brilon-Fülsenbecke)	k. a.	Bleibarren, 625g	X	X

Tab. 9.46: Die „germanischen“ Kleinbarren von Balve-Garbeck (Märkischer Kreis), Westfälisches Museum für Archäologie, Museum Herne.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-155/1	k. a.	Bleibarren, 488g	X	X
D-155/2	k. a.	Bleibarren, 450g	X	X
D-155/3	k. a.	rechteckiger Bleibarren, 444g	X	X
D-155/4	k. a.	Bleibarren, 470g	X	X
D-155/5	k. a.	Bleibarren, 377g	X	X
D-155/6	k. a.	Bleibarren, 615g	X	X
D-155/7	k. a.	rechteckiger Bleibarren, 464g	X	X
D-155/8	k. a.	Bleibarren mit Löchern in der Mitte, 479g	X	X
D-155/9	k. a.	Rechteckiger Bleibarren mit Löchern in der Mitte, 508g	X	X

Tab. 9.47: Die „germanischen“ Kleinbarren von Bad Wünnenberg-Bleiwäsche, Salzkotten-Thüle, Lippstadt-Dedinghausen (Kreis Paderborn) und Warburg-Menne (Kreis Höxter), Westfälisches Museum für Archäologie, Außenstelle Bielefeld.

INV.-NR. UNI MÜNSTER/DBM	INV.-NR. WMFA	BESCHREIBUNG	BLEIISOOTOPIE	SPURENELEMENTE
D-110/1 (Bleiwäsche)	k. a., Lesefund	kegelförmiges Bleigewicht mit rechteckiger Lochung, 510g	X	X
D-110/2 (Bleiwäsche)	k. a., Lesefund	Bleigewicht, 330g	X	X
D-110/3 (Warburg-Menne)	k. a., Pflughorizont	Bleigewicht, 630g	X	X
D-110/4 (Salzkotten-Thüle)	F 189	Bleigewicht, 605g	X	X
D-123/1 (Dedinghausen)	F 25	Bleigewicht	X	X

9.4 Liste der Abbildungen, Tabellen und Fotos

Abbildungen

- Abb. 1.1: Karte des Mittelmeerraumes mit Fundorten römischer Transportschiffe (Karte nach Herschend, 1995).
- Abb. 1.2: U- und Th-Mutterisotope und Pb-Tochterisotope zur Zeit der Erdformation und in der Gegenwart. (Abbildung nach Gulson, 1986).
- Abb. 1.3: Verteilung „germanischer“ Kleinbarren in Westfalen (Rothenhöfer, 2007).
- Abb. 2.1: Überblick über die römischen Expeditionen/Unternehmungen nach Germanien von 12 v. bis 6 n. Chr. (Karte nach Wolfram, 1991).
- Abb. 2.2: Überblick über die römischen Expeditionen/Unternehmungen nach Germanien von 14-16 n. Chr. (Karte nach Wolfram, 1991).
- Abb. 2.3: Lage der augusteisch-(tiberischen) Römerlager in Germanien an der Lippe und an der Werra.
- Abb. 3.1: Postvariszische mineralisierte Querstörungssysteme im „Briloner Graben“.
- Abb. 3.2: Überblick über die Lage der Pb-Zn-Vererzungen der antiken Bleibergbaureviere des Rheinischen Schiefergebirges.
- Abb. 3.3: Postvariszische mineralisierte Querstörungssysteme im „Briloner Graben“ südlich von Brilon.
- Abb. 3.4: Lageskizze des Lüderich-Gangzuges und des Nikolaus-Phönix-Ganges und Verbreitungsgebiet der Bensberger Schichten.
- Abb. 3.5: Die Pb-Zn-Vererzungen der antiken Bleibergbaureviere von Cevennen und Montagne Noir.
- Abb. 3.6: Lage der römischen Bleierzreviere in Britannien
- Abb. 3.7: Die Pb-Zn-Vererzungen der antiken Bleibergbaureviere der Sierra Morena und des Südostzipfels der Iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazzaròn, Sierra de Almagrera, Cabo de Gata).
- Abb. 4.1: Karte des römisch besetzten Europas unter Augustus (verändert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Roman-Empire-Augustus.png>).
- Abb. 5.1: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm, Bleiobjekte, Oberaden-Horizont.
- Abb. 5.2: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm, Bleiobjekte, Haltern-Horizont.

- Abb. 5.3: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der Römerlager der Germania Magna und Bleierzlagerstätten Sardinien, der Cevennen/Montagne Noir und Griechenlands.
- Abb. 5.4: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der Römerlager der Germania Magna und der republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarròn, Sierra Morena).
- Abb. 5.5: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der Römerlager der Germania Magna und der potentiellen republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarròn, Sierra Morena) sowie der frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der Nordwesteifel und des Bergischen Landes.
- Abb. 5.6: Lage der römischen Militärlager an Niederrhein und Lippe und des Reviere von Brilon.
- Abb. 5.7: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleiobjekte der Römerlager der Germania Magna des Haltern-Horizontes und Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarròn), von Brilon und dem Bergischen Land.
- Abb. 5.8: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der römischen Bleibarren und des PVDENS-Bleistücks und der potentiellen republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarròn, Sierra Morena) und der frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten von Nordwesteifel und Bergischen Land.
- Abb. 5.9: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der vorgestellten römischen Bleibarren und des PVDENS-Bleistücks und der relevanten republikanisch-frühkaiserzeitlichen Bleierzlagerstätten der iberischen Halbinsel (Cartagena-Mazarròn, Sierra Morena) und der Bleierzlagerstätten von Brilon und des Bergischen Landes.
- Abb. 5.10: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der „germanischen“ Bleibarren Westfalens und den Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon.
- Abb. 5.11: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Diagramm mit Daten der Bleifunde der „germanischen“ Siedlungen Westfalens und der Bleierzlagerstätten des historischen Bergbaugesbietes von Brilon.
- Abb. 5.12: Histogramm für die Ag-Gehalte des Bleiglanz der Nordwesteifel.
- Abb. 5.13: Histogramm für die Ag-Gehalte des Bleiglanz von Brilon.

- Abb. 5.14: Histogramm für die Ag-Gehalte der „germanischen“ Bleifunde.
- Abb. 5.15: Histogramm für die Ag-Gehalte der römischen Bleifunde.
- Abb. 5.16: Zinnanteile für die Sn führenden römischen Bleiobjekte der Römerlager.
- Abb. 5.17: Zinn-Anteile in den germanischen Bleiobjekten.
- Abb. 5.18: Ag/Cu- und As/Sb-Verhältnisse in Bleiglanzproben der Nordwesteifel und von Brilon und in den römischen und „germanischen“ Bleimetallen.
- Abb. 5.19: Arsen- und Sb-Gehalte in den Bleiglanz- und Bleimetallproben.
- Abb. 5.20: Silber- und Cu-Gehalte in den Bleiglanz- und Bleimetallproben.
- Abb. 6.1: Zonale Aufteilung von Verhüttungsprodukten bei der Silbergewinnung.
- Abb. 6.2: Ternärer Plot der Bleischlacken vom Lüderich mit PbO, FeO + ZnO, SiO₂ + Al₂O₃.
- Abb. 6.3: PbO-SiO₂-Phasendiagramm.
- Abb. 6.4: pO₂/T-Diagramm für die Bleierzverhüttung am Lüderich.
- Abb. 6.5: ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb gegen ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-Diagramm der Bleiisotopie der Bleierze und Bleischlacken vom Lüderich.
- Abb. 6.6: ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb gegen ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-Diagramm der Bleiisotopie der Bleierze und Bleischlacken vom Lüderich.
- Abb. 6.7: ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb gegen ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-Diagramm der Bleiisotopie der Bleiglätte und Bleifunden vom Lüderich und Bleiglanz der Grube Lüderich.
- Abb. 6.8: ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb gegen ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-Diagramm der Bleiisotopie der Bleiglätte und Bleifunden vom Lüderich und Bleiglanz der Grube Lüderich.

Tabellen

- Tab. 5.1: Für den Spurenelementvergleich verwendete Analysen von Bleierzen der Nordwesteifel und des Briloner Reviers und römische und „germanische“ Bleifunde.
- Tab. 6.1: EDX- und ICP-OES-Analysen der Bleischlacken vom Lüderich.
- Tab. 9.1: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Niedersachsen und Ostwestfalen.
- Tab. 9.2: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus dem Ruhrgebiet und dem Rheinland.

- Tab. 9.3: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Ramsbeck (Sauerland).
- Tab. 9.4: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Plettenberg (Sauerland).
- Tab. 9.5: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Bad Wünnenberg-Bleiwäsche („Sauerland“).
- Tab. 9.6: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Rüthen-Kallenhardt (Sauerland).
- Tab. 9.7: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus Brilon (Sauerland).
- Tab. 9.8: Bleiisotopie von weiteren Bleiglanzproben aus dem Sauerland.
- Tab. 9.9: Bleiisotopie der Bleiglanze aus der Nordwesteifel.
- Tab. 9.10: Bleiisotopie der Bleiglanzproben aus der Osteifel.
- Tab. 9.11: Bleiisotopie von weiteren Bleiglanzproben aus Deutschland und Frankreich.
- Tab. 9.12: Bleiisotopie der Bleimetallproben vom römischen Pb-/Ag-Bergbaurevier am Lüderich.
- Tab. 9.13: Bleiisotopie der Bleimetallproben vom Kalkrieser Schlachtfeld.
- Tab. 9.14: Bleiisotopie der Bleimetallproben der Marschlager von Dorsten-Holsterhausen.
- Tab. 9.15: Bleiisotopie der Bleimetallproben der Halterner Lager.
- Tab. 9.16: Bleiisotopie der Bleimetallproben des Lagers von Oberaden.
- Tab. 9.17: Bleiisotopie der Bleimetallproben des Lagers von Anreppen.
- Tab. 9.18: Bleiisotopie der Bleimetallproben des Lagers von Hedemünden.
- Tab. 9.19: Bleiisotopie des PVDENS-Bleistücks und der römische Bleibarren von Bad Sassendorf-Heppen.
- Tab. 9.20: Bleiisotopie der römischen Bleibarren von Rena Maiore.
- Tab. 9.21: Bleiisotopie der „germanischen“ Kleinbarren aus Westfalen.
- Tab. 9.22: Bleiisotopie der Bleifunde der frühkaiserzeitlichen Siedlung von Soest.
- Tab. 9.23: Bleiisotopie weiterer Bleifunde aus weiteren Siedlungskontexten Westfalens.
- Tab. 9.24: Bleiisotopie der Bleischlackenproben vom Lüderich (Bergisches Land).
- Tab. 9.25: Bleiisotopie der Bleiglätteproben vom Lüderich (Bergisches Land).

- Tab. 9.26: Chemische Zusammensetzung des Bleiglanz der Nordwesteifel.
- Tab. 9.27: Chemische Zusammensetzung des Bleiglanz des Sauerlandes.
- Tab. 9.28: Spurenelementgehalte der römischen Bleiobjekte.
- Tab. 9.29: Spurenelementgehalte der germanischen Bleiobjekte.
- Tab. 9.30: Chemische Zusammensetzung der Bleischlacken vom Lüderich (Bergisches Land).
- Tab. 9.31: Chemische Zusammensetzung der Bleiglätte vom Lüderich (Bergisches Land).
- Tab. 9.32: Bleifunde der Marschlager von Dorsten-Holsterhausen.
- Tab. 9.33: Bleifunde der Halterner Lager.
- Tab. 9.34: Bleifunde des Lagers von Oberaden.
- Tab. 9.35: Bleifunde des Lagers von Anreppen.
- Tab. 9.36: Bleifunde des Lagerkomplexes von Hedemünden.
- Tab. 9.37: Bleifunde des Schlachtfeldes von Kalkriese.
- Tab. 9.38: Das römische PVDENS-Bleistücks von Brilon-Altenbüren.
- Tab. 9.39: Beschreibung der römischen Bleibarren.
- Tab. 9.40: Funde vom Lüderich.
- Tab. 9.41: Bleifunde der „germanischen“ Siedlung von Soest.
- Tab. 9.42: Bleifunde weiterer „germanischer“ Siedlungen.
- Tab. 9.43: Die „germanischen“ Kleinbarren von Soest.
- Tab. 9.44: Die „germanischen“ Kleinbarren von Brilon.
- Tab. 9.45: Die „germanischen“ Kleinbarren von Brilon-Altenbüren und Brilon-Fülsenbecke.
- Tab. 9.46: Beschreibung der „germanischen“ Kleinbarren von Balve-Garbeck.
- Tab. 9.47: Beschreibung der „germanischen“ Kleinbarren von Bad Wünnenberg-Bleiwäsche, Salzkotten-Thüle, Lippstadt-Dedinghausen und Warburg-Menne.

Fotos

Foto 1.1: Rückstreuелеktronenbild der Patina eines „germanischen“ Kleinbarrens.

Foto 1.2: typische massive Ausbildung von postvariszischem Bleiglanz.

Foto 1.3: einer der acht trapezförmigen Bleibarren von St. Maries-de-la-Mer.

Foto 1.4: „germanischer“ Bleibarren aus Brilon-Osterhof.

Foto 2.1: in Haltern verbaute Wasserleitung aus dem Halterner Röermuseum.

Foto 2.2: Bleilot aus den Halterner Lagern.

Foto 2.3: Bleierner Tischfuß in Muschelform aus dem Anreppener Lager.

Foto 2.4: Blechreste der Buntmetallwerkstätten von Soest.

Foto 2.5: ringförmiger Bleibarren von Albersloh.

Foto 3.1: Bleiglanzknotten und „Blankgut“ von Mechernich.

Foto 3.2: Bleiglanzprobe aus den Hastenrather Kalkwerken von Stolberg-Werth.

Foto 3.3: massives Bleiglanzstück aus einer Lehmschlotte bei Brilon.

Foto 3.4: Lageskizze des Lüderich-Gangzuges (Bergischen Land).

Foto 3.5: Unterbau eines Ofens vom Lüderich (Bergisches Land).

Foto 3.6: Profilschnitt durch einen Ofen vom Lüderich (Bergisches Land).

Foto 4.1: Bleibarren von Rena Maiore mit AVGVSTI CAESARIS GERMANICVM.

Foto 6.1: Dünnschliffbild der Bleischlacke D-102a.

Foto 6.2: Handstück der Bleischlacke D-102a.

Foto 6.3: Dünnschliffbild der Bleischlacke D-102c.

Foto 6.4: Handstück der Bleischlacke D-102c.

Foto 6.5: Lichtmikroskop, Glas der Bleischlacke D-102a mit Ofenwandeinschlüssen.

Foto 6.6: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102b mit zwei verschieden ausgebildeten Silikatschmelzen.

Foto 6.7: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102c mit Olivin in verschiedenen Trachten.

Foto 6.8: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102e mit Olivin in verschiedenen Trachten und Frt/Hd-Nestern.

- Foto 6.9: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102a mit Frt/Hd und Olivin in verschiedenen Trachten.
- Foto 6.10: Rückstreuelektronenbild, Bleischlacke D-102a mit Frt/Hd und verwittertem Olivin.
- Foto 6.11: Rückstreuelektronenbild, Bleischlacke D-102a mit Frt/Hd und verwittertem Olivin.
- Foto 6.12: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102c mit Frt/Hd und Olivin. Im Bereich des zusammengebrochenen Quarzsandsteinfragmentes keine Phasenbildung.
- Foto 6.13: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102c mit Frt/Hd und Olivin. Im Bereich des zusammengebrochenen Quarzsandsteinfragmentes keine erkennbare Phasenbildung.
- Foto 6.14: Lichtmikroskop, Bleischlacke D-102a: zwei Silikatschmelzen mit leicht unterschiedlichem Chemismus und Phasenausbildung.
- Foto 6.15: Lichtmikroskop, Auflicht (D-102a): Bleiglanz mit teilweiser Umwandlung in Bleimetall.
- Foto 6.16: REM, Rückstreuelektronenbild (D-102a): Bleiglanz mit teilweiser Umwandlung in Bleimetall.
- Foto 6.17: REM, Rückstreuelektronenbild (D-102c): Holzkohle in Bleischlacke.
- Foto 6.18: Dünnschliffbild der Bleiglätte BG 2 (D-102/19b).
- Foto 6.19: Bleiglättestück BG 2 (D-102/19b).
- Foto 6.20: Dünnschliffbild der Bleiglätte BG 4 (D-102/38).
- Foto 6.21: Bleiglättestück BG 4 (D-102/38).
- Foto 6.22: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 4): Massicotit-Kristalle zusammen mit stark angewitterten Calcit-Kristallen aus dem Herdmaterial und Cerussit und Hydrocerussit.
- Foto 6.23: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 4): Lithargit-Kristalle (α -PbO) mit Bleimetalltröpfchen und Quarz-Einschlüssen.
- Foto 6.24: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG 3): stark überprägte Lithargit- (α -PbO) und Massicotit- Kristalle (β -PbO).
- Foto 6.25: Lichtmikroskop, gekreuzte Nicols (BG 3): gepackte Lithargite (α -PbO) und Massicotite (β -PbO), umgeben von Cerussit und Hydrocerussit.
- Foto 6.26: Lichtmikroskop, Durchlicht (BG-2): sperrig gestapelte Lithargit-Kristalle in der oberen Zone der Glätte.

- Foto 6.27: Lichtmikroskop, gekreuzte Nicols (BG-1): Calcite innerhalb dicht gewachsener Lithargitleisten (α -PbO) und Hohlraumfüllungen von Lithargit.
- Foto 6.28: REM, Rückstreuелеktronenbild (BG 1): filigran gewachsene Lithargite in den Hohlkammern.
- Foto 6.29: REM, Rückstreuелеktronenbild (BG 3): Umwandlung der Bleiglätte in Cerussit und Hydrocerussit und Quarz-Körner aus dem Herdmaterial.
- Foto 6.30: REM, Rückstreuелеktronenbild (BG 4): durch Auflast gebrochene, große Lithargitleisten.

Danken ich möchte zuvorderst Prof. Mezger (Institut für Mineralogie, Münster) und Prof. Hauptmann (Deutsches Bergbau-Museum, Bochum & Ruhr-Universität Bochum) für die Betreuung der Doktorarbeit und den freundschaftlichen Rat in allen Lebenslagen. Mit ihrer Hilfe war es möglich, meine Finanzierung, auch über analytische Arbeiten für andere Projekte aus dem Bereich der Archäometallurgie, zu gewährleisten. Besonders möchte ich an dieser Stelle Prof. Ebel-Zepezauer von der Ruhr-Universität Bochum, Dr. Melzer von der Stadtarchäologie Soest und Dr. Gechter vom Rheinischen Amt für Bodendenkmalpflege (Overath) für die Teilfinanzierung der in dieser Arbeit durchgeführten Messungen danken. Im gleichen Maße bin ich auch Dr. Baumann zu Dank verpflichtet, da er mich während einer Exkursion zum Ende meines Studiums auf die Archäometallurgie aufmerksam gemacht und mich mit Prof. Hauptmann in Kontakt gebracht hat. Für seine herzliche Hilfe im Labor und bei Probennahmen bin ich sehr froh. Unverzichtbare Hilfe bei den analytischen Arbeiten bekam ich im Besonderen von Heidemarie Baier, Dr. Prange, Wolfgang Steger, Marion Jung, Martina Behmenburg, Dr. Schuth, Frank Deipenwisch, Prof. Scherer, Veronica Rapelius, Dr. Nebel, Angelika Breit, Dirk Kirchner, Andreas Ludwig und Paul Löbke. Bei EDV-Problemen standen jederzeit Jürgen Schumacher, Andrew Harges und Ludger Buxtrup zur Seite (auch bei Problemen mit meinem Fahrrad!). Bei vielen, vielen Problemen organisatorischer Art konnte ich mich auf den unermüdlichen Rat und die Unterstützung von Claudia Meier, Isika Heuchel-Pede und Jutta Zallmanzig verlassen. Auch ihnen schulde ich großen Dank.

Für die enge Mitarbeit und Diskussion sei den Wissenschaftlern des Deutschen Bergbau-Museums, des Westfälischen Museums für Archäologie, der Stadtarchäologie in Soest, des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Ruhr-Universität Bochum und des Archäologischen Instituts zu Köln gedankt. Hier möchte ich Dr. Körlin, Dr. Brüggerhoff, PD Dr. Yalçın, Prof. Stöllner, Dr. Cerny (†), Dr. Kühlborn, Dr. Bergmann, Dr. Melzer, Ingo Pfeffer, Jenny Garner, Dr. Hanel, Dr. Rothenhöfer, Prof. Ebel-Zepezauer, Dr. Jülich, Prof. Pingel (†), Gero Steffens und Prof. Weisgerber herzlich danken.

Dank für die Bereitstellung von Bleiglanzproben und für zahlreiche Informationen und Diskussionen gilt den Mitarbeitern des Geologischen Dienstes in Krefeld, des

Besucherbergwerks in Ramsbeck, des Städtischen Museums in Bielefeld, des Heimatvereins in Rescheid, weiterhin den Mitgliedern des Treffens „Bergbau im Sauerland“ und der Geomontanus, Dr. Reppke vom Naturkundemuseum Gerolstein, Prof. Kirnbauer und Prof. Schaeffer von der Technischen Hochschule Georg Agricola in Bochum, Prof. Domergue von der Universität Toulouse sowie Herrn und Frau Beele, Herrn Köhne, Herrn Reininghaus, Herrn Simon, Herrn Schudelski und Herrn Holtz. Herrn Reinecke, dem Finder des Großteils der „germanischen“ Kleinbarren und des römischen PVDENS-Bleifragmentes, sei gedankt für die Bereitstellung seiner Funde.

Abseits der Universität möchte ich mich für die seelische Unterstützung bei meiner Frau Trang und bei meiner Familie mit ganzem Herzen bedanken.

Zuletzt möchte ich alle Freunde dankend grüßen, die mit gelitten und mit gefiebert haben: Markus Lagos, Philipp Pöml, Arno Rohrbach, Jasper Berndt, Frank Eidam, Aneesh Soman, Josha Al-Amri, Irakli Dschaparidze, Mario Wiegmann, Jürgen Bauer, Martina Renzi, Frank Tomaschek, Mark Keiter, Andrea Müller, Junliar Jin, Erik Scherer, Michael Prange und Diana, Carsten Münker, Heidi Baier, Arne Janßen, Christian-Peter Stock, Ingo Pfeffer, Anna Sokol, Anja Kemker, Matthias Pott, Marc Schümmelfeder, Christoph Joachim, Oliver Kaiser, Mengist Teklay, Martin Straßburger, Richard Wüst, Anja und Martin Gunnemann, Tanja Goldberg, Cornelia Bockrath, Nicolaus Gussone, Katarina Vavouraki, Werner Möllenbeck, Mirko Niemeier, Kirsten Faust und die, die ich leider vergessen habe aufzuzählen.

