

Studien zur Herstellung von latènezeitlichem und provinzialrömischem Silberschmuck in Mitteleuropa

Teil I: Text

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Br.

vorgelegt von

Birgit Schorer
aus Böblingen

SS 2009

Erstgutachter: Prof. Dr. Heiko Steuer
Zweitgutachter: Prof. Dr. Christoph Huth

Vorsitzende des Promotionsausschusses
der Gemeinsamen Kommission der
Philologischen, Philosophischen und Wirtschafts-
und Verhaltenswissenschaftlichen Fakultät: Prof. Dr. Elisabeth Cheauré

Datum der Disputation: 30.11.2009

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde 2009 als Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. eingereicht. Für die Publikation wurde das Manuskript mit lediglich kleineren Ergänzungen versehen und um einzelne Abbildungen gekürzt.

Die Untersuchungen zur latènezeitlichen und provinzialrömischen Herstellung von Silberschmuck wurden angeregt durch die eigene Beschäftigung mit der Silberschmuckherstellung und eine von mir 1999 an der Universität Tübingen verfasste, unveröffentlichte Magisterarbeit. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag damals auf einer Zusammenstellung aller ur- und frühgeschichtlichen Silberschmuckfunde bis zur Spätlatènezeit im südlichen Mitteleuropa, allein unter dem Aspekt von Anzahl und Form. Da jedoch eine Bearbeitung von Metallfunden ohne Untersuchungen zu ihrer Herstellung kaum ihrem kulturhistorischen Stellenwert entspricht, sollte dieses Thema nun in den Mittelpunkt gestellt werden. Grundlage waren eigene Erfahrungen im praktischen Goldschmiedehandwerk, welches ich in mehreren Lehrgängen bei verschiedenen Goldschmieden erlernt habe und die Tatsache, dass ich folgend vor allem mit dem Material Silber gearbeitet habe.

Erst ab der Latènezeit beginnt der Schmuck aus Silber in nennenswerter Zahl in mitteleuropäischen Fundkontexten aufzutreten. Um technische Entwicklungen zu untersuchen, sollte deshalb ein Zeitraum gewählt werden, in welchem das Material Silber zur Herstellung von Schmuck nicht nur vereinzelt verwendet wurde. Es erschien daher besonders interessant eine epochenübergreifende Weiterentwicklung der mitteleuropäischen Herstellung von Silberschmuck zu untersuchen, geknüpft an die Frage, ob die in diesen Epochen stattfindenden soziokulturellen und sozioökonomischen Umwälzungen mit einer technischen Entwicklung in der Schmuckherstellung einhergehen.

Stilistische und typochronologische Einordnungen von Schmuckfunden berücksichtigen nur selten die technischen Möglichkeiten und Grenzen der kunstschaftenden Handwerker, die schließlich maßgeblich an der Entstehung eines einzelnen Schmuckstücks beteiligt waren. Untersuchungen zur sozialen Stellung der Handwerker in vor- und frühgeschichtlichen Kulturen bewegen sich naturgemäß auch weiterhin im spekulativen Bereich, die hier dargelegten Fallstudien zu den angewandten Techniken in der Verarbeitung von Silber mögen einen weiteren Beitrag zum technikgeschichtlichen Status der Kulturen des hier interessierenden Zeitraumes liefern. Dabei soll das Material Silber in den Vordergrund gestellt werden, ein Werkstoff, dem im Vergleich zu Gold und Buntmetall bislang nur wenig Beachtung geschenkt wurde.

Die vorliegende Arbeit ist nicht zuletzt durch zahlreiche Personen unterstützt worden, welchen im Folgenden mein Dank ausgesprochen werden soll.

An erster Stelle möchte ich an Herrn Prof. Dr. Heiko Steuer meinen herzlichen Dank richten für die Annahme des Themas sowie das große Interesse und die immerwährende hilfreiche

Betreuung und fördernde Unterstützung. Ohne ihn wäre der Zugang zum Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters sowie die Durchführung einzelner Metallanalysen kaum möglich gewesen.

Auch ohne die Unterstützung der folgenden Personen in Museen und Instituten wäre die Untersuchung der Fundstücke, deren Ergebnisse die Basis der Studie darstellt, nicht zustande gekommen. Ihnen sei deshalb mein ganz besonderer Dank ausgesprochen, sowohl dafür, dass mir die Funde und die Räumlichkeiten zur Begutachtung zugänglich gemacht wurden als auch für zusätzliche Informationen und die herzliche Gastfreundschaft, die mir entgegengebracht wurde.

- Archäologische Staatssammlung München:
Prof. Dr. Rupert Gebhard; Stefan Gußmann und Dr. Bernd Steidl
- Badisches Landesmuseum Karlsruhe:
Dr. Klaus Eckerle und Dr. Astrid Wenzel
- Bernisches Historisches Museum:
Lic. phil. Sabine Bolliger Schreyer und Prof. Dr. Felix Müller
- Fürstlich Hohenzollernsche Sammlungen Schloss Sigmaringen:
Peter Kempf
- Historisches Museum Regensburg:
Monika Adolf und Dr. Andreas Boos
- Landesmuseum Württemberg, Stuttgart:
Thomas Hoppe M.A., Dr. Ulrich Klein, Martin Raithelhuber und Dr. Nina Willburger
- Regierungspräsidium Tübingen, Archäologische Denkmalpflege:
Dr. Frieder Klein, Dipl.-Rest. Tanja Kreß und Prof. Dr. Hartmann Reim
- Römisches Museum im Zumsteinhaus, Kempten:
Ernst Sontheim und Ursula Winkler M.A.
- Schweizerisches Nationalmuseum, Landesmuseum Zürich:
Dr. Heidi Amrein, Lic. phil. Eva Carlevaro und Dr. Samuel van Willigen
- Université Marc Bloch, Strasbourg:
Dr. Loup Bernard
- Vorarlberger Landesmuseum Bregenz:
Mag. Gerhard Grabher

Ferner konnten einzelne Metallanalysen durchgeführt werden, welche nicht nur durch die genehmigte Ausleihe der betreffenden Funde, sondern auch durch das große organisatorische Entgegenkommen mehrerer Personen zustande kamen. An dieser Stelle sei besonders den Herren Dr. Kilian Anheuser (ehemals Laboratoire, ateliers de restauration et conservation préventive am Musée d'art et d'histoire in Genf, heute Musée d'ethnographie in Genf),

Dr. Andreas Burkhardt (Institut für Zerstörungsfreie Analytik + Archäometrie in Basel) und Dipl.-Ing. Ulrich Heuberger (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie in Schwäbisch Gmünd) gedankt. Durch die Fahrten von Herrn Raithelhuber sowie Frau Lic. phil. Bolliger Schreyer und Herrn Prof. Dr. Müller konnten Transporte der Funde aus Stuttgart und Bern ermöglicht werden.

Darüber hinaus möchte ich folgenden Personen für nützliche Informationen, Hinweise und Ratschläge sowie Diskussionen, Materialbeschaffungen für Experimente, Übersetzungshilfen und für die Unterkunft auf Museumsreisen danken:

Manuela Fischer M.A. (Hemmenhofen), Matthias Fröhlich M.A. (Trier), Dr. Sebastian Gairhos (Augsburg), Dr. Florian Gauss (Esslingen a. N.), Dr. Marion Heumüller und Wolfgang Hohl (Hemmenhofen), Prof. Dr. Konrad Hitzl (Greifswald), Dr. Martin Luik (München), Bianca v. Mangoldt M.A. und Hans v. Mangoldt M.A. (Rottenburg a. N.), Goldschmiedemeister Thomas Mayer (Rottenburg a. N.), Dr. Udo Neumann (Tübingen), Dr. Michael Nick (Bern), Holger Ratsdorf M.A. (Hohentengen/Hochrhein), Meike und Claus Rehm (Berg), Dr. Roland Schwab (Mannheim), Prof. Dr. Susanne Sievers (Frankfurt a. M.), Norbert Spichtig M.A. (Basel), Julian Spohn M.A. (Tübingen), Gerd Stegmaier M.A. (Tübingen), Dr. Elisabeth Stephan (Konstanz), Dr. Martin Thoma (Esslingen a. N.), Dr. Günther Wieland (Karlsruhe) und Prof. Dr. Joachim Wahl (Konstanz).

Ohne die Unterstützung meiner Eltern wäre die Arbeit in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen. Ihnen gilt daher mein ganz besonderer Dank für die Leihgabe der mikroskopischen Ausrüstung und ihre stetige finanzielle, aber auch immaterielle Hilfe und Bestärkung meiner Arbeit. Meinem Bruder Günter Schorer und meinem Lebenspartner Thomas Beutelspacher M.A. sei vor allem für die praktische Hilfe während der im Gelände stattfindenden Experimente gedankt. Letzterem gebührt der größte Dank für die unentwegte motivierende Begleitung in schwierigen und spannenden Zeiten.

Birgit Schorer

Rottenburg a. N., im Juni 2010

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Text

1. Einleitung	1
2. Untersuchungsmethoden	4
2.1 Optische Untersuchungen	4
2.2 Analogieschlüsse	6
2.3 Metallanalysen	7
2.4 Möglichkeiten und Grenzen in der Untersuchung archäologischer Silberfunde	11
3. Das Material Silber	14
3.1 Gewinnung von Silber	14
3.2 Werkstoffeigenschaften von Silber und seinen Legierungen	18
3.3 Antike Prüfmethoden	23
4. Ver- und Bearbeitungstechniken	25
4.1 Grundlegende Verfahren	25
4.2 Formgebende Techniken	28
4.2.1 Gusstechniken	28
4.2.2 Schmieden und Treiben	34
4.2.3 Drahtherstellung	40
4.2.4 Trennende und lochende Techniken	48
4.3 Verbindende Techniken	50
4.3.1 Mechanische Verbindungen	51
4.3.2 Löten	52
4.3.2.1 Löten mit metallischen Lotlegierungen	54
4.3.2.2 Löten mit Reaktionslot	56
4.3.3 Schweißen	67
4.3.4 Forschungsstand zu den thermischen Verbindungstechniken in der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit	69
4.4 Verzierende Techniken	78
4.4.1 Ziselieren, Punzieren und Gravieren	78
4.4.2 Prägetechniken	84
4.4.3 Durchbruch Dekor	86
4.4.4 Perl- und Kerbdrahtherstellung	88
4.4.5 Filigranverzierung und Granulation	92
4.4.6 Vergoldung und Versilberung	106
4.5 Oberflächenbearbeitung	114
4.6 Zusammenfassung der Feinschmiedetechniken und ihrer Erkennungsmerkmale	115

5. Zur Herstellung von Silberschmuck - Fallbeispiele	118
5.1 Fingerringe	119
5.1.1 Latènezeitliche Fingerringe	120
5.1.1.1 Bandfingerringe	120
5.1.1.2 Schaukelfingerringe	122
5.1.1.2.1 Form und Verbreitung	123
5.1.1.2.2 Herstellungsverfahren	126
5.1.1.3 Spiralfingerringe	134
5.1.1.4 Drahtfingerringe	139
5.1.1.5 Singuläre Fingerringe	142
5.1.2 Provinzialrömische Fingerringe	147
5.1.2.1 Drahtfingerringe	147
5.1.2.2 Fingerringe mit Gemme	148
5.1.2.3 Fingerringe mit Zierplatte	150
5.2 Armringe	154
5.2.1 Latènezeitliche Armringe	154
5.2.1.1 Offene Armringe der Latènezeit	155
5.2.1.2 Armringe aus Kordeldraht	155
5.2.2 Provinzialrömische Armringe	158
5.2.2.1 Armringe mit Tierkopfen	158
5.2.2.2 Armringe vom Typ Wiggensbach	160
5.2.2.3 Sonstige Armringe	163
5.2.3 Armringe mit drahtumwickelten Enden	166
5.3 Fibeln	170
5.3.1 Latènezeitliche Fibeln	171
5.3.1.1 Fibeln vom Frühlatèneschema	171
5.3.1.2 Fibeln vom Mittellatèneschema	173
5.3.1.2.1 Horgen	174
5.3.1.2.2 Sinsheim-Dühren	174
5.3.1.3 Fibeln vom Spätlatèneschema	187
5.3.1.3.1 Lauteracher Fibeln	187
5.3.1.3.2 Bügelknoten- und Schüsselfibeln	190
5.3.2 Provinzialrömische Fibeln	194
5.3.2.1 Omegafibeln	194
5.3.2.2 Scheibenfibeln	198
5.3.2.3 Flügelfibeln	202
5.3.2.4 Doppelknopffibeln	205
5.3.2.5 Kniefibeln	206

5.4 Ketten	208
5.4.1 Stabgliederketten	208
5.4.2 Fuchsschwanzketten	209
5.4.2.1 Ketten der vorrömischen Eisenzeit	211
5.4.2.2 Provinzialrömische Ketten	215
5.4.2.3 Zur Technik der Fuchsschwanzketten	220
5.5 Anhänger	224
5.5.1 Anhänger der vorrömischen Eisenzeit	225
5.5.2 Provinzialrömische Zieramulette	229
5.5.3 Provinzialrömische Zierscheiben	238
6. Werkstattbefunde, Werkzeuge und Arbeitsgeräte der Silberverarbeitung	244
6.1 Vorrömische Eisenzeit	245
6.2 Römische Kaiserzeit	250
6.3 Hilfsmittel der thermischen Techniken	256
6.3.1 Hitzequelle	256
6.3.2 Blasrohr	259
6.3.3 Löten und Schweißen im Experiment	268
7. Verwendete Silberlegierungen	273
7.1 Latènezeitliche Legierungen	274
7.2 Provinzialrömische Legierungen	278
7.3 Unterschiede und Gemeinsamkeiten im verwendeten Rohmaterial	288
8. Entwicklungstendenzen in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck	291
8.1 Technische Entwicklungen	291
8.2 Spezialisierungen	299
9. Resümee	304
10. Literaturverzeichnis	310

Teil II: Katalog und Tafeln

Vorbemerkungen zu Katalog und Tafeln	1
Verwendete Abkürzungen	2
Liste der untersuchten Fallbeispiele	3
Liste der Katalognummern nach Formtyp und Datierung	4
Fundortkarten	6
Bildnachweis	7
Katalog	8
Anhang	67
Metallanalysen FEM Schwäbisch Gmünd	
Metallanalysen IFZAA Basel	
Metallanalysen MAH Genf	
Tafeln	

1. Einleitung

Inhalt der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Metallverarbeitungstechniken zur Herstellung von latènezeitlichem und provinzialrömischem Silberschmuck.

Die in der Archäologie übliche Trennung zwischen den Begriffen "Schmuck" und "Trachtbestandteilen" wurde hier außer Acht gelassen, da es sich auch bei den Trachtbestandteilen aus Edelmetall um schmückende Elemente handelt. In Anlehnung an die Definition in einer ethnologischen Studie zum Thema von nordafrikanischem Schmuck soll der Begriff Schmuck für alles verwendet werden, "was der Mensch anlegt und was nicht unentbehrlicher Bestandteil der Kleidung ist" (Kalter 1976, 30). Dabei werden Fibeln und mit ihnen verbundene Fibelkettchen als "funktionaler Schmuck" eingestuft, wenn sie zwar einem praktischen Zweck dienen, die Kleidung jedoch mit anderen Mitteln hätte fixiert werden können. Aus vor- und frühgeschichtlichen Kontexten stammende Edelmetallfibeln werden damit als funktionaler Schmuck interpretiert. Allein als Bestandteil der Kleidung genügte ihre Herstellung aus unedlem Metall, die Verwendung des Edelmetalls muss daher entweder schmückenden oder prestigeträchtigen Charakter besessen haben. Über diese Definition hinausgehend werden auch einzelne Edelmetallobjekte als Schmuck betrachtet, die lediglich an Gegenständen eine schmückende Funktion innehatten, wie etwa Kettchen an Trinkhörnern.

Während sowohl die Buntmetall- als auch die Goldverarbeitung auf eine längere Tradition zurückblicken können, gewinnt die Verwendung des Edelmetalls Silber in Mitteleuropa erst ab der Latènezeit an Bedeutung. Da im archäologischen Fundmaterial Silberfunde erst ab der Frühlatènezeit in nennenswerter Anzahl auftreten und während der römischen Kaiserzeit ein weiterer Bedeutungszuwachs zu erkennen ist, sollte mit Untersuchungen zu ihrer Anfertigung der Frage nachgegangen werden, ob die zunehmende Nutzung von Silber mit einer Entwicklung des technischen Kenntnisstandes in der Verarbeitung der unterschiedlichen Metalle und ihrer Legierungen einhergeht.

Die Aussage, dass Schmuck unter technischen Gesichtspunkten betrachtet, Rückschlüsse auf den Grad der Spezialisierung innerhalb einer Gesellschaft erlaubt (Kalter 1976, 8), trifft nicht nur auf ethnologische Verhältnisse zu, sondern kann in ähnlicher Weise auch für archäologische Funduntersuchungen gelten.

Studien zur Herstellungstechnik sind neben typologischen und stilistischen Untersuchungen zur Beurteilung antiker Metallarbeiten gerade in den letzten Jahren verstärkt in die archäologische Forschung eingegangen. Nicht zuletzt wird dieser Forschungsbereich durch den laufend intensivierten Einsatz naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden gestützt. Dennoch ist die Betrachtung der Oberfläche ausgewählter Fundstücke der Ausgangspunkt der folgenden Untersuchungen. Kernpunkt der Studie sind Rekonstruktionen bzw. Konstruktionsmodelle der Herstellung von Silberschmuck anhand ausgewählter Fallbeispiele mit dem Ziel einer differenzierenden Betrachtung der Verarbeitung von Silber zu Schmuck

innerhalb des ausgewählten Zeitrahmens. Im Mittelpunkt steht die technische Untersuchung der Fertigungsmethoden anhand der erkennbaren Werkzeugspuren und Oberflächenerscheinungen.

In den Kapiteln 2 und 3 sollen sowohl die Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Funde als auch die Gewinnung sowie die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften des Werkstoffes Silber beschrieben und erörtert werden, da diese Angaben die Voraussetzung der weitergehenden Darlegungen bilden.

Kapitel 4 befasst sich unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstandes und der untersuchten Fallbeispiele mit einer allgemeinen Darstellung der in Frage kommenden Verarbeitungstechniken, um Definitionen und technische Begrifflichkeiten deutlich zu machen. Um die technischen Abläufe zu veranschaulichen, wird dabei bewusst auch auf Arbeiten zurückgegriffen, die sich mit herstellungstechnischen Aspekten an Funden anderer Zeitstellungen und anderer Kulturmilieus befasst haben. Da sich bisherige technische Untersuchungen jedoch zumeist mit dem Material Gold auseinandergesetzt haben, sollen - unter Hinzuziehung experimenteller Studien - die besonderen Eigenschaften des Materials Silber hervorgehoben werden. Eigene Experimente können dabei vor allem die Durchführbarkeit und die Erkennbarkeit einzelner Techniken klären und erläutern.

Eine vollständige Bestandsaufnahme aller aus dem hier behandelten Zeitraum erhaltenen Schmuckobjekte aus Silber wurde nicht angestrebt. Die hinsichtlich technischer Gesichtspunkte untersuchten Funde stammen überwiegend aus latènezeitlichen und provinzialrömischen Fundkontexten Süddeutschlands und der Schweiz. Die Auswahl der Fallbeispiele sollte dabei eine möglichst breite Ausgangsbasis schaffen, um technische Vergleiche nach Zeitstellung und Material herausarbeiten zu können. In Kapitel 5 werden die untersuchten Funde unter Hinzuziehung weiterer publizierter Angaben und nach ihrer Zuordnung zu gängigen Formtypen besprochen.

Für die - angesichts der geringen Zahl erhaltener Schmuckobjekte aus Silber - notgedrungen überregional angelegten Vergleiche der Silberfunde musste in den meisten Fällen auf eine bereits bestehende chronologische Einordnung zurückgegriffen werden.

Eine Parallelisierung der verschiedenen Zeit- und Kulturabschnitte in unterschiedlichen kulturgeographischen Räumen ist schwierig und wurde aufgrund der zentralen diachronen Fragestellung in den Hintergrund gestellt. Eine kulturelle Zuweisung der einzelnen Funde wird jedoch nicht nur über die formenkundliche Ansprache, sondern auch anhand der technischen Details diskutiert.

Auch wenn eine Differenzierung von Produktionszeit, Gebrauchsdauer und Niederlegungszeitpunkt in Hinblick auf herstellungstechnische Fragestellungen einiges an Bedeutung besitzt, ist diese aufgrund einer teils unsicheren feinchronologischen Einordnung und eines nicht immer ausreichenden Erhaltungszustandes der Funde nicht durchgehend möglich. Sie kann allerdings im Einzelfall anhand eines Formvergleichs und sichtbarer Abnutzungsspuren abgeschätzt werden.

In Kapitel 6 werden die aus archäologischen Befunden stammenden Hinweise, seltener auch Nachweise, aufgeführt, die für eine Verarbeitung von Silber vorliegen. Über die Werkzeugspuren an den Funden selbst und die archäologischen Funde und Befunde hinaus, sind Rückschlüsse auf die verwendeten Werkzeuge in Analogie zu antiken und mittelalterlichen Schrift- und Bildquellen möglich. Zusätzlich kann auch die experimentelle Methode Interpretationsansätze liefern, insbesondere zur Durchführbarkeit einzelner Techniken.

Schließlich sollen in den letzten Kapiteln nicht nur die anhand einzelner Metallanalysen feststellbaren Silberlegierungen diskutiert werden, sondern auch die aus den beobachteten Ergebnissen abzuleitenden Schlussfolgerungen hinsichtlich einer technischen Entwicklung in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck. Im Zuge dessen sollen auch Aspekte aufgeführt werden, die für eine weitere kulturgeschichtliche Interpretation von Bedeutung sind.

Die wichtigsten Daten der untersuchten Fundstücke sind in einem Katalog (Teil II) zusammengefasst und die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Metallanalysen in Tabellen angehängt. Die Tafeln in Teil II zeigen Gesamtansichten der Fundstücke sowie Ausschnitte und Detailfotos zur Erläuterung technischer Einzelfragen.

In Hinblick auf die zentrale Fragestellung eines diachronen Vergleichs der latènezeitlichen und provinzialrömischen Verarbeitung von Silber zu Schmuck wurden die Untersuchungen unter mehreren Gesichtspunkten durchgeführt. Primär soll vor allem herausgearbeitet werden, ob grundlegende technische Unterschiede zwischen der latènezeitlichen und provinzialrömischen Verarbeitung von Silber zu Schmuck zu erkennen sind. Des Weiteren soll der Frage nachgegangen werden, ob Unterschiede in der Anfertigung von formgleichen Objekten aus Silber auf der einen und Gold sowie Buntmetall auf der anderen Seite zu erkennen sind. Wurden zur Silberverarbeitung wie zur Gold- und Buntmetallverarbeitung dieselben oder abweichende Produktionsverfahren angewandt? Gibt es also grundlegende Unterschiede zwischen der Silberverarbeitung und den Gold- und Buntmetallarbeiten und wurden die Techniken dann aus der Buntmetallverarbeitung oder aus der Goldbearbeitung übernommen? Bestimmte damit das technische Können die Form oder bestimmte die Form das anzuwendende Verfahren und damit auch einen technischen Wandel? Wurden einzelne Techniken nur deshalb nicht angewandt, weil sie für die Form nicht notwendig waren oder weil sie grundlegend oder bezogen auf das verwendete Material noch nicht bekannt waren?

2. Untersuchungsmethoden

2.1 Optische Untersuchungen

In der Regel unterliegen alle Objekte ständig einem durch äußere Einflüsse hervorgerufenen Umformungsprozess. Für archäologische Metallfunde können dabei vier hauptsächliche Ursachen für Einflüsse auf das äußere Erscheinungsbild in chronologischer Reihenfolge angegeben werden: der Herstellungsprozess, der Gebrauch, die Lagerung im Boden und schließlich Bergung, Restaurierung und archivarische Deponierung.

Diese Vorgänge beeinflussen sich gegenseitig. So wirkt sich beispielsweise ein bestimmter Herstellungsprozess deutlich auf die Gebrauchsfähigkeit und Haltbarkeit eines Gegenstandes aus, während der Gebrauch an sich wiederum die Spuren der Herstellung verschleiern kann. Chemische Reaktionen führen während der Zeit der Bodenlagerung zu weiteren Veränderungen des Objekts, während ab der Bergung mechanische Einflüsse wiederum häufiger auf ein Fundstück einwirken können. Aber auch eine unsachgemäße Restaurierung kann Spuren hinterlassen, die denen der Herstellung oder der Bodenlagerung gleichen können. Bei einer rein optischen Ansprache von Fundobjekten ist der Betrachter daher auf Merkmale angewiesen, deren jeweilige Ursachen eindeutig oder wenigstens mit einer hohen Wahrscheinlichkeit einer dieser vier Kategorien zugeordnet werden können. Dabei sollen die Merkmale der Herstellungsprozesse isoliert und chronologisch sortiert werden, um die angewandten Techniken und schließlich den wahrscheinlichen Ablauf der Herstellung rekonstruieren zu können.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Fallbeispiele ausgewählt und an ihrem Aufbewahrungsort untersucht. Als optische Hilfsmittel wurden eine Lupe und ein Binokular-Mikroskop mit etwa 15- bis 100-fachen Vergrößerungsmöglichkeiten benutzt¹. Herstellungsspuren sind besonders bei schräg einfallendem Licht gut zu erkennen. Zur Dokumentation der makro- und mikroskopischen Untersuchungsergebnisse und zur Unterstützung der Auswertung der Funduntersuchungen wurden über 3100 analoge Fotoaufnahmen, vorwiegend mit dem hochauflösenden S/W-Diafilm Agfa Scala 200 Professional, angefertigt.

Die Sichtanalysen stellen zusammen mit Gewichts- und Maßbestimmungen die Grundlage aller Funduntersuchungen dar. Die Analyse der Herstellungsspuren erfolgte anhand der optischen Erkennungsmerkmale, welche vergleichbaren publizierten Untersuchungen an Metallfunden von der Bronzezeit bis zum Mittelalter sowie eigenen Experimenten entnommen werden konnten². Eigene Kenntnisse in der Schmuckherstellung, besonders aber auch in der

¹ Je höher die Vergrößerung, desto kleiner die Tiefenschärfe und desto kleiner die Fläche, die hochauflösend betrachtet werden kann.

² An dieser Stelle sei beispielsweise auf folgende Arbeiten hingewiesen: B. R. Armbruster (1995a; 1995b; 2000; 2002), B. Bühler (2000; 2003; 2004a; 2004b), H. Drescher (1955; 1957; 1958; 1959; 1973), W. Duzko (1985), R. Echt u. W.-R. Thiele (1987; 1994; 1995), E. Foltz (1979; 1981; 1984; 1989), E. Formigli (1983; 1985), P. Hammer (1998b), R. Higgins (1980), G. Nicolini (1990; 1995), B. Niemeyer (2007), G. Nestler u.

Verarbeitung von Silber, sind dabei für eine Beurteilung unentbehrlich. Eine direkte Übertragung der heutigen Verarbeitungstechniken ohne die Kenntnis der antiken Möglichkeiten kann jedoch irreführend sein. So stellt beispielsweise besonders der Umgang mit dem Holzkohlefeuer völlig andere Ansprüche an die thermischen Techniken als dies der heutige mit modernen Gasbrennern und Elektroöfen arbeitende Goldschmied gewohnt ist. Für ein besseres Verständnis traditioneller Techniken sind daher die Beschreibungen in der einschlägigen Fachliteratur der ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts besonders hilfreich (z. B. Pritzlaff 1922; Diebeners Handbuch 1929; Lüder 1936).

Wenn man sich auf eine Untersuchung der makroskopisch sichtbaren Teile eines Fundobjekts beschränken muss, sind Herstellungsspuren, Werkzeugspuren und die Oberflächenbeschaffenheit eines Objektes die wichtigsten Informationsquellen für eine technische Interpretation.

Charakteristische Merkmale für die angewendeten Verfahren sind häufig bereits an der Oberfläche zu erkennen. So können etwa gegossene Teile an einer rauen bis blasigen, mit Poren überzogenen Oberfläche erkannt werden, während sich geschmiedete Teile über Hammerspuren zeigen. Sofern keine Abnutzung zu erkennen ist, verweisen abgerundete Kanten von Verzierungen auf ihren Guss, während ein Schmiedevorgang üblicherweise schärfere Kanten ergibt.

Oberflächen und Bruchkanten können auch die Gefügestruktur sichtbar machen. Während sich so beispielsweise ein geschmiedetes Gefüge über Längsstrukturen zeigen kann, ist eine Dendritenstruktur ein sicheres Anzeichen für das Gießen eines Stücks ohne anschließendes Nachschmieden. Die angewandten thermischen Verbindungstechniken sind über Lötfolgen oder angeschmolzene Bereiche erkennbar, sichere Aussagen zum verwendeten Verfahren werden jedoch erst über Materialanalysen möglich.

Wenn die Spuren einer Technik durch die nachfolgende Bearbeitung beseitigt wurden, also beispielsweise eine formgebende Technik durch eine nachfolgende Oberflächenbehandlung überprägt oder durch Ziertechniken verdeckt wurde, wird es schwierig eindeutige Aussagen zur Formgebung zu treffen. Überarbeitungen der Oberfläche, verdeckende Ziertechniken, Abnutzung durch den Gebrauch, aber auch Korrosionserscheinungen und (undokumentierte) Restaurierungsmaßnahmen können die Herstellungsspuren überprägen oder beseitigen, so dass die Aussagemöglichkeiten eingeschränkt bzw. ganz verhindert werden. In diesen Fällen kann die Herstellung eines Stücks nur durch dessen Endform interpretiert werden.

Zur Unterscheidung gegossener und geschmiedeter Teile, deren formgebende Technik über einen Schleif- und Poliervorgang verdeckt wurde, können auch Maßbestimmungen helfen, da starke Materialstärkenunterschiede an einem Stück den Guss als alleinige Formtechnik nahezu ausschließen. Um Gussfehler zu vermeiden, sollte die Materialstärke möglichst einheitlich

E. Formigli (1993), W. A. Oddy (1977; 1979; 1987), Ch. J. Raub (1977; 1981), D. Williams u. J. Ogden (1994) sowie J. Wolters (1986; 1997a; 1997b). Weitere Publikationen und relevante Forschungsergebnisse werden an entsprechender Stelle genannt.

sein; wenn geschmiedet wurde, kann das Material dagegen sehr unterschiedliche Stärken aufweisen.

Weitere optisch zu erkennende Merkmale einzelner Techniken werden in Kapitel 4 unter den verschiedenen Verarbeitungstechniken und in Kapitel 5 anhand der einzelnen Fallbeispiele erläutert.

Lediglich in Fragmenten erhaltene oder auseinandergebrochene Objekte können für eine optische Untersuchung weitere Interpretationsmöglichkeiten liefern, da sie einen Einblick in das Innere bieten können. Deshalb wurden auch solche Stücke zur Untersuchung mit einbezogen. So ermöglichte beispielsweise die Betrachtung der Innenseiten der Scheibenfibeln aus Hettingen (Kat. 11,3.4; siehe Kap. 5.3.2.2) den Nachweis von Vernietungen und die Bruchstellen an dem Lunula-Anhänger aus Rottenburg (Kat. 35,1; siehe Kap. 5.5.2) sowie an einem Fingerring aus Münsingen-Rain (Kat. 22,8; siehe Kap. 5.1.1.2.2) zeigten ihre Herstellung aus Draht.

2.2 Analogieschlüsse

Um die optischen Untersuchungsergebnisse zu überprüfen oder zu ergänzen bzw. um Fragen nachzugehen, die über das archäologische Quellenmaterial alleine nicht sichtbar werden, können Methoden aus der Experimentellen Archäologie und der Ethnoarchäologie angewandt werden. Aber auch antike und mittelalterliche Bild- und Schriftquellen können einen Beitrag zum Verständnis der angewandten Techniken liefern. Die Verwendung experimenteller Untersuchungsergebnisse, ethnographischer Daten sowie schriftlicher und bildlicher Überlieferungen beruht jedoch immer auf einem Analogieschluss. Analogien liefern zwar keine Beweise, die als historische Gegebenheit gelten können, aber sie ermöglichen über die Hypothesenbildung hinaus ein besseres Verständnis und können technikgeschichtlich relevante Interpretationsmöglichkeiten bieten (vgl. Armbruster 2000, 21 ff.).

Über experimentelle Untersuchungen kann die Durchführbarkeit einzelner Techniken hypothetisch überprüft werden. Im Rahmen der Untersuchungen wurden vor allem mit unterschiedlichen Silberlegierungen insbesondere praktische Versuche zum Löten und Schweißen, aber auch zur Klärung und Überprüfung optischer Erscheinungsbilder unternommen.

Da traditionelle Arbeitsweisen im Metallhandwerk bis heute in rezenten außereuropäischen Kulturen beobachtet werden können, vermögen auch ethnographische Dokumentationen modellhafte Vorstellungen technischer Vorgänge zu vermitteln. Verwendete Werkzeuge, Arbeitsgeräte und Hilfsmittel können weitere Informationsquellen zur Beantwortung von Fragen nach vor- und frühgeschichtlichen Techniken darstellen. Darüber hinaus ermöglichen ethnographische Berichte auch Erklärungsmodelle für Prozesse, welche dem archäologischen Befund kaum zu entnehmen sind, wie etwa die Beschaffenheit von Werkstattinventaren sowie

handwerkliche Organisationsstrukturen. Um Interpretationsmöglichkeiten zur Beantwortung von Fragen zu finden, welche sich über die Untersuchungen der Funde selbst und das archäologische Quellenmaterial nicht beantworten ließen bzw. um Untersuchungsergebnisse zu ergänzen, werden deshalb auch in der vorliegenden Arbeit technische Beschreibungen und Darstellungen ethnographischer Studien sowie antike und mittelalterliche Bild- und Schriftquellen herangezogen.

2.3 Metallanalysen

Die optische Oberflächenuntersuchung kann durch eine Röntgendurchstrahlung zur Bestimmung von Guss- und Schmiedeteilen sowie Verbindungsstellen ergänzt werden. Sie ist jedoch bei Metallen mit höherer Dichte, wie das bei Silber der Fall ist, schwieriger durchzuführen als bei Metallen mit geringerer Dichte, wie Eisen oder Kupfer. So blieb eine Röntgenuntersuchung von dickwandigen, massiven Silberstücken, wie beispielsweise den beiden spätlatènezeitlichen Fibeln von Manching (Kat. 19,1.2), erfolglos, da keine strukturellen Unterschiede sichtbar gemacht werden konnten (siehe Kap. 5.3.1.3.2).

Bei relativ dünnwandigen Objekten, wie beispielsweise einzelnen Silbergefäßen aus dem frühkaiserzeitlichen Schatzfund von Hildesheim, konnte die Röntgendurchstrahlung dagegen Gussstrukturen (Hohlräume und Gasblasen im Bild durch dunkle Punkte unterschiedlicher Größe sichtbar) oder geschmiedete Strukturen (Hammerschläge im Bild durch wolkige Hell-Dunkel-Strukturen sichtbar) anzeigen (vgl. Niemeyer 2007, 111ff.).

Zur Bestimmung der verwendeten Legierungen und der detaillierten Charakterisierung thermischer Verbindungstechniken müssen naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden, vor allem Metallanalysen, eingesetzt werden.

Folgende Fragestellungen können nur auf diesem Weg geklärt werden:

- Bewusste Verwendung unterschiedlicher Legierungen mit Bezug auf deren unterschiedliche Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften oder "willkürliche" Verwendung von gerade verfügbarem Rohmaterial
- Technische Interpretation von Verbindungsstellen
- Hinterfragung von Oberflächenveredelungen
- Überprüfung von Funden eines Fundkomplexes auf ihre Zusammengehörigkeit oder Herstellungsverwandschaft über die Legierungszusammensetzungen
- Nachweis von konstruktiven Einzelbestandteilen bei in der optischen Ansprache einteilig erscheinenden Objekten, die aus herstellungstechnischen oder mechanischen Gesichtspunkten aus mehreren Teilen hergestellt worden sein könnten/müssten

Im Rahmen dieser Arbeit konnten mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) einzelne Analysen zur Bestimmung der verwendeten Legierungen und zur Interpretation der angewandten Verbindungstechniken durchgeführt werden.

Andere zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden, wie Leitfähigkeits- und Härtemessungen (Hammer 1998a), aber auch Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM), welche im Vergleich zu einem einfachen Stereomikroskop Oberflächenstrukturen plastischer, mit höherer Vergrößerung und vor allem größerer Tiefenschärfe darstellen können (Oddy 1996, 185), konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet werden³.

Weitere Analyseverfahren, wie beispielsweise die Atomabsorptionsspektalanalyse (AAS), kommen nicht ohne eine Materialentnahme aus, weshalb sie aus konservatorischen Gründen an komplett erhaltenen Fundstücken üblicherweise nicht zur Anwendung kommen. Ein Überblick über verschiedene Analysenmethoden zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Elementen findet sich beispielsweise bei K. Anheuser (1999, 55ff.).

Im Folgenden soll nun lediglich das im Rahmen dieser Arbeit zur Anwendung gekommene Verfahren am Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie in Schwäbisch Gmünd (FEM Schwäbisch Gmünd), am Institut für Zerstörungsfreie Analytik + Archäometrie in Basel (IFZAA Basel), und am Laboratoire de Recherches des Musées d'art et d'histoire in Genf (MAH Genf) vorgestellt werden.

Grundsätzlich basiert die Röntgenfluoreszenzanalyse auf der Messung der charakteristischen Röntgenstrahlung der vorhandenen chemischen Elemente, die durch eine Röntgenlichtbestrahlung ausgelöst wird. Der primäre Röntgenstrahl wird auf die zu messende Stelle gerichtet und mit Hilfe einer Blende (Kollimator) "fokussiert". Die durch die Primärstrahlung angeregte sekundäre Röntgenstrahlung (das Röntgenspektrum) enthält für jedes vorhandene chemische Element Linien einer charakteristischen Energie (energiedispersive Messung) bzw. Wellenlänge (wellenlängendispersive Messung).

In allen Fällen wurde hier die energiedispersive Röntgenfluoreszenz-Analyse (ED-RFA, engl. ED-XRF) eingesetzt, wobei die sekundäre Röntgenstrahlung mit einem energiedispersiven Detektor (in keV) gemessen wird. Mit den vorhandenen Kollimatoren war es möglich Stellen von ca. 0,1 bis 2 mm zu messen, wodurch auch an kleinen Verbindungsstellen Analysen durchgeführt werden konnten.

Die Energie der vorhandenen "Röntgenpeaks" erlaubt die qualitative Elementbestimmung an der untersuchten Messstelle, aus ihrer Intensität (Größe dieser Peaks) werden die Elementanteile mit Hilfe von Standardlegierungen bekannter Zusammensetzung quantitativ berechnet (Abb. 1).

³ Die Möglichkeiten, die sich aus dem Einsatz erweiterter optischer Untersuchungsmethoden von REM-Aufnahmen und Röntgendurchstrahlung ergeben können, werden beispielsweise in den Arbeiten von R. Echt u. W.-R. Thiele (1994) und W. Duczko (1985) deutlich.

Mit allen zerstörungsfreien RFA-Analysen liegen quantitative Ergebnisse der Legierungszusammensetzung vor, aber es handelt sich um Oberflächenanalysen⁴.

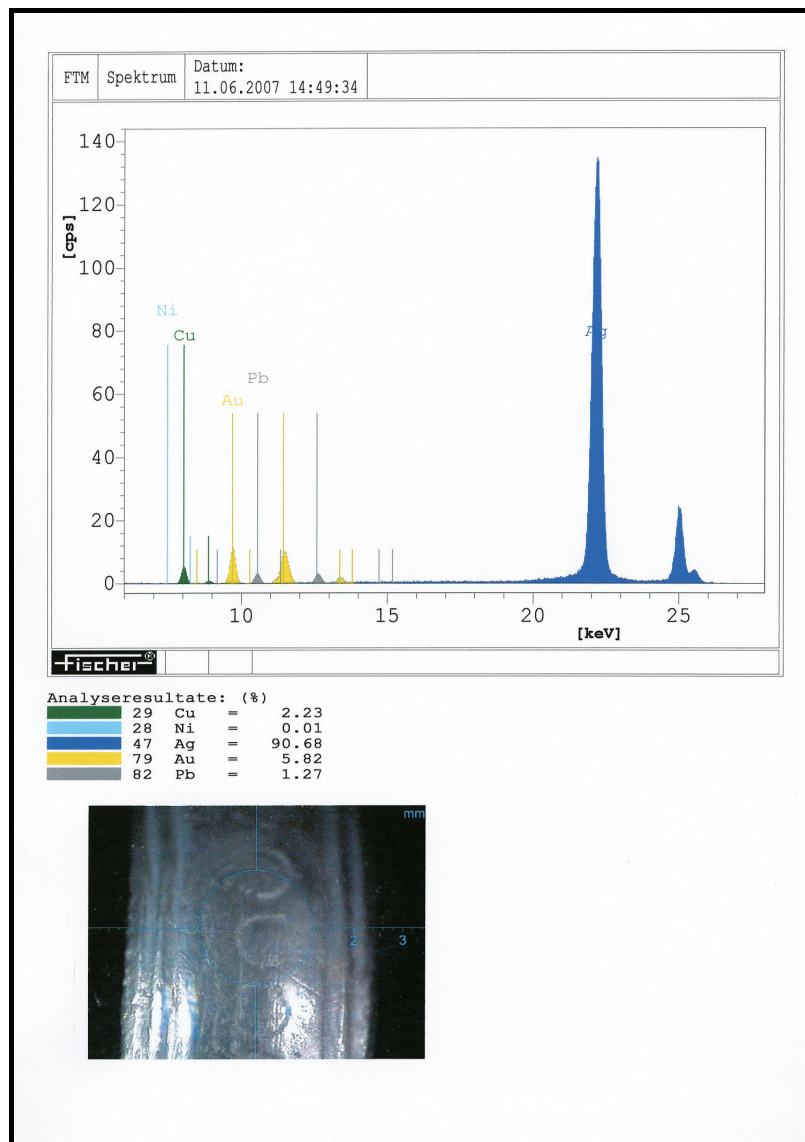


Abb. 1: Ergebnisse einer EDXRF-Analyse am IFZAA in Basel am Beispiel eines frühlatènezeitlichen Bandfingerrings aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,2).

Folgende Probleme bei der Interpretation solcher Analysen müssen deshalb bedacht werden:

- An der Oberfläche können andere Elementkonzentrationen als im Inneren des Objekts vorliegen, wenn beim Abkühlen der Schmelze eine Materialtrennung (Segregation) aufgetreten ist oder wenn intentionelle Oberflächenanreicherungen (siehe Kap. 4.4.6) vorgenommen wurden.

⁴ Die Primärstrahlung kann maximal 150 µm tief in das Metall eindringen. Aus welcher Tiefe die analytische Information stammt, die gemessen wird, ist abhängig vom entsprechenden Element (vgl. die "Ausdringtiefen" bei Stern 1994, 83 Tab. 4). Daher wird hier der Begriff Oberflächenanalyse im Unterschied zu reinen Oberflächenmessverfahren, die atomare Oberflächenschichten messen, verwendet.

- Korrosionsprozesse ändern die Zusammensetzung an der Oberfläche. Zum einen können sich die unedleren Bestandteile in Form von Korrosionsprodukten auf der Oberfläche anreichern. Eine Unterscheidung zwischen dem in der Legierung gebundenen Metall Kupfer und dem in den Korrosionsprodukten vorliegenden Kupfer ist jedoch nicht möglich. In diesem Fall würde man also einen erhöhten Kupfergehalt messen. Zum anderen können die Korrosionsprodukte schon während der Bodenlagerung entfernt worden sein, wodurch sich das edlere Metall in den Oberflächenschichten anreichert. Damit würde an der Oberfläche mehr Silber gemessen werden als in der ursprünglichen Legierung.
- Altrestauratorische Maßnahmen, wie Ätzbehandlungen, die das unedlere Metall herauslösen, können das Bild verfälschen.
- Diffusionsprozesse, die bei allen thermischen Verbindungstechniken stattfinden, können durch Oberflächenanalysen nicht erfasst werden.

All diese Inhomogenitäten der Legierungszusammensetzungen erfordern eine kritische Verwendung der Oberflächenanalysen (vgl. auch Stern 1994; 2003).

Auch wenn anhand entsprechender Kollimatoren kleine Stellen gemessen werden können, schränkt die "Fokussierbarkeit" des Röntgenstrahls bei der RFA die Möglichkeit der Messung kleiner Objektstellen, z. B. Lötungen, sehr ein. Dafür wäre der Einsatz von energiedispersiven Mikroanalysen (EDX) im REM vorteilhafter, weil hier die Primäranregung mit einem besser fokussierbaren Elektronenstrahl geschieht (Echt u. Thiele 1994, 13 ff.).

Probleme bei der Interpretation können jedoch mithilfe mehrerer Einzelmessungen an verschiedenen Stellen des jeweiligen Objekts und durch die Wahl des Kollimators verringert werden⁵. Trotz aller Bedenken sind dann nicht nur Charakterisierungen der verwendeten Legierungen (siehe Kap. 7), sondern auch Rückschlüsse auf die angewandten Löttechniken möglich, die in den Kapiteln 4.3 sowie 4.4.5 dargelegt werden.

Für die hier interessierenden Fragestellungen reicht die Bestimmung der wichtigsten Elemente Ag, Cu, Zn, Sn, Pb und Au in den Legierungen aus. Bei der jeweiligen Interpretation wird die Tatsache, dass es sich um Oberflächenmessungen handelt und eventuelle Korrosionsprodukte mitgemessen wurden, berücksichtigt und an der entsprechenden Stelle diskutiert. Alle Messergebnisse der im Rahmen der Untersuchungen durchgeführten Analysen sind in Tabellen im Anhang an den Katalog wiedergegeben⁶.

⁵ Dabei ist die Wahl des Kollimators von der Fragestellung abhängig. Während größere Kollimatoren für Analysen dann von Vorteil sind, wenn man trotz der zu bedenkenden inhomogenen Elementverteilung einen möglichst repräsentativen Eindruck von der verwendeten Legierung gewinnen möchte, ist die Wahl eines kleinen Kollimators bei Verbindungsstellen angebracht, um möglichst wenig von den umliegenden Bereichen mit zu erfassen.

⁶ Weitere im IFZAA Basel gemessene Nebenbestandteile werden zwar auch in den Tabellen angegeben, sind jedoch für die vorliegende Arbeit nicht von Belang.

2.4 Möglichkeiten und Grenzen in der Untersuchung archäologischer Silberfunde

Hinsichtlich herstellungstechnischer Fragestellungen besteht die Aussagekraft der Edelmetallfunde vor allem darin, dass sich Produktions- und Bearbeitungsspuren an der Metalloberfläche üblicherweise besser erhalten als an Buntmetallobjekten. In der vorliegenden Studie wurden die Silberschmuckfunde in den Mittelpunkt gestellt, da ihrer Bedeutung im Vergleich zu Fundobjekten aus Gold weitaus weniger Beachtung geschenkt wurde. Für einzelne vergleichende technische Fragestellungen wurden jedoch auch Goldfunde hinzugezogen, da an diesen hinterlassene Oberflächenspuren erheblich besser zu erkennen sind als an Silberfunden, die fast ausschließlich aus Legierungen mit einem mehr oder weniger hohen Kupfergehalt bestehen (siehe Kap. 3).

Die Tatsache, dass Kupfer nicht korrosionsbeständig ist, wirkt sich auf den Erhaltungszustand der Silberobjekte aus. Besonders deutlich wurde dies vor allem an den früh- und mittellatènezeitlichen Fingerringen, die in größerer Anzahl sowohl in Silber als auch in Gold untersucht wurden (siehe Kap. 5.1.1). Bei Letzteren waren die Oberflächen sehr gut erhalten und dadurch Herstellungsspuren in Abhängigkeit der antik polierten Oberfläche gut sichtbar. Die Exemplare aus Silber wiesen dagegen eine größtenteils stark korrodierte Oberflächenstruktur auf und waren damit in einem deutlich schlechteren Erhaltungszustand.

Da zudem eine große Anzahl der bekannten Silberschmuckfunde aus Altbeständen stammt, sind die Möglichkeiten der Interpretation besonders durch - teilweise undokumentierte - altrestauratorische Maßnahmen erschwert.

So wurden - nach heutigen Gesichtspunkten zerstörerische - Altrestaurierungen festgestellt, bei welchen offensichtlich chemische Reinigungsmittel zur Entfernung von Korrosionsschichten eingesetzt wurden, welche die Oberfläche anlösten. Einzelne Kupferkristalle einer Silber-Kupfer-Legierung können durch ein Anätzen herausgelöst werden, wodurch Löcher entstehen können, die ein Erscheinungsbild hervorrufen, welches dem einer Gussoberfläche mit Lunkern ähnlich sieht⁷. Besonders nachteilig wirkt sich die chemisch angeätzte Oberfläche vor allem dann aus, wenn keine anderen Merkmale vorliegen, welche den Guss als formgebende Technik unterstreichen würden, wie etwa Warmrisse oder Einzüge (siehe Kap. 4.2.1). Letztendlich können dann nur formimmanente Gründe für die Interpretation der Technik herangezogen werden, wie dies bei der Untersuchung der Fingerringe häufig geschehen musste.

Das Zusammenspiel von korrodierten und offensichtlich neuzeitlich angeätzten Oberflächen wird besonders deutlich bei Objekten, welche um die Wende zum 20. Jh. gefunden und "gereinigt" wurden, beispielsweise einzelne Funde aus Giubiasco (Kat. 10) und Wiggensbach (Kat. 47).

Eine Art "Vorteil" von angeätzten Oberflächen ist dagegen das Hervortreten der im Inneren liegenden Gefügestrukturen, die eine Unterscheidung zwischen einem gegossenen und einem

⁷ Für den freundlichen Hinweis auf die ätzende Wirkung von chemischen Reinigungsmitteln sei Herrn Dr. K. Anheuser, MAH Genf, gedankt, ebenso für weitere Gespräche zu diesem Thema Herrn M. Raithelhuber, Landesmuseum Württemberg, Stuttgart, und Frau Dipl.-Rest. T. Kreß, Regierungspräsidium Tübingen, Archäologische Denkmalpflege.

geschmiedeten Gefüge ermöglichen (siehe Kap. 4.2.2). Korrosion wie auch eine chemische Reinigung können daher auch Metallstrukturen sichtbar machen, die Hinweise auf Herstellungstechniken liefern können. So zeigt eine sichtbar gewordene parallel verlaufende Riefenstruktur, feine Korrosionslinien, die der Metallstruktur entsprechen, nach Untersuchungen von E. Foltz (1984, 364) ein geschmiedetes Metallgefüge an.

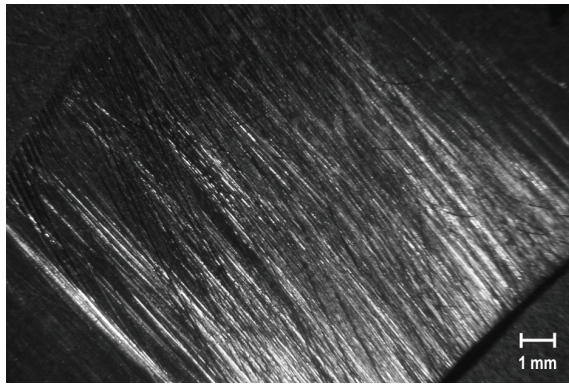
An die Grenzen stößt man jedoch, sobald es um die Entscheidung geht, ob es sich bei zu erkennenden Lotstellen um antike Verbindungen oder um neuzeitliche Reparaturmaßnahmen handelt. Nur wenn über Metallanalysen eindeutig moderne Elemente in einer Verbindungslegierung gefunden werden - in einer Silberlegierung beispielsweise Zink und Cadmium - kann antikes Lot ausgeschlossen werden. Im Fall von Zinn-Blei-Lotlegierungen würden jedoch keine Unterschiede feststellbar sein. Hier kann nur über weitere Informationen auf eine antike oder neuzeitliche Verbindungsstelle geschlossen werden (siehe Kap. 4.3.2; 5.5.2).

Besonders deutlich wird die Problematik vor allem dann, wenn die Zusammensetzung der Altfunde sicher nicht mehr ihrem originalen Zustand entsprechen kann, da Divergenzen bereits über die unterschiedlichen Zusammenstellungen in publizierten Beschreibungen und Abbildungen zu erkennen sind. Über deren Vergleich lassen sich jedoch wiederum auch antike von neuzeitlichen Verbindungsstellen unterscheiden. An einzelnen Objekten kamen offensichtlich nicht nur Klebstoffe und Kite zum Einsatz, sondern auch neuzeitliche Lote, wodurch das jeweilige Objekt für eine technische Interpretation der Verbindungstechnik unbrauchbar geworden ist (siehe Kap. 5.5.2).

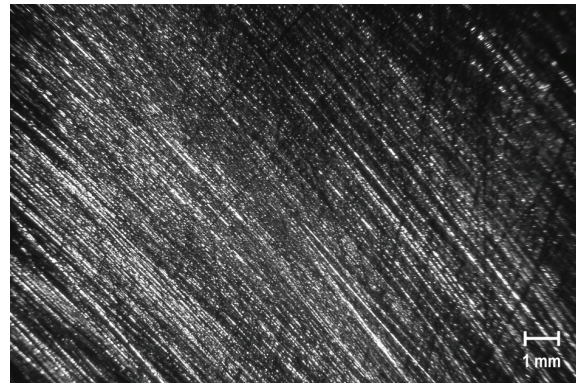
Auch der Einsatz der Drahtbürste zur Reinigung der Fundstücke nach ihrer Auffindung konnte an vielen Altfunden beobachtet werden, was sich nicht nur irreführend auf die Beurteilung der Oberflächenbehandlung auswirkt, sondern auch vorangegangene Herstellungsspuren verschleiern kann.

Ob die Spuren eines Schleifvorgangs auf die Oberflächenbearbeitung während der Herstellung oder auf einen modernen Reinigungsvorgang zurückzuführen sind, lässt sich nur selten definitiv beurteilen. Allein eine Gegenüberstellung von Spuren, die eine moderne Feile oder Schleifpapier sowie eine Drahtbürste hinterlässt, mit den Schleifspuren von Sandstein vermag dies zu verdeutlichen (Abb. 2).

Hinzu kommt, dass Gebrauch und Korrosion das Erscheinungsbild der Oberfläche zusätzlich verändern können. Eindeutig wird ein moderner Vorgang nur über die Spuren einer Drahtbürste erkennbar, wenn sie über Vertiefungen, wie beispielsweise Punzierungen, hinweg laufen.



a: Feilspuren einer modernen Feile



b: Schleifspuren von modernem Schleifpapier



c: Spuren einer Drahtbürste



d: Schleifspuren von Sandstein

Abb. 2: Proben hinterlassener Spuren von verschiedenen schleifenden Werkzeugen (alle auf Silberblech Ag 935, weder korrodiert noch abgenutzt).

Die Korrosionseigenschaften von Silber und seiner Legierungen mit Kupfer (siehe Kap. 3) führen dazu, dass an den Fundobjekten aus Silber, im Vergleich zu Gold, stärkere restauratorische Maßnahmen durchgeführt werden mussten und müssen.

Nur durch Berücksichtigung aller zusammenwirkenden Einflüsse können Rückschlüsse auf die einzelnen am Objekt angewandten Produktions- und Bearbeitungstechniken gezogen werden. Dazu sind nicht nur praktische Kenntnisse in der Verarbeitung von Edelmetallen notwendig, sondern auch das Wissen um die Wirkung von Korrosionsprozessen und altrestauratorischer Maßnahmen, da beides einen großen Einfluss auf das Oberflächenerscheinungsbild von Silberschmuck hat.

3. Das Material Silber

Silber zählt zu den Edelmetallen, da es beständig gegenüber dem Sauerstoff der Luft ist. Es besitzt das höchste Reflexionsvermögen und die höchste elektrische Leitfähigkeit aller Metalle, weshalb es seit dem letzten Jahrhundert besonders für die Industrie wertvoll wurde. Aufgrund seiner hohen Polierfähigkeit und damit glänzenden Wirkung wurde es in vor- und frühgeschichtlichen Zeiten und bis heute nicht nur als Münzgeld, sondern vorzugsweise auch für Schmuck und Tafelsilber verwendet.

3.1 Gewinnung von Silber

Silber ist im Gegensatz zu Gold in gediegener Form sehr selten zu finden und kann praktisch nicht wie dieses aus Fluss-Seifen gewonnen werden. Silberführende Gold- und Zinkerze, aber vor allem Blei- und Kupfererze, wie beispielsweise Bleiglanz und Fahlerze, sind die hauptsächlichen Rohstoffquellen für Silber (Bachmann 1991, 12; Hauptmann 2005, 428). Aus einer Gegenüberstellung der Metalle Kupfer, Silber und Gold wird deutlich, dass zur Silbergewinnung eine besonders aufwändige Erzaufbereitung und Verhüttung erforderlich ist (Tab. 1).

	Kupfer (Cu)	Silber (Ag)	Gold (Au)
Erze (wichtigste Mineralien)	V. a. Kupfersulfide (Kupferkies, Kupferglanz, Fahlerze usw.) und Kupferkarbonate (Malachit, Azurit)	Wichtigster Rohstoff ist silberhaltiger Bleiglanz (PbS), andere Silbererze und gediegenes Silber sind selten	Hauptsächlich gediegenes Gold (Berggold und Seifengold), andere Golderze sind selten
Lagerstätten in Mitteleuropa	Primäre (v. a. mit Pb und Zn) und sekundäre Lagerstätten in den Alpen (z. B. Mitterberg) und Mittelgebirgen (z. B. Schwarzwald, Harz)	Zusammen mit Lagerstätten anderer Metalle (Pb und Cu) in Mittelgebirgen (Schwarzwald, Harz usw.) und Alpen	"Berggold" in Quarzgängen (z. B. Alpen), "Seifengold" in Fluss-Sedimenten (z. B. "Rheingold")
Metallgewinnung	Kombination von Röstvorgängen (Oxidation) und Reduktionsschmelzen	Gewinnung silberhaltigen Bleis und folgende Isolierung des Silbers durch Treibprozess = Kupellation, erfordert größere technische Fähigkeiten als bei Gold	Einfache Gewinnung durch "Waschen" (Schwereretrennung), da schon metallisches Gold vorliegt

Tab. 1: Vergleich der reinen Metalle Kupfer, Silber und Gold; natürliche Vorkommen, Lagerstätten und Gewinnung (Daten zusammengestellt aus den in diesem Kapitel genannten Publikationen).

Die Verhüttung von Silber erfolgte in der Antike über ein "verbleiendes Schmelzen" und ein anschließendes Kupellationsverfahren (Bachmann 1993b, 38). Um das Silber aus dem Erz zu gewinnen, werden die zuvor aufbereiteten - durch Rösten vom Schwefel getrennten - silberhaltigen Bleierze, bzw. im Falle von bleiarmer Erzen unter Zugabe von Blei, reduzierend geschmolzen, um in einem ersten Schritt das silberhaltige Werkblei zu erhalten. Bei der folgenden Kupellation (lat. *cupella* = Schälchen, Napf), dem eigentlichen Treibprozess, wird

das silberhaltige Blei oxidierend geschmolzen, um das Blei vom Silber zu trennen, wodurch die sogenannte Bleiglätte entsteht. Nach dem Abfließen bzw. dem Abziehen der Bleiglätte erhält man das sogenannte Blicksilber. Abhängig von den Ausgangsbedingungen der Kupellation im einzelnen enthält das auf diese Weise hergestellte Silber unterschiedlich hohe Spurenelementgehalte vor allem von Kupfer, Gold, Blei, Zinn, Nickel sowie Wismut (Richter 1987, 234; Raub 1987, 237 ff.; 1995, 257).

Das Spurenelement Blei gilt bei Metallanalysen als Indikator für ein im Kupellationsverfahren gewonnenes Silber aus Bleiglanz (Burkhardt 1994, 60). Für Funde, deren Silber auf diese Weise gewonnen wurde, ist ein Bleianteil von 0,01 bis 0,1 % typisch, während gediegenes Silber meist weniger als 0,01 % Blei enthält (Pernicka 1990, 58).

Die bekanntesten Befunde, welche diese Gewinnungsprozesse in vorgeschichtlicher und antiker Zeit belegen, stammen aus dem ägäischen Raum von Laurion, Siphnos und Thasos sowie aus dem Südwesten Spaniens (Bachmann 1993a,30).

Mitteleuropäische Erzlagerstätten, welche besonders ab dem Mittelalter eine herausragende Rolle für die Silbergewinnung spielten, finden sich vor allem im Schwarzwald, im sächsisch-böhmischen Erzgebirge, im slowakischen Erzgebirge, im Harz, im Siegerland sowie in Tirol (Hauptmann 2005, 429). In den Schweizer Alpen sind besonders im Wallis mehrere Bleiglanzlagerstätten bekannt, beispielsweise in St. Luc-Bella Tola und in Praz Jean. Im letzten Fall sind die Silbergehalte mit 1,5 bis zu 4 kg/t Blei besonders hoch (Dunning u. Evans 1986, 49). Gleiches gilt für die Lagerstätten von silberhaltigem Bleiglanz im Scarltal im Unterengadin in den Schweizer Alpen und die silberhaltigen Golderze von Gondo und Astano (Hofmann 1991, 38). Es liegen bislang jedoch keine sicheren Nachweise für eine antike Nutzung vor, obwohl gerade aus diesen Gebieten eine große Anzahl an Silberschmuckfunden bekannt ist⁸.

Eine vormittelalterliche Nutzung der bekannten mitteleuropäischen Lagerstätten zur Gewinnung von Silber wird diskutiert, vereinzelte Hinweise gibt es für die Latènezeit und indirekte Belege erst ab der Kaiserzeit.

Ähnlich wie im Wallis konzentrieren sich auch in Böhmen latènezeitliche Silberfunde auf die Regionen, welche für ihre spätestens mittelalterliche Silbergewinnung bekannt sind. Eine "semiquantitative Analyse" an einem frühlatènezeitlichen Bandfingerring aus Libenice ergab offensichtlich einen hohen Anteil an Wismut, der auch für die in der Nähe anstehenden

⁸ Die Isotopenzusammensetzung eines frühlatènezeitlichen Armrings aus Sierre-Muraz im Kanton Wallis wies keine Übereinstimmung zu den Erzen der Ganglagerstätten des oberen Rhone-Tals auf. Eine identische Isotopenzusammensetzung könnte auf eine mögliche Herkunft des Silbers aus Lagerstätten von Chamonix in Frankreich verweisen, die Verwendung von wieder eingeschmolzenem Altmetall wird jedoch ebenfalls in Betracht zu ziehen sein (Curdy u. Guénette-Beck 2001). Weitere Bleiisotopenuntersuchungen einzelner Funde aus frühlatènezeitlichen bis augusteischen Gräbern des Wallis und des Tessins verweisen auf eine heterogene Zusammensetzung des jeweils verwendeten Silbers und damit auf Silber unterschiedlicher Herkunft (Guénette-Beck u. a. 2009, 219 ff.). Nur ein Teil des Silbers, welches zur Herstellung von drei in augusteische Zeit zu datierenden Ringen aus Randogne-Bluche im Kanton Wallis benutzt wurde, zeigte Übereinstimmungen zu einer lokalen Erzlagerstätte (Goppenstein), weshalb angenommen wird, dass für diese Stücke auch Silber aus lokalen Erzen verwendet wurde (ebd. 221f.). Da hier jedoch offensichtlich unterschiedliches Material zusammengeschmolzen wurde, ist auch eine Verwendung von Münzen diverser Herkunft nicht auszuschließen.

Silbererze charakteristisch sein soll, weshalb eine lokale Herkunft des Rohmaterials für diesen Fingerring als wahrscheinlich angesehen wird (Waldhauser 2003, 505 f.). Der unsichere Fund einer keltischen Goldmünze am Ausbiss der silberhaltigen Erzgänge von Kutná Hora und eine Reihe keltischer Siedlungen in der Nähe gelten als Hinweise auf eine mögliche Nutzung der Lagerstätten bereits in der jüngeren Latènezeit, stellen jedoch keineswegs gesicherte Belege dar (ebd. 506). Auf der anderen Seite kann auch eine Gewinnung des Silbers aus eingeschmolzenen Denaren der römischen Republik, nicht nur für Schmuck, sondern auch für die ab der Stufe LT C2 in Böhmen geprägten Silbermünzen, nicht ausgeschlossen werden (ebd. 510).

Für die germanischen Provinzen der Kaiserzeit gilt beispielsweise Wiesloch in Baden als ein bekanntes römisches Abbaugbiet für Silber (Dunning u. Evans 1986, 181). Eine Nutzung des Silberbergwerks von Wiesloch ab vespasianischer Zeit ist durch eine Reihe von Fundmünzen aus dem Zeitraum zwischen 69 und 244 n. Chr. in den Stollenanlagen belegt (Hildebrandt 1989, 241; Weisgerber 1993, 61). Eine lokale Silbergewinnung wird für den Kraichgau jedoch bereits ab der Spätlatènezeit postuliert. Eine Analyse von unter antiken Bedingungen erschmolzenem Silber aus dem Bleiglanz von Wiesloch ergab dieselben Legierungsbestandteile und Verhältnisse an Bleiisotopen wie Silbermünzen aus dem Oppidum Heidetränke bei Oberursel im Taunus (ebd.; Zwicker u. a. 1985, 45 f.).

Besonders im Rheinland gibt es mehrere Belege für eine antike Verhüttung lokaler Bleierze (Körlin u. Gechter 2003, 247). Hinsichtlich einer Silbergewinnung ist das Bergbaugbiet auf dem Lüderich im Rheinischen Schiefergebirge, wo sich zahlreiche Zeugnisse für dessen Nutzung bereits in römischer Zeit fanden, hervorzuheben⁹. Neben Resten von Verhüttungsöfen, Bleierzstücken und Bleischlacken sowie Blechresten von Blei fanden sich innerhalb der anhand von Keramik in augusteisch-tiberische Zeit datierenden Bergbausiedlung auch Funde von Bleiglätte und Reste von Kupellen, die eine lokale Extraktion von Silber aus dem Bleierz belegen (ebd. 245).

Ein weiterer Hinweis auf eine lokale Silbergewinnung liegt auch mit einem Bleiglättefund aus einem römischen Gutshof des 2. Jhs. n. Chr. in der Nordeifel vor, der als Abfallprodukt eines Treibprozesses innerhalb der Siedlung identifiziert wurde (Bachmann 1977). Ob das Rohmaterial aus den in der Nähe anstehenden Bleierzen stammt oder silberhaltiges Altmetall verwendet wurde, blieb jedoch offen (ebd. 621).

Auch im Südschwarzwald sind Hinweise auf keltischen und indirekte Nachweise für römischen Bergbau vorhanden, eine Silbergewinnung vor Ort ist jedoch nicht eindeutig belegt. Ein in der nahegelegenen spätlatènezeitlichen Siedlung von Altenburg-Jestetten gefundener Produktionsrest mit hohen Silber- und Bleianteilen gilt etwa als Indikator für eine Gewinnung des Rohmetalls durch die Verhüttung von Bleiglanz (Burkhardt u. Wendling 2005, 30), ob das Erz tatsächlich aus den benachbarten Lagerstätten stammt, bleibt allerdings offen. Eine

⁹ Der Silbergehalt des anstehenden Bleiglanzes beträgt dort wohl durchschnittlich 350 g/t, vereinzelt auch bis 700 g/t (Körlin u. Gechter 2003, 238).

Erzgewinnung und Verhüttung in römischer Zeit ist dagegen indirekt nachgewiesen, nicht nur durch in Gebäuden verbaute Schlacken, sondern auch durch Erzreste, Schlacken und Bleiglätte aus römischen Siedlungsbefunden sowie über in das 2. und 3. Jh. n. Chr. datierende Keramikscherben im Bereich des Tagebaus von Sulzburg im südlichen Schwarzwald (Steuer 1999, 38 ff.; Rauschkolb 1999, 59 f.; Goldenberg 2003, 185 ff.).

So wird spätestens ab der römischen Kaiserzeit mit einem Abbau von Bleierzen in Mitteleuropa zu rechnen sein, ob diese jedoch für eine Silbergewinnung genutzt wurden, lässt sich bisher nur in Ausnahmefällen belegen. Die Bedeutung dieser einzelnen Bergbaue wird sicherlich nicht mit derjenigen der bekannten römischen Bergbaugebiete vergleichbar sein, wie in Dakien, Griechenland oder Spanien, wo zudem höhere Silbergehalte der Erze eine effizientere Ausbeutung ermöglichten¹⁰.

Die Verarbeitung von Silber in Mitteleuropa wird vielmehr sowohl in der Latènezeit als auch in den Provinzen des Römischen Reiches über den Import von Münzen und Barren mit dem Rohstoff Silber versorgt worden sein (so auch Baumeister 2004, 55 f.).

Um über das Altmallrecycling an das Rohmaterial Silber zu gelangen, ist wiederum ein Treibprozess notwendig, der unter dem Begriff Raffination bekannt ist. Dieser Trennprozess ist letztlich nichts anderes als die oben beschriebene Kupellation, statt Erz wird lediglich das Altmall als Ausgangsmaterial verwendet. Unter Zugabe von Blei werden die unedlen Bestandteile aus dem Altmall durch das verbleiende Schmelzen entfernt. Das entstandene Werkblei wird wiederum aufgeschmolzen und abgetrieben, um schließlich an das so raffinierte Silber zu gelangen. Für die Gewinnung von Silber aus Altmall gibt es gerade für die römische Kaiserzeit direkte Nachweise, die einen Treibprozess bzw. eine Raffination unter Zugabe von Blei aufzeigen (siehe Kap. 6.2).

Um die Herkunft des Silbers einzelner Funde nachzuweisen bzw. auf in Frage kommende Lagerstätten einzugrenzen, reicht die Ermittlung der Spurenelemente nicht aus. Allein die Isotopenverhältnisse sind eine charakteristische Eigenschaft der jeweiligen Lagerstätte, auf welche der Mensch im Gegensatz zu allen anderen Bestandteilen keinen Einfluss ausüben kann. Deshalb gilt die Bleiisotopenanalyse üblicherweise als die verlässlichste Methode für eine Provenienzbestimmung der verwendeten Bunt- und Edelmetalle.

So konnte beispielsweise über die Bleiisotopenverhältnisse an augusteischen Kupfermünzen aus Rom eine Herkunft des Kupfers aus Erzen der südspanischen Lagerstätten wahrscheinlich gemacht werden (Klein 2007). Diese Münzen wurden jedoch aus einem fast reinen Kupfer mit nur geringen Beimengungen anderer Elemente hergestellt. Allein diese Tatsache weist bereits auf ein primär aus dem Erz gewonnenes Kupfer und ermöglicht damit günstige Bedingungen für eine Herkunftsbestimmung. Sobald allerdings eingeschmolzenes Altmall unterschiedlicher Provenienz verwendet wurde, wird eine Eingrenzung auf eine bestimmte Lagerstätte wesentlich problematischer.

¹⁰ Die Erze auf der Iberischen Halbinsel weisen eine äußerst silberreiche Zusammensetzung auf und können wohl Silbergehalte zwischen 0,5 und 5 kg/t betragen haben (Moesta u. Franke 1995, 118; Keesmann 1993, 112 f.).

Wie schwierig eindeutige Provenienzbestimmungen sind, zeigt auch das Beispiel der jüngst durchgeführten Untersuchungen zur Herkunft des für den Gundestrup-Kessel verwendeten Silbers. Anhand von Bleiisotopenanalysen konnten Übereinstimmungen mit keltischen Münzen aus Nordfrankreich und Westdeutschland festgestellt werden, deren Silber wiederum identische Bleiisotopen wie einige Erze aus den Österreichischen Alpen aufwies (Nielsen u. a. 2005, 35). Da bis heute zu wenig Vergleichsdaten anderer in Frage kommender Lagerstätten vorliegen, können Isotopenanalysen lediglich Wahrscheinlichkeiten aufzeigen und keine ausschließlichen Nachweise liefern (ebd. 31).

3.2 Werkstoffeigenschaften von Silber und seinen Legierungen

Für die vorliegende Arbeit steht weniger die Gewinnung und Herkunft von Silber im Vordergrund als vielmehr seine Weiterverarbeitung. Daher sollen die spezifischen Eigenschaften des Werkstoffes Silber im Folgenden hervorgehoben werden. Ein Vergleich der reinen Metalle Kupfer, Silber und Gold vermag bereits zu verdeutlichen, welche Unterschiede in den Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften eine Verwendung der Metalle beeinflusst haben könnten (Tab. 2).

		Kupfer (Cu)	Silber (Ag)	Gold (Au)
Optische Eigenschaften	Farbe und Glanz	"Gelbrotes" Metall = kupferfarben	Weißglänzendes Metall = silbern	Gelbglänzendes Metall = golden
	Reflexionsvermögen in weißem Licht	73 %	95 %	85 %
Thermische und mechanische Eigenschaften	Schmelzpunkt	1083 °C	961 °C	1063 °C
	Dichte	8,9 g/cm ³	10,5 g/cm ³	19,3 g/cm ³
	Brinell-Härte	45	26	18,5
	Zugfestigkeit	221 N/mm ²	137 N/mm ²	131 N/mm ²
	Verarbeitungseigenschaften	Härte und Zugfestigkeit höher als bei Silber und Gold, gut mechanisch verarbeitbar	Sehr duktil: hämmerbar bis zu 2 µm dicker Folie, ziehbar bis zu 2 km Drahtlänge pro Gramm	Duktiler als Silber: hämmerbar bis zu 0,1 µm dicker Folie (Blattgold), ziehbar bis zu 3 km Drahtlänge pro Gramm
Chemische Eigenschaften, Beständigkeit	Korrosionsverhalten an Luft	Langsame Korrosion an Luft: Bildung von Kupferoxiden und Kupferkarbonaten (z. B. "Grünspan")	Edles Metall: beständig gegen Sauerstoff, schwarzes Anlaufen = Ag ₂ S-Bildung, gräuliches Anlaufen = AgCl-Bildung	Sehr edles Metall: (chemisch edler als Silber), absolut unveränderlich an Luft, der Glanz bleibt immer bestehen

Tab. 2: Vergleich der Eigenschaften der reinen Metalle Kupfer, Silber und Gold (Daten zusammengestellt aus den in diesem Kapitel genannten Publikationen).

Ein bedeutender Nachteil von Silber gegenüber Gold ist seine starke Reaktion mit schwefel- und chlorhaltigen Verbindungen. Bei Reaktion mit Schwefelspuren der Luft bildet sich das schwarze Silbersulfid, das als das sogenannte Anlaufen die bekannteste Korrosionsform von Silber darstellt (Hammer 1993, 27). Mit chlorhaltigen Verbindungen reagiert Silber durch die Bildung von Silberchlorid, eine grauweiße bis gelbgraue Schicht, die auch als Hornsilber bezeichnet wird (ebd. 28; 245).

Aber auch die in poliertem Zustand silbrigglänzenden Metalle Blei und Zinn können ähnliche Korrosionserscheinungen aufweisen, was zu Verwechslungen in der rein optischen Ansprache führen kann. Während an Blei gräuliche bis schwärzliche, aber auch gräulich-weißliche Korrosionsprodukte auftreten, kann korrodiertes Zinn graumatt, aber auch blauschwarz oder braun erscheinen (Hammer 1993, 250 f.).

Hauptsächlicher Legierungspartner für Silber ist Kupfer. Über den Kupfergehalt werden die mechanischen und thermischen Eigenschaften im System Silber-Kupfer maßgeblich beeinflusst. Da jedoch Kupfer gegenüber dem Luftsauerstoff nicht beständig ist, nimmt die Korrosionsanfälligkeit der Silber-Kupfer-Legierungen mit steigendem Kupfergehalt zu. Untersuchungen zeigten, dass ab einem Kupfergehalt von ca. 4 % in der Silberlegierung ein sichtbares Kupferkorrosionsprodukt an der Metalloberfläche entstehen kann¹¹.

Als Korrosionsprodukte können sich - in Abhängigkeit von den Zutrittsmöglichkeiten von Luft und Wasser - Malachit und Azurit als grünliche und bläuliche Kupfercarbonate sowie Cuprit als rötliches Kupferoxid bilden. Diese Korrosionsprodukte führen dazu, dass Silberfunde heute das Erscheinungsbild von Buntmetall aufweisen können. Gleichzeitig erlaubt das Auftreten grünlicher Korrosionserscheinungen an der Oberfläche die Aussage, dass ein Legierungsanteil von mindestens 4 % Cu enthalten sein muss. Umgekehrt ist jedoch der Rückschluss nicht zulässig, dass bei einem Fehlen von grünlichen Stellen eine Legierung mit einem höheren Silbergehalt und weniger als 4 % Cu verwendet wurde. Alle Korrosionsprozesse und damit das heutige Erscheinungsbild der Metalloberfläche sind vor allem davon abhängig welchen chemischen Substanzen das Objekt im Boden ausgesetzt war.

Mit steigendem Zusatz von Kupfer ändert sich auch die Farbe der Legierung. Ab 20 % Cu wird die Silberlegierung gelbweiß und ab 50 % Cu zunehmend rötlich (Brepohl 2000, 48). Die Rotfärbung wird erst ab einem Kupfergehalt von ca. 70 % deutlich.

Nicht nur der Materialwert, sondern auch die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften von Silber hängen stark von der entsprechenden Legierungszusammensetzung ab.

Feinsilber hat einen Schmelzpunkt von 961 °C, eine Dichte von 10,5 g/cm³ und lässt sich bis zu 50 % dehnen. Reines Kupfer schmilzt bei 1083 °C und besitzt ebenfalls eine hohe Verformbarkeit. Bei der Legierung von Silber mit Kupfer, bestimmt das Kupfer vor allem Härte, Dehnungs-, Festigkeits- und Schmelzeigenschaften, die sowohl zum Gießen als auch für thermische Verbindungstechniken entscheidend sind.

¹¹ Freundlicher Hinweis von Herrn M. Raithelhuber, Landesmuseum Württemberg, Stuttgart.

Schwierig ist die Verwendung von Feinsilber für den Guss, da es in geschmolzenem Zustand Sauerstoff aus der Luft aufnimmt, der beim Erstarren entweicht und das sogenannte Spratzen, eine explosionsartige Abgabe von Sauerstoff, hervorruft (Brepohl 2000, 55). Diese Erscheinung ist umso stärker, je weiter das Silber über seinen Schmelzpunkt hinaus erhitzt wird und je schneller die Schmelze abgekühlt wird. Beim Gießen spratzt das flüssige Silber immer, aber je höher der Silbergehalt ist, umso stärker zeigt sich die Eigenschaft Sauerstoff aufzunehmen. Der nicht aus dem Gussstück entwichene Sauerstoff wird in Gasblasen festgehalten, welche als Hohlräume die Dehnung des Metalls bei der weiteren Verarbeitung behindern, so dass es bei einem darauffolgenden Schmieden leicht reißen kann (ebd.). Beim Zwischenglühen während der weiteren Verarbeitung dehnt sich das Gas aus und bildet das sogenannte Blasensilber (ebd. 49). Silberlegierungen mit niedrigerem Feingehalt lassen sich dagegen leichter gießen, nicht nur wegen ihrer niedrigeren Schmelztemperaturen, sondern auch aufgrund der Tatsache, dass das Spratzen durch die Bildung eines Kupferoxids, d. h. indem der Sauerstoff an Kupfer gebunden wird, verhindert wird. Allerdings hat auch dieses wieder einen Nachteil, da das Kupferoxid die Legierung hart und spröde macht und bei Bildung des sogenannten Kommasilbers leicht zu Rissen und Brüchen bei der weiteren Verformung führen kann (ebd. 48; 56). So muss bei einem Schmelzen von Silber und Silberlegierungen der Sauerstoffzutritt weitestgehend verhindert werden, indem das Schmelzgut beispielsweise mit Holzkohle bedeckt wird (Braun-Feldweg 1968, 247).

Nicht nur zum Gießen, sondern auch um die Härte und die Festigkeit des Silbers zu steigern, werden Legierungen mit einem höheren Kupfergehalt verwendet. Stark beanspruchte Elemente von Schmuckgegenständen können daher bevorzugt aus Legierungen mit niedrigeren Feingehalten hergestellt werden. Im Gegenzug wird die Dehnung bei zunehmendem Kupfergehalt geringer. Eine eutektische Legierung mit 72 % Ag hat im Silber-Kupfer-System die höchsten Werte für Härte und Festigkeit, aber Minimalwerte bezüglich der Dehnung.

Legierungen mit höherem Feingehalt lassen sich besser mechanisch verarbeiten und thermisch verbinden. Für alle thermischen Verbindungstechniken sind Legierungen mit höheren Feingehalten von Vorteil, da mit sinkendem Kupfergehalt die Oxidationsprozesse während des Erhitzens geringer werden und die Verbindung einfacher herstellbar ist sowie größere Festigkeit behält.

Eine Übersicht über die Einsatzbereiche moderner Silberlegierungen (vgl. Wolters 1992, 61 f.; Brepohl 2000, 51 f.) verdeutlicht die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der unterschiedlichen Legierungszusammensetzungen. Die Legierungsbezeichnungen richten sich dabei nach dem Feingehalt (Gewichtsanteil des Silbers in Promille).

Ag 970: besonders für plastische Treib- und Ziselierarbeiten sowie Drahtgestaltungen und Emailarbeiten geeignet, kann jedoch im Gebrauch leicht verbiegen und verkratzen

Ag 925: heute bevorzugte Legierung für Silberschmuck aufgrund guter Formbarkeit bei gleichzeitig ausreichender Stabilität im Gebrauch

Ag 900: zum Gießen, Biegen, Löten, Treiben und Ziselieren gut geeignet, aber zu fest für feine Filigranarbeiten und stark ausgearbeitete Blechziselierungen

Ag 835: schwierigere mechanische Bearbeitung, daher heute fast nur in der industriellen Schmuckanfertigung verwendet

Ag 800: für Korpusarbeiten und Bestecke aufgrund des niedrigen Materialwertes sowie Gussobjekte geeignet, aber schwierige mechanische Umformung

Ag 720: eutektische Legierung mit maximaler Härte und Festigkeit, aber minimaler Dehnung innerhalb des Ag-Cu-System. Daher geeignet für beanspruchte Teile, wie Federn oder Nadelteile, aber auch als Lotlegierung für außereutektische Legierungen

Die gezielte Verwendung einer Silberlegierung ist also nicht nur abhängig von ihrem Materialwert, sondern auch von den spezifischen Fertigungs- und Gebrauchseigenschaften der Legierung. Wenn man von hochwertigen Silberlegierungen spricht, ist zwar allein der hohe Wert des Silbergehalts gemeint, der technische Wert muss damit nicht zwingend auch hoch sein, sondern ist abhängig vom Verarbeitungszweck.

Für alle thermischen Arbeitsvorgänge sind die Schmelztemperaturen der Legierungen von besonderem Interesse, wobei folgende Temperaturen zu unterscheiden sind:

Schmelzpunkt und Schmelzbereich:

Reine Metalle haben einen Schmelzpunkt, bei dem der Stoff vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Legierungen haben dagegen einen Schmelzbereich, der von Liquidus- und Solidustemperatur begrenzt wird.

Liquidustemperatur:

Temperatur, bei der die Erstarrung der Schmelze einer Legierung beginnt; Liquiduslinie als obere Grenze des Schmelzbereichs im Phasendiagramm

Solidustemperatur:

Temperatur, bei der die Erstarrung der Schmelze einer Legierung beendet ist; Soliduslinie als untere Grenze des Schmelzbereichs im Phasendiagramm

Eutektischer Punkt:

Schmelzpunkt der eutektischen Legierungen

Aus den Phasendiagrammen lassen sich Informationen zum Schmelzverhalten jeder beliebigen Legierung des entsprechenden Systems ableiten (Abb. 3). Die Liquiduskurve begrenzt jeweils den flüssigen Zustand der Legierungen und die Soliduskurve den festen Zustand. Zwischen den beiden Kurven liegen sowohl feste Mischkristalle als auch Schmelze nebeneinander vor. Die Informationen sind vor allem dann von Bedeutung, wenn es um eine Interpretation der angewandten Verbindungstechniken geht, z. B. um die Schmelzbereiche der Lotlegierungen zu ermitteln.

Bei den Phasen- oder Zustandsdiagrammen handelt es sich allerdings immer um Idealbilder, bei welchen das thermische Verhalten der Metalle und Legierungen bei extrem langsamer Abkühlung angegeben ist. In der Praxis sind die Verhältnisse des idealen Phasendiagramms nicht immer erreichbar, da die Zeiten für die notwendigen Diffusionsvorgänge zu kurz sind, wodurch sich die Legierungen abweichend zum Diagramm verhalten können. Dennoch können die Stoffdiagramme wichtige Informationen zum Schmelzverhalten jeder Legierung liefern, beispielsweise auch um die Schmelztemperaturen von Lotlegierungen zu ermitteln.

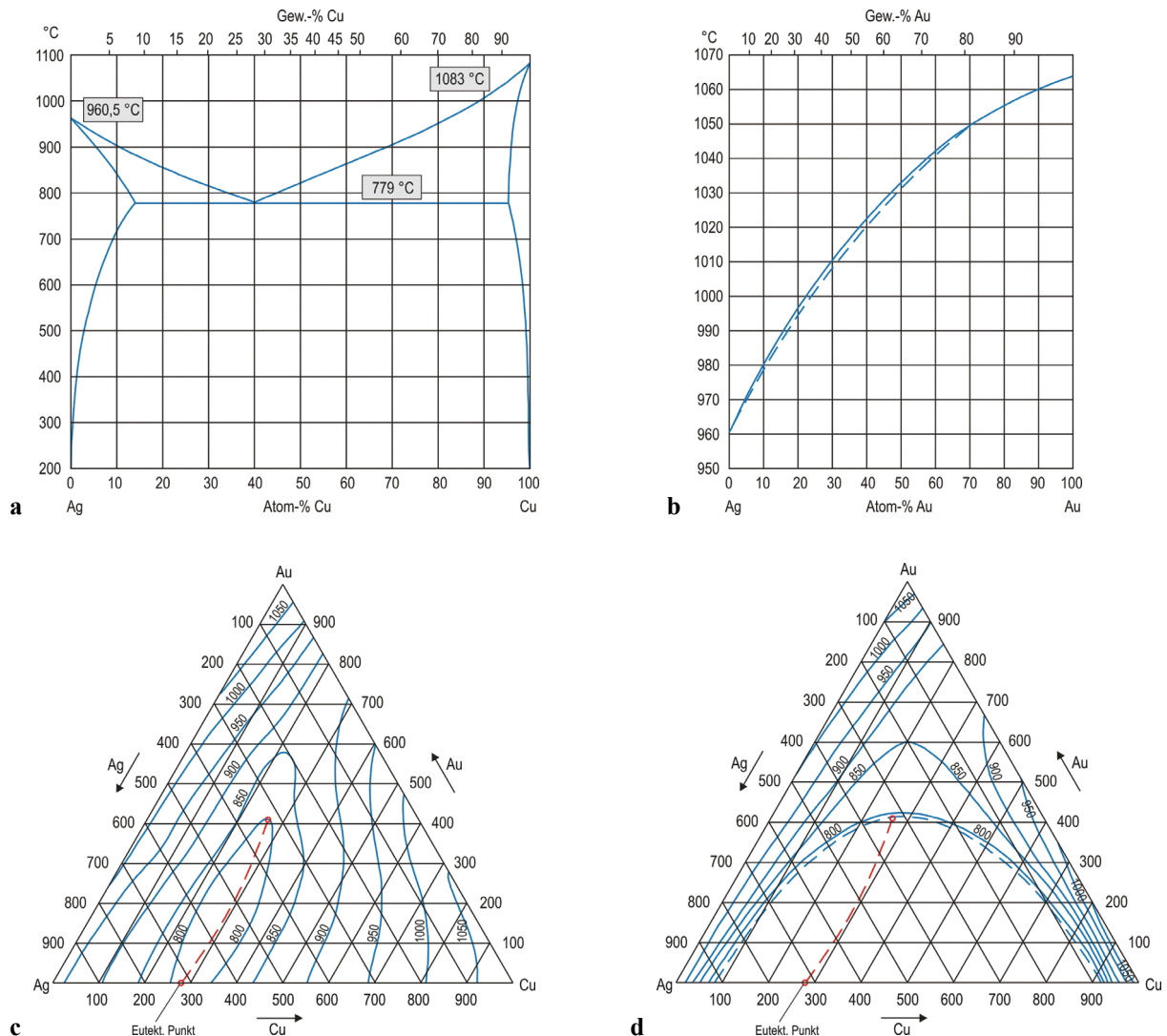


Abb. 3: Phasendiagramme der Legierungssysteme mit Gold, Silber und Kupfer (Umzeichnungen nach Hansen 1958, 18 Abb. 11; Elliott 1965, 3 Abb. 2; Brepohl 2000, 60 Abb. 1.36; 1.37).

a: Zweistoffsystem Ag-Cu: begrenzte Mischkristallbildung, eutektisches System (eutektische Legierung Ag 720, übereutektische Legierung Ag 910 bis Ag 720, untereutektische Legierung Ag 720 bis Ag 80 und außereutektische Legierung Ag 1000 bis Ag 910 sowie Ag 80 bis Ag 0).

b: Zweistoffsystem Au-Ag: homogene Mischkristallbildung aller Legierungen.

c: Dreistoffsystem Au-Ag-Cu; Liquidusflächen.

d: Dreistoffsystem Au-Ag-Cu; Solidusflächen.

Inwiefern unterschiedliche Legierungen nicht nur in Abhängigkeit vom Materialwert, sondern auch von ihren Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften, für die latènezeitliche und provinzialrömische Schmuckherstellung bewusst verwendet wurden, ist eine der Fragestellungen, die in dieser Arbeit diskutiert werden sollen (siehe Kap. 7).

3.3 Antike Prüfmethode

Unterschiede in den verwendeten Silberlegierungen weisen auf die Kenntnis ihrer differierenden Eigenschaften oder zumindest ihres Materialwertes hin. Um den Feingehalt der Legierungen zu überprüfen, standen den Handwerkern der Antike diverse physikalische, mechanische und chemische Prüfmethode zur Verfügung (vgl. Hammer 1998a, 159 f.).

Die einfachste Methode, um den Feingehalt einer Edelmetalllegierung festzustellen, ist die Strichprobe auf einem sogenannten Probierstein, welche jedoch die Kenntnis der typischen metallischen Grundfarben voraussetzt. Durch den Vergleich des auf einem schwarzen Stein erzeugten Abstriches mit der Farbe eines Striches bekannter Zusammensetzung kann der Feingehalt von Edelmetallen überprüft werden. Bei Plinius d. Ä. wird der Probierstein zur Bestimmung des Gold-, Silber- und Kupfergehaltes genannt, wobei der "lydische Stein" wie eine Feile gehandhabt wird, indem etwas vom Metall abgerieben wird (Plin. nat. 33, 126). Als Probierstein ist jedes harte, dunkle Gestein mit dichtem, feinkörnigem Gefüge geeignet, klassischerweise der Kieselschiefer, also "Lydit" bzw. schwarzer Radiolarit (Projektgruppe Plinius Silber 1998, 53).

Während heute zur Strichprobe verschiedene Probiersäuren hinzugezogen werden (Brepohl 2000, 128 ff.), wird noch Anfang des 20. Jahrhunderts die Möglichkeit der rein mechanischen Prüfung mit dem Probierstein zum Prüfen von Silber genannt, wobei hochwertiges Silber einen weißen Strich, "mittleres Silber" einen gelblicheren Strich und "geringeres Silber" einen rötlichen Strich hinterlassen soll (Pritzlaff 1922, 108).

Probiersteine mit Spuren von Gold sind sowohl aus der Latènezeit bekannt als auch aus der römischen Kaiserzeit (Steuer 2003, 474 f.). Als Beispiele seien ein möglicherweise mit dem Goldschmiedehandwerk verbundenes Exemplar aus dem gallorömischen Siedlungsbereich von Bibracte in Frankreich (Fleischer u. Teegen 2004) sowie ein Tonschiefergeröll aus dem römischen Trier (Fund Nr. 2 bei Löhr 1985) genannt.

Andere Prüfverfahren waren die Dichtebestimmung nach der Auftriebmethode, um vergoldete oder versilberte Objekte von solchen aus Gold oder Silber zu unterscheiden, oder die Feuerprobe mit Hilfe der spezifischen Glühfarbe der Metalle. Nicht nur der Probierstein, sondern auch die verschiedenen thermischen Prüfmethode werden bei Plinius d. Ä. in seiner Naturgeschichte des 1. Jhs. n. Chr. erwähnt. Über die Feuerprobe wird das Gold an seiner flammend roten Glühfarbe erkannt (Plin. nat. 33, 60) und über das Erhitzen in einer glühenden eisernen Räucherpfanne das Oxidationsverhalten von Silber (Plin. nat. 33, 127). Die Erwähnung unterschiedlicher Anlauffarben des Silbers von weiß über rot bis schwarz lässt

erkennen, dass der Reinheitsgrad der Silberlegierungen festgestellt werden konnte. Den höchsten Wert besaß das Silber laut Plinius, wenn es weiß blieb und nicht anlief.

Darüber hinaus konnten Härtebestimmungen durchgeführt werden, beispielsweise über das Einritzen mit einem Stichel, sprichwörtlich bekannt ist die "Beißprobe" von Gold.

Eine möglicherweise antike Materialprüfung liegt an einem provinzialrömischen Armring aus Wilsingen vor (Abb. 4). Da diese Kratz- oder Feilspuren jedoch schwer von einer modernen Feile oder Drahtbürste zu unterscheiden sind (siehe Kap. 2.4 Abb. 2), lässt sich auch eine neuzeitliche Prüfung nicht ausschließen (siehe Kap. 5.2.2.2).



Abb. 4: Spuren einer antiken oder neuzeitlichen Materialprüfung an Armring 3 aus Wilsingen (Kat. 48,3).

Zur Herstellung unterschiedlicher Legierungen ist sowohl die Feingehaltsbestimmung des verwendeten Rohmaterials als auch das genaue Abwiegen der Legierungsbestandteile unabdingbar. Zahlreiche Funde von Feinwaagen und ab der Kaiserzeit ein detailliertes römisches Maß- und Gewichtssystem ermöglichten ein Abwiegen bis zu einer Genauigkeit von einigen Milligramm (Steuer 2007, 542; Hammer 1998a, 160)¹².

¹² In unserer industrialisierten Welt wird das reine Rohmaterial heute üblicherweise in der Scheideanstalt gekauft und zum Abwiegen eine Digitalwaage benutzt, so dass der Probierstein und die Probiersäure selten zum Einsatz kommen. Der selbstverständliche Umgang mit dem Probierstein im traditionellen Goldschmiedehandwerk zeigt sich dagegen beispielsweise für afrikanische Goldschmiede, wo nicht nur die Balkenwaage, sondern auch der Probierstein bis in heutige Zeit zum Grundwerkzeugbestand gehören, um das Rohmaterial zu prüfen (Schunk 1991, 61; 67 Abb. 26; Armbruster 1995b, 118).

4. Ver- und Bearbeitungstechniken

4.1 Grundlegende Verfahren

Nach heutigem Sprachgebrauch stellt ein Goldschmied Schmuckgegenstände her und ein Silberschmied getriebene Gefäße (Foltz 1979, 213). Beide verwenden sowohl Gold als auch Silber sowie andere Metalle (alle Bunt- und Edelmetalle). Ob es eine vergleichbare Einteilung in diese beiden Handwerkergruppen auch in den hier behandelten Zeiträumen gab, ist den archäologischen Quellen allein nur schwer zu entnehmen. Durch die schriftliche Überlieferung sind zumindest für das römische Handwerk differenzierende Berufsbezeichnungen innerhalb der metallverarbeitenden Produktion bekannt, so etwa der *faber aerarius* für den Kupferschmied, der *faber argentarius* für den Silberschmied und der *aurifex* für den Goldschmied (Petrikovits 1981, 120). Inwiefern Spezialisierungen - nach den bearbeiteten Metallen oder nach den Produkten - für die Feinschmiede der Latènezeit und der Kaiserzeit anzunehmen sind, bleibt zu diskutieren (siehe Kap. 6.1; 6.2; 8). Die Techniken zur Herstellung von Silberschmuck sind jedoch nach heutigen Begrifflichkeiten immer den Goldschmiedetechniken oder - allgemein ausgedrückt - den Feinschmiedetechniken zuzuordnen.

Der Herstellung aller Objekte geht die Aufarbeitung des Rohmaterials voraus, wobei für den hier behandelten Zeitraum von einer Verwendung von Altmittel als wichtigster Rohstoffquelle auszugehen ist (siehe Kap. 7). Vergleichbar mit den Buntmetallwerkstätten seit der Spätlatènezeit, die mehrheitlich "Bronzeschrott" verarbeitet haben (siehe Kap. 6), wird auch in der Verarbeitung von Silber das Einschmelzen von Altmittel der erste Schritt in der Prozesskette der Herstellung von Schmuckgegenständen gewesen sein.

Das Schmelzen und Gießen der Metalle und ihrer Legierungen geht allen Bearbeitungstechniken voraus und stellt damit die Grundlage für alle weiteren Formtechniken dar.

Alle formgebenden Arbeitstechniken werden grundsätzlich in spanlose und spanabhebende Techniken eingeteilt. Während es sich beim Gießen, Schmieden, Treiben oder Biegen um spanlose Formveränderungen handelt, sind Techniken, wie Feilen, Schleifen oder Bohren spanabhebende Formgebungen.

Die formgebenden Techniken - mit Ausnahme des Gießens - werden im kalten Zustand des Metalls ausgeführt, d. h. zur Verarbeitung von Edel- und Buntmetallen wird die Kaltverformung angewandt. Bei allen spanlosen Formgebungsvorgängen muss das Werkstück jedoch nach einer gewissen Bearbeitungszeit zwischengeglüht werden. Nach verschiedenen plastischen Umformungsvorgängen verändert sich das Metallgefüge und das bearbeitete Metall wird härter und weniger dehnbar, wodurch die Gefahr steigt, dass das Metall brüchiger und spröde wird und bei einer weiteren Bearbeitung schließlich reißen kann. Um deshalb die ursprünglichen Werkstoffeigenschaften wieder zu erhalten, ist ein Zwischenglühen

erforderlich, durch welches das deformierte Gefüge des jeweiligen Metalls rekristallisiert (Brepohl 2000, 184). Bei Feinsilber reicht eine kurze Glühhitze von ca. 200 - 300 °C (ebd.; Untracht 1985, 238). Bei Ag 925, also der heute für umformende Techniken üblicherweise verwendeten Silberlegierung, wird eine Temperatur von etwa 650 °C benötigt (Untracht 1985, 238), welche in der Praxis an einer typischen Rotfärbung erkennbar ist. Danach wird das geglühte Stück im Wasser abgeschreckt, damit das Rekristallisationsgefüge erhalten bleibt und einer weiteren Umformung standhält.

Bei Silber-Kupfer-Legierungen können dabei jedoch Schädigungen durch Oxidation entstehen, daher wird ein Glühvorgang nur so oft wie unbedingt notwendig während des gesamten Herstellungsprozesses durchgeführt. Während sich das an der Oberfläche gebildete Kupferoxid mithilfe einer Beize (heute z. B. verdünnte Schwefelsäure, in der Antike z. B. Alaun; siehe Kap. 4.3.2) lösen lässt, kann eine Tiefenoxidation zu unerwünschten graublauen Flecken führen, ein Effekt, der als das sogenannte Blausilber bekannt ist (Brepohl 2000, 189).

Das Wissen um die Auswirkungen des Glühens auf das Materialverhalten der Metalle ist für die gesamte Bunt- und Edelmetallverarbeitung der Antike vorauszusetzen, da diese Behandlung im Feuer eine der grundlegendsten Techniken für alle umformenden Vorgänge darstellt, ohne welche das Werkstück bei allen weiteren Bearbeitungen irreparable Risse und Brüche bekäme.

Entsprechend der Übersicht in Tabelle 3 sollen die relevanten Techniken, ihre Definitionen in der einschlägigen Fachliteratur, ihre Eigenschaften in Bezug auf das Material Silber sowie ihre optischen und analytischen Erkennungsmerkmale in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Die Ausführungen enthalten den bisherigen Forschungsstand und eigene grundlegende Beobachtungen und Experimente als Voraussetzung für die in Kapitel 5 erläuterten Interpretationen zur Herstellung der untersuchten Fallbeispiele. Dabei werden vornehmlich die Techniken eingehender berücksichtigt, welche für die Herstellung von Edelmetallschmuck in der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit zur Diskussion stehen und welche an den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fundstücken aus Silber beobachtet wurden. Andere Techniken, die erst in jüngeren Zeiten angewandt wurden und deren Einsatz für den hier behandelten Zeitraum umstritten ist, sollen lediglich am Rande angeführt werden. Diese bleiben deshalb in der Tabelle entweder unerwähnt oder sind mit einem Fragezeichen versehen.

Formgebende Techniken	
Gießen	<ul style="list-style-type: none"> - Formguss: Wachsausschmelzverfahren sowie Gießen in zweischaligen Ton-, Stein- oder Metallformen - Schleuderguss (?) - Verbund- bzw. Überfangguss
Schmieden	<ul style="list-style-type: none"> - Plastisches Umformen mit Hammer und Amboss
Treiben	<ul style="list-style-type: none"> - Plastisches Umformen von Blechen zu Hohlkörpern - Ziselieren: Formung von Blech mit Punzen und Hammer als Treibvorgang
Drahtherstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Schmieden aus stabförmigem Vorprodukt - Falten und Rollen von Blechstreifen - Verdrehen von vorgeschmiedetem Drahtrohling oder Blechstreifen - Drahtziehen (?)
Trennende und lochende Techniken	<ul style="list-style-type: none"> - Meißeln - Schneiden mit Blechschere (?) - Lochherstellung mit Dorn oder Durchhauer - Bohren (?)
Verbindende Techniken	
Mechanische Verbindungstechniken	<ul style="list-style-type: none"> - Nieten - Bördeln und Falzen
Löten	<ul style="list-style-type: none"> - Weichlöten - Hartlöten mit metallischem Lot - Reaktionslöten
Schweißen	<ul style="list-style-type: none"> - Schmelzschweißen oder Schweißen mit Schweißgut
Verzierungsstechniken	
Ziselieren	<ul style="list-style-type: none"> - Spanlose Reliefgestaltung mit Punzen
Punzieren	<ul style="list-style-type: none"> - Spanlose Ornamentverzierung mit Punzen
Gravieren	<ul style="list-style-type: none"> - Spanabhebende Verzierungsstechnik mit Sticheln
Prägetechniken	<ul style="list-style-type: none"> - Pressblechherstellung: Blechformung mit Hilfe eines Modells - Stempeln
Durchbruchsdekor	<ul style="list-style-type: none"> - Durchbrechungen durch Aussparungen beim Gießen - Durchbrechungen durch Ausmeißeln oder Ausstanzen in Blech
Perl- und Kerbdrahtverzierung	<ul style="list-style-type: none"> - Runddraht mit durch Stauchung hervorgerufenen Perlen oder Kerben als Verzierung
Filigranverzierung	<ul style="list-style-type: none"> - Drahtverzierung auf Metallblechen
Granulation	<ul style="list-style-type: none"> - Ziertechnik mit aufgelöteten Metallkügelchen (Granalien)
Vergolden und Versilbern	<ul style="list-style-type: none"> - Plattierung, Blattgoldherstellung, Diffusionsbindung, Feuervergoldung, Schmelzversilberung
Oberflächenbearbeitung	
Feilen	<ul style="list-style-type: none"> - Ebnen von Oberflächen sowie Entgraten von Kanten
Schleifen	<ul style="list-style-type: none"> - Spanabhebende Oberflächenbehandlung z. B. mit Schleifsteinen
Polieren	<ul style="list-style-type: none"> - Spanabhebende Oberflächenbehandlung z. B. mit Hämatit - Spanlose Oberflächenbehandlung z. B. mit Leder

Tab. 3: Übersicht der für die vorrömische Eisenzeit und römische Kaiserzeit relevanten Feinschmiedetechniken.

4.2 Formgebende Techniken

4.2.1 Gusstechniken

Das Gießen ist die grundlegende Formtechnik, die allen weiteren Bearbeitungstechniken vorausgeht. Entweder wird das Metall in Barrenform gegossen und durch andere formgebende Techniken, wie Schmieden und Treiben, in seine endgültige Form gebracht oder die Endform wird bereits über den Guss vorgegeben. Bei den Gusstechniken muss man also zwischen dem offenen Barrenguss und dem Formguss unterscheiden.

Da die verschiedenen Gussverfahren bereits in diversen einschlägigen Publikationen detailliert beschrieben sind (z. B. Drescher 1958; 1973; Hammer 1998b; Armbruster 2000, 68-88; 2001) sollen sie hier lediglich in ihren Grundzügen dargestellt und ihre wichtigsten Merkmale hervorgehoben werden.

Für das Gießen von Barren kann die Metallschmelze in eine offene Barrenform, aber auch in eine Vertiefung des Bodens, eines Holzstücks oder einer Holzkohle etc. gegossen werden. Der Barrenguss kann schon die Grundform vorgeben, indem beispielsweise Ringbarren gegossen werden, die anschließend aufgeschmiedet werden. Innerhalb der herstellungstechnischen Produktionskette stellen Barren in jedem Fall Vorprodukte für die Weiterverarbeitung mittels Schmieden dar.

Der Formguss kann im Schalenguss oder im Wachsausschmelzverfahren durchgeführt werden. Letzteres zählt zu den Gussverfahren in verllorener Form, d. h. mit Gussformen, welche nur einen Abguss aushalten. Dazu gehören auch die modernen Techniken des Sandgusses und des Gießens in Ossa-Sepia-Formen (Ossa Sepia = die Rückenschale des Tintenfisches), wobei beide Verfahren für die Antike kaum nachweisbar sind¹³.

Für das mehrmalige Gießen im Schalenguss sind ein- oder mehrteilige Formen aus Stein, Bronze und Keramik geeignet. Die einfachste Form ist die einteilige offene Gussform, die in der Regel nur für den Barrenguss verwendet wird. Mehrteilige geschlossene Gussformen können aus einschaligen oder aus zwei- bzw. mehrschaligen Formteilen bestehen. Beim einschaligen Guss wird eine mit dem Formnegativ versehene Schale mit einem planen Gegenstück fixiert, wodurch die gegossenen Objekte eine flache Unterseite erhalten. Beim zweischaligen Guss sind zwei Schalen mit Formnegativ miteinander verbunden, wodurch vollplastische Objekte hergestellt werden können. In beiden Fällen ist die "Verbindungsstelle" der Formhälften am Gussrohling als Gussnaht zu erkennen.

Die Gussformen aus Bronze (heute werden Formschalen aus Metall "Kokillen" genannt) werden im Wachsausschmelzverfahren hergestellt, zur Herstellung von Steinformen wird das

¹³ Das Gießen in Formsand wurde für den seriellen Guss der spätlatènezeitlichen Potinmünzen am Oberrhein modellhaft postuliert (Burkhardt 1994, 60 ff.; 2003b, 353 Abb. 49). Der Guss in Ossa-Sepia-Formen ist erst durch Abdrücke der "schuppigen" Struktur an frühmittelalterlichen Gürtelschnallen aus Silber belegt (Blumer u. Knaut 1991).

Formnegativ aus dem Stein ausgemeißelt und ausgeschliffen, und keramische Gussformen erhält man durch Eindrücken von Modellen in Ton.

Um das Gussstück nach dem Gießen aus seiner Form lösen zu können, müssen bei einem Schalenguss in mehrfach verwendbaren Gussformen Unterschneidungen im Formnegativ vermieden werden. Werden die Formhälften jedoch aus Ton hergestellt, können auch komplexere Formen gegossen werden, da die Form nach dem Guss zerschlagen werden kann.

Unter den selten erhaltenen Gussformen sind unter anderem zwei Beispiele aus Stein besonders interessant, da sie den seriellen Guss innerhalb der Schmuckherstellung belegen. Sowohl eine Form zum Gießen mehrerer Rädchen aus dem spätlätènezeitlichen Oppidum vom Martberg in Rheinland-Pfalz (Thoma 2006, 49 Abb. 28) als auch eine Gussform aus dem römischen Legionslager in Bonn (Schmitz 1993, 47 Abb. 1), mit welcher mehrere Anhänger, u. a. auch Lunula- und Radanhänger, gegossen werden konnten, waren sicher für den Blei- oder Wachsguss, eventuell auch für den Guss von Edel- und Buntmetallen geeignet. Vergleichbare Endprodukte kommen zwar unter den Schmuckfunden aus Silber vor, insbesondere die provinzialrömischen Anhänger lassen jedoch alternative Herstellungsmöglichkeiten für die meisten Stücke aus Edelmetall erkennen (siehe Kap. 5.5).

Die Verwendung von Steinformen für den direkten Guss von Bunt- oder Edelmetallobjekten ist umstritten und abhängig vom verwendeten Steinmaterial. Auf der einen Seite wird die Meinung vertreten, dass Gussformen aus Kalkstein, Speckstein, Schiefer oder Serpentin die hohen Gießtemperaturen dieser Metalle nicht ausgehalten hätten und daher die Verwendung entweder in einem Guss von Bleiobjekten oder in einer Herstellung von Modellen aus Blei oder Wachs für weitere Gussverfahren zu sehen sei (Schmitz 1993, 52). Untersuchungen an bronzezeitlichem Fundmaterial lassen dagegen Steinformen mit Spuren starker Hitzeeinwirkung erkennen, weshalb man für diese Zeit von einer Verwendung der wohl aus Sandstein, Granit und Speckstein bestehenden Formen auch für höherschmelzende Metalle ausgehen könne (Armbruster 2000, 36). Im Einzelfall wird daher eine Interpretation ihrer Nutzung nur über detaillierte Untersuchungen des Steinmaterials zu klären sein. Kalkstein ist normalerweise nicht hitzebeständig und selbst Steinformen aus Sandstein werden nur wenige Güsse aushalten. Darüber hinaus zeigen erhaltene Bleiformen provinzialrömischer Fibeln, dass zumindest in dieser Zeit eine Verwendung zur Herstellung von Modellen auch mit einzubeziehen ist (Drescher 1973, 56; Flügel 2000, 124)¹⁴.

Im Gegensatz zu Wachsmodellen, die für den Guss in der verlorenen Form verwendet wurden, sind Bleimodelle jedoch nicht für ein "Bleiausschmelzverfahren" geeignet, da die in der Form verbleibenden Bleirückstände das vollständige Ausfließen der Form verhindern. Beim Guss von Edelmetallen würden diese zusätzlich durch das Blei geschädigt werden. Bleimodelle

¹⁴ Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. Martin Thoma, Landesamt für Denkmalpflege im RP Stuttgart, Esslingen, ließen sich beispielsweise auch an der spätlätènezeitlichen Sandsteinform vom Martberg keinerlei Metallspuren nachweisen. Dies deutet darauf hin, dass die Form entweder nie genutzt wurde und die Brand- und Abnutzungsspuren auf andere Ursachen zurückzuführen sind (z. B. Fehler bei der Herstellung, Verwitterung sowie andere Feuereinwirkungen) oder die Form zur seriellen Herstellung von Wachsmodellen genutzt wurde.

wurden daher lediglich zur Herstellung zwei- oder mehrschaliger Tonformen genutzt (Foltz 1980, 347).

Als Alternative zu Stein eignet sich Ziegel oder Ziegelbruch, wie eine Gussform aus Augst im Schweizer Kanton Baselland zeigt (Martin 1978, 118 Abb. 16). Hier wurde in römischer Zeit das Gussnegativ für einen Rädchenanhänger in die plane Fläche eines gebrochenen Ziegels eingearbeitet, welcher - in sekundärer Nutzung - zusammen mit einem nicht erhaltenen Gegenstück die Gussform gebildet hatte.

Während der Vorteil des Schalengusses darin besteht, dass eine Form oder - bei Tonformen - das zu ihrer Herstellung verwendete Modell mehrfach verwendet werden kann, lassen sich im Wachsausschmelzverfahren besonders gut Objekte gießen, welche komplexe Formen und Verzierungen besitzen. Die Gussform im Wachsausschmelzverfahren erhält man, indem zunächst die gewünschte Endform aus Wachs hergestellt wird. Diese wird mit einem oder mehreren Gusskanälen und einem Gusstrichter versehen und folgend mit mehrfachen Tonlagen ummantelt, um anschließend über das Ausschmelzen von Wachs das entsprechende Formnegativ zu bekommen. Die so entstandene Gussform wird im Feuer gebrannt und zum Schluss wird das in einem Tiegel geschmolzene Metall in die erhitzte Gussform gegossen. Damit ist der Guss fast jeder komplexen Objektform möglich. Durch das Formen von Wachs über einem Tonkern können so beispielsweise auch Hohlformen gegossen werden und die Objekte können bereits über den Guss mit Ziermustern versehen werden, die über den Abdruck im fein gemagerten Tonmantel besonders gut abgeformt werden, wie etwa an einer Omegafibel aus Rembrechts (Kat. 33.3; Taf. 124,3.4; siehe Kap. 5.3.2.1). Auch können beabsichtigte Lochungen schon im Wachsmodell angelegt sein, wenn ein Stift zum Aussparen von Löchern verwendet wird, so vermutlich an dem Spiralhalter einer provinzialrömischen Doppelknopffibel aus Nideraschau (Kat. 26.1; Taf. 87,1-2; siehe Kap. 5.3.2.4).

Der Serienguss ist in Dauerformen des Schalengusses möglich, aber auch über das Gießen in Formen, die hinterher zerschlagen werden, entweder über die Verwendung fester Modelle, die in Tonschalen eingedrückt werden, oder über das Wachsausschmelzverfahren, wenn in einer Gussform gleichzeitig mehrere Gussstücke gegossen werden oder die Wachsmodelle selbst in zweischaligen Tonformen vervielfältigt werden. Erkennbar wird ein Guss in Serie durch das Vorhandensein formidentischer Gussstücke.

Das Wachsausschmelzverfahren ist sowohl im offenen als auch im geschlossenen System möglich, wobei bei Letzterem die Gussform und der Schmelztiegel miteinander verbunden sind. Dieses Verfahren im geschlossenen System wird in Westafrika und Asien noch heute praktiziert.

B. R. Armbruster (1995a) konnte nach dem in der Goldgusstechnik der westafrikanischen Ashanti verwendeten Verfahren und eigenen Experimenten eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte aufzeigen. Dabei wird das mit Ton ummantelte Wachsmodell zunächst mit einem größeren Gusstrichter versehen, der als Tiegelansatz nach dem Wachsausschmelzen mit dem Metall bestückt wird. Anschließend wird an diesen ein Tiegelbereich angeformt, über

einen Tondeckel geschlossen und nach dem Trocknen über eine zusätzliche Tonummantelung mit der Gussform verbunden. Die solcherart mit dem Gusstiegel zusammengeschlossene Form wird mit dem Tiegelteil nach unten gemeinsam im Feuer erhitzt. Sobald das Metall schmelzflüssig ist - erkennbar an der Glühfarbe des Tiegels - wird das Ganze aus dem Feuer genommen und der obere Tiegelbereich angebohrt, damit die Luft entweichen kann. Abschließend muss die Form zügig umgedreht werden, so dass das flüssige Metall in die Gussform fließen kann. Diese Methode bildet ein geschlossenes System, das ein nahezu oxidfreies Gießen ermöglicht (siehe Schema bei Armbruster 1995a, 358 Abb. 11; 2000, 79 ff. Abb. 36,1-19). Nach dem Zerschlagen der Gussform bleibt bestenfalls der Tiegelteil erhalten. Dass dieses Verfahren jedoch nicht zwingend Tiegel mit einem Loch aufweisen muss, zeigen die Schilderungen von in derselben Technik hergestellten "Gelbgussarbeiten" (Messingguss) bei den Senufo in Westafrika (Gardi 1969, 63 ff.). Dort werden die Tiegelbereiche nach dem Schmelzen nicht angebohrt (ebd. 72).

Archäologische Hinweise darauf, dass diese Methode möglicherweise auch in der Antike angewandt wurde, liegen mit Resten doppelwandiger Schmelztiegel ohne Ausgusstülle aus mehreren provinzialrömischen Fundkontexten vor.

So wurde die Funktion eines im römischen Xanten in Nordrhein-Westfalen gefundenen Schmelztiegels aufgrund seines zweisehaligen Keramikaufbaus zum Gießen im Wachsausschmelzverfahren im geschlossenen System interpretiert (Rehren u. Hauptmann 1995, 122), worauf es in archäologischen Fundkontexten bis dahin keinerlei Hinweise gab. Für die Funktion eines seitlichen Loches in diesem Tiegel konnten die Autoren jedoch keine Deutung finden. In Analogie zu dem bei den westafrikanischen Ashanti angewandten Wachsausschmelzverfahren im geschlossenen System könnte es sich meines Erachtens bei dem Loch um eine Austrittsöffnung zum Entweichen von Gasen handeln. Vergleichbare Gusstiegel mit seitlichen Löchern liegen auch aus Frankfurt-Heddernheim vor (Baatz u. Herrmann 1989, 287 Abb. 222).

Darüber hinaus sind doppelwandige Tiegel auch ohne Löcher bekannt. Zwei solche Tiegel, welche erst jüngst als Hinweise auf das Wachsausschmelzverfahren im geschlossenen System gedeutet wurden, stammen aus Walheim am Neckarlimes (Hauptmann u. Weisgerber 2004). Auch diese Tiegel zeigen einen doppelschaligen Keramikaufbau und besitzen keine Ausgusstülle (ebd. 544 Abb. 1). Die Doppelschalung der Tiegel wurde hier überzeugend mit dem Gussverfahren der Senufo an der Elfenbeinküste verglichen (ebd. 548 f.)¹⁵.

¹⁵ Ob auch andere erhaltene, älter zu datierende Tiegelfragmente, an welchen ein doppelwandiger Aufbau beobachtet wurde, wie etwa aus Manching (Jacobi 1974, 256 mit Taf. 98,1800), mit einem solchen Verfahren in Verbindung gebracht werden können, bleibt ohne detaillierte Untersuchungen offen, scheint jedoch durchaus überlegenswert. Naturwissenschaftliche Untersuchungen an frühlatènezeitlichen Tiegeln mit einem ebenfalls doppelwandigen Aufbau aus der Siedlung von Eberdingen-Hochdorf veranlassten D. Modarressi-Tehrani (2004, 31 f.) dagegen zu der Einschätzung, dass es sich hierbei nicht um eine echte Zweisechaligkeit handelte, sondern um Veränderungen im Zuge unterschiedlicher Temperatureinwirkungen auf den Außen- und den Innenbereich der Tiegel. Eine entsprechende Verwendung für das Wachsausschmelzverfahren im geschlossenen System scheint hier ausgeschlossen.

Aus der Buntmetallverarbeitung der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit liegen ferner nur wenige Hinweise auf die angewandten Gussverfahren vor.

Sowohl aus spätlatènezeitlichen als auch aus provinzialrömischen Siedlungskontexten sind einzelne steinerne Gussformen bekannt (vgl. oben; Jacobi 1974, Taf. 98,1797), wobei offen bleibt, ob diese zum Gießen von Modellen oder der Werkstücke selbst genutzt worden sind.

Der Guss in der verlorenen Form ist sowohl für die Späthallstattzeit und die Spätlatènezeit als auch für die römische Kaiserzeit durch diverse Halbfabrikate, Fehlgüsse und Gusszapfen sowie Fragmente von Gussformen nachgewiesen.

Als direkte Belege für die Anwendung des Wachsausschmelzverfahrens gelten beispielsweise nicht nur Gussformen für Ringe von der späthallstattzeitlichen Siedlung auf der Heuneburg (Drescher 1984, 99; 1995, 290 ff.), sondern auch Formen mit verzweigtem Eingusssystem für den Guss mehrerer Fibeln aus dem gallorömischen Bibracte in Frankreich (Guillaumet 1994, 11 ff. mit Taf. 55). Als indirekte Belege können beispielsweise auch Gusszapfen und Halbfabrikate ohne Gussnähte aus dem provinzialrömischen Augst genannt werden (Furger u. Riederer 1995, 136 f.).

Demgegenüber sind erhaltene Gusszapfen und Halbfabrikate mit Gussnähten Anzeiger dafür, dass der Schalenguss angewandt wurde. Gussformen und Modelle verweisen dabei mehrfach auf die Verwendung von mithilfe von Modellen aus Buntmetall oder Blei hergestellten Formschalen aus Ton. Aus latènezeitlichen Siedlungskontexten sind beispielsweise Halbfabrikate von Ringperlen mit Gussnähten bekannt (z. B. van Endert 1991, 105 mit Taf. 40,731-734), die provinzialrömischen Belege für den Schalenguss stammen vor allem aus der Fibelproduktion (z. B. Drescher 1973, 54 ff.; Furger u. Riederer 1995, 136; Flügel 2000, 124).

Dass in der Buntmetallverarbeitung auch Gussformen aus Metall verwendet wurden, die wohl - nachdem sie unbrauchbar geworden waren - zumeist wieder eingeschmolzen wurden, zeigen erhaltene bronzene Fibelgussformhälften, sowohl spätlatènezeitlich aus Ungarn (Guillaumet 1994, 11 mit Taf. 54) als auch provinzialrömisch aus Niederösterreich (Drescher 1973, 56 Abb. 2,7). Für diese wurde sowohl der direkte Guss als auch der Guss von Wachsmodellen diskutiert¹⁶. Für den direkten Feinguss sind Tonformen allerdings geeigneter, da sich mit ihnen die Feinheiten am besten abbilden lassen. Aus diesem Grund scheinen diese auch bevorzugt verwendet worden zu sein. Für den Edelmetallguss wären ohnehin nur Bronzegussformen aus hochschmelzenden Bronzelegierungen einsetzbar.

Obwohl es an den Edelmetallfunden selbst nur wenige Hinweise auf das angewandte Gussverfahren gibt, dürften die meisten dieser im Guss angelegten Stücke aufgrund komplexer Formen und mitgegossener Verzierungen mit dem Wachsausschmelzverfahren angefertigt worden sein, zumal es sich bei den latènezeitlichen und provinzialrömischen Schmuckstücken aus Edelmetall zumeist um Einzelanfertigungen handelt.

¹⁶ Zu einer weiteren vergleichbaren bronzenen Gussformhälfte aus dem germanischen Neunheilingen in Thüringen siehe Walther 1996.

Eine weitere Technik, obwohl sie streng genommen zu den Verbindungstechniken zu zählen wäre, ist der Überfang- bzw. Verbundguss. Mit diesem Verfahren wird ein zusätzliches Teil an ein bereits bestehendes Werkstück angegossen, wodurch dieses überfangen bzw. umklammert wird. Dabei entsteht keine metallische, sondern eine mechanische Verbindung (Drescher 1958, 9). Das kann entweder über das Anmodellieren des zu ergänzenden Teilstücks mit Wachs geschehen, wobei der Überfangguss im Wachsausschmelzverfahren durchgeführt wird, oder durch Hineinragen des zu überfangenden Werkstücks in eine Schalenform, womit das anzugießende Teil im Schalenguss angebracht wird (ebd. 6).

An Edelmetallfunden der hier relevanten Zeiträume ist der Überfangguss als beabsichtigte konstruktive Verbindung zweier Teile nur selten zu finden. Seit der vorrömischen Eisenzeit wurden offensichtlich bevorzugt andere Verbindungstechniken an Edelmetallobjekten angewandt. An Buntmetallobjekten und zu Reparaturzwecken ist der Überfangguss jedoch weiterhin verwendet worden (vgl. Drescher 1958, 86 ff.). An den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fundstücken wurde die Anwendung dieses Verfahrens nur im Falle einer Reparaturmaßnahme an einer provinzialrömischen Fibel aus Regensburg-Kumpfmühl eindeutig beobachtet (Kat. 32,9; Taf. 117; siehe Kap. 5.3.2.3).

Bei allen Gussverfahren muss das Metall über seine Schmelztemperatur hinaus erhitzt werden, um eine Blasenbildung weitgehend zu verhindern und alle Hohlräume der Gussform auszufüllen. Über die Glühfarbe des Schmelztiegels kann der richtige Zeitpunkt zum Gießen erkannt werden. Die Gussform muss vor dem Gießen ebenfalls erhitzt werden, damit die Temperaturunterschiede zwischen Schmelze und Gussform verringert werden, um ein Erstarren der Schmelze bereits in den Gusskanälen zu verhindern. Um Oxidationsprozesse zu vermeiden oder gering zu halten, werden der Metallschmelze sogenannte Flussmittel (heute Borax, in der Antike z. B. Alaun) zugesetzt oder die Schmelze wird mit Holzkohle abgedeckt. Damit Luft während des Gießens entweichen kann, können entweder Luftabzugskanäle in die Gussform eingebaut werden oder die Form muss während des Gießvorgangs in eine leicht schräge Stellung gebracht werden.

Alle aufgeführten Gussverfahren wurden in vor- und frühgeschichtlicher Zeit nach dem Prinzip der Schwerkraft im Standgussverfahren durchgeführt, d. h. die Schmelze wurde aus dem Tiegel in die fest stehende Gussform gegossen. Beim modernen Schleudergussverfahren wird dagegen die einfache Wirkung der Schwerkraft durch eine mehrfach höhere Zentrifugalkraft ersetzt. Das flüssige Metall wird zu Beginn der rotierenden Bewegung in die Gussform eingeleitet und durch die Rotation mit hohem Druck gegen die Wände der Form geschleudert. Dadurch erhält der entstehende Guss eine gleichmäßige und homogene Struktur.

Auch wenn die sehr gleichmäßige Bleiverteilung in einem Bronzeteller aus dem römischen Depotfund von Neupotz in der Pfalz zu Spekulationen über die Anwendung des Schleudergussverfahrens Anlass gab, ist dieses Verfahren für die Antike bislang nicht direkt nachgewiesen (Voß 1998b, 309).

Ein einfaches Schleudergussverfahren wäre mit Hilfe einer Handschleuder denkbar, wie sie noch zu Beginn des letzten Jahrhunderts verwendet wurde (Diebeners Handbuch 1929, 218). Aus einer Haltevorrichtung für die Gussform und einem über einen beweglichen Draht (auch Kette oder Schnur) befestigten Handgriff kann bereits eine einfache Handschleuder konstruiert werden. Eine entsprechende oder ähnliche Vorrichtung konnte über archäologische Funde bislang jedoch nicht nachgewiesen werden, so dass Hinweise auf ein Schleudergussverfahren lediglich indirekt über systematische Gefügeuntersuchungen von gegossenen Funden erlangt werden könnten.

An folgenden Merkmalen lässt sich erkennen, dass ein Gussverfahren zur Formgebung angewandt wurde. Wichtige Hinweise sind sichtbare Poren und Lunker oder eingezogene Oberflächen und Kantenabrundungen, wobei Lunker Hohlräume im Gussstück sind, die aufgrund der natürlichen Volumenabnahme des erstarrenden Metalls oder durch Gussfehler (z. B. nicht ausgeflossene Bereiche im Inneren und an der Oberfläche) zustande kommen (Hammer 1998b, 179). Eine nicht überarbeitete Gussoberfläche weist eine raue bis blasige Struktur auf. Weitere Hinweise sind Warmrisse, die bei schlechten Gießbedingungen auftreten, wenn beispielsweise die Form vor dem Gussvorgang nicht ausreichend erhitzt wurde und damit der Nachfluss des flüssigen Metalls ("Nachspeisung") nicht gewährleistet wird. Auch wenn die Luft beim Eingießen der Metallschmelze nicht entweichen kann, kann eine Blasenbildung auftreten. Im metallographischen Schliffbild weist eine Dendritenstruktur (tannenbaumartige Kristallformen in Metalllegierungen) auf einen Guss ohne Nachschmieden hin (ebd.), die durch Korrosion auch an der Oberfläche sichtbar werden kann (Foltz 1981, 57). Hinweise auf eine Verwendung des Wachsausschmelzverfahrens liegen mit komplexen Formen gegossener Stücke vor, wenn diese Unterschneidungen und deutliche, mitgegossene Verzierungen aufweisen. Ein Schalenguss kann dagegen an einer Gussnaht erkannt werden.

Die Entscheidung, ob für die Herstellung eines Schmuckstücks ein Formgussverfahren oder der Schmiedeprozess gewählt wird, hängt unter anderem auch von der verfügbaren Rohmaterialmenge ab. Für einen Guss muss wesentlich mehr Material eingesetzt werden als für ein geschmiedetes Stück. Da Gussteile üblicherweise ein höheres Gewicht als Schmiedeteile aufweisen, können auch über Gewichtsbestimmungen Hinweise für das Gießen eines Objekts vorliegen.

4.2.2 Schmieden und Treiben

Unter dem Schmieden, der herkömmlichen Technik der plastischen Verformung, versteht man das Umformen eines Metallstücks mit Hammer und Amboss. In der Goldschmiedetechnik ist damit immer eine spanlose Querschnittsveränderung des Werkstücks verbunden (Brepohl 2000, 225). Edelmetalle wie auch ihre Legierungen weisen in kaltem Zustand ausreichende Dehn- und Formbarkeit auf, so dass sie nicht wie Eisen in glühendem Zustand, sondern kalt geschmiedet werden.

Die formgebende Bearbeitung mittels Schmieden erfordert als Arbeitsgerät eine Schlagunterlage und ein Schlagwerkzeug, also verschiedene Ambosse und Hämmer.

Die Schlagwirkung auf das Werkstück ist abhängig von der Ausbildung der Schlagflächen des Hammers (Brepohl 2000, 230). Ein geschäfteter Hammer weist zwei Schlagflächen auf. Flache oder gewölbte Flächen werden als Bahn bezeichnet, keilförmige Schlagflächen nennt man Finne. Diverse für die Metallumformung benötigte Hämmer sind sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit im archäologischen Fundmaterial nachgewiesen (siehe Kap. 6.1; 6.2).

Als Schlagunterlage kamen vorwiegend plane "Brettambosse" und "Einsteckambosse", d. h. zum Einstecken in einen Holzklotz, unterschiedlicher Form zum Einsatz. Diese können aus Eisen, aber auch aus Bronze bestehen. Eine Amboss-Sonderform ist der sogenannte Ringriegel, heute ein konisch zulaufendes Rundeisen, auf welchem Ringformen rund bearbeitet werden. Ringriegel wurden sicherlich zum Formen von Fingerringen benutzt, sind aber nicht nachgewiesen. Da sie jedoch auch aus dem vergänglichen Material Hartholz bestehen können, müssen diese im archäologischen Fundmaterial nicht erhalten sein. Allein die gleichmäßig runde Formung von Band-, Spiral- und Drahtfingerringen (siehe Kap. 5.1) ist ohne einen Ringriegel oder ein Rundholz nicht denkbar.

Das Formschmieden beinhaltet verschiedene Methoden, mit welchen unterschiedliche Querschnittsveränderungen des Werkstücks erreicht werden. Zu den Schmiedetechniken gehören das Stauchen, Absetzen, Dehnen, Strecken und Planieren. Während beim Stauchen Bereiche eines Werkstücks kürzer und dicker geschlagen werden und damit das Metall verdichtet wird, verformt das Absetzen Bereiche, indem sie abgestuft dünner gehämmert werden. Beim Dehnen und Strecken wird das Metall breiter und dünner sowie länger geschlagen. Das Planieren ist die abschließende Überarbeitung, um die Oberfläche zu glätten. Diesem Freiformschmieden wird das Gesenkschmieden gegenübergestellt, bei welchem ein Werkstück auf einer vorgeformten Unterlage, in einem Gesenk (= Amboss mit Negativform) zu Profilen bzw. definierten Formen geschlagen wird. So können beispielsweise Drahtrohlinge in Gesenken mit Rillen, sogenannten Rillenanken, geformt werden.

Eine Sonderform des Schmiedens ist das Herstellen von geschlossenen Ringen durch das Aufschmieden eines Ringbarrens oder einer durchlochten Barrenplatte, um Fugen zu vermeiden. Bevor thermische Verbindungstechniken in Gebrauch kamen, war dies die einzige Möglichkeit zur Herstellung geschlossener Ringe (Armbruster 2000, 96). Die eine Variante ist das Schmieden eines gegossenen Ringbarrens auf einem sogenannten Hornamboss (= Amboss mit einem "Horn"), wodurch das Vorprodukt aufgeweitet und gerundet wird und schließlich in seine fertige Ringform gebracht wird. Die andere Möglichkeit besteht in einem Aufschmieden eines Gusskuchens, welcher zuvor durchlocht wurde und ebenso auf dem Hornamboss aufgeschmiedet wird. Diese Methode zur Herstellung geschlossener Ringe ohne Lötungen konnte von A. Pietzsch (1964, 57 ff.) eindrücklich über Experimente nachvollzogen werden.

Während die römischen Feinschmiede zur Herstellung von Fingerringen neben dem Guss auch diverse thermische Verbindungstechniken anwandten, ist für die latènezeitliche Fingerringproduktion mehrfach auch das Aufschmieden von gegossenen Vorprodukten anzunehmen, wie das Fehlen von Fugen vermuten lässt (siehe Kap. 5.1).

Dies impliziert jedoch nicht a priori einen unterschiedlichen technischen Wissensstand. Das Vermeiden von Fugen muss nicht zwingend mit einer mangelnden Kenntnis der thermischen Verbindungstechniken verbunden sein. Vielfältige Gründe können für die fugenlose Herstellung von Fingerringen verantwortlich sein. So vermeidet man Lötstellen beispielsweise noch heute bei der Herstellung von Eheringen, wohl zurückgehend auf den Aberglauben, dass ein eventuelles Aufplatzen der Fuge die Ehe gefährden könne (Diebeners Handbuch 1929, 294). Dazu wird noch heute ein vorgegossener Ring durch Schmieden in seine endgültige Form gebracht, wenn auch mit modernen Geräten bzw. Maschinen.

Zu den weiteren Schmiedevorgängen gehört die Blechherstellung. Im Gegensatz zur heutigen Technik wurde Blech in der Antike nicht über einen Walzvorgang angefertigt, sondern über ein Ausschmieden des gegossenen Barrens auf einer planen Schlagunterlage (z. B. Wolters 1991, 31 ff.). Dies ist ein langwieriger Arbeitsprozess, bei dem das Metall starker plastischer Verformung unterzogen wird und deshalb häufig zwischengeglüht werden muss, da andernfalls Risse und ausgefranzte Blechränder entstehen können (Pietzsch 1964, 62).

Von den Schmiedetechniken werden die Methoden der Treibtechnik begrifflich unterschieden. Das Treiben ist das Umformen eines Bleches zur Herstellung von Hohlkörpern und Gefäßen sowie zur Reliefgestaltung. Die dazu verwendeten Werkzeuge sind Hämmer und Punzen. Punzen sind stiftförmige Metallwerkzeuge, mit deren Hilfe Linien, Buckel oder Muster in das Blech eingeschlagen werden. Wichtige Ambossformen zum Treiben sind Anken in der Schmuckherstellung sowie Treibfäuste und Pnelleisen in der Gefäßherstellung.

Kugelförmige Hohlformen können durch das Auftiefen eines Bleches mithilfe einer sogenannten Kugelanke, einem Gesenk mit halbkugelförmigen Vertiefungen, und einer Kugelpunze oder einem Hammer mit gewölbter Bahn (Treibhammer) angefertigt werden. Beispiele für die Anwendung dieses Verfahrens sind die provinzialrömischen Scheibenfibeln aus Hettingen und Wiggensbach (Kat. 11,3.4; 47,15.16; siehe Kap. 5.3.2.2).

Gewölbte Hohlkörper können auch frei getrieben werden, indem ein gleichmäßig geschmiedetes Blech von der Mitte aus mit einem Treibhammer bearbeitet wird, so dass es sich durch die Materialdehnung aufwölbt. Kennzeichen für aufgewölbte Hohlkörper sind ein dicker Rand bei dünner Wandung (Foltz 1979, 215). Dieses vorgewölbte Blech kann anschließend auf einer eingespannten Kugelpunze weiter bearbeitet werden. Hierbei dient das Werkzeug als Schlagunterlage bzw. Amboss und die eigentliche Bearbeitung erfolgt durch den Gegenschlag mit dem Hammer von außen.

Treibarbeiten unter Ausnutzung der Dehnungseigenschaften des Materials und mithilfe von Punzen können ferner für die Herstellung zylindrischer Objekte oder gewölbter

Fingerringformen angewandt worden sein, so beispielsweise für römische Fingerringe aus Wiggensbach (Kat. 47,17.18; Taf. 177; siehe Kap. 5.1.2.2).

Zu den formgebenden Treibtechniken gehört auch das Ziselieren, wenn es zur plastischen Blechgestaltung eingesetzt wird, das Treibziselieren. Das Ziselieren mit einem Hammer und Profilpunzen wird auf einer weichen Schlagunterlage durchgeführt, indem das Blech entweder auf Leder aufgelegt oder auf einem sogenannten Treibkitt befestigt, d. h. aufgekittet, wird. Heute besteht Treibkitt aus einer Mischung aus Pech, Talg oder Wachs und Ziegelmehl bzw. Gips (Brepohl 2000, 427). In der Antike konnten dafür Birkenpech oder eine Mischung aus Bienenwachs und Baumharz genutzt worden sein (Armbruster 2000, 113).

Ein Stück Baumpech wurde beispielsweise in einem frühlatènezeitlichen Grab aus Pottenbrunn in Niederösterreich gefunden (Ramsl 2002, 31). Das weitere Inventar dieses Grabes besteht aus einem Schleifstein, einer Bügelschere und Altmetallstücken aus Bronze sowie diversen Eisenmessern und mehreren meißelartigen Eisenwerkzeugen. Diese Vergesellschaftung weist auf das Grab eines Handwerkers hin, entweder im Zusammenhang mit Metallbearbeitung oder aber auch Lederverarbeitung (ebd. 139).

In einem Handelshaus der römischen Zivilsiedlung von Walheim in Baden-Württemberg wurde eine große Menge (8 - 10 l) an Birkenpech gefunden (Körber-Grohne 1992). Generell ist Birkenpech oder Baumpech aus anderen Hölzern spätestens seit dem Jungpaläolithikum nachgewiesen. Die Verwendung ist vielfältig: als Klebstoff, als Lack bzw. Farbe, als Kitt von Metallgegenständen und zum Abdichten von Holz-, Rinden- und Bastgefäßen sowie Fugen von Booten. Die Verwendung als Treibkitt ist nicht nachgewiesen, ist aber durchaus denkbar.

Zu den Techniken des Treibziselierens, aber auch des Gussziselierens, dem Nacharbeiten von Gussstücken, gehört das Modellieren, d. h. das plastische Verformen zur Reliefgestaltung, das Schroten, d. h. das Ziehen von Linien sowie das Planieren, d. h. das Glätten der Oberfläche. Die entsprechenden dazu verwendeten Punzen werden als Modellierpunzen, meißelförmige Schrot- bzw. Ziehpunzen und Planierpunzen bezeichnet (Brepohl 2000, 425 ff.).

Das Ziselieren gilt dagegen als Verzierungs-technik, wenn reliefierte Ornamente zu Zierzwecken geformt werden (siehe Kap. 4.4.1). Die Übergänge zwischen formgebender und verzierender Reliefgestaltung sind jedoch fließend.

Zur Herstellung von zylindrischen oder runden Hohlkörpern und Gefäßen können sowohl Treibtechniken angewandt werden als auch andere Verfahren, wie das Drehen und das Drücken, deren Anwendung für die Antike umstritten ist. Diese sollen hier nicht unerwähnt bleiben, obwohl sie in der Schmuckherstellung eine nur untergeordnete Rolle spielen.

Unter Drehen versteht man die spanabhebende Formgebung durch dauernde Spanabnahme von einem sich drehenden Werkstück (Hammer u. Voß 1998b, 317). Das Werkstück wird dabei in eine Drehbank eingespannt und im rotierenden Zustand mit sogenannten Dreheisen oder Drehmeißeln, spanabhebenden Werkzeugen, bearbeitet. Kennzeichen sind gleichmäßig umlaufende Drehrillen, Rattermarken und ein zentrales Loch in der Bodenmitte (durch das Einspannen). Das häufige Auftreten dieser Spuren an römischen Gefäßen löste eine

kontroverse Beurteilung der Anwendung des Drehens aus. Ausschlaggebend waren die detaillierten Untersuchungen zum Metaldrehen von A. Mutz (1972, 22 ff.), welcher zu dem Ergebnis kam, dass zur Herstellung römischer Gefäße das Drehen direkt nach dem Guss zur Anwendung kam und damit die Technik im heutigen Sinne formgebend verwendet wurde. Dagegen vertraten andere Autoren (z. B. Foltz 1984; Drescher 1986b, 161) die Meinung, dass die Technik des Drehens nicht zur Gefäßherstellung genutzt wurde, sondern lediglich zur spanabhebenden Überarbeitung der Oberfläche bereits gegossener oder getriebener Gefäße.

Die zweite Technik, die in rotierender Bewegung durchgeführt wird, ist das Drücken. Dieses wird definiert als Verfahren der spanlosen Formgebung eines Bleches im drehenden Bewegungsablauf auf einer Dreh- oder Drückbank über einer eingespannten Holzform und mit nicht schneidenden Drückwerkzeugen (Hammer u. Voß 1998b, 318). Die Materialstärke ändert sich dabei nur unwesentlich. Auch über die Anwendung dieses Verfahrens in der Gefäßherstellung gibt es unterschiedliche Meinungen. Während wellige Drückriefen und dünne Wandstärken mit stärkeren Randpartien A. Mutz (1972, 40 ff.) dazu veranlassten, das Drücken als formgebende Technik anzusprechen, sieht H. Drescher (1986b, 162) auch dieses Verfahren nicht zur Formung dünnwandiger römischer Metallgefäße an, sondern lediglich zum glättenden "Nachdrücken" nach dem Guss oder Schmieden.

In jüngeren Untersuchungen zur römischen Toreutik (der Herstellung von Gefäßen), aber auch zur Herstellung römischer Zierbeschläge werden beide Techniken, das Drehen und das Drücken, begrifflich verwendet, um konzentrisch umlaufende Werkzeugspuren zu interpretieren, allerdings im Sinne eines überarbeitenden Vorgangs (z. B. Kemkes 1991, 334; 377f.; Ewald 2003, 185; Niemeyer 2007, 142). Damit wären diese Verfahren streng genommen nicht als formgebende, sondern vielmehr als Techniken zur Oberflächenbearbeitung anzusehen.

Mittels eines Drehvorgangs können also bereits rund geformte Objekte abgeglättet werden. Anzeichen für einen rotierenden Glättvorgang sind gleichmäßig konzentrisch verlaufende Rillen, wie etwa an einer im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Scheibenfibel aus Hettingen, wobei an dieser eher Spuren eines Schleifwerkzeugs als eines Drehmeißels zu vermuten sind (Kat. 11,3; Taf. 22,3; siehe Kap. 5.3.2.2).

Ansonsten sind Schmiede- und Treibspuren - sofern sie nicht überarbeitet wurden - durch Hammerspuren an der Oberfläche erkennbar. Diese zeigen sich durch kleine abgeplattete Flächen oder Schmiedefacetten an massiven Stücken. Auch können Spuren eines Streckens, welches mit der Finne eines Hammers durchgeführt wird, durch quer zur Längsrichtung verlaufende Streckspuren sichtbar sein, wie etwa an einem provinzialrömischen Schlangenkopfarmring aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32.5; Taf. 109,1).

Durch eine einfache plastische Umformung ändert sich das Metallgefüge, indem die einzelnen Kristallkörner gestreckt werden. Dabei kann zwischen einem freien Biegen und einem Umformen über ein Widerlager, etwa einem Ringriegel, unterschieden werden.

Beim freien Biegen verformen sich die Kristalle durch die Stauchung (Druckspannung) in einem inneren Biegebereich radial zur Biegerichtung, während sich die Kristalle durch die Dehnung (Zugspannung) im äußeren Bereich tangential strecken. Das Gefüge im Zwischenbereich muss dagegen kaum betroffen sein. Abb. 5,a zeigt schematisch das beim freien Biegen durch die verschiedenen Krafteinwirkungen entstandene Metallgefüge.

Beim Umformen über ein Widerlager dagegen entfällt eine radiale Streckung der Kristalle weitgehend, da das Material ausschließlich gedehnt wird. In diesem Fall verformen sich die Kristalle nur in tangentialer Richtung. Erfolgt das Umformen in einem Schmiedeprozess, bildet sich die tangentielle Kristallstreckung allein aus den Krafteinwirkungen von Hammer und Amboss (Abb. 5,b).

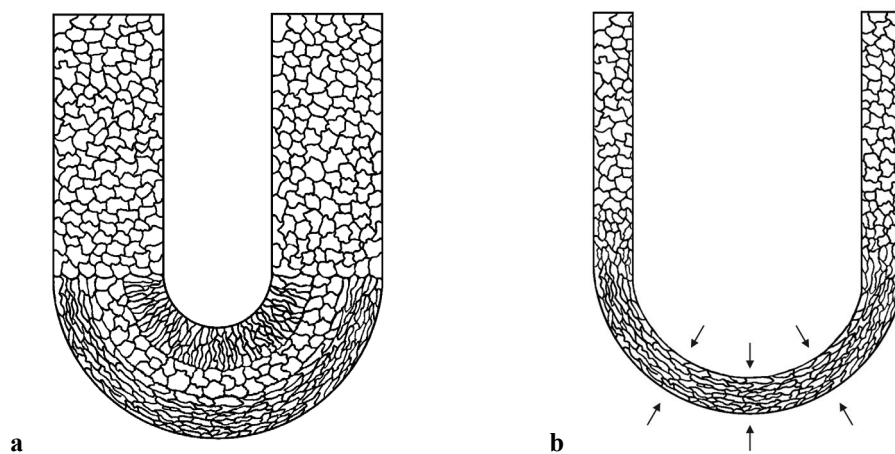


Abb. 5: Schematisch dargestellte Gefügeänderungen durch plastische Umformung eines Metallstabes (a: Umzeichnung nach Brepohl 2000, 237 Abb. 5.58 ; b: hieraus entwickeltes Schema).

a: Umformung durch Biegen.

b: Umformung durch Schmieden, Pfeile zeigen Richtung der Krafteinwirkungen an.

Das typische "fadenartige" Schmiedgefüge ist mikroskopisch als Streckung der einzelnen Kristalle im Schliff zu erkennen (Hammer 1998b, 182; Taf. 35; Brepohl 2000, 185 Abb. 4.53). Die durch das Umformen hervorgerufene Längsstruktur in Richtung des gestreckten Metalls kann jedoch auch durch Korrosion oder Anätzen an der Oberfläche in Erscheinung treten (Foltz 1981, 58). Besonders eindrücklich erscheint dies beispielsweise an mehreren latènezeitlichen Fingerringen aus Münsingen-Rain (z. B. Taf. 64,6; 65,3.4) oder an einer provinzialrömischen Omegafibel aus Hettingen (Kat. 11,2; Taf. 19,4). Schwierig ist eine immer eindeutige Unterscheidung dieser Schmiedestrukturen von Schleifspuren, wenn diese ebenfalls in Längsrichtung oder nur über kurze Strecken verlaufen (z. B. Taf. 181,2; siehe Kap. 5.2.2.2).

Wenn an einem Objekt sowohl Hinweise auf das Gießen als auch auf das Schmieden vorliegen, ist das Nachschmieden eines Gussstücks anzunehmen. Darüber hinaus können auch formimmanente Gründe für die Interpretation eines solchen Herstellungsprozesses

hinzugezogen werden. Mehrere der untersuchten früh- und mittellatènezeitlichen Schaukelfingerringe stellen ein besonderes Beispiel für Objekte dar, an welchen sowohl Guss- als auch Schmiedemerkmale auf nachgeschmiedete Gussstücke hinweisen (siehe Kap. 5.1.1.2.2).

Die Entscheidung, ob für die Formgebung eines Objekts eine Gusstechnik oder das Schmieden gewählt wird, hängt vielfach mit der beabsichtigten Funktion zusammen. Soll beispielsweise ein Armring während des Gebrauchs mehrfach an- und abgelegt werden, sollte für die formgebende Technik das Schmieden gewählt werden oder der Ring muss nach dem Gießen zumindest nachgeschmiedet werden. Gegossene Armringe sind spröde und neigen bei einem wiederholten Öffnen und Schließen leicht zu einer Rissbildung und zum Brechen. Gegossene, aber nicht überschmiedete Objekte können bereits durch ein einfaches Biegen reißen (Hammer 1998b, 182). So sind selbst bei durch Guss geformten Stücken Spuren auf ein Nachschmieden zu finden, insbesondere bei Armringen, die beim An- und Ablegen gebogen werden und deshalb elastisch bleiben mussten (siehe Kap. 5.2).

Das andere Kriterium für die Wahl zwischen Gießen und Schmieden ist formimmanent. So liegt es beispielsweise in der Form der Armringe mit drahtumwickelten Enden (siehe Kap. 5.2.3) oder auch in der Form von Kettengliedern (siehe Kap. 5.4) begründet, dass nur der Schmiedevorgang für die Herstellung infrage kommt. Die Methoden einer solchen Drahterstellung sollen deshalb im folgenden Kapitel näher erläutert werden.

4.2.3 Drahterstellung

Für die Anfertigung von Drähten standen in der Vor- und Frühgeschichte mehrere Methoden zur Verfügung. Ausgangsform ist entweder ein ausgeschmiedeter Blechstreifen oder ein stabförmig gegossener Barren, der zu einem Drahtrohling vorgeschmiedet wird. Diese Vorprodukte werden durch Schmieden oder Tordieren und Rollen zu einem Draht geformt.

Das dagegen heute übliche Drahtziehen zur Herstellung von Drähten ist in der einschlägigen Forschung ähnlich umstritten wie die oben beschriebenen Techniken des Drehens und Drückens.

Unter dem Drahtziehen versteht man eine durch Zug und Druck bewirkte Verlängerung und Querschnittsverringering eines vorgeformten Drahtrohlings. Heute ist ein Drahtzieheisen eine Platte aus Stahl mit mehreren konischen Löchern gleicher Form, deren Durchmesser sich von einem Loch zum anderen gleichmäßig abgestuft verringert (Brepohl 2000, 181). Durch diese Durchlochungen wird der vorgeschmiedete Rohdraht sukzessive hindurchgezogen, wodurch eine Verlängerung und Querschnittsveränderung des Drahtes erreicht wird. Grundsätzlich darf dabei kein Loch übersprungen werden, damit das Material nicht übermäßig beansprucht wird. Drähte mit einem Durchmesser von über 2 mm können selbst mit modernen Mitteln kaum

noch manuell gezogen werden (ebd. 182). Für diese nutzt man heute die mechanische Einrichtung der Ziehbank¹⁷.

In der einschlägigen Forschung wurde lange Zeit eine sehr kontroverse Diskussion geführt, seit wann man von dem Einsatz eines Drahtzieheisens ausgehen kann und damit verbunden wie die Merkmale für durch ein Drahtzieheisen gezogene Drähte aussehen.

So wurden auf größere Strecken gleichbleibende parallele Längsriefen als Merkmal für ein benutztes Drahtzieheisen gedeutet (Epprecht u. Mutz 1974/75; Furger-Gunti 1977, 78 ff.) und verschiedene latènezeitliche Locheisen wurden als Drahtzieheisen interpretiert (Jacobi 1979).

Bereits E. Foltz (1979, 216f.; 1981, 60ff.) wies jedoch darauf hin, dass man derartige parallele Riefen auch auf Schleif- und Korrosionsprozesse zurückführen kann und keine Belege für die Verwendung eines Zieheisens in antiker Zeit zu finden sind. Parallele Riefen können sowohl durch Schleifvorgänge mit Sandstein o. ä. hervorgerufen worden sein als auch, wenn durch Korrosion die Längsstruktur des Metalls, die durch das Ausschmieden von Draht entstanden war, sichtbar wurde. Der Argumentation diverser Autoren folgend (Foltz 1979, 217; 1981, 61; Wolters 1997c, 207 f.; Armbruster 2002, 168) konnte mit den gefundenen durchlochten Eisenplatten der Antike kein Draht gezogen werden. Nicht nur die geringe Anzahl und die teilweise zylindrische Form der Löcher, sondern auch die zu große Abstufung der Durchmesser erscheinen zum Ziehen von Metalldraht ungeeignet. Ihre Funktion ist nach E. Foltz (1989, 106) vielmehr in der von Nageleisen oder Nietbänkchen zu suchen, mit deren Hilfe die Köpfe von Nägeln oder Nieten gestaucht wurden, oder auch in einem Rundziehen von Lederriemen.

Generell werden in jüngerer Zeit die an antikem Draht sichtbaren Längsriefen mit einem einmaligen Ziehvorgang zum Zweck des Glättens erklärt (Nicolini 1995, 453; Hammer 1998b, 184 f.; Hammer u. Voß 1998b, 317) und nicht zur Drahtherstellung selbst. Diese Funktion könnte auch auf die gefundenen Locheisen zutreffen, die für ein Drahtzieheisen in heutigem Sinne ungeeignet erscheinen, aber eventuell der Glättung bereits geschmiedeter Runddrähte gedient haben können. Mit entsprechenden Locheisen, wie sie beispielsweise in einem latènezeitlichen Feinschmiededepot in Ošanići, Bosnien-Herzegowina, gefunden wurden, scheint eine Verlängerung und Querschnittsverringern von Drahtrohlungen nicht möglich (siehe Kap. 6.1).

Wie eigene Versuche zur Drahtherstellung gezeigt haben (siehe unten Abb. 6,c), können feine, parallel verlaufende Längsriefen darüber hinaus auch allein durch die Materialverdrängung über das Glättrollen eines zuvor massiv geschmiedeten Drahtes zwischen zwei harten Flächen entstehen.

Von einer Erfindung des Drahtziehens ist damit wohl erst ab nachrömischer Zeit auszugehen (Wolters 1997c, 207ff). Das älteste mit 78 Löchern und Durchmessern von 0,2 bis 2,0 mm

¹⁷ Denkbar sind jedoch auch einfache mechanische Hilfsmittel, wie sie ethnographisch belegt sind und beispielsweise in einer Filmdokumentation zur Silberverarbeitung in Thailand zu beobachten sind (Scholz 1974, 11ff.), wo ein ca. 3,5 mm starker, ausgeschmiedeter Draht durch ein Zieheisen mit Hilfe einer Winde zu einer Stärke von ca. 1,9 mm ausgezogen wurde. Die Abstufungen der Durchmesser der konisch geformten Löcher dieses Drahtzieheisens sollen durchschnittlich 0,1 bis 0,2 mm betragen haben (ebd. 11 Abb. 3).

sicher als Drahtzieheisen anzusprechende Gerät stammt aus dem wikingerzeitlichen Russland und datiert in die Mitte des 8. Jhs. n. Chr. (ebd.).

Verschiedene publizierte experimentelle Untersuchungen konnten zeigen, dass gleichmäßige Runddrähte durchaus mithilfe diverser Schmiedemethoden - ohne Zieheisen - entstehen können.

Ausgehend von einem gegossenen stangenförmigen Barren, der zunächst zu einem Drahtrohling vorgeschmiedet wird, kann ein etwa über 1 mm starker Draht allein mithilfe von Hammer und Amboss sowie anschließendem Glättrollen angefertigt werden (Foltz 1981, 60; 1989, 100). Der Drahtrohling kann dabei entweder nur mit dem Hammer auf einem planen Amboss, einem Bretteisen, vorgeschmiedet werden oder in einer sogenannten Riefen- oder Rillenanke, einem Gesenk mit eingearbeiteter Riefe zur Formung von Draht oder Blechröhren. Ein vorgeschmiedeter Drahtrohling kann auch Ausgangsform für die Herstellung von feinen Runddrähten mit einer Drahtstärke unter 1 mm sein. Dabei wird ein geschmiedeter Vierkantdraht tordiert und zwischen zwei harten Flächen (z. B. Platten aus Bronze oder Eisen bzw. Stein) gerollt, wodurch die Kanten durch das Rollen abgerundet werden. Eine andere Möglichkeit zur Herstellung dünner Drähte ist das Verdrehen eines Blechstreifens, welcher anschließend ebenfalls gerollt wird. Diese Verfahren (siehe unten Abb. 8) sind nach Definitionen von W. A. Oddy, anhand von ihm durchgeführter Experimente und zurückgehend auf ältere Untersuchungen von C. R. Williams, P. F. Davidson und anderen (siehe Ogden 1991, 97f.) unter den Begriffen "block-twisting" und "strip-twisting" bekannt geworden (Oddy 1977; 1979; Swaddling u. a. 1991). Deren strikte Unterscheidung ist in der Forschung jedoch umstritten (Whitfield 1990; Ogden 1991, 99; Wolters 1997c, 206; Bühler 2004a, 399). In beiden Fällen werden die Vorprodukte in sich verdreht bzw. tordiert, d. h. eng um ihre eigene Längsachse verdreht (bei Blechstreifen möglicherweise auch um einen zylindrischen Kern), und anschließend zwischen zwei ebenen Platten gerundet und geglättet.

Detaillierte Zusammenstellungen der Erkennungsmerkmale für die unterschiedlichen Fertigungsverfahren unter Berücksichtigung des derzeitigen Forschungsstandes sind beispielsweise in verschiedenen Arbeiten zu mittelalterlichen Runddrähten von B. Bühler (2000, 208 ff.; 2003, 405 ff.; 2004a, 393 ff.) zu finden. Dabei wird ausdrücklich betont, dass die Anzeichen für die unterschiedlichen Verfahren nur dann sichtbar sind, wenn die Drähte wenig bis gar nicht geglättet worden sind und keine Abnutzungsspuren aufweisen (Bühler 2004a, 395). Die für den Untersuchungszeitraum infrage kommenden Verfahren lassen sich daraus und aus eigenen Versuchen wie folgt charakterisieren:

1. Anzeichen für einen Draht, der durch Ausschmieden eines stabförmigen Barrens entstanden ist, sind facettenförmige Hammerspuren, in Längsrichtung verlaufende Falten (meist nur über kürzere Strecken) und ein unregelmäßiger, nicht vollkommen runder, massiver Querschnitt (Whitfield 1990, 13 f.; Bühler 2000, 211). Die Falten bilden sich durch die Materialverdrängung während des Rundschmiedens sowie bei einem abschließenden Rollen und können bei einer nicht sorgfältig durchgeführten Oberflächenbearbeitung sichtbar bleiben (Abb. 6).

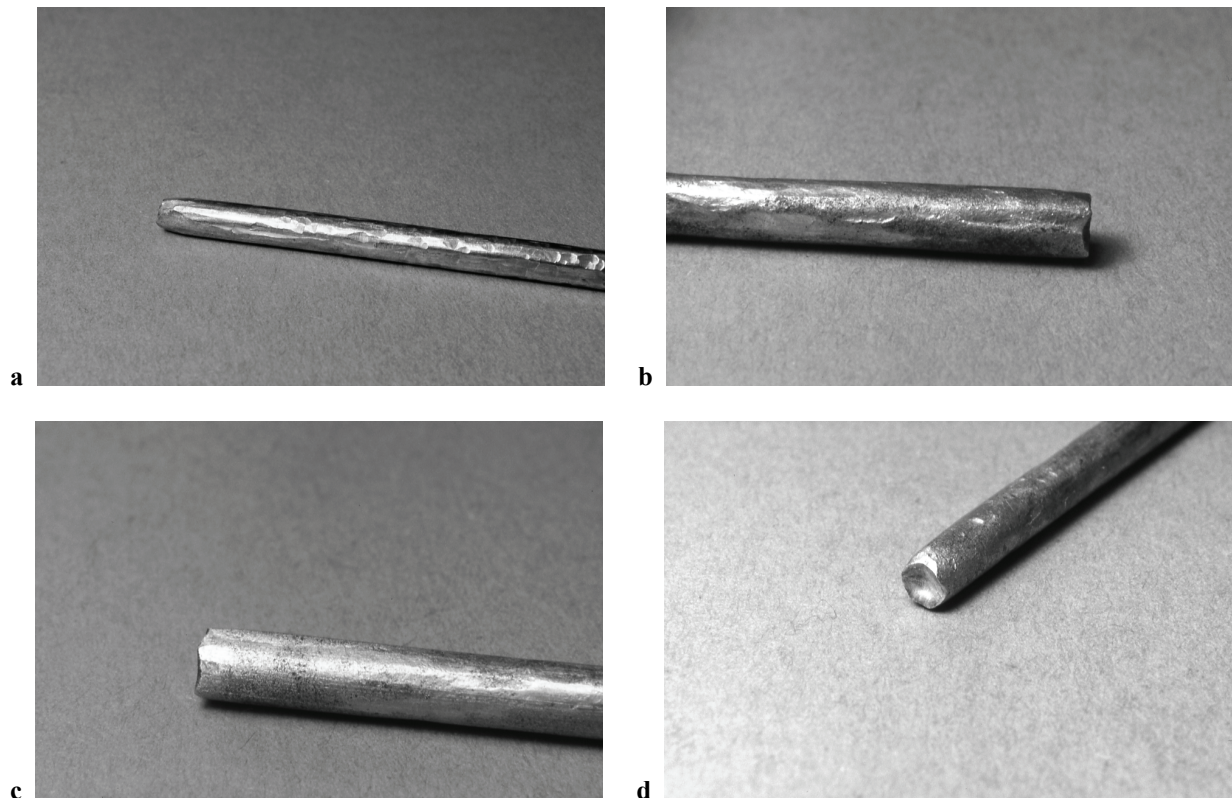


Abb. 6: Experimentelle Herstellung eines ca. 3mm starken Runddrahtes aus einem massiven vierkantigen Vorprodukt (Ag 935).

a: Hammerspuren und durch die Materialverdrängung beim Rundschmieden entstandene Falten.

b: Durch die Materialverdrängung beim Glättrollen entstandene Falten (Glättrollen zwischen der rauen Seite eines Ambosses aus Gusseisen und einem Hartholz).

c: Durch die Materialverdrängung beim Glättrollen entstandene Längsriefen.

d: Drahtende.

2. Dagegen sind eine parallel zur Längsachse verlaufende "Falte" und ein eher ovaler Querschnitt Hinweise auf die Herstellung eines "hohlen" Drahtes durch Falten und Aufrollen eines Blechstreifens. Die "Falte" verläuft in diesem Fall eher mäandrierend, nicht unbedingt strikt in Längsrichtung (Whitfield 1990, 20 f.; Bühler 2000, 213). Dieses Verfahren bezeichnete W. A. Oddy (1987, 177) als "folding".

Abhängig von der Formbarkeit der verwendeten Legierung sowie der Materialstärke des Blechstreifens kann die Anfertigung des Halbfabrikats entweder eher "zusammenrollend" oder eher "faltend" vorgenommen werden. Wird ein Blechstreifen zunächst rinnenförmig gebogen

und zur hohlen Röhre geschlossen sowie beim folgenden Rollen unter Druck zwischen zwei harten Flächen zunehmend zusammengeschoben, entsteht als Endprodukt ein "hohler" Draht, der sehr massiv wirken kann und der durch die Blechkante eine einzelne parallel zur Längsachse verlaufende "Falte" zeigt (Abb. 7,d Blechkante).

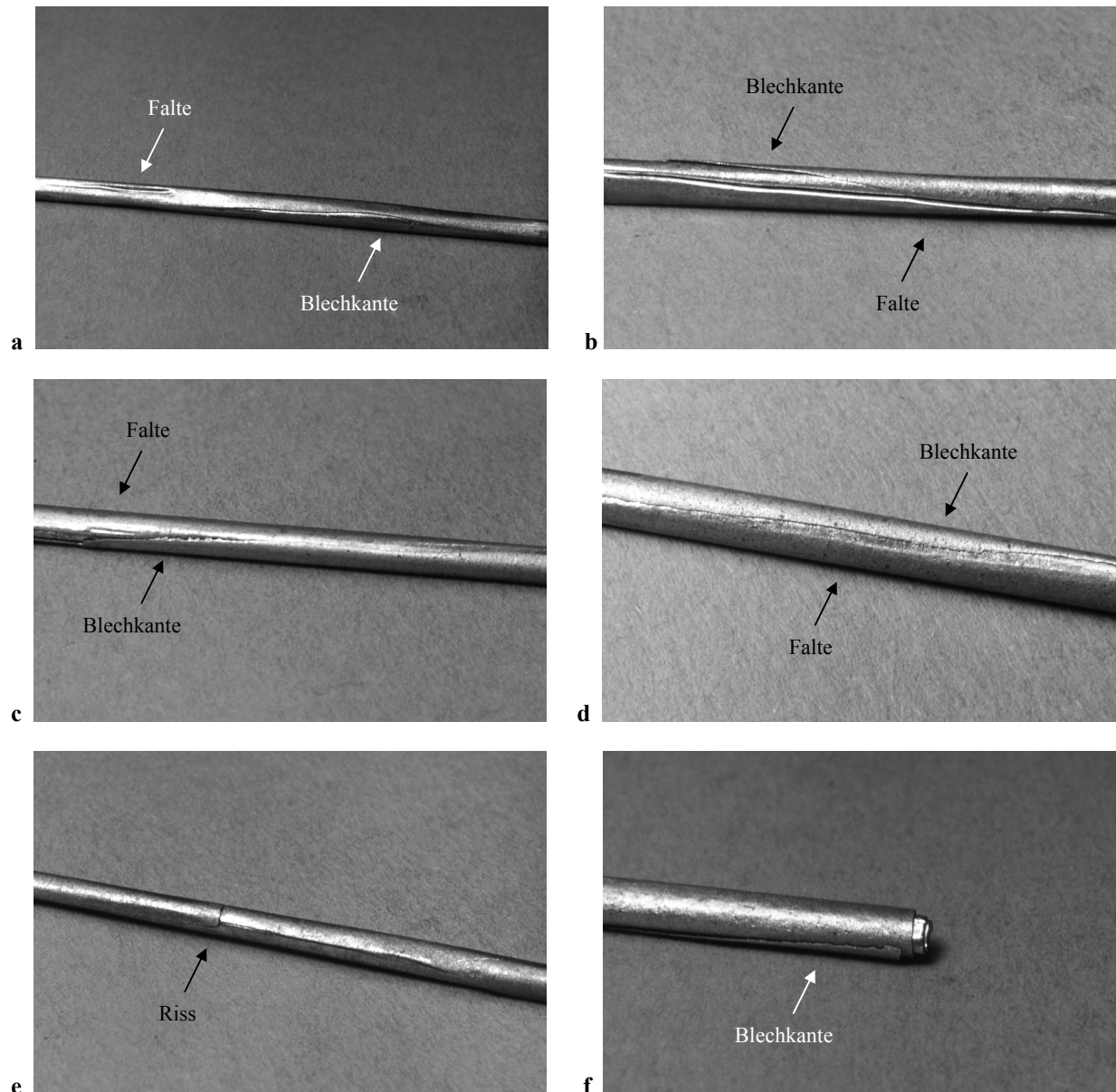


Abb. 7: Experimentelle Herstellung von ca. 2 mm starken Runddrähten durch Falten und Rollen von ca. 0,1 mm starken Blechstreifen (Cu).

a - d: Durch das Falten sichtbar gebliebene Blechkanten sowie durch die Materialverdrängung beim Glättrollen entstandene Falten (Glättrollen zwischen der rauhen Seite eines Ambosses aus Gusseisen und einem Hartholz).

e: Beim Glättrollen entstandener Materialriss.

f: Drahtende.

Wird ein Drahtkörper dagegen von innen nach außen durch das Umschlagen einer Längskante des Blechstreifens und einem fortführenden Umfalten aufgebaut, entsteht zunächst ein abgeflachter Kern. Dieser wird nach Bedarf geknickt oder geschmiedet, um ihn schließlich rund zu rollen. Bei diesem Verfahren kann nicht nur durch den Abschluss der äußeren Blechkante eine "Falte" entstehen (Abb. 7,b Blechkante), sondern auch durch die Materialverdrängung der äußeren "Blechlage" in Faltenbereiche des inneren Drahtkerns (Abb. 7,a,b Falten).

In jedem Fall verlaufen die bei der Drahtherstellung aus einem Blechstreifen entstandenen Falten oder die wie Falten wirkenden Blechkanten zwar allgemein parallel zur Längsachse des Drahtes, sie können jedoch "hin- und herwandern". Während sich die durch den Blechabschluss entstandene "Falte" - also die Blechkante - entlang des gesamten Drahtverlaufs zieht, zeigen sich die durch Materialverdrängung beim Rollen entstandenen Falten meist mit begrenzten Längen. Letztere sind zudem leicht mit den beim Ausschmieden und Rollen eines vierkantigen Vorprodukts entstandenen Falten zu verwechseln (Abb. 7,c,d Falten). Wie die eigenen Versuche gezeigt haben, sind als weiteres Merkmal für die Drahtherstellung aus Blechstreifen quer zur Längsrichtung verlaufende Risse (Abb. 7,e) zu nennen, die auf ein Einreißen der äußeren Blechlagen während des Faltens oder Rollens zurückgehen.

3. Hinweise auf eine Drahtherstellung durch Verdrehen eines Metallstabes mit rechteckigem bis quadratischem Querschnitt oder eines Blechstreifens (für die Produktion dünnerer Drähte für Ketten oder Filigranarbeiten) liegen durch einen üblicherweise gleichmäßig runden Querschnitt und spiralförmig verlaufende "Fugen" vor. Das von A. Oddy (1977; 1979) bezeichnete "block-twisting" (aus einem Vorprodukt mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt) soll Drähte mit zwei bis vier spiralförmig umlaufenden "Fugen" ergeben und das von ihm als "strip-twisting" (aus einem Blechstreifen) bezeichnete Verfahren eine einzelne spiralförmig umlaufende "Fuge". Durch das Verfahren des "block-twisting" werden massive Drähte hergestellt (Abb. 8,b,c), die durch "strip-twisting" entstandenen Drähte (Abb. 8,a) sind dagegen hohl, können jedoch durch starkes Glättrollen ebenfalls massiv werden.

Eine strikte Unterteilung zur Herstellung dünner Drähte in "block-twisting" und "strip-twisting" hielt J. M. Ogden (1991, 99) für übertrieben und betrachtete diese Differenzierung lediglich als Produkt einer angestrebten Klassifizierung. Er schlug daher vor, sich auf die Bezeichnung des "strip-twisting" zu beschränken, davon ausgehend dass das Vorprodukt zur Herstellung dünner Drähte immer ein Blechstreifen gewesen sei (Ogden 1992, 47). Die Übergänge zwischen beiden Fertigungsverfahren sind sicherlich fließend und ihre Verwendung ist vermutlich eher abhängig vom Verhältnis Breite zu Stärke sowie der Formbarkeit des vorhandenen Ausgangsmaterials als zweckgebunden, so dass eine Unterscheidung keine technisch relevante Bedeutung haben muss. Da eine zu starke Klassifizierung auch meines Erachtens nach nicht der antiken Realität entsprechen muss, sollte man der Anzahl erkennbarer "Fugen" keine zu große Bedeutung beimessen. Das Fertigungsverfahren dünner Drähte durch Verdrehen oder Tordieren mit anschließendem Rollen ist dasselbe, unabhängig von der

ausgehenden Form, deren Herstellung immer - ob Blech oder Vierkantdraht - ein Vorschmieden erforderte.

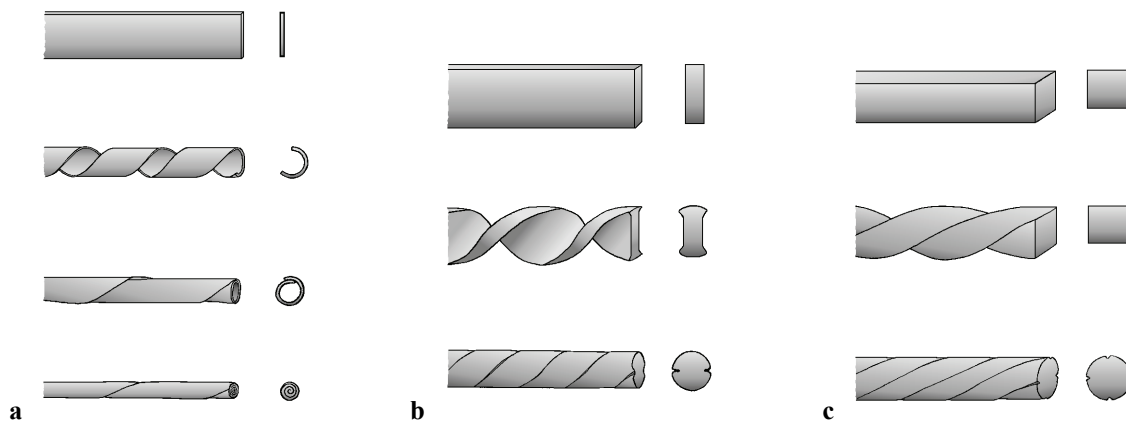


Abb. 8: Schemata zur Herstellung dünner Runddrähte nach unterschiedlichen Ausgangsformen (Umzeichnungen nach Formigli 1993, 35 Abb. 4).

a: Aus einem dünnen Blechstreifen.

b: Aus einem vorgeschmiedeten Drahtrohling mit rechteckigem Querschnitt.

c: Aus einem vorgeschmiedeten Drahtrohling mit quadratischem Querschnitt.

In jedem Fall wäre zudem ein Querschnitt für die Beurteilung des angewandten Drahtherstellungsverfahrens entscheidend. Da die Sicht auf einen solchen aber nur äußerst selten - durch Bruchflächen von Draht - möglich wird, kann die Ausgangsform nur begrenzt durch den Verlauf von sichtbaren "Falten" bzw. "Fugen" festgestellt werden. Zu einer der seltenen Ausnahmen zählen beispielsweise die Mikroskop-Aufnahmen eines Draht-Querschiffes von einer provinzialrömischen Silberkette aus Rainau-Buch, Baden-Württemberg, die zwei umlaufende "Fugen" erkennen lassen und damit auf das Tordieren eines massiven, vierkantigen Drahtrohlings hinweisen (Raub 1981, 531 ff.).

Sofern sichtbare "Falten" bzw. "Fugen" nur über kurze Strecken erkennbar sind, liegen mit ihnen jedoch nur Hinweise auf das angewandte Drahtherstellungsverfahren vor. So kann anhand einer optischen Betrachtung der Oberfläche lediglich eine Differenzierung zwischen Ausschmieden eines vorgeschmiedeten massiven Drahtrohlings und Falten oder Verdrehen und Rollen von Metallstreifen unterschiedlicher Stärke und verschiedenen Querschnitts vorgenommen werden.

Wenn der Draht nicht zu Zierzwecken angefertigt wurde und am fertigen Schmuckobjekt nur bedingt sichtbar war, musste nicht viel Sorgfalt in seine Nachbearbeitung aufgewendet werden. Dann blieben deutliche Spuren der Drahtherstellung, beispielsweise an dem zentralen, alle Konstruktionsbestandteile zusammenhaltenden Niet an einer römischen Scheibenfibel aus Hettingen (Abb. 9). Dieser weist deutliche Kennzeichen für das Rundschmieden eines massiven vierkantigen Vorprodukts auf.

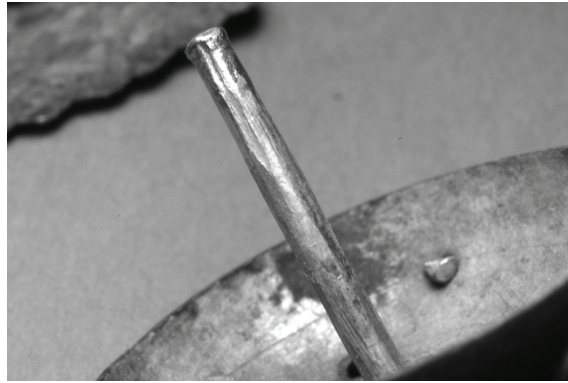


Abb. 9: Spuren vom Ausschmieden des Drahtes für den zentralen Niet an Scheibenfibel 1 aus Hettingen (Kat. 11,3).

An mehreren untersuchten Funden konnten Hinweise auf die unterschiedlichen Herstellungsmethoden zur Anfertigung von Draht beobachtet werden. Sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit wurde Runddraht mit einem Durchmesser ab etwa 1 mm durch Schmieden eines massiven Drahtrohlings oder durch Falten und Rollen eines Blechstreifens hergestellt, dünnere Drähte dagegen vorwiegend durch Tordieren und Rollen von Blech bzw. vorgeschmiedetem Vierkantdraht. Die Produktion von Draht aus gefaltetem und gerolltem Blech ist besonders gut sichtbar an einem Halbfabrikat aus einer Siedlungsgrube Anfang des 3. Jhs. n. Chr. aus Rottenburg (Kat. 35,2; Taf. 139,4-5).

Drähte mit einer Stärke von über 1 mm waren vorwiegend Ausgangsformen für die Formgebung von Fingerringen und Armringen. Dünnere Drähte wurden besonders zur Herstellung von Kettengliedern benötigt.

Sofern dies ohne einen Querschnitt zu beurteilen ist, wurden die feinen Drähte hauptsächlich aus verdrehten Blechstreifen hergestellt, wie einzelne umlaufende "Fugen" erkennen lassen. Diese Art der Drahtherstellung ist besonders gut an provinzialrömischen Kettengliedern sichtbar. So wurde beispielsweise auch der Draht für eine Goldkette aus Aalen, nach Untersuchungen und Rekonstruktionsversuchen von Ch. J. Raub (1977), durch Verdrehen eines Blechstreifens und ein nachfolgendes Rollen zwischen zwei harten Platten hergestellt. Spuren eines Verdrehens lassen sich bei diesem Kettendraht durch Vergrößerung noch gut erkennen, obwohl die Drahtoberfläche sehr gleichmäßig ist und nur wenige schwache Verformungsmarken besitzt¹⁸. Vergleichbare Drahtherstellungsspuren konnten an vielen Drahtgliedern von Ketten aus provinzialrömischen Fundzusammenhängen beobachtet werden (siehe Kap. 5.4). Ob das jeweilige Ausgangsmaterial aus einem Blechstreifen oder aus einem vorgeschmiedeten massiven Vierkantdraht bestanden hat, lässt sich dabei nur selten unterscheiden.

¹⁸ An einzelnen Stellen konnte Ch. J. Raub (1977, 391) bei hoher Vergrößerung parallele, in Längsrichtung verlaufende Kratzer an der Drahtoberfläche erkennen, die er auf eine abschließende ziehende Oberflächennachbearbeitung zurückführte, die also nicht im Zusammenhang mit der formgebenden Drahtherstellung durch Drahtziehen stehen.

Für verschiedene Drahtverzierungen und für die Herstellung von Kettengliedern war das Biegen die folgende formgestaltende Technik, entweder das freie Biegen mit Zangen oder mit Hilfe sogenannter Faulenzer. Letzterer kann einfach aus einem Holzbrett mit eingeschlagenen Nägeln hergestellt werden, wobei die Nägel, um welche der Draht gewickelt wird, so angeordnet werden wie es die gewünschte Form verlangt (siehe Kap. 5.4.2 Abb. 41,4b links).

Des Weiteren war die Herstellung von Drähten Grundlage von Drahtverzierungen, nicht nur in Form aufgelegter Runddrähte, sondern auch für Perl- und Kerbdrahtverzierungen (siehe Kap. 4.4.4).

Darüber hinaus wurden Drähte mehrfach zu Kordeldrähten weiterverarbeitet, die aus zwei oder mehreren miteinander verdrehten Drähten bestehen. Ein Kordeldraht aus zwei Runddrähten bzw. einem doppelt gelegten Draht ist beispielsweise Grundlage für die Herstellung von mittellatènezeitlichen Armringen aus Bern (Kat. 3; 5,1; Taf. 4; 9) und Isérables (Kat. 14; Taf. 34) oder auch für einen Schaukelfingerring aus Uster (Kat. 43; Taf. 158).

Tordierte Drähte entstehen dagegen aus dem Drehen von Vierkantdrähten um ihre eigene Achse, wobei ein Ende eingespannt wird während das andere mit einer Zange gedreht wird, so etwa für die mittellatènezeitlichen Spiralfingerringe aus Muri-Mettlen (Kat. 23,1.2; Taf. 78; 79).

4.2.4 Trennende und lochende Techniken

Für alle formgebenden Verfahren ist das Trennen von Metall eine notwendige Hilfsttechnik, sei es zum Abtrennen von Gusskanälen oder Gusstrichtern, aber auch zum Trennen und Zurichten von Blechen oder anderen Metallteilen.

Während dafür heute die Säge das wichtigste Werkzeug ist, sind die aus der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit erhaltenen Sägen aufgrund ihrer groben Zahnung nicht zur feinen Metallbearbeitung geeignet. Die heute übliche Laubsäge wird wohl erst in der Neuzeit aufgekommen sein (Wolters 1998, 375).

Alternative Werkzeuge zum Trennen und Zerteilen von Metall sind Meißel mit Keilschneiden und Scheren mit Scherschneiden. Sowohl das Meißeln als auch das Schneiden mit Scheren sind spanlose Techniken.

Die federnde, gelenklose Bügelschere ist seit der Frühlatènezeit nachgewiesen, ihre Verwendung wird jedoch zurecht im Zusammenhang mit dem Schneiden weicher organischer Materialien gesehen (Henning 2004, 3). Bei der federnden, gelenklosen Schere mit U-förmigem Schaft wirkt die Druckkraft der Hand über die Schneiden direkt auf das zu teilende Objekt. Die fehlende Hebelwirkung erlaubt jedoch lediglich das Scheren von relativ weichen Materialien (z. B. dünnes Leder oder Haar). Darüber hinaus neigen solche Scheren konstruktionsbedingt zu einem kräfteausweichenden Verdrehen der Schneiden unter hohen Belastungen. Die in vorrömischer und römischer Zeit in Mitteleuropa üblichen Bügelscheren konnten also nicht als Blechscheren eingesetzt worden sein.

Dagegen erlauben Gelenkscheren wegen der Hebelwirkung durch die Griffschäfte eine höhere Krafteinwirkung auf den Scherpunkt am Werkstück. Die Lage des Gelenkes nahe des Scherpunktes verhindert dabei zusätzlich ein Verdrehen der Schneidepartien. Damit sind erst Gelenkscheren zum Schneiden von Blechen geeignet.

Eines der möglicherweise ältesten bekannten Exemplare eines Werkzeuges, welches als Gelenkschere interpretiert werden kann, stammt aus der spätlatènezeitlichen Siedlung "Tarodunum" im Breisgau, wo es zusammen mit einem Hammerkopf in den Bereich der Buntmetallverarbeitung zugeordnet wird (Wendling 2004, 109 Abb. 86). Eine genaue Datierung muss jedoch offen bleiben, da einige Lesefunde im Siedlungsbereich darauf hindeuten, dass auch eine frühkaiserzeitliche Zeitstellung nicht gänzlich auszuschließen ist.

Vereinzelte Funde provinzialrömischer Gelenkscheren verweisen sicher auf den Einsatz von Scheren zum Schneiden härterer Materialien. Diese Scheren sind wohl geeignet dünne Bunt- und Edelmetallbleche zu schneiden, ob sie jedoch dafür eingesetzt wurden, bleibt noch offen. Mehrere Fragmente von Gelenkscheren liegen beispielsweise aus dem frühkaiserzeitlichen Legionslager von Augsburg-Oberhausen vor (Hübener 1973, 45) und besonders ein Exemplar (ebd. Taf. 18.29) weist große Ähnlichkeiten zu heutigen Blechscheren auf.

Da sich einfache Gelenkscheren zum Trennen von Metallstücken mit mehr als etwa 1,2 mm Stärke nicht eigneten (Drescher 1978a, 66) und zusätzlich in der Schnittführung eingeschränkt sind, war wahrscheinlich der Meißel während des gesamten hier behandelten Zeitraumes das universelle Werkzeug zum Trennen von Metall.

Meißel, die ähnlich wie Punzen mithilfe eines Hammers geführt werden, besitzen eine Keilschneide, mit welcher das Metall zerteilt und durchbrochen werden kann. Damit konnten alle Zurichtungsarbeiten von Blech und Gussstücken vorgenommen werden. Weiter konnten Meißel nicht nur zum Zerteilen eingesetzt werden, sondern auch zur formgebenden Verzierung, beispielsweise für Reliefverzierungen (siehe Kap. 4.4.1) oder zum Ausmeißeln von Durchbrechungen, wie etwa für das römische Durchbruchdekor (siehe Kap. 4.4.3). Damit war bis in mittelalterliche Zeit hinein der Meißel das universell einsetzbare Werkzeug für alle trennenden Vorgänge.

Zum Lochen von Blechen und massiven Metallteilen kommen grundsätzlich verschiedene Verfahren in Betracht. Entweder kann ein Loch schon beim Giessen ausgespart werden oder mit einem Bohrer bzw. einem Dorn angefertigt werden. Damit können sowohl spanlose als auch spanabhebende Techniken eingesetzt werden.

Werkzeuge zum Lochen von Blechen oder dünnen Metallbereichen sind in vor- und frühgeschichtlicher Zeit vor allem Dorne und Durchhauer, also stiftförmige Werkzeuge mit einer scharfen Spitze. Mit Dornen und Durchhauern konnte das Metall mithilfe eines Hammers durchgeschlagen werden. Dabei wird das Material nicht abgehoben, sondern lediglich verdrängt. Als Unterlage dient ein Amboss mit Aussparung oder ein Holz. Da sich das Metallblech bei diesem Vorgang stark in Schlagrichtung aufwölbt, muss es nach dem Lochen wieder eingeebnet werden. Deshalb müssen solche Lochungen - sofern sie am fertigen

Schmuckstück sichtbar blieben - vor der weiteren formgebenden Bearbeitung durchgeführt werden.

Anders als die genannten durchhauenden Lochwerkzeuge ist ein Aushauer ein stiftförmiges Werkzeug mit flacher Bahn und schneidenden Kanten zum Aushauen bzw. Ausstanzen von Blechstücken. Aushauer erleichtern das Erstellen formgleicher Durchbrechungen und können deshalb auch als Formstanzen eingesetzt werden (siehe Kap. 4.4.3).

Dagegen ist das Bohren ein spanabhebendes unter Drehbewegung durchgeführtes Lochungsverfahren. Bohrer konnten entweder von Hand in das Metall eingedreht werden oder durch den Antrieb eines Bogens oder einer sogenannten Dreule. Die Dreule ist ein Pumpen-Drillbohrer, sie ist spätestens ab dem frühen Mittelalter nachgewiesen (Drescher 1978b, 195; Wolters 1998, 375). Bohrer wurden nach Ausweis von Bohrspuren seit der vorrömischen Eisenzeit für die Metallbearbeitung in Mitteleuropa verwendet (Drescher 1978b, 202).

Bohrversuche mit Spitzbohrern, welche durch eine Umformung von Eisennägeln hergestellt und anschließend gehärtet wurden, konnten die einfache Durchführung mithilfe eines Bogenantriebs aufzeigen (Born 1989, 124). Während sich im Versuch zum Lochen von Blechen Dorne oder Durchhauer gut eigneten, war die Durchlochung gegossener Teile nur mit Bohrern erfolgreich, wobei Bohrgrate und Bohrschleifspuren sichtbar blieben (ebd. 127ff). Eine Untersuchung diverser antiker Bronzen durch H. Born ergab vorwiegend mitgegossene, aber auch gebohrte Löcher an Gussteilen und durchgeschlagene Löcher an Blechen (ebd.).

Konzentrisch umlaufende Schleifspuren im Inneren von Lochungen lassen auf einen schleifenden Bohrvorgang schließen. Bohrlöcher sind des Weiteren erkennbar an den typischen Aufwulstungen der Bohrgrate rund um die Löcher. Während ein durchgehauenes Loch einen Grat nur auf seiner Innenseite aufweist (z. B. Taf. 22,5.6), zeigt ein gebohrtes Loch Grate auf beiden Seiten.

Zum Lochen von Blechen und dünnen geschmiedeten Objektteilen wurden nach den vorliegenden Untersuchungen vor allem Dorne oder Durchhauer benutzt. Ob zur Herstellung der Löcher an anderen, massiven Objektteilen, wie den miteinander vernieteten Doppelknöpfen in den umgebogenen Enden provinzialrömischer Omegafibeln (z. B. Taf. 137,1.2; 188,5.6) oder der Doppelknopffibel aus Nideraschau (Taf. 87,3), ein Bohrer verwendet wurde oder die Löcher beim Gießen ausgespart wurden, lässt sich aufgrund mangelnder Sicht auf das Innere nicht beurteilen. Angesichts des verwendeten Edelmetalls scheint das Bohren jedoch weniger gebräuchlich gewesen zu sein.

4.3 Verbindende Techniken

Um ein Schmuckstück aus mehreren Konstruktionselementen aufzubauen, waren diverse Verbindungstechniken zum Zusammenfügen der einzelnen Teile möglich. Sowohl für diese Montageverbindungen als auch, um Drahtenden oder Blechkanten miteinander zu verbinden und zu einer Ringform zu schließen sowie um Zierelemente auf dem Schmuckstück anzubringen, konnten mechanische oder thermische Fügeverfahren angewandt werden. Bei den

thermischen Verbindungstechniken ist zwischen Montageverbindungen und Verbindungen für die Ziertechniken Filigran, Granulation und Oberflächenbeschichtungen zu unterscheiden.

4.3.1 Mechanische Verbindungen

Als mechanische Verbindungen an Schmuckfunden des untersuchten Zeitraumes sind vor allem das Nieten und Bördeln zu nennen.

Unter dem Nieten versteht man das Verbinden zuvor durchlochter Teile durch einen Niet, welcher aus einem Schaft mit Niet- und Setzkopf besteht. Der Niet dient mit seinen durch Schmieden und Stauchen verbreiterten Köpfen entweder als festes Verbindungselement zweier metallischer Konstruktionsteile, der Befestigung in einem organischen Träger oder als Zieraufsatz. Das sogenannte Nietbänkchen oder Nieteisen, ein mit einem Loch oder einer Vertiefung versehenes Arbeitsgerät, kann dabei behilflich sein den Nietkopf zu schmieden. Zur Anfertigung der kleinen, in der Schmuckherstellung gebräuchlichen Niete wird zunächst das eine Ende eines Metallstiftes, dem späteren Schaft, durch kurzes Anschmelzen zu einer Kugel geformt. Das so vorbereitete Schaftende wird auf dem Nietbänkchen zum Nietkopf umgeschmiedet. Zum Verbinden wird der mit dem Nietkopf versehene Schaft durch die Lochung gezogen bevor abschließend das andere Ende des Niets zum Setzkopf ausgeformt wird (Brepohl 2000, 357).

Um Blechteile ohne thermische Einwirkung miteinander zu verbinden, kann auch das Falzen angewandt werden. Während durch das Umbiegen einer Blechkante lediglich eine Randverstärkung erzielt wird, entsteht beim Bördeln um ein zweites Blech eine Falzverbindung dieser beiden Bleche (Braun-Feldweg 1968, 162; Armbruster 2000, 123). Diese in älteren vorgeschichtlichen Zeitstufen häufig angewandte mechanische Verbindung wurde ab der vorrömischen Eisenzeit zunehmend durch thermische Verbindungstechniken ersetzt.

An Edelmetallschmuck der vorrömischen Eisenzeit sind nur vereinzelte Niet- und Falzverbindungen zu beobachten. Beispiele an den untersuchten Silberfunden sind eine Falzverbindung an einem Fingerring aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,1; Taf. 151) und eine Nietverbindung an einer reichverzierten Münsingerfibeln aus Bern-Schosshalde (Kat. 6; Taf. 11,4-6), um eine organische Einlage auf der Fußscheibe zu befestigen. Auch zwei Kettchen aus dem frühlatènezeitlichen Nebengrab des Kleinaspergle (Kat. 2; Taf. 2,2; 3,2.3) wurden mit Hilfe von Nieten an einem nicht erhaltenen organischen Material befestigt.

Während an provinzialrömischem Silberschmuck Falzverbindungen nur selten angewandt wurden, wie etwa an einzelnen Gemmenfingerringen aus Wiggensbach (Kat. 47,17.18; Taf. 177), sind die Beispiele für Vernietungen zahlreich. Niete treten vor allem dort auf, wo mehrere Bleche zusammengehalten werden sollen, wie etwa an den Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach (Kat. 11,3.4; 47,15.16; Taf. 20,5; 174,1-3; 175,1-2), oder zur Befestigung von Hülsen an Ketten (z. B. Kat. 47,11-13; Taf. 172,1-2) und von Doppelknöpfen an Omegafibeln (z. B. Kat. 34,2; 51; Taf. 137,1.2; 188,4-6). Darüber hinaus wurden Niete häufig auch als reine

Zierelemente eingesetzt, wie an den Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach (z. B. Taf. 20,4; 21) und den norisch-pannonischen Flügelfibeln aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,9.10; Taf. 116,5-6) oder an den Zierscheiben vom Typ Hettingen (Kat. 11,9-11; 29,1; 33,17; Taf. 28; 29; 97; 134).

Die sogenannte Zargenfassung zählt ebenfalls zu den mechanischen Verbindungen. Sie kommt an Edelmetallschmuck vor allem an Gemmenfingerringen vor und ist als Sondertechnik anzusehen (z. B. Kat. 12,2; Taf. 31,1.5). Hierbei wird zunächst ein Blechstreifen in Form der Gemme im rechten Winkel auf den Träger aufgelötet. Diese Zarge wird um bzw. an die folgend eingelegte Gemme gedrückt, wodurch diese gehalten, also gefasst, wird.

Eine weitere Möglichkeit, um Zierelemente aufzubringen, ist das Kleben mit nichtmetallischen Bindemitteln, wobei der wohl wichtigste Einsatzbereich von Klebstoffen das Befestigen von Filigrandrähten und Granalien vor dem Löten und von Goldfolien und Blattgold im Zuge der Vergoldung ist (siehe Kap. 4.4.6).

Darüber hinaus sind Klebstoffe vor allem dann von Vorteil, wenn sowohl thermische als auch mechanische Verbindungen nicht angewandt werden sollen, um beispielsweise wertvolle organische Einlagen nicht zu beeinträchtigen. So sind Klebstoffe vorwiegend als Unterstützung zur Befestigung von Gemmen anzunehmen. Während an dem latènezeitlichen Gemmenfingerring aus Horgen (Kat. 12,2) ein Bindemittel überflüssig erscheint, da die mechanische Befestigung über die Fassung sicher ausreichte, um die Gemme zu halten, ist der Einsatz eines Klebstoffes für die provinzialrömischen Gemmenfingerringe (z. B. Kat. 47,17-19; Taf. 177; 178,1-2) - allein aufgrund ihrer Form - zu vermuten. Als Klebstoffe kommen beispielsweise Schwefel (Henkel 1913, 302; Oddy 1996, 187), verschiedene Harze oder Baumpech infrage, wobei Schwefel gerade für Silber ungeeignet erscheint, da das schwarze Anlaufen der Oberfläche verstärkt würde. Diese Klebstoffe wurden sowohl als Füllmaterialien eingesetzt, um einen Hohlkörper zu stabilisieren, aber gleichzeitig auch als Kitte, um Gemmen zu befestigen.

4.3.2 Löten

Die im modernen Goldschmiedehandwerk wichtigste thermische Verbindungstechnik ist das Löten. Unter Löten versteht man das Verbinden von Metallen oder ihren Legierungen durch ein Lötgut, das einen niedrigeren Schmelzpunkt oder Schmelzbereich als die zu verbindenden Metalle oder Legierungen hat. Dabei wird zwischen dem Löten mit metallischen Lotlegierungen und mineralischem Lötgut unterschieden. Für alle Lötverfahren ist charakteristisch, dass die Verbundteile in festem Zustand bleiben und das Lot mit diesen eine Legierung bilden kann. Die eigentliche Lötung vollzieht sich durch die stattfindenden Diffusionsprozesse.

Die zu verbindende Stelle des Werkstückes muss vor dem Löten gesäubert und von Oxidschichten befreit, d. h. gefrischt, werden. Das kann durch Schleifen, Schaben oder mithilfe

chemischer Substanzen geschehen. Bei Montagelötungen müssen die miteinander zu verbindenden Teile sauber aneinandergepasst werden und aufzulötende Teile notfalls mit einem Kleber fixiert werden, damit sie während des Lötvorgangs nicht verschoben werden.

Flussmittel und Beize sind bei allen Lötvorgängen notwendige chemische Hilfsmittel. Das sogenannte Flussmittel wird benötigt, um beim Erwärmen entstehende Oxidschichten zu lösen und die Ausbreitung des Lotes zu fördern. Die sogenannte Beize setzt man nach dem Lötvorgang ein, um schwarze Kupferoxidschichten zu entfernen sowie Flussmittelreste abzulösen.

Nicht nur für das Löten, sondern auch für alle anderen thermischen Verbindungstechniken ist ein Flussmittel notwendig. Dieses ist eine chemische Substanz, welche durch den Auftrag an der Verbindungsstelle vor allem Oxidationsprozesse während des Erhitzens verhindern soll. Andernfalls würden nicht nur die Schmelztemperaturen verändert, sondern auch die nötigen Diffusionsprozesse beeinträchtigt. Seit der Neuzeit ist Borax üblich, für die Antike kommen beispielsweise Soda (Natriumcarbonat), Pottasche (Kaliumcarbonat aus der Asche von Hölzern oder durch Brennen von Weinstein), Alaun und Weinstein sowie möglicherweise auch Salmiak als Flussmittel infrage (Wolters 1986, 54 ff.; 1997b, 190 ff.). Da die Wirkung der Flussmittel temperaturabhängig ist, hängt auch ihre Brauchbarkeit direkt von den Arbeitstemperaturen der verwendeten Lote ab. Da Soda erst bei ca. 850 °C schmilzt und damit seine Wirkung einsetzt, eignet es sich lediglich zum Löten von hochwertigen Silberlegierungen. Dasselbe gilt für die Pottasche, deren Schmelzpunkt sogar erst bei ca. 890 °C liegt. Während die Schmelzpunkte der reinen Substanzen recht hoch sind, schmelzen Mischungen aus Soda und Pottasche oder Soda und Kochsalz bereits bei 690 °C bzw. 630 °C (Jüngst 1981, 159), so dass diese Salzgemische durchaus auch als Flussmittel niedrigerschmelzender Legierungen geeignet waren, insofern man ihre Zusammensetzung bestimmen konnte. Die Wirkung des Alaun setzt dagegen bereits bei niedrigen Temperaturen ein, weshalb es für alle verwendeten Edelmetalllegierungen und auch zum Weichlöten geeignet gewesen wäre.

Im Metallhandwerk ist eine Beize eine verdünnte Säure, die Oxidschichten von Metalloberflächen beseitigt. Heute ist das verdünnte Schwefelsäure, für die Antike ist z. B. eine Alaunlösung ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) als Beize denkbar (Wolters 1998, 382). Mehrere antike Autoren erwähnen die Verwendung des Alaun (lat. *alumen*, griech. *στυπτηρία* (*stypteria*)) sowohl für medizinische Zwecke, aber auch im Zusammenhang mit der Metallbearbeitung (Diosk. mat. med. 5,122; Plin. nat. 33,94). Die bei Plinius (nat. 33,65) erwähnte "reinigende Wirkung" des Alauns ist möglicherweise auf die Verwendung als Beize zurückzuführen.

Auch die Nennung von Soda (griech. *νίτρον* (*nitron*)) und Weinstein (griech. *τρύξ* (*tryx*)) in der Medizin (Diosk. mat. med. 5,129; 5,131) zeigt an, dass diese Substanzen bekannt waren. Nicht nur Soda (lat. *nitrum*), sondern auch Urin wird direkt im Zusammenhang mit dem Reaktionslöten von Gold erwähnt (Diosk. mat. med. 5,92; Plin. nat. 33,93). Da sich bei der Zersetzung von Urin Ammoniak bildet (Projektgruppe Plinius Gold 1993, 52 Anm. 149), aus dem man unter Zusatz von Kochsalz Salmiak (Ammoniumchlorid) herstellen kann, könnte

auch dieser als Flussmittel oder Beize eingesetzt worden sein (Wolters 1997b, 192; Hammer 2001, 553).

Über die beim Löten angewandte Feuertechnik ist dagegen kaum etwas bekannt, weder über Schriftquellen noch über archäologische Befunde oder Funde. Während im modernen Goldschmiedehandwerk zum Löten ein Gasbrenner und eine Lötpistole genutzt werden, waren die wichtigsten Hilfsmittel in der Antike das Holzkohlefeuer als Hitzequelle und vermutlich Blasrohre. Indirekte Rückschlüsse auf die Durchführung der thermischen Verbindungstechniken anhand des archäologischen Fundmaterials werden in Kapitel 6.3 diskutiert.

Im Folgenden sollen zunächst die zu unterscheidenden Lötverfahren, ihre Erkennungsmerkmale sowie ihre Anwendung in der Antike beschrieben werden, da diesen in Hinblick auf den technischen Status des silberverarbeitenden Handwerks eine besondere Bedeutung beigemessen werden kann.

4.3.2.1 Löten mit metallischen Lotlegierungen

Beim Löten mit Metalllegierungen werden Werkstück und Lot auf die Arbeitstemperatur der Lotlegierung erhitzt. Dadurch schmilzt das Lötgut, fließt durch den Kapillareffekt in die Fuge zwischen den Verbundteilen, füllt die Lötuge oder den Lötspalt aus und vereint sich dabei durch Diffusion mit den Oberflächen der Kontaktstellen.

Das Löten mit metallischem Lot wird in Hart- und Weichlöten unterschieden. Das Hartlöten ist ein Verbinden mit Loten, deren Schmelztemperatur (Liquidustemperatur) oberhalb 450 °C liegt (Hammer u. Voß 1998b, 321). Die Arbeitstemperatur der Lote muss unter der Solidustemperatur der Legierungen der Verbundteile liegen und beträgt beim Hartlöten üblicherweise mehr als 650 °C (Brepohl 2000, 319). Damit die Verbundteile in festem Zustand bleiben, muss die Differenz zwischen der Arbeitstemperatur des Lotes (entspricht weitgehend der Liquidustemperatur) und dem Schmelzbeginn der Verbundteile (also der Solidustemperatur) mindestens 50 K betragen (Brepohl 2000, 319)¹⁹.

Nach dem Auftrag des Flussmittels wird das Lot in Form sogenannter Lotpaillen, kleiner Lotstückchen, oder als gefeiltes Streulot, an die Verbundstelle angelegt und auf seine Arbeitstemperatur erhitzt. Mit modernen Mitteln kontrollierbarer Temperaturführung wird zunächst das gesamte Werkstück gleichmäßig erwärmt bevor die Flamme nach und nach direkt auf die Lotstelle gerichtet wird, da das Lot immer dorthin fließt, wo die größte Hitze ist. Den Moment des Lötens erkennt man an einem "Spiegeln" der Oberfläche des Lotes. In dem Augenblick, da das Lot in die Fuge "schießt", muss das Werkstück aus der Hitze genommen werden. Wird überhitzt, beginnt das Werkstück zu "schmoren". Dann wird die Verbindung

¹⁹ Zum Auflöten feiner Zierbestandteile sollte der Temperaturunterschied diesen Richtwert noch deutlich übersteigen.

mehr zusammengeschweißt als gelötet. Eine gezielte Temperaturführung ist mit antiken Methoden jedoch erheblich schwieriger (siehe Kap. 6.3).

Dieses Lötverfahren kommt hauptsächlich für Festigkeitsverbindungen zur Anwendung, d. h. für Verbindungen, die hoher mechanischer Beanspruchung standhalten müssen. Zum Hartlöten von Silber sind vor allem Lotlegierungen aus Silber und Kupfer geeignet, wobei das Kupfer für die Festigkeit der Verbindung sorgt. Um das Schmelzintervall herabzudrücken, werden moderne Silberlote, mit ca. 30 - 65 % Ag und bis zu 29 % Cu, zusätzlich mit Zink (teilweise auch mit Cadmium) angereichert, während die wenigen bekannten spätantiken und mittelalterlichen Silberlotlegierungen aus den beiden Hauptbestandteilen Silber und Kupfer bestehen (Wolters 1997b, 196; siehe Kap. 4.3.4).

Das Weichlöten ist dagegen ein Verbinden mit Loten, deren Schmelztemperatur (Liquidustemperatur) unterhalb 450 °C liegt (Hammer u. Voß 1998b, 329). Diese Verbindungen können nur mit geringen mechanischen Kräften belastet werden, da das üblicherweise zum Weichlöten verwendete Lot, eine Zinn-Blei-Legierung, mangels ausreichender Diffusion zwischen Lot und Grundmetall eine nur geringe Härte und Festigkeit aufweist. Das Weichlöten von Edelmetallen ist zudem problematisch, da das Blei des Lotes bei der Diffusion das Gold und Silber der Kontaktstellen versprödet und damit die Verbindung schwächt (Lang 1997a, 161; Wolters 1998, 382; Brepohl 2000, 333). Aufgrund der legierungsbildenden Eigenschaft mit einem Eutektikum von 221 °C im Silber-Zinn-System ist auch die Verwendung von Zinn bei mehrfacher Anwendung und wiederholter Erhitzung heikel, da durch das "Zerfressen" des Grundwerkstoffes eine Schädigung der Silberlegierung auftreten kann.

Merkmale für Nahtstellen mit metallischem Lot können flächig ausgefüllte Fugen sein, die sich häufig aufgrund der Zusammensetzung der niedrigerschmelzenden Lotlegierung durch eine im Vergleich zum Grundmetall abweichende Farbe zeigen. An Goldfunden können hellere oder rötlichere Färbungen in der Lotfuge auf einen erhöhten Silber- und/oder Kupfergehalt von Goldloten hinweisen und an Silberfunden können sich Silberlotlegierungen durch eine allgemein dunklere Färbung bemerkbar machen. So wurden beispielsweise in einzelnen Fällen die Fugen an modernen Silberfingerringen bereits nach einigen Jahren der Lagerung durch den deutlich dunkler angelaufenen Nahtbereich sichtbar (Abb. 10).

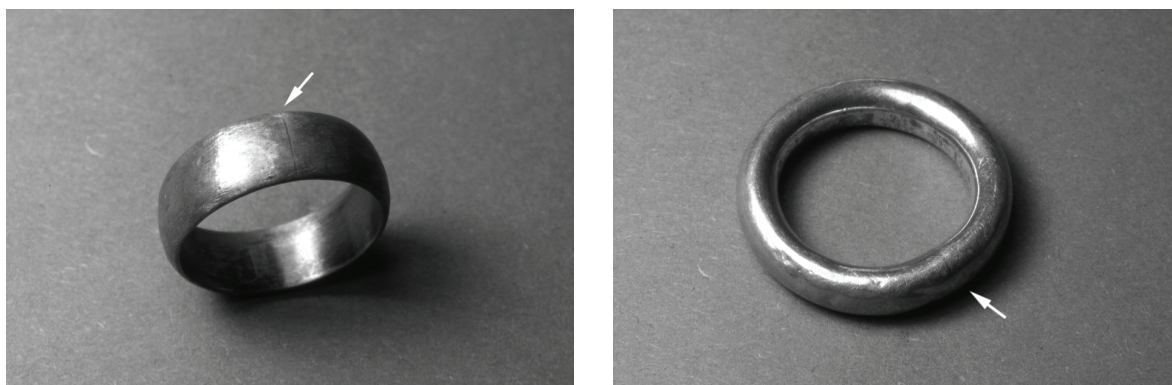


Abb. 10: Durch Anlaufen der Silberlegierungen sichtbar gewordene Lotfugen moderner Fingerringe.

Eine vergleichbare Fuge liegt etwa an dem kleinen Ring an einem provinzialrömischen Armring aus Rickenbach vor (Kat. 34,1; Taf. 135,2).

Da alle erhöhten Kupfergehalte zu stärkeren Korrosionserscheinungen führen, können diese Stellen auch durch grünliche Korrosionsprodukte auffallen, ein Erkennungsmerkmal, welches in gleicher Weise aber auch für das Reaktionslöten charakteristisch ist (siehe unten). Des Weiteren können Schab- oder Stichelspuren im Bereich der Lotstellen auf das Entfernen überschüssiger metallischer Lotreste hinweisen.

Lötungen, welche mit einem Weichlot, also mit Blei-Zinn-Legierungen, ausgeführt wurden, zeigen eine weißlich-graue Färbung und können zudem an Silberfunden "angefressen" wirkende Stellen aufweisen.

Bei hoher mikroskopischer Vergrößerung, besonders im Rasterelektronenmikroskop, können Lotfugen an einer blasigen Struktur erkannt werden, eine Erscheinung, die jedoch - für sich betrachtet - auch Merkmal einer Schweißverbindung sein kann. Eine Unterscheidung allein anhand der Oberflächenstruktur ist letztendlich aufgrund der bei allen thermischen Verbindungstechniken stattfindenden Diffusionsprozesse nur schwer möglich, der Unterschied zu einem Riss kann jedoch klar hervortreten.

4.3.2.2 Löten mit Reaktionslot

Bei einem weiteren Hartlötverfahren, für das sich in der einschlägigen Fachliteratur der Begriff Reaktionslöten durchgesetzt hat²⁰, wird für das Verbinden von Metallen statt einer metallischen Legierung ein mineralisches Reaktionslot verwendet. Als Reaktionslote fungieren diverse Kupferverbindungen, vor allem Kupfercarbonate, wie beispielsweise die Mineralien Malachit oder Azurit bzw. auch künstlich hergestellter Grünspan. Beim Reaktionslöten wird das Werkstück im Bereich der Lötstelle mit der aus dem pulverisierten Lot sowie einem Flussmittel und einem organischen Binde- und Reduktionsmittel hergestellten Mischung

²⁰ Andere in der Literatur verwendete Bezeichnungen sind beispielsweise "Reduktionslöten" (Luik u. Blumer 2006, 64) oder "Diffusionslöten" (Schmidt 1993, 10). Da jedoch bei allen Lötprozessen Diffusionsvorgänge ablaufen, scheint letzterer Begriff in diesem Zusammenhang ungeeignet.

bestrichen und im reduzierenden Holzkohlefeuer erhitzt. Als Binde- und Reduktionsmittel können organische Klebstoffe eingesetzt werden, beispielsweise Gummiharze, wie Tragant oder Gummi arabicum, Mehlkleister oder Gelatine (Wolters 1986, 48 f.; Nestler u. Formigli 1993, 63). Bei etwa 100 °C wandelt sich zunächst die Kupferverbindung in schwarzes Kupferoxid um und bei etwa 600 °C verbrennt der organische Klebstoff zu Kohlenstoff. Bei weiterer Erwärmung auf ca. 850 °C wird schließlich das Kupferoxid zu metallischem Kupfer reduziert (Wolters 1986, 57; 1997b, 193). Die an den Kontaktstellen gebildete kupferhaltige Oberflächenlegierung stellt gleichzeitig durch Diffusion eine Verbindung zwischen den Verbundteilen her. Das eigentliche Lötgut ist hier also das durch Reduktion der Kupferminerale gebildete metallische Kupfer.

Diese Lotverbindung stellt im Gegensatz zu metallischen Lotverbindungen keine flächige, sondern eher eine punktuelle Verbindung her. Beim Reaktionslöten bleiben durch die Diffusion kaum sichtbare Lotreste zurück und Versäuberungsarbeiten, wie sie nach einem Löten mit Lotlegierungen nötig sind, entfallen. Darüber hinaus sind die fast beliebig geringe Dosierbarkeit und die zunehmende Festigkeit der Lötung bei anhaltender oder wiederholter Erhitzung gegenüber anderen Lötverfahren von Vorteil. Da jedoch nur punktuelle Legierungsbildungen an den Kontaktstellen erzeugt werden, weisen diese eine im Vergleich zu metallischen Hartlotverbindungen geringere Stabilität auf.

Mit Reaktionslot gelötete Verbindungen zeichnen sich üblicherweise durch kaum erkennbare Nahtstellen zu den Zierelementen, jedoch deutlich sichtbar gebliebene Fugen bei stumpf aneinander gelöteten Konstruktionsteilen aus und der erhöhte Kupfergehalt kann durch Korrosion an den Nahtstellen sichtbar werden. Das Auftreten punktueller Beschädigungen durch angeschmorte Stellen - entstanden durch eine Überhitzung und zuviel Lotmaterial - oder auch kupferfarbene und blasige Oberflächen im weiteren Umfeld der Lötstellen können ebenfalls als Hinweise auf die Anwendung eines Reaktionslotes gelten.

Die Entdeckung schmelzpunktsenkender Metalle für Lotlegierungen und die allgemeine Verwendung von Legierungen niedrigeren Feingehalts führte dazu, dass das bis in die Neuzeit an Edelmetallschmuck verwendete Reaktionslöten Anfang des 17. Jahrhunderts in Vergessenheit geriet und erst im Zuge der Untersuchung etruskischer Granulationsarbeiten und durch die praktischen Versuche der Goldschmiede, wie E. Treskow und H. A. P. Littledale, ab den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts "wiederentdeckt" wurde (Jüngst 1981, III; Wolters 1986, 57; Nestler u. Formigli 1993, 37; Brepohl 2000, 353). So konnten auch erst in dieser Zeit die in antiken Schriftquellen (z. B. Theophr. de lap. 4,26; Diosk. mat. med. 5,92; Plin. nat. 33,93) zum Goldlöten erwähnten Substanzen Grünspan und χρυσόκόλλα (Chrysocolla = "Goldleim"), deren Einsatzbereich von Plinius d. Ä. mit der von *santerna* - beschrieben als Mischung aus Grünspan, Natron und Urin - verglichen wird, als Reaktionslot interpretiert bzw. identifiziert werden.

Diese "Wiederentdeckung" der Kenntnis des Reaktionslötens zusammen mit einer einseitigen Orientierung an griechischen und etruskischen Goldobjekten (vorwiegend Granulationsarbeiten), an welchen überwiegend metallische Lotspuren fehlen, führte bis in die jüngere Forschung hinein zu der generalisierenden Aussage, das Reaktionslöten sei die grundsätzliche Löttechnik in der antiken Edelmetallschmuckherstellung gewesen, so auch für alle Verbindungen an römischem Goldschmuck (Deppert-Lippitz 1985, 6). Laut M. Fecht (u. a. 2002, 347) ergaben Untersuchungen der Lotstellen diverser archäologischer Goldobjekte unterschiedlicher Epochen ausschließlich Hin- und Nachweise von Reaktionslötungen. Es konnten keine Verbindungen an Goldobjekten festgestellt werden, die durch ein metallisches Lot bewirkt wurden. Daher lautet ihre Annahme, dass erst ab dem Hochmittelalter Goldlot befriedigend hergestellt werden konnte und das Reaktionslöten bis in die Neuzeit die gängige Löttechnik gewesen sei. Dagegen wies J. Wolters (1986, 35) in seiner detaillierten Darstellung der Lötverfahren in Zusammenhang mit Granulationsarbeiten darauf hin, dass sich neben den Reaktionslötungen auch eindeutige Hinweise auf metallisches Lot finden ließen. Während sich mittels Reaktionslot gelötete Verbindungen durch keinerlei mit bloßem Auge erkennbare Lotspuren identifizieren ließen, wiesen deutlich sichtbare Lotspuren auf eine Verwendung metallischer Lotlegierungen hin, vor allem an Teilen, die konstruktiv bedingt stärkerer mechanischer Beanspruchung ausgesetzt waren.

Aus heutiger Sicht ist für Montagelötungen, bei welchen eine Fuge mit Lotmetall ausgefüllt werden muss, die Verwendung eines metallischen Lotes sicher praktikabler. Für Filigran- und Granulationsarbeiten (also Zierelemente) kann sowohl metallisches Lot als auch ein Reaktionslot verwendet werden. Der Einsatzbereich des Reaktionslotes ist unter antiken Gesichtspunkten des Lötens im Feuer vorwiegend im Bereich der Zierelemente von Vorteil, vor allem wenn eine große Anzahl von Granalien auf ein Objekt aufgelötet werden soll (siehe Kap. 4.4.5). Sein Gebrauch wird eingeschränkt bei niedrigerschmelzenden Legierungen der Verbundteile. Metallische Lotlegierungen setzen dagegen die Kenntnis der genauen Herstellung unterschiedlicher Legierungen und das Wissen um ihre Schmelzeigenschaften sowie die Verfügbarkeit der reinen Metalle voraus.

Dass über die moderne, klassifizierende Einteilung in metallisches Lot und Reaktionslot hinaus auch Übergangsbereiche bzw. Varianten zu bedenken sind, verdeutlichen die bereits 1981 von H. Jüngst aufgestellten Überlegungen zur Verwendung eines Reaktionslotes im Zusammenhang mit zusätzlich zugefügtem Metallstaub reiner Metalle, um überbrückendes Material zur Fugenlötung zu gewinnen. Als Verfechter der Theorie, dass das Reaktionslöten die alleinige Verbindungstechnik für alle Edelmetallobjekte in der Antike gewesen sei, verweist er auf eine Textstelle bei Plinius (nat. 33, 93), in welcher zum Löten von kupferreichem Gold dem Reaktionslot metallisches Gold und Silber hinzugefügt wird, wodurch eine weitere schmelzpunktsenkende Wirkung einträte (Jüngst 1981, 98).

Auch haben die unlängst an einem griechischen Goldmedaillon durchgeführten Untersuchungen gezeigt, dass weitere Varianten des Reaktionslötens, etwa in Verbindung mit Email, möglich sind (Fecht u. a. 2002, 348). Dabei konnten die in der Emailzusammensetzung enthaltenen Kupferverbindungen als Reaktionslot eingesetzt werden, wobei das Email die durch die Reaktionslötung entstandenen Schädigungen verdeckt, diese Kombination also gleichzeitig funktionelles Lot und Zier darstellt.

Die Technik des Reaktionslötens ist ausgehend von Granulationsarbeiten aus Gold, vorwiegend etruskischer Objekte, in diversen Arbeiten untersucht worden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die analytische Nachweisbarkeit gelegt.

An zwei etruskischen Fibeln des 7. Jhs. v. Chr. aus Marsiliana d'Albegna konnten P. Parrini, E. Mello und E. Formigli Querschliffe durch Granalien, Nahtstellen und Blech mit Hilfe einer Elektronenstrahl-Mikrosonde analysieren. Sie fanden einen sprunghaften Anstieg des Kupfergehalts in der Kontaktzone (Parrini u. a. 1982). Während in einem Fall sowohl die Granalie als auch der Blechträger (Rezipient) einen durchschnittlichen Gehalt von 68 % Au, 30 % Ag und 1,3 % Cu aufwiesen, wurde in der Mitte der Nahtstelle ein Kupfergehalt von bis zu 5 % gemessen (ebd. 120; siehe Abb. 11).

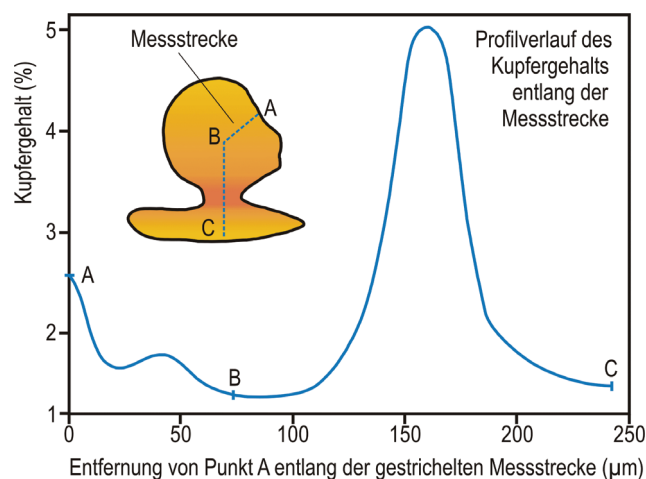


Abb. 11: Messergebnisse eines Reaktionslotes am Querschliff durch die Granalie einer etruskischen Fibel aus Marsiliana d'Albegna (Umzeichnung nach Parrini u. a. 1982, 120 Abb. 2).

Da die beiden anderen Legierungsbestandteile Gold und Silber in der Nahtstelle jedoch konstant blieben, also auch derselbe relative Silbergehalt wie im Grundwerkstoff gemessen wurde, konnte allein das Kupfer für die Lötung verantwortlich gewesen sein. Dasselbe Ergebnis erhielten die Autoren aus eigenen Versuchen von mit Malachit gelöteten Granalien (ebd.).

In Folge dieser Untersuchungen wurden alle leicht erhöhten Kupferkonzentrationen in Lotstellen anderer Goldfunde als sicherer Hinweis auf ein Reaktionslötens gesehen (Duval u. a. 1989, 5 ff.; Eluère 1989, 51 f.). Da der alleinige Nachweis erhöhter Kupferkonzentrationen an der Kontaktstelle zwischen den Verbundteilen nicht ausreicht, um

ein Reaktionslot eindeutig zu identifizieren und es vor allem von einem metallischen Hartlot abzugrenzen, müssen zusätzliche Gesichtspunkte zur Interpretation der quantitativen Messergebnisse, welche zur Charakterisierung eines Lotes notwendig sind, hinzugezogen werden.

Weitere Untersuchungen von E. Mello, P. Parrini und E. Formigli konnten eindrücklich zeigen, dass sich ein Reaktionslot an Gold-Silber-Kupferlegierungen nicht nur durch den gestiegenen Kupfergehalt in der Fuge, sondern auch durch das gleichbleibende Verhältnis von Gold zu Silber auszeichnet (Mello u. a. 1983). Analysen von Querschliffen durch die Filigranverzierungen an einem etruskischen Goldarmring aus Vetulonia konnten für die Draht-Verbundteile eine Goldlegierung mit 70 % Au, 28,5 % Ag und 1,5 % Cu und für die Fugen zwischen den Drähten Zusammensetzungen von 68 % Au, 28 % Ag und 4 - 5 % Cu (ebd. 549 f. mit Abb. 3) bzw. an anderer Stelle etwa 4 - 8 Cu nachweisen (siehe Abb. 12).

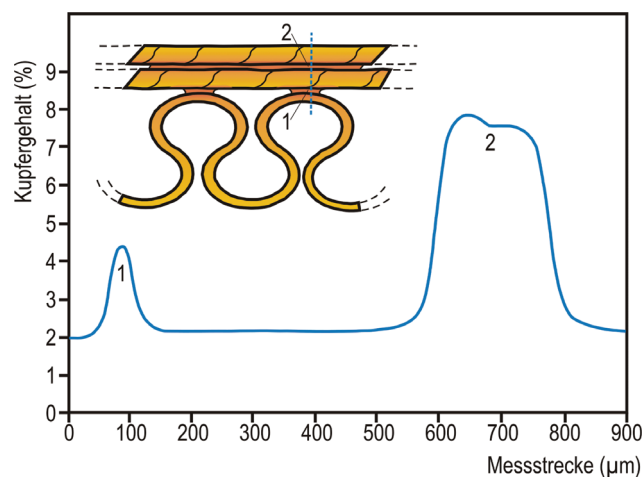


Abb. 12: Analysen der Nahtstellen an einem etruskischen Goldarmring mit Filigranverzierung aus Vetulonia (schematisierte Umzeichnungen nach Mello u. a. 1983, Taf. 72 Abb. 5; 550 Abb. 4).

Darüber hinaus stellten die Autoren an einer anderen Nahtstelle Reste zugefügten Materials in Form kleiner Goldfolienstücke fest, welche der Materialüberbrückung in den Fugen mit ungenügendem Kontakt der Verbundteile dienten (Mello u. a. 1983, 550 f.). Die Legierung dieser Goldfolie wies dieselbe Zusammensetzung wie die der Drähte auf und verweist auf die Kombination des Reaktionslotes mit zugefügtem Gold, ähnlich wie sie H. Jüngst (1981, 98) vermutet hatte.

Aus den zur Verfügung stehenden publizierten Analysen lässt sich folgendes vereinfachtes Schema zur - im Idealfall analysierbaren - Unterscheidung von Lötungen mit Reaktionslot und metallischem Lot ableiten, um die Problematik der analytischen Aussage zu veranschaulichen (Abb. 13).

Bei Verwendung eines Reaktionslotes müssten die Messungen in der Kontaktstelle zwischen den Verbundteilen nicht nur einen erhöhten Kupfergehalt ergeben, sondern auch ein gleichbleibendes Verhältnis der anderen Bestandteile. Bei einer Legierung mit drei

Hauptbestandteilen, wie im Falle von Gold-Silber-Kupfer-Legierungen, steigt der Kupfergehalt zwar an, damit verringern sich gleichzeitig die prozentualen Anteile an Gold und Silber, das relative Verhältnis von Gold zu Silber bleibt in der Kontaktstelle jedoch dasselbe wie im Grundmetall (Abb. 13 oben).

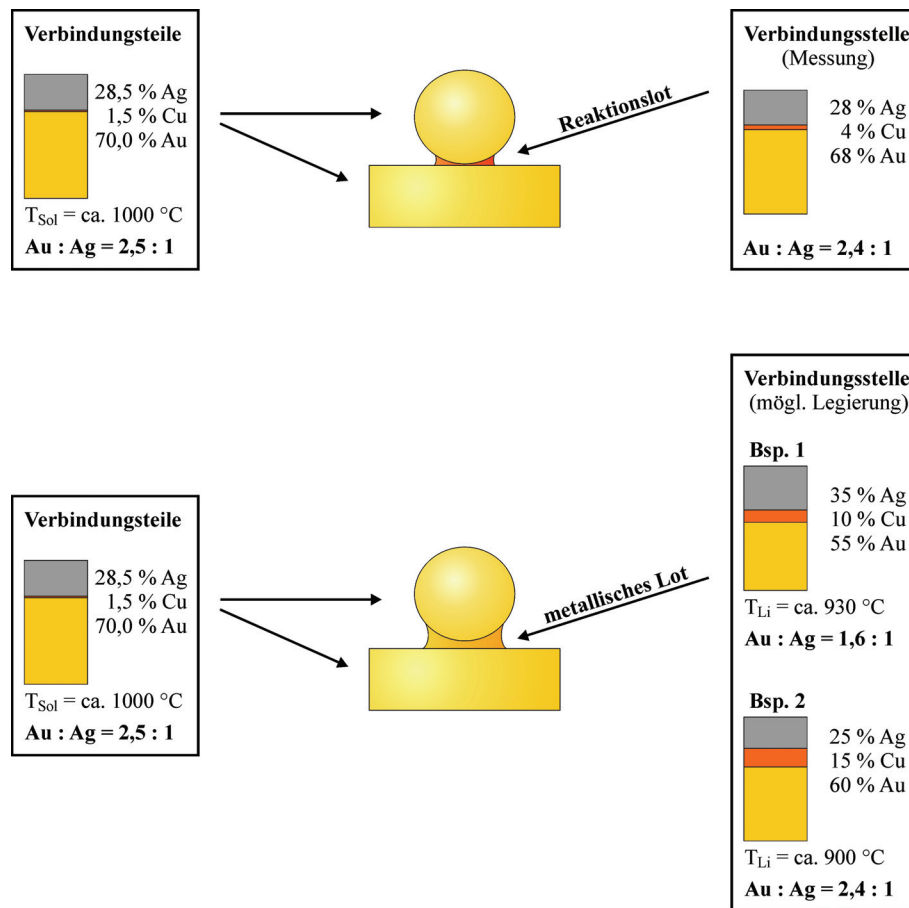


Abb. 13: Schema der Unterschiede in der Zusammensetzung von Goldlegierungen an Nahtstellen mit Reaktionslot und metallischem Lot am Beispiel der Granulation (T_{Sol} = Solidustemperatur; T_{Li} = Liquidustemperatur); Zahlen für die Verwendung eines Reaktionslotes in Anlehnung an Analysenergebnisse von Mello u. a. 1983 und für das metallische Lot Verwendung möglicher Lotlegierungen für die Zusammensetzung desselben Grundwerkstoffes anhand der Liquidustemperaturen und Farbigkeiten.

Im Falle der Verwendung einer Goldlotlegierung, die aus Gold und im Vergleich zu den Verbundteilen erhöhten Anteilen an Silber und Kupfer besteht, müsste sich dagegen auch das Verhältnis von Gold zu Silber in der Kontaktstelle verändern (Abb. 13, Bsp. 1). Wie jedoch Beispiel 2 zeigt, kann auch eine entsprechende Goldlotlegierung mit niedrigerem Silbergehalt verwendet werden, bei der das Verhältnis ebenfalls gleich bleiben würde. Der Kupfergehalt müsste in diesem Fall aber deutlicher gestiegen sein als bei Verwendung eines Reaktionslotes²¹.

²¹ Weitere Möglichkeiten metallischer Lotlegierungen könnten aus Legierungen mit deutlich höheren Kupfergehalten bestehen, auch in Form von Gold-Kupfer-Legierungen ohne Silber. Mit steigendem Kupfer- und sinkendem Silbergehalt würde die Lotstelle jedoch eine zunehmend rötliche Färbung bekommen und eine

In der schematischen Darstellung von Abb. 13 unberücksichtigt sind die Varianten des Reaktionslötens mit zugefügtem Gold und/oder Silber anderer Zusammensetzung als der Grundwerkstoff. In diesem Falle würde sich das Gold-Silber-Verhältnis verändern, so dass letztendlich auch das gleichbleibende Verhältnis nicht alleine ausreicht, um eindeutig zwischen Reaktionslot und metallischer Lotlegierung zu unterscheiden.

Hätte man nun für den Grundwerkstoff der Verbundteile statt einer Goldlegierung eine Silberlegierung, welche allein aus Silber und Kupfer bestünde, ließe sich aufgrund des fehlenden dritten Elements kein Verhältnis berechnen. Da jedoch eine Silberlotlegierung ebenfalls nur aus Silber und Kupfer bestehen kann, ließe sich der höhere Kupfergehalt in der Kontaktstelle sowohl auf die Verwendung eines metallischen Silberlotes als auch auf die eines Reaktionslotes zurückführen. Die analytische Nachweisbarkeit sollte daher auch an Silberlegierungen untersucht werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden erläutert.

Da ein Reaktionslot erst bei ca. 850 °C durch die Reduktion zu Kupfer in die zu verbindenden Teile diffundiert und diese zusammenfügt, würde dieses Verfahren bei Verwendung niedrig schmelzender Silberlegierungen theoretisch nicht funktionieren, ohne dass die umliegenden Bereiche anschmelzen würden und man daher eher verschweißen als lüten würde. Aus diesen Gründen wird das Reaktionslüten üblicherweise nur beim Lüten von Feinsilber, Feingold oder silberhaltigen Goldlegierungen angewandt. Bislang beschränken sich die Nachweise auf Funde aus Goldlegierungen, weshalb die Durchführbarkeit des Lötens mit Kupferverbindungen an verschiedenen Silberlegierungen im Experiment erprobt werden sollte. Um gleichzeitig auch das optische Erscheinungsbild mit dem eines metallischen Hartlotes zu vergleichen, wurden nicht nur Granulationsversuche durchgeführt (siehe Kap. 4.4.5), sondern auch das stumpfe Aneinanderlüten von Blechkanten.

Dazu wurden Blechhülsen (Blechstärke 0,5 mm) aus unterschiedlichen Silberlegierungen angefertigt, deren Fugen jeweils mit einem Reaktionslot und einer metallischen Silberlegierung mit niedrigerem Schmelzbereich geschlossen wurden. Als Ausgangsmaterialien wurden die eigens dafür hergestellten Silberlegierungen Ag 970, Ag 935 und Ag 790 benutzt²².

Die Lötungen wurden bewusst nicht nach Kriterien eines optisch einwandfreien Erscheinungsbildes durchgeführt, da die Fugen für die nachfolgenden Metallanalysen deutlich erkennbar bleiben sollten.

Messung würde sich durch das Fehlen oder einen eindeutig gesunkenen Anteil von Silber bei gleichzeitig deutlich erhöhtem Kupfergehalt bemerkbar machen. Damit die Arbeitstemperatur des Lotes bei unter 960 °C liegt, kann die hier in Anlehnung an etruskische Arbeiten verwendete Goldlegierung des Grundwerkstoffes nicht ohne ein Hinzufügen von Kupfer gelötet werden, eine reine Gold-Silber-Legierung würde damit als Goldlot ausscheiden.

²² Da als Silberlot eine in Analogie zu mittelalterlichen Überlieferungen vergleichbare Legierung verwendet werden sollte, wurde zunächst eine bei J. Wolters (1986, 63; 1997b, 196) erwähnte 3 : 1 Zusammensetzung mit 75 % Ag und 25 % Cu und einer Liquidustemperatur von 790 °C gewählt. Bei der - leider erst nachträglich erfolgten - Recherche der Primärquelle "De diversis artibus" des Theophilus Presbyter, Buch 3, Kapitel 31, zeigte sich jedoch, dass die für das 12. Jh. n. Chr. geschilderte Legierung ein Verhältnis von 2 : 1 aufweist und damit Ag 667 ist (Brepohl 1999, 83). Ferner stellte sich nachträglich bei der analytischen Überprüfung der Ausgangsmaterialien heraus, dass die angestrebte Legierung Ag 750 irrtümlich als Ag 790 hergestellt wurde. Hinsichtlich der Fragestellungen ist dieser Unterschied jedoch nicht relevant.

Die Verbindungsstellen der Blechhülsen aus Ag 970 konnten erwartungsgemäß nicht nur mit metallischem Lot (Abb. 14,e-g), sondern auch mit Reaktionslot (Abb. 14,a-d) ohne Probleme gelötet werden. Mit einer Solidustemperatur von ca. 910 °C ist diese Legierung für alle Lötvorgänge gut geeignet, sowohl für die verwendete Silberlotlegierung Ag 790 mit einer Liquidustemperatur von ca. 820 °C als auch für Reaktionslot, dessen lötende Wirkung bei ca. 850 °C eintritt. Eine der mit Reaktionslot gelöteten Blechhülsen (Abb. 14,a-b) ließ sich nach dem Löten in eine runde Form bringen, die Fuge hält der weiteren formgebenden Bearbeitung also durchaus stand, bleibt jedoch deutlich auffallend. Dieses Erscheinungsbild konnte auch durch ein weiteres Experiment, bei welchem dem Reaktionslot etwas Metallstaub derselben Silberlegierung hinzugefügt wurde, nur wenig verändert werden. Bei diesem blieb trotz des hinzugefügten Materials die Fuge deutlich sichtbar. Je mehr Metallspäne hinzugefügt würden, desto besser würde die Fuge aber überbrückt werden können (vgl. solcherart aufgelötete Granalie in Kap.4.4.5 Abb. 25).

Das Reaktionslöten der Blechhülse aus Ag 935 (Abb. 14,h) mit einer Solidustemperatur von ca. 820 °C funktionierte ebenfalls, obwohl diese Legierung theoretisch bereits vor dem eigentlichen Lötvorgang zu schmelzen beginnen würde. Die Fuge bleibt entsprechend sichtbar, wie jedoch weitere Versuche zeigten, ist die Durchführung deutlich schwieriger und die Verbindung instabiler als bei Ag 970.

Die Verbindung an einer Blechhülse aus Ag 790 (Abb. 14,i-j) mit einer Solidustemperatur von ca. 780 °C konnte zwar mit Reaktionslot hergestellt werden, durch die Überhitzung schmolzen die seitlichen Ränder jedoch an und die Blechhülse geriet durch dieses "Schmoren" aus der Form. Die Verbindung ist daher wohl vielmehr durch Schmelzvorgänge zustande gekommen als durch das Reaktionslöten. Eine entsprechende stumpfe Verbindung zweier Blechkanten lässt sich jedoch kaum durch ein Schmelzschweißen ohne materialüberbrückenden Zusatzstoff erreichen.

Alle Versuche mit Reaktionslot hinterlassen einen Kupferschimmer und ein an der Fuge blasiges Erscheinungsbild der Oberfläche. Die mit Reaktionslot gelöteten Fugen bleiben deutlich sichtbar. Auch eine Lotlegierung hinterlässt ohne das Beizen einen Kupferschimmer an der Lötfläche, die Fuge ist jedoch nicht nur aneinandergefügt, sondern durch die Materialbrücke geschlossen. Werden die Fugen überschliffen und poliert, sind sie in allen Fällen nur noch bei schräg einfallendem Licht zu erkennen, wie bereits ein anfängliches, grobes Überschliffen der Versuchsobjekte zeigt (Abb. 14,b,d,g,j). Die mit Reaktionslot gelöteten Nahtstellen ließen sich jedoch kaum durch Schleifen und Polieren kaschieren.

Je niedriger der Silbergehalt, desto stärker erschweren störende Oxidationsprozesse das Löten. Diese Problematik konnte nicht nur für das Reaktionslöten festgestellt werden, sondern ist auch allgemein vom Löten mit Silberlot bekannt.



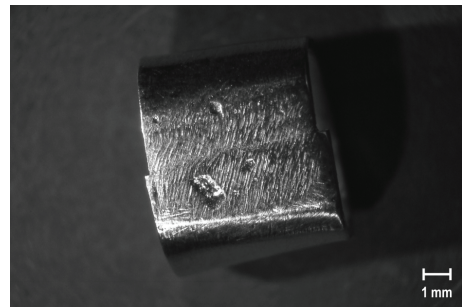
a: Ag 970 mit Reaktionslot, nicht gebeizt



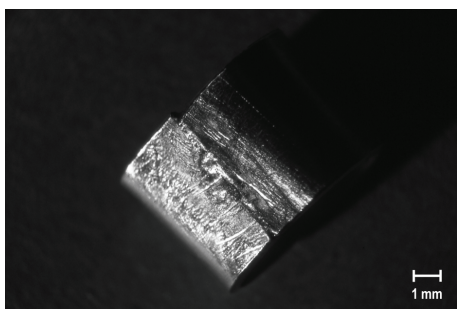
b: a in überschlifffenem Zustand



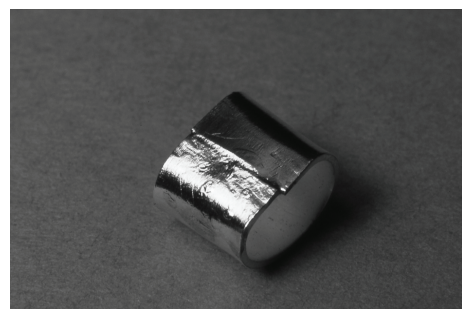
c: Ag 970 mit Reaktionslot, gebeizt



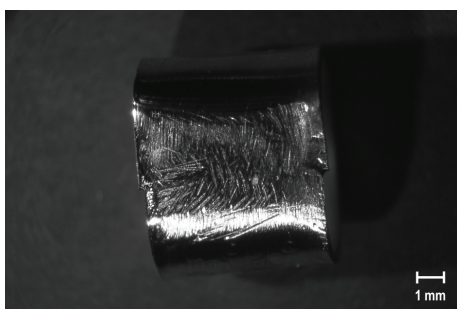
d: c in überschlifffenem Zustand



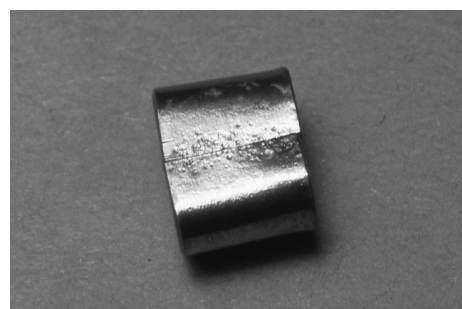
e: Ag 970 mit Silberlot Ag 790, nicht gebeizt



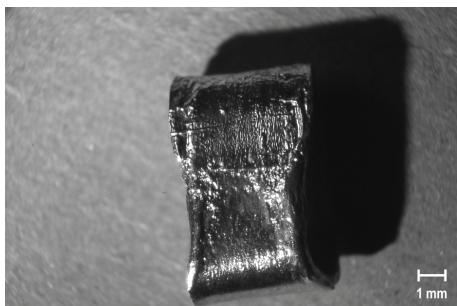
f: Ag 970 mit Silberlot Ag 790, gebeizt



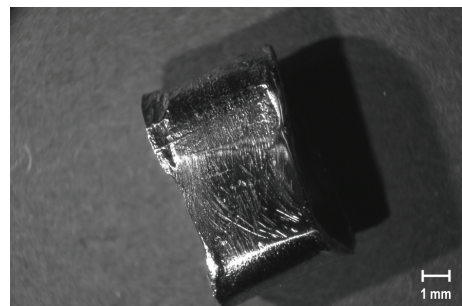
g: f in überschlifffenem Zustand



h: Ag 935 mit Reaktionslot, nicht gebeizt



i: Ag 790 mit Reaktionslot, gebeizt



j: i in überschlifffenem Zustand

Abb. 14: Versuche zum Löten verschiedener Silberlegierungen mit Reaktionslot und mit metallischem Lot Ag 790; verwendete moderne Hilfsmittel und Material: Gasbrenner, Lötpistole, Holzkohle als Unterlage, verdünnte Schwefelsäure zum Beizen, Reaktionslot aus Malachit, Gelatine und Borax.

Die Nahtstellen konnten im FEM in Schwäbisch Gmünd analysiert werden (Tab. 4), mit derselben zerstörungsfreien RFA-Analyse, welche auch an den Fundstücken zum Einsatz kam.

		Ag	Cu	Sonstige
Silberblech Ag 970		97,0	3,0	
Silberblech Ag 790		79,0	21,0	
Blehhülse aus Ag 970 mit Reaktionslot, nicht gebeizt (Abb. 14,a)	Blehhülse, Rückseite	96,4	3,6	
	Lötfuge, Messung 1	70,6	21,0	ca. 8 % Zn ²³
	Lötfuge, Messung 2	71,3	21,5	7,2 % Zn
	Lötfuge, Messung 3	80,0	20,0	kein Zn
Blehhülse aus Ag 970 mit Reaktionslot, gebeizt (Abb. 14,c)	Blehhülse, Rückseite	97,0	3,0	
	Lötfuge, Messung 1	92,7	7,3	
	Lötfuge, Messung 2	93,3	6,7	
Blehhülse aus Ag 970 mit Silberlot Ag 790, nicht gebeizt (Abb. 14,e)	Blehhülse, Rückseite	96,4	3,6	
	Lötfuge, Messung 1	58,5	41,5	
	Lötfuge, Messung 2	61,7	38,3	
Blehhülse aus Ag 970 mit Silberlot Ag 790, gebeizt (Abb. 14,f)	Blehhülse, Rückseite	97,0	3,0	
	Lötfuge, Messung 1	80,0	20,0	
	Lötfuge, Messung 2	83,8	16,2	
Blehhülse aus Ag 790 mit Reaktionslot, gebeizt (Abb. 14,i)	Blehhülse, Rückseite	79,0	21,0	
	Lötfuge	65,4	34,6	

Tab. 4: Messergebnisse der Analysen an den Lötfugen der im Experiment hergestellten Blehhülsen (Analysen FEM Schwäbisch Gmünd; Angaben in Gew.-%).

Bemerkenswert ist in erster Linie die erstaunliche Übereinstimmung der Messungen in den Fugen der Blehhülsen aus Ag 970 sowohl mit Reaktionslot (a) als auch mit metallischem Silberlot (f). Hier bestätigt sich, dass es keine eindeutigen Kriterien anhand der Höhe des gemessenen Kupfergehalts gibt und allein die beiden Bestandteile Silber und Kupfer nicht ausreichen würden, um ein Reaktionslot sicher von einem Silberlot unterscheiden zu können. Das wichtigste Ergebnis bezüglich der eingangs gestellten Frage zu Messunterschieden zwischen mit Reaktionslot und metallischem Lot gelöteten Silberlegierungen war also, dass sich bei reinen Silber-Kupferlegierungen ohne weitere Bestandteile ein Reaktionslot nicht zwingend von einem metallischen Lot unterscheiden lässt. Setzt man jedoch das Beizen nach dem Lötvorgang voraus, wird aus den Messergebnissen ersichtlich, dass die Kupfergehalte in den Fugen der mit Reaktionslot gelöteten Blehhülsen nur wenig steigen (c) während ein deutlich höherer Kupfergehalt für mit metallischem Lot gelötete Verbindungen (f) charakteristisch ist.

²³ Der nur an einigen Stellen gemessene Zinkgehalt lässt sich sicher auf den verwendeten, nicht gereinigten mineralischen Malachit zurückführen.

Die Messungen der mit dem Silberlot gelöteten Lötstellen bestätigten ferner die Möglichkeit mit zerstörungsfreien Analysen bei ausreichender Größe der Messstelle eine annähernde Vorstellung des verwendeten Ausgangsmaterials zu bekommen, unter der Voraussetzung, dass andere Einflussfaktoren, wie etwaige Oberflächenbehandlungen und Korrosion, weitgehend ausgeschlossen werden können.

Darüber hinaus sind auch die Unterschiede zwischen den gebeizten und nicht gebeizten Versuchsobjekten äußerst interessant. Während unabhängig von der Verwendung einer Beize auf den Rückseiten der Blechhülsen annähernd immer das Ausgangsmaterial gemessen wurde, sind erhebliche Unterschiede zwischen gebeizten und nicht gebeizten Lötungen feststellbar. Ohne Beizen ist der Kupfergehalt in den Lötstellen deutlich höher als bei den gebeizten Objekten. Das gilt sowohl bei Verwendung von Reaktionslot als auch von metallischem Lot und ist auf die entstandenen Kupferoxide zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass auch in der Antike nach allen thermischen Einwirkungen das Werkstück mit einer Beize behandelt wurde, um entstandene Oxidschichten zu beseitigen, jedoch lässt sich nicht ausschließen, dass in dem ein oder anderen Fall diese störenden Schichten nur unzureichend mechanisch entfernt wurden. Damit würde man sich einmal mehr im unsicheren Interpretationsbereich zerstörungsfreier Analysen bewegen, die trotz aller Bedenken Anhaltspunkte für die verwendeten Löttechniken liefern können, wenn diese Einflussfaktoren berücksichtigt werden und die Messergebnisse der Oberfläche im Zusammenhang mit dem optischen Befund gedeutet werden.

Aus den dargestellten Experimenten und ihren Messungen ergibt sich folgendes Bild zur analytischen Beurteilung von Silberlötungen (Abb. 15) im Vergleich zum oben dargestellten Schema mit Goldlötungen (vgl. Abb. 13).

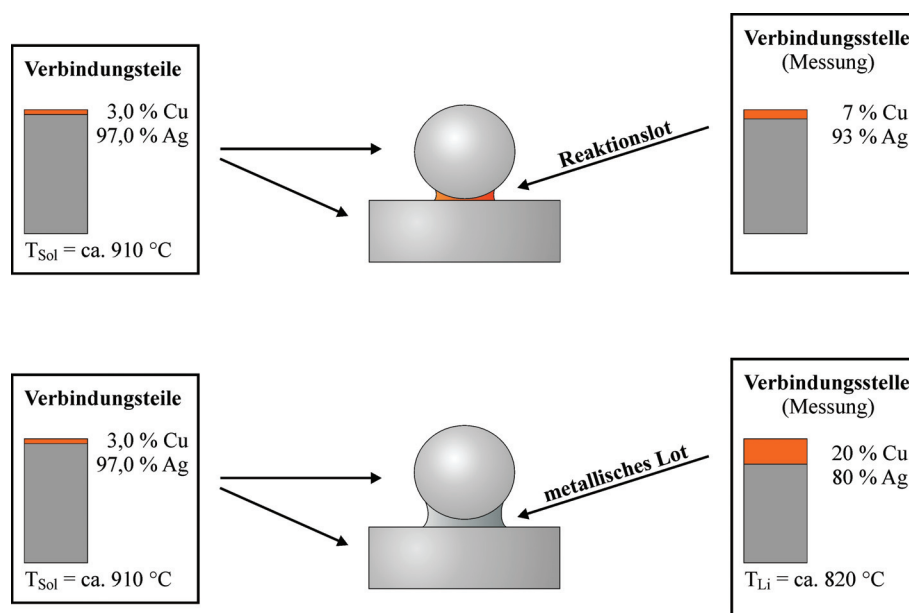


Abb. 15: Schema der Unterschiede in der Zusammensetzung von Silberlegierungen an Nahtstellen mit Reaktionslot und metallischem Lot am Beispiel der Granulation (T_{Sol} = Solidustemperatur; T_{Li} = Liquidustemperatur).

Wenn auch im Vergleich zu Gold bei reinen Silber-Kupferlegierungen keine Verhältnisse ablesbar sind, muss bei Benutzung eines Silberlotes der Kupfergehalt deutlich stärker steigen als dies bei einem Reaktionslot der Fall wäre. Besonders bei Silberlegierungen mit höheren Kupfergehalten als hier dargestellt, ist die Eigenschaft zu korrodieren jedoch groß, weshalb die Nachweisbarkeit mittels zerstörungsfreier Analysen stark eingeschränkt sein kann.

Erst die Analyse eines Querschliffs könnte Unterschiede in der Verteilung entlang des Schnittes aufzeigen, da sich der Kupfergehalt in einer Lotlegierung im Vergleich zum Reaktionslot auch über einen längeren Abschnitt nicht ändern würde.

In der vorliegenden Arbeit konnten vereinzelte Nahtstellen an untersuchten Funden analysiert werden, aus naheliegenden Gründen waren jedoch lediglich Oberflächenmessungen möglich (siehe Kap. 2.3). Diese Analysen lassen keine sicheren Rückschlüsse auf das verwendete Originallot zu, da Oberflächenveränderungen - sei es durch Oberflächenanreicherungen, Korrosion oder durch altrestauratorische Maßnahmen - die originale Zusammensetzung der Legierungen verändern können und zudem die bei allen thermischen Verbindungstechniken stattgefundenen Diffusionen mitgemessen werden. Deshalb wurden die Messungen nur an ausreichend großen Verbindungsbereichen durchgeführt, wodurch sich zumindest Hinweise auf die verwendeten Verbindungstechniken ergaben. Deren Interpretation soll zusammen mit der Besprechung der Funde in Kap. 5 erörtert werden. An dieser Stelle soll lediglich erwähnt werden, dass - zumindest für die Kaiserzeit - sowohl Reaktionslötungen als auch mit metallischen Loten gelötete Verbindungen postuliert werden können. Es wurden aber keine reinen Silber-Kupfer-Lotlegierungen festgestellt, zumal besonders die provinzialrömischen Silberfunde immer auch andere Bestandteile aufweisen.

4.3.3 Schweißen

Eine andere Methode, um Konstruktions- oder Zierteile miteinander zu verbinden, ist das Schweißen. Im Feinschmiedehandwerk versteht man unter Schweißen das thermische Verbinden von Metallen ohne oder mit Schweißwerkstoff, wobei die Verbundteile im Gegensatz zum Löten nicht in festem Zustand bleiben, sondern im Bereich der Kontaktzone anschmelzen. Das Schweißen beruht wie alle anderen thermischen Verbindungstechniken auf Diffusionsvorgängen, hat jedoch im Gegensatz zu diesen immer eine Formveränderung der Verbundteile zur Folge.

Das dagegen in der Eisentechnik angewandte Schweißen, das Hämmern von glühenden Eisenteilen zum Zwecke der Verbindung, ist kein Verfahren für Edel- und Buntmetalle. Das Schweißen von Eisen beruht auf den spezifischen Materialeigenschaften dieses Metalls, sich durch die oxidarme, klebrige Oberfläche in weißglühendem Zustand mit Hammerschlägen verbinden zu lassen. In glühendem Zustand sind die meisten Edel- und Buntmetalllegierungen dagegen sehr spröde und können so nicht bearbeitet werden, ohne dass Risse entstünden. An

Werkstücken aus Edel- und Buntmetalllegierungen können geschweißte Verbindungen lediglich überschmiedet und in ihrer Form korrigiert werden.

Das Schweißen kann entweder mithilfe eines Schweißgutes, das einen gleichen oder ähnlich hohen Schmelzbereich wie die Verbundlegierungen hat, durchgeführt werden, wobei die zu verbindenden Teile im Bereich der Schweißstelle anschmelzen. Ferner ist ein Schweißen ohne Zufügung von Schweißgut möglich, das sogenannte Schmelzschweißen. Dabei werden überlappende Verbundteile an den Kontaktstellen erhitzt, so dass sie in diesen Bereichen schmelzflüssig werden und sich miteinander verbinden.

Eine Schweißverbindung hinterlässt optisch das Erscheinungsbild einer angeschmolzenen Oberfläche. Bei Anwendung der Schweißtechnik bleiben daher meist gut sichtbare angeschmolzene Bereiche oder regelrechte Schweißperlen an dünnen Drahtobjekten zurück. Ob jedoch ein Schweißgut hinzugefügt wurde, ist nur über eine Analyse der Legierungen feststellbar, wenn Verbundteile und Schweißgut leicht abweichende Zusammensetzung aufweisen.

Handelt es sich um die Verbindung zweier überlappenden Enden einer Drahtöse oder einer Ringschiene, ist das Schmelzschweißen sicher eine häufiger in der Antike angewandte Verbindungstechnik. An den untersuchten Funden konnte das Schmelzschweißen überlappenden Drahtenden vor allem an Drahtösen sowohl für Kettenglieder der vorrömischen Eisenzeit als auch der römischen Kaiserzeit beobachtet und analysiert werden (siehe Kap. 5.4.2.3).

Da dieses Verfahren jedoch eine äußerst präzise Temperaturführung erfordert, ist es nur schwerlich als antike Methode zum Aufbringen feiner Zierelemente - ohne dass die übrigen Bereiche anschmelzen würden - anzusprechen.

Weitere Verbindungstechniken, welche in der einschlägigen Fachliteratur in Anlehnung an moderne Industrieverfahren in Erwägung gezogen werden, sind das Sintern und das Kaltschweißen. Deren Anwendung zur Verbindung von Konstruktions- oder Zerteilen in vor- und frühgeschichtlichen Zeiten ist jedoch umstritten.

Beim Sintern verbinden sich die Verbundteile knapp unterhalb ihrer Schmelztemperatur ohne Zugabe eines Lötgutes allein aufgrund von Diffusionsvorgängen, wobei die Verbindung im Gegensatz zum Schweißen ohne Formveränderung nur an den Berührungsstellen der Einzelteile stattfindet. Daher wird das Verfahren auch als Diffusionsbindung bezeichnet. Es wurde beispielsweise zur Vergoldung - besonders von Silber - angewandt, indem Blattgold oder Goldfolien mithilfe von Temperatur und Druck mit dem Untergrund eine Diffusionsbindung eingehen (siehe Kap. 4.4.6). Als Methode zum Fügen zweier Konstruktionsteile oder auch als metallisches Bindeverfahren zur Granulation ist seine Durchführbarkeit unter antiken Bedingungen nur schwer vorstellbar, da es in diesem Fall eine äußerst präzise Temperaturkontrolle voraussetzt (siehe Kap. 4.4.5).

Das sogenannte Kaltschweißen wird definiert als das allein unter Druck und Reibung bei Raumtemperaturen stattfindende Verschweißen von zwei Metalloberflächen, wobei keine nennenswerte Diffusion stattfindet (Echt u. Thiele 1994, 21; Hammer u. Voß 1998b, 322). Diese im Zusammenhang mit dem Verbinden zweier Bleche oder einer Folie mit einem Blech genannte Technik kann jedoch nur bei absolut ebener Oberfläche der zu fügenden Teile und unter extremer Druckanwendung oder Reibekraft funktionieren, da allein über die Kontaktflächen eine feste Vereinigung stattfinden kann. Wie bereits praktische Versuche von P. F. Davidson (Hoffmann u. Davidson 1965, 45) zeigten, lässt sich dies selbst bei Folien nur schwer ohne mechanische bzw. maschinelle Vorrichtung durchführen. Sobald jedoch eine Hitzezufuhr hinzukommt, wird man sich per definitionem wieder im Bereich des Sinterns bewegen. Noch weniger ist diese Art der Verbindung ohne eine vorausgehende thermische oder mechanische Verbindung für das Fügen von Drahtenden oder Blechkanten vorstellbar, wie es gelegentlich zur Interpretation von Nahtstellen an Hohlblecharmringen in Erwägung gezogen wurde (z. B. Echt u. Thiele 1994, 55 f.). Mechanische oder thermische Verbindungen müssen in solchen Fällen einem Überschmieden dieser Bereiche vorausgegangen sein, wie es auch an anderer Stelle bei R. Echt und W.-R. Thiele (ebd. 82) für einen Armring aus Reinheim beschrieben wurde, bei welchem die angenommene Kaltverschweißung im Bereich einer ineinandergreifenden "Steckverbindung" liegt. Damit stellt also das sogenannte Kaltschweißen nicht die eigentliche Verbindungstechnik dar. Es war lediglich als Verfahren für die Verbindung von Blattgolddaufrägen möglich. Eine kalte Verbindung von dickeren Folien oder dünnen Blechen wird dagegen durch die Verformung des unteren Blechs verhindert (Hoffmann u. Davidson 1965, 45; Jüngst 1981, 81). Sobald es sich um stärkere Metallteile handelt, ist daher ein Verschweißen allein durch das Kalthämmern nicht in Betracht zu ziehen.

4.3.4 Forschungsstand zu den thermischen Verbindungstechniken in der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit

Studien an Goldschmuck und Silbergefäßen verweisen auf den Gebrauch diverser thermischer Verbindungstechniken an Feinschmiedearbeiten der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit. Um später die an den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Funden angewandten Techniken einzureihen, sollen die Analyseergebnisse - von vorwiegend latènezeitlichem Goldschmuck und römischem Tafelsilber - im Folgenden in einem Überblick vorgestellt werden.

Besonders der keltische Goldschmuck stand im Mittelpunkt detaillierter herstellungstechnischer Untersuchungen. Nach R. Echt und W.-R. Thiele (1995, 437) waren das Hartlöten, das Reaktionslöten sowie das Sintern bereits in der Bronzezeit des Nahen Ostens gängige Verbindungstechniken. In der frühen Eisenzeit wurden diese Techniken - ausgehend von Kontakten zur phönizischen Kultur - vor allem im griechischen, etruskischen und iberischen Kulturraum übernommen. Das Reaktionslöten war im 7. und 6. Jh. v. Chr. in Etrurien die Standardtechnik vor allem für Granulationsarbeiten (ebd.). Daneben sollen jedoch

auch Hinweise auf Sintervorgänge vorliegen, die unter anderem durch das Fehlen jeglichen Kupfers in Nahtstellen von Granulationsarbeiten an etruskischen Fibeln aus Comeana und Vetulonia angezeigt würden (ebd. 440; siehe Kap. 4.4.5).

Nördlich der Alpen wurden die ältesten einheimischen gelöteten Fundobjekte aus Gold in Burgund gefunden. Das Reaktionslöten konnte an Fibelfragmenten von Apremont (Ha D1) sowie an goldenen Ohr- und Armringen aus Butte Sainte Colombe (Ha D2) festgestellt werden. Beide Gräber enthielten in ihrem Inventar auch aus dem Süden importierte Funde, aber der Goldschmuck wird als einheimisch angesehen (Echt u. Thiele 1995, 440). Der schwere Goldhalsring aus dem Grab von Vix (Ha D3) gilt als ältestes Objekt, an dem verschiedene Hartlöttechniken festgestellt werden konnten. Während höhere Kupferkonzentrationen in einzelnen Fugen an diesem weiterhin auf ein Reaktionslöten hinweisen, werden höhere Kupfer- und Silberkonzentrationen an anderen Verbindungsstellen als Hinweis auf ein Gold-Silber-Kupfer-Hartlot gedeutet (ebd.; Eluère u. a. 1989, 22).

Für die frühe Latènezeit konnte anhand detaillierter Untersuchungen des mittelhessischen Goldschmucks - mithilfe der Rasterelektronenmikroskopie und materialanalytischer Messungen mit der Mikrosonde - von R. Echt u. W.-R. Thiele (1994) die Verwendung unterschiedlicher Verbindungstechniken festgestellt werden. Eine einheimische Anwendung des Hartlötens mit einem Gold-Silber-Kupfer-Zinklot, nicht nur an späthallstattzeitlichen Ringen aus Wallerfangen (ebd. 33 ff.), sondern auch an frühlatènezeitlichen Exemplaren aus Worms-Herrsheim (ebd. 49 ff.), wird von den Autoren (ebd. 121; 1995, 442) als eine Experimentierphase für das Hartlöten interpretiert²⁴.

An anderen Schmuckfunden aus dem Rheinland, wie beispielsweise an einem Armring aus Rodenbach, konnte sowohl das Reaktionslöten, durch höhere Kupferkonzentrationen an den Verbindungsstellen, als auch das Hartlöten mit einem Gold-Silber-Kupferlot, durch höhere Konzentrationen von Silber und Kupfer, als Verbindungstechnik beobachtet werden (Echt u. Thiele 1994, 65 ff.). Darüber hinaus ließ eine poröse, körnige Zone bei keinerlei feststellbarer Veränderung in der Materialzusammensetzung an Verbindungsstellen des Armrings aus Rodenbach oder des Torques aus Reinheim die Anwendung der Schweißtechnik annehmen (ebd. 66; 78 f.). Die Schweißtechnik ist ab der frühen Latènezeit auch bei der Herstellung von Fingerringen angewandt worden (Echt u. Thiele 1995, 445). Nach R. Echt und W. R. Thiele (1994, 42) ist das Schmelzschweißen überlappender Enden eines Drahtes mit anschließendem Überhämmern der Fügezone in der Latènezeit eine durchaus praktizierte Technik der Verbindung an Goldschmuck, beispielsweise an einem frühlatènezeitlichen Fingerring aus Weiskirchen.

²⁴ R. Echt und W. R. Thiele (1994, 33 ff.) führen das Zink auf das verwendete Kupfererz zurück. So könnte zinkhaltiger Malachit zum Löten benutzt worden sein, welcher auf ein Reaktionslöten deuten würde. Da jedoch auch die Silbergehalte in den Lotstellen deutlich steigen, wird eine Mischung aus Reaktionslöten und Hartlöten mit metallischem Lot angenommen. Sofern moderne Reparaturarbeiten an den Funden auszuschließen sind, ist der Zinkgehalt also eher auf ein zufälliges Begleitelement zurückzuführen als auf eine bewusste schmelzpunktsenkende Zugabe. Eventuell liegen hier aber auch Anzeichen für das oben erwähnte Reaktionslöten unter Zugabe von Metallstückchen anderer Zusammensetzung als der des Grundwerkstoffes vor.

Das Auftreten von Lötungen mit Reaktionslot bereits an den ältesten keltischen Goldfunden ist laut R. Echt und W.-R. Thiele (1995, 450) ein Hinweis darauf, dass die für die obere Gesellschaftsschicht - mit ihrer Vorliebe für Luxusartikel aus dem griechischen und etruskischen Raum - produzierenden Goldschmiede diese Technik vor allem aus Etrurien übernahmen. Die Autoren schließen auf einen Technologietransfer des Reaktionslötens von den Etruskern im 6. Jh. v. Chr. und eine darauffolgende eigenständige Weiterentwicklung der Techniken des Hartlötens mit Lotlegierungen und des Schweißens, wobei Letzteres möglicherweise auf erneute Kontakte nach Italien zurückzuführen ist.

Wenn auch einzelne Nachweise nicht immer einleuchten (siehe Kap. 4.4.5), liegen mit diesen Studien dennoch einige überzeugende Belege für die Verwendung von Reaktionsloten und des Schweißens, möglicherweise auch metallischen Hartloten²⁵, an keltischen Goldfunden der Frühlatènezeit vor.

Die Untersuchungen beschränken sich jedoch auf "Meisterwerke der keltischen Goldschmiedekunst", die als prestigeträchtige Wertgegenstände ein sichtbares Zeichen des Wohlstands und Reichtums einer keltischen Oberschicht darstellten. Ihre Herstellung ist sicher im direkten Bereich der Wohlhabenden der keltischen Gesellschaft anzusiedeln und ist ohne den Einfluss aus dem mediterranen Raum nicht denkbar, eine Tatsache, welche sich daneben auch durch die stilistische Beeinflussung (z. B. Waldalgesheim-Stil) bemerkbar macht. Diese Techniken müssen damit nicht zum allgemeinen technischen Repertoire der Feinschmiede der Frühlatènezeit gehört haben.

Gleiches gilt für die mit der RFA-Methode erzielten Ergebnisse zu den Füge-Techniken an den Ringen aus Erstfeld im Schweizer Kanton Uri (Guggisberg 2000, 73ff.). An ihnen durchgeführte Analysen lieferten Rückschlüsse sowohl auf die Verwendung des Schweißens (ebd. 81), als auch des Hartlötens mit Reaktionslot (ebd. 82 ff.). Die anzunehmenden Reaktionslötungen zeichnen sich durch gegenüber dem Grundwerkstoff etwa auf das Doppelte bis Dreifache erhöhte Kupfergehalte in den Verbindungsstellen aus, bei lediglich geringfügigen Veränderungen des Silbergehalts. Wie auch die REM-Aufnahmen deutlich zeigen, muss dem Reaktionslot mindestens in einem Fall materialüberbrückendes Metall hinzugefügt worden sein (ebd. 82, Abb. 93). Dieses zeigt jedoch keine signifikanten Veränderungen in den Messungen der Nahtstelle, wie man sie bei Verwendung einer metallischen Lotlegierung erwarten würde, so dass weiterhin von einem Reaktionslot auszugehen ist. An keiner Stelle liegen mit den Messungen an den Ringen von Erstfeld Hinweise auf die Anwendung von metallischem Hartlot vor.

Zu vergleichbaren Erkenntnissen kamen auch die jüngst an zwei frühlatènezeitlichen Goldarmringen aus Mannersdorf in Niederösterreich durchgeführten EDX-Analysen (Bühler u. a. 2008). Mit einem mehr als dreifach erhöhten Kupfergehalt bei gleichzeitig

²⁵ Ob die erhöhten Silber- und Kupfergehalte der Lötstellen, die als Au-Ag-Cu-Hartlotlegierung interpretiert wurden, auf ein metallisches Hartlot oder auf ein Reaktionslot mit hinzugefügtem Silber zurückzuführen sind, muss meines Erachtens mangels vergleichbarer Analysen von solcherart experimentell hergestellten Lötungen dahingestellt bleiben.

unwesentlicher Veränderung des Silbergehalts an einer zerbrochenen Lötstelle konnte für einen der beiden Armringe der Nachweis erbracht werden, dass das Reaktionslötverfahren angewandt wurde (ebd. 114f.). Auch an dem zweiten analysierten Armring fanden sich mit einem etwa auf das Drei- bis Fünffache erhöhten Kupfergehalt an den Oberflächen der Lötstellen entsprechende Anhaltspunkte für den Einsatz dieses Lötverfahrens (ebd. 118).

Aufgrund der bislang geringen Anzahl herstellungstechnischer Untersuchungen von römischem Goldschmuck stehen nur wenige vergleichbare Hinweise zu den angewandten thermischen Bindeverfahren der kaiserzeitlichen Goldschmiedearbeiten zur Verfügung.

Die technischen Erläuterungen von B. Deppert-Lippitz (1985) in ihren Studien zum römischen Goldschmuck enthalten nur eine allgemeine Aussage, dass allein das Reaktionslötverfahren zum Einsatz kam (ebd. 6). Der von ihr vorgelegte Katalog verweist zwar auf das Vorhandensein zahlreicher Lötungen, allerdings ohne genauere Beschreibungen zu den entsprechenden Stellen.

Analytische Untersuchungen mit der PIXE-Methode an Goldschmuckfunden aus dem Depotfund der zweiten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. von Eauze in Südfrankreich deuten auf die Verwendung eines mineralischen Lötgutes zum Löten von Legierungen mit hohen Goldgehalten. Gegenüber den Verbundteilen erhöhte Kupfergehalte bei etwa gleichbleibenden Silbergehalten in den Lotstellen (Beck u. Barrandon 1993, 75), verweisen hier auf den Einsatz eines Reaktionslotes, um Konstruktionsteile an Ohrringen und Kettenverschlüssen miteinander zu verbinden.

Ferner führten jüngst an den Goldfunden des um die Mitte des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfundes von Obfelden-Lunnern in der Nordschweiz durchgeführte optische Untersuchungen zu der Annahme, dass zur Konstruktion und zur Befestigung der Dekorelemente (Filigrandrähte und Granalien) vorwiegend das Reaktionslötverfahren zum Einsatz kam (Voûte u. a. 2008, 322). Darüber hinaus ergaben einzelne Analysen von Lotstellen, wie an einem Kettenverschluss, dass es sich aufgrund des konstant bleibenden Verhältnisses von Silber und Gold um Reaktionslot handeln muss (ebd.).

Leicht erhöhte Kupfergehalte in lediglich punktuell sichtbaren Verbindungsstellen an diversen spätrömischen Goldschmuckfunden aus New Grange in Irland deuten ebenfalls auf ein Reaktionslot zum Auflöten von Granalien und Filigrandrähten (Lang u. Hughes 1991, 172f.).

Optische Untersuchungen an spätantiken Goldschmuckfunden aus dem Thetford-Treasure in Großbritannien ergaben ausschließlich das Erscheinungsbild von Reaktionslötungen, d. h. kaum sichtbare Nahtstellen und keine materialüberbrückenden Fugen (Johns u. Potter 1983, 65), Materialanalysen an Lotstellen wurden jedoch keine vorgenommen.

Die äußerst geringe Anzahl an analytischen Studien römischen Goldschmucks lassen kein verallgemeinerndes Bild zu den verwendeten Löttechniken zu. In den antiken Schriftquellen finden sich Schilderungen zum Löten von Goldlegierungen mit Reaktionslot, auch unter Zusatz von Gold und Silber, bei Plinius d. Ä. (Plin. nat. 33,93) im 1. Jh. n. Chr., aber in dem sogenannten Papyrus Graecus Leidensis Anfang des 4. Jhs. n. Chr. bereits auch metallisches

Goldlot. In dem Leidener Papyrus werden zwei Rezepte zum Löten von Gold aufgeführt. Die eine Mischung wird als Chrysocola bezeichnet und soll aus 4 Teilen Kupfer, 2 Teilen "Asem"²⁶ und 1 Teil Gold, die andere aus 2 Teilen Gold und 1 Teil Kupfer sowie eventuell etwas Silber, bestanden haben (Hunt 1976, 28; Wolters 1997b, 196). Während bei der ersten Zusammensetzung unklar ist, um was es sich tatsächlich handelt (Weichlot?), weist die letztere Legierung eine Schmelztemperatur auf, die dem Temperaturminimum innerhalb des Au-Cu-Systems sehr nahe kommt, sich also gut zum Löten aller hochwertigen Goldlegierungen eignet. Spätestens ab dieser Zeit könnte man also von dem Wissen um Goldlotlegierungen ausgehen.

An Silberobjekten der vorrömischen Eisenzeit gibt es anhand bisher publizierter Untersuchungsergebnisse nur vereinzelte Hinweise auf die angewandten Verbindungstechniken. Dabei sind vor allem die Funde des Trichtinger Silberrings aus Baden-Württemberg und des Gundestrup-Kessels aus Dänemark hervorzuheben. An beiden singulären Objekten, deren Herkunft und genauere Datierung allerdings umstritten sind, wurden detaillierte Untersuchungen zusammen mit Metallanalysen vorgenommen.

Bei dem Ring aus Trichtingen (4. - 2. Jh. v. Chr.) wurden mechanische Verbindungstechniken verwendet, um eine Blechummantelung aus einer hochwertigen Silberlegierung auf einem Eisenkern zu befestigen (Eichhorn 1987, 215) sowie um die separat hohl gegossenen Stierköpfe mit dem Ringkörper zu verbinden (ebd. 217). Die Ränder der Blechummantelung wurden überlappend aufeinandergeschmiedet, wobei in diesen Bereichen das nachfolgende Ziselieren und Punzieren beide Blechlagen miteinander verzahnt hat. Der Überfangguss (siehe Kap. 4.2.1) zweier Manschetten mit Torques diente der Stabilisierung und Kaschierung der Übergänge zwischen den Stierkopfen und dem Ringkörper (ebd. 222). An keiner Stelle wurde eine Lötung festgestellt.

Der sicher später zu datierende Gundestrup-Kessel (1. Jh. v. - 1. Jh. n. Chr.)²⁷ weist dagegen andere Verbindungen auf. Unlängst an diesem durchgeführte Analysen konnten bereits vermutete Zinnlötungen am oberen Rand mehrerer Silberbleche und zur Befestigung von Glasaugen bestätigen (Nielsen u. a. 2005, 28). Die mit reinem Zinn nicht sehr sorgfältig ausgeführten Lötungen werden auf die Unerfahrenheit der Silberschmiede im Umgang mit der für diese Zeit neuen Löttechnik zurückgeführt, da andere um die Jahrtausendwende datierende Kessel mit einem verstärkenden Eisenring am Rand dagegen ohne ein Lot vernietet wurden (ebd. 14).

Während es für die vorrömischen Zeitstufen ansonsten nur an Buntmetallobjekten Hinweise auf die Verwendung von Zinn und Blei zum Löten gibt (Lang u. Hughes 1984, 78; Northover u. Salter 1990, 120), zeigen Analysen an provinzialrömischen Silberfunden, vor allem Tafelgeschirr, dass Zinn und Zinnlegierungen in der Kaiserzeit im Zusammenhang mit Lötungen von Silber nicht außergewöhnlich sind.

²⁶ "Asem" wurde interpretiert als jegliche weißfarbige Legierung aus unedlen Metallen (Hunt 1976, 27).

²⁷ Siehe zur weiterhin umstrittenen Datierung bei Nielsen u. a. 2005, 53 f.

Das Verfahren des Weichlötens ist bei den Römern sowohl in antiken Schriftquellen erwähnt als auch an Funden über Metallanalysen nachgewiesen. Zum Löten von Wasserrohren nennt Plinius d. Ä. (nat. 34, 160) ein Zinn-Blei-Lot bestehend aus zwei Teilen Blei (= *plumbum nigrum*) und einem Teil Zinn (= *plumbum album*)²⁸.

Während Plinius in einer Aufzählung von Lötmitteln und Loten für das Löten mit Gold die *santerna* nennt, führt er dagegen für das Löten von Silber *stagnum* auf (Plinius nat. 33,94), dessen Zusammensetzung unterschiedlich gedeutet wird. In der verwendeten Ausgabe von R. König u. G. Winkler wird *stagnum* mit "Werkblei", einer Mischung aus Silber und Blei, übersetzt, von den Autoren der Projektgruppe Plinius (Gold 1993, 54 Anm. 162) wird es dagegen in diesem Zusammenhang als Zinn gedeutet. Auch J. Lang und M. J. Hughes (1984, 79 ff.), die sich intensiv mit der Verwendung von Zinn zum Löten auseinander setzten, verweisen auf die mögliche Interpretation von *stagnum* als Zinn oder als eine Zinnlegierung mit Silber oder Blei. Plinius verwendet in unterschiedlichen Kontexten zwei Wörter für Zinn aus verschiedenen Quellen, *stagnum* und *plumbum album*. Nur in einem einzigen Fall, bei Erwähnung der Gewinnung von Blei und Silber, wird er mit *stagnum* tatsächlich das Werkblei gemeint haben (Projektgruppe Plinius Gold 1993, 54 Anm. 162; Projektgruppe Plinius Blei und Zinn 1989, 35 Anm. 26). Metallanalysen an Silbergeschirr scheinen sowohl eine Verwendung von Blei als auch von Zinn zu bestätigen, das Zinn dürfte jedoch die größte Bedeutung zum Löten von Fugen an Silbergefäßen gehabt haben.

Diverse Analysen von Legierungen an Nahtstellen römischer Silbergefäße ergaben, dass Lotlegierungen unterschiedlicher Zusammensetzung verwendet wurden.

So konnten sowohl Hinweise auf Hartlot- als auch auf Weichlotverbindungen an verschiedenen aus hochwertigen Silberlegierungen (durchschnittlich 96 - 98 % Ag) bestehenden Gefäßen aus dem frühkaiserzeitlichen Tafelgeschirr von Hildesheim festgestellt werden (Lang 1997a, 154 f.; 160 f.)²⁹. Als Hartlote werden diverse Legierungen aus Silber mit erhöhtem Kupfergehalt (von ca. 0,5 auf ca. 5 % Cu), aber auch Silber mit sowohl erhöhtem Kupfergehalt (von ca. 0,7 auf 1,4 %) als auch erhöhten Blei- (von 0,5 auf 2,2 %) und Zinngehalten (bis auf 1,9 %) angesprochen. Das gleichzeitige Vorhandensein unterschiedlicher Legierungen zum Verlöten einzelner Zierteile an einem Gefäßhenkel (Nr. 18) wird als Hinweis darauf gesehen, dass die Abstufung der Legierungen mit unterschiedlichen Schmelzbereichen bewusst eingesetzt wurde, um nacheinander Lötungen vorzunehmen, ohne vorangegangene Lotstellen zu beeinträchtigen (ebd. 160; Niemeyer 2007, 131). Aus den publizierten Messergebnissen allein werden außer den von 0,5 auf ca. 3 - 6 % erhöhten Kupfergehalten jedoch keine nennenswerten Unterschiede in der Zusammensetzung an den unterschiedlichen Lotstellen ersichtlich, so dass man hier wohl vielmehr von einem Reaktionslot zum Verlöten der einzelnen Zierelemente auf diesem Henkel ausgehen sollte. Die Bestimmung der originalen

²⁸ Das in der Kaiserzeit zum Schließen der Fugen von Bleirohren neben Weichloten verwendete "flüssige Blei", bezeichnet dagegen einen Schweißvorgang.

²⁹ Die Analysen an den Hildesheimer Gefäßen wurden mithilfe der RFA-Methode und EDX-Analysen im REM durchgeführt.

Lotzusammensetzung anhand zerstörungsfreier Analysen wurde von J. Lang zurecht als problematisch angesehen, da die Lotstellen nicht immer ausreichend zugänglich gewesen seien und Korrosionserscheinungen das Bild verändert haben könnten. Die daher als semi-quantitativ bezeichneten Messergebnisse wurden aus diesem Grund nicht detaillierter diskutiert, aber selbst unter Berücksichtigung möglicher störender Einflussfaktoren liegen meines Erachtens keine sicheren Hinweise auf die Verwendung von metallischem Hartlot vor. Das von J. Lang und von B. Niemeyer angenommene sequenzierte Löten entspringt unserem modernen Wissen normierter Lotlegierungen und ihrer Schmelzbereiche, lässt sich jedoch aus den veröffentlichten Daten nicht entnehmen³⁰. Weitere Lotlegierungen an dem Silbergeschirr aus Hildesheim bestehen dagegen aus Weichlot mit 90 % Sn, 5 % Cu und 3 % Pb oder mit 62 % Sn und 38 % Pb. Ein anderes Lot wiederum setzt sich aus Silber mit 50 % Sn, 16 % Pb und 10 % Cu zusammen (Lang 1997a, 161).

Bedauerlicherweise wurden im Zuge jüngster Untersuchungen an dem Hildesheimer Schatzfund (Niemeyer 2007) keine erneuten Metallanalysen an weiteren sichtbaren Lotstellen durchgeführt, da die optischen Erscheinungen als ausreichend empfunden wurden, um das verwendete Lot zu charakterisieren. Die silberne Farbe, die blasige Struktur und die Haltbarkeit der Lötung während der Bodenlagerung sprechen nach B. Niemeyer (ebd. 131) eindeutig für Hartlötungen. Ob diese Hartlötungen auf eine metallische Lotlegierung - und in diesem Fall in welcher Zusammensetzung - oder auf mineralisches Lötgut zurückzuführen sind, bleibt damit offen.

An einem gallischen Silbergefäß des 1. Jhs. n. Chr. aus Ambrussum in Frankreich konnte zur Verbindung eines Henkels eine Silberlegierung mit 96,4 % Ag, 0,44 % Cu und 3,1 % Sn festgestellt werden (Feugère 1988, 60). Diese weist gegenüber dem Grundwerkstoff des Gefäßkörpers mit 98,6 % Ag, 0,5 % Cu, 0,2 % Au und 0,6 % Pb einen nur wenig niedrigeren Schmelzbereich auf, die schmelzpunktsenkende Wirkung des zugesetzten Zinns legt ein Schweißgut nahe.

Auch Studien an mehreren römischen Silbergefäßen des 2. bis 4. Jhs. n. Chr. aus Großbritannien, Frankreich und Rom weisen eine ganze Reihe unterschiedlicher Lotverbindungen auf, welche teilweise an ein und demselben Objekt gemeinsam vorkommen (Lang u. Hughes 1984; 1988; 1991). Diesen Analysen zufolge wurden als Hartlote in wenigen Fällen sowohl Silberlegierungen mit einem um ca. 5 % lediglich leicht erhöhten Kupfergehalt eingesetzt als auch Silber mit ca. 20 % Sn (Lang u. Hughes 1988, 29). Weitere an den Lotstellen gemessene Silber-Zinn-Legierungen mit deutlich höheren Zinngehalten, wie Silber mit 49 % Sn, 2,5 % Cu und 2 % Pb oder mit 80 % Sn bzw. mit 60 % Sn und 25 % Pb oder 60 % Sn und 40 % Pb, deuten wieder auf die Verwendung von Weichloten diverser Zusammensetzung (Lang u. Hughes 1984, 86; 1988, 29 f.). Hinweise auf Reaktionslot konnten nicht gefunden werden (Lang u. Hughes 1988, 27), wobei den publizierten Daten nicht zu

³⁰ Für die antike Technik wäre ein solcher Vorgang in besonderem Maße erstaunlich und in Hinsicht auf den Umgang mit dem Material Silber äußerst bemerkenswert.

entnehmen ist, ob es sich bei den nur leicht erhöhten Kupfergehalten nicht doch um Reaktionslot handeln könnte. Die Verwendung einer metallischen Silber-Kupfer-Legierung mit einem deutlich erhöhten Kupfergehalt von ca. 20 - 30 %, deren Schmelzbereich innerhalb des Silber-Kupfer-Systems nahe am eutektischen Punkt liegt, wurde nur an zwei Gefäßen aus dem Esquilin-Schatz von Rom (4. Jh. n. Chr.) und an einem Stück unbekannter Herkunft (2. - 3. Jh. n. Chr.) nachgewiesen (Lang u. Hughes 1984, 86 f.; 1988, 29 f.), ein regelhafter Einsatz ist damit nicht impliziert³¹. Den an diesen Stellen zusätzlich gemessenen Gehalt von 2 - 3 % Zn führen die Autoren auf die Verwendung von Messing zur Herstellung des Silber-Kupfer-Hartlotes zurück. Weichlotlegierungen scheinen dagegen ähnlich wie an römischen Bronzegefäßen (Drescher 1959, 69) häufig zur Anwendung gekommen zu sein. Der in den angeführten Weichloten dominierende Zinngehalt zeigt jedoch, dass die zerstörerische Wirkung des Bleis auf das Gefüge der Silberlegierungen bekannt war und man daher das Zinn dem Blei vorzog.

Anders als bei den Silbergefäßen wurden an Silberschmuck bislang nur vereinzelte Lotanalysen durchgeführt. Dazu gehören wenige Schmuckstücke aus dem Depotfund von Snettisham in Britannien, an welchen sowohl Hartlot ("silver-solder") als auch Weichlot ("lead-tin") gefunden wurde (Pike u. Cowell 1997, 59). Bei dem Lot an einem Kettenzierverschluss soll es sich um "silver-solder" handeln, dessen Zusammensetzung jedoch nicht genannt wird, weshalb unklar bleibt, ob dieses als metallisches Lot oder als Reaktionslot gedeutet werden kann. An einigen Stellen der ebenfalls in Snettisham deponierten Silberblechreste konnten dagegen Blei-Zinnlegierungen als Reste von Weichlot nachgewiesen werden.

Zinn als Bestandteil des Lotes konnte darüber hinaus an einem Lunula-Anhänger aus Rainau-Buch in Baden-Württemberg festgestellt werden (Raub 1981, 531; siehe Kap. 5.5.2).

An einer silbernen Zierscheibe aus Bregenz jüngst durchgeführte Untersuchungen (Luik u. Blumer 2006) führten zu dem Ergebnis, dass zur Verbindung einzelner Konstruktions- und Zierelemente eine Löttechnik angewandt worden sein muss. Da mit Metallanalysen kein Lot nachweisbar war, wurde der Einsatz eines Reaktionslotes vermutet, wobei das Kupfer aus der Oberfläche der Legierung abgereichert worden sein muss (ebd. 64 f.; siehe Kap. 5.5.3).

Auch wenn bisher kaum ausreichende, vergleichbare Analysen zu den Verbindungstechniken an latènezeitlichen und provinzialrömischen Gold- und Silberobjekten vorliegen³², gewinnt man allein anhand der Durchsicht publizierter Ergebnisse den Eindruck, dass an Goldobjekten vorwiegend entweder geschweißt wurde oder Hartlötungen mit Reaktionslot, wohl vereinzelt auch mit metallischen Lotlegierungen, angewandt wurden. An Silberobjekten scheint dagegen

³¹ Im Vergleich zu den aus den westlichen Provinzen des römischen Reiches untersuchten Objekten verweisen Analysen an sassanidischen Silbergefäßen für den persischen Kulturraum, und dort auch erst ab dem 4. Jh. n. Chr., auf die Verwendung der auf Silber und Kupfer basierenden Hartlotlegierungen mit Kupfergehalten von ca. 20 - 30 %, um Konstruktionsteile aus Silberlegierungen mit ca. 5 - 8 % Cu zu verbinden (Lang u. Hughes 1991, 174).

³² Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass die Analysen an römischen Silbergeschirr nur schwer überprüfbar sind, da sowohl die genaue Position der Messpunkte als auch das Messergebnis des Basismaterials nur selten angegeben wurden.

hauptsächlich mit Zinn oder zinnhaltigen Legierungen gelötet worden zu sein, sowohl in Zusammensetzungen, die möglicherweise als Hartlot fungierten, als auch in Form von Weichlötungen. Beides verweist auf die besondere Bedeutung, die der optischen Erscheinung beigemessen wurde. Dass das Reaktionslöten an Silberobjekten nicht in einem Fall sicher nachgewiesen ist, mag vor allem an der schwierigen Messbarkeit liegen. Einige der veröffentlichten Daten könnten meines Erachtens in diese Richtung zu deuten sein. Die bislang publizierte Datenmenge, insbesondere von Schmuckobjekten aus Silber, ist jedoch zu gering, um allgemeinere Schlussfolgerungen zu ziehen.

Da eine Unterscheidung der angewandten Verbindungstechniken von besonderem technikgeschichtlichen Interesse ist, wurde ein Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf die Untersuchung der Verbindungstechniken gelegt, wobei die optischen Funduntersuchungen durch einzelne gezielte Metallanalysen unterstützt werden konnten.

Rückschlüsse auf die angewandten thermischen Verbindungstechniken können sowohl über die optische Sichtanalyse als auch über Metallanalysen gezogen werden. Angesichts der Tatsache, dass mit antiken Methoden eine nur wenig kontrollierbare Temperaturführung das Löten und Schweißen erschwerte, sind "Herstellungsfehler" nicht zu vermeiden gewesen, so dass optische Merkmale irreführend sein können. Wenn beispielsweise beim Reaktionslöten überhitzt wurde, kann das Erscheinungsbild der angeschmolzenen Oberfläche den heutigen Betrachter vorschnell zu der Interpretation führen, dass geschweißt wurde. Nur in Kombination mit Metallanalysen lassen sich die über die optische Betrachtung gewonnenen Deutungen stärker eingrenzen. Unter Berücksichtigung der verfälschenden Einflussfaktoren (siehe Kap. 2.3) sind auch mit lediglich an der Oberfläche vorgenommenen Messungen folgende Rückschlüsse möglich:

- Wenn keine Veränderung in der Materialzusammensetzung zwischen den Verbindungsteilen und der Nahtstelle feststellbar ist und wenn andere Verfahren, wie der Überfangguss oder der Guss des gesamten Zierelementes, aber auch Oberflächenanreicherungen ausgeschlossen werden können, liegt ein Schmelzschweißen vor.
- Wenn Oberflächenanreicherungen ausgeschlossen werden können und ein absinkender Kupfergehalt festgestellt wird, kann die Möglichkeit des Reaktionslötens ausgeschlossen werden.
- Wenn zugefügtes Material bzw. Veränderungen der einzelnen Legierungsbestandteile in der Verbindungsstelle feststellbar sind, können aufgrund der Anteile und ihrer Verhältnisse Berechnungen versucht werden, die Hinweise auf das zugefügte Löt- oder Schweißgut geben können.

Obwohl Tendenzen in der Anwendung der Verfahren anhand vergleichbarer publizierter Analysen erkennbar sind, ist die Anzahl der analysierten Verbindungsstellen an Silberfunden des hier behandelten Zeitraumes bislang zu gering, um allgemein gültige Aussagen zu den in der Herstellung von Silberschmuck eingesetzten thermischen Verbindungstechniken zu treffen.

Die Studien an Fundbeispielen im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen durch die Kombination von optischen Untersuchungen und ausgewählten Metallanalysen einen weiteren Beitrag zu dieser Thematik liefern.

4.4 Verzierende Techniken

Wenn das Werkstück seine gewünschte Form bekommen hat, sind anschließend verschiedene Verzierungsarbeiten möglich, die spezialisierte technische Kenntnisse erfordern. Im Folgenden sollen die unterschiedlichen Dekormöglichkeiten beschrieben werden, zunächst die mechanischen Verfahren und danach die Methoden, welche eine thermische Verbindung zur Grundlage haben.

4.4.1 Ziselieren, Punzieren und Gravieren

Um das Schmuckstück mit linearen oder plastischen Verzierungen sowie Mustern zu versehen, können unterschiedliche Feinbearbeitungstechniken eingesetzt werden.

Dazu gehört das Ziselieren, dessen Durchführung und die dazu notwendigen Werkzeuge und Hilfsmittel bereits unter der formgebenden Techniken (Kap. 4.2.2) beschrieben wurden. Das Ziselieren zur Gestaltung linearen Dekors wird vorwiegend mit den erwähnten Schrot-, Modellier- und Planierpunzen durchgeführt. Um die gewünschten Reliefierungen und Ornamentierungen zu erhalten, sind beim Ziselieren immer mehrere Punzeinschläge notwendig, wobei die Punze über den Hammer vorangeführt wird.

Beim Punzieren werden Muster und Ornamente mit Punzen unterschiedlicher Arbeitsflächen für verschiedene Formen eingeschlagen. Die dazu verwendeten Punzen werden deshalb auch als eine Art Zierstempel angesehen. Die gängigsten Formen sind noch heute Kugelpunzen mit einer halbkugeligen Arbeitsfläche, welche halbkugelförmige Vertiefungen im Gegenstand hinterlassen, Hohlpunzen mit einer halbkugelförmigen Vertiefung in der Arbeitsfläche, welche eine kreisförmiges Muster im Metall ergibt, und Musterpunzen, deren Arbeitsfläche so ausgearbeitet ist, dass bestimmte Muster in das Werkstück eingedrückt werden (Brepohl 2000, 426). Im Unterschied zum Ziselieren reicht jeweils ein Punzschlag aus, um das gewünschte Muster in der Oberfläche abzudrücken.

Während die Anwendung von Punzen einer spanlosen, lediglich materialverdrängenden Bearbeitung zuzuordnen sind, stellen das Verzieren mit einem Meißel und das Gravieren mit einem Stichel spanabhebende, schneidende Verzierungstechniken dar. Der Meißel wird dazu verwendet, um größere Reliefs herauszuarbeiten. Er wird in gleicher Weise wie die Punze mit dem Hammer geführt. Der Stichel, ebenso wie der Meißel ein Werkzeug mit keilförmiger, schneidender Arbeitskante zum Gravieren feiner Linien, wird dagegen nur mit der Hand schräg in das Metall eingedrückt und vorwärts bewegt. Die gravierte Linie entsteht durch das Vorwärts- und Herausschieben des Spans (Brepohl 2000, 417). Zum Gravieren muss das Werkstück nicht aufgekittet werden, ein Holzstück als Unterlage reicht aus. Steht dem

Spezialisten heutzutage eine sogenannte Gravierkugel zur Verfügung, verweist eine einfache Vorrichtung der Tuareg in Nordafrika in den 1960er Jahren auf diese Möglichkeit. Bei der Verzierung von Agadeskreuzen wurde der zuvor gegossene Anhänger gegen eine Einkerbung im Holz gedrückt, so dass er beim Ziselieren nicht abrutschen konnte (Gardi 1969, 58 Abb. 38).

Eine Sonderform des Gravierens ist das sogenannte Tremblieren. Dabei wird mit einem Stichel eine Zick-Zack-Linie in das Metall graviert, die in der archäologischen Fachliteratur unter dem Begriff Tremolierstich bekannt ist. Durch ruckartige Handbewegungen wird der Stichel von einer Seite zur anderen geschwungen und gleichzeitig mit entsprechendem Druck vorwärts getrieben. Abhängig von der Schnelligkeit und dem ausgeübten Druck entsteht eine engeres oder weiteres Zick-Zack-Muster (Streubel 1959, 111f.; Braun-Feldweg 1968, 178). An den im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Funden konnte diese Art der Verzierung an zwei versilberten Bronzefibeln aus dem provinzialrömischen Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,9.10; Taf. 117,4) beobachtet werden.

Die Technik wurde - wie das Gravieren überhaupt - ab der vorrömischen Eisenzeit vor allem an Buntmetallobjekten eingesetzt, an Edelmetallschmuck scheint sie, vermutlich aufgrund der Materialersparnis, seltener angewandt worden zu sein. Den Untersuchungen von R. Echt u. W.-R. Thiele (1994, 116) zufolge weisen nur wenige der frühlatènezeitlichen mittelhessischen Goldfunde Spuren eines Graviervorgangs auf, an anderen Goldfunden der Latènezeit scheinen vorwiegend spanlose Techniken zum Einsatz gekommen zu sein. Auch an frühkaiserzeitlichen Silbergefäßen, wie beispielsweise aus Hildesheim, wurden die spanabhebenden Ziertechniken selten eingesetzt (Niemeyer 2007, 142). Erst an spätrömischen Silbergefäßen, wie beispielsweise aus Kaiseraugst, wurde die sogenannte Metallschnitt-Technik in Form von ausgemeißelten und gravierten Reliefverzierungen häufiger angewandt, ist durch das Nachziselieren der Verzierungen jedoch kaum erkennbar (Foltz 1984, 362).

Eine Unterscheidung zwischen ziselierten, gemeißelten und gravierten Linien wird über das nicht überprägte Profil der Kerben in der Metalloberfläche möglich. Während sich die mit einer Schrotpunze ziselierte Linie im Metall durch eine eher U-förmige Rille auszeichnet, können die spanabhebenden Verfahren des Meißelns und Gravierens an einem scharfkantigen, V-förmigen Querschnitt der Kerbe erkannt werden (Foltz 1981, 52 Abb. 3; Bühler 2004a, 385). Bei Anwendung der Techniken auf dünnem Blech werden sowohl die ziselierten als auch die gemeißelten Linien auf der Rückseite durch breitere Bahnen sichtbar. Bei massiveren Stücken kann sich die ziselierte Linie an seitlich aufgewölbten Graten zeigen, hervorgerufen durch die Materialverdrängung. Die mit dem Hammer geführten Werkzeuge hinterlassen durch die aneinandergereihten Hammerschläge quer zur Arbeitsrichtung verlaufende Absätze, beim Meißeln sind diese jedoch meist deutlicher (Foltz 1981, 51; Bühler 2004a, 385). Beim Gravieren entstehen nicht nur quer zur Arbeitsrichtung verlaufende Rattermarken, die scharfkantig abgesetzt sind, sondern auch feine, parallel verlaufende Schnittspuren (Foltz 1981, 51; Williams u. Ogden 1994, 21; Bühler 2004a, 385).

Diese Merkmale zur Unterscheidung der verwendeten linienherstellenden Ziertechniken lassen sich an archäologischen Funden jedoch nur bei hoher Vergrößerung und bei einer nicht durch Abnutzung, Überschleifen oder Korrosion überprägten Oberfläche erkennen.

Die Ausprägung ziselierter Linien und Muster auf der Rückseite dünnwandiger Werkstücke ist zudem abhängig von der verwendeten Unterlage. Wurde eine Art Treibkitt oder Leder benutzt, sind die Muster auf der Rückseite gut zu erkennen, wurde dagegen das Werkstück während des Ziselierens und Punzierens auf einem Stück Hartholz befestigt, zeichnen sich die Punzverzierungen kaum auf der Gegenseite ab. Dies ist etwa für einzelne Ziselierungen und Punzierungen der provinzialrömischen Zierscheiben aus Hettingen (Kat. 11,9-11; Taf. 28; 29) anzunehmen, an welchen sowohl mitgegossene Verzierungen nachzisiert als auch im Metall angebracht wurden (siehe Kap. 5.5.3).

Ein Ziselieren und Punzieren ist auch an massiven Werkstücken möglich, erfordert jedoch eine entsprechend harte Unterlage, wie etwa einen Ringriegel zum Punzieren von massiven Fingerringen, damit keine Verformung entsteht. Da es ferner nicht möglich ist, Verzierungen mit großen Materialstärkeunterschieden von über 2 mm allein durch ein Ziselieren durchzuführen, musste in solchen Fällen das Material zunächst mit einem Meißel oder einem Stichel spanabhebend entfernt worden sein, bevor nachzisiert wurde (Foltz 1981, 51). Ziselier- und Punzspuren bedeuten also nicht a priori, dass die Verzierung allein mithilfe von Punzen ausgeführt wurde.

Darüber hinaus sind bei gegossenen Werkstücken auch Punzverzierungen im Wachsmodell möglich, indem die Punze in das weiche Wachs gedrückt wird. Zisierte und punzierte Verzierungen sind in allen vor- und frühgeschichtlichen Zeitepochen beliebte Ziertechniken. Den archäologischen Fundstücken ist es jedoch nur schwer anzusehen, ob die Punzverzierung bereits im Wachs entstanden ist oder erst nach dem Guss im Metall.

Mitgegossene Punzmuster können über ihre abgerundeten Kanten von in Metall vorgenommenen Punzierungen und Ziselierungen unterschieden werden (Hammer u. Voß 1998a, 297). Eigene Versuchsergebnisse mögen dies verdeutlichen (Abb. 16).

Wenn jedoch die Abnutzung durch den Gebrauch oder auch die Korrosion die scharfen Kanten der in Metall durchgeführten Punzierungen abgerundet hat, kann dieses Kriterium nicht mehr zur Unterscheidung verwendet werden. Zudem ist davon auszugehen, dass selbst mitgegossene Punzverzierungen nach dem Guss nachzisiert wurden, wodurch die Kanten wieder schärfer zum Vorschein kommen.

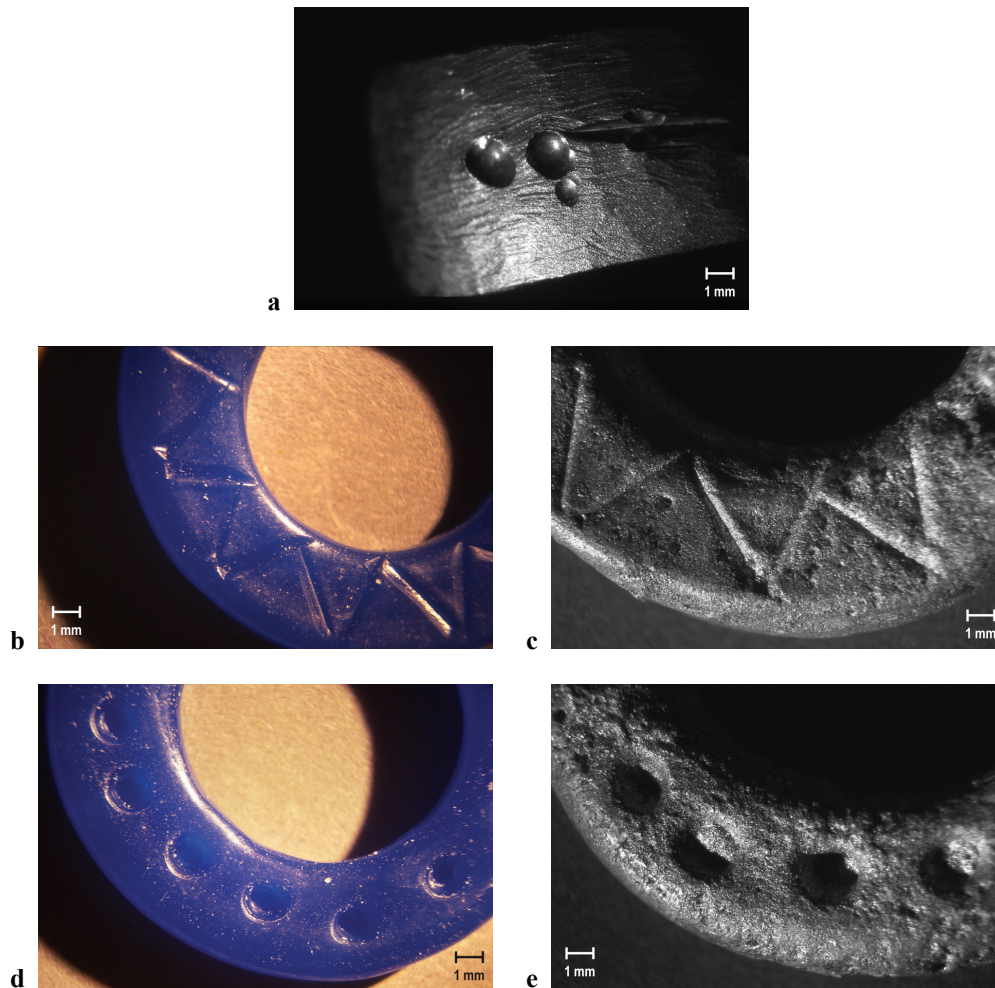


Abb. 16: Experimentelle Versuche zum Erscheinungsbild von Punzierungen an gegossenen Ringen und mitgegossenen Punzverzierungen; verwendete Hilfsmittel: Ag 935, blaues Wachs, Ton, Holzkohlefeuer, Kugel- und Schrotpunzen.

a: Punzierungen an einem gegossenen, mit Sandstein überschliffenen, Silberring (scharfe Kanten).

b und d: Punzeindrücke im Wachsmodell (Abbildung scharfer Kanten).

c und e: Unter der Verwendung von b und d mitgegossene Punzverzierungen an einem Silberring (abgerundete Kanten).

Beispiele für vermutlich mitgegossene, teilweise nachziselierte, Verzierungen sind die Ornamente auf der Bügeloberseite, des Nadelhalters und der Fußscheibe der frühlatènezeitlichen Fibel aus Bern-Schosshalde (Kat. 6; Taf. 11,6; 12,2-4.6), an der Nadelrast der spätlatènezeitlichen Fibeln aus Lauterach (Kat. 18,3-4; Taf. 43,5) oder an der provinzialrömischen Omega-fibel aus Kottwil (Kat. 17,3; Taf. 39,1-3).

Dagegen wurden die Punzverzierungen an dem Armring und vermutlich auch auf der Zierplatte des frühkaiserzeitlichen Fingerrings aus Sulz (Kat. 41,2.1; Taf. 155,5; 154,5) im Metall vorgenommen. An Letzterem scheinen die Punzierungen für das Zweigmuster durch den Gebrauch abgerundet zu sein. Unter den einzelnen Einschlügen mit einer Kugelpunze sind an dem Armring aus Sulz zudem Spuren eines "Vorzeichnens" mithilfe einer Schrotpunze zu erkennen.

Darüber hinaus konnten auch weitere vermutlich mitgegossene Ziermuster an einigen der untersuchten Funde beobachtet werden. Hier sind besonders die zahlreich angewandten Kerbverzierungen an den provinzialrömischen Fundstücken hervorzuheben, wie beispielsweise an den Omegafibeln aus Rembrechts (Kat. 33,3; Taf. 124,4) und Rickenbach (Kat. 34,2; Taf. 136,5) oder an Armringen vom Typ Wiggensbach aus Wilsingen (Kat. 48,1-2; Taf. 180,3.4; 181,4).

Übereinstimmende Abdrücke von Musterpunzen an verschiedenen Fundstücken erlauben Rückschlüsse auf Zusammengehörigkeiten und Werkstattidentitäten. Bei unterschiedlichem Einschlagwinkel und unter unterschiedlicher Kraftanwendung kann jedoch selbst ein und dieselbe Punze variierende Abdrücke hinterlassen. Zudem ändert sich der Punzabdruck nach einer gewissen Gebrauchszeit des Werkzeugs, da sich die Arbeitsfläche der Punze abnutzen kann.

Diverse Untersuchungen der letzten Jahrzehnte konnten über detaillierte Analysen von Punzabdrücken Werkstattidentitäten feststellen, die bis dahin anhand stilistischer Kriterien nicht möglich waren³³.

Eine genaue Identifizierung punzgleicher Abdrücke wird besonders durch die Abnahme von Silikonabgüssen und deren Untersuchung im REM ermöglicht, wie sie beispielsweise durch E. B. Larsen an den Blechen des Gundestrup-Kessels durchgeführt wurde. So konnte überzeugend dargestellt werden, dass mehrere Feinschmiede an der Anfertigung der einzelnen Teile für den Kessel beteiligt gewesen waren (Nielsen u. a. 2005, 9 ff.).

Dennoch ist es auch ohne Silikonabformungen besonders eindrucksvoll, dass an drei untersuchten Fundstücken aus zwei weit voneinander entfernten Fundkomplexen identisch erscheinende Punzmuster festgestellt wurden (siehe Abb. 17).

Die Funde stammen aus provinzialrömischen Depotfunden, deren Vergrabungszeitpunkt jeweils über die Schlussmünzen datiert werden konnte. Zwischen der Niederlegung der Fibel aus Nideraschau und den beiden Armringen aus Regensburg-Kumpfmühl liegt eine Zeitspanne von etwa 70 Jahren. Alle drei Stücke weisen Abnutzungsspuren auf, die Fibel wurde jedoch zusätzlich mindestens einmal antik repariert (siehe Kap. 5.3.2.4). Die Punzverzierungen sind direkt vergleichbar und deuten zumindest auf eine zeitgleiche Herstellung im 2. Jh. n. Chr. Eine Zugehörigkeit zu einer Werkstatt wäre sicher zu weit gegriffen, die Anfertigung innerhalb desselben Provinzgebietes scheint jedoch offensichtlich (siehe Kap. 5.2.2.3).

³³ Vgl. eine Zusammenstellung dieser Studien bei Niemeyer 2007, 53.

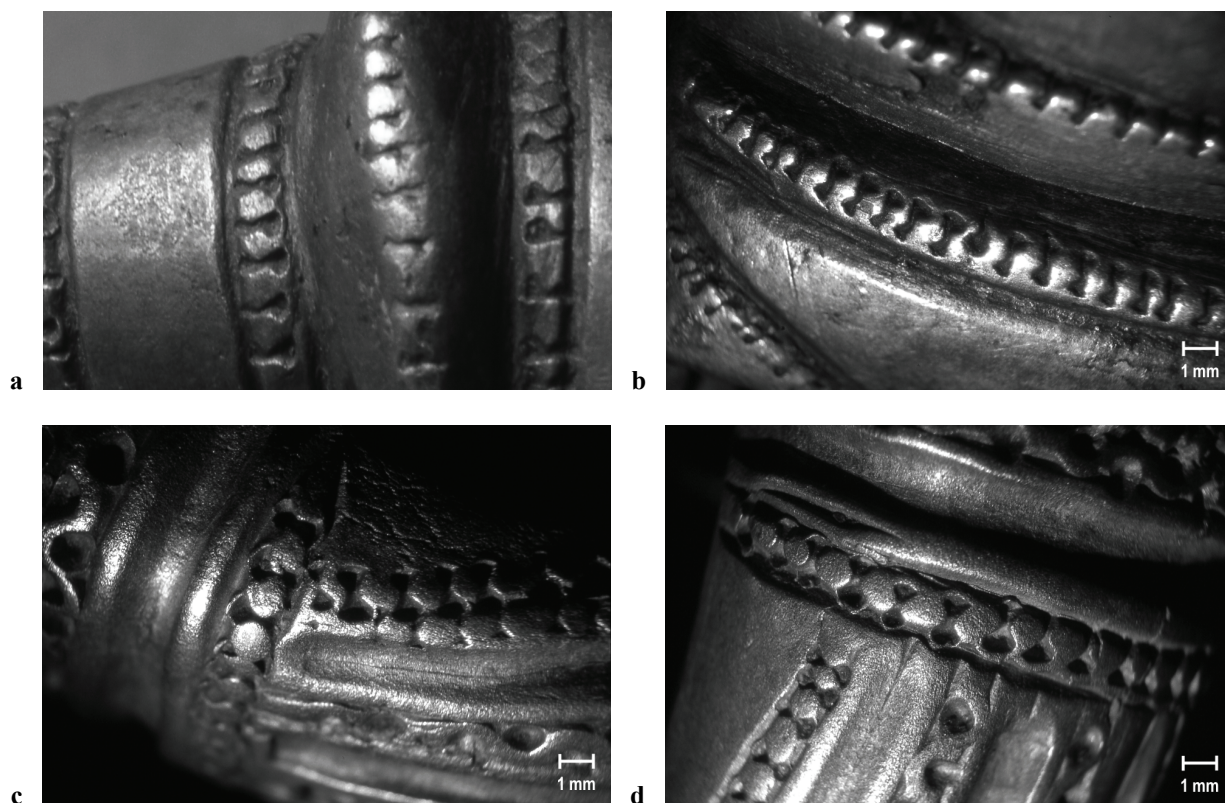


Abb. 17: Punzverzierungen mit identisch erscheinender Musterpunze.

a und b: Fibel aus Niederachau (Kat. 26,1).

c und d: Kolbenarmringe aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,7.8).

Weitere Sondertechniken, welche sich in Mitteleuropa erst ab der römischen Kaiserzeit stärker verbreiteten, sind das Tauschieren und Emaillieren. Auch wenn an keinem der hier untersuchten Funde Hinweise auf diese Techniken vorliegen, sollen diese Verfahren, welche zuvor eingeschnittene Gruben voraussetzen, nicht unerwähnt bleiben, da sie in der Schmuckherstellung eine große Bedeutung besitzen, wenn auch in dieser Zeit selten im Zusammenhang mit dem Material Silber.

Beim Tauschieren wird ein meist edleres, weiches Metall auf einem unedleren, harten Träger durch Einhämmern eingebracht und mechanisch oder mit Hilfe von Kittten bzw. Loten befestigt sowie anschließend geglättet. Die Wirkung beruht dabei auf dem Farbunterschied von Einlage- und Grundmetall. Eine Sonderform ist das Einbringen von Niello, einer schwarzen Masse aus Silber-, Kupfer- und/oder Bleisulfid, mithilfe eines Schmelz- oder Erwärmungsvorgangs³⁴.

Sowohl Einlagen edlerer Metalle als auch aus Niello finden sich hin und wieder an provinzialrömischen Fibeln aus Buntmetall (Riha 1979, 26ff.). Daneben konnten Nielloverzierungen an provinzialrömischen Silbergefäßen häufiger beobachtet werden, wobei

³⁴ Während für diese Schwefelverbindungen im Hochmittelalter eine Mischung aus Silber, Kupfer, Blei und Schwefel überliefert ist (Brepohl 1999, 78), verweisen nicht nur schriftliche Quellen, sondern auch Fundanalysen auf die Verwendung von Silber- und Kupfer-Sulfiden oder Silber-Kupfer-Sulfidmischungen in römischer Zeit (Wolters 1997a, 171 Tab. 1; 178).

das Niello offensichtlich weniger eingeschmolzen als vielmehr in weichem Zustand eingedrückt worden ist (Foltz 1984, 368; 371; Lang u. a. 1984, 377; Niemeyer 2007, 132; 143). Eines der im weitesten Sinne tauschierten provinzialrömischen Objekte ist ein untersuchter Bronzearmring mit einem eingelegten Rädchen aus verlöteten Silberdrähten aus Sulz (Kat. 41.3; Taf. 156,1-3).

Auch die Verwendung von Email, einer Glaspaste mit färbenden Metalloxiden, die auf das Grundmetall aufgeschmolzen wird, beruht auf seiner farbgebenden Wirkung. Das Emaillieren stellt in der klassischen Antike des Mittelmeerraumes eine weit verbreitete Ziertechnik an Goldschmuck dar (Williams u. Ogden 1994, 16). Die roten Einlagen aus Glasmasse an Bronzeschmuck der Latènezeit, wie etwa den frühlatènezeitlichen Scheibenhalsringen (siehe z. B. Krämer 1964, Taf. 13 - 14), sind dagegen offensichtlich nicht eingeschmolzen worden, sondern entweder mit Hilfe von Nieten mechanisch befestigt oder in erwärmtem, weichem Zustand in die Vertiefungen eingedrückt worden (Haseloff 1989, 197). Das in Vertiefungen eingeschmolzene verschiedenfarbige Email taucht erst ab dem 1. Jh. n. Chr. an mitteleuropäischen Buntmetallobjekten - vor allem Fibeln und Fingerringen - auf und ist insbesondere seit der Mitte des 2. Jhs. äußerst beliebt (Riha 1979, 29ff.; 1990, 33; 57).

Dass zur Herstellung von antikem Silberschmuck sowohl Niellomassen als auch Email kaum genutzt wurden, mag vor allem an der benötigten Temperatur zum Schmelzen der Materialien liegen, die je nach Zusammensetzung nahe am Schmelzbereich der Silberlegierungen liegt. Aus diesen Gründen werden auch heutzutage für diese selten durchgeführten Verfahren lediglich hochwertige Silberlegierungen verwendet. Farbkontraste an Silberschmuck wurden sowohl in der vorrömischen Eisenzeit als auch in der römischen Kaiserzeit nicht nur über die gemeinsame Verwendung der beiden Edelmetalle Gold und Silber, sondern auch über die Verwendung von Koralle, Farbsteinen sowie Glaseinlagen und Glasgemmen erreicht, die mit den Edelmetallen mechanisch und/oder mithilfe von Klebstoffen verbunden wurden.

4.4.2 Prägetechniken

Weitere materialverdrängende Ziertechniken sind plastische Verformungen durch den Druck mit einer Punze oder einem Stempel, wie etwa das Hohlprägen von Pressblechen oder das Massivprägen von Münzen.

Zur ornamentbildenden Verformung von Blech mit Hilfe einer Prägetechnik kann das Blech entweder in ein Gesenk mit eingetieftem Ornament eingedrückt oder auf das erhabene Relief eines Formmodells angedrückt werden (Abb. 18). Das verwendete Arbeitsgerät ruht dabei in beiden Fällen auf einer rutschfesten Unterlage oder ist aufgekittet. Die benötigten Werkzeuge sind Punzen und Stifte aus Holz, Knochen oder Metall, mit welchen das Blech in oder gegen das Gerät getrieben bzw. angedrückt wird und so seine Ornamentverzierung erhält.

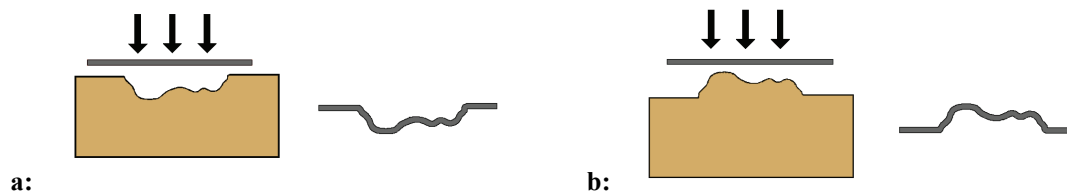


Abb. 18: Schemata zum Hohlprägen von Blechen (Umzeichnungen nach Williams u. Ogden 1994, 19 Abb. 10,a,c).

a: Formnegatives Gesenk = Matrize.

b: Formpositiver Pressmodel = Patrize.

Während verschiedene erhaltene Model der vorrömischen Eisenzeit - im hellenistisch geprägten Kulturmilieu - für diese Zeit sowohl den Gebrauch von Gesenken mit vertieften (siehe Kap. 6.1) als auch mit erhabenen reliefierten Ornamenten anzeigen, wurden wohl spätestens ab der römischen Kaiserzeit vorwiegend formpositive Pressmodel verwendet³⁵. Letztere sind bezeichnend für die sogenannte Pressblechtechnik, welche beispielsweise an germanischen Zierscheiben und Beschlägen angewandt wurde (Becker u. a. 2003, 182 f.) und die besonders im Frühmittelalter beliebt war, zu den bekanntesten Beispielen gehören die Goldbrakteaten.

In den römischen Provinzen wurden Pressbleche vor allem an Bronzefibeln in Form vergoldeter oder silberner Auflagen genutzt, so beispielsweise auf Scheibenfibeln aus den Kastellen Saalburg und Zugmantel (Böhme 1972, 42) oder aus Augst (Riha 1979, 25).

Ob für einige der sich wiederholenden Blechziernuster in der späthallstatt- und frühlatènezeitlichen Goldschmiedekunst, wie etwa an Arm- und Halsringen aus Bad Dürkheim und vom Glauberg, formpositive Model oder formnegative Matrizen verwendet wurden, wenn nicht gar frei von Hand ziseliert wurde, wie dies erst jüngst für die Ringe von Erstfeld verdeutlicht werden konnte, wird im Einzelfall unterschiedlich beurteilt (vgl. Guggisberg 2000, 55 ff.).

Das zur Pressblechtechnik notwendige Prägegerät bzw. Prägewerkzeug wird in der Literatur unterschiedlich als Gesenk (Wolters 1998, 378), als Model oder Patrize (Hammer u. Voß 1998b, 324) oder auch als Pressmodel (Armbruster 2002, 152) bezeichnet. Seine Handhabung wird vorwiegend in der beschriebenen Weise rekonstruiert, seltener als Prägewerkzeug, welches umgedreht in das Blech eingedrückt worden sei.

Erhaltene Pressmodel, wie beispielsweise ein Exemplar aus der weiteren Umgebung von Augsburg (um 300 n. Chr.) oder diverse Funde aus dem wikingerzeitlichen Haithabu, tragen auf ihrer Vorderseite ein positiv reliefiertes Ornament, welches entweder aufgelötet (Augsburg) oder im Guss hergestellt (Haithabu) wurde. Sowohl der ältere Model zur Herstellung von Auflagen für germanische Scheibenfibeln als auch der Pressmodel aus

³⁵ Vgl. auch eine Zusammenstellung von Matrizen und Patrizen aus griechischen und römischen Kontexten bei Treister 2001, bes. 387 ff.

Haithabu wurden als Gerät gedeutet, wobei das zu ornamentierende Blech auf den Pressmodel gedrückt worden sei (Drescher 1966, 209; Armbruster 2002, 157).

Zu den Prägetechniken zählt auch das Stempeln von Ornamenten. Im Gegensatz zum formpositiven Hohlprägen von Blechen wird hierzu das Ornament mit einem Prägewerkzeug mit negativen Konturen und einem Hammer in das Metall eingeschlagen. Das Werkzeug wird auch als Matrize bezeichnet (Hammer u. Voß 1998b, 323).

Dieses Prägeverfahren ist vor allem von der Edelmetall-Münzprägung bekannt. Der mit eingraviertem oder (mit einer Patrize) eingestempeltem Ornament versehene Prägestempel wird durch einen gezielten Hammerschlag in die Oberfläche eingetieft, wodurch eine materialverdrängende Oberflächenveränderung eintritt. Die aus einem gegossenen Münzschrotling geprägten Münzen weisen deshalb sowohl eine für den vorangegangenen Guss typische Randausbildung auf als auch Prägemerkmale durch die scharfen und glatten Konturen des geprägten Bildes (Hammer 1993, 43). Während die Rückseite der Münzen durch das direkte Stempeln geprägt wird, entsteht das Vorderseitenbild durch eine unterliegende, fest verankerte Matrize, einen Vorderseitenstempel mit ebenfalls eingetieftem Motiv. Die beiden Münzseiten werden gleichzeitig mit den Bildern versehen, indem der Münzschrotling zwischen dem freigeführten Oberstempel für das Rückseitenbild der Münze und dem in einer Unterlage fixierten Unterstempel für das Vorderseitenbild der Münze durch einen Hammerschlag auf den Oberstempel geprägt wird (vgl. Lehrberger u. a. 1997, 87 Abb. 4.14).

Ein Charakteristikum geprägter Münzen ist das häufige Auftreten von Rissen an den Rändern und den Vorderseiten. Diese sind auf die Überbeanspruchung durch die starke plastische Verformung des spröden Gussrohlings infolge fehlenden Zwischenglühens zurückzuführen (Hammer 1993, 48; Moesta u. Franke 1995, 86 f.; Lehrberger u. a. 1997, 73).

Beispiele für die Anwendung von Prägetechniken unter den untersuchten Funden sind ein gestempeltes Bild auf der vergoldeten Zierplatte des mittellatènezeitlichen Fingerringes aus Oberhofen (Kat. 28,1; Taf. 89,1.2; 91; siehe Kap. 5.1.1.5) und der aus einem Pressblech hergestellte goldene Lunula-Anhänger aus dem mitteltiberzeitlichen Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,12; Taf. 120).

4.4.3 Durchbruchdekor

Eine für römische Schmuckstücke vor allem ab der zweiten Hälfte des 2. Jhs. n. Chr. typische Ziermethode ist das sogenannte "*opus interrasile*", die "Durchbruchsarbeit" (Deppert-Lippitz 1985, 5 f.; Böhme-Schönberger 1997, 79). Diese ist durch die gleichmäßige Wiederholung eines Durchbruchmusters gekennzeichnet und gilt als eine der wesentlichen Neuerungen römischer Goldschmiedearbeiten.

Der in der einschlägigen Forschung dafür verwendete Terminus "*opus interrasile*" wird von J. M. Ogden und S. Schmidt (1990, 10 f.) scharf kritisiert, da sich die Bedeutung von "*interrasile*"-Arbeiten in den relevanten Textstellen antiker und mittelalterlicher Autoren nicht

nur auf feine Durchbruchsmuster in Edelmetall beziehen soll, sondern der Begriff in gleicher Weise zur Beschreibung jeglicher Durchbruchsarbeiten in Metall und Stein angewandt wurde. Für eine verständliche technische Beschreibung bietet sich jedoch ohnehin eine allgemeinere Definition an, da keine einheitliche Technik an die Verwendung des Begriffes geknüpft zu sein scheint, sondern lediglich eine optische Erscheinung geschildert wird, die zudem unterschiedliche Ausprägungen aufweist³⁶.

Das Durchbruchsdekor kann über unterschiedliche Arbeitsmethoden erreicht werden. Eine Möglichkeit ist das Gießen, wobei die Durchbrechungen im Wachstmodell ausgespart werden. Diese Formgebung wurde für das Durchbruchsdekor von einzelnen Bunt- und Edelmetallfingerringen des 2. und 3. Jhs. n. Chr. (Riha 1990, 38 f.) und an Fibeln seit der mittleren Kaiserzeit, wie etwa durchbrochenen Scheibenfibeln, angenommen (Riha 1979, 23) und ist möglicherweise auch an den Goldfingerringen aus dem im späten 3. Jh. n. Chr. niedergelegten Schatzfund von Eauze in Frankreich angewandt worden (Böhme-Schönberger 1997, 73 Abb. 69-70)³⁷.

Andere Varianten, die aufgrund der geringen Materialstärke nur an Formen aus Blech möglich sind, sind das Ausstechen mithilfe von Stichel und Meißeln oder das Aushauen bzw. Ausstanzen mit einer Formstanze.

Wie Untersuchungen spätrömischer Durchbruchsarbeiten ergaben (Ogden u. Schmidt 1990), musste dem Ausmeißeln eine Durchlochung vorangegangen sein, von welcher ausgehend die Muster mit scharfkantigen Meißeln erweitert werden konnten. Die Autoren konnten im praktischen Experiment zeigen, dass die von ihnen untersuchten Durchbruchsarbeiten mit einem Meißel mit drei schneidenden Kanten ausgearbeitet worden sein könnten (ebd. 6 f.). Zunächst wurde dazu mit einem Dorn ein Loch durchgehauen. Diese Löcher wurden anschließend aufgeweitet, indem weiteres Material an ihrem Rand mit einem Meißel ausgeschnitten wurde. Die hinterlassenen Schleifspuren auf der Innenseite der Löcher entsprachen dabei den an Originalfunden beobachteten Spuren. Eine vorausgehende Durchlochung mit einem Dorn erscheint durchaus praktikabler als das alleinige mühsame Herausschaben mit einem Stichel und wird damit den spätrömischen Arbeiten mit ihrer großen Anzahl an Durchbrechungen gerecht.

Dagegen wird für die Durchbruchsmuster an frühkaiserzeitlichen Fibeln, so etwa an den Nadelhaltern der norischen Flügel- und Doppelknopffibeln, das Ausstanzen der

³⁶ In diesem Sinne wäre das Durchbruchsdekor auch keine römische Neuerung, da bereits diverse latènezeitliche Zierelemente durchbrochen gestaltet wurden. Beispiele sind zahlreiche auftretende frühlatènezeitliche Gürtelhaken aus Bronze und Eisen (Frey 1991), aber auch andere Zierteile, vor allem aus dem ostkeltischen Kulturraum, wie frühlatènezeitliche Pferdetrensen aus Buntmetall (z. B. Schickler 2001, 221) oder Zierbleche aus Buntmetall und Silber auf spätlatènezeitlichen Schwertscheiden (Böhme-Schönberger 1998). Offensichtlich scheinen damit auch die frühromischen Durchbruchsarbeiten der Nadelhalter von norischen Flügel- und Doppelknopffibeln an eine bereits bekannte Verzierungsform anzuknüpfen. Diese Zierform, welche in der Edelmetall verarbeitenden Schmuckherstellung vor allem ab dem 2. Jh. n. Chr. weit verbreitet auftritt, steht damit also in einer langen Tradition der Durchbruchsverzierungen, möglicherweise ausgehend vom Ostalpenraum.

³⁷ Dies müsste jedoch im Einzelfall an den Originalen überprüft werden.

Durchbrechungen anzunehmen sein (Riha 1979, 23). Während das Ausmeißeln von Durchbrechungen vor allem bei der Herstellung von Einzelstücken aus Edelmetall sinnvoll ist, erscheint das Ausstanzen lediglich für eine Serienproduktion geeignet, da allein die Herstellung einer Formstanze aufwändig ist.

Eine Formstanze zur Durchbrechung von Blech ähnelt generell einer Punze. Das Funktionsende dieses Werkzeugs zeigt eine plane bis eingezogene Fläche und die Kanten zwischen dieser Stirnfläche und dem Schaft der Stanze sollten scharf sein. Die Unterlage für das Werkstück muss für das Stanzverfahren bestimmte Eigenschaften aufweisen. Besonders geeignet ist eine harte Unterlage mit einer der Kontur des Stanzwerkzeugs entsprechenden Eintiefung, da sich hierbei die Schlagenergie auf die auszustanzende Fläche konzentriert und sich die Kontur des Stanzwerkzeugs präzise in der Durchbrechung abbildet. Die Anfertigung einer solch passgenauen Unterlage ist allerdings aufwändig und nur bei einer Serienproduktion mit geringen Fertigungstoleranzen vorteilhaft. Eine alternative Lösung ist dagegen eine vergleichsweise weiche Unterlage, deren Härte zwar ausreicht um die Konturkanten während des Stanzens zu stabilisieren, die gleichzeitig aber weich genug ist, um im Bereich der Ausstanzung nachzugeben und das Abfallstück aufzunehmen. Denkbar hierfür sind beispielsweise ein Treibkitt aus einer harten Harz-, Wachs- oder Birkenpech-Mischung oder eine plane Unterlage aus Weichholz.

Charakteristische Merkmale einer durch Stanzen hervorgerufenen Durchbrechung von Blech sind einziehende Ränder auf der Einschlagseite und relativ scharfe Konturränder mit häufiger Gratbildung an der Austrittseite. Die Stärke der Einziehung der Ränder ist abhängig von der Härte der Unterlage, der Schärfe der Konturkanten am Stanzwerkzeug und dem angesetzten Schlagwinkel beim Stanzen. Ebenso abhängig von der Härte der Unterlage ist die Schärfe der Konturränder an der Austrittsseite, während eine dortige Gratbildung durch das finale Abreißen des Abfallstückes entsteht.

Dieses Verfahren zur Herstellung von Durchbruchsarbeiten ist an dem im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Material an einer Zierscheibe aus Regensburg anzunehmen (Kat. 29,1; Taf. 97; siehe Kap. 5.5.3 v. a. Abb. 46).

4.4.4 Perl- und Kerbdrahtherstellung

Zum technischen Repertoire sowohl der latènezeitlichen als auch der provinzialrömischen Drahtverzierungen gehört die Herstellung von Perl- und Kerbdrähten. Diese Form der Zierdrähte ist vor allem in der klassischen Antike ab dem 7. Jh. v. Chr. und im Frühmittelalter eine weit verbreitete Verzierungstechnik, bei welcher die an Runddrähten durch die Materialverdrängung eines Werkzeugs entstandenen Kerben im besten Fall den Eindruck einer Perlenreihe erzeugen.

Zur Herstellung eines Perldrahtes wird ein Runddraht auf eine ebene Hartholzunterlage gelegt und mit einem Metallstab mit eingeschnittener Hohlkehle unter leichtem Druck hin und her

gerollt (siehe Schema Abb. 19). Das dazu verwendete Werkzeug besitzt mit den seitlichen Rändern der Hohlkehle zwei Arbeitskanten (eine einfache Klinge hat dagegen nur eine Arbeitskante), bei Werkzeugen mit mehreren parallel laufenden Hohlkehlen erhöht sich die Zahl der Arbeitskanten. Beim Rollen verdrängen die Arbeitskanten des Werkzeuges das Drahtmaterial nach innen und die Wandung der Hohlkehle formt die Perle. Während dieser Materialformung behält der Draht in der Mitte zwischen den Arbeitskanten zunächst seine Ausgangsstärke. Bei fortgehendem Rollen schiebt sich immer mehr Material nach innen und der Bereich mit der normalen Drahtstärke verschmälert sich zunehmend, wobei er langsam einer quer zur Längsachse des Drahtes umlaufenden Kerbe ähnelt. B. Bühler (2000, 227) beschreibt die Entstehung dieser als "Äquatorschnitt" bezeichneten Kerbe auf den einzelnen Perlen als ein Zusammenlaufen von "Wülsten" aus verdrängtem Drahtmaterial: "An jener Stelle, wo jeweils zwei solche Wülste zusammenlaufen und eine 'Perle' bilden, entsteht eine Art 'Naht' - der sogenannte 'Äquatorschnitt'." Auch wenn die Perlen nicht ganz ausgerollt werden, weil z. B. die Hohlkehle des Werkzeugs im Verhältnis zur Drahtstärke zu tief ist, bildet sich in der Mitte der Perlen eine mehr oder weniger starke umlaufende Kerbe. Je nach Größe und Ausprägung der Hohlkehle zwischen den beiden Kanten des Werkzeugs sowie in Abhängigkeit des verwendeten Drahtes können kugelige oder auch langgestreckte Perlen entstehen, der Äquatorschnitt würde jedoch nur bei Verwendung eines Werkzeuges mit einer Hohlkehle entstehen.

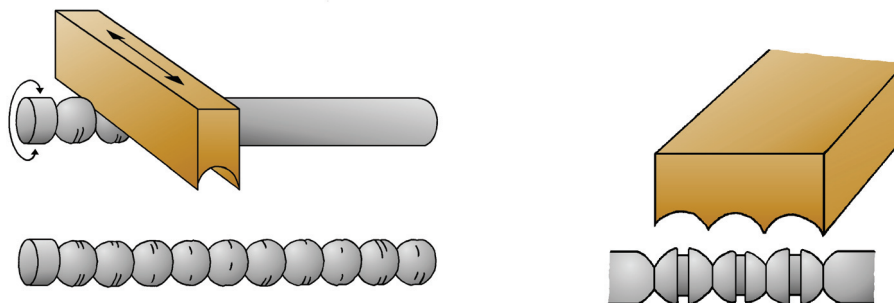


Abb. 19: Schemata zur Herstellung von Perldraht (Umzeichnungen nach Williams u. Ogden 1994, 24 Abb. 20a und Foltz 1989, 102 Abb. 3 Mi.).

Der Begriff "Perldrahtfeile" für das rekonstruierte Werkzeug wird in Analogie zu dem von Theophilus Presbyter im 12. Jh. n. Chr. über die Goldschmiedekunst geschriebenen Werk verwendet. Theophilus beschreibt dort eine "Feile mit der unteren Rille", mit der Silberdrähte so befeilt würden, "dass in ihnen Perlen entstehen" (Brepohl 1999, 49). Tatsächlich ist der Teilbegriff "Feile" für das der Perldrahtherstellung dienende Werkzeug nicht völlig korrekt, da hierbei keine spanabhebende, sondern materialverdrängende Arbeiten durchgeführt werden. Zusammen mit weiterem Feinschmiedewerkzeug wurde eine solche Perldrahtfeile in dem germanischen Mooropferfund von Illerup in Dänemark gefunden (Voß 1998a, 134 Abb. 4,4).

Das bei Theophilus im 12. Jh. beschriebene Prägegesenk "Organarium" (Brepohl 1999, 47) zur Herstellung von Perldrähten ist vermutlich weder in der vorrömischen Eisenzeit noch in der römischen Kaiserzeit bekannt gewesen. Wie praktische Versuche von E. Foltz (1989, 101) mit einem eigens dazu nachgebauten Organarium zeigen konnten, würde bei Verwendung eines solchen Gerätes üblicherweise kein Äquatorscheit entstehen, sondern eher Quetschfalten parallel zur Längsrichtung des Drahtes (ebd. 102 Abb. 3; Duczko 1985, 21).

Die Herstellung eines Kerbdrahtes geschieht mithilfe eines Werkzeugs mit lediglich einer Arbeitskante (Abb. 20). Auch hier wird ein Runddraht mit dem Werkzeug auf einer harten Unterlage gerollt, wobei die V- oder U-förmigen Kerben aus der Materialverdrängung durch die Arbeitskante des Werkzeugs resultieren. Der Hauptunterschied zur Perldrahtherstellung liegt in der fehlenden Ausformung des verdrängten Drahtmaterials zu Perlen und der oft sehr unregelmäßig verlaufenden Kerbung des Drahtes. Praktische Versuche von E. Foltz (1989, 102) mit Werkzeugen unterschiedlich geformter Arbeitskanten konnten zeigen, dass die Kerben deutlich differierende Ausprägungen aufweisen können, richtige Perlen könnten so jedoch kaum entstehen (so auch Whitfield 1998, 61).



Abb. 20: Schemata zur Herstellung von Kerbdraht (Umzeichnungen nach Foltz 1989, 103 Abb. 4).

Diverse Forschungen ergaben, dass das Erscheinungsbild von Perl- und Kerbdrähten nicht nur davon abhängt welches Werkzeug benutzt wurde, sondern auch von der Art und Weise wie es geführt wurde. Daher ist es oft schwierig, das für die Herstellung eines geformten Zierdrahtes verwendete Werkzeug zu identifizieren und einen Kerbdraht immer eindeutig von einem Perldraht zu unterscheiden. Würde beispielsweise eine Perldrahtfeile mit zu wenig Druck gerollt, entstünde zwar ein Äquatorscheit, aber die beiden Hälften der nur schwach bis unkenntlich ausgeformten Perle wären so weit voneinander entfernt, so dass das Erscheinungsbild dem eines mit einer einfachen Klinge hergestellten Kerbdrahtes gleichen könnte (Bühler 2000, 229).

Versuche mit nachgebauten Perldrahtfeilen zeigten im Ergebnis, dass die Ausprägung der Perlen zudem von der verwendeten Unterlage und der Drahtstärke abhängig ist. Eine zu harte Unterlage verursacht dabei zylindrische Perlen und ein im Verhältnis zur Kehlung des Werkzeuges zu dicker Draht ergibt eher elliptische Perlen (Duczko 1985, 19; Whitfield 1998, 63). Bei schräger Führung der Werkzeuge entsteht eine eher spiralförmige oder gewindeartige Kerbung, welche leicht mit tordierten Drähten verwechselt werden kann und die in der

Forschung mit den Begriffen "Spuldraht", "spooled wire" oder "spiral beaded wire" versehen wurde (Duczko 1985, 21; Drescher 1986a, 147; Williams u. Ogden 1994, 24; Nicolini 1995, 459; Whitfield 1998, 76), die letztlich jedoch nichts anderes als eine Variante von Kerb- oder Perldraht darstellt. Nicht zuletzt steht natürlich auch das verwendete Drahtmaterial in direktem Bezug zur Ausprägung der Perlen oder Kerben, so dass eine Perldrahtformung besonders bei härteren Metalllegierungen auch lediglich kerbdrahtähnliche Erscheinungsbilder hervorrufen kann (Whitfield 1998, 64).

Die Bestimmung des verwendeten Werkzeugtyps ist daher nicht immer möglich, da das Erscheinungsbild der Perl- und Kerbdrahte von vielfältigen Faktoren abhängt. Interessante Interpretationsansätze bietet eine solche Unterscheidung insbesondere dann, wenn es um Werkstatt-Zuweisungen einzelner Erzeugnisse geht.

In der vorrömischen Eisenzeit des Mittelmeerraumes gehört die Perldrahtverzierung mit zu den beliebtesten Ziertechniken und findet sich besonders häufig sowohl an etruskischem als auch an griechischem, aber auch an skythischem und thrakischem Goldschmuck. Auch in Mitteleuropa treten Perl- oder Kerbdrahte fast ausschließlich an Goldschmuck auf, beispielsweise an dem späthallstattzeitlichen Goldhalsring aus Vix in Ostfrankreich oder an den frühlatènezeitlichen Finger-, Hals- und Ohrringen vom Glauberg in Hessen sowie an einem Armring aus Mannersdorf in Niederösterreich (Bühler u. a. 2008, 110 f.). Unter den mittellatènezeitlichen Exemplaren seien ein Goldohrring aus Worb im Schweizer Kanton Bern, ein Halsring aus Civray-en-Touraine in Frankreich sowie die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Fingerringe aus Muri (Kat. 23,3; Taf. 80) und Horgen (Kat. 12,4-5; Taf. 30) genannt. Aber auch in der Spätlatènezeit kommt diese Verzierung vor, so etwa an einem Goldhalsring aus Mailly-le-Camp im französischen Département Aube, wo der Perldraht zudem mit einzelnen Granalien versehen ist³⁸.

Für Mitteleuropa singulär erscheint die Verwendung von Perldraht aus Silber an einer der beiden Fibeln aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,1; Taf. 141; 142,5). Der Fuß der komplett erhaltenen Fibel wurde als Perldraht gestaltet und zeigt von allen untersuchten Funden die gleichmäßigsten Perlausformungen. Dagegen wurden die Enden des goldenen Spiralfingerrings aus demselben Grab von Dühren (Kat. 37,4; Taf. 148,3-4) als Kerbdraht geformt.

Neben den Perl- und Kerbdrahten treten besonders häufig an frühlatènezeitlichem Edelmetallschmuck Verzierungen auf, die als Nachahmung dieser Zierdrahte angesehen werden. Dieser sogenannte falsche Perldraht wurde entweder aus mitgegossenen Kerben oder durch einseitig punzierte bzw. eingemeißelte Kerbreihen in Draht hergestellt. Der sogenannte falsche Perldraht gilt als "kritisches Phänomen" der Frühlatènekunst und scheint an Goldschmuck als Imitation von Perldrahten der mediterranen Schmuckherstellung verwendet worden zu sein (Echt u. Thiele 1994, 42; Hansen 2007, 237). Punzierte Kerben, welche den Eindruck einer Perlenreihe erwecken, sind auch an einem mittellatènezeitlichen

³⁸ Vgl. zu den genannten Funden eine Zusammenstellung von mit Perldraht verzierten Goldobjekten der Hallstatt- und Latènezeit bei L. Hansen (2007, 238 Tab. 1) und Beispiele mit Abbildungen bei G. Nicolini 1995.

Spiralfingerring aus Vechingen-Sinneringen (Kat. 44,1; Taf. 159,2) zu beobachten, wenn auch bereits stark abgenutzt (siehe Kap. 5.1.1.3). Hierbei könnte es sich um eine regelrechte Nachahmung eines Kerbdrahtes handeln oder um eine eigenständige Ziertechnik im Rahmen des Punzierens. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass es durchaus auch Objekte gibt, an welchen sowohl Perldrähte als auch ziselierte Kerbmuster gemeinsam auftreten, wie offensichtlich an dem frühlatènezeitlichen Helm aus Agris im französischen Département Charente (Nicolini 1995, 463 Abb. 13; 464 Abb. 15). Die Wangenklappe mit verlöteten Perldrähten wurde jedoch separat und offensichtlich nicht von demselben Handwerker angefertigt, so dass sich auch bei den ziselierten Kerbmustern auf der Helmkalotte nicht unterscheiden lässt, ob diese als falscher Perldraht oder als eigenständige Ziertechnik zu interpretieren sind. Bei Gussstücken, die mitgegossene Perl- oder Kerbreihen aufweisen, wie etwa an bronzenen Schaukelarmringen aus dem frühlatènezeitlichen Gräberfeld von Nebringen in Baden-Württemberg (Krämer 1964, Taf. 16,8.9) könnte man dagegen eher von einer echten Imitation sprechen.

Kerb- und Perldrähte sind auch an provinzialrömischem Schmuck ein beliebtes Zierelement. Ihre Herstellung und Verwendung bleibt nun nicht mehr auf das Material Gold beschränkt, sondern wird auch bei Silber eingesetzt. Die im Rahmen der Arbeit untersuchten provinzialrömischen Funde weisen diverse Varianten auf. Während Herstellungsmerkmale in Form eines Äquatorschnittes nicht nur an dem goldenen Radanhänger aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,11; Taf. 119,3-5), sondern auch an den Silberdrähten der Scheibenfibeln aus Wiggensbach (Kat. 47,15.16; Taf. 174,6; 176,3) auf den Einsatz eines Werkzeugs mit mindestens zwei Arbeitskanten verweisen, lässt die Ausformung der Silberdrähte an dem Armring aus Sulz (Kat. 41,3; Taf. 156,2.3) auf die Verwendung eines Werkzeuges mit nur einer Arbeitskante und damit auf einen Kerbdraht schließen. Das verwendete Werkzeug zur Herstellung des Zierdrahtes an Fingerring 2 aus Rembrechts (Kat. 33,9; Taf. 130,3.5) kann dagegen aufgrund der starken Abnutzung des Drahtes nicht bestimmt werden, die relativ gleichmäßigen Rundungen, die auf der Innenseite noch sichtbar sind, lassen jedoch auf einen Perldraht schließen.

4.4.5 Filigranverzierung und Granulation

Zur weiteren Verzierung von Schmuckstücken aus Edelmetall zählen zugefügte Zierelemente, wie Filigrandrähte und Granalien. Die Verwendung von Filigranverzierungen und Granulationen hat - ausgehend von der Anwendung der Techniken bereits in der Bronzezeit des Vorderen Orients - eine lange Tradition in der Goldschmuckherstellung des Mittelmeerraumes und wurde dort ab der frühen Eisenzeit auch vereinzelt an Silberschmuck eingesetzt. Nördlich der Alpen blieben diese Zierelemente während der gesamten Latènezeit etwas Besonderes, erst ab der mittleren Kaiserzeit nahm ihre Bedeutung langsam zu, gleichzeitig ihre Anwendung mit dem Material Silber.

Filigran ist die Bezeichnung für dünne Drähte, die mit oder ohne Bindung an das Grundmetall vorwiegend ornamentbildend verwendet werden. Unter Filigranverzierung versteht man damit im weitesten Sinne jegliche Art von Drahtverzierung zur Gestaltung eines Ornaments. Unabhängig von der sprachwissenschaftlichen Herleitung (siehe Eilbracht 1999, 24) hat sich die moderne Verwendung der Begriffe Filigran für die Drahtverzierung und Granulation für die Verzierung durch aufgelötete Kügelchen durchgesetzt. Für die Filigranverzierungen kam jede Form von Zierdrähten zum Einsatz, sowohl runde Drähte als auch Kerb- oder Perldrähte sowie tordierte Drähte.

Aufgelötete Filigrandrähte finden sich unter den untersuchten Funden auf dem Bügel einer mittellatènezeitlichen Fibel aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,2; Taf. 145,2) und lediglich aufgelegte, mechanisch befestigte Drähte an den provinzialrömischen Hettinger Scheibenfibeln (Kat. 11,3-4; Taf. 21,1-2; 24,1-3). Andere Varianten verlöteter Drahtverzierungen sind an Goldfunden der vorrömischen Eisenzeit, wie den Anhängern aus Ins-Grossholz (Kat. 13,1; Taf. 32) und Jegenstorf-Hurst (Kat. 15; Taf. 36) sowie dem Drahtfingerring aus Grab 12 von Münsingen-Rain (Kat. 22,19; Taf. 73) zu beobachten, aber auch an dem römischen Radanhänger aus Gold aus dem Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,11; Taf. 119). Die Filigranverzierung wurde sowohl in der vorrömischen Eisenzeit als auch in der römischen Kaiserzeit bevorzugt an Goldschmuck angewandt, meistens in Kombination mit einer Granulation, wie etwa an den Goldanhängern aus dem in das 2. Jh. v. Chr. datierenden Depotfund von Százard-Regöly in Ungarn (z. B. Szabó 1975, 163 Taf. VIII, 1a.3-4; Eluère 1991, 354 Abb. o. Nr.) oder den germanischen Goldberlocks des 2. und 3. Jhs. n. Chr. aus dem nordeuropäischen Raum (z. B. Wolters 1986, 152 Abb. 180 ff.). Die regelhafte Verwendung des Materials Silber für diese Dekortechniken setzte sich erst im Mittelalter durch (Eilbracht 1999, 24).

Die Granulation ist eine eigenständige Ziertechnik, bei der kleine Metallkügelchen (Granalien) in ornamentaler Anordnung mit Hilfe verschiedener Verfahren der metallischen Bindung auf Metalloberflächen (Rezipienten) befestigt werden.

Aus der vorrömischen Eisenzeit Mitteleuropas stammen insgesamt nur einzelne mit Granalien verzierte Schmuckgegenstände, nahezu ausschließlich aus Gold. Bei den wenigen Objekten ist eine Herstellung in fremden kulturellen Milieus anzunehmen. Zumindest ist die Anwendung der Technik nicht ohne den direkten Kontakt zu den Kulturen des Mittelmeerraumes, sowohl im etruskisch-italischen als auch im griechisch-hellenistischen Kontext, denkbar. Granulation findet sich an den untersuchten eisenzeitlichen Fundstücken sowohl an den hallstattzeitlichen Goldanhängern aus Ins-Grossholz (Kat. 13,1) und Jegenstorf-Hurst (Kat. 15), als auch an einem mittellatènezeitlichen Goldfingerring aus Spiez-Spiezmoos (Kat. 38; Taf. 149) und den ebenfalls mittellatènezeitlichen Silberfibeln aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,1-3; Taf. 143; 145,1; 147) mit Granalien sowohl aus Gold als auch aus Silber. Die Goldgranulation ist vor allem an Ringen vertreten, wie etwa an frühlatènezeitlichen Haarringen aus Worms-Herrnsheim (Echt u. Thiele 1994, 58 ff.) oder an einem Fingerring aus St. Memmie in der

Champagne (Charpy u. Chossenot 1989, 26 mit Taf. 23,2) sowie an einem Armring aus Mannersdorf in Niederösterreich (Bühler u. a. 2008, 110 Abb. 6,1; 7,3) und an dem genannten Fingerring aus Spiez-Spiezmoos³⁹.

Die Granulation mit Silber ist in der vorrömischen Eisenzeit auf die Kulturen beschränkt, in welchen ohnehin vorwiegend Silber verarbeitet wurde. Das sind vor allem die illyrischen und oberitalischen Regionen (siehe Kap. 5.3.1.2.2.).

In der römischen Kaiserzeit mehren sich die Fundstücke mit Granulation, sowohl in den nördlichen und östlichen Gebieten der Germania als auch in provinzialrömischen Kontexten. Innerhalb des Römischen Reiches wurde die Anwendung der Granulation weiterhin bevorzugt an Goldschmuck angewandt, im 1. Jh. n. Chr. zunächst an reichsrömischen Ohrringen (z. B. Deppert-Lippitz 1985, Taf. 18,44.45; 19,48; 20), ab dem 2. Jh. besonders in den nördlichen Provinzen, beispielsweise an Fingerringen (z. B. Wolters 1986, 149 Abb. 174; Henkel 1913, Taf. II,43; VI,111; X,204; XIV,266-268; Deppert-Lippitz 1985, Taf. 53,152) und an Armringen (Deppert-Lippitz 1985, Taf. 10,25) sowie an Ohranhängern (ebd. Taf. 32,74; 33,78), Zierscheiben (Martin-Kilcher u. a. 2008, 43 f.; 67 Abb. 2.29; Voûte u. a. 2008, 324 Abb. 2 - 4) oder Lunula-Anhängern (Martin-Kilcher u. a. 2008, 42; 65 Abb. 2.27) und Radanhängern (Kat. 32,11)⁴⁰.

Zu den wenigen Beispielen einer Granulation an provinzialrömischem Silberschmuck zählen ein Fingerring aus Rembrechts (Kat. 33,9; Taf. 130) und die Zierhülsen von Ketten aus Wiggensbach (Kat. 47,11.12; Taf. 171; 172), aber auch weitere Funde des 2. und 3. Jhs. n. Chr., wie etwa ein Ohrring und Armringe aus dem Depotfund von Hagenbach (Bernhard u. a. 1990, 22 Abb. 9; 25 Abb. 12; Taf. II) sowie eine Zierscheibe aus Bregenz (Luik u. Blumer 2006) oder mehrere Fingerringe und Kettenverschlüsse aus Snettisham in Britannien (Johns 1997, 105 f. Nr. 275 - 288; 110 Nr. 308 - 309; 113 Nr. 317 - 319).

Zunächst finden sich, aufgrund der Vorliebe für eine glatte, ungebrochene Oberfläche, nur wenige Granulations- und Filigranverzierungen. Ab der zweiten Hälfte des 2. Jhs. n. Chr. wurde die Granulation häufiger, entsprechend dem Wunsch nach aufgegliederter Oberfläche (Deppert-Lippitz 1985, 4). Aus dieser Zeit stammen auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Schmuckfunde mit Granalien.

Andere Fallbeispiele zeigen, dass Granulationsverzierungen darüber hinaus auch nachgeahmt wurden. Während an dem genannten Fingerring aus Rembrechts einzelne Granalien aufgebracht wurden (Taf. 130,6), scheint dagegen die "Kügelchenzier" der Zieraufsätze auf diesem und einem weiteren Fingerring aus Rembrechts (Kat. 33,8; Taf. 129) sowie auf den Scheibenfibeln aus Hettingen (Kat. 11,3.4; Taf. 21; 24) und Wiggensbach (Kat. 47,15.16; Taf. 176,1.2) nicht auf eine echte, sondern auf eine im Gussverfahren hergestellte Imitation einer Granulationsverzierung zurückzuführen zu sein (siehe Kap. 5.1.2.3; 5.3.2.2).

³⁹ Vgl. zudem eine Zusammenstellung der späthallstatt- bis mittellatènezeitlichen Granulationsarbeiten bei Echt u. Thiele 1994, 126 Abb. 2.

⁴⁰ Siehe zu weiteren Beispielen auch bei Martin-Kilcher u. a. 2008, 97 ff.

Eine größere Menge von gleichgroßen, regelmäßig geformten Granalien kann durch Aufschmelzen von Metallschnipseln hergestellt werden, die wechselweise mit Holzkohlepulver in einen Tiegel geschichtet wurden (Wolters 1986, 47; Nestler u. Formigli 1993, 50). Benötigt man nur eine geringe Anzahl von Granalien, kann man diese auch über die Einzelherstellung gewinnen, indem kleine Metallschnipsel auf einer Holzkohle geschmolzen werden, wobei sie sich in flüssigem Zustand durch die Oberflächenspannung zu einer Kugel zusammenziehen. Für die hallstattzeitlichen Anhänger aus Ins und Jegenstorf musste eine große Anzahl gleichmäßiger Granalien produziert werden. Diese wurden daher vermutlich in einem Tiegel mit Holzkohle hergestellt, ein Vorgang, wie er entsprechend für die etruskischen Objekte vermutet wird. Die jeweils geringe Anzahl der an latènezeitlichen und provinzialrömischen Schmuckfunden verwendeten Granalien lässt dagegen an eine Einzelherstellung denken.

Um gleichmäßig runde Granalien einzeln anzufertigen, müssen beispielsweise von einem Draht abgemeißelte Stücke in einer halbrunden Vertiefung einer Holzkohle geschmolzen werden. Auf einer ebenen Unterlage geformte Granalien weisen dagegen eine plane Unterseite auf. Diese Art der Einzelherstellung größerer Granalien ist nicht nur mit modernen Mitteln der Lötpistole, sondern auch mit einem Blasrohr und glühender Holzkohle einfach durchführbar. Eine postulierte Möglichkeit der Granalienherstellung durch das Ausgießen flüssigen Metalls in Wasser (Eilbracht 1999, 40f.) erzeugt dagegen höchstens einzelne, zufällige Kügelchen, ihre Größe und Form lässt sich jedoch nicht vorher bestimmen (siehe auch Wolters 1986, 45). Die Herstellung von einzelnen größeren Granalien durch das Erhitzen auf einer Holzkohle ist in jedem Fall verlässlicher und erfordert keinen übermäßigen Materialaufwand. Damit ist das Ausgießen in Wasser sicherlich zu keiner Zeit eine Methode zur Herstellung von Granalien zur Granulation gewesen⁴¹.

Die möglichen Varianten der Anordnung von Granalien auf ihrem Träger werden von J. Wolters (1986, 11ff.) ausführlich beschrieben und klassifiziert. Er differenziert dabei in Einzel-, Linien-, Flächen- und dreidimensionale Traubengranulationen. Unter den untersuchten Funden treten sowohl einzelne Granalien auf einem Rezipienten aus Draht

⁴¹ Die auf mehrfach zitierte schriftliche Überlieferungen, z. B. die des Goldschmieds Vannoccio Biringuccio des 16. Jhs. (Wolters 1986, 279 Q 30; Nestler u. Formigli 1993, 41), zurückgehende Annahme, dass die Granalien durch das langsame Ausgießen der Metallschmelze in ein mit Wasser gefülltes Gefäß hergestellt werden könnten und dieser Vorgang durch das Umrühren mit einem Besen oder durch das Gießen durch Siebe noch verbessert werden würde, geht sicher von einer Missdeutung dieser Textstellen aus. Die Schilderungen (Textstellen zusammengestellt bei Wolters 1986, 45) beziehen sich sicher nicht auf eine gezielte Herstellung von Zier-Granalien. Ähnlich zu zeitgenössischen Schilderungen des Georg Agricola (Buch VII, 216; Buch X, 384f.) ist wohl vielmehr das Ausgießen der Metallschmelze bei der Herstellung von Legierungen gemeint, um zunächst Granulat, d. h. Stückchen, der reinen Metalle durch den Scheideprozess zu gewinnen (nicht zu verwechseln mit Granalien zu Zierzwecken!). Gleiches gilt sicher auch für die erwähnte ältere, antike Textstelle bei Plinius d. Ä. (nat. 34, 95). Die Herstellung der Granalien zur Granulation wird dagegen auch bei Biringuccio über das Schmelzen von Drahtstückchen in einem mit Lagen von Kohle befüllten Tiegel durchgeführt (siehe Wolters 1986, 279 Q30).

In Analogie zur traditionellen Granalienherstellung in Indien (Untracht 2008, 293) kann sich die Verwendung von Wasser, einem Besen zum Umrühren und Sieben auch auf andere Tätigkeiten während der Granalienherstellung beziehen. Dort wird der Tiegel mit Holzkohle nach dem Schmelzen der Granalien abgekühlt, mit Wasser befüllt und der Inhalt umgerührt, damit sich die fertigen Granalien am Boden des Tiegels absetzen. Danach werden die Granalien durch Siebe gegeben, um sie der Größe nach zu sortieren.

(Taf. 145,1; 147; 149) als auch Liniengranulation auf einem zylinderförmigem Hohlkörper (Taf. 171,5; 172,6), mehrere Granalien auf gewölbtem bzw. drahtförmigem Träger (Taf. 130,6) und Traubengranulation (Taf. 143) auf. Eine Vielzahl von Granalien wurde lediglich an den beiden hallstattzeitlichen Goldanhängern (Taf. 32; 36) benutzt.

Nicht jede Form der Granalienanordnung lässt sich mit allen Verbindungsmethoden in gleicher Weise erfolgreich durchführen. Dadurch ist eine unterschiedliche Anordnung der Granalien nicht nur an die Modeströmungen der jeweiligen Zeit gebunden, sondern steht sicher in direktem Bezug zu den technischen Voraussetzungen, wie dem Wissen um die Verbindungstechniken und die damit verknüpften Materialeigenschaften, aber auch zu den zur Verfügung stehenden Materialien.

Zur Befestigung von Filigrandrähten und Granalien stehen zunächst einmal alle unter den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 aufgeführten thermischen Bindeverfahren zur Diskussion. Das Fügen von kleinen Zierelementen erfordert jedoch grundsätzlich eine genauere Temperaturkontrolle, da die feinen Drähte oder Granalien schneller aufschmelzen als dies an Fugen zur Verbindung von Konstruktionsteilen der Fall ist.

Ohne gezielte Metallanalysen an Verbindungs- oder Kontaktstellen gibt es an den Fundstücken nur wenige optische Hinweise auf die angewandte Technik zum Aufbringen von Granalien.

Ein Hinweis auf das Hartlöten mit metallischem Lötgut wären deutlich erkennbare Lötspuren am Werkstück. Die Übergänge zwischen den Verbindungsteilen wären flächig mit Lot ausgefüllt und die Kontaktstelle zwischen Granalie und Trägerobjekt vom Lot leicht umhüllt. Zudem kann sich die Kontaktstelle farblich von den Verbundteilen unterscheiden.

Auf den Einsatz eines Reaktionslotes kann ein charakteristischer schmaler "Hals" zwischen der Granalie und dem Trägerobjekt deuten. Dieser Hals entsteht durch die beim Reaktionslöten sehr kleine Verbindungsstelle zwischen der Granalie und dem Träger. An der Nahtstelle können Kupfer oder seine grünen Korrosionsprodukte optisch sichtbar sein, die jedoch - im Falle von Silber - in gleicher Weise auf die Verwendung einer Silberlotlegierung deuten können, da diese ebenfalls mehr Kupfer als die Silberlegierungen der zu verbindenden Teile enthalten würde. Beim Reaktionslöten behalten die Granalien üblicherweise ihre kugelige Form, auch am Übergang zum Träger oder zur nächsten Granalie, so dass sie wie aufgeklebt erscheinen können. Da diese Verbindungen - insbesondere bei kurzer Reaktions- und damit Diffusionszeit - mechanisch nicht besonders stabil sind, ist ein weiteres Merkmal für dieses Verfahren das Fehlen einzelner Granalien. Reaktionsgelötete Granalien, die sich vom Träger gelöst haben, hinterlassen dunkle, leicht "kraterartig" sich hochwölbende Stellen oder "Näpfchen" mit rauer, körniger Oberflächenstruktur. Diese werden vornehmlich bei hoher Vergrößerung sichtbar (siehe Versuche Abb. 21), besonders deutlich aber im REM (Duczko 1985, 28; Andersson 1995, 138 ff. Abb. 115 - 118). Darüber hinaus ist auch eine blasige Oberflächenstruktur im weiteren Umfeld um die Granalien herum für das Reaktionslöten charakteristisch.

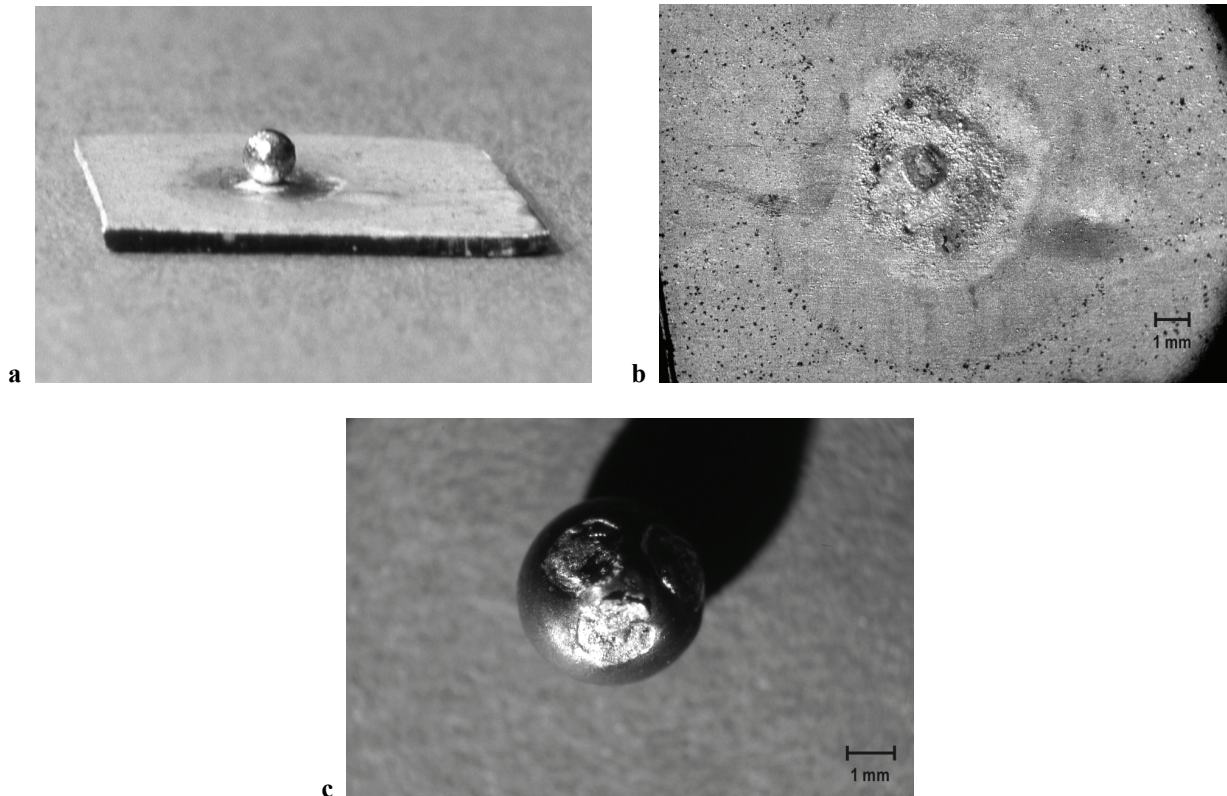


Abb. 21: "Abdrücke" mechanisch abgelöster Granalien, die modern mit Reaktionslot gelötet wurden.

a: auf Blechträger aufgelötete Einzelgranalie (siehe auch unten Abb. 22,a-b).

b: "Abdruck" der von bei a abgebildeten, abgelösten Granalie.

c: "Abdrücke" von drei Granalien an einer von einer Traubengranulation abgelösten obersten Granalie.

Eine Sinterverbindung würde keine sichtbaren Lotspuren hinterlassen, lediglich eine punktuelle Verbindungsstelle von Granalie zum Rezipienten wäre zu erkennen.

Moderne Schweißverbindungen weisen keinen ausgeprägten Hals zwischen Granalie und Träger auf, der Übergang ist breitflächig und die Granalie erscheint unten wie abgeplattet (Wolters 1986, 39 Abb. 7).

Infolge von Überhitzung - wenn der Zeitpunkt nicht exakt abgepasst werden konnte - können die Granalien jedoch bei allen Verfahren einen geschmolzenen Übergang zum Träger aufweisen, bis zum fast vollständigen Zusammenschmelzen benachbarter Granalien.

J. Wolters (1986, 56 ff.) beschreibt ausführlich alle Verfahren unter Berücksichtigung ihrer Anwendbarkeit in der Antike und kommt zu dem Schluss, dass unter antiken Bedingungen lediglich das Reaktionslöten und das Hartlöten mit metallischen Lotlegierungen zur Granulation durchführbar waren (ebd. 67). Spuren metallischen Lotes seien generell bei freistehenden Granulationsarbeiten zu beobachten, da diese durch die konstruktiv bedingt stärkere mechanische Beanspruchung nur unter Verwendung von metallischem Lot ausführbar seien (ebd. 35). So seien metallische Lotspuren in Nord- und Mitteleuropa von der späten Hallstattzeit bis zum Ende der römischen Kaiserzeit an diversen Fundstücken zu finden. Er

nennt in diesem Zusammenhang auch den Anhänger aus Jegenstorf und die vollständig erhaltene Fibel aus Sinsheim-Dühren.

Weder das Schweißen noch das Sintern im offenen Holzkohlefeuer sieht J. Wolters (1986, 66 f.) dagegen als antike Verfahren zum Granulieren an. Um ein Schmelzen der Granalien zu vermeiden, sei für beide Techniken eine exakte Temperaturkontrolle erforderlich, die unter antiken Bedingungen nicht durchführbar gewesen sei. Das Sintern ohne Anschmelzen der Oberfläche sei zudem nur bei hochkarätigen Goldlegierungen anwendbar. Eine punktuelle Verbindung von Granalien oder Filigrandrähten auf einen Rezipienten mittels Schweißen und Sintern im Holzkohlefeuer schließt er daher vor der Erfindung von Lötlampen aus.

Dem widersprechend erbrachten analytische Untersuchungen (EDX) von R. Echt und W.-R. Thiele (1987) an etruskischem Goldschmuck des 7. bis 6. Jhs. v. Chr. nicht nur mit Reaktionslot aufgelötete, sondern auch aufgesinterte Granalien. An zwei aus hochwertigen Gold-Silber-Legierungen bestehenden Ohringen aus Populonia und Asciano, die mit Filigrandrähten und Einzelgranulation verziert sind, wurde nur in den Übergangsbereichen zu den Zierelementen und in Lotresten danebenliegender Bereiche ein Kupfergehalt von ca. 1 % gemessen, so dass ein Reaktionslöten nahe liegt (ebd. 215 ff. mit Taf. 34,5)⁴².

Das Fehlen von Kupfer an den Verbindungsstellen zusammen mit einer körnigen Struktur der Übergangsbereiche von zwei mit Flächengranulation verzierten Fibeln aus Comeana und Vetulonia führte die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass an diesen dagegen das Verfahren des Sinterns angewandt wurde (Echt u. Thiele 1987, 218 f.). Die Granalien sollen dabei mithilfe einer Mischung aus Feilspänen des Grundwerkstoffes und einem organischen Kleber unter der Schmelztemperatur der Verbundteile aufgesintert worden sein. Das gezeigte Erscheinungsbild (ebd. Taf. 35) weist jedoch auf der Unterseite angeschmolzene Granalien auf, weshalb meines Erachtens ein Schweißen als Verfahren, aber auch eine Überhitzung während jeder thermischen Verbindungstechnik nicht auszuschließen sind. Im Gegensatz zu der von den Autoren geäußerten Überlegung, würde das Sintern nach J. Wolters eine noch exaktere Beobachtung als das Schweißen oder Löten erfordern. R. Echt und W.-R. Thiele (ebd. 220) vermuten dagegen, dass die visuelle Temperaturkontrolle beim Sintern wesentlich unkritischer gewesen wäre als beim Löten. Sicher ist die zur Verfügung stehende Temperaturspanne größer als beim Löten, aber die optische Kontrolle des Sinterprozesses scheint im Holzkohlefeuer schwerer vorstellbar⁴³, so dass die praktikable Durchführbarkeit unter antiken Bedingungen zu bezweifeln ist. Der Nachweis des Sinterns erscheint daher - zusammen mit dem

⁴² Aufgrund des von ca. 1,2 auf ca. 2,6 % gestiegenen Kupfergehaltes in den Übergangsbereichen der Granalien auf einem frühlatènezeitlichen Haarring aus Worms-Herrnsheim wurde ebenfalls ein Reaktionslot angenommen (Echt u. Thiele 1994, 60).

⁴³ Demgegenüber scheint der Moment des Lötens besser beobachtbar, da der stattfindende Lötprozess durch ein leichtes "Spiegeln" an der Oberfläche angezeigt wird. Um den Lötzeitpunkt noch besser abzuschätzen, verwiesen G. Nestler u. E. Formigli (1993, 85 f.) auf die Möglichkeit, dass neben die zu lötenden Werkstücke andere Materialien gelegt worden sein könnten, deren Schmelzpunkte durch empirische Beobachtung bekannt gewesen sein dürften, wie etwa ein Stück des verwendeten Flussmittels oder auch ein mit derselben Reaktionslotmischung bestücktes Blech.

Erscheinungsbild der Granalien - nicht überzeugend. Dennoch bleibt eine Erklärung für den analytischen Befund offen.

Während erhöhte Kupfergehalte an den Nahtstellen von granalienverzierten Goldgegenständen auf den Einsatz eines Reaktionslotes verweisen (siehe Kap. 4.3.2.2), liegen darüber hinaus - zusätzlich zu den eben dargelegten - weitere Analysen an vorgeschichtlichen Goldfunden vor, die aufgrund der an keiner Stelle variierenden Goldlegierungen zu Interpretationen des Sinterns oder Schweißens von Granalien führten (z. B. Duval u. a. 1989, 5).

In allen Fällen handelt es sich - dem Erscheinungsbild der abgebildeten Stücke nach zu urteilen - um angeschmolzene Granalien. Dies muss nicht a priori zu der Deutung von aufgeschweißten Granalien führen, da auch jeder Lötvorgang solch kleiner Zierelemente durch ungenaue Temperaturkontrolle zu diesem Aussehen führen kann. Bei mehreren Granalien, die neben- oder miteinander verlötet werden, ist die Gefahr des Anschmelzens zudem größer als wenn es sich nur um das Aufbringen einzelner Granalien handelt.

Vorangegangene Lötverbindungen könnten durch oberflächenanreichernde Prozesse oder durch die bei Überhitzung stattgefundenen Schmelzvorgänge, die das Material als einheitlich erscheinen lassen, überdeckt worden sein. Darüber hinaus könnte das Kupfer eines Reaktionslotes durch wiederholtes Erhitzen des Werkstücks sehr weit in den Grundwerkstoff diffundiert sein, so dass es analytisch nicht mehr an den Kontaktstellen hervortritt. So ziehen auch R. Echt u. W.-R. Thiele (1994, 66) bei der analytischen Interpretation anderer Fügenähte die Möglichkeit in Betracht, dass bei gleichbleibender Materialzusammensetzung eine Reaktionslötung vorliegen kann, bei welcher das Kupfer bis zum Konzentrationsausgleich in die Matrix eindiffundiert ist. Dies könnte auch bei Granulationen als Erklärung dafür dienen, dass in allen bisherigen Studien mit Oberflächenanalysen ein Reaktionslot nur bei Einzelgranulationen nachweisbar war, Messungen an Flächengranulationen jedoch immer zu der Interpretation eines Sinterns oder Schweißens führten. Hier können allerdings nur Querschliffe oder Bohrproben an den betreffenden Stellen weitere Erkenntnisse bringen.

Wie schwierig es ist, ein Reaktionslot allein mit Oberflächenanalysen nachzuweisen, führen Messungen an einer mit Filigrandrähten und Granalien verzierten Goldfibel des 4. bis 3. Jhs. v. Chr. aus Italien eindrücklich vor Augen (Duval u. a. 1989, 8). Während an keiner Stelle an der Oberfläche Unterschiede in der Legierungszusammensetzung gefunden werden konnten, wurde im Lötbereich einer antik gebrochenen Lötstelle ein von 0,5 auf 1 % angestiegener Kupfergehalt festgestellt. Diesen führen die Autoren auf die Verwendung eines Reaktionslotes zurück. Mit diesem Beispiel wird meines Erachtens besonders deutlich, dass ein Reaktionslot an Objekten, an welchen mehrfach gelötet wurde, nicht mehr zwingend an der Oberfläche messbar sein muss.

Die schwierige analytische Nachweisbarkeit der thermischen Techniken zum Aufbringen von Granalien führte bei anderen Untersuchungen dazu, dass die Löttechniken allein anhand optischer Merkmale, mit Hilfe von REM-Aufnahmen, eingeschätzt wurden. So kamen die umfangreichen Studien von K. Andersson (1995) an Goldschmuck der römischen Kaiserzeit

aus Skandinavien und von W. Duczko (1985) an wikingerzeitlichem Silberschmuck aus Birka (darunter eine freistehende Granulation an einem Goldberlock des 1. Jhs. n. Chr. (ebd. 71)) zu dem Ergebnis, dass in den überwiegenden Fällen Reaktionslot für die Granulationsarbeiten angewandt wurde. Während die bei W. Duczko abgebildeten REM-Aufnahmen die für diese Technik typischen feinen "Hals-Verbindungen" aufweisen, wirken einige der bei K. Andersson abgebildeten Granulationen dagegen wie von metallischer Lotmatrix umgeben (z. B. Andersson 1995, 135 Abb. 109; 136 Abb. 112). Das Fehlen von Granalien auf anderen Stücken mit demselben Erscheinungsbild führt er jedoch auf ein verwendetes Reaktionslot zurück (ebd. 138 Abb. 115). Ebenfalls mithilfe optischer Untersuchungen kam B. R. Armbruster (2002, 175) dagegen für Filigran- und Granulationsarbeiten an wikingerzeitlichem Goldschmuck aus Haithabu zu dem Schluss, dass angesichts deutlich erkennbarer Lotmassen in den meisten Fällen von einer Goldlotlegierung auszugehen ist.

Anhand der aufgeführten Beispiele zur Untersuchung von Löttechniken zur Granulation wird deutlich, wie unterschiedlich das optische Erscheinungsbild interpretiert werden kann. Nur wenn die Ergebnisse der optischen Sichtanalyse mit Metallanalysen in Einklang stehen, vermögen sie eindeutig zu überzeugen. Insgesamt scheint für den Goldschmuck der hier behandelten Zeiträume die bevorzugte Technik zur metallischen Bindung von Granalien das Reaktionslöt gewesen zu sein, unabhängig von der chronologischen und kulturellen Einordnung.

Ganz anders ist der Forschungsstand für granalienverzierte Silberobjekte. Untersuchungen zu deren Löttechnik an Funden der vorrömischen Eisenzeit und der römischen Kaiserzeit - auch außerhalb Mitteleuropas - wurden bislang nicht durchgeführt.

Zieht man die Untersuchungen an Material jüngerer Zeitstellung zum Vergleich heran, sind außer den bereits erwähnten Studien von W. Duczko vor allem die Arbeiten von B. Bühler (2003; 2004a; 2004b) zu hochmittelalterlichen Silberfunden aus dem Schatzfund von Fuchsenhof in Oberösterreich hervorzuheben. Dort wurden die optischen Methoden durch einzelne Metallanalysen (EDX im REM), auch an metallographischen Proben, ergänzt. Die zerstörungsfreien Oberflächenanalysen konnten dabei Hinweise zur Charakterisierung der Löttechnik liefern, eine definitive Unterscheidung zwischen Lotlegierungen und Reaktionslot war jedoch nicht möglich, so dass die Interpretationen immer mit einem Fragezeichen versehen wurden. Aus den Ausführungen von B. Bühler ergibt sich aber die Tendenz, dass für die Lötverbindungen der verschiedenen Schmuckstücke sowohl Silber-Kupfer-Lotlegierungen als auch Reaktionslot verwendet wurde. Während die Messungen an den feinen Granulationen mit gestiegenen Kupfergehalten von beispielsweise 6 auf 12 % auf ein Reaktionslot hinweisen, wird für die Verbindung von größeren Granalien und vor allem für diverse Montageverbindungen die Verwendung von Silber-Kupfer-Lotlegierungen vermutet (Bühler 2004a, 407). Auch die Messungen an einem metallographischen Schliff durch die Traubengranulation auf einem Fingerring deuten meines Erachtens - zusammen mit dem optischen Erscheinungsbild - auf die Verwendung eines Reaktionslotes, da der Kupfergehalt in

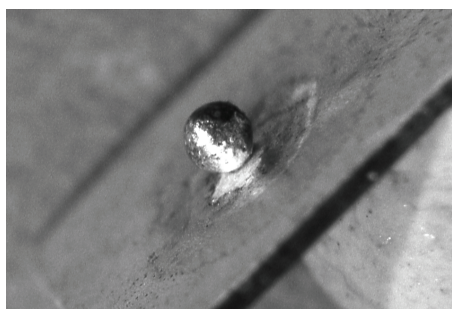
den Lotbereichen lediglich von ca. 3 auf 12 % gestiegen ist (Kaufmann 2004, 370), zu wenig um von einem metallischen Lot sprechen zu können.

Diese offensichtlich bereits gezielte Verwendung unterschiedlicher Löttechniken für Montageverbindungen und größere Zierelemente auf der einen Seite sowie feinere Granulationsarbeiten auf der anderen Seite scheint sich jedoch erst für Schmuckarbeiten im Mittelalter abzuzeichnen.

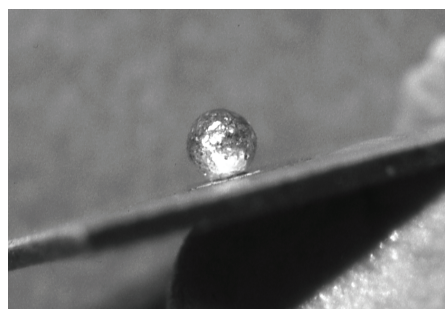
Für moderne Granulationsarbeiten werden vorzugsweise Gold- und Silberlegierungen mit einem hohen Feingehalt benutzt und die metallische Bindung wird entweder mit einem Reaktionslot oder mithilfe eines Schweißverfahrens durchgeführt, wobei eine feine Gasflamme zur Verfügung steht und der Moment des Aufschweißens genau abgepasst werden kann. Lediglich bei einzelnen, größeren Kugeln wird auch metallisches Hartlot eingesetzt, eine größere Anzahl kleinerer Granalien würde dagegen im Lot versinken.

Um die Durchführbarkeit der in der Antike möglichen Lötverfahren mit unterschiedlichen Silberlegierungen zu überprüfen und die optischen Erscheinungsbilder zu vergleichen, wurden experimentell einzelne und mehrere Granalien auf planen Blechträgern aufgelötet, wobei jeweils Ag 970 und Ag 935 verwendet wurde (Abb. 22; 23). Als Lote wurden, in gleicher Weise wie für die bereits in Kap. 4.3.2 geschilderten Versuche, ein Reaktionslot aus Malachit, Gelatine und Borax und ein metallisches Lot aus Ag 790 verwendet. Zusätzlich kamen auch moderne Lotlegierungen unterschiedlicher Schmelzbereiche zum Einsatz.

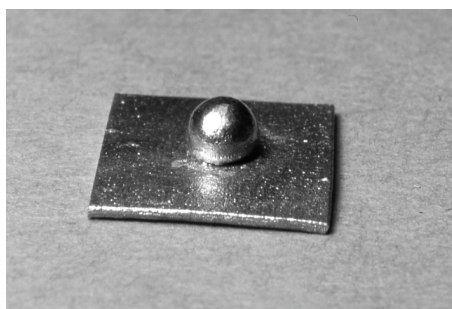
Bei Verwendung von Ag 970 lassen sich erwartungsgemäß einzelne Granalien auf einem planen Träger sowohl mit Reaktionslot als auch mit metallischem Lot aufbringen. Das optische Erscheinungsbild der mit Reaktionslot gelöteten Granalien weist bei runden Granalien lediglich punktuelle Verbindungsstellen in Form sehr feiner Hälse auf (Abb. 22,a-b; Abb. 24,c-d). Werden abgeflachte Granalien verwendet, sind fast keine Übergänge zwischen Granalie und Blechträger zu erkennen (Abb. 22,c). Das Reaktionslöten von Granalien mit Ag 935 (Abb. 22,d-e) ist deutlich schwieriger als die vergleichbaren Versuche zum Schließen von Blechhülsen (siehe Kap. 4.3.2). Der Moment des Lötens und der des Schmelzens der Verbundteile liegen sehr viel dichter beieinander als bei einer höherschmelzenden Legierung, wodurch eine größere Gefahr besteht, dass die Granalien entweder bei Überhitzung schmelzen (Abb. 22,f) oder sich sofort danach wieder lösen, weil sie zu früh aus der Hitze genommen wurden. Wie eine ganze Reihe weiterer Versuche zeigten, besteht die Gefahr des Überhitzens jedoch auch bei Ag 970, besonders wenn mehrere Granalien aufgebracht werden sollen.



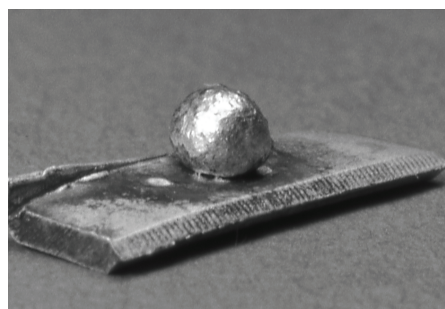
a: Ag 970 mit Reaktionslot



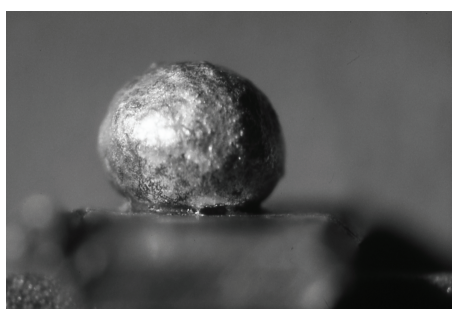
b: Ag 970 mit Reaktionslot



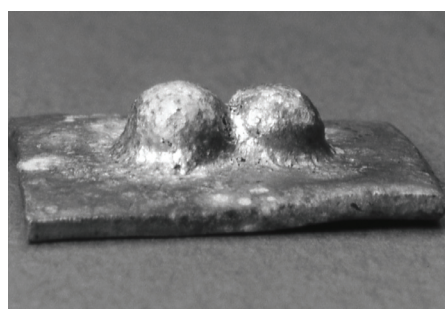
c: Ag 970 mit Reaktionslot



d: Ag 935 mit Reaktionslot



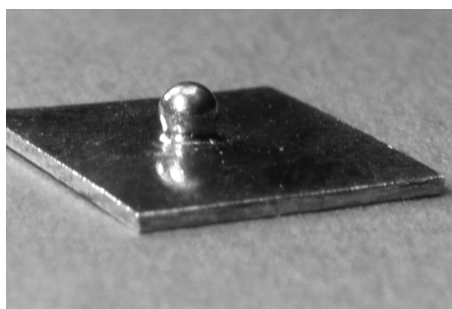
e: Ag 935 mit Reaktionslot



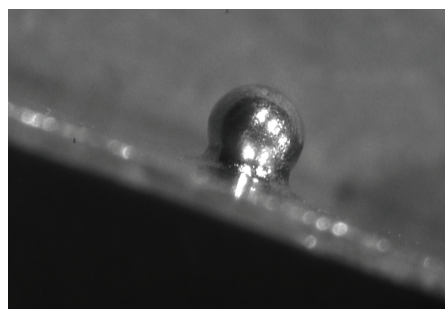
f: Ag 935 mit Reaktionslot

Abb. 22: Versuche zum Löten von Granalien verschiedener Silberlegierungen mit Reaktionslot; Granaliendurchmesser ca. 1 -2 mm; verwendete moderne Hilfsmittel und Material: Gasbrenner, Lötpistole, Holzkohle, Reaktionslot aus Malachit, Gelatine und Borax.

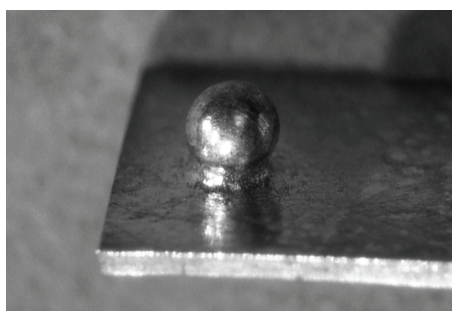
Bei Verwendung von metallischen Lotlegierungen zeigte sich im Vergleich zum Reaktionslöten mehrheitlich ein deutlich sichtbarer Hals (Abb. 23,a-e). Setzt man jedoch nur sehr wenig Lot ein, ist bei einer Einzelgranulation auch ein feiner Hals entsprechend zum Reaktionslöten möglich (Abb. 23,f).



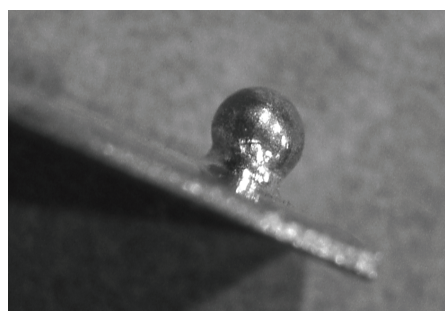
a: Ag 970 mit Silberlot Ag 790



b: Ag 970 mit Silberlot Ag 790



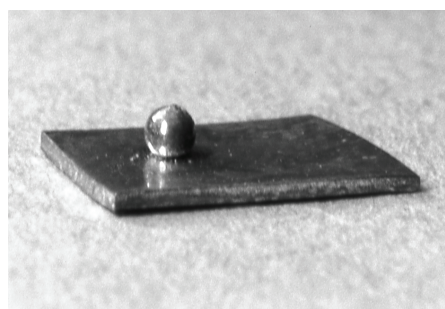
c: Ag 970 mit modernem, schnell fließendem Silberlot



d: Ag 970 mit modernem, schnell fließendem Silberlot



e: Ag 935 mit modernem, schnell fließenden Silberlot

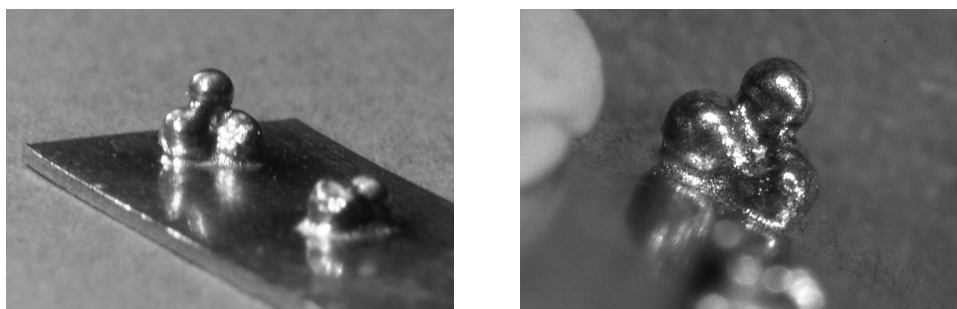


f: Ag 935 mit modernem, streng fließenden Silberlot

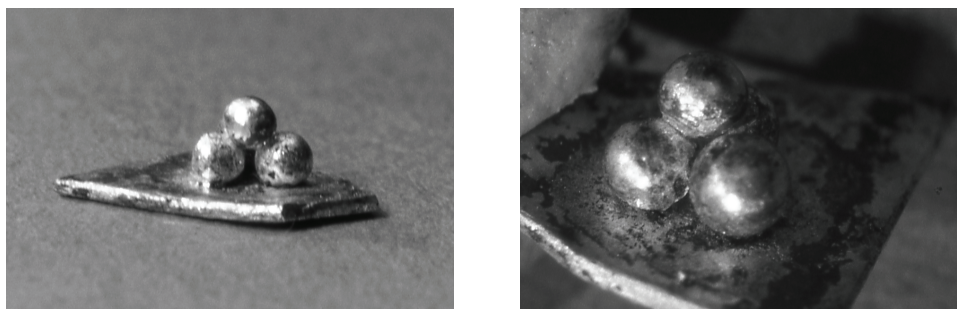
Abb. 23: Versuche zum Löten von Granalien verschiedener Silberlegierungen mit metallischem Lot; Granaliendurchmesser ca. 1 mm; verwendete moderne Hilfsmittel und Material: Gasbrenner, Lötpistole, Holzkohle, Ag 790 und moderne Ag-Lotlegierungen mit Zn (Liquidustemperaturen 685 und 740 °C).

Anders verhält es sich jedoch bei wiederholten Lötvorgängen an einem Objekt und beim Löten mehrerer Granalien aufeinander. Granalien zu einer Traubengranulation zu verlöten, gelang deutlich besser mit Reaktionslot (Abb. 24,c-d) als mit metallischem Lot (Abb. 24,a-b). Das optische Erscheinungsbild weist bei Verwendung von metallischen Lotlegierungen sichtlich ausgefüllte Zwischenräume auf, die sich kaum vermeiden lassen. Die feinere Dosierbarkeit des Reaktionslötens erweist sich gerade bei der Traubengranulation als klarer Vorteil.

Überträgt man diese Ergebnisse auf die Antike, wird selbst ohne weitere Experimente mit dem Holzkohlefeuer klar, dass Granalien auf niedriger schmelzenden Silberlegierungen sicherlich nicht mit Reaktionslot gelötet wurden ohne anzuschmelzen. Um feine Zierelemente zu verlöten, wurden daher sicher immer hochwertige Silberlegierungen verwendet. Bereits die wenigen im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen scheinen dies zu bestätigen.



a u. b: Ag 970 mit modernen, abgestuft schmelzenden Silberlotlegierungen



c u. d: Ag 970 mit Reaktionslot

Abb. 24: Versuche zum Löten mehrerer Granalien aus Ag 970 mit Reaktionslot und mit metallischem Lot; Granaliendurchmesser ca. 1 mm; verwendete moderne Hilfsmittel und Material: Gasbrenner, Lötpistole, Holzkohle, Reaktionslot aus Malachit, Gelatine und Borax und moderne Ag-Lotlegierungen mit Zn (Liquidustemperaturen 685, 710 und 740 °C).

Das optische Erscheinungsbild ist nicht immer ausreichend, um eindeutig zwischen metallischem Lot und Reaktionslot differenzieren zu können. Mit Reaktionslot gelötete Granalien können bei Überhitzung stellenweise anschmelzen und breitere Hälse aufweisen. Umgedreht kann bei Verwendung einer lediglich geringen Menge an metallischem Lot ein entsprechend feiner Hals erreicht werden. Einzelne mit metallischem Lot aufgelötete Granalien müssen also nicht unbedingt immer in der Lotmatrix "schwimmen". Allein anhand optischer Merkmale der Übergänge zwischen Granalie und Träger kann also keine regelhafte Unterscheidung vorgenommen werden. Um mehrere Granalien aufeinander zu löten, ist der Einsatz von metallischen Loten jedoch unwahrscheinlich, da nicht nur Lotlegierungen verschiedener Schmelzbereiche verwendet werden und damit zur Verfügung gestanden haben mussten, sondern auch die Anwendung des Reaktionslötens die praktikablere Variante ist⁴⁴.

Im Umkehrschluss müssen also wegen der erforderlichen hohen Schmelztemperaturen alle mit Reaktionslot gelöteten Silbergranulationen - anders als beim Löten von Blechhülsen - aus hochwertigen Silberlegierungen angefertigt worden sein.

⁴⁴ Die antiken Lötbedingungen - Holzkohlefeuer und Blasrohr - sprechen ebenfalls für das Reaktionslöten als die geeignetere Variante. Ethnographische Parallelen liegen mit den im traditionellen indischen Goldschmiedehandwerk durchgeführten Granulationsarbeiten vor, in welchem diese Lötarbeit üblicherweise über dem Holzkohlefeuer und mit einem Blasrohr ausgeführt wird und damit mit antiken Bedingungen vergleichbar erscheint. Bei den indischen Granulationen soll zwar vereinzelt metallisches Lot zum Einsatz kommen, aber auch dort wird offensichtlich das Reaktionslöten bevorzugt angewandt (Untracht 2008, 294). Technik und Optik sprechen auch für die Antike und insbesondere für das Auflöten einer großen Anzahl an Granalien für die Anwendung des Reaktionslötens.

Dass Granalien auch bei Anwendung des Reaktionslötens in metallischer Matrix "verschwinden" können, wenn überhitzt oder zuviel Reaktionslot verwendet wird, wurde bereits von anderen Autoren, welche Experimente durchgeführt haben, betont (z. B. Hoffmann u. Davidson 1965, 49; Binggeli 2003, 36) und kann durch die eigenen Erfahrungen bestätigt werden. Dabei ist die Gefahr des Verschmelzens nicht nur abhängig von der Hitzezufuhr und der Anordnung und Größe der Granalien, sondern auch von der verwendeten Edelmetalllegierung⁴⁵.

Schließlich muss auch die in Kap. 4.3.2.2 angesprochene Variante des Reaktionslötens mit zugefügtem Metall - in Form von Feilspänen oder kleinen Stückchen - in Betracht gezogen werden. Diese besitzt in ihrer technischen Durchführung dieselbe Eigenschaft wie ein nur aus einer Kupferverbindung bestehendes Reaktionslot, kann jedoch - wie ein weiterer Versuch zeigte - deutliche Materialbrücken aufweisen, die beim Betrachten den Eindruck eines metallischen Lotes hinterlassen (Abb. 25).

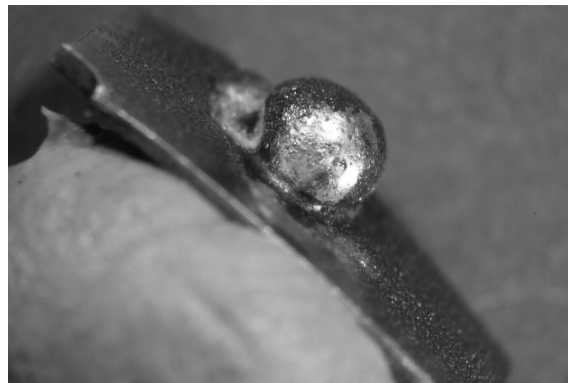


Abb. 25: Versuch zum Löten einer Granalie mit Reaktionslot sowie hinzugefügten Feilspänen derselben Silberlegierung Ag 970; verwendete Hilfsmittel wie oben.

Meines Erachtens liegt bislang - im Gegensatz zu Montagelötungen - kein einziger überzeugender Nachweis für die Verwendung von metallischen Lotlegierungen sowie das Sintern oder Schweißen zur thermischen Verbindung von Granalien an vor- und frühgeschichtlichen Schmuckobjekten vor. Um diesen zu erbringen, müssten nicht nur alle Verfahren und Varianten unter antiken Bedingungen praktisch nachzuvollziehen sein, sondern auch Serienuntersuchungen von experimentell hergestellten Granulationen durchgeführt werden, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anordnung von Granalien. Bisher wurde diese bereits von J. Wolters (1986, 35 f.) hinsichtlich praktischer Experimente geforderte Unterscheidung der Granulationen - Einzel-, Flächen- und dreidimensionale Traubengranulation - nicht berücksichtigt. An archäologischen Fundstücken kann zudem ein

⁴⁵ 1968 hielten H. Hoffman und V. von Claer das Schweißverfahren als charakteristisch für die etruskischen Goldschmiede, da Filigrandrähte häufig von einer "Verbindungsmaße umflutet" erschienen (ebd. 14). Da mit ihrer Definition des Schweißens jedoch das heute unter Reaktionslötens in die Forschung eingegangene Verfahren gemeint war (ebd. 229 f.), ist die Beobachtung von einzelnen Zierelementen, die in metallischer Matrix zu schwimmen scheinen, wohl ebenfalls auf eine Überhitzung zurückzuführen.

Nachweis nur über "zerstörende" Analyseverfahren erreicht werden. Mit zerstörungsfreien Methoden haben die Interpretationen der Verbindungstechniken zur Granulation nur hypothetischen Wert.

4.4.6 Vergoldung und Versilberung

Eine weitere Methode der Verzierung von Schmuckstücken ist das Aufbringen einer chemisch edleren Metallschicht. Um die Oberfläche von Silberschmuck zu veredeln, waren diverse Vergoldungsverfahren in der Antike bekannt.

Ausgangsmaterialien waren Goldblech mit einer Stärke von ca. 0,1 bis 2 mm, Goldfolie mit einer Stärke von ca. 4 µm bis einige 0,01 mm sowie Blattgold mit Stärken von 0,5 µm bis mehrere µm (Hammer u. Voß 1998b, 315f.; 320; Wolters 2006a, 179; 184). Die Weiterverarbeitbarkeit und die Dauerhaftigkeit der vergoldeten Flächen ist dabei nicht nur von der verwendeten Goldmaterialstärke, sondern auch von der Anwendung des Bindeverfahrens abhängig.

Das einfachste und älteste Verfahren ist die Plattierung, ein Sammelbegriff für das mechanische Aufbringen, Druckpolieren, Aufkleben oder Auflöten von Goldblechen oder Goldfolien.

Das mechanische Verbinden durch das Einwickeln mit Goldfolien - basierend auf der großen Duktilität des Metalls - ist bereits an Funden der Bronzezeit des Vorderen Orients nachgewiesen (Oddy 1993, 172). Mechanische Methoden durch das Umschlagen und Umbördeln einer Goldfolie sind auch in der späten Hallstatt- und frühen Latènezeit Mitteleuropas üblich, um Metalloberflächen zu vergolden. Als Beispiele für goldplattierte Schmuckgegenstände der vorrömischen Eisenzeit seien etwa Eisenfibeln aus dem späthallstattzeitlichen Grab von Vix im französischen Burgund (Eluère u. a. 1989, 27) oder aus einem frühlatènezeitlichen Grab vom Üetliberg im Schweizer Kanton Zürich (Eluère 1987, 138 Abb. 97) genannt.

Ein im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchter mittellatènezeitlicher Fingerring aus Münsingen-Rain (Kat. 22,15; Taf. 70,6) weist eine auf seiner Zierplatte eingelegte Goldfolie auf. Die Ränder der Goldfolie sind dabei durch das Eindrücken mit einer Punze mechanisch auf der Zierplatte befestigt worden (eventuell unterstützt durch einen Klebstoff oder Kitt), so dass man hier auch von einer Art Folien-Tauschierung sprechen könnte.

Folienvergoldung mit Hilfe eines Kittstoffes (Wollwachs) ist beispielsweise an dem sogenannten Kultbäumchen aus Manching nachgewiesen, welches in die Mitte des 3. Jhs. v. Chr. datiert wird (Raub 1998; Thomas 2003; Baumer u. Koller 2003; Wolters 2006a, 185)⁴⁶.

⁴⁶ Mit einer Schichtdicke von durchschnittlich 0,01 - 0,06 mm war das verwendete Ausgangsmaterial zur Vergoldung des hölzernen Stammes und wohl auch der Blätter aus Bronze per definitionem zwar dünne Goldfolie, die Durchführung der Vergoldung ähnelt mit dem Auflegen einzelner Folienblättchen jedoch der einer Blattvergoldung, weshalb die Technik als solche bezeichnet wurde.

Das Plattieren durch ein Druckpolieren scheint dagegen vorwiegend zur Vergoldung von spätlatènezeitlichen Münzen angewandt worden zu sein (Oddy 1993, 173). Dabei festigte vor allem die Prägung die Verbindung, vermutlich unterstützt durch einen organischen Klebstoff.

Aber auch an römischen Silbergefäßen wurde die Folienvergoldung offensichtlich vereinzelt genutzt, wie etwa zur Vergoldung einzelner vertiefter Ornamente an einem Kandelaber aus dem spätrömischen Schatzfund von Kaiseraugst, an welchem die eingelegte Goldfolie mechanisch befestigt wurde (Foltz 1984, 365).

Sofern zur Plattierung keine zusätzlichen thermischen Bindeverfahren angewandt wurden, ist die rein mechanische Verbindung von Goldfolien zumeist erkennbar an abgelösten Rändern der Goldfolien, da diese Folienvergoldungen eine nur geringe Haftfestigkeit aufweisen, mechanisch nicht beanspruchbar sind und sich leicht abreiben können. Die Anwendung der Folienvergoldungen ist auf glatte oder in Abhängigkeit von der Stärke der Goldfolie reliefierte Flächen beschränkt. Zudem kann das vergoldete Werkstück nach einer Plattierung kaum mehr weiterverarbeitet werden (Hammer 1998b, 189).

Eine Blattvergoldung setzt die Herstellung von äußerst dünner Goldfolie, das Blattgoldschlagen, voraus, also einen langwierigen Schmiedeprozess. Das Blattgold wird auf die Metalloberfläche mit Hilfe eines dünn aufgestrichenen organischen Bindemittels, wie etwa Eiweiß, angelegt und eventuell nachpoliert. Aufgrund seiner geringen Stärke lässt es sich auch auf reliefierten Oberflächen gut anlegen und der Goldverbrauch ist äußerst gering. Dagegen ist eine Weiterverarbeitung kaum möglich (Hammer 1998b, 189). Wenn keine anschließende Diffusionsbindung durch Erwärmung durchgeführt wird, ist die Haftfestigkeit von Blattvergoldungsschichten nur gering. Fehlstellen und Löcher können daher Merkmale für die Anwendung dieser Technik sein.

Die Vergoldung von Metalloberflächen unter Verwendung von Blattgold wurde in Mitteleuropa vermutlich erst in der römischen Kaiserzeit angewandt (Oddy 1993, 174). Eine Unterscheidung von Blattgold oder Goldfolie ist jedoch nur über Schichtdickenmessungen möglich.

Eine Blattvergoldung liegt möglicherweise auch an den hier untersuchten Scheibenfibeln aus den Depotfunden des 3. Jhs. n. Chr. von Hettingen (Kat. 11,3.4; Taf. 21,1-3; 22,3) und Wiggensbach (Kat. 47,15.16; Taf. 175,6) vor. Die Vergoldungsschichten haben sich jeweils an einigen Stellen gelöst und weisen leicht abstehende Ränder auf, so dass das Erscheinungsbild dem einzelner aufgelegter Goldblättchen gleicht, wenn auch eher von einer Stärke von Goldfolie auszugehen ist (Abb. 26). Da die Goldschicht jedoch in anderen Bereichen fest anliegt und dort eine blasige Oberflächenstruktur aufweist, wurde die Verbindung hier möglicherweise über eine Diffusionsbindung unterstützt.

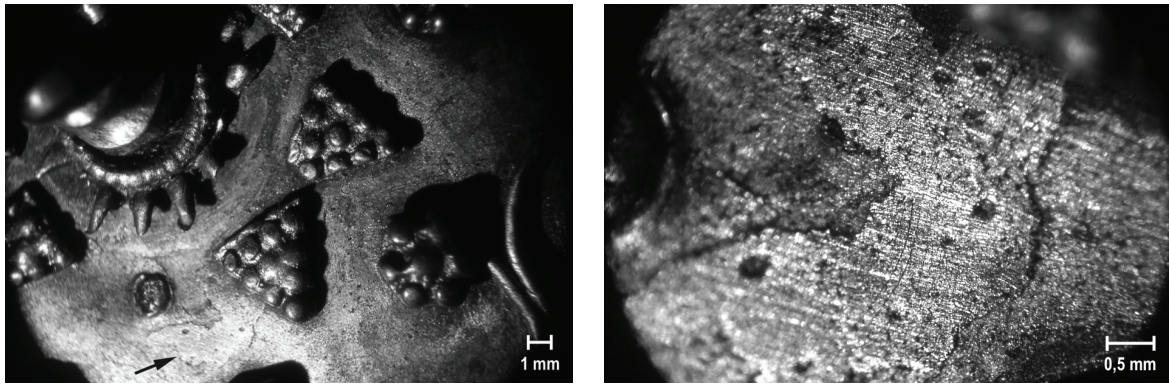


Abb. 26: Vergoldung an einer provinzialrömischen Scheibenfibel aus Wiggensbach (Kat. 47,15); Pfeil auf dem linken Bild zeigt vergrößerten Bereich des rechten Bildes an.

Bei dieser sogenannten Diffusionsvergoldung, d. h. der Diffusionsbindung von Goldfolien, wird das edlere Metall durch einen Sinterprozess mit dem Silber verbunden. Die Goldfolie oder das Blattgold kann dabei direkt auf die gesäuberte und geglättete Oberfläche des Trägers aufgebracht und durch eine Kombination von Druck und Temperatur verbunden werden. Jüngst zur Diffusionsbindung durchgeführte praktische Versuche (Becker u. a. 2003, 174 ff.) konnten diverse praktikable Varianten aufzeigen, um ca. 0,1 mm starke Goldfolien auf ca. 1 mm starken Silberblechen aufzubringen. Das gemeinsame Erhitzen der zwischen den Backen einer Zange zusammengepressten Ausgangsmaterialien, besonders aber das leichte Zusammendrücken der zuvor auf Rotglut erhitzten Metalle auf einem erwärmten Amboss führten zu festen Diffusionsverbindungen von Goldfolie auf Blech. Während K. Anheuser (1999, 8) eine benötigte Temperatur von ca. 300 °C angibt, betrug sie in diesen Experimenten ca. 700 °C, die für kleine Bleche in einem einfachen Holzkohlefeuer leicht zu erreichen war. Die Erfolge waren jedoch abhängig von der verwendeten Silberlegierung, wobei die besten Ergebnisse offensichtlich mit Feinsilber erreicht werden konnten.

Bei einer Diffusionsvergoldung findet an der Kontaktzone zwischen den beiden Metallen durch die Erwärmung eine Diffusion der Metallatome unterhalb ihres Schmelzbeginns statt (Becker u. a. 2003, 172). Voraussetzung für die sich einstellende Diffusion ist der enge Kontakt der Metalloberflächen. Diese Verbindung ist äußerst stabil und hält allen nachfolgenden Umformungstechniken stand, so dass diffusionsvergoldete Werkstücke problemlos weiterverarbeitet werden können. Nachteilig ist ihre lediglich auf glatte Oberflächen beschränkte Anwendung (Hammer 1998b, 189). Charakteristisch für dieses Verfahren ist eine mechanisch fest verbundene, dünne Goldschicht. Sie kann eine blasige Oberflächenstruktur aufweisen, wenn die Kontaktflächen nicht ausreichend vorhanden waren. Zudem kann ein Überhitzen zu einer fortschreitenden Diffusion von Silber in das Gold und damit zu einer Ausbleichung der Goldschicht führen (Anheuser 1999, 8).

Die Diffusionsvergoldung war in der Antike besonders im griechischen und etruskischen Kulturraum verbreitet (Formigli 1983, 324; 1985, 90; Oddy 1993, 176), nördlich der Alpen gewann sie erst ab der römischen Kaiserzeit an Bedeutung.

Zu den wenigen nachgewiesenen Diffusionsvergoldungen der vorrömischen Eisenzeit Mitteleuropas zählt die Vergoldung an dem Omphalos der späthallstattzeitlichen Silberschale von Vix (Eluère u. a. 1989, 27) und nun auch die Vergoldung der Zierplatte des mittellatènezeitlichen Fingerringes aus Oberhofen (Kat. 28,1; Taf. 91; siehe Kap. 5.1.1.5 Abb. 33).

Für die römische Kaiserzeit sind Diffusionsvergoldungen beispielsweise an diversen Pressblechen belegt und gehören im germanischen Kulturraum zur dominierenden Vergoldungstechnik (Hammer u. Voß 1998a, 303; Becker u. a. 2003, 169; 187). Innerhalb des Römischen Reiches wurde dieses Verfahren vermutlich an diversen Silbergefäßen und einzelnen Statuetten angewandt (Oddy 1988, 17 f.; Niemeyer 2007, 129).

Die Feuer- bzw. Amalgamvergoldung wird unter Verwendung von Quecksilber durchgeführt. Dabei wird entweder eine zuvor hergestellte Goldamalgampaste auf das Werkstück aufgetragen oder Blattgold wird auf der mit Quecksilber benetzten ("verquickten") Oberfläche angelegt, wodurch sich das Amalgam erst dort bildet. Durch ein in jedem Fall anschließendes Erhitzen des Werkstücks auf ca. 250 - 350 °C, das sogenannte Abrauchen, verdampft das überschüssige Quecksilber unter Bildung einer Diffusionsschicht zwischen dem Träger und der Goldschicht (Anheuser 1999, 9). Die Temperatur ist dabei notwendig, um die Diffusionsschicht zwischen Amalgamauftrag und Untergrund und vor allem auch die Verflüchtigung des Quecksilberüberschusses zu ermöglichen (ebd. 53). Die erhaltene Goldschicht muss abschließend poliert werden, um die entstandene poröse Oberflächenstruktur zu glätten.

Die Verwendung von Quecksilber zur Vergoldung wird von Plinius d. Ä. (Plin. nat. 33, 64) beschrieben. Sie wird zwar vereinzelt bereits für die späte vorrömische Eisenzeit angenommen, verbreitete sich jedoch zunehmend erst ab dem 2. bis 3. Jh. n. Chr. und war die vorherrschende Vergoldungstechnik während des Mittelalters (Oddy 1993, 177). An keltischen Silber- und Kupfermünzen, einer Silberfibel aus Spanien und an zwei Bronzehalsringen aus einem Schatzfund von Snettisham in Großbritannien gilt der Nachweis von Quecksilber als sicheres Anzeichen einer Feuervergoldung im 1. Jh. v. Chr. (Zwicker 1973, 116; Oddy 1993, 180; Burkhardt 2008, 148 Abb. 154). Die Feuervergoldung soll vereinzelt an frühkaiserzeitlichen Silbergefäßen, wie etwa an einem Griff aus dem Schatzfund von Hildesheim (Niemeyer 2007, 129), aber besonders an spätrömischen Silbergefäßen diverser Fundorte (Lang u. a. 1984, 377; Oddy 1988, 18 f.) nachgewiesen sein.

Die Vorteile dieser Vergoldungstechnik sind die hohe Haftfestigkeit der Goldschicht und die Anwendung auch auf reliefierten Oberflächen. Darüber hinaus sind feuervergoldete Werkstücke mechanisch beanspruchbar und offensichtlich auch gut weiterverarbeitbar (Hammer 1998b, 189). Abgesehen von der gesundheitlichen Schädigung durch das Verdampfen des Quecksilbers, stellt jedoch auch der hohe Goldverbrauch einen großen Nachteil dar. Kennzeichen einer feuervergoldeten Schicht sind poröse Oberflächenbereiche, die beim Polieren nicht erreicht wurden.

Ob in den Werkstücken ein Restquecksilbergehalt verbleibt, der damit einen untrüglichen Nachweis für eine Feuervergoldung darstellt, und wenn ja, in welcher Größenordnung, ist bis

heute umstritten. Üblicherweise wird mittlerweile jedoch in der einschlägigen Fachliteratur bei einem kompletten Fehlen von Quecksilber die Anwendung der Feuervergoldung ausgeschlossen. Gehalte unter 5 % werden allerdings weiterhin diskutiert (z. B. Niemeyer 2007, 130; 198), obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass das Quecksilber beispielsweise auch aus einem Rückgewinnungsverfahren von Gold durch Amalgamierung stammen kann (Anheuser 1999, 9).

Wie detaillierte Studien zur Feuervergoldung mit verschiedenen Replikationsversuchen von K. Anheuser (1999, 31 ff.) eindrücklich zeigen konnten, muss in den Goldschichten ein Restquecksilbergehalt von üblicherweise 5 - 25 % Hg verbleiben, wenn das Gold aufgrund höherer Temperaturen nicht zu sehr in den Grundwerkstoff diffundieren und daraus eine blässere Farbe resultieren soll (ebd. 39). Zudem ergaben seine Untersuchungen, dass die Stärke feuervergoldeter Schichten üblicherweise deshalb zwischen 2 und 10 µm lag, weil sich stärkere Schichten schwer polieren ließen ohne eine unebene Fläche zu hinterlassen (ebd. 37). Auch die Untersuchungen anderer Autoren konnten verdeutlichen, dass sich eine Feuervergoldung von einer reinen Diffusionsbindung durch den sicher nachzuweisenden Quecksilbergehalt von mindestens 5 % unterscheiden lässt (Becker u. a. 2003, 187).

Bei fest anhaftenden dünnen Goldschichten schließt die völlige Abwesenheit von Quecksilber eine Feuervergoldung also sicher aus und spricht für eine reine Diffusionsbindung der Goldschicht. Dies gilt beispielsweise auch für die Zierplatte des im Rahmen dieser Arbeit analysierten mittellatènezeitlichen Fingerringes aus Oberhofen (Taf. 89,1.2; 91; siehe Kap. 5.1.1.5).

Bei einer Untersuchung der Verarbeitung von Silber sind natürlich auch Versilberungsverfahren von Interesse, zeigen sie doch den Umgang mit dem Material. Eine Versilberung ist weitaus seltener an Schmuckfunden zu beobachten als eine Vergoldung, die Versilberungstechniken sind daher hauptsächlich an Münzen untersucht.

Eine Feuerversilberung ist aufgrund stattfindender Oxidationsprozesse äußerst schwierig, so dass diese ohne zusätzliche Bindeverfahren kaum haltbare Silberschichten erzeugt (Anheuser 1999, 51). Diese müsste sich den Untersuchungen von K. Anheuser (1999, 48) zufolge zudem über einen Restquecksilbergehalt von mindestens 10 % nachweisen lassen. An archäologischen Funden konnte dieses Verfahren bisher kaum sicher vor dem Spätmittelalter nachgewiesen werden (ebd. 50)⁴⁷. Dass die Anwendung der Feuerversilberung jedoch bereits für vorgeschichtliche Zeiten in Betracht zu ziehen ist, zeigt eine jüngst durchgeführte Analyse einer versilberten Büschelmünze aus dem spätlatènezeitlichen Altenburg-Jestetten mit fast 20 % Hg an der Oberfläche (Burkhardt 2008, 148 Abb. 153).

Auch das Tauchversilbern in einer Silberschmelze gilt als äußerst schwieriges Verfahren, da sich bei zu langer Tauchzeit die Kupferlegierung im flüssigen Silber auflösen kann (Hammer

⁴⁷ Nach diesen Ergebnissen ließen sich auch die Quecksilbergehalte von maximal 4,9 % auf der Oberfläche einzelner keltischer Silbermünzen (Stern 1994, 90; Burkhardt 2008, 148 Abb. 151-152) nicht auf eine Feuerversilberung zurückführen.

1998b, 196). Gegen die zunächst wohl naheliegende Vorstellung des Eintauchens in Silberschmelze spricht allerdings noch einiges mehr. Um das Silber in flüssigem Zustand zu halten, muss eine große Hitzezufuhr auf den Tiegel erfolgen. Aufgrund der großen abstrahlenden Hitze im Holzkohlefeuer scheint ein Eintauchen des Werkstücks in den im Feuer stehenden Tiegel schwer vorstellbar. Würde andererseits der Tiegel aus dem Feuer genommen werden, bestünde kaum Zeit zum Tauchen. Der schließlich entscheidende Grund, weshalb dieses Verfahren ausgeschlossen werden kann, ist die Menge des benötigten Silbers. Um das zu versilbernde Werkstück vollkommen in flüssiges Silber einzutauchen, wäre eine große Materialmenge an wertvollem Feinsilber notwendig, die in keinem Verhältnis zu der ursprünglich erwünschten Materialersparnis steht.

Unter einer echten Tauchversilberung versteht man üblicherweise jedoch einen ganz anderen Prozess. Dabei wird ein Tauchbad hergestellt, indem zunächst Silber in fragmentierter oder besser pulverisierter Form zusammen mit Kochsalz in einem Tiegel geglüht und damit in Silberchlorid überführt wird. Das so entstandene Silberchlorid wird zusammen mit Salz und Wasser aufgekocht, in welches schließlich der zu versilbernde Gegenstand eingetaucht wird (Wolters 2006b, 252). Damit erhält das Werkstück einen sehr dünnen Überzug durch das Abscheiden von Silber aus dem Silberchlorid. Das Verfahren basiert damit auf einem elektrochemischen Prozess, der nicht durch Fremdstrom, sondern durch Ladungsaustausch in Gang gesetzt wird. Diese für das Versilbern von römischen Münzen diskutierte Methode (Cope 1972, 275 f.) wäre theoretisch in der Antike möglich gewesen und dürfte gleichermaßen für das Versilbern komplizierter Schmuckformen in Betracht zu ziehen sein, auch wenn sie sich nicht direkt nachweisen lässt.

Das Schmelzen einer aufgebrauchten eutektischen Silber-Kupfer-Legierung in Pulver- oder Folienform stellt dagegen eine Methode dar, die sowohl für die vorrömische Eisenzeit als auch für die römische Kaiserzeit diskutiert wird (La Niece 1993, 206; Hammer 1998b, 196; Wolters 2006b, 251). Das Erscheinungsbild weist eine angeschmolzene Oberfläche auf, die leicht mit dem einer Gussoberfläche verwechselt werden kann (La Niece 1993, 206).

Für die Antike nachgewiesene Verfahren sind jedoch vor allem sowohl die Plattierung und die Diffusionsbindung als auch das Auflöten einer Silberfolie (Hammer 1998b, 194). Während eine Diffusionsbindung durch Erwärmen des Trägers und Aufpolieren von Silberfolie erreicht wird, wobei die benötigte Temperatur unter der Schmelztemperatur liegt, muss bei der folgenden Methode das Silber und Kupfer an der Kontaktfläche zum Schmelzen gebracht werden. Wird eine auf Kupfer aufgebrauchte Silberfolie auf die eutektische Temperatur von 779 °C erhitzt, verbinden sich die beiden Metalle unter Bildung einer Oberflächenlegierung an der Kontaktfläche. Dieses Verfahren, auch als Versilberung mit Selbstlöteffekt (Wolters 2006b, 243) oder "Sheffield-Plating" (La Niece 1993, 204) bezeichnet, wäre jedoch kaum von dem mit einem zugefügten Hartlot, bestehend aus einer eutektischen Silber-Kupfer-Legierung, zu unterscheiden, da sich in beiden Fällen an der Grenzfläche eine Schicht mit dieser

Zusammensetzung bildet. Zudem würde das Erscheinungsbild dem massiv gegossener Silberstücke ähneln (Zwicker u. a. 1993, 229).

Eine vermutlich rein mechanisch befestigte Folienversilberung wurde beispielsweise für zwei mit einer 0,05 - 0,1 mm starken Silberschicht versehene Hohlblecharmringe mit einem Körper aus Bronze aus einem späthallstatt-/frühlatènezeitlichen Grab von Unterlunkhofen im Schweizer Kanton Aargau (Eluère u. a. 1989, 27) nachgewiesen.

Das Aufschmelzen oder Hartlöten von Silberfolie auf einem Kupferkern ist für die Antike dagegen vor allem von der Versilberung von Münzen bekannt (La Niece 1993, 202; 206; Zwicker u. a. 1993, 242). Allen Methoden zur Versilberung von subaeraten Münzen (Silbermünzen mit Kupferkern) ist gemeinsam, dass sie vor dem Prägen versilbert wurden (Hammer 1993, 50).

Auch das Weichlöten von Silberfolie wurde in römischer Zeit angewandt, um Silberfolien auf größeren Flächen zu befestigen, wie etwa auf einem Teller aus dem Hortfund von Neupotz (Hammer 1998b, 194; Wolters 2006b, 250).

Neben den Münzen waren es vorwiegend Fibeln, die in den römischen Provinzen versilbert wurden, so etwa auch die beiden Flügelfibeln aus dem Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,9.10; Taf. 116 - 118). Anhand optischer Untersuchungen ist jedoch nicht zu klären, welche Methode dafür angewandt wurde (siehe Kap. 5.3.2.3).

Ohne analytische Messungen der Legierungszusammensetzungen und Schichtuntersuchungen sind die angewandten Versilberungsverfahren nur schwer zu bestimmen, zumal gerade bei Verwendung von kupferreicheren Silberlegierungen von einer folgenden Anreicherung an der Oberfläche auszugehen ist (La Niece 1993, 206).

Ein weiteres Vergoldungs- bzw. Versilberungsverfahren, das im engeren Sinne bereits zu den im folgenden Kapitel zu erläuternden Oberflächenbehandlungen zählt, ist das Beizen der Legierungsoberfläche, welches eine Gold- oder Silberanreicherung bzw. eine Abreicherung der unedleren Bestandteile an der Oberfläche bewirkt. Das Werkstück wird dabei durch oxidatives Glühen und nachfolgende Beizvorgänge behandelt (Lehrberger u. a. 1997, 82; Anheuser 1999, 10; Wolters 2006a, 194; 2006b, 251). Mithilfe einer Beize werden die an der Oberfläche gebildeten Kupferoxidschichten entfernt, aber auch metallisches Kupfer herausgelöst, so dass die Edelmetalle an der Oberfläche angereichert werden. Dadurch wird ein höherer Edelmetallgehalt des gesamten Objekts "vorgetäuscht" bzw. eine edlere, glänzende und brillante Optik hervorgerufen.

Im modernen Goldschmiedehandwerk wird für die Silberanreicherung eine verdünnte Schwefelsäure oder auch nach "altem Rezept" eine Weinstein-Kochsalzlösung verwendet (Brepohl 2000, 389 f.). Da Silber jedoch nicht allein durch verdünnte Schwefelsäure herausgelöst werden kann, wird für die Goldanreicherung silberhaltiger Goldlegierungen zusätzlich verdünnte Salpetersäure benutzt (ebd. 393 f.). Diese Oberflächenanreicherungen bezeichnet man als das Gelbsieden von Goldlegierungen und das Weißsieden von Silberlegierungen. Im Gegensatz zu dem üblicherweise nach dem Glühen und Löten

angewandten Beizen, welches allein die Oxidteile an der Oberfläche löst und den Legierungen wieder ihr normales Aussehen verleiht, werden bei der Oberflächenabreicherung möglichst alle Kupferkristalle aus der Oberfläche der Legierung herausgelöst, so dass diese fast nur aus Feinsilber oder Feingold besteht. Die Beize muss dabei einen Säureanteil in höherer Konzentration enthalten und in heißer Form angewandt werden. Plinius d. Ä. nennt für das Reinigen von Gold im 1. Jh. n. Chr. Salz, Alaun und andere sulfathaltige Verwitterungsprodukte (Plin. nat. 33,84; 34,121). Im Zusammenhang mit der Schilderung verschiedener Färbemittel führt er ebenfalls wieder den Alaun zur Reinigung von Gold an (Plin. nat. 35,184). Diese Beschreibung wurde so gedeutet, dass es sich hierbei um einen Prozess des Scheidens von Gold und Silber durch Erhitzen mit Salz, Alaun und Ziegelmehl (nicht explizit bei Plinius genannt) handeln würde, wobei sich Silberchlorid bildet, dass vom Ziegelmehl aufgenommen wird (Wolters 2006a, 195). Ob sich diese Schilderungen jedoch tatsächlich auf einen solchen sogenannten Zementationsprozess zum Zwecke des Gelbsiedens beziehen, ist unklar (Projektgruppe Plinius Gold 1993, 25; 44 f. Anm. 99 - 101). Die erwähnten Substanzen weisen lediglich darauf hin, dass das Beizen in der Antike bekannt war und damit auch die Möglichkeit der Oberflächenanreicherungen gegeben war⁴⁸.

Eine über Beizvorgänge entstandene Oberflächenanreicherung konnte bereits an keltischen Silber- und Goldmünzen (Stern 1994, 88; 90; Lehrberger u. a. 1997, 82) und später auch an römischen Denaren, besonders ab der 2. Hälfte des 2. Jhs. n. Chr. (Zwicker u. a. 1993, 239; 244; Bachmann u. Hammer 2003, 115), vermutet bzw. festgestellt werden⁴⁹. Diese vor dem Prägen der Münzen erzielte Anreicherung von Gold oder Silber lässt sich jedoch nur mithilfe von Metallanalysen und Dichtebestimmungen oder anhand von Schliffbildern nachweisen (Lehrberger u. a. 1997, 82; Bachmann u. Hammer 2003, 117).

Dass eine Oberflächenanreicherung auch bei der Herstellung von Silberschmuck angewandt wurde, um die optischen und chemischen Eigenschaften von Legierungen niedrigeren Feingehalts (unter Ag 900) zu verbessern, ist anzunehmen. Problematisch bei der technischen Interpretation solcherart behandelter Oberflächen ist das durch die Abreicherung von Kupfer in der äußeren Oberflächenschicht entstandene schwammartige, poröse Erscheinungsbild (Bachmann u. Hammer 2003, 115), da sich dieses kaum von einer Gussoberfläche unterscheiden lässt. Auf der anderen Seite ist auch bei einer Beurteilung von intentionell durchgeführten Oberflächenabreicherungen Vorsicht geboten, da eine definitive Abgrenzung zu Anreicherungen, die aus restauratorischen Reinigungsmaßnahmen oder "natürlichen" Korrosionsvorgängen während der Bodenlagerung resultieren, schwerlich möglich ist.

⁴⁸ Vgl. die Experimente zum Zementationsprozess von H. Moesta (1986, 144f.). Möglicherweise ist auch die antike Erwähnung von Urin auf eine oberflächenabreichernde Wirkung zurückzuführen. Plinius (nat. 33,127) nennt im Zusammenhang mit dem Prüfen von Silber auch die mit Hilfe von Männerharn hervorgerufene weiße Oberflächenschicht als Täuschung. Bei dieser Schilderung, die in den Erläuterungen der verwendeten Ausgabe von R. König und G. Winkler als "Aberglauben" eingestuft wurde, könnte es sich jedoch in der Tat um eine Verwendung von Urin zum Zwecke eines Herauslösens von Kupfer aus der Oberfläche der Silberlegierung handeln (siehe Kap. 4.3.2).

⁴⁹ An römischen Denaren konnte eine silberreiche Schicht von bis zu 0,1 mm beobachtet werden (Hammer 1998b, 195).

4.5 Oberflächenbearbeitung

Nachdem die äußere Form des Werkstücks fertiggestellt wurde, sind in einem abschließenden Vorgang glättende Techniken notwendig, um dem Schmuckstück sein endgültiges Erscheinungsbild zu verleihen.

Nach dem Gießen, Schmieden oder Treiben verbliebene grobe Unebenheiten können zunächst durch ein Feilen beseitigt werden. Die spanabhebende Wirkung der Feile beruht auf quer oder schräg zur Längsachse eingeschlagenen Riefen, den sogenannten Hieben. Während moderne Metallfeilen einen Kreuzhieb mit feinen Abständen besitzen, weisen die vor- und frühgeschichtlichen Feilenfunde meist nur einen vergleichsweise groben Querhieb auf. Sowohl die latènezeitlichen als auch die provinzialrömischen Feilen sind einhiebzig, wobei erst unter den provinzialrömischen Feilen vereinzelt auch Exemplare mit leichtem Schräghieb auftreten (Gaitzsch 1980, 51; Pietsch 1983, 50; Steuer 1994, 293).

Eine Verwendung in der Metallbearbeitung ist sowohl für die aus latènezeitlichen als auch für die aus römischen Fundzusammenhängen stammenden Feilen vorstellbar. Feilen mit Querhieb können durchaus im Feinschmiedehandwerk dazu geeignet sein, um beispielsweise die beim Abmeißeln eines Gusszapfens verbleibenden Reste am Gussrohling zu entfernen bevor anschließend geschliffen und poliert wird. Das Ebnen von Flächen und Entgraten von Kanten ist ebenfalls mit lediglich querhiebigem Feilen möglich, jedoch in gleicher Weise auch mit Schleifwerkzeugen zu bewerkstelligen.

An keinem der untersuchten Funde wurden antike Feilspuren entdeckt. Es ist aber davon auszugehen, dass nach einem Feilen immer nachgeschliffen und poliert wurde, so dass eventuelle Feilspuren beseitigt worden sind. Den Einsatz von Sägen und Feilen zur Herstellung von Durchbrechungen meint B. Niemeyer (2007, 213 mit Abb. 192) beispielsweise an dem Griff einer römischen Kasserolle aus dem Hildesheimer Silberfund zu erkennen. Das Aussägen der Durchbrechung ist zu bezweifeln (siehe Kap. 4.2.4), die senkrechten Riefen könnten sich jedoch tatsächlich auf eine Feile zurückführen lassen, um die Unregelmäßigkeiten nach dem Ausmeißeln auszugleichen.

Die Anwendung von Feilen zur Metallbearbeitung und im Besonderen auch von Silber ist in einer Textstelle bei Plinius d. Ä. überliefert (Gaitzsch 1980, 47). Er berichtet dort (nat. 33,140) über luxuriöse Reichtümer, auch in Form von silbernem Tafelgeschirr. Bemerkenswert ist, dass an dieser Stelle die Feile (lat. *lima*) zum Beseitigen von Material gerade bei der Herstellung von Durchbruchsarbeiten genannt wird.

Die letzten Arbeitsschritte sind das Schleifen und Polieren der Oberfläche. Dabei geht der gröbere Vorgang des Schleifens dem des feinen Polierens immer voraus.

Mit Hilfe von Schleifsteinen können letzte Unebenheiten der Oberfläche zunächst noch formgebend entfernt werden. Als Schleifsteine reichen kompakte Sandsteine unterschiedlicher Körnung aus, die wie eine Feile eingesetzt werden können. Das Schleifen mit Schleifmitteln dient bereits dem Glätten der Oberfläche. Als Schleifmittel konnten beispielsweise Quarzsand,

Korund, gemahlener Schiefer oder Bimsstein genutzt worden sein (Pritzlaff 1922, 131; Brepohl 2000, 373). Diese können mit einem Träger, z. B. Holzspänen oder Leder, vermengt mit Wasser, Öl, Fett, Harz oder anderen klebrigen Bindemitteln, aufgetragen werden. Um auch schwer zugängliche Stellen zu schleifen, wie beispielsweise Kettenglieder, ist die Benutzung des Schleifmittels in Verbindung mit feinen Holzstäbchen oder Wollfäden anzunehmen (Brepohl 2000, 374; Armbruster 2000, 125).

Eine Sonderform des Schleifvorgangs stellt das Überarbeiten von runden Zierteilen mit Hilfe eines Drehgerätes dar. Wie bereits unter den formgebenden Techniken ausgeführt, ist das Drehen nicht als Verfahren zur Formgebung runder Zierteile im Schmuckhandwerk anzusehen (siehe Kap. 4.2.2). Die spanabhebende Überarbeitung mittels eines Drehvorgangs ist aber durchaus eine Möglichkeit, um runde gewölbte Gegenstände gleichmäßig zu schleifen. Sie konnte an den untersuchten Schmuckfunden allerdings nur in einem Ausnahmefall beobachtet werden (siehe Kap. 5.3.2.2).

Auch beim anschließenden Arbeitsschritt des Polierens wird die Oberfläche zunächst mit Poliermitteln auf einem Träger und immer noch spanend bearbeitet. Als Poliermittel in vor- und frühgeschichtlicher Zeit könnten beispielsweise Kreide oder Kalk verwendet worden sein. Der finale Vorgang des Druckpolierens entfernt letzte noch vorhandene Schleifspuren und führt durch Reibungswärme zu einer Einebnung der Oberfläche durch spanlose Fließvorgänge. Durch ein Druckpolieren wird das Oberflächengefüge verdichtet und damit Glanz erzeugt. Denkbare Werkzeuge zum Druckpolieren sind Hämatit von besonders dichtem Gefüge, ein Zahn oder Leder. Die letzte Politur kann jedoch selbst mit dem Handballen durchgeführt werden (Pritzlaff 1922, 133).

Schleifspuren sind auf diversen Beispielen der untersuchten Fundstücke zu finden. Das Polieren ist aufgrund einer ebenen Oberfläche ohne Schleifspuren ebenfalls an einigen Funden anzunehmen, wenn auch eine häufig durch Korrosion oder altrestauratorische Reinigungsvorgänge geprägte Oberfläche der Silberfunde keine eindeutigen Aussagen zu diesem letzten Arbeitsvorgang zulässt.

4.6 Zusammenfassung der Feinschmiedetechniken und ihrer Erkennungsmerkmale

Bevor in den nächsten Kapiteln die untersuchten Fallbeispiele diskutiert werden, sollen die folgenden Tabellen (Tab. 5 - 7) noch einmal die bisher aufgeführten Merkmale zur Erkennung der angewandten Techniken zusammenfassen. Dabei werden nur die wichtigsten Techniken angeführt, deren Unterscheidung für eine Interpretation zur Verarbeitung von Silber zu Schmuck von Bedeutung ist. Die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Einschränkungen, wie Korrosionserscheinungen, Oberflächenbehandlungen, aber auch "Fehler" der antiken Handwerker werden dabei ebenfalls nicht berücksichtigt, in diesen Tabellen soll nur der Idealfall dargestellt werden.

Formgebende Techniken	
Gießen	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemein: raue bis blasige Oberflächenstruktur, Poren, Lunker und Warmrisse; Dendritenstruktur im Metallgefüge - Wachsausschmelzverfahren: Unterschneidungen und mitgegossene Verzierungen - Schalenguss: Gussnähte - Verbund- bzw. Überfangguss: überfangene Gussstellen
Schmieden	<ul style="list-style-type: none"> - Hammerspuren: kleine abgeplattete Flächen von der Hammerbahn und quer verlaufende Streckspuren von der Hammerfinne; Längsstruktur im Metallgefüge
Treiben	<ul style="list-style-type: none"> - Hammerspuren und Blechfaltungen; Punzabdrücke
Drahtherstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Schmieden aus stabförmigem Vorprodukt: facettenförmige Schmiedespuren, parallel zur Längsrichtung verlaufende Falten; unregelmäßiger massiver Querschnitt - Falten und Rollen von Blech: mäanderförmig verlaufende "Falten" in Längsrichtung; Materialrisse in Querrichtung; rundlich-ovaler hohler Querschnitt - Verdrehen von vorgeschmiedetem Drahtrohling: zwei oder vier spiralförmig umlaufende "Fugen" - Verdrehen von Blechstreifen: eine spiralförmig umlaufende "Fuge"
Trennende und lochende Techniken	<ul style="list-style-type: none"> - Meißeln: kantige Schnittspuren - Lochherstellung mit Dorn oder Durchhauer: Gratbildung auf einer Lochseite

Tab. 5: Optische Erkennungsmerkmale der relevanten formgebenden Techniken im Idealfall.

Thermische Verbindungstechniken	
Löten	<ul style="list-style-type: none"> - Weichlöten: weißgraue Farbe der Lotstellen, "angefressen" wirkende Lotstellen, gelöste Lotverbindungen; Nachweis von Blei und Zinn in einer Zusammensetzung, so dass Liquidustemperatur unter 450 °C - Hartlöten mit metallischem Lot: haltbare Lotverbindungen, mit Lot ausgefüllte Fugen, leicht abweichende Farbe; Nachweis von stark erhöhten Kupfer- oder Zinngehalten bei Ag-Legierungen bzw. stark erhöhten Kupfer- und Silbergehalten bei Au-Legierungen in der Fuge, so dass Liquidustemperatur über 450 °C, aber mind. 50 °C unter der Solidustemperatur der Verbundteile - Hartlöten mit Reaktionslot: punktuelle Verbindungsstellen; Nachweis von leicht erhöhten Kupfergehalten bei gleichbleibendem Verhältnis der übrigen Bestandteile - Reaktionslot mit zugefügtem Metall: ausgefüllte Fugen; analytische Nachweisbarkeit nur möglich, wenn zugefügtes Metall derselben Legierung verwendet wurde
Schweißen	<ul style="list-style-type: none"> - Schmelzschweißen oder Schweißen mit Schweißgut: angeschmolzene Verbindungsstellen; Nachweis von gleichbleibendem Material in der Verbindungsstelle oder in der Zusammensetzung, so dass Liquidustemperatur nur geringfügig von Solidustemperatur der Verbundteile abweicht

Tab. 6: Optische und analytische Erkennungsmerkmale der relevanten Verbindungstechniken im Idealfall.

Verzierungstechniken	
Ziselieren und Punzieren	- Punzabdrücke und Kerben mit U-förmigem Querschnitt; seitlich aufgewölbte Grate; quer zur Arbeitsrichtung verlaufende Absätze
Gravieren	- Kerben mit V-förmigem Querschnitt; parallel zur Arbeitsrichtung verlaufende Schnittspuren
Perl- und Kerbdrahtverzierung	- Perldraht: umlaufende Kerben, die als eine Reihe runder Perlen erscheinen; Äquatorschnitt - Kerbdraht: umlaufende V- oder U-förmige Kerben in unregelmäßigen Abständen
Filigranverzierungen und Granulation	- Verbindung mit metallischem Lot: von Lot umhüllte bzw. ausgefüllte Kontaktstellen; Nachweis s. o. - Verbindung mit Reaktionslot: punktuelle bzw. nur feine Kontaktstellen; abgelöste Zierelemente; Nachweis s. o.
Vergolden und Versilbern	- Plattierung und Blattgoldherstellung: abgelöste Folien oder Blattgoldschichten in den Randbereichen - Diffusionsbindung: dünne Schicht mit blasiger Oberflächenstruktur - Feuervergoldung: poröse, blasige Oberflächenstruktur in Vertiefungen; Nachweis von 5 - 25 % Hg in Goldschicht - Feuerversilberung: 10 - 40 % Hg in Silberschicht - Schmelzversilberung: starke Schicht mit rauer bis blasiger Oberflächenstruktur

Tab. 7: Optische und analytische Erkennungsmerkmale der relevanten Ziertechniken im Idealfall.

5. Zur Herstellung von Silberschmuck - Fallbeispiele

Um eine möglichst umfangreiche Vorstellung von den angewandten Techniken zur Herstellung von Silberschmuck zu bekommen, erfolgte die Auswahl der untersuchten Fundstücke aus Silber und Vergleichsstücke aus Gold und Buntmetall nach folgenden Kriterien:

- Zuordnung zu einem Formtyp, dessen Vertreter sowohl aus Silber als auch aus Gold und/bzw. aus Buntmetall hergestellt wurden (z. B. früh- und mittellatènezeitliche Band-, Schaukel- und Spiralfingerringe, provinzialrömische Omegafibeln, Lunula-Anhänger und Armringe vom Typ Wiggensbach sowie Fuchsschwanzketten und Drahtarmringe mit umwickelten Enden des gesamten untersuchten Zeitraumes)
- Zuordnung zu einem Formtyp, dessen Vertreter in mehreren Exemplaren nur aus Silber hergestellt wurden (z. B. provinzialrömische Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach)
- besondere Einzelstücke (z. B. ein mittellatènezeitlicher Fingerring mit vergoldeter Zierplatte aus Oberhofen)
- gute Vergleichbarkeit der Gold- und Buntmetallfunde aufgrund technischer Details (z. B. Perldrahtverzierung oder Granulation an Goldfunden)

Gewiss ist die folgende Zusammenstellung untersuchter Fundstücke nicht nur von den genannten Auswahlkriterien beeinflusst, sondern auch von der Zugänglichkeit in den Museen und Denkmalämtern sowie der Erreichbarkeit mit den im Rahmen der Untersuchungen zur Verfügung stehenden Mitteln. Dennoch dürfte mit 167 Silberfundobjekten und 28 vergleichbaren Gold- und Buntmetallfunden eine ausreichend repräsentative Materialbasis hinsichtlich technischer Detailfragen zur Verarbeitung von Silber zu Schmuck vorliegen (Tab. 8).

Silberobjekte, latènezeitlich	80
Vergleichsobjekte, latènezeitlich	16 (Gold) + 2 (Buntmetall)
Silberobjekte, provinzialrömisch	86
Vergleichsobjekte, provinzialrömisch	2 (Gold) + 5 (Buntmetall)
Silberobjekte spätantik	1
Vergleichsobjekte, hallstattzeitlich	3 (Gold)
Fundobjekte, gesamt	195 (Silber: 167, Gold: 21, Buntmetall: 7)
Fundorte = Katalognummern, gesamt	51

Tab. 8: Auflistung der untersuchten Fundobjekte nach Material und Zeitstellung.

Die angestrebte Auswahl der Funde aus geschlossenen, gesicherten und datierten bzw. datierbaren Fundkomplexen konnte nicht immer konsequent eingehalten werden. Ein Großteil der bekannten Silberschmuckfunde stammt aus Altgrabungen, welche nicht nur hinsichtlich der überlieferten Fundzusammenhänge, sondern auch bezüglich undokumentierter Veränderungen

am Fundstück nach der Auffindung eine Beurteilung erschweren. Dies wird im Einzelfall an den entsprechenden Stellen erörtert.

Für die zeitliche Einordnung ihrer Herstellung und die Interpretation ihrer Nutzung können jedoch auch an den Objekten feststellbare Abnutzungsspuren nützlich sein. Im Sinne einer Klassifizierung der Gebrauchsspuren an germanischen Schmuck- und Trachtbestandteilen aus Gräbern der älteren römischen Kaiserzeit durch J. von Richthofen (2000, 8 ff.) lassen sich diese in die Kategorien Materialabtrag, Materialdeformation und Reparatur gliedern. Vor allem der Materialabtrag an Fibeln, erkennbar an abgeriebener Ornamentik oder verrundeten Kanten, führte zu einer Unterscheidung verschiedener Abnutzungsgrade. Die von J. von Richthofen (ebd. 78 f.) nach der Intensität der Abnutzung überschlagenen Gebrauchszeiten lassen sich freilich nicht verallgemeinern. Dennoch scheint die Beobachtung, dass selbst - experimentell hergestellte - Fibeln, die über mehrere Monate hinweg getragen wurden, keine Anzeichen einer Abnutzung aufwiesen (ebd. 78 Anm. 67), durchaus bemerkenswert, da sich ein Materialabtrag damit erst bei deutlich längerem Gebrauch zeigte. Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass bei keinerlei sichtbarer Abnutzung nicht a priori der Rückschluss gezogen werden darf, dass die Schmuckstücke nie getragen wurden.

Eine vollständige Bearbeitung aller bekannten Silberschmuckfunde wurde nicht angestrebt. Im Zusammenhang mit den Fallbeispielen werden jedoch relevante publizierte Vergleichsobjekte besprochen. Die Funde und die Ergebnisse ihrer Untersuchung werden im Folgenden, nach Formtypen sowie nach ihrer relativchronologischen und kulturhistorischen Zuordnung gegliedert, vorgestellt und diskutiert.

5.1 Fingerringe

Zu den Schmuckgattungen, für deren Herstellung das Material Silber sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit verhältnismäßig häufig benutzt wurde, gehören die Fingerringe. Da jedoch gerade ein- und dieselbe Ringform unter Verwendung unterschiedlicher Grundtechniken angefertigt werden kann, wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils mehrere Vertreter der verschiedenen Formtypen und vereinzelt vergleichbare Exemplare aus Gold und Buntmetall aufgenommen.

Dabei stellte sich in besonderem Maße für die Stücke aus Silber heraus, dass ihre herstellungstechnische Interpretation erschwert ist durch überprägende Oberflächen-Behandlungen, Korrosionserscheinungen, mögliche Oberflächenanreicherungen und die auch vor allem an dieser Fundgattung - die meisten Fingerringe sind Altfunde - vielfach neuzeitlich vorgenommenen chemischen Reinigungsmaßnahmen. Allzu häufig entstand der erste Eindruck einer Guss Oberfläche, der sich bei näherer Betrachtung und einem Abwägen aller Einflussfaktoren nicht immer aufrecht erhalten ließ.

Für die Beschreibung der einzelnen Teile eines Fingerringes werden folgende Begriffe verwendet: Während die "Ringschiene" den runden, den Finger umschließenden Teil

bezeichnet, wird der obere Teil "Ringschulter" genannt. Wenn dieser obere Bereich verbreitert ist, nennt man ihn "Zierplatte". Sofern die Fingerringe komplett geschmiedet oder nach dem Guss nachgeschmiedet wurden, ist die Verwendung eines runden Stabes aus Eisen, Bronze oder Hartholz, einem Ringriegel, als wichtigstes Arbeitsgerät vorauszusetzen. Nur mit einem solchen Hilfsmittel ist ein gleichmäßiges Runden der Ringschienen möglich.

5.1.1 Latènezeitliche Fingerringe

Entsprechend der allgemeinen Befundsituation der Latènezeit stammen die meisten Fingerringe der frühen und mittleren Zeitstufe aus Grabkomplexen und die der späten Stufe aus Siedlungs- und Depotzusammenhängen. Neben gängigen Modeformen treten Sonder- bzw. Fremdformen vorwiegend in der Mittellatènezeit auf, wobei nahe liegt, dass dies gerade auf die für diese Zeit weitreichenden Kontakte zurückzuführen ist. Bemerkenswert scheint die Beobachtung, dass die aus Silberlegierungen angefertigten Exemplare offensichtlich während Lebzeiten getragen wurden, da sie sich häufig durch Abnutzungen an den Rändern oder der Verzierungen auszeichnen. Die untersuchten goldenen Stücke weisen dagegen keinerlei Gebrauchsspuren auf⁵⁰.

5.1.1.1 Bandfingerringe

Einfache, geschlossene Bandfingerringe - teilweise mit ornamentaler Verzierung - gehören zu den in der entwickelten Stufe der Frühlatènezeit (LT B) besonders beliebten und weit verbreiteten Ringformen, welche in Buntmetall, Silber und Gold hergestellt wurden. Die Ringe sind üblicherweise leicht nach außen gewölbt.

Zur Herstellung solcher Bandfingerringe sind grundsätzlich mehrere Varianten der formgebenden Technik möglich. Die zunächst naheliegende Formung ist die Herstellung der Ringschiene durch Schmieden und Treiben. Dabei kann die Form ausgehend von einem Blechstreifen gebogen und mithilfe einer thermischen Verbindungstechnik gefügt oder aus einem gegossenen Vorprodukt auf- bzw. ausgeschmiedet werden. In beiden Fällen würde eine erwünschte Wölbung auf einer eingespannten und damit als Amboss dienenden Kugelpunze getrieben. Schließlich kann der Ring auch - zusammen mit eventuellen Verzierungen und profilierten Rändern - im Wachsausschmelzverfahren gegossen werden.

Ein bronzener Fingerring aus Murr (Kat. 24; Taf. 81), der anhand der wohl beigegebenen Duxer Fibel in die Stufe LT B datiert werden kann⁵¹, ist sicher inklusive seiner profilierten Ränder gegossen worden. Dagegen zeigen einige der untersuchten Exemplare aus Edelmetall

⁵⁰ Einschränkung ist hinzuzufügen, dass eine eindeutige Unterscheidung zwischen Abnutzungsspuren und Korrosionserscheinungen gerade bei den untersuchten Stücken aus Silber nicht immer möglich war. Demgegenüber haben sich die Herstellungsspuren an den goldenen Ringen teilweise so gut erhalten, dass eine Abnutzung nicht anzunehmen ist und die Ringe damit möglicherweise nie oder nur wenig getragen wurden.

⁵¹ An dieser Stelle sei Herrn Th. Hoppe M.A., Landesmuseum Württemberg, Stuttgart, für die Angaben zu dem Grabfund aus Murr herzlich gedankt.

Treibspuren auf der Innenseite der Ringschienen und geben damit Hinweise auf ein Treiben über Kugelpunzen. Dies gilt sicher für die beiden Stücke aus Gold, die aus Gräbern von Nebringen (Kat. 25,3; Taf. 84,4-5) und Münsingen-Rain (Kat. 22,22; Taf. 76) stammen, möglicherweise aber auch für zwei silberne Exemplare aus den Gräbern 84 und 134 von Münsingen-Rain (Kat. 22,3.5; Taf. 58,4; 60,4.6) und zwei weitere Stücke aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,1.2; Taf. 151,3.4; 152,2.6). Mit Ausnahme des reichverzierten Rings aus dem Bereich der Gräber 8-15 von Stettlen-Deisswil zeigen die genannten Silberringe auch Gussmerkmale, weshalb die an diesen sichtbaren Spuren auch auf eine Formung in Wachs zurückzuführen sein können. Hinweise auf den - zumindest vorausgehenden - Guss sind sowohl auf der Innenseite erkennbare raue Gussoberflächen (Taf. 58,4; 152,4) als auch auf der Außenseite sichtbare Gussgefüge (Taf. 60,5), die durch Korrosion und Reinigungsvorgänge zum Vorschein kamen. An nahezu allen untersuchten Bandfingerringen auffallende, quer verlaufende eingerissene Ränder (Taf. 60,1.3.6), durchgehende Risse (Taf. 58,2.4, 60,2; 76,2.4; 151,4) oder gar Brüche (Taf. 56) könnten sowohl auf Nahtstellen hindeuten als auch auf Gussfehler oder Schwachstellen, die durch eine Überbeanspruchung des Materials beim Auftreiben oder Nachschmieden eines gegossenen Vorprodukts entstanden sind. Da zumeist mehrere solcher Risse an jeweils einem Objekt auftreten, diese unregelmäßig verlaufen und sich teilweise zusätzliche schuppenartig abgeplatzte Stellen zeigen, verweisen diese Schäden jedoch weniger auf potentielle Fugengebiete als vielmehr auf Treibriße durch eine Überbeanspruchung des Materials.

Alle sichtbaren Hinweise machen für die Bandfingerringe aus Edelmetall überwiegend eine Formgebung aus einem bereits in Ringform gegossenen Vorprodukt wahrscheinlich. Da die Spuren eines Treibvorgangs an den Goldfingerringen besonders deutlich sind, ist anzunehmen, dass das Vorprodukt in diesen Fällen noch deutlich ausgeschmiedet werden musste. Die Silberringe aus den Münsinger Gräbern 84 und 134, aber auch aus Grab 31 von Stettlen-Deisswil scheinen dagegen nur wenig nachgearbeitet worden zu sein. Die profilierten Ränder an den Münsinger Exemplaren (Taf. 58,5; 60,5) könnten deshalb bereits aus einer Formung in Wachs resultieren. Die scharfkantigeren Profilierungen und die - wohl durch den Gebrauch abgenutzten - umlaufenden Kreisverzierungen (Taf. 152,3) an dem Ring aus Grab 31 von Stettlen-Deisswil dürften dagegen in einem letzten Arbeitsgang mit einer Schrot- und einer Hohlpunze in das Metall ziseliert und punziert worden sein.

Ein anderes Erscheinungsbild zeigt der zweite, reich verzierte Bandfingerring aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,1; Taf. 151). Die auf der Außenseite der Ringschiene eng beieinander liegenden Punzeinschläge (Taf. 151,6) legen nahe, dass die Verzierungen von innen und von außen ziseliert worden sind. Eine Nahtstelle konnte nicht beobachtet werden. Der deutliche Riss auf der Innenseite (Taf. 151,4) ist auf der Außenseite nicht zu erkennen und die Ziselierungen zeichnen sich wiederum nicht auf der Innenseite ab. Die Facetten auf der Innenseite dürften dagegen vom Treiben über einer Kugelpunze zu stammen. Da sich die Erscheinungsbilder der Innen- und der Außenseite deutlich voneinander unterscheiden, ist

anzunehmen, dass ein Außen- und ein Innenring miteinander verbunden sind. Möglich erscheint daher folgender Vorgang: Obwohl keine Hinweise auf eine Nahtstelle zu erkennen sind, ist es wahrscheinlich, dass der äußere Ring aus einem ziselierten Blechband hergestellt wurde. Die im IFZAA Basel gemessene Legierung weist dabei auf ein antikes Feinsilber hin, welches sich sehr gut für jede plastische Verformung eignet⁵². Um diesen Ring zu verstärken und die auf der Innenseite sichtbar gebliebenen Ziselierungen zu kaschieren, wurde ein weiterer dünner Blechring hergestellt. Wie dieser angefertigt wurde bleibt unklar, der erkennbare Riss deutet dabei, wie bei den oben genannten Bandfingerringen, eher auf einen Treibriß als auf eine Nahtstelle. Die beiden Ringe wurden ineinander gesteckt und durch einen Treibvorgang angepasst, wobei der innere mithilfe einer Kugelpunze an den äußeren gedrückt wurde. Abschließend wurden die Ränder des inneren Ringes um den äußeren Ring umgeschlagen und gebördelt. Dieser Vorgang liegt nahe, da die Randausformung der Ringschiene auf eine mechanische Falzverbindung hindeutet (Taf. 151,5-6).

Die Verzierungen scheinen an einigen Bereichen abgenutzt zu sein, so dass man davon ausgehen kann, dass der Ring vermutlich zu Lebzeiten getragen wurde. Die offensichtlich überschlifffene Oberfläche erschwert jedoch eine solche Interpretation.

Stilistisch vergleichbare Fingerringe in der Schweiz, im Salzburger Land, Tschechien und Sardinien wurden bereits von J. V. S. Megaw (1965/66) zusammengestellt. Eine direkte Parallele nach Form und Verzierung im Waldalgesheim-Stil liegt mit einem Goldfingerring aus dem Gräberfeld vom Dürrnberg bei Hallein in Österreich vor (Megaw u. Megaw 1989, 117; Eluère 1987, 153 Abb. 107). Dessen Verzierung interpretierte Ch. Eluère als gegossen. Damit deuten sich zwischen den formal und stilistisch sehr ähnlichen Ringen vom Dürrnberg und aus Stettlen-Deisswil Unterschiede in ihrer Anfertigung an⁵³.

Die Herstellung der Bandfingerringe scheint anhand der untersuchten Exemplare nicht einheitlich, wobei vor allem der zuletzt genannte Ring aus Stettlen-Deisswil eine Sonderstellung einnimmt. Mit Ausnahme dieses Exemplars erfolgte die grundlegende Anfertigung offensichtlich im Guss des kompletten Ringes oder im Guss eines Ring-Vorprodukts und nicht durch das Schmieden und Verbinden eines gebogenen Blechbandes.

5.1.1.2 Schaukelfingerringe

Eine weitere häufig aus Silber hergestellte Ringform ist der Schaukelfingerring. Andere Bezeichnungen für diesen Fingerringtyp sind "sattelförmiger Fingerring" oder auch "geknickter Fingerring". Dieser offensichtlich auf die Latènezeit beschränkte Formtyp zeigt eine weite Verbreitung vom Karpatenraum bis nach Südfrankreich und die Champagne sowie von

⁵² Eine Oberflächenanreicherung ist an diesem Stück allerdings auch nicht auszuschließen.

⁵³ Da die Ringe offensichtlich unterschiedlich hergestellt wurden, scheint es durchaus lohnenswert weitere Fingerringe dieser Form und dieses Stils zu untersuchen, wie sie aus Silber beispielsweise auch aus Libenice in Tschechien vorliegen (Waldhauser 2003, 505). Darüber hinaus könnten zusätzliche Untersuchungen der Gefüge und REM-Aufnahmen der Rissbereiche zu genaueren Interpretationen verhelfen.

Süddeutschland bis in die Südalpen⁵⁴. Besondere Verbreitungsschwerpunkte der Schaukelfingerringe sind die Schweiz und die Slowakei.

Mit schmalen drahtförmigen und schmalen bandförmigen sowie breiten bandförmigen Ausprägungen, die im Folgenden als "dünnrahtförmig", "schmalbandförmig" und "breitbandförmig" bezeichnet werden, unterscheiden sich die Formen ihrer Ringschiene jedoch deutlich⁵⁵. Unter den Ringen aus Buntmetall treten sowohl drahtförmige als auch bandförmige auf. Während die Exemplare aus Gold überwiegend dünnrahtförmig erscheinen, ist der Großteil der Stücke aus Silber bandförmig. Die Funde aus Silber wurden vor allem aus Gräbern des Schweizer Mittellandes geborgen und datieren in die späte Frühlatènezeit (LT B2). Aus Gräbern, die in die Mittellatènezeit (LT C1) datiert werden, stammen dagegen nur wenige silberne Exemplare.

Da die Schaukelfingerringe Abweichungen in Gestalt und Material aufweisen, die darüber hinaus mit Unterschieden bei der Herstellung einhergehen, sollen sie zunächst im folgenden Überblick näher vorgestellt werden, um anschließend technische Details zu erörtern.

5.1.1.2.1 Form und Verbreitung

Die ältesten Schaukelfingerringe, die wohl noch in eine frühe Phase der Stufe LT B einzuordnen sind, stammen aus Böhmen (Waldhauser 1998, 98) und Süddeutschland und wurden aus Golddraht hergestellt. Zu den Stücken aus Süddeutschland zählen neben einem Exemplar aus Singen (Garscha u. Dauber 1951, Taf. 36 A,4) besonders die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fingerringe aus Nebringen (Kat. 25,1.2; Taf. 82; 83).

Aus der Champagne ist ein silberner Schaukelfingerring aus dem reich ausgestatteten frühlatènezeitlichen Grab 13 von St. Memmie bekannt, welches von den Bearbeitern ebenfalls in einen frühen Abschnitt der Stufe LT B datiert wird. Nach der publizierten Zeichnung zeigt dieser Ring eine dünnrahtförmige Ausprägung (Charpy u. Chossenot 1989, 26 Nr. 682F).

Auch aus frühlatènezeitlichen Gräbern Niederösterreichs stammende Schaukelfingerringe aus Silber, wie etwa aus Grab 565 von Pottenbrunn (Ramsl 2002, 59f. Abb. 55), zeigen ein dünnrahtförmiges Erscheinungsbild.

In Osteuropa stammen nahezu alle Schaukelfingerringe aus frühlatènezeitlichen Gräbern und sind offensichtlich entweder dünnrahtförmig oder schmalbandförmig. Sie bestehen vorwiegend entweder aus Buntmetall, wie beispielsweise aus Kamenin in der Slowakei (Benadík u. a. 1957, 112; Taf. XLI,5.10), oder aus Gold, wie etwa aus Hurbanovo-Bacherov Majer, ebenfalls in der Slowakei (ebd. 70; Taf. XXV,4), und Hostomice in Böhmen (Waldhauser 1998, 117; 104 Abb. 9,4). Vereinzelte Exemplare, wie aus Hurbanovo-Abadomb

⁵⁴ Meines Erachtens sind keine Exemplare aus anderen vor- und frühgeschichtlichen Epochen bekannt. Darüber hinaus scheint es auch keinen Schaukelfingerring aus dem mediterranen Kulturraum zu geben, so dass die Form als "keltisch" anzusprechen ist.

⁵⁵ In einer Klassifizierung von J. Waldhauser (1998, 91) werden diese sich nach dem Querschnitt ihrer Ringschiene unterscheidenden Formen in seine Ringtypen 510, 520 und 530 unterteilt.

(Benadik u. a. 1957, 46; 54 Abb. 15,1) oder Pişcolt in Rumänien (Waldhauser 1998, 117; 87 Abb. 2,31), sind anhand der weiteren Grabbeigaben in einen entwickelten Abschnitt der Stufe LT B bzw. bereits in eine frühe Phase der Mittellatènezeit einzuordnen⁵⁶. Aus Silber wurden offensichtlich nur wenige Stücke angefertigt, wie beispielsweise aus Gräbern von Kamenin (Benadik u. a. 1957, 108; Abb. 31,16.17) oder Chotín (Ratimorská 1975, 85; Taf. I,5; 87; V,5) in der Südwestslowakei. Anhand der publizierten Zeichnungen sind keine Unterschiede in Form und Machart der einzelnen Stücke auszumachen, unabhängig vom verwendeten Material⁵⁷.

Die größte Anzahl von Schaukelfingerringen stammt allerdings aus früh- und mittellatènezeitlichen Gräbern der Schweiz und dort besonders aus dem Gräberfeld von Münsingen-Rain im Kanton Bern.

Unter den weit verbreiteten Exemplaren aus Buntmetall sind alle drahtförmigen und bandförmigen Formvarianten belegt. Diese treten in der Nordschweiz vor allem in Gräbern einer entwickelten Phase der Stufe LT B auf, wie in Andelfingen (Tanner 1979 H. 4/5, Taf. 11,12; 15,12 - 13; 24,11.12; 27,6; 29,8) und Basel (Müller 1981, 87; 94 Abb. 12,22), aber auch direkt am nördlichen Alpenrand, wie in Zug (Tanner 1979 H. 4/4, Taf. 55,9) und Steinhausen (ebd. Taf. 52,16) im Kanton Zug, wobei Letzterer bereits in eine Übergangsphase zur Mittellatènezeit eingeordnet werden dürfte⁵⁸. Die in der Westschweiz auftretenden Schaukelfingerringe aus Bronze scheinen alle dem breitbandförmigen Typ anzugehören, wie Exemplare aus Broc (Kaenel 1990, 137 Abb. 67; Taf. 65,24.25; 66,11.12) und Gempnach (ebd. Taf. 69,7) im Kanton Freiburg oder aus Longirod (ebd. Taf. 17, 6.7) im Kanton Waadt zeigen. Aus dem Mittelland stammen wiederum sowohl dünn Drahtförmige Exemplare, wie aus Seedorf (Tanner 1979 H. 4/14, Taf. 52,4.5) oder aus den Gräbern 75, 84, 126, 132 und 135 von Münsingen-Rain (Hodson 1968, Taf. 33,571; 38,440a; 51,337; 55,422.423; 58,324), aber auch bandförmige, wie aus den Gräbern 75, 149, 157 und 171 von Münsingen-Rain (Kat. 22,23; Taf. 77; Hodson 1968, Taf. 33,472; 64,385.386; 69,099-102), wobei lediglich das untersuchte Exemplar aus Grab 171 einem frühen Abschnitt der Mittellatènezeit zuzuordnen ist⁵⁹.

Betrachtet man allein die auf dem Gebiet der Schweiz auftretenden Stücke aus Buntmetall, scheint sich eine Tendenz zu breiteren Formvarianten abzuzeichnen, je jünger die übrige Grabausstattung eingeordnet wird. Vorbehaltlich der oftmals nicht sicheren zeitlichen Einordnung der Grabinventare, vermittelt das Formenspektrum der Schaukelfingerringe den Eindruck einer Formentwicklung von der Stufe LT B bis zur frühen Mittellatènezeit.

⁵⁶ Eine Zusammenstellung der Exemplare aus Gold findet sich in einem Fundkatalog bei J. Waldhauser 1998, 116 ff.

⁵⁷ Eine Ausnahme ist ein breitbandförmiger Schaukelfingerring aus Buntmetall aus dem frühlatènezeitlichen Grab 12 von Kamenin (Benadik u. a. 1957, 103; 105 Abb. 31,19). Dieser ist jedoch eine Sonderform mit "Buckeln" an den Biegungen und lässt sich damit nicht in die üblichen Ausformungen einordnen.

⁵⁸ Das Material des Fingerringes aus Steinhausen scheint unklar. Während A. Tanner Bronze angibt, wurde er bei D. Viollier (1916, 134) als "bague coudée en argent" aufgeführt.

⁵⁹ Das Inventar von Grab 171 weist zum größten Teil Fibeln auf, die in eine späte Phase der Stufe LT B eingeordnet werden, die beigegebene eiserne Mittellatènefibeln verweist jedoch möglicherweise auf eine Bestattung in der beginnenden Mittellatènezeit.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sich Schaukelfingerringe aus Gold in der Schweiz auf das Mittelland beschränken. Meines Wissens sind lediglich zwei Goldringe aus dem Gräberfeld von Münsingen-Rain (Kat. 22,20.21; Taf. 74; 75) und ein weiterer aus dem Berner Umland (Kat. 50; Taf. 186) bekannt. Allein der zuletzt genannte weist einen breiten, bandförmigen Querschnitt auf, die anderen sind der dünnrahtförmigen Variante zuzuordnen. Schaukelfingerringe aus Silber treten dagegen sowohl in der Nordschweiz auf, wie in Frauenfeld (Tanner 1979 H. 4/2, Taf. 11,33) und Boswil (ebd. H. 4/3, Taf. 4,10; 7,34.35), aber auch in Écublens (Kaenel 1990, Taf. 13,6) in der Westschweiz und in Trun im Kanton Graubünden (Tanner 1979 H. 4/1, Taf. 10,12). Eine besonders große Anzahl konzentriert sich jedoch auf Gräber des Mittellandes, wie aus Bern-Spitalacker (Kat. 7; Taf. 13) und aus Münsingen-Rain (Kat. 22,2.4.6-12.16; Taf. 57; 59; 61 - 67; 71; Hodson 1968, Taf. 46,510; Taf. 56,368b). Ein offensichtlich heute nicht mehr erhaltener Ring aus "Elektron" aus Münsingen-Rain (Hodson 1968, Taf. 63,294) und ein üblicherweise zu den Goldringen gezähltes Exemplar aus Worb-Richigen (Kat. 49; Taf. 185) können aufgrund ihrer Legierungen ebenfalls den Silberringen zugerechnet werden. Die große Anzahl silberner Schaukelfingerringe legt eine lokale Produktion im Schweizer Mittelland nahe.

Während die älteren Exemplare drahtförmig erscheinen, beginnt sich die Form ab einer entwickelten Phase der Stufe LT B zu verbreitern und wird zunehmend massiver. Die Schaukelfingerringe aus mittellatènezeitlichen Grabkomplexen weisen die breitesten oder massivsten Ringschienen auf.

Aus dem Schweizer Südalpenraum liegen dagegen nur einzelne mittellatènezeitliche Stücke vor, offensichtlich fast ausschließlich aus Silber und ebenfalls breitbandförmig (Pernet u. a. 2006, 114). Dazu gehört der wohl einzige Schaukelfingerring aus dem Gräberfeld von Giubiasco (Kat. 10,1; Taf. 15,3), welches sich - mit Ausnahme dieses Formtyps - durch seinen Reichtum an Silberschmuckobjekten auszeichnet⁶⁰.

Aus Siedlungen sind Schaukelfingerringe äußerst selten erhalten. Dazu gehören der untersuchte Fingerring aus der in die Mittellatènezeit zu datierenden südfranzösischen Höhensiedlung von Verduron (Kat. 45; Taf. 160) und ein weiteres Exemplar aus dem nahe-
liegenden keltoligurischen Oppidum von La Cloche (Chabot 2004, 163 ff. Abb. 232,3 H10-031). Beide lassen sich dem breitbandförmigen Typ zurechnen und sind wahrscheinlich absichtlich deponiert worden.

Der Ring aus Verduron stammt - zusammen mit einer Münsinger Fibel aus Bronze, deren Fußscheibe vergoldet ist - aus dem Mauerversturz eines Gebäudes. Dies verweist auf ein profanes Deponieren, möglicherweise als Versteck⁶¹.

Das Stück aus La Cloche wurde zusammen mit weiterem Silberschmuck - vor allem Ohrringen aus Draht mit umwickelten Enden - und Knochen ebenfalls innerhalb eines Hausbereiches deponiert, welcher von L. Chabot (2004, 130 Abb. 208) als Kultplatz gedeutet und

⁶⁰ Die Schaukelform zählt jedoch in den Gräberfeldern des Tessins und Oberitaliens ab der Mittellatènezeit, aber vor allem im 1. Jh. v. Chr., zu den charakteristischen Armringformen, auch aus Silber (Pernet u. a. 2006, 118 f.).

⁶¹ Nach freundlicher Auskunft von Dr. L. Bernard, Straßburg.

vorbehaltlich als "Héroôn" bezeichnet wird. Dieser Raum wird von ihm anhand eines Lochgürtelhakens in das 1. Jh. v. Chr. eingeordnet (Chabot 2004, 166). Die geschilderte Befundsituation (ebd. 124 Abb. 195; 128 ff.) lässt jedoch getrennte Fundbereiche für den Lochgürtelhaken und den Silberschmuck erkennen, wodurch eine Vergesellschaftung dieser Funde nicht plausibel erscheint.

Bemerkenswert ist der Fund mehrerer Teile einer Kalksteinstatue aus dem Bereich einer Ausfallstraße der Siedlung von La Cloche, unter denen sich das Fragment einer Hand mit einem dargestellten Schaukelfingerring befindet (siehe Fotos bei Chabot 2004, 152 Abb. 227; Chausserie-Laprée 2000, 165 Abb. 9). Die fragmentierte Statue lässt sich über eine rekonstruierte Körperhaltung im Schneidersitz und einen angedeuteten Kettenpanzer mit Statuen aus dem nahegelegenen, ebenfalls keltoligurischen Oppidum von Entremont vergleichen, die üblicherweise in das 3. bis 2. Jh. v. Chr. datiert werden (Hansen 2003, 91 f.; 96 f.). Für die Gestaltung des Kopfes der Statue finden sich Parallelen auf massaliotischen Obolen (Chabot 2004, 153), wie sie ab dem 4. Jh. v. Chr. bis etwa Ende des 3. Jhs. v. Chr. geprägt wurden (vgl. Brenot 1982, 191 mit Taf. 25,14-17; 1996, 30 f. mit Taf. IV-V; Furtwängler 1993, 434; Thoma 2006, 47 Abb. 27).

Eine Verbindung zwischen dem Schaukelfingerring aus La Cloche und der Statue mit der Schaukelfingerringdarstellung scheint naheliegend und lässt eine zeitliche Nähe beider Objekte zu den Statuen von Entremont annehmen. Unter dieser Voraussetzung wären nicht nur der Fingerring aus Verduron, sondern möglicherweise auch das Exemplar aus La Cloche und die Darstellung an der Statuenhand in die Mittellatènezeit einzuordnen, wobei die breitbandförmige Ausprägung für diese Zeitstufe charakteristisch zu sein scheint. In jedem Fall verweisen die Deponierung von Schaukelfingerringen und deren Darstellung an einer Statue auf eine herausragende Bedeutung dieser Fingerringe als Statussymbole.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist jedoch vor allem hervorzuheben, dass sich offensichtlich nicht nur die Form der Schaukelfingerringe - von dünnrahtförmig zu breitbandförmig - entwickelt hat, sondern dass die Ringe - nach Ausweis der im Folgenden zu erläuternden Herstellungsspuren - auch unterschiedlich angefertigt worden sind.

5.1.1.2.2 Herstellungsverfahren

Zu den ältesten der untersuchten Schaukelfingerringe gehören die zwei Exemplare aus Nebringen (Kat. 25,1.2) in Baden-Württemberg, die aus runden Golddrähten hergestellt wurden. Der kantig ovale Querschnitt und der Verlauf der Falten an beiden Ringen (Taf. 82,2-4; 83,2.3) sowie ein an einem Seitenbereich erkennbarer Riss an dem Ring aus Grab 8 (Taf. 83,6) deuten auf die jeweilige Drahtherstellung aus einem gerollten Blechstreifen hin.

Bei der Herstellung eines Schaukelfingerrings aus Draht müssen die Enden vor dem Biegen zur Schaukelform thermisch miteinander verbunden werden. Allerdings sind an keinem der

Exemplare, die Spuren eines Schmiedens zeigen, charakteristische Hinweise auf eine Verbindung mit metallischem Lot zu erkennen (vgl. Kap. 4.3.2.1). Auch mit Reaktionslot geschlossene Fugen, die deutlich sichtbar wären (vgl. Kap. 4.3.2.2), liegen nicht vor.

Lediglich an dem Ring aus Grab 8 von Nebringen finden sich Hinweise auf eine mögliche Verbindungsstelle. Hier zeigt sich an einer Biegung ein zweiter in Querrichtung verlaufender Riss, der in diesem Fall auf eine Naht hindeutet (Taf. 83,4). Auch verweisen deutliche Überarbeitungsspuren auf der Außenseite und eine im Vergleich zu den umliegenden Drahtbereichen sichtbar porösere Struktur der Oberfläche an der Innenseite auf eine thermische Verbindung der Drahtenden an dieser Stelle. Zusätzlich ist dieser Bereich stark ausgedünnt. Eine Analyse der Legierung am FEM in Schwäbisch Gmünd erbrachte schließlich keine abweichende Zusammensetzung zu anderen Drahtbereichen. Alle Beobachtungen zusammen legen ein Schmelzschweißen zum Verbinden der Drahtenden nahe.

Eigene Versuche zum Schmelzschweißen eines Drahtes - vor dem Biegen und Schmieden in die Schaukelform - zeigen, dass das nachfolgende Überschmieden der Verbindungsstelle diesen Bereich deutlich ausdünnen kann (Abb. 27). Eine Versprödung des Materials durch das Schmieden führte zu einem kurzen Riss an der Innenseite des Ringes, der durch ein ausreichendes Zwischenglühen hätte verhindert werden können. Im Falle des Ringes aus Grab 8 von Nebringen ist jedoch erstaunlich, dass der gewählte Bereich der Schaukelbiegung genau an der Verbindungsstelle liegt, während diese in einem Seitenbereich weniger stark beansprucht gewesen wäre.

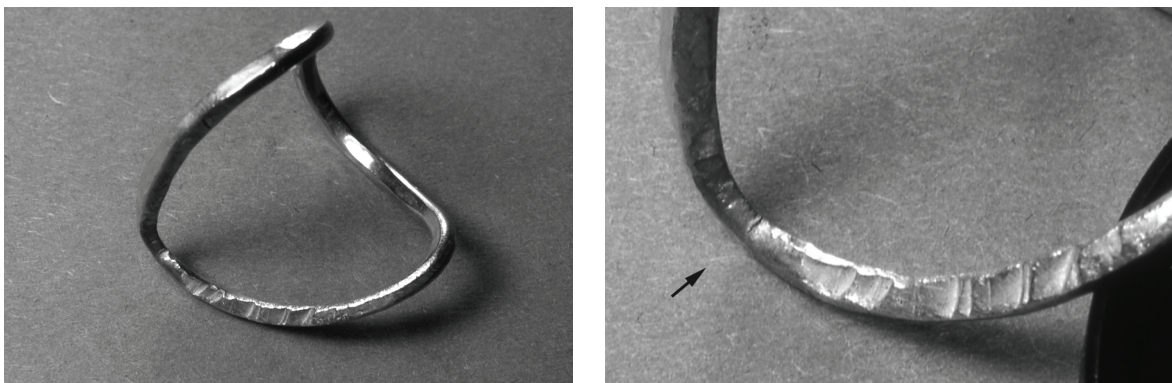


Abb. 27: Experimentelle Herstellung eines Schaukelfingerrings aus einem flach geschmiedeten Runddraht; Drahtenden wurden vor dem Formbiegen mithilfe des Schmelzschweißens überlappend gefügt; Pfeil zeigt geschweißte und überschmiedete Nahtstelle an; verwendete moderne Hilfsmittel: Ag 935, Gasbrenner und Lötpistole.

Auch die beiden Goldfingerringe aus den Gräbern 64 und 102 von Münsingen-Rain (Kat. 22,20.21; Taf. 74; 75) wurden aus Draht hergestellt. Im Gegensatz zu den Exemplaren aus Nebringen deuten facettenförmige Schlagspuren und streckenweise sichtbare Falten auf das Schmieden massiver Drähte hin. Die Ringschienen sind durch einen unregelmäßig flachovalen Querschnitt etwas breiter und wurden nur auf der Außenseite sorgfältig poliert. Die dagegen kaum überarbeitete Oberfläche auf der Innenseite der Ringe zeigt deutliche Schmiedespuren,

die an dem Stück aus Grab 64 besonders auffallen. Die starke "Knickform" beider Fingerringe verweist auf das Biegen geschlossener Fingerringe zur Schaukelform über ein Widerlager. Dies setzt eine vorhergehende Verbindung der Drahtenden voraus, eindeutige Anzeichen für Nahtstellen fehlen jedoch.

Unter den untersuchten Schaukelfingerringen aus Silber ist eine Drahtherstellung aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen nur an dem fragmentarisch erhaltenen Ring aus dem Grab 140 von Münsingen-Rain (Kat. 22,8; Taf. 63) sicher belegt. Auch hier müssen die Drahtenden zunächst thermisch verbunden worden sein, bevor der Ring gebogen und die Ringschiene auf einem Ringriegel oder Hornamboss bandförmig geschmiedet werden konnte. An beiden erhaltenen Teilen, die modern durch einen Klebstoff verbunden sind, lassen sich jedoch keine Anzeichen einer Nahtstelle erkennen.

Weniger eindeutig sind die Hinweise auf eine Herstellung aus Draht an dem schmalbandförmigen Schaukelfingerring aus Bern-Spitalacker (Kat. 7, Taf. 13). Falten an den Biegungen (Taf. 13,5.6) zeigen jedoch Ähnlichkeiten mit dem angesprochenen Ring aus dem Münsinger Grab 140. Sollte es sich hierbei nicht um Warmrisse und/oder nach dem Gießen nachgeschmiedete Bereiche handeln, ist für diesen Ring ebenfalls eine Anfertigung aus Draht und die Verwendung eines thermischen Verbindungsverfahrens anzunehmen. Eine eindeutige Interpretation ist jedoch mangels sichtbarer Hinweise auf eine Nahtstelle nicht möglich.

Für die Herstellung eines bandförmigen Schaukelfingerrings kommen jedoch nicht nur die Anfertigung aus einem Runddraht, welcher nach dem Fügen der Enden und dem Biegen zur Schaukel breit geschmiedet wird, sondern auch das Aufschmieden aus einem gegossenen Vorprodukt oder das Formgießen im Wachsaußschmelzverfahren infrage. Neben den Merkmalen einer rein plastischen Formgebung zeigen vor allem die Schaukelfingerringe der schmalbandförmigen Variante Hinweise auf ein vorausgehendes Gussverfahren.

Dazu gehört der einzige im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Schaukelfingerring mit Verzierung aus Grab 79 von Münsingen-Rain (Kat. 22,2; Taf. 57). Die ziselierten und punzierten Verzierungen befinden sich auf zwei Schaukelseiten der schmalbandförmigen Ringschiene und erscheinen stark abgenutzt. Der Ring zeigt eine modern geklebte Bruchstelle (Taf. 57,4 hinten), bei der es sich möglicherweise um eine Nahtstelle handeln könnte. Allerdings weisen einige Stellen das Erscheinungsbild einer Gussoberfläche auf, so dass besonders das Schmieden eines gegossenen Vorproduktes zur Schaukelform denkbar ist und die Bruchstelle damit auf eine Überbeanspruchung des Materials zurückzuführen wäre.

Eine streckenweise raue, löchrige Oberfläche und fehlende Anzeichen von Nahtstellen an den silbernen Ringen der schmalbandförmigen Variante aus den Münsinger Gräbern 126 und 145 (Kat. 22,4.9; Taf. 59; 64) aber auch an dem breitbandförmigen Exemplar aus Buntmetall aus Grab 171 (Kat. 22,23; Taf. 77) können ebenfalls als Hinweise auf die Anwendung des Gussverfahrens gelten. Schlagspuren an den Kanten und ein deutlich erkennbares Schmiedegefüge an den Biegungen der silbernen Exemplare (Taf. 59,5; 64,6) sowie deutliche

Schmiedespuren auf der Innenfläche einer Schaukelseite und ein ungleichmäßiger Querschnitt der Ringschiene des Buntmetallringes (Taf. 77,2.5) legen auch bei diesen Stücken das Schmieden gegossener Vorprodukte nahe.

Ein Schmieden aus einem gegossenen ringförmigen Vorprodukt ist sowohl für die grundlegende Formgebung der schmalbandförmigen als auch der breitbandförmigen Variante möglich. Da besonders die Biegebereiche während der nachfolgenden Umformung zur Schaukel eine starke Materialverformung erfahren, nimmt diese Methode jedoch viel Sorgfalt und Zeit in Anspruch.

Da das Biegen eines bandförmigen geschlossenen Ringes zur Schaukel mit formimmanenten Schwierigkeiten während der mechanischen Umformung verbunden ist, hatten die Ausgangsformen vermutlich einen eher runden Querschnitt, welcher erst nach der Formung zur Schaukel breit geschmiedet wurde. Die tatsächlich verwendeten Ausgangsformen müssen jedoch spekulativ bleiben, da die Bearbeitungsspuren lediglich auf die letzten formgebenden Arbeitsschritte verweisen.

Das demgegenüber einfachste Verfahren zur Formgebung des bandförmigen Schaukelfingerringes ist das Gießen im Wachsausschmelzverfahren. Fehlende Fugen und besonders an den Schaukelseiten der Ringschienen sichtbare Gussstrukturen (z. B. Taf. 65,5) verweisen auf diese Technik bei einzelnen untersuchten Fingerringen der breitbandförmigen Variante. Schmiedespuren beschränken sich dabei lediglich auf die Biegebereiche.

Wie eigene Versuche zeigen, sind beim Wachsausschmelzverfahren gerade die Schaukelbiegungen am stärksten von Gussfehlern betroffen (Abb. 28). Nach Ausweis der an den als gegossen interpretierten Schaukelfingerringen erkennbaren Schmiedestrukturen (Taf. 65,3.4; vgl. Kap. 4.2.2 bes. Abb. 5,b) wurden genau diese Bereiche nach dem Guss häufig überarbeitet.

Das Gießen im Wachsausschmelzverfahren mit anschließendem Nachschmieden der Biegungen ist für die Silberfingerringe aus den Gräbern 136 und 138 sowie den zweiten Ring aus Grab 149 von Münsingen-Rain (Kat. 22,6.7.11; Taf. 61; 62; 66) wahrscheinlich. Sicher angewandt wurde dieses Verfahren an dem ersten Schaukelfingerring aus Grab 149 sowie den Stücken aus den Gräbern 171 und 184 von Münsingen-Rain (Kat. 22,10;12.16; Taf. 65; 67; 71). Die beiden zuletzt genannten Fingerringe zeigen streckenweise eine auf den Guss zurückzuführende poröse Oberfläche. Ein sich absetzender Bereich mit einer rauen Oberfläche an der Außenseite einer Biegung des Fingerrings aus Grab 171 (Taf. 67,5) könnte zudem als Hinweis auf eine Ansatzstelle für einen Gusskanal interpretiert werden. An zwei gegenüberliegenden Biegungen durchgehende Risse an dem Ring aus Grab 184 (Taf. 71,5) sind vermutlich auf eine nach dem Guss erfolgte Materialbeanspruchung zurückzuführen, zumal lediglich an diesen Stellen Überarbeitungsspuren auf der Innenkante der Biegungen vorliegen.

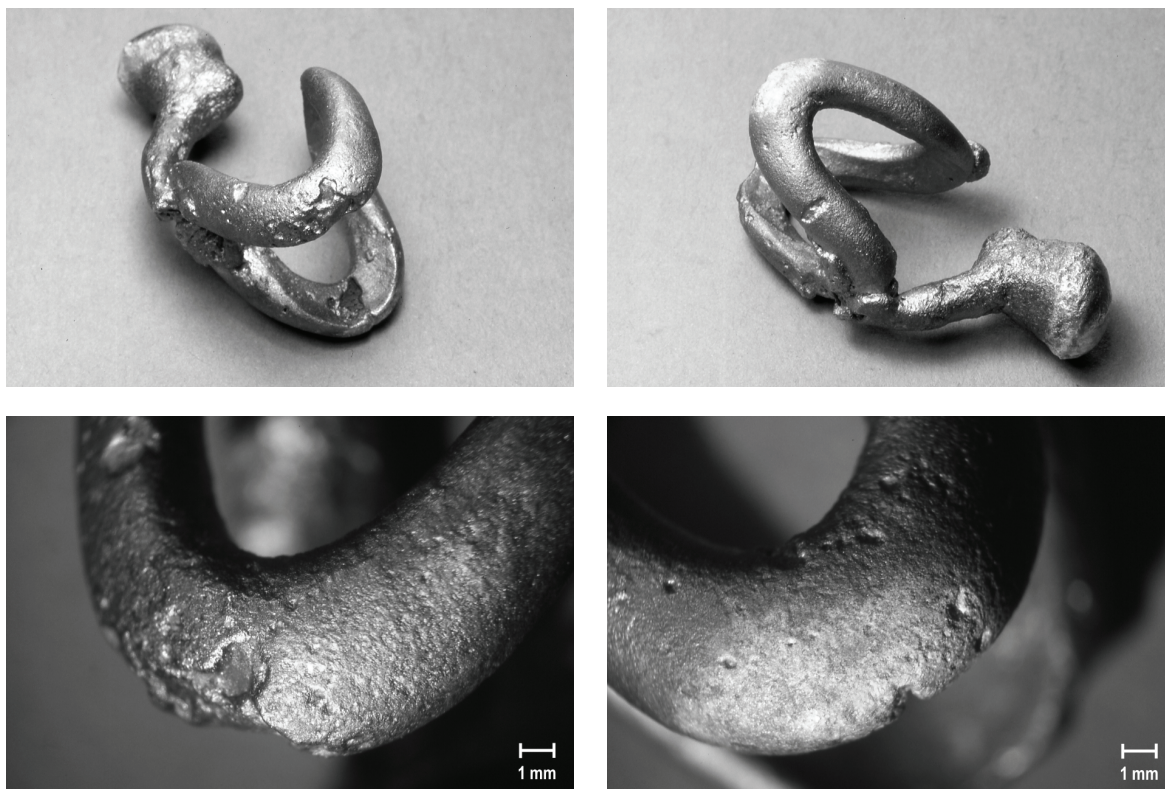


Abb. 28: Experimenteller Guss eines Schaukelfingerringes im Wachsausschmelzverfahren; nicht überarbeiteter Fehlguss; verwendete Hilfsmittel: Wachs, Ton, Ag 935, Holzkohlefeuer.

Eine entsprechende Anfertigung ist auch für den Schaukelfingerring aus Worb-Richigen (Kat. 49; Taf. 185) und das singuläre Stück aus Giubiasco mit Spuren eines Nachschmiedens an den Biegungen (Kat. 10,1; Taf. 15,3; 16,1) wahrscheinlich. Da sich die verwendete Legierung des Fingerringes aus Worb-Richigen zudem nicht gut für starke mechanische Umformungsprozesse eignet, scheint hier das Gussverfahren zweckmäßiger und naheliegend⁶². Die Oberfläche wirkt wie eine Guss Oberfläche und zeigt keinerlei Spuren, die auf eine Beanspruchung durch eine starke Verformung zurückzuführen wären.

Alle gegossenen Stücke weisen verhältnismäßig gleichmäßige Materialstärken auf und scheinen ursprünglich besonders sorgfältig geschliffen und poliert worden zu sein.

Obwohl eine sorgfältige Oberflächenpolitur vorangegangene Herstellungsspuren beseitigt hat, ist aufgrund der vergleichbaren Formgebung des breitbandförmigen Goldfingerringes aus dem Schweizer Mittelland (Kat. 50; Taf. 186) ebenfalls der Guss im Wachsausschmelzverfahren anzunehmen. Die "ausbuchtenden" Schaukelseiten und die starken Eindellungen der Innenkanten der Biegungen weisen zudem darauf hin, dass dieser Ring nach dem Guss

⁶² In einigen Publikationen wurde die Legierung mit ca. 75 % Ag, 20 % Cu und lediglich 5 % Au zu den Goldfingerringen gerechnet. Im Rahmen einer Untersuchung zur gesellschaftlichen Struktur des Gräberfeldes von Münsingen-Rain stellte P. Jud (1998, 132) jedoch fest, dass dort die mit Elektron bezeichneten Fingerringe innerhalb der von ihm untersuchten Ausstattungskombinationen die "Wertigkeit" eines Silberringes haben. Dies kann auch für den Fingerring aus Worb-Richigen gelten, da das verwendete Rohmaterial trotz der leicht rötlicheren Farbgebung als Silberlegierung anzusprechen ist. Der geringe Goldanteil ist vermutlich nicht auf eine absichtliche Zugabe zurückzuführen (siehe Kap. 7.1).

nachbearbeitet worden ist, wozu sich die verwendete Legierung mit einem Goldanteil von ca. 90 % besonders gut eignete.

Darüber hinaus deuten an nahezu allen Exemplaren sichtbare Facetten und "Eindellungen" in den Innenkanten der Biegunsbereiche (z. B. Taf. 62,4; 64,5; 67,6; 71,4) auf eine Nachbearbeitung hin, die auf die Ausarbeitung der endgültigen Schaukelform zurückführen ist. Diese Spuren verweisen auf eine abschließende - im Falle des Gusses korrigierende - Formgebung der Schaukel auf einem Widerlager⁶³. Da diese Bearbeitungsspuren auch an eindeutig geschmiedeten Ringen sichtbar sind, sind hierfür Korrekturen der Ringweite vorstellbar. Diese wären vor allem dann notwendig gewesen, wenn die Ringe - bedingt durch die Schaukelform - zunächst in einer nur annäherungsweise ermittelten Größe hergestellt wurden. Eine Anpassung an die Fingergröße über ein "Nachschmieden" bzw. Verengen durch Umbiegen über ein Widerlager war bei dieser Ringform offensichtlich häufig erforderlich.

Betrachtet man die oben aufgeführten technischen Interpretationen, so entsteht der Eindruck, dass innerhalb der Produktion der Schaukelfingerringe - besonders im Schweizer Mittelland - ein Wandel stattgefunden hat, der offensichtlich nicht an das jeweils verwendete Metall gebunden war. Diese Entwicklung verlief - modellhaft dargestellt - vom Biegen thermisch verbundener Drahtringe über das Ausschmieden gegossener Vorprodukte bis hin zu im Formguss angefertigten Ringen. Parallel erfolgte die oben geschilderte Formveränderung, von drahtförmigen Ringen bis hin zu ausgeprägten breitbandförmigen Varianten.

Geht man davon aus, dass ein solcher Formwandel durch Mode- und Prestigedenken bestimmt war, hätte sich die angewandte Herstellungstechnik abhängig von der gewünschten Form verändert. Der Formwandel wäre damit die Ursache für die sich ablösenden Herstellungstechniken gewesen.

Dass andererseits auch das technische Wissen und traditionelle Arbeiten des jeweiligen Handwerkers die Technik und damit auch die Form bestimmt haben, ist nicht zuletzt angesichts der Ausnahmen, wie sie etwa durch die Verwendung von Draht zur Herstellung des schmalbandförmigen Exemplars aus dem mittellatènezeitlichen Grab von Bern-Spitalacker sichtbar werden, ebenfalls in Betracht zu ziehen.

Das mit Abstand schwerste Exemplar unter den untersuchten Schaukelfingerringen stammt aus der keltoligurischen Siedlung von Verduron (Kat. 45, Taf. 160). Der Fingerring hat die Form einer leicht ungleichförmigen Schaukel, weist aber eine sehr einheitliche Materialstärke auf. Es ist keine Nahtstelle sichtbar und die Oberfläche zeigt stellenweise die Struktur einer Gussoberfläche (Taf. 161,1.2). Sowohl diese Beobachtungen als auch die Tatsache, dass die breitbandförmige Form nur schwer zu schmieden wäre, deuten auf einen Guss im Wachsausschmelzverfahren.

⁶³ Die an allen Goldfingerringen und dem Ring aus Worb-Richigen beobachteten Feilspuren auf der Innenseite der Biegungen (z. B. Taf. 75,6; 185,6) sind keine Hinweise auf antik überarbeitete Nahtstellen, sondern gehen wohl vielmehr auf nicht dokumentierte neuzeitliche Probenentnahmestellen für die in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts durchgeführten Spektralanalysen zurück.

Die Form des Schaukelfingerrings aus Verduron ähnelt vor allem den mittellatènezeitlichen Ringen aus Münsingen-Rain. Der Ring hat jedoch eine schmalere, aber stärkere Ringschiene und ist größer und deutlich schwerer. Da es sich allerdings immer um Einzelanfertigungen handelte, darf den Maßen der Schaukelfingerringe keine zu große Bedeutung beigemessen werden. Meines Erachtens machen neben der allgemeinen bandförmigen Ausprägung besonders die Hinweise auf eine Herstellung im Gussverfahren mit anschließender nur schwacher Überarbeitung den Ring aus Verduron unmittelbar mit den mittellatènezeitlichen Stücken aus dem Schweizer Mittelland vergleichbar.

Die oben aufgeführte Statue aus La Cloche unterstreicht die besondere Bedeutung der Schaukelfingerringe in den keltoligurischen Siedlungen. Der mit Darstellungen auf massaliotischen Obolen vergleichbare Kopf dieser Statue könnte auf einen direkten Bezug zu den Münzprägungen Massalias hinweisen. Massaliotische Obolen wiederum gehören im Schweizer Mittelland und in der Westschweiz zu den ältesten Silbermünzen (von Kaenel 1981) und belegen Kontakte nach Südfrankreich⁶⁴. Diese Beziehungen werden darüber hinaus in Verduron durch die Kombination des Schaukelfingerrings mit einer Münsinger Fibel deutlich. Folglich könnten der Ring aus Verduron und möglicherweise auch das oben erwähnte Exemplar aus La Cloche durchaus aus dem Schweizer Mittelland stammen und als Fremdgut nach Südfrankreich gelangt sein. Die Frage nach dem Produktionsort der beiden südfranzösischen Schaukelfingerringe lässt sich beim heutigen Quellenstand jedoch nicht sicher beantworten.

Abschließend sei noch auf einzelne Schaukelfingerringe hingewiesen, die sich nicht in das geschilderte Entwicklungsmodell einfügen lassen.

Dazu gehört der aus Kordeldraht hergestellte Ring aus Uster-Winikon (Kat. 43; Taf. 158), welcher anhand der vergesellschafteten Fibeln in die Frühlatènezeit datiert wird. Der Draht wurde nach Ausweis sichtbarer facettenförmiger Schlagspuren und parallel zur Längsachse verlaufender Falten (Taf. 158,4) aus einem massiven, vierkantigen Vorprodukt ausgeschmiedet. Die Enden des zur Schaukel gebogenen gekordelten Drahtes sind dabei solcherart mechanisch verhakt worden, dass die Verbindungsstelle beim Tragen kaum sichtbar gewesen sein dürfte⁶⁵.

Auch der Schaukelfingerring aus dem Oppidum von Manching (Kat. 19,7; Taf. 52) lässt sich nicht in das gezeichnete Bild einordnen. Seine Herstellung aus Draht ist über Falten zu erkennen, die allerdings weder strikt in Längsrichtung noch mäanderförmig verlaufen. Das

⁶⁴ Vorstellbar wäre eine Nutzung genau dieser Münzen als Rohmaterial für die Herstellung der Schaukelfingerringe auch im Schweizer Mittelland. Nur Serienanalysen von Massalia-Obolen und Fingerringen aus Silber würden weitere Rückschlüsse zulassen.

⁶⁵ Die Verwendung von Kordeldraht aus Silber ist zwar besonders für einige mittel- und spätlatènezeitliche Drahtarmringe aus dem Tessin und dem Wallis sowie aus Bern charakteristisch (siehe Kap. 5.2.1.2), tritt jedoch in anderen Regionen bereits früher auf, wie beispielsweise an zwei Silberfingerringen aus Este in Norditalien (Chieco Bianchi 1985, 204 Nr. 47 - 48 mit Abb. 22) und an einem Goldarmring aus Mannsersdorf in Niederösterreich (Bühler u. a. 2008, 110 Abb. 6). Das Verschlussystem mit ineinanderverhakten Enden an Letzterem (ebd. 108 Abb. 5,1) erscheint direkt mit der Konstruktion an dem Fingerring aus Uster-Winikon vergleichbar.

Erscheinungsbild einer der Bruchflächen könnte auf die Herstellung aus einem gerollten Blechstreifen verweisen (Taf. 52,1), während dagegen die andere Bruchfläche massiv wirkt (Taf. 52,6). Daher kann letztendlich nicht eindeutig geklärt werden, ob der Draht aus einem massiven Vorprodukt oder aus einem gerollten Blech hergestellt wurde. Eine Verbindungsstelle ist an einer sichtbaren Überlappungsstelle seitlich eines der Bruchenden (Taf. 52,1 Pfeil) zu vermuten, ein Schmelzschweißen überlappender Drahtenden ist damit naheliegend.

Der Ring stammt aus einer Kellergrube, die aufgrund einer Fibel vom Typ Almgren 65 in die Stufe LT D1b datiert⁶⁶. Ähnliche drahtförmige Ringe, wie die beiden Exemplare aus Nebringen (Kat. 25,1.2) oder das Stück aus dem Grab 140 von Münsingen-Rain (Kat. 22,8), werden dagegen in die Stufe LT B gestellt. Damit läge eine Zeitspanne von mindestens 150 Jahren zwischen diesen Stücken und dem Schaukelfingerring aus Manching. Eine bewusste Deponierung, wie sie für die südfranzösischen Schaukelfingerringe aus Siedlungsbefunden angenommen wird, scheint auf den Fingerring aus Manching nicht zuzutreffen. Nach Auskunft von S. Sievers ist dagegen vielmehr ein Zusammenhang mit einem lokalen Schadensfeuer wahrscheinlich. Die drei in Manching gefundenen Fingerringe aus Silber (Kat. 19,5-7; siehe Kap. 5.1.1.4) wurden daher vermutlich im Zuge von Aufräumarbeiten nach einem Brandereignis übersehen und weggeräumt. Durchaus vorstellbar wäre ein Szenario, in dem diese Ringe, die als Altstücke in Lederbeuteln o. ä. aufbewahrt waren, mit anderem "Brandschutt" weggefeuert wurden.

Die Tatsache, dass zwei der Ringe gebrochen sind, spricht dafür, dass die Stücke zum Zeitpunkt ihrer Niederlegung nicht mehr in Gebrauch waren. Trotz der Annahme, dass der Schaukelfingerring zu dieser Zeit nicht mehr getragen wurde, lässt sich seine Herstellung nicht ohne weiteres in die Frühlatènezeit projizieren. Damit liegt mit diesem Schaukelfingerring ein Ausnahmestück vor, dessen Herkunft und Herstellungszeit beim derzeitigen Quellenstand nicht eindeutig geklärt werden können⁶⁷.

Hinsichtlich der zentralen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit wurde nur eine begrenzte Anzahl an Schaukelfingerringen untersucht. Für die Verifizierung der hier geäußerten Hypothese einer technischen Entwicklung müssten jedoch weitere Exemplare aus Bunt- und Edelmetall im Original studiert werden, ein Unterfangen, welches durchaus lohnenswert erscheint⁶⁸.

⁶⁶ Für die freundlichen Mitteilungen zur Befundsituation der in Manching gefundenen Silberfingerringe sei an dieser Stelle Frau Prof. Dr. S. Sievers, Römisch-Germanische Kommission Frankfurt, herzlich gedankt.

⁶⁷ Hier bleibt anzumerken, dass vereinzelt weitere Schaukelfingerringe aus spätlatènezeitlichen Fundkontexten bekannt sind, welche aus Depots auf dem Balkan stammen, die in das 2. und 1. Jh. v. Chr. datiert werden, wie beispielsweise aus Kovin (Kat. Silber Illyrer 2004, 108 Nr. 165). Diese Schaukelfingerringe weisen ein breitbandförmiges Erscheinungsbild auf, wurden aber möglicherweise aus mehreren Einzeldrähten aufgebaut. Ob diese wohl skordiskischen Kontexten zuzuordnenden Exemplare tatsächlich aus einzelnen Drähten bestehen und welche Verbindungstechnik in diesem Fall zur Anwendung kam, kann ohne detaillierte Untersuchung freilich nicht geklärt werden.

⁶⁸ Fotos und Zeichnungen reichen bei weitem nicht aus, um weitergehende Fragestellungen in Hinblick auf eine form- und fertigungstechnische Studie der Schaukelfingerringe zu bearbeiten.

Für eine technikgeschichtliche Interpretation ist vor allem die Beobachtung entscheidend, dass an keinem der untersuchten Schaukelfingerringe aus Silber Hinweise auf ein Lötverfahren vorliegen. Wenn aufgrund einer Anfertigung aus Draht ein thermisches Verbindungsverfahren notwendig war, sind stattdessen geschweißte Verbindungsstellen in Betracht zu ziehen, welche überschmiedet, überschliffen und poliert wurden und damit für den heutigen Betrachter optisch - und analytisch - kaum noch fassbar sind⁶⁹.

5.1.1.3 Spiralfingerringe

Spiralfingerringe wurden vor allem ab der Mittellatènezeit weit verbreitet aus Bunt- und Edelmetall hergestellt und treten entsprechend wie die Band- und Schaukelfingerringe vorwiegend in Gräbern auf. Die Verwendung des Materials Silber in der Latènezeit ist besonders für diese Ringform kennzeichnend, sie konzentriert sich auch hier wieder auf Gebiete der Schweiz. Vor allem aus spätlatènezeitlichen Gräbern der lepontischen Gräberfelder von Giubiasco und Solduno im Tessin (Pernet u. a. 2006, 114 f.) sowie von Ornavasso in Oberitalien (Graue 1974, 201) sind zahlreiche Exemplare aus Silber bekannt. Weitere regionale Schwerpunkte erhaltener Silberspiralfingerringe decken sich weitgehend mit dem Verbreitungsgebiet der Schaukelfingerringe im Mittelland und der Westschweiz (Martin-Kilcher 1981, 117). Während die Mehrheit der Exemplare aus dem Südalpenraum bereits in die Spätlatènezeit datiert wird, stammen die Ringe aus dem Kanton Bern und der Westschweiz aus mittellatènezeitlichen Kontexten. Die Produktion der Spiralfingerringe folgt dort zeitlich auf die der Schaukelfingerringe⁷⁰.

Auch dieser Formtyp wurde in unterschiedlichen Varianten angefertigt. Die Ringwindungen besitzen dabei entweder einen drahtförmig runden, ovalen bzw. quadratischen oder einen band- bzw. D-förmigen Querschnitt. Ferner variieren sie in der Anzahl der Windungen und dem Vorhandensein sowie in der Art der Verzierung. Unter den untersuchten Beispielen gibt es sowohl Exemplare, welche aus dünnen oder dicken Runddrähten hergestellt wurden als auch solche, deren Ausgangsform aus einem bandförmigen Vorprodukt angefertigt wurde.

Der Spiralfingerring weist im Gegensatz zu den vorherigen Formen keine geschlossene Ringform auf und ist daher weder an das Aufschmieden eines geschlossenen Ringes noch an thermische Verbindungstechniken gebunden. Die naheliegende Herstellungstechnik ist das Schmieden eines runden oder bandförmigen Drahtes unterschiedlicher Stärke und das anschließende Biegen des entsprechenden Vorprodukts zur Spirale über einem Runddorn.

⁶⁹ Mit den im Rahmen der Arbeit zur Verfügung stehenden Methoden konnten nur in Ausnahmefällen Nahtstellen beobachtet werden. Für eine gezieltere Suche nach Verbindungsstellen wären vor allem REM-Aufnahmen von großem Vorteil (vgl. entsprechende Untersuchungen bei Echt u. Thiele 1994).

⁷⁰ Die Datierung der untersuchten Exemplare aus Giubiasco ist aufgrund der infrage zu stellenden Geschlossenheit der Grabinventare unsicher, weshalb diese Fingerringe dort lediglich in eine grobe Zeitspanne von der Mittellatènezeit bis in augusteische Zeit hinein eingeordnet werden (Tori u. a. 2004, 99; 143; 277; 349ff.; Pernet u. a. 2006, 157 Catalogo 49, Anelli di tipo 3).

Nach Ausweis sichtbarer Schmiedespuren, einigermaßen parallel zur Längsachse verlaufender Drahtfalten und massiver Drahtenden wurden die Fingerringe aus Grab 10 von Bern-Schärloch (Kat. 5,3; Taf. 10,3.4), aus Ferenbalm (Kat. 9; Taf. 14,3.4) und eines der beiden Exemplare aus dem Grab 184 von Münsingen-Rain (Kat. 22,18; Taf. 72,5) sowie aus Grab 16 von Giubiasco (Kat. 10,2; Taf. 15,6) aus massiv geschmiedetem und rund gerolltem Draht angefertigt. Demgegenüber verweisen der kantig ovale Querschnitt an einem der beiden Ringe aus dem Münsinger Grab 181 (Kat. 22,13; Taf. 68) und eine sichtbare aufgebrochene Stelle (Taf. 68,4) auf eine Drahtherstellung aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen.

Andere Spiralfingerringe mit stellenweise erkennbaren Streckspuren und einem durch Korrosion zum Vorschein gekommenen Schmiedegefüge, wie aus Grab 5 von Bern-Schärloch (Kat. 5,2; Taf. 10,1.2), aus Bern-Wylerfeld (Kat. 8; Taf. 14,1.2) und aus Bern-Bümpliz (Kat. 4,1-4; Taf. 5 - 8) oder aus Vechingen-Sinneringen (Kat. 44,1.2; Taf. 159,1-4) wurden aus einem massiv geschmiedeten bandförmigen Vorprodukt angefertigt. Weitere Spiralfingerringe mit bandförmigen Windungen, wie aus Niederried (Kat. 27,1; Taf. 88,1.2) und Stettlen-Deisswil (Kat. 40,3; Taf. 153), erlauben aufgrund stark korrodierter Oberflächen keine näheren Aussagen. Ihre Formgebung lässt jedoch ebenfalls auf das Schmieden eines massiv bandförmigen Vorprodukts rückschließen.

Die löchrig-raue Oberfläche einiger Spiralfingerringe, wie an einem Exemplar aus Grab 184 aus Münsingen (Kat. 22,17; Taf. 72,1-4) oder auch an den Ringen aus Oberhofen (Kat. 28,2-6; Taf. 92 - 96) und Giubiasco (Kat. 10,4-7; Taf. 15 - 17) hatte zunächst zu der überraschenden Annahme geführt, diese Ringe seien gegossen worden. Wie ein daraufhin durchgeführtes Experiment zeigen konnte, ist die Anwendung des Wachsausschmelzverfahrens durchaus möglich, um einen gleichmäßig geformten Spiralfingerring herzustellen (Abb. 29).

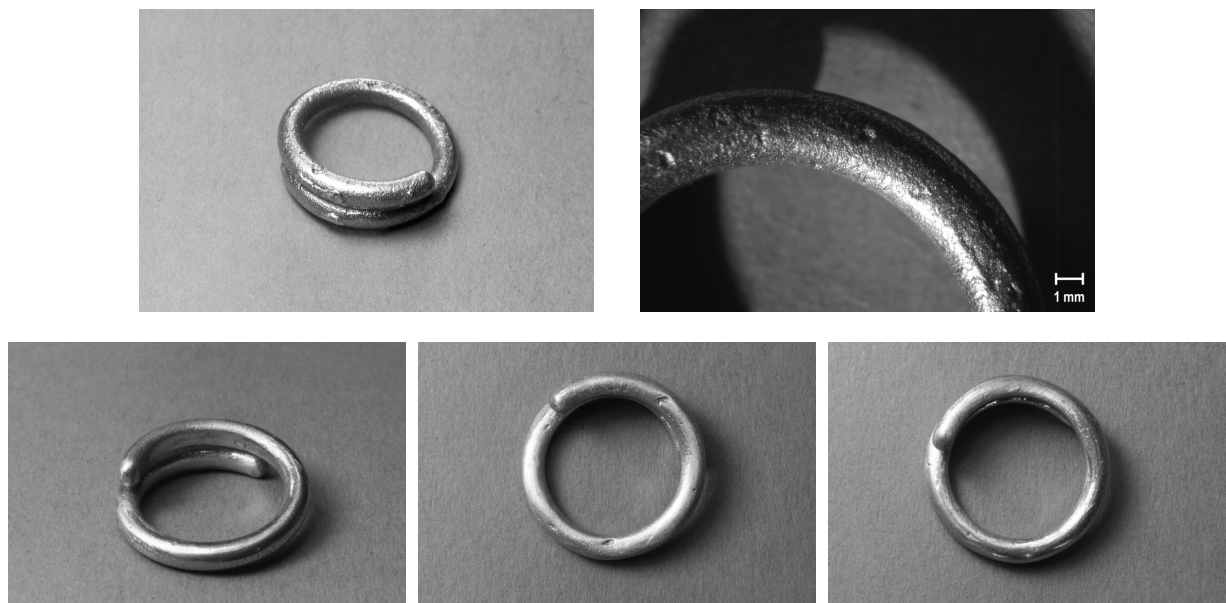


Abb. 29: Experimentell im Wachsausschmelzverfahren gegossener Spiralfingerring; nicht überarbeitete Guss Oberfläche (oben); überschlifene und polierte Oberfläche (unten); verwendete Hilfsmittel: Wachs, Ton, Ag 935, Holzkohlefeuer, Sandstein, Leder.

Entstandene Gusslunker bleiben sichtbar, da sie nicht vollständig überschlifren werden können, ohne dass zuviel des wertvollen Materials abgetragen würde. Das Erscheinungsbild zeigt selbst im polierten Zustand, dass Warmrisse oder von der Wachsformung stammende Rillen sowie Schleifspuren dem von Drahtfalten ähneln können. Dennoch steigt die Gefahr von Fehlgüssen mit zunehmender Anzahl der Windungen. Auch bei diesem Experiment wurde eine halbe Windung nicht vollständig mit der Schmelze ausgefüllt.

Je mehr Windungen vorliegen, desto unwahrscheinlicher scheint die Anwendung des Verfahrens zur Herstellung dieser Fingerringform. Angesichts der Gefahr von Fehlgüssen ist das Schmieden für diesen Formtyp sicher die praktikablere Methode. Da ein raues, löchriges Erscheinungsbild der Oberfläche auch auf Korrosion und neuzeitlich durchgeführte chemische Reinigungsmaßnahmen zurückgehen kann (siehe Kap. 2.1), müssen weitere Indizien vorliegen, die einen Guss nahe legen oder ausschließen können.

Unter dieser Voraussetzung ist auch für die Fingerringe aus Giubiasco ein Schmieden aus entsprechenden Vorprodukten wahrscheinlicher. Falten und Längsstrukturen an den Ringen aus den Gräbern 100 (Kat. 10,4; Taf. 15,4; 16,2) und 307 (Kat. 10,5; Taf. 15,5) verweisen zudem auf geschmiedete Vorprodukte. Deutliche Schmiedespuren und Drahtfalten zeugen auch an dem Exemplar aus Grab 411 (Kat. 10,6; Taf. 15,2) von der Herstellung aus einem massiv geschmiedeten Runddraht. An dem Spiralfingerring aus Grab 415 liegen neben sichtlich gestreckten Gefügestrukturen (Taf. 17,2) offensichtliche Falten und facettenförmige Schlagspuren vor, so dass die Anfertigung dieses Stückes ebenfalls auf eine plastische Umformung zurückgeht. In letzterem Fall wurde als Ausgangsform ein Vierkantdraht verwendet.

Obgleich die streckenweise löchrig und blasig erscheinende Oberflächenstruktur das Gießen nahe legen würde, finden sich auch an den aus einem Grab von Oberhofen stammenden Spiralfingerringen (Kat. 28,2-6) Anzeichen, die vielmehr für das Schmieden dieser Ringe sprechen. Neben den offensichtlich neuzeitlichen Spuren einer Drahtbürste liegen Längsstrukturen an einem der einfachen Ringe (Taf. 93,4 oben rechts) und an dem mit - durch den Gebrauch abgerundeten - Punzverzierungen versehenen Exemplar (Taf. 92,3.5) vor, die ein Schmiedegefüge anzeigen. Die Form der Enden an anderen Ringen (Taf. 94,1.4; 95,4) verweist ebenfalls auf das Schmieden eines massiven kantigen Vorprodukts (vgl. Kap. 4.2.3 Abb. 6,d; unten Abb. 30). An letzterem Ring sichtbare Längsrillen (Taf. 95,2) könnten ferner auf eine Materialverdrängung beim Schmieden zurückzuführen sein. Ähnliches könnte auch auf einen erkennbaren Riss an einem Exemplar (Taf. 94,5) zutreffen, der jedoch einem beim Gießen entstandenen Warmriss ähnlich sieht. Die offensichtlich bei der Herstellung vorgenommene Sorgfalt in der Überarbeitung der Oberfläche, dazu an einem der Fingerringe die Abnutzung der Verzierungen, sowie die neuzeitliche Reinigung mit einer Drahtbürste haben allerdings an allen Spiralfingerringen aus Oberhofen dazu geführt, dass die Spuren nicht eindeutig zu interpretieren sind. Alles in allem sprechen die genannten Beobachtungen und die

feststellbaren Materialunterschiede der Windungen dennoch für das Schmieden als formgebende Technik zur Anfertigung der Fingerringe.

Auch die Herstellung von zwei weiteren Spiralfingerringen aus Münsingen-Rain lässt sich mangels technischer Hinweise nicht eindeutig klären. Die korrodierte Oberfläche an dem gebrochenen Fingerring aus Grab 184 (Kat. 22,17; Taf. 72,1-4) weist keine einschlägigen Herstellungsspuren auf, die streckenweise sichtbaren Längsstrukturen könnten sich jedoch auf ein Schmiedegefüge zurückführen lassen. Der mit einer Wellenbandverzierung versehene Spiralfingerring aus Grab 181 von Münsingen (Kat. 22,14; Taf. 69) wurde wohl sorgfältig überschliffen und poliert, so dass auch an diesem die vorangegangenen Produktionsspuren überprägt wurden. Die abgerundeten Kanten der Verzierungen sowie eine in den Vertiefungen sichtbare raue Oberfläche legen aber eine Formgebung über das Wachsausschmelzverfahren nahe.

Verzierungen der Spiralfingerringe sind vorwiegend an den Exemplaren aus Edelmetall beobachtet worden. Diese können aus punzierten Ornamenten oder aus plastisch wirkenden Betonungen einer Windung bestehen.

Punzierte Verzierungen finden sich beispielsweise an den Fingerringen aus den Gräbern 100 und 415 von Giubiasco (Taf. 17,3) und an einem Fingerring aus Bern-Bümpliz (Kat. 4,3; Taf. 7,4). Die Profilierungen an drei Fingerringen aus Bern-Bümpliz (Kat. 4,1-3; Taf. 5,2.3; 6,2.4; 7) und den beiden Stücken aus Vechingen-Sinneringen (Kat. 44,1.2; Taf. 159,2.4) sind vermutlich durch das Schmieden des Drahtes in einem Gesenk, einer Rillenanke, entstanden, wurden jedoch zur Betonung nachziseliert. Zumindest eines der Exemplare aus Vechingen-Sinneringen wurde anschließend mit punzierten Kerben versehen. Auf den ersten Blick ähnelt diese Verzierung einem Kerb- oder Perldraht. Möglicherweise sollte dieses Erscheinungsbild bewusst nachgeahmt werden. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die letzteren Drahtziertechniken an wohl zeitgleichen goldenen Spiralfingerringen aus Horgen-Thalacker (Kat. 12,4.5; Taf. 30,1) im Kanton Zürich und aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,4; Taf. 148) in Südwestdeutschland verwendet wurden, um sowohl die Enden als auch die mittleren Windungen plastisch zu verzieren. Echte Kerb- oder Perldrahtverzierung ist dagegen von keinem der aus Silber angefertigten Spiralfingerringe bekannt.

Eine Sonderform der Spiralfingerringe aus Draht, die wohl ausschließlich im Schweizer Mittelland beliebt war, weist eine tordierte mittlere Windung auf. Als Ausgangsform dieser Ringe musste ein sorgfältig geschmiedeter und geglätteter Vierkantdraht hergestellt werden. Dieser wurde anschließend - mit Hilfe von zwei Zangen - um die eigene Achse gedreht, wobei nur der mittlere Bereich tordiert wurde. Die Gleichmäßigkeit des tordierten Bereichs ist dabei abhängig vom verwendeten Drahtquerschnitt. Je perfekter quadratisch dieser war, desto gleichmäßiger wurde die Tordierung. Folgend wurden die Enden zum Runddraht ausgeschmiedet, bevor der so vorbereitete Draht in einem letzten Arbeitsschritt um ein

Rundholz zur Spirale gebogen wurde. Mehrmaliges Zwischenglühen ist für diese plastische Umformung unabdingbar.

Spuren an einem im Experiment hergestellten Spiralfingerring dieser Variante (Abb. 30) sind direkt vergleichbar mit denen an den untersuchten Fundbeispielen aus Muri-Mettlen (Kat. 23,1.2; Taf. 78 - 79) und Bern-Bümpliz (Kat. 4,5; Taf. 8,3-6).



Abb. 30: Experimentell aus einem 3 mm starken Vierkantdraht (Ag 935) hergestellter Spiralfingerring mit tordierter Windung, an den gerundeten Enden mit Sandstein überschleiffen.

Der im Experiment angefertigte Ring weist denselben Außendurchmesser wie die Ringe aus Muri-Mettlen auf. Durch die Tordierung des verwendeten Vierkantdrahtes mit einer Kantenlänge von 3 mm wurde der Durchmesser in den mittleren Bereichen um ca. 0,2 - 0,5 mm stärker. Seine Enden wurden in diesem Fall auf eine Stärke von ca. 2 mm rund ausgeschmiedet. Für die Fingerringe aus Muri kann man damit entsprechend einen Vierkantdraht mit einer Kantenlänge von ca. 2 mm voraussetzen. Die runden Drahtenden wurden jedoch im Vergleich zum Experiment dünner und damit länger ausgeschmiedet.

Die silbernen Ringe aus Muri zeigen im Gegensatz zu dem Exemplar aus Gold von Bern-Bümpliz deutliche Abnutzungserscheinungen an den tordierten Bereichen. Bei Letzterem sind die Kanten des vorausgehenden Vierkantdrahtes offensichtlich ausgeprägter erhalten geblieben.

Weitere Spiralfingerringe dieser Variante sind lediglich aus dem Schweizer Mittelland bekannt. Dazu zählt ein Exemplar aus Silber aus Grosshöchstetten (Tanner 1979 H. 4/13, 24), aber auch ein äußerst fragmentarisch erhaltener Ring aus Vechingen-Sinneringen (Kat. 44,3; Taf. 159,5), welcher ebenfalls die Struktur eines tordierten Drahtes erahnen lässt. Ein anderer Spiralfingerring aus Grab 184 von Münsingen (Hodson 1968, Taf. 86,178) aus Gold weist - der Zeichnung nach zu urteilen - eine unregelmäßige Tordierung seiner gesamten Windungen auf, was auf einen nicht komplett quadratischen Querschnitt der verwendeten Ausgangsform zurückzuführen ist.

Bevor in den nächsten Kapiteln auf andere Fingerringformen eingegangen wird, sollen abschließend noch einige Beobachtungen zu den in der Latènezeit weit verbreiteten Fingerringformen der Band-, Schaukel- und Spiralfingerringe zusammengefasst werden. Die

oben aufgeführten technischen Interpretationen ergaben, dass nicht nur zur Herstellung der einzelnen Vertreter der verschiedenen Ringtypen, sondern auch innerhalb jeder der drei Gruppen unterschiedliche Verfahren eingesetzt wurden. Dies lässt vermuten, dass sich lediglich die jeweilige Form verbreitete, nicht aber eine daran geknüpfte Technik. Allein unter der Vorgabe der Form und des Materials konnte der jeweilige Handwerker seine ihm traditionell bekannte Technik umsetzen. Unterschiede in der Verarbeitung der Bunt- und Edelmetalle sowie spezialisierte Kenntnisse im Sinne eines heutigen Goldschmiedehandwerks sind nicht erkennbar. Damit scheint die Produktion der Fingerringe nicht an Spezialisten innerhalb des Feinschmiedehandwerks gebunden gewesen zu sein.

Darüber hinaus ist eine deutliche Konzentration der früh- und mittellatènezeitlichen Fingerringe aus Silber auf das Schweizer Mittelland mit einer lokalen Verarbeitung dieses Metalls in Verbindung zu bringen. Als Erklärung dafür kann - im Gegensatz zu weiteren Schwerpunkten der Silberverarbeitung, wie dem Wallis und dem Tessin - die Nähe zu möglichen Lagerstätten nicht herangezogen werden. Für die Verwendung von Silber im Mittelland und den offensichtlichen Reichtum, der in den Grabausstattungen hervortritt⁷¹, scheint vielmehr die geographische Lage am Schnittpunkt möglicher Verkehrsrouten von Süd nach Nord und von West nach Ost verantwortlich gewesen zu sein. Das Rohmaterial wird damit über bestehende Handelsverbindungen in die Region gelangt sein.

5.1.1.4 Drahtfingerringe

Draht und damit eine vorausgehende Drahtherstellung waren die technischen Grundlagen zur Herstellung weiterer Ringformen der Latènezeit, welche aus dem Material Silber angefertigt wurden.

Eine ab der Mittellatènezeit charakteristische Ringform ist der aus einem Draht gebogene Ring mit einer aufgewundenen Spirale als Zierplatte. Die einfachen Exemplare aus Silber von Niederried (Kat. 27,2; Taf. 88,3-5) und Giubiasco (Kat. 10,3; Kap. 5.2.1.2 Abb. 34 unten links) sowie der aus Horgen-Thalacker stammende Ring aus Gold (Kat. 12,3; Taf. 30,1) wurden aus einem einzelnen Draht aufgebogen. Dazu musste lediglich ein Draht zweifach um ein Rundholz und zur Spirale gebogen werden, um abschließend die beiden Drahtenden um die Ringschiene herum zu wickeln. Der größte Aufwand bestand in der Herstellung des Drahtes. Die verwendeten Drahtstärken setzen bei den Fingerringdurchmessern eine Drahtlänge von ca. 30 cm voraus. Während facettenförmige Schlagspuren und in Längsrichtung verlaufende Falten an dem Fingerring aus Giubiasco auf die Anfertigung des Drahtes durch das Ausschmieden eines massiven Vorprodukts verweisen, zeigen leicht spiralförmig umlaufende

⁷¹ Der Reichtum des Mittellandes scheint zudem durch ein nahezu ausschließlich auf das Mittelland beschränktes Auftreten von Goldfingerringen in Erscheinung zu treten (Alt u. a. 2005, 204), wobei sich die Herkunft des Goldes möglicherweise mit den unmittelbar in der Nähe zur Verfügung stehenden Rohmaterialquellen des Napfgebietes und im oberen Aaretal in Verbindung bringen ließe (Müller 1991a, 74 f.; Waldhauser 1998, 96 f.).

Falten an dem Exemplar aus Horgen an, dass der dünne Draht für diesen aus einem verdrehten Blechstreifen gebildet wurde.

In der Mittellatènezeit wurde dieser Formtyp auch aus Buntmetall hergestellt, wie etwa ein Stück aus Grab 161 von Münsingen (Hodson 1968, Taf. 71,113). Die meisten der insgesamt wenigen Exemplare sind jedoch aus Edelmetall. Lediglich einzelne dieser Fingerringe aus Gold, wie aus Muri-Mettlen (Kat. 23,3; Taf. 80) und Spiez-Spiezmoos (Kat. 38; Taf. 149) weisen zusätzliche Ziertechniken auf. Die Anfertigung von Perldraht und das Lötten einzelner Granalien setzen spezialisierte Kenntnisse dieser Techniken voraus, die an zeitgleichen Ringen aus Silber nicht angewandt wurden. Das mag an den persönlichen Geschmack der Auftraggeber gebunden sein, ist möglicherweise aber auch auf die Herstellung durch fremde Handwerker zurückzuführen, da diese Ziertechniken selten an mitteleuropäischen Schmuckobjekten dieser Zeit auftreten (siehe Kap. 4.4.4; 4.4.5). Nachdem die Perldrahtherstellung und die Granulation dagegen weit verbreitet im mediterranen Raum angewandt wurden, ist eine Anfertigung zumindest der beiden Ringe aus Muri und Spiez ohne Kontakte zu diesen Gebieten kaum anzunehmen. Ab dem 1. Jh. v. Chr. wurde der Fingerringtyp in verschiedenen Varianten zunehmend beliebter, auch während der gesamten Kaiserzeit (Guiraud 1989, 193; Riha 1990, 42; siehe Kap. 5.1.2.1).

Das Lötten zur Filigran- und Granulationsverzierung ist an keinem der latènezeitlichen Fingerringe aus Silber angewandt worden, lediglich vereinzelt an Exemplaren aus Gold. Dazu zählt die Verzierung mit drei Granalien auf dem mittellatènezeitlichen Fingerring von Spiez, aber auch die bereits in die Frühlatènezeit datierende Filigranverzierung an dem Drahtfingerring aus dem Mädchengrab 12 von Münsingen-Rain (Kat. 22,19; Taf. 73). An beiden Fingerringen verweisen spiralgig bis mäanderförmig umlaufende Fugen (Taf. 73,5; 149,3) auf eine Drahtherstellung aus tordiertem oder gefaltetem und gerolltem Blech. Als Verbindungstechnik der Granalien auf der Spirale des Fingerringes von Spiez ist das Reaktionslötten anzunehmen, da die Übergangsbereiche zum Draht kaum sichtbar erscheinen (Taf. 149,4-6; siehe Kap. 4.3.2.2). Dieses Verfahren scheint ebenfalls für das Lötten der Filigrandrähte an dem Münsinger Ring angewandt worden zu sein, an dem sich einige Verbindungsstellen gelöst und für diese Löttechnik charakteristische "Näpfchen" hinterlassen haben (Taf. 73,6; siehe Kap. 4.4.5 Abb. 21). Stilistisch und technisch weist dieser Fingerring damit große Ähnlichkeiten zu etruskischen Goldschmuckfunden auf, wenn auch ein paar Jahrhunderte dazwischen liegen (siehe Kap. 4.3.2.2 Abb. 12). Mangels vergleichbarer Objekte im Schweizer Mittelland, welche diese Technik in der Frühlatènezeit aufweisen, ist dieser Ring sicher als Fremdgut anzusprechen. Nicht nur zum Mittelmeerraum, sondern auch zum Mittelrheingebiet und nach Niederösterreich gibt es mögliche Verbindungen, wie das Auftreten von Goldringen zeigt, an welchen das Reaktionslötten zur Filigranverzierung ebenfalls vermutet bzw. nachgewiesen wurde. Beispiele sind ein aufgrund seiner wellenförmigen Filigranverzierung direkt vergleichbarer Fingerring aus Reinheim (Echt u. Thiele 1994, 92; 117 Abb. 31 Nr.27) und ein etwas später (in LT B1) zu datierender Arming aus Mannersdorf (Bühler u. a. 2008, 108 Abb. 5,2; 118) mit einer in "Achterschleifen" gelegten

Filigranverzierung. Die Parallele zu Letzterem wird besonders über den entsprechenden Haken-Ösenverschluss offensichtlich (ebd. 126 f.).

Weitere Drahtfingerringe der Latènezeit aus Silber sind allein aufgrund ihrer "zeitlosen" Form nicht näher einer Zeitstufe zuzuordnen. Es handelt sich dabei um einfache Drahringe, welche aus spätlatènezeitlichen Kontexten stammen, wie die Exemplare aus dem Depotfund von Lauterach (Kat. 18,2; Taf. 41) oder aus Siedlungsbefunden von Manching (Kat. 19,5.6; Taf. 51)⁷². Auch das Exemplar aus Miesbach (Kat. 21; Taf. 55) ist in diese Kategorie von Fingerringen einzuordnen.

Obgleich die eindeutige Zuweisung zu einem Drahtherstellungsverfahren durch sorgfältig geglättete Oberflächen bei den Fingerringen aus Manching erschwert ist, liegen mit den nicht immer strikt in Längsrichtung verlaufenden Falten einzelne Hinweise vor, die - wie bereits auch für den Schaukelfingerring geschildert - eine Anfertigung aus gerollten Blechstreifen andeuten. Die Drahtenden des einen Rings weisen glatte Flächen auf (Taf. 51,6), weshalb man davon ausgehen kann, dass dieser in beabsichtigter Weise offen gestaltet wurde. Da sich lediglich zuvor geschlossene Ringe in eine gleichmäßig runde Form bringen lassen, wird dieser Ring angesichts seiner "einbiegenden" Enden nie geschlossen gewesen sein. Die Enden des anderen Ringes verweisen dagegen auf eine deutliche Bruchstelle, die zudem Merkmale einer Drahtherstellung aus gerolltem Blech zeigt (Taf. 51,2). Darüber hinaus ist an diesem Ring ein verdickter Drahtbereich sichtbar (Taf. 51,1.2), der auf das Verschweißen überlappender Drahtenden verweist. Im Gegensatz dazu zeigt der stark korrodierte, geschlossene Fingerring aus Miesbach eine dünnere Stelle (Taf. 55), die jedoch ebenfalls auf eine Verbindungsstelle zurückzuführen ist. Möglicherweise musste in diesem Fall der Bereich um die Schweißstelle stärker überarbeitet werden, so dass der Draht dort stark ausdünnte.

Auch der Draht für den Fingerring aus Lauterach scheint nach Ausweis sichtbarer Falten, die leicht mäanderförmig in Längsrichtung verlaufen (Taf. 41,1-4), aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen angefertigt worden zu sein. Da die Falten allerdings schwer von - an allen Fundstücken dieses Depotfundes - zu beobachtenden Kratzern zu unterscheiden sind, lassen sich keine näheren Aussagen treffen⁷³. Beachtenswert erscheint jedoch eine Stelle, an welcher bei Vergrößerung quer zur Längsrichtung verlaufende Riefen erkennbar sind

⁷² Nach freundlicher Mitteilung von S. Sievers, Frankfurt, stammen diese beiden Fingerringe aus grabenähnlichen Befunden, die in der Spätlatènezeit verfüllt wurden.

⁷³ Alle Schmuckobjekte aus dem spätlatènezeitlichen Depotfund von Lauterach (siehe Kap. 5.2.3; 5.3.1.3.1; 5.4.2.1) zeigen deutlich langgestreckte Kratzer, welche sowohl an exponierten Stellen wie auch an Innen- oder Schmalseiten liegen (z. B. Taf. 40,2; 43,2.4; 44,4). Sie verlaufen immer in etwa der Längsrichtung des jeweiligen Objekts und überqueren dabei auch unterschiedliche Konstruktionselemente oder Verzierungsbereiche. Bemerkenswert ist ihre gelegentlich wie "geschnitten" wirkende Erscheinung. Aufgrund dieser Beobachtungen und der beschriebenen Befundsituation im Moor (Jenny 1881, 14 ff.) kann die Entstehung dieser Kratzer nicht auf Verlagerungsprozesse durch fließendes Gewässer oder durch Solifluktion zurückgeführt werden. Auch der Gebrauch einer Drahtbürste beim Reinigen der Stücke nach ihrer Auffindung lässt sich ausschließen. Da einzelne Abschnitte wie mit einer Messerklinge hervorgerufene Schnittspuren wirken, kann zumindest auf eine anthropogene Ursache geschlossen werden, welche nicht mit den Herstellungsprozessen in Verbindung zu bringen ist. Eine intentionelle "Unbrauchbarmachung", ein häufig an Objekten aus latènezeitlichen Edelmetalldeponierungen zu beobachtendes Phänomen (vgl. Guggisberg 2000, 232 ff.), lässt sich allerdings ebenfalls ausschließen, da diese wohl eher in Querrichtung verlaufende Kratzer erzeugt hätte.

(Taf. 41,5.6), die vermutlich auf den Drahtherstellungsvorgang zurückzuführen sind. Diese könnten möglicherweise beim abschließenden Rollen entstanden sein.⁷⁴ Die Drahtenden des Ringes müssen thermisch gefügt worden sein. Fehlende Hinweise auf eine potentielle Verbindungsstelle lassen jedoch keine Interpretation zur angewandten Technik zu.

5.1.1.5 Singuläre Fingerringe

Während die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Fingerringe zu gängigen Formtypen der Latènezeit gehören, handelt es sich bei den nun folgenden Stücken um für Mitteleuropa außergewöhnliche Einzelstücke der Mittellatènezeit.

Zwei dieser Fingerringe stammen aus dem Schweizer Mittelland und tragen eine mit Gold ausgestattete, nahezu runde Zierplatte.

Der Ring aus Grab 181 von Münsingen-Rain (Kat. 22,15; Taf. 70) wurde nach Ausweis der rauen, blasigen Oberfläche in einem Stück gegossen. Die Spuren verweisen darüber hinaus auf ein zusätzliches Nachzisellieren der mitgegossenen Verzierungen auf der Ringschiene (Taf. 70,4.5). Die Zierplatte wurde abschließend durch das Einlegen einer Goldfolie betont (Taf. 70,6; siehe Kap. 4.4.6). Die möglicherweise ursprünglich vorhandene, ziselierte Verzierung dieser Goldfolie ist heute nicht mehr erkennbar.

Ein besonders hervorzuhebender Fingerring desselben Formtyps stammt aus Oberhofen im Berner Oberland (Kat. 28,1; Taf. 89 - 91). Die auch an diesem sichtbare raue, löchrige Oberfläche lässt sich sicher auf den Guss dieses Ringes zurückführen, obwohl ein ähnliches Erscheinungsbild auch durch Korrosion und einen Ätzzvorgang hervorgerufen worden sein könnte.

Die Vergoldung wurde in früheren Publikationen als Feuervergoldung interpretiert. Die Ergebnisse einer Materialanalyse wurden dabei so gedeutet, dass das Quecksilber vollständig verdampft sei, was auf ein sorgfältiges Abrauchen zurückzuführen sei (Jäggy 1991, 47). Da jedoch jüngere Untersuchungen zur Feuervergoldung darauf verweisen, dass diese erst durch Restquecksilbergehalte von mindestens 5 % eindeutig nachgewiesen wäre (siehe Kap. 4.4.6), wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit erneut Metallanalysen im MAH Genf durchgeführt. Diese bestätigen das vollständige Fehlen von Quecksilber und sprechen somit gegen eine Feuervergoldung. Die Oberflächenstruktur der vergoldeten Fläche steht durchaus auch im Einklang mit dem durch eine Diffusionsbindung hervorgerufenen Erscheinungsbild. Die Diffusionsvergoldung muss dabei vor dem Prägen des Bildes durchgeführt worden sein⁷⁵. Dass tatsächlich geprägt und nicht ziseliert oder graviert wurde, beweisen Spuren, die eindeutig auf einen Prägevorgang zurückzuführen sind (siehe Abb. 31).

⁷⁴ Bemerkenswerterweise finden sich ähnliche Spuren auch an einem provinzialrömischen Lunula-Anhänger aus Rottenburg, dessen Draht ebenfalls aus einem gerollten Blechstreifen hergestellt wurde (vgl. Kap. 5.5.2; Taf. 138,4).

⁷⁵ An dieser Stelle sei besonders Herrn Dr. Kilian Anheuser (MAH Genf) für die analytische Untersuchung und die hilfreichen Diskussionen zum Thema der Vergoldungstechniken gedankt.



Abb. 31: Fingerring von Oberhofen-Schönörtli (Kat.28,1); vergoldete Zierplatte (links) und seitlicher Ansatz zur Zierplatte (rechts); Farbaufnahmen im MAH Genf.

Sowohl die scharfkantigen Konturen der Bildmotive (Taf. 91; Abb. 31 links) und die Absätze zur Ringschiene (Taf. 90,2-4; Abb. 31 rechts) als auch die erkennbaren Risse vor allem an den Rändern der Zierplatte (Taf. 90,5) verweisen auf die Anwendung einer Prägetechnik, vergleichbar mit dem Prägen von Münzen (siehe Kap. 4.4.2).

Dass zum Zeitpunkt des Prägens die Ringschiene bereits ausgeformt gewesen sein muss, lässt sich den ungleich tiefen Rändern des geprägten Bildes entnehmen. An den seitlichen Bereichen erscheint dieses tiefer eingeprägt als an den senkrecht dazu stehenden Bereichen, an welchen die Ringschiene ansetzt. Falls diese Beobachtung nicht auf Abnutzungerscheinungen zurückzuführen ist, spricht das für ein Auflegen auf ein entsprechendes Widerlager während des Prägens. Dabei dürften sich die Ansätze zur Ringschiene verformt haben, so dass ein Bild entstand, welches die Ringschiene wie nachträglich angebracht erscheinen lässt. Besonders in den Bereichen der tiefer eingepprägten Ränder sind auf der Unterseite der Zierplatte Risse zu sehen, die auf eine starke Umformung verweisen.

Die Abfolge der einzelnen Herstellungsschritte lässt sich nur schwer ermitteln. Da das Prägen erst nach der Vergoldung ausgeführt worden sein kann, kommen nur zwei Möglichkeiten infrage. Entweder wurde der Ring bereits in seiner jetzt sichtbaren Form gegossen, folgend die Diffusionsvergoldung der Zierplatte durchgeführt und abschließend geprägt. Oder es wurde zunächst ein Vorprodukt in gestreckter Form mit zwei Fortsätzen gegossen, vergoldet und geprägt. In diesem Fall erhielt die Ringschiene ihre jetzige Form erst danach durch das Ausschmieden der Fortsätze und Fügen am hinteren Bereich. Streckspuren sind vereinzelt sichtbar, können jedoch auch auf eine Überarbeitung der gegossenen Ringschiene zurückzuführen sein. Eine Fuge ist an keiner Stelle zu sehen und es wurde überall die gleiche Legierungszusammensetzung gemessen, sowohl an den Übergangsbereichen zur Zierplatte als auch im hinteren Bereich der Ringschiene. Falls eine thermische Verbindungstechnik angewandt worden wäre, käme demnach nur ein Schmelzschweißen überlappender Enden mit anschließendem Überhämmern infrage, welches mit einfachen optischen Hilfsmitteln nicht immer zu erkennen ist.

Argumentiert man über die Praktikabilität ist anzumerken, dass beide Varianten in der Herstellungsabfolge mit Schwierigkeiten behaftet sind. Ein Prägen erfordert einen enormen Kraftaufwand und Druck, der sich nur schwer auf einen bereits geformten Ring übertragen

lässt. Ein entsprechendes Widerlager wäre dafür unabdingbar, damit die Ringschiene während dieser Umformung nicht beschädigt wird. Eine thermische Verbindung der Enden der vorbereiteten Ringschiene ist dagegen kaum vorstellbar, ohne dass die zuvor durchgeführte Diffusionsvergoldung beeinträchtigt worden wäre. Nach Ausweis der genannten Unterschiede in der Eintiefung der Ränder des geprägten Bildes und auch der insgesamt perfekten Rundung im Bereich der Ringschulter ist eine Formgebung durch den Guss der Zierplatte mit Fortsätzen vor dem Vergolden und Prägen in jedem Fall anzunehmen. Die helle Farbe der Goldschicht spricht dafür, dass eine starke Diffusion von Silber ins Gold stattgefunden hat. Damit erscheint eine nach der Vergoldung und dem Biegen der Ringschiene durchgeführte Erhitzung zum Verbinden der Enden nicht abwegig.

Die Form dieses Fingerringes ist in Mitteleuropa selten, vergleichbare Ringe aus Gold und Silber mit vorwiegend ovalen Zierplatten, treten in älteren, großgriechischen Kontexten des 5. bis in das 3. Jh. v. Chr. als Siegelringe auf (Hoffmann u. von Claer 1968, 175 ff.; Williams u. Ogden 1994, 52; 62 ff.; 73; 105; 198; 219 ff.; 251 ff.). Die Ringschienen dieses Ringtyps werden als geschmiedet und gelötet interpretiert, das jeweilige Siegelbild wurde eingraviert oder ziseliert. Besonders in Norditalien scheint diese Form mit Tierbildern verziert und auch aus Silber hergestellt worden zu sein (Vitali 1992, Taf. 71,1; Waldhauser 1998, 88 Abb. 3,11). Darüber hinaus soll die (diffusionsgebundene?) Folienvergoldung von Silber nicht nur für Etrurien, sondern auch für das nord- und oberitalische Gebiet charakteristisch sein (Bergonzi 1995, 563). Form und Technik des jüngeren Oberhofener Ringes könnten damit aus diesen Gebieten übernommen worden sein.

Die Zierplatte des Fingerringes aus Oberhofen trägt die vergoldete Darstellung eines Pferdchens mit langen, spitzen Ohren sowie über dem Rücken und unter dem Bauch je einen Dreiwirbel und vor der Brust eine Schlangenlinie. Die Motive stellen für die keltische Münzprägung charakteristische Symbole dar, sind jedoch in der gesamten keltischen Bilderwelt gängige Elemente. Die oben erwähnten Spuren an dem Fingerring gehen auf die Verwendung eines Stempels zurück, wobei ein bereits vorhandener Münzstempel nahe liegt. Unterstützt wird diese Vorstellung durch die Tatsache, dass das Pferd üblicherweise als Rückseitenbild und damit durch den Oberstempel geprägt erscheint und dazu alle Prägemerkmale an dem Fingerring auf die Verwendung eines Oberstempels verweisen. Triskeles, aber auch - allerdings vorwiegend liegende - S-förmige Schlangenlinien bzw. Voluten, als Beizeichen sind auch in der helvetischen Münzprägung ab dem 2. Jh. v. Chr. gebräuchliche Motive (Allen 1974, 46 f.; Taf. 9,46.48; 13,121-128; 15,162-166.173; von Roten 1991, 88 f.; 139 ff., Kat. 150-152.159-161). Die Kombination zweier Triskeles und die Stilisierung des Pferdchens - zudem ohne Wagenlenker - sind jedoch für die frühen Prägungen ungewöhnlich. Eine Suche nach direkt vergleichbaren Münzbildern unter den frühesten Goldprägungen blieb bislang erfolglos, zumal diese auch durch den kleinen Durchmesser des Stempelbildes auf dem Ring eingeschränkt ist. Die für den Fingerring gezielt durchgeführte Anfertigung eines Stempels unter Verwendung beliebter Symbole ist dabei nicht völlig

auszuschließen⁷⁶. Der Fingerring wirkt wie eine zur Schau getragene Münze. Daher kann diese Grabbeigabe als demonstrative Präsentation von Reichtum interpretiert werden, besonders in einer Zeit, in der die Prägung von Goldmünzen erst einsetzte⁷⁷.

Ein weiterer offensichtlich Prestige symbolisierender Fingerring stammt aus einem ebenfalls mittellatènezeitlichen Grab aus Horgen im Kanton Zürich (Kat. 12,2; Taf. 31). Der Ring trägt eine gefasste Glasgemme mit eingravierter Darstellung, vermutlich einer Ratte. Er wurde in mehreren Publikationen (Tanner 1979 H. 4/6, 47; Polenz 1982, 70) als massiv gegossen angesprochen, Hinweise auf den Guss der Ringschiene sind jedoch nicht zu erkennen. Streckspuren auf der Innenseite lassen vielmehr auf Schmiedevorgänge schließen. Auf beiden Seiten sind am Ansatz der Ringschiene Risse zu erkennen, wobei der Ring auf einer Seite bereits gebrochen ist (Taf. 31,2). An diesen Stellen verweisen eine auf der Innenseite sichtbare poröse, blasige Struktur sowie grünliche Korrosionsprodukte auf mögliche Lötstellen, deren Korrosion die seitliche Rissbildung verursacht haben könnte. Weitere Risse auf der Unterseite (Taf. 31,4) liefern den Nachweis für das Anlöten einer Bodenplatte. Die Formgebung des Ringes wurde daher wohl durch ein Schmieden und Treiben der Ringschiene erzielt, wobei der obere Bereich vermutlich hohl aufgewölbt wurde, vergleichbar mit dem schematisch dargestellten Herstellungsprozess in Abb. 32. Im Vergleich zu dieser Darstellung wurde jedoch an dem Horgener Fingerring kein zweiter Ring zur Unterstützung der Ringschiene eingelötet, sondern lediglich eine schließende Bodenplatte. Eine Verbödung mithilfe eines zusätzlichen Innenringes - wie in dem Schema dargestellt - hätte den Ring sicher stärker stabilisiert. Auf diese Weise waren jedoch genau die Lötbereiche am Übergang stark mechanisch und korrosiv beansprucht.

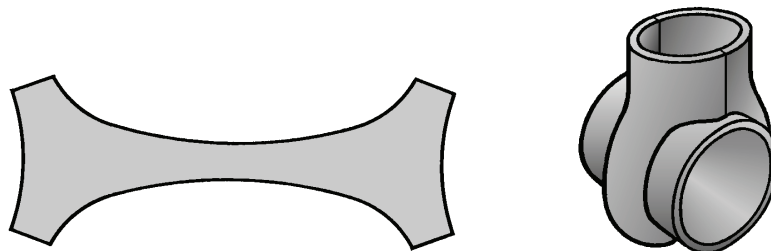


Abb. 32: Schema zur Herstellung eines aufgewölbten Hohlringes aus einem zugeschnittenen Blech (Umzeichnung nach Brepohl 2000, 285 Abb. 6.32,a,b).

⁷⁶ Für freundliche Hinweise zu den Bildmotiven in der frühen Münzprägung sei Herrn Dr. M. Nick (Inventar der Fundmünzen der Schweiz, Bern) herzlich gedankt.

⁷⁷ In diesem Zusammenhang erscheint es bemerkenswert, dass sich in einigen reich ausgestatteten Gräbern dieser Zeitstufe "echte" Münzbeigaben befinden, die auf eine direkte oder umgewandelte Übernahme der Beigabensitte des Totenobols aus dem mediterranen Totenbrauchtum zurückgeführt werden (Polenz 1982, 205 ff.). Analog dazu ließe sich möglicherweise auch der Ring aus Oberhofen als eine Art geweihte Münze interpretieren. Mediterraner Einfluss scheint sich hier jedoch nicht nur durch diese Beigabensitte, sondern auch durch die Übernahme fremder Techniken, wie der Diffusionsvergoldung, abzuzeichnen.

Nachfolgend wurde eine vorbereitete Fassung aufgelötet und abschließend die Glasgemme eingesetzt und gefasst. Dabei wurde eine sogenannte Zargenfassung hergestellt, bei welcher die Zarge als eine Art "Kragen" um die Gemme läuft. Die Gemme wurde in einem letzten Arbeitsschritt gefasst, indem die Zarge über die Kanten dieser gedrückt wurde. Möglicherweise wurde der Ringbereich unter der Gemme zur Unterstützung mit einer organischen Kittmasse ausgefüllt (so auch die erste Beschreibung bei Keller 1845/47, 11).

Die aus grünlichem Glasfluss hergestellte Gemme trägt ein auf ihrer Unterseite eingraviertes Bild einer nach links blickenden Ratte, welches - wohl um den Eindruck eines Edelsteins zu vermitteln - zusätzlich mit einer Gold- oder Silberfolie hinterlegt wurde⁷⁸. Eine im Schweizerischen Nationalmuseum, Landesmuseum Zürich, aufbewahrte neuzeitliche Abformung des Bildes in erhaben reliefierter Form zeigt das vertiefte Einschneiden des Gemmenbildes⁷⁹. Damit wäre ein Intaglio verwendet worden, welches in der Antike als Siegel genutzt wurde (Zwierlein-Diehl 2007, 4), an diesem Ring jedoch umgekehrt in die Fassung eingesetzt wurde, also eine reine Schmuckfunktion besessen hat.

Sowohl die Ringform als auch die Verwendung einer Gemme aus Glasfluss lassen eine Anfertigung des Fingerringes aus Horgen in einer mediterranen Werkstatt vermuten (siehe auch Polenz 1982, 185). Die Ausformung des Ringes ist vor allem für hellenistische Siegelringe charakteristisch (Higgins 1980, 169 f.; Guiraud 1989, 180). Ab der römischen Kaiserzeit wurde sie in Mitteleuropa zunehmend beliebter, die Verwendung des Materials Silber für diese ebenfalls (siehe Kap. 5.1.2.2). Glasgemmen waren jedoch insbesondere in der römischen Republik beliebt (Zwierlein-Diehl 2007, 311; 326). In Kombination mit dem Edelmetall Silber oder der Motivwahl von Tierdarstellungen in Intaglios - aus Halbedelstein oder Glas - treten diese Ringe in vorrömischer Zeit besonders in südalpinen Gräbern auf, wie beispielsweise in Ornavasso (Graue 1974, 60; Taf. 2,6; 5,1; 13,4) oder Giubiasco

⁷⁸ In den ersten Beschreibungen bei F. Keller (1845/47, 11) war die Rede von einem "Goldplättchen" hinter dem eingeschnittenen Bild selbst und einem "Silberplättchen" zur Abdeckung des gesamten ovalen Feldes. Die nachfolgenden Schilderungen (Tanner 1979 H. 4/6, 47; Bill 1981, 176; Polenz 1982, 70) nannten dagegen entweder Gold oder Silber. Durch den Glasfluss hindurch sichtbare Risse in der Folie (Taf. 31,6) unterstützen diese in der Literatur geäußerte Beschreibung. Durch die grünliche Färbung der Glasgemme hindurch ist jedoch nicht zu erkennen, ob das hinterlegte Material aus Gold oder Silber besteht. Der Sinn des Hinterlegens mit einer zusätzlichen Folie wird jedoch nicht nur einen dekorativen Grund besessen haben, sondern auch, um die Gemme von dem vermuteten Kitt abzusetzen.

⁷⁹ Ein von der neuzeitlichen Abformung angefertigtes Foto wurde vom Schweizerischen Nationalmuseum, Landesmuseum Zürich, leider nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Es handelt sich um eine offensichtlich von unten in die Vertiefung eingedrückte Abformung, vermutlich aus Wachs (?), so dass die Ratte ebenfalls nach links blickt. Zusammen mit den Äußerungen von F. Keller (1845/47, 11) und den deutlich sichtbaren neuzeitlichen Klebespuren verweist das Vorhandensein dieser "Siegelung" darauf, dass der Fingerring wohl bereits kurz nach seiner Auffindung geöffnet gewesen sein muss. Auch ist eine bei F. Keller (ebd. Taf. I,L) veröffentlichte Abbildung offensichtlich von der Unterseite der Gemme aus gezeichnet worden, da die Ratte dort nach rechts blickt. Weder zur Abformung noch zu weitergehenden technischen Schlussfolgerungen in alten Aufzeichnungen etc. liegen Informationen im Landesmuseum Zürich vor, so dass es abgesehen von den Beschreibungen bei F. Keller keine näheren Hinweise auf den inneren Aufbau gibt. Auch aus den folgenden veröffentlichten Äußerungen zu diesem Ring gehen - mit Ausnahme der Bemerkung, dass es sich um ein auf der Unterseite der Glasgemme eingraviertes Bild handeln würde - keine weiteren Details hervor (Bill 1981, 176; Polenz 1982, 70).

(Pernet u. a. 2006, 115 ff.)⁸⁰. Da sie dort jedoch aus spätlätènezeitlichen Kontexten stammen, lässt sich ein direkter Bezug des Horgener Ringes zu diesen jüngeren Stücken schwerlich herstellen⁸¹. Die Anfertigung des für die Mittellätènezeit nördlich der Alpen singulären Fingerringes aus Horgen ist ohne Kontakte zum italischen oder hellenistischen Kulturraum kaum vorstellbar. Eine Funktion als Siegelring ist angesichts des umgekehrt eingesetzten Glasintaglios auszuschließen, zumal auch die eingelegte, vermutlich aus Gold bestehende Folie auf eine dekorative und prestigeträchtige Verwendung dieses Ringes hinweist⁸².

5.1.2 Provinzialrömische Fingerringe

Im Gegensatz zur Latènezeit sind in den folgenden Jahrhunderten keine regionalen Schwerpunkte in der Nutzung des Materials Silber zur Herstellung von Fingerringen feststellbar. Sowohl die Formtypen als auch die Verwendung von Silber zeigen jeweils eine weite Verbreitung über alle Provinzen. Die große Anzahl der Fingerringe aus Silber lässt annehmen, dass dieses Metall in der provinzialrömischen Produktion gegenüber der latènezeitlichen Anfertigung von Fingerringen nicht mehr nur ausschließlich für reiche Bevölkerungsschichten verwendet wurde. Die Tatsache, dass Silberfingerringe vorwiegend aus Depotfunden und nur vereinzelt auch aus Siedlungsbefunden stammen, lässt sich dennoch auf die Wertschätzung des Edelmetalls zurückführen.

5.1.2.1 Drahtfingerringe

Auch in der römischen Kaiserzeit wurde Draht als Ausgangsform für einige Fingerringformen verwendet. Dabei sind im Vergleich zur vorangegangenen Zeitepoche weder in der Drahtherstellung noch in der Formgebung und der Verbindungstechnik wesentliche Unterschiede in der Anfertigungstechnik zu vermerken.

Ein einfacher, geschlossener Ring aus Wiggensbach (Kat. 47,20; Taf. 178,4-6) wurde aus einem Runddraht hergestellt, dessen Enden thermisch verbunden wurden. Eine nicht immer parallel zur Längsrichtung verlaufende Falte sowie der unregelmäßig ovale Querschnitt verweisen hier auf eine Drahtherstellung aus einem Blechstreifen, welcher verdichtend gerollt

⁸⁰ Die Mehrzahl der Siegelringe im Südalpenraum wurde dagegen aus Eisen angefertigt (Pernet u. a. 2006, 115), das Material, welches zum Dauergebrauch als Siegel am besten geeignet war. Auch die meisten italischen Siegelringe der römischen Republik bestanden aus Eisen (Zwierlein-Diehl 2007, 15 f.). Die Technik, Glasgemmen mit Goldfolie zu hinterlegen, wurde darüber hinaus auch an Eisenringen angewandt, wie ein Exemplar aus der spätlätènezeitlichen Siedlung Basel-Gasfabrik zeigt (siehe Jahresber. Arch. Bodenforsch. Basel-Stadt 2005, 22 mit Abb. 13).

⁸¹ Unter der Voraussetzung, dass alle Funde von Horgen aus einem einzigen Grabkomplex stammen (Keller 1845/47, 11; Polenz 1982, 70), datiert die Grabniederlegung in einen fortgeschrittenen Abschnitt der Stufe LT C.

⁸² Unter der Voraussetzung, dass der Fingerring im mediterranen Kulturmilieu entstanden ist, wird die das Bild betonende Folie vermutlich eher aus Gold bestehen, da die Verwendung von Goldfolie als Schmuckelement an Fingerringen sowohl im italischen als auch im hellenistischen Goldschmiedehandwerk durchaus gebräuchlich war. Besonders bemerkenswert erscheinen in diesem Zusammenhang hellenistische Fingerringe aus grünlichem Glas, in welchen eine Goldfolie eingelegt wurde (Williams u. Ogden 1994, 221).

wurde. Eine Lötfluge, bei welcher die Enden stumpf aneinander gefügt worden wären, ist nicht erkennbar. Die als stark ausgedünnte Stelle deutlich sichtbare Verbindung der Drahtenden lässt sich vielmehr auf ein überhämmertes Schmelzschweißen zurückführen.

Diese Fingerringform wurde bereits in der Latènezeit hergestellt (siehe Kap. 5.1.1.4) und lässt sich aufgrund ihrer schlichten Formgebung auch in provinzialrömischen Kontexten chronologisch nicht näher einordnen. Die geschlossenen Ringe ohne Verzierung, aber mit unterschiedlichem Querschnitt, treten aus Bronze, Gold und Silber weit verbreitet während der gesamten Kaiserzeit auf (Henkel 1913, 211f.; Guiraud 1989, 196). Das Material Silber für diese dünnen Drahtfingerringe war besonders in Augst und Kaiseraugst beliebt (Riha 1990, 48). Dass einfache, geschlossene Fingerringe jedoch nicht nur aus Draht hergestellt wurden, sondern für breitere Formen auch das Gussverfahren gewählt wurde, mag ein bandförmiger Fingerring aus Waging (Kat. 46,2; Taf. 163,3) zu verdeutlichen.

Andere, ebenfalls langlebige Formtypen sind Drahtfingerringe, zu deren Formgebung der Draht in unterschiedlicher Art und Weise gebogen wurde, sei es mit einfachen, unwickelten Enden oder aufgewunden zu einer oder mehreren Spiralisierungplatten (Henkel 1913, 228f.; Guiraud 1989, 193; Riha 1990, 42). Vergleichbare Exemplare aus der vorrömischen Eisenzeit - mit einer Spiralisierungplatte - wurden bereits oben erwähnt (siehe Kap. 5.1.1.4). Die unterschiedlich gebogenen Drahtfingerringtypen waren während der gesamten Kaiserzeit beliebt.

Dazu zählen auch zwei Ringe aus dem Anfang des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfundes von Rembrechts, deren nächste Parallelen aus Silber aus dem Limeskastell Zugmantel (Henkel 1913, Taf. 17,328) und aus dem Depotfund von Snettisham in Großbritannien (Johns 1997, 107 f. Nr. 289 - 299) stammen. Während der eine Fingerring aus Rembrechts nahezu vollständig erhalten ist (Kat. 33,10; Taf. 131,1-4), sind an dem zweiten (Kat. 33,11; Taf. 131,5.6) nur noch Hinweise auf eine ehemalige Wicklung vorhanden. Die Ringe wurden jeweils aus einem massiv geschmiedeten Draht angefertigt. Wie an dem fast vollständig erhaltenen Ring zu erkennen ist, wurden die Drahtenden dabei verjüngend ausgeschmiedet, um sie dann mehrfach von einer Seite zur anderen und zu zwei Spiralen zu biegen. Möglicherweise waren auch diese Fingerringe ursprünglich mit Granalien in den Spiralen versehen, vergleichbar mit den aufwändigeren Exemplaren aus Snettisham.

5.1.2.2 Fingerringe mit Gemme

In allen römischen Provinzen beliebte Ringformen, für deren Herstellung neben Gold, Bronze und Eisen auch das Material Silber verwendet wurde, sind Fingerringe mit einer gefassten Gemme.

Von diesen wurden exemplarisch drei Fingerringe aus dem in der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Wiggensbach (Kat. 47,17-19) untersucht. Sie besitzen eine sogenannte Sphendonform, bei welcher die Einlage in einer ovalen Vertiefung

der verbreiteten Ringschiene gefasst wurde (Riha 1990, 30). Dieser Formtyp wurde aus der griechisch-hellenistischen und italisch-republikanischen Goldschmiedekunst übernommen, aber vor allem ab dem 2. Jh. n. Chr. formal weiterentwickelt (ebd. 26; 30).

Die aus Wiggensbach stammenden Fingerringe 1 (Kat. 47,17; Taf. 177,1-3) und 2 (Kat. 47,18; Taf. 177,4-6) wurden jeweils aus zwei einzelnen Blechringen zusammengefügt. Der äußere Blechring wurde in Treibarbeit nach außen gewölbt, der innere als glattes Gegenstück eingefügt und um den Rand des äußeren gebördelt. Ob diese Falzverbindung durch ein zusätzliches Löten gefestigt wurde, lässt sich allein anhand der optischen Betrachtung nicht beurteilen, ist jedoch anzunehmen. An keiner Stelle sind eindeutige Lotfugen zu erkennen. In eine ovale Lochung des äußeren Blechringes wurde schließlich die jeweilige Gemme mit Hilfe eines Klebstoffes eingesetzt. Das Intaglio des ersten Fingerringes ist wohl aus einem Karneol angefertigt worden, das des zweiten Ringes aus einer Nicolopaste, d. h. einer Glasmasse, welche als Imitation einer blauen Onyxart gilt (Riha 1990, 22). In letzterem Fall sollte wohl "echter" Nicolo, ein in Lagenachat geschnittenes Intaglio (Zwierlein-Diehl 2007, 308), nachgeahmt werden⁸³. Dass diese Hohlringe offensichtlich mit einem Kitt ausgefüllt wurden, lässt sich lediglich den ersten Beschreibungen der Wiggensbacher Funde entnehmen, wo es heißt, dass "das Innere [...] mit einer graublauen festen Masse (Paste oder Kitt?) ausgefüllt" gewesen sei (Ullrich 1889, 55). Diese Bemerkung lässt sich wohl darauf zurückführen, dass die Ringe bei ihrer Auffindung offen gewesen waren und die Gemmen nachträglich wieder eingeklebt worden sind.

Der untersuchte Fingerring 3 aus Wiggensbach (Kat. 47,19; Taf. 178,1-3), bei welchem die Gemme offensichtlich bereits bei der Auffindung fehlte, weist gegenüber den Hohlringen Herstellungsmerkmale einer anderen Anfertigung auf. Seine löchrige Oberfläche lässt sich wohl auf Gusslunker zurückführen. Auch verweist die gesamte Ausformung und das Fehlen von Treibspuren auf den massiven Guss dieses Fingerringes. Die Form der Vertiefung für die Gemme wurde vermutlich mitgegossen und nach dem Guss mit einer Punze nachgearbeitet, um sie der anschließend einzuklebenden Gemme anzupassen sowie die Oberfläche für den Klebstoff zu vergrößern.

In Anlehnung an die Untersuchungen der Fingerringe aus Augst durch E. Riha (1990, 26 f.; 30 f.) deuten die verhältnismäßig breiten, plastischen Ringschienen auf die Herstellung aller drei Fingerringe aus Wiggensbach in der zweiten Hälfte des 2. Jhs. n. Chr., wobei die beiden Hohlringe aus einer Werkstatt stammen dürften⁸⁴.

Während die Formgebung der in Treibarbeit angefertigten Ringe mit gefälzten Blechrändern außergewöhnlich erscheint (so bereits Henkel 1913, 182), gibt es für den dritten Fingerring

⁸³ Die Materialsprache bezieht sich hier auf die älteren Beschreibungen bei A. Ullrich (1889, 55) und F. Drexel (1927, 41).

⁸⁴ Der dritte Hohlring dieser Art aus dem Depotfund von Wiggensbach, der bei A. Ullrich (1889, 55; Taf. II Nr. 1a) mit einer Glasgemme mit Hirsch-Darstellung beschrieben wurde, heute jedoch eine Gemme mit Victoria trägt, die nicht in der Erstpublikation erwähnt ist (Drexel 1927, 41 f. Fußnote 27), wurde hier nicht untersucht. Dieser dürfte aber den Beschreibungen von F. Henkel (1913, 182) zufolge in gleicher Weise hergestellt worden sein.

zahlreiche in ihrer Form vergleichbare Parallelen. Röntgenuntersuchungen an drei goldenen Fingerringen mit Nicolo-Gemmen aus dem kurz nach 166 n. Chr. niedergelegten Depot von Regensburg-Kumpfmühl konnten zeigen, dass diese Ringe aus Blech getrieben und die Nahtstellen vermutlich gelötet wurden (Boos u. a. 2000, 20 f.; 47 Abb. 22). Technische Studien an vergleichbaren Silberfingerringen dieser Form aus dem ebenfalls um die Mitte des 2. Jhs. n. Chr. zu datierenden Depotfund von Snettisham ergaben dagegen, dass diese Ringe - nach Ausweis von Gussnähten mithilfe des Zweischalengusses - massiv gegossen und nachgeschmiedet wurden (Johns 1997, 34; Lang 1997b, 61 ff.)⁸⁵. Da technische Untersuchungen jedoch nur selten durchgeführt bzw. publiziert wurden, lässt sich aus diesen beispielhaft genannten Unterschieden in der Herstellung der Regensburger Goldringe durch Treibarbeit und der Silberringe aus Snettisham durch den Guss weder eine regionale noch eine regelhaft auf das Material bezogene Differenzierung ableiten.

5.1.2.3 Fingerringe mit Zierplatte

Auch ein weiterer Formtyp, welcher in Silber angefertigt wurde, steht in vorrömischer Tradition. Dessen grundlegende Formgebung war die Ausarbeitung einer verbreiterten Zierplatte.

Hierzu zählt ein frühkaiserzeitlicher Fingerring aus dem Kastellvicus von Sulz mit stilisiertem Lorbeer- oder Palmzweigmuster auf seiner Zierplatte (Kat. 41,1; Taf. 154). Nach Ausweis der rauen Oberfläche auf der Unterseite der Zierplatte (Taf. 154,4) bei gleichzeitig an der Ringschiene erkennbaren Streckspuren scheint der Ring aus einem gegossenen Vorprodukt - Zierplatte mit zwei Fortsätzen - ausgeschmiedet und in seine runde Form gebracht worden zu sein. Dies würde eine anschließende thermische Verbindung implizieren. Die Form einer modern geklebten Bruchstelle auf der Rückseite der Ringschiene (Taf. 154,2.3) verweist dabei möglicherweise auf ein Verschweißen sich überlappender Enden. Die verhältnismäßig scharfkantigen V-förmigen Kerben der Verzierung (Taf. 154,5) ließen sich entweder auf ein spanabhebendes Meißeln oder ein Punzieren und Ziselieren mit einer Schrotpunze zurückführen. Die seitlich leicht aufgewölbten Grate an den Rändern der Kerben verweisen jedoch auf eine materialverdrängende Ziertechnik. Vermutlich antike Schleifspuren zeigen einen abschließenden Schleifvorgang der Zierplatte an.

In Form und Muster vergleichbare Ringe treten im Römischen Reich mehrfach auf (z. B. Henkel 1913, Taf. III,45.46.60; Hoffmann u. von Claer 1968, 184; Guiraud 1989, 175 Abb.2; 184 Abb. 18). Der stilisierte Zweig erscheint auch auf Fingerringen Ende des 2. Jhs. n. Chr., wie beispielsweise aus einem Depotfund von Lyon (Henkel 1913, 204 Abb. 210; Böhme 1974, 46 Abb. 21), die Form mit ihrer relativ schmalen, verbreiterten Zierplatte ohne Absatz zur Ringschiene scheint dagegen auf hellenistische Vorbilder zurückzugehen und vorwiegend für

⁸⁵ An einigen dieser Fingerringe, bei welchen die Gemme fehlte, konnte beobachtet werden, dass die Vertiefungen für die Gemme nach dem Guss des Ringes ausgemeißelt, ausgeschnitten und punziert wurden (Lang 1997b, 64).

das 1. Jh. n. Chr. charakteristisch zu sein (Henkel 1913, 235; Riha 1990, 31). Insbesondere aus den Vesuvstädten sind mehrere direkte Parallelen, vorwiegend aus Gold, bekannt, wie aus Pompeji (d'Ambrosio u. De Carolis 1997, Taf. VII, 65.66), Oplontis (ebd. Taf. XXIII, 223-225) und Herculaneum (ebd. Taf. XXX, 229).

Fingerringe, welche aus jeweils zwei Einzelringen mit verbreiterten Zierplatten aufgebaut wurden, stammen aus dem gegen 230 n. Chr. niedergelegten Depotfund von Rembrechts. Der erste Fingerring (Kat. 33,8; Taf. 129) besteht aus zwei aneinander gefügten Einzelringen, deren Zierplatten jeweils ein rautenförmiges "Zierblech" mit "Kügelchen-Verzierung" tragen. Der zweite Fingerring (Kat. 33,9; Taf. 130) wurde zusätzlich mit einem mittleren Ring aus Perldraht und einzelnen Granalien auf der Ringschiene und dem Perldraht versehen. An diesem Ring wurden die Granalien nicht nur zur Verzierung aufgebracht, sondern zusätzlich in technischer Funktion zur Stabilisierung der Verbindung der drei einzelnen Ringe, eine ab dem 2. Jh. n. Chr. an römischen Fingerringen häufig zu beobachtende Erscheinung (Henkel 1913, 277; Riha 1990, 32).

Die Formgebung der Einzelringe der beiden Fingerringe aus Rembrechts ist auf das Ausschmieden gegossener Vorprodukte zurückzuführen. Die jeweils aus mehreren Ringen zusammengefügte Ringschiene wurden an einem der beiden Ringe offen gelassen (Taf. 130,4) und am zweiten an ihrer Rückseite miteinander verbunden (Taf. 129,3). Die Fugen zwischen den Einzelringen sind nicht vollständig geschlossen. Dies zeigt, dass lediglich an einzelnen Stellen überbrückendes Lotmaterial hinzugefügt wurde.

In Anbetracht der teilweise einziehenden, ungleichmäßigen Übergänge zwischen "Blech" und "Kügelchen" ist das Ziselieren der "Kügelchen-Verzierung" der einzeln aufgetragenen "Zierbleche", wie in einer der ersten Beschreibungen der Fingerringe durch O. Paret (1934, 194) postuliert, auszuschließen. Damit sind nicht nur eine Granulation, sondern auch eine im Guss angefertigte Imitation einer Granulation in Betracht zu ziehen, die angesichts der starken Abnutzung nur schwer voneinander zu unterscheiden sind. Gegen eine echte Granulation spricht jedoch nicht nur die ungleichmäßige, abgeplattete Form der "Kügelchen", sondern auch das Erscheinungsbild durchtrennter "Kügelchen", vor allem an Fingerring 1 (z. B. Taf. 129,5 oben Mitte). Das Durchtrennen von Granalien hätte die zuvor mühevoll angefertigte Granulation wieder zerstört, weshalb eine Granulationsarbeit unwahrscheinlich erscheint. Aufgrund dieser Beobachtungen kann man davon ausgehen, dass es sich um keine echte Granulationsarbeit handelt, sondern die Zieraufsätze mit "Kügelchenzier" mithilfe des Gussverfahrens hergestellt wurden. Die sichtbare raue Oberfläche zwischen den "Kügelchen" dürfte damit nicht auf ein thermisches Verbindungsverfahren, sondern auf eine nicht überschiffene Gussoberfläche zurückzuführen sein.

Dass jedoch an Fingerring 2 zusätzlich einzelne Granalien in einem Lötverfahren aufgebracht worden sind, lässt sich dem Fehlen einzelner Granalien entnehmen. An Stelle der abgelösten Granalien zeigt sich heute das für ein Reaktionslöten charakteristische Merkmal sich kraterartig abzeichnender Bereiche (Abb. 33; siehe Kap. 4.4.5 Abb. 21).



Abb. 33: Fingerring 2 aus Rembrechts (Kat. 33,9); Pfeile zeigen "Näpfchen" an der Stelle fehlender Granalien.

Um ein einheitliches Bild zu gewährleisten, wurden die seitlich der rautenförmigen Zieraufsätze und zwischen dem Perldrahting und den beiden glatten Ringen der Ringschiene aufgelöteten Granalien offensichtlich an die Optik der Zieraufsätze angepasst. Die nicht komplett kugelförmige Ausbildung der Granalien ist damit nicht nur auf die Abnutzung zurückzuführen, sondern auch auf eine absichtliche "Abplattung" der einzeln hergestellten Kügelchen.

Einzelne im FEM Schwäbisch Gmünd durchgeführte Metallanalysen an beiden Fingerringen ergaben lediglich an einer Stelle eine abweichende Materialzusammensetzung. An allen übrigen Bereichen wurde annähernd dieselbe hochwertige Silberlegierung gemessen.

Die Materialzusammensetzung an den Verbindungsstellen zwischen den Zierplatten bzw. Ringschienen, Zieraufsätzen und "Kügelchen" an Fingerring 1 (Kat. 33,8) zeigte für das Trägermetall der Einzelringe eine Legierung von 98,6 - 99,0 % Ag und 1,0 - 1,3 % Cu. Die Legierung einer Verbindungsstelle zwischen der Ringschiene und einem Zieraufsatz wäre mit einem nur wenig geringeren Gehalt an Silber (91,3 - 93,0 %) sowie einem etwas größeren Gehalt an Kupfer (6,0 - 8,4 %) eher als Schweißsubstanz denn als Lot anzusprechen. Diese Zusammensetzung kann jedoch auch für ein Reaktionslot charakteristisch sein (siehe Kap. 4.3.2.2). Alle weiteren Messungen an Verbindungsstellen zwischen Ringschiene, Zieraufsatz und "Kügelchen" ergaben keine zum Trägermetall abweichenden Legierungen. Auch an Fingerring 2 (Kat. 33,9) konnten an keiner Stelle Unterschiede in der Materialzusammensetzung der Ringschiene, der rautenförmigen Zieraufsätze und Granalien sowie der Verbindungsstellen gemessen werden. Die Oberfläche weist ein fast reines Silber auf.

Das Metall der Kontaktstellen der Zieraufsätze an beiden Fingerringen und der Granalien an Fingerring 2 war augenscheinlich kurz vor dem Schmelzpunkt, eine Beobachtung, die auf einen Schweißvorgang zurückgeführt werden könnte. Mit den technischen Mitteln des Holzkohlefeuers ist jedoch ein punktgenaues Aufschweißen - zumindest der Granalien - nicht praktikabel (siehe Kap. 4.4.5). Die angeschmolzen wirkenden Bereiche können zudem bei

jedem thermischen Verbindungsverfahren entstehen, wenn überhitzt wurde. Darüber hinaus weisen einzelne Verbindungsstellen Lücken auf (Taf. 129,6), die bei einem Schweißvorgang geschlossen worden wären. Das Erscheinungsbild nicht komplett geschlossener Fugen und einer blasigen, rauen Oberfläche um die Zieraufsätze und die einzelnen Granalien herum (Taf. 129,4; 130,6) kann als charakteristisch für den Gebrauch eines Reaktionslotes gelten (siehe Kap. 4.3.2.2; 4.4.5). Die einheitlichen Messergebnisse ließen sich dagegen durch eine möglicherweise durchgeführte Oberflächenanreicherung erklären (siehe Kap. 4.4.5), da zudem die Legierung für den normalen Gebrauch der Fingerringe erstaunlich hochwertig erscheint. Damit wäre ein Reaktionslöten die wahrscheinlichste Interpretation der angewandten thermischen Verbindungstechnik, auch wenn sich diese Hypothese nicht in allen Fällen durch Metallanalysen an der Oberfläche klären ließ.

Sowohl die abgeflachte Kugelchenzier der rautenförmigen Zieraufsätze als auch die auf der Außenseite nur noch rudimentär erkennbare Struktur des Perldrahtes verweisen an beiden Fingerringen auf starke Abnutzungserscheinungen. Die Ringe dürften damit einige Zeit vor ihrer Niederlegung hergestellt worden sein.

Vergleichbare Ringformen aus mehreren Einzelringen mit verbreiterten Zierplatten sind aus Gold angefertigt und stammen vorwiegend aus dem Rheinland (Henkel 1913, Taf. VI,107-111). F. Henkel (ebd. 18) zählte diese Ringe aufgrund ihrer Formgebung zu den frühkaiserzeitlichen Ringtypen. Bemerkenswert ist ein Doppelring aus Günzburg in Bayrisch Schwaben (ebd. Taf. VI,108), welcher sich durch einen mittleren aus Perldraht gebildeten Ring auszeichnet und damit formal eine nahe Parallele zu dem zweiten Fingerring aus Rembrechts darstellt.

Rauten- oder dreiecksförmige Kugelchenverzierungen, die in Form echter Granalien aufgebracht worden sind - auch in Kombination mit Perldraht - treten an Goldfingerringen im Rheinland und Gallien mehrfach auf (Henkel 1913, Taf. X,204; XIV,266-268; Guiraud 1989, 201 Abb. 52), diese Ringe gehören dort jedoch chronologisch bereits zu den spätrömischen Formen. Mit zu den besten Vergleichsbeispielen zählt ein Fingerring aus Mainz (Henkel 1913, Taf. II,43; siehe Foto bei Wolters 1986, 149 Abb. 174), welcher - trotz seiner abweichenden Grundform mit Schlangenkopfenden - große Ähnlichkeiten durch seine rautenförmig auf der Zierplatte aufgebrachte Granulation und einen mittleren Perldrahttring aufweist. Dieser Ring wurde von F. Henkel (ebd. 234) in das beginnende 3. Jh. n. Chr. eingeordnet, aufgrund der Ausformung der Schlangenkopfenden könnte er jedoch bereits im 2. Jh. entstanden sein. Ein Doppelfingerring mit dreieckigen Granulationsverzierungen und einem mittleren Perldraht aus Langres im französischen Département Haut-Marne (Guiraud 1989, 201) weist hinsichtlich formaler und ziertechnischer Gesichtspunkte ebenfalls eine nahe Verwandtschaft zu den Ringen aus Rembrechts auf, wird jedoch offensichtlich erst in das 4. Jh. n. Chr. datiert. Allen genannten Goldfingerringen ist gemeinsam, dass die - offensichtlich echten - Granulationsverzierungen direkt auf die Zierplatten der Fingerringe - nicht auf gesonderte Zierbleche - aufgelötet wurden.

Fingerringe mit verbreiteter Zierplatte und aufgebrachten rautenförmigen Zierblechen, deren "Buckelverzierung" jedoch nicht in Form von aufgelöteten Granalien verziert, sondern punziert worden sein soll, treten in Buntmetall zahlreich auf, zählen allerdings ebenfalls zu den spätrömischen Ringtypen (Henkel 1913, Taf. XXXIII, 874-881, bes. 879; Guiraud 1989, 208 ff.; Riha 1990, 36). Vom technischen Standpunkt aus betrachtet können diese, wie die Ringe aus Rembrechts, als Imitation granulationsverzierter Zierbleche eingestuft werden. Damit stünden die Fingerringe aus Rembrechts hinsichtlich der angewandten Techniken den Buntmetallfingerringen näher als den Goldfingerringen⁸⁶.

Hinsichtlich optischer und technischer Gesichtspunkte der mit Kügelchen versehenen Zieraufsätze sind die besten Übereinstimmungen zu den Fingerringen von Rembrechts an den im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Scheibenfibeln aus Wiggensbach (Kat. 47,15.16) und Hettingen (Kat. 11,3.4) zu finden. Rautenförmige Zieraufsätze mit "Kügelchen" scheinen also aufgrund vergleichbarer Dekorelemente besonders in Raetien auf Schmuckstücken der zweiten Hälfte des 2. bzw. des beginnenden 3. Jhs. n. Chr. hergestellt worden zu sein (siehe Kap. 5.3.2.2).

5.2 Armringe

Armringe gehören ähnlich wie Fingerringe zu den Schmucktypen, für deren Herstellung verhältnismäßig häufig Edelmetalle verarbeitet wurden. Auch diese Schmuckgattung weist in der Verwendung des Materials Silber während der Latènezeit deutliche regionale Schwerpunkte auf. In der römischen Kaiserzeit wurde Silber dagegen weiter verbreitet zur Herstellung von Armringen genutzt, regionale Besonderheiten sind lediglich auf einzelne Formtypen beschränkt.

5.2.1 Latènezeitliche Armringe

Zur Anfertigung von Armringen wurde Silber in der Latènezeit besonders in den Regionen verwendet, in welchen dieses Edelmetall ohnehin bevorzugt verarbeitet wurde. Wie schon unter den Fingerringen vermerkt, sind das insbesondere die Schweizer Kantone Tessin und Wallis sowie Oberitalien. Aus dem Schweizer Mittelland, welches in der frühen und mittleren Latènezeit in der Produktion silberner Fingerringe einen besonderen Schwerpunkt darstellt (siehe Kap. 5.1.1), stammen dagegen lediglich einzelne Armringe aus Kordeldraht, deren Form jedoch wiederum auf Kontakte zu den südalpinen Regionen verweist. Die wenigen spätlatènezeitlichen Armringe aus Silber, die außerhalb der südalpinen Regionen auftreten, lassen ebenfalls keine eindeutig lokale Herstellung erkennen.

⁸⁶ Wie die Untersuchung der Fingerringe aus Rembrechts gezeigt hat, lassen sich echte und durch den Guss imitierte Granulationsarbeiten nur schwer voneinander unterscheiden (siehe auch Wolters 1986, 23). Eine Punzverzierung müsste jedoch deutlich erkennbar sein. Erst eine detaillierte Untersuchung der genannten vergleichbaren Fingerringe könnte damit diesen Eindruck bestätigen oder verwerfen.

5.2.1.1 Offene Armringe der Latènezeit

Die einfachste Form eines Armringes ist die eines offenen Ringes. Diese kann entweder aus einem stabförmigen Barren geschmiedet und gebogen oder gegossen werden. Die Enden können dabei glatt und unverziert bleiben oder mit plastischen Verzierungen versehen werden.

Die Produktion von massiven, offenen Armringen aus Silber war in der Latènezeit auf das Wallis beschränkt. Lokale Sonderformen sind Armringe mit Stempel- oder Hohlbuckelenden (siehe Fotos z. B. bei Müller 1991b, 131), die dort ab der Frühlatènezeit hergestellt worden sind, wobei die Form zunehmend massiver gestaltet wurde. Während der Frühlatènezeit wurden deren Enden zunächst stempelartig ausgebildet, später in Form von Hohlbuckeln. In der Mittellatènezeit wurden die Enden schließlich zu einem herausnehmbaren Verschlussstück mit profilierten Hohlbuckeln umgestaltet (Peyer 1980, 60 f.).

Nach Ausweis gusstechnischer Merkmale an zwei untersuchten Armringen mit einfachen, verdickten Enden aus St. Luc (Kat. 39; Taf. 150) sowie publizierter technischer Beschreibungen und Abbildungen anderer Exemplare aus dem Rhonetal (Jäggy 1991, 42 Abb. 9) scheinen die Armringe aus Silber dort im Gussverfahren hergestellt worden zu sein⁸⁷. Eingezogene Bereiche an den Stirnflächen der Enden, Lunker und eine streckenweise raue bis blasige Oberfläche (Taf. 150,2-5) sowie die wie in Wachs gestaltet wirkende Oberflächenform und fehlende Hinweise auf Gussnähte verweisen an beiden Ringen des Armringpaares aus St. Luc auf den Guss im Wachsausschmelzverfahren. Die vergleichbaren Maße legen eine bewusste Paarherstellung nahe, das differierende Gewicht lässt sich dabei auf eine leicht unterschiedliche Ausformung der Wachsmodelle zurückführen.

5.2.1.2 Armringe aus Kordeldraht

Für weitere Armringe der Latènezeit, welche aus Silber angefertigt wurden, ist die Verwendung von Draht und damit eine vorausgehende Drahtherstellung bezeichnend. Dazu gehören die in der Mittel- und Spätlatènezeit auftretenden Armringe aus gekordeltem Draht. Dieser Formtyp tritt in Silber und Bronze weit verbreitet zwischen der Champagne, dem Schweizer Mittelland und dem Südalpenraum sowie Böhmen und der Slowakei auf (Kruta u. Roualet 1995, 319 f.). Ein besonderer Schwerpunkt in der Herstellung der aus Kordeldraht angefertigten Armringe liegt in einer Region zwischen dem Tessin, dem Wallis und Oberitalien (Pernet u. a. 2006, 120; vgl. z. B. Abb. 34 oben links). Die mit einem oder mehreren Knoten versehenen Armringe wurden dort ausschließlich aus Silber hergestellt, wobei die Knotenform

⁸⁷ Der genaue Fundkontext der Armringe aus St. Luc ist leider nicht bekannt, so dass mangels datierender Beifunde eine präzisere Einordnung innerhalb der Latènezeit nicht möglich ist. Die in den ersten Beschreibungen ebenfalls abgebildeten Bronzearmringe (Reber 1892-93, 311), sattelförmige Armringe mit der für das Wallis typischen Verzierung in Form von Kreismustern, würden zwar auf eine Datierung in die Frühlatènezeit verweisen (siehe Peyer 1980, 66 Abb. 2,1), eine Vergesellschaftung mit den Silberarmringen ist jedoch unklar, zumal es sich um mehrere Gräber gehandelt haben soll.

- in Anlehnung an die griechischen Heraklesknoten - auf stilistische Einflüsse aus dem mediterranen Raum verweist (Kruta u. Roualet 1995, 321).



Abb. 34: Silberschmuck aus latènezeitlichen Gräbern von Giubiasco, Kt. Tessin.

Die Armringform wurde aus einem einzelnen Draht hergestellt, der - doppelt gelegt - gekordelt wurde. Der Ring wurde in einzelne Segmente unterteilt indem mehrere Knoten eingebogen wurden. An einem Ende des so angefertigten Armringes mussten die Drahtenden letztendlich entweder miteinander verbunden oder offen gelassen werden.

Die optischen Merkmale an den untersuchten mittellatènezeitlichen Exemplaren aus Bern-Aaregg (Kat. 3; Taf. 4), Bern-Schärloch (Kat. 5,1; Taf. 9) und Isérables (Kat. 14; Taf. 34; 35) zeigen bei allen Stücken eine Drahtherstellung aus einem massiven Vorprodukt an. Deutliche Schlagspuren sowie streckenweise erkennbare in Längsrichtung verlaufende Drahtfalten sind vor allem an den beiden dünneren Ringen aus Bern sichtbar. Die "Profilierungen" an dem Draht des Armringes aus Bern-Schärloch (Taf. 9,3) lassen einen vierkantigen Querschnitt der Ausgangsform annehmen. Im Vergleich zu den Berner Exemplaren ist der Ring aus Isérables nicht nur massiver und schwerer, sondern erscheint auch deutlich sorgfältiger gearbeitet. Nur wenige Falten sowie Schlag- und Biegespuren (Taf. 34,5; 35,1.2) verweisen auf das Schmieden und Formen aus einem massiven Draht, ein durchaus beachtliches Unterfangen bei einer Drahtstärke von bis zu 5 mm. Die Unterschiede in der Herstellung der drei untersuchten Armringe lassen sich jedoch nicht nur auf eine mehr oder weniger große Sorgfalt, sondern auch auf das jeweils verwendete Schlagwerkzeug zurückführen. Zur Formgebung des Exemplars aus Isérables, die aufgrund der verwendeten Drahtstärke weniger durch ein Biegen, als vielmehr

durch Schmiedevorgänge erzielt werden konnte, scheint ein Schlagwerkzeug aus Holz verwendet worden zu sein, da sich durch den Gebrauch eines Metallwerkzeuges die Schlagspuren deutlicher abgezeichnet hätten. Die Bearbeitungsspuren an den Innenflächen der Biegungen der Endschlaufen (Taf. 35,5) zeigen, dass diese über ein Widerlager geformt wurden.

An keinem der drei untersuchten Armringe konnten eindeutige Hinweise auf eine Verbindungsstelle - ob gelötet oder verschweißt - gefunden werden. Die Tatsache, dass die beiden Berner Stücke jeweils an einer Endschlaufe offen und eventuell gebrochen sind, ist zu erklären durch ehemals an diesen Stellen vorhandene Löt- oder Schweißnähte oder aber durch bewusst offen gelassene Enden. Eine an einer Endschlaufe des Ringes aus Isérables sichtbar porösere Oberflächenstruktur könnte ebenfalls auf eine Nahtstelle hinweisen⁸⁸.

Bemerkenswert scheint die Beobachtung, dass der Armring aus Bern-Aaregg eine offene Stelle an einem Knoten (Taf. 4,5.6) zeigt. Auch wenn die glatten Drahtenden auf eine "offene Verbindung" zurückzuführen sein könnten, erscheint dies jedoch in Anbetracht der Formgebung genau an dieser Stelle fraglich. Das Erscheinungsbild des an den äußeren Bereichen stark ausgedünnten Drahtbereiches an den Knoten dieses Ringes verweist vielmehr auf eine gezielte Bearbeitung aller Knotenbereiche, um diese in Richtung der Ringbiegung anzupassen⁸⁹. Während dieses Vorgangs könnte das Material an dem jetzt offenen Knoten so stark beansprucht worden sein, dass die Stelle brach. In diesem Fall wäre die Bruchstelle jedoch nur durch das Glätten der gebrochenen Enden kaschiert worden.

Andere Armringe, welche jeweils aus einem einzelnen Silberdraht hergestellt wurden, sind - vor allem in spätlatènezeitlichen und augusteischen Grabkomplexen auftretende - Armringe mit drahtumwickelten Enden (siehe Kap. 5.2.3) sowie Schaukelarmringe und Armringe aus wellenförmig gebogenem Draht aus dem Südalpenraum (vgl. z. B. Abb. 34). Die Anwendung einer thermischen Verbindungstechnik, um die Drahtenden der Schaukelarmringe und der wellenförmigen Armringe zu schließen, ist anzunehmen, könnte jedoch erst durch Untersuchungen mit dem REM und durch Metallanalysen geklärt werden⁹⁰.

⁸⁸ Diese Vermutungen ließen sich über REM-Aufnahmen und Materialanalysen klären.

⁸⁹ Während die Armringe dieses Typs aus dem Tessin einen offensichtlich an allen Bereichen gleichmäßig runden Drahtdurchmesser aufweisen (vgl. Abb. 34), scheint eine Überarbeitung der äußeren Knotenbereiche für die aus dem Wallis stammenden Armringe bezeichnend zu sein (siehe Müller 1991b, 131).

⁹⁰ Aus organisatorischen Gründen konnten keine der zahlreich in Giubiasco auftretenden Exemplare dieser Armringformen untersucht werden, da sie zum Zeitpunkt der Materialaufnahme im Rahmen eines museumsinternen Projektes untersucht wurden. Den publizierten Fotos und Beschreibungen nach zu urteilen, dürfte deren Ausgangsform aus massiv hergestelltem Draht bestanden haben (Müller 1991a, 80 f. Farbtafel XXIV; 1991b, 130; Pernet u. a. 2006, 118 ff.). Welche thermische Verbindungstechnik angewandt wurde und ob Unterschiede zwischen den massiveren Schaukelarmringen der Spätlatènezeit und den dünneren Exemplaren augusteischer Zeit (Pernet u. a. 2006, 119) bestehen, muss im Rahmen dieser Arbeit ein offenes Desiderat bleiben.

5.2.2 Provinzialrömische Armringe

Die provinzialrömischen Armringe aus Edelmetall stammen fast ausschließlich aus Depotfunden. Dies scheint der Wertschätzung des Materials Silber gerecht zu werden, zumal es sich in diesen Fällen vorwiegend um Armringe handelt, für deren Herstellung im Vergleich zu anderen Schmuckgattungen relativ viel Material benötigt wurde.

5.2.2.1 Armringe mit Tierkopffenden

Eine äußerst beliebte Form während der gesamten römischen Kaiserzeit waren offene Armringe mit plastisch oder stilisiert dargestellten Schlangenkopffenden. Schlangenringe - sowohl Fingerringe als auch Armringe - stehen in einer älteren Tradition dieser - besonders in der griechischen Antike - gängigen Schmuckform. Der Schlange wurde dabei ein unheilabwehrender Charakter zugeschrieben, so dass diesen Ringen nicht nur eine dekorative, sondern auch eine apotropäische Funktion zukam (Riha 1990, 41; 56).

Bemerkenswert ist die große Vorliebe für das Material Silber zur Herstellung von Armringen mit Tierkopffenden innerhalb der Germania - besonders im elbgermanischem Kulturraum -, deren Anfertigung dort auf römische Vorbilder zurückgehen soll (Thieme 1980; Verma 1989, 14 ff.).

Aber auch in den römischen Provinzen wurde Silber nicht selten zur Herstellung von Schlangenkopfringen verwendet, jedoch vorzugsweise für Fingerringe. Die provinzialrömischen Schlangenkopfarmringe, die in großer Zahl aus Buntmetall hergestellt wurden, machen eine formale und stilistische Entwicklung durch, wobei die Schlangenkopffenden in zunehmend stilisierter Form dargestellt wurden (Riha 1990, 56). Über die Formgebung ihrer Ringkörper wurden sie von E. Riha (ebd.) in gegossene, rundstabförmige Reife und in ausgehämmerte Blechbänder eingeteilt. Nach den schichtdatierten Exemplaren aus Augst zu urteilen, wurden bandförmige Armringe besonders ab dem 2. Jh. n. Chr. gebräuchlich. Innerhalb beider Varianten kommen sowohl gegenüberstehende als auch quergestellte Köpfe vor.

Die untersuchten Beispiele aus dem im dritten Viertel des 2. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,5.6; Taf. 109 - 111) bestehen aus einem bandförmigen Ringkörper mit zurückgebogenen Enden. Streckspuren am Ringkörper (Taf. 109,1 hinten) sowie durch die Korrosion zum Vorschein getretene Oberflächenstrukturen an den Biegungen, welche auf ein Schmiedegefüge hinweisen (Taf. 109,2; 111,3), belegen die Formgebung durch das Schmieden. Dies wird zudem durch die Tatsache bekräftigt, dass die Materialstärke auf der Innenseite der Biegungen stärker ist als auf der Außenseite und sich darüber hinaus Materialbeanspruchungsrisse an den Biegungen zeigen. Die an den Schlangenkopffenden sichtbare raue, blasige Oberfläche (Taf. 110,1.2; 111,6) lässt sich auf das vorausgehende Gießen des Halbfabrikats zurückführen.

Eine ähnliche Ausbildung in der Gestaltung der Schlangenköpfe zeigen auch mehrere silberne Finger- und Armringe aus dem Depotfund von Snettisham in Großbritannien, dessen Silberschmuck demselben Zeithorizont zugeordnet wird. In Anlehnung an die für einige dieser Ringe postulierte Herstellung (Lang 1997b, 62; 66 f.) ließe sich auch für die Gestaltung der Schlangenkopfenden der Regensburger Armringe der Gebrauch eines Gesenks vorstellen, mit welchem die Form der Schlangenkopfenden geprägt wurde. Ein solcher Vorgang hätte jedoch klarere Konturen hinterlassen und alle vier Schlangenköpfe müssten dieselbe Ausprägung aufweisen. Da beides nicht vorliegt, ist diese Technik an den Regensburger Armringen auszuschließen. Deren Oberfläche verweist - ähnlich wie es auch für einen anderen silbernen Armring aus Snettisham (Johns 1997, 112 Nr. 315) angenommen wurde - vielmehr auf das Formgießen der Schlangenkopfenden. Damit wurde die gestreckte Grundform der Armringe vermutlich in einer zweiteiligen Gussform angefertigt, die aus einer Schale mit Formnegativ und einem planen Gegenstück bestand. Der jeweils unverzierte bandförmige Bereich des Ringkörpers wurde nachfolgend durch ein Ausschmieden in Form gebracht, die im Guss geformten Enden wurden dabei lediglich an den Rändern nachgearbeitet.

In ähnlicher Weise wurde offensichtlich auch ein Goldarmring mit Schlangenkopfenden aus dem gegen 260 n. Chr. niedergelegten Depotfund von Obfelden-Lunnern gestaltet (Martin-Kilcher u. a. 2008, 45; 87 f.). Dieser weist in der Formgebung der Schlangenköpfe (ebd. 70 Abb. 2.32) direkte Analogien auf.

Nicht nur in ihrer Kopfgestaltung, sondern auch in den umbiegenden Enden sind zwei Armringe aus Silber aus einem ebenfalls im späten 3. Jh. niedergelegten Depotfund von Campore in Norditalien (Martin-Kilcher u. a. 2008, 352 Kat.-Nr. 14) vergleichbar. Direkte Parallelen zu den Armringen aus Regensburg-Kumpfmühl liegen dagegen mit ebenfalls aus Silber hergestellten Armringen mit umbiegenden Schlangenkopfenden aus pannonischen Depotfunden Mitte des 2. Jhs. n. Chr. vor (Facsády 1994, 141 ff. Abb. 2 - 3), so dass die Ringe aus Regensburg wie die vergesellschafteten Fibeln (siehe Kap. 5.3.2.3) der Argumentation von S. Rieckhoff (1998, 484) und A. Boos (u. a. 2000, 28) folgend aus Pannonien stammen könnten⁹¹.

Obgleich die spitz zulaufenden Enden nicht eindeutig als Schlangenköpfe anzusprechen sind, lässt sich auch ein bandförmiger offener Armring aus dem Kastellvicus von Sulz (Kat. 41,2; Taf. 155) im weitesten Sinne zu der Schmuckgattung der Schlangenkopfarmringe zählen. Zusammen mit einer streckenweise rauen blasigen Guss Oberfläche (Taf. 155,4) verweist das durch die Korrosion sichtbar gewordene Schmiedegefüge auf der Innenseite des Ringkörpers (Taf. 155,2.3) auf das Nachschmieden eines bandförmig gegossenen Vorprodukts. Darüber

⁹¹ Allein aufgrund der zitierten Zeichnungen bei A. R. Facsády, die lediglich skizzenartig und nicht maßstabsgetreu sind, auf denselben "Werkstattkreis" zu schließen (so Rieckhoff 1998, 484), scheint hier allerdings etwas weit gegriffen. Zu bemerken ist ferner, dass alle genannten Armringe mit Punzverzierungen am Ringkörper versehen wurden, während die Stücke aus Regensburg unverziert belassen wurden. Die Tatsache, dass die zurückbiegenden Enden der Schlangenkopfarmringe für diese Zeit in den pannonischen Depots häufiger belegt sind sowie ihre Vergesellschaftung mit vergleichbaren Fibeln, rechtfertigt allerdings eine grundsätzliche kulturelle Zuweisung der Regensburger Stücke nach Nordostpannonien.

hinaus zeigen sich hier quer zur Längsrichtung verlaufende Risse (Taf. 155,3), die sich auf eine Materialbeanspruchung zurückführen lassen. Da beim Formbiegen des Ringes solche Risse eher auf der Außenseite entstanden wären, weisen die hier auf der Innenseite vorliegenden Risse auf ein starkes Aufbiegen des Ringes und damit auf einen Gebrauchsschaden hin.

Die Muster an dem Armring aus Sulz wurden mit Kugel- und Schrotpunzen punziert und ziseliert (Taf. 155,5). Ein ähnlich ziselierter Schlangenkopfarmring aus Augst stammt aus einer in das 2. bzw. beginnende 3. Jh. n. Chr. zu datierenden Schicht (Riha 1990, 56; Taf. 17.522), eine genauere chronologische Einordnung des Armringes aus Sulz ist damit jedoch nicht möglich.

Andere, vermutlich im 3. Jh. n. Chr. hergestellte, bandförmige Armringe aus Silber stammen beispielsweise aus Waiblingen-Beinstein (Luik u. Schach-Döriges 1993, 353 ff.) in Baden-Württemberg und aus dem Depotfund von Hagenbach in Rheinland-Pfalz (Bernhard u. a. 1990, 20 ff.). Sowohl die Oberfläche an dem Exemplar aus Waiblingen (Luik u. Schach-Döriges 1993, 354 Abb. 2 - 4) als auch an den Armreifen aus Hagenbach (Bernhard u. a. 1990, 24 Abb. 11) sind mit der des Armringes aus Sulz vergleichbar. Damit lässt sich hier vermuten, dass diese ebenfalls aus gegossenen und nachgeschmiedeten Vorprodukten angefertigt wurden. Die Muster scheinen auch an diesen anschließend punziert und ziseliert, wobei die Gestalt der Schlangenkopfbänder des Waiblinger Ringes wohl weitgehend bereits im Guss angelegt worden sein dürfte.

5.2.2.2 Armringe vom Typ Wiggensbach

Eine besonders häufig aus Silber angefertigte Armringform ist die des offenen Armringes mit verbreiterten, punzverzierten Enden. In Anlehnung an S. von Schnurbein (1977, 84) werden diese meist paarweise auftretenden, besonders im obergermanisch-raetischen Limesgebiet verbreiteten Ringe (ebd. 85 Abb. 12; Riha 1990, 55 Typ 3.8) als Typ Wiggensbach bezeichnet. Die datierbaren Stücke aus Silber stammen aus den in der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfunden von Wiggensbach (Kat. 47,1-4; Taf. 164 - 166) Rembrechts (Kat. 33,1.2; Taf. 121; 122) und Marnbach (Kat. 20; Taf. 53; 54)⁹². Danach wurden in der einschlägigen Literatur alle weiteren Exemplare aus Silber, wie aus Kottwil (Kat. 17,1.2; Taf. 37; 38), Wilsingen (Kat. 48; Taf. 179 - 184), aber auch die Buntmetall-Ringe aus einem Brandgrab von Regensburg (Kat. 29,2.3; Taf. 98; 99) in denselben Zeithorizont eingeordnet. Zu bemerken ist jedoch, dass an allen Ringen abgenutzte Verzierungen zu verzeichnen sind, gerade auch bei den eponymen Fundstücken bis hin zur Unkenntlichkeit. Dies deutet darauf hin, dass sie längere Zeit in Gebrauch gewesen sein dürften. Für den Zeitpunkt ihrer Herstellung kommt daher durchaus auch noch das 2. Jh. n. Chr. infrage⁹³.

⁹² Von den in der Literatur erwähnten Ringen aus Marnbach - wohl ursprünglich zwei vollständige Armringe und mehrere Bruchstücke - sind heute nur noch die beiden hier aufgenommenen Stücke vorhanden.

⁹³ Falls eine in den ersten Beschreibungen der Funde aus Wilsingen (Bach 1902) erwähnte Münze für Faustina II. zusammen mit den Armringen deponiert worden wäre, könnte dies ebenfalls auf eine ältere Herstellung dieser

Alle Armringe weisen nicht nur Abnutzungsspuren durch verrundete Kanten und Verzierungen auf, sondern auch eine durch die Korrosion sichtbar gemachte Gussstruktur. Die Ausgangsform der untersuchten Armreifen beruht daher in allen Fällen auf einem massiven Gussstück. Dass an keinem der Stücke Hinweise auf Gussnähte vorliegen, macht das Gießen in der verlorenen Form wahrscheinlich. Nach der Betrachtung diverser Exemplare liegt die Vermutung nahe, dass die Armreifen im Wachsausschmelzverfahren hergestellt wurden, wobei die Punzverzierungen - angesichts abgerundeter Kanten - möglicherweise schon in das Wachsmodell eingearbeitet worden waren. Bemerkenswert erscheinen die nahezu identischen Ausmaße von Materialstärke und Gewicht der jeweiligen Armringpaare, besonders der Paare aus Wilsingen, Wiggensbach und Regensburg, die nicht zwingend auf eine Serienproduktion über die Anfertigung eines Gussmodells im Zweischalenguss hinweisen müssen, sondern auch für eine besonders sorgfältige Einzelanfertigung sprechen können.

An einigen Armreifen konnten kratzerartige Rillen beobachtet werden, sowohl an den seitlichen und hinteren Bereichen der Ringkörper (Taf. 54,1; 122,5; 181,2.3) als auch an den punzverzierten Enden (Taf. 38,2; 180,3.4). Für diese Spuren sind mehrere Ursachen in Betracht zu ziehen. Da ein Nachschmieden der Ringe nahe liegt, könnten sich die Längsstrukturen auf ein durch die Korrosion sichtbar gewordenes Schmiedegefüge zurückführen lassen. Denkbar wäre jedoch auch, dass es sich um Schleifspuren handelt. Vergleichbar mit einem eigenen Experiment (siehe Abb. 35), bei welchem die Oberfläche des Wachsmodells mit Sandstein überschleift und nicht weiter geglättet wurde, können diese bereits am Wachsmodell entstanden sein.

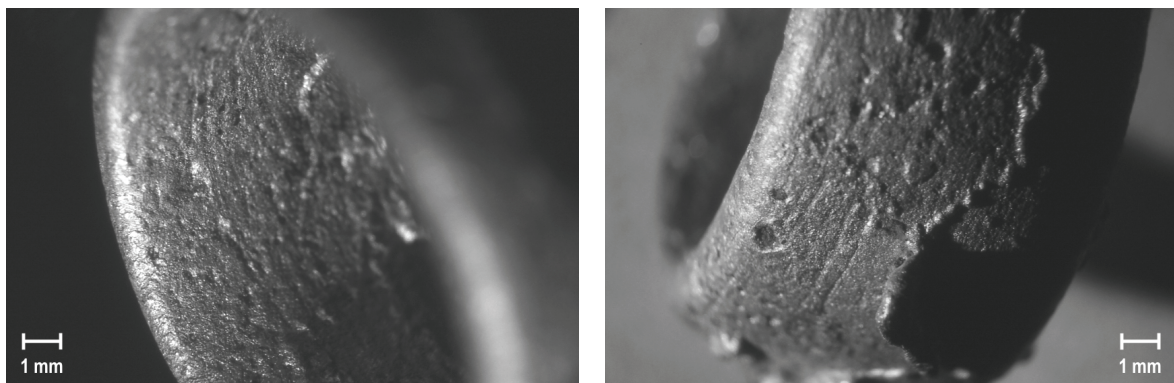


Abb. 35: Experimentell im Wachsausschmelzverfahren gegossener Ring; Schleifspuren an der Innenseite (links) und der Außenseite (rechts) gehen auf das Schleifen des Wachsmodells zurück; verwendete Hilfsmittel: Wachs, Sandstein, Ton, Holzkohlefeuer, Ag 935.

Aber auch das Schleifen des fertigen Gussstücks hätte entsprechende Spuren hinterlassen. Ob die Armringe nun im Einzelfall nachgeschmiedet wurden oder ob die Spuren auf das Schleifen

Armringe verweisen. Die Münze wurde offensichtlich zwischen 176 und 180 n. Chr. unter Marc Aurel geprägt (FMRD II, 3 Nr. 3146). Eine Vergesellschaftung mit den Wilsinger Armringen und selbst die Fundumstände - ob Depot- oder Grabfund - sind jedoch nicht ausreichend dokumentiert und widersprüchlich publiziert, so dass dies lediglich am Rande erwähnt bleiben soll.

des Wachsmodells oder des Gussrohlings zurückzuführen sind, lässt sich angesichts der durch Korrosion und Gebrauch überprägten Oberflächen nicht entscheiden. Leider sind gerade an diesen Altfunden altrestauratorische Reinigungsmaßnahmen nicht auszuschließen. So lässt sich beispielsweise die Beobachtung, dass an einem der Ringe aus Kottwil die Schleifspuren auch über die punzierten Verzierungen der Enden verlaufen (Taf. 38,2 unten links), vermutlich eher auf eine neuzeitliche Reinigung mit einer Drahtbürste zurückführen.

Diverse Spuren an den Stirnflächen mehrerer Exemplare der untersuchten Armreifen sollen nicht unerwähnt bleiben (Taf. 37; 53,3.4; 121,5; 122,4; 183,1.2; 184,1.2). Im Falle der quer verlaufenden Kratzer an den Armringen von Rembrechts handelt es sich möglicherweise um Spuren des Schließens und Öffnens der Ringe beim An- und Ablegen. Für die an ähnlicher Stelle der Stirnflächen an zwei Armringen aus Wilsingen deutlich zu erkennenden Einkerbungen lässt sich jedoch keine plausible Erklärung finden⁹⁴. Die von unten nach oben verlaufenden Eindellungen und einziehenden Flächen an den Exemplaren aus Kottwil und Marnbach sind dagegen offensichtlich auf Gussfehler bzw. deren Überarbeitung zurückzuführen.

Alle Armringe vom Typ Wiggensbach wurden paarweise mit unterschiedlichen Verzierungen versehen. Dabei lassen sich zwei gleichartige Gruppierungen bilden. Auf der einen Seite ähneln sich die Armringe aus Regensburg, Wiggensbach und die des Paares 1 aus Wilsingen durch die Verwendung von Kugel- und Musterpunzen (Taf. 180,1-4; 181,4-6; 164,4.5; 165,3-5) oder Hohlpunzen (Taf. 98,3-6; 99,3-4) und eine plastische Gestaltung, die den Eindruck eines Kerbdrahtes erwecken soll. Auf der anderen Seite ist die Verwendung von Schrotpunzen zur Linienverzierung der Armringe aus Kottwil (Taf. 38), Marnbach (Taf. 53,5.6; 54,2), Rembrechts (Taf. 121,3.4; 122,2.3) und an Armringpaar 2 aus Wilsingen (Taf. 182,4.5; 184,3-6) vergleichbar. Allen gemeinsam sind die form- und verzierungsbetonten Enden mit quer verlaufenden Eindellungen zur Unterteilung des Dekors an den äußersten Endbereichen. Ob diese nach dem Guss ziseliert oder bereits im Wachsmodell geformt wurden, lässt sich aufgrund der starken Abnutzungs- und Korrosionserscheinungen nicht beurteilen. Identische Werkzeugspuren an Ringen unterschiedlicher Fundorte konnten nicht festgestellt werden, so dass von einer Einzelanfertigung durch mehrere Handwerker auszugehen ist. Übereinstimmungen in Verzierung sowie in den Proportionen und Maßen finden sich ausschließlich an den Ringen der jeweiligen Paare⁹⁵.

⁹⁴ Auch die Interpretation einer einzelnen kreisförmigen Punzierung an der Innenseite eines Armringes aus Wilsingen (Taf. 179,5) muss offen bleiben. Da sie im Vergleich zu den abgerundeten Verzierungen auf der Außenseite relativ scharfe Kanten aufweist, ist sie sicher erst später hinzugekommen. Ob diese mit einer Hohlpunze hergestellte Schlagmarke auf den antiken Handwerker zurückgeht oder neuzeitlichen Ursprungs ist, lässt sich beim derzeitigen Stand nicht klären.

⁹⁵ Bemerkenswert erscheint auch die Feststellung, dass die Enden der Armringe aus Wiggensbach und Regensburg dünner sind als die jeweiligen Materialstärken in der Mitte der Ringkörper. Bei allen anderen untersuchten Ringen verhält sich dies genau gegenläufig. Diese Beobachtung könnte sich auf ein unterschiedliches Nachschmieden der Enden bzw. der Ringkörper zurückführen lassen. Armring 1 aus Wiggensbach weist genau an den dünneren, verbreiterten Enden Längsstrukturen auf (Taf. 164,2), die ein Nachschmieden der Enden anzeigen und nicht des Ringkörpers wie an den anderen Exemplaren.

Wie Korrosionserscheinungen an allen Armringen zeigen, wurde zu ihrer Herstellung kein hochwertiges Silber verwendet. Im Rahmen der Arbeit durchgeführte Metallanalysen an den Exemplaren aus Rembrechts und Wilsingen konnten dies bestätigen. Die verwendeten Legierungen mit einem Silbergehalt von ca. 69 bis ca. 87 % eigneten sich besonders gut zum Gießen, weshalb eine gezielte Herstellung nach den Verarbeitungseigenschaften wahrscheinlich ist (siehe Kap. 7.2). Zur Anfertigung der beiden Ringe aus Rembrechts wurde wohl dieselbe Legierung verwendet, die vier Ringe aus Wilsingen wurden dagegen aus unterschiedlichem Rohmaterial gegossen. Bei den Ringen aus Wilsingen fällt jedoch auf, dass die zugrunde liegende Legierung jeweils eines Armringes eines Paares mit der eines Armringes des anderen Paares übereinstimmt. Damit ergeben sich über die Legierungen andere Paare als über die Gemeinsamkeiten in Verzierung, Größe und Gewicht. Falls es sich hier nicht um zufällig zur Verfügung stehende Legierungen gehandelt hat, lässt diese Beobachtung den Rückschluss zu, dass die Herstellung aller vier Armringe aus Wilsingen durch ein- und denselben Feinschmied zur gleichen Zeit erfolgte.

Die Kratzspuren an jeweils einem der Armringe von Wilsingen (siehe Kap. 3,3 Abb. 4) und Wiggensbach (Taf. 166,3) gehen sicher auf Materialprüfungen zurück. Zumindest für den Ring von Wiggensbach ist eine neuzeitliche Prüfung zu vermuten. Diese Annahme wird durch eine Bemerkung von A. Ullrich (1889, 70) unterstützt, wo es in den ersten Beschreibungen zu den Funden aus Wiggensbach heißt, dass "viele der Fundgegenstände bereits in den Händen eines ländlichen Handwerkers war[en], um gereinigt und auf den Metallwerth untersucht zu werden".

5.2.2.3 Sonstige Armringe

Zwei Armringe aus dem im letzten Drittel des 2. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,7.8; Taf. 112 - 115) weisen eine mit den im Vorangegangenen erläuterten Armringen vergleichbare Form mit verzierungsbetonten Enden auf. Es handelt sich dabei um den Formtyp des sogenannten Kolbenarmringes, der in der Tradition der latènezeitlichen offenen Armringe mit verdickten Enden zu stehen scheint (siehe Kat. 39) und der in Gold vor allem in germanischen Gebieten verbreitet ist (Roggenbuck 1988, 36f.; Andersson 1995, 66 ff.), jedoch aus Silber erst im frühen Mittelalter besonders beliebt wird (Schach-Döriges 2005). Einfache Varianten stammen auch aus den römischen Rheinprovinzen und Raetien (Riha 1990, 55 Typ 3.7), wobei für die Ausführung der Armringe aus Regensburg-Kumpfmühl keine direkten Parallelen anzuführen sind.

Die herstellungstechnischen Besonderheiten der beiden Regensburger Armringe wurden bereits von A. Boos beschrieben (Boos u. a. 2000, 28 ff.), weshalb hier lediglich auf einige Details eingegangen werden soll. Auch diese Ringe wurden im Wachsauerschmelzverfahren gegossen, wobei die plastischen Verzierungen der Enden im WachsmodeLL angelegt, also mitgegossen, worden sind. Hinweise auf den massiven Guss finden sich nicht nur in Form einer sichtbaren

rauen und blasigen Gussoberfläche der Enden (Taf. 113,6; 115,1.3.5), sondern auch über eingezogene Bereiche an ihren Stirnflächen (Taf. 112,6).

Auch wenn die Ringkörper vermutlich nach dem Gießen nachgeschmiedet wurden, reichte dies offensichtlich nicht aus, um zu verhindern, dass einer der beiden Ringe durch das wiederholte Auf- und Zubiegen beim Anlegen in der Mitte gebrochen ist (Taf. 113,1.2). Die Bruchstelle ist wohl auf einen Gussfehler zurückzuführen, möglicherweise auf einen Hohlraum (Lunker) im Inneren, der den Ring bei mechanischer Belastung an der beim Gebrauch am stärksten beanspruchten Stelle brechen ließ. Ähnlich wie die Schäden an den beiden Fibeln aus demselben Depotfund (siehe Kap. 5.3.2.3), handelt es sich damit um einen Gebrauchsschaden, in diesem Fall durch einen Materialfehler ausgelöst.

Wie bereits von A. Boos (u. a. 2000, 28) erwähnt, sind sowohl die Wellenlinien als auch die Zweigmuster (Taf. 112,5) sicher erst nach dem Guss punziert und ziseliert worden. Die durch das Absetzen der Schrotpunze entstandenen scharfkantigen Kerben sind deutlich zu erkennen (Taf. 113,3.5; 115,4). Während jedoch für die Wellenlinie an Armring 1 die zusätzlich linienbetonende Verwendung einer Kugelpunze zu vermerken ist (Taf. 113,4), wurde für das gleiche Muster an Armring 2 nur von einer Schrotpunze Gebrauch gemacht (Taf. 115,2). Die in diesen Bereichen auf der Oberfläche sichtbaren Längsstrukturen (Taf. 113,3; 115,4) setzen sich deutlich von der an den Enden erkennbaren Gussoberfläche ab, so dass hier wohl ein Schmiedegefüge vorliegt, das ein Nachschmieden der Ringkörper ab den mitgegossenen Zierzonen annehmen lässt.

Bemerkenswert ist die Verwendung einer Musterpunze im Bereich der mitgegossenen Zierzonen (Taf. 113,6; 115,3), die sich mit den Punzabdrücken auf einer deutlich später niedergelegten Fibel aus Nideraschau (Kat. 26,1; Taf. 86,2) vergleichen lässt (siehe Kap. 4.4.1 Abb. 17). Alle drei Fundstücke weisen starke Abnutzungsspuren auf, die auf einen langen Gebrauch hinweisen, eine zeitgleiche Anfertigung scheint angesichts der verblüffenden Ähnlichkeit der Punzabdrücke dennoch denkbar. Die Fibel aus Nideraschau weist nach J. Garbsch (1991, 2) typische Elemente einer norisch-pannonischen Doppelknopffibel auf, die zum Zeitpunkt ihrer Niederlegung nicht mehr in Mode gewesen waren. Nicht nur der massive, hohe Nadelhalter dieser Fibel, sondern auch die Endknöpfe an der Spiralachse sind Elemente, die an Doppelknopffibeln der ersten Hälfte des 2. Jhs. n. Chr. im Donauraum auftauchen (Garbsch 1965, 41 ff.). Dies würde auf eine deutlich ältere Herstellung der Fibel aus Nideraschau verweisen und auch eine Anfertigung in Pannonien scheint nicht ausgeschlossen. Aufgrund der Verwendung einer identisch erscheinenden Musterpunze ist auch für die Armringe aus Regensburg-Kumpfmühl eine Herkunft aus demselben kulturellen Milieu vorstellbar. Damit könnten nicht nur die Schlangenkopfarmringe und die Fibeln (Rieckhoff 1998, 484; Boos u. a. 2000, 42), sondern auch die Kolbenarmringe aus dem Depot von Regensburg-Kumpfmühl als Teile eines aus dem nordostpannonischen Raum stammenden Schmuckensembles interpretiert werden.

Auch weitere offene Armringe aus Silber wurden im Gussverfahren hergestellt. Dazu zählen die beiden einfachen Exemplare aus den in der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfunden von Niederaschau (Kat. 26,2; Taf. 97,5.6) und Waging (Kat. 46,3; Taf. 163,4). Beide Ringe wurden massiv gegossen und nicht verziert. Die Ursache für das Brechen und Verbiegen des einen Endes des Armringes aus Niederaschau ist nicht zu klären, ein funktioneller Gebrauchsschaden lässt sich jedoch an dieser Stelle ausschließen.

Silber wurde nicht nur zur Herstellung ganzer Armringe, sondern auch zur Aufwertung und Verzierung von Armringen aus Buntmetall verwendet, wie beispielsweise an einem Armring aus dem Kastellvicus von Sulz (Kat. 41,3; Taf. 156,1-3). Der Typ dieses Armringes zählt zu den Sonderformen, nach einem vergleichbaren über Beigaben datierten Armring aus einem Urnengrab von Augst (Riha 1990, 59; Taf. 86 Nr. 2941) zu urteilen, könnte auch der Armring aus Sulz um die Mitte des 1. Jhs. n. Chr. entstanden sein.

Der Reif des Armringes aus Sulz wurde aus Buntmetall geschmiedet und über Niete mit einer gegossenen Zierplatte - ebenfalls aus Buntmetall - verbunden. Die Zierplatte wurde mit einer Filigranverzierung aus glatten Runddrähten und Kerbdrähten aus einer hochwertigen Silberlegierung versehen. Die einzelnen Drähte wurden zu einem Rädchen verlötet. In der Mitte ist ein kleiner nietförmiger Zierknopf sichtbar, dessen Befestigung auf der Rückseite der Zierplatte nicht zu erkennen ist. Entweder handelt es sich dabei um ein aufgelötetes Verzierungselement oder tatsächlich um einen Niet. In letzterem Fall müsste sich unter den Drähten eine Zwischenplatte befinden, an welcher das Stück befestigt ist. Eine solche Zwischenplatte scheint ohnehin naheliegend, da sich die einzelnen Segmente auf dieser besser hätten auflöten lassen als auf der Zierplatte aus Buntmetall.

Die deutlich sichtbaren Fugen weisen geschmolzenes Material auf, eine optische Erscheinung, die im Zuge aller thermischer Verbindungsverfahren hätte entstehen können (siehe Kap. 4.3.2; 4.3.3). Im FEM in Schwäbisch Gmünd durchgeführte Metallanalysen ergaben eine nur leicht abweichende Silberlegierung in den Fugen zwischen den Zierdrähten. Die Verwendung eines metallischen Lotes lässt sich demnach ausschließen (siehe Kap. 4.3.2). Die angeschmolzenen Drahtbereiche könnten sowohl auf ein Schweißen als aber auch auf eine Überhitzung beim Reaktionslöten zurückzuführen sein. Eine Schweißverbindung wäre zwar möglich, ist jedoch - angesichts der feinen Filigranarbeit - ein im Holzkohlefeuer schwer vorstellbares Unterfangen. Nicht nur die Praktikabilität, sondern auch die mit 1,5 - 2,5 % leicht erhöhten Kupfergehalte in den Nahtstellen sprechen für ein Reaktionslot (siehe Kap. 4.3.2.2). In diesem Fall muss dem Reaktionslot jedoch zusätzlich materialüberbrückendes Silber hinzugefügt worden sein, um die Fugen zu füllen. Die Verwendung der nahezu als Feinsilber zu bezeichnenden Legierung der Filigrandrähte spricht für eine gezielte Wahl des Rohmaterials, da diese Legierung sowohl für die Formgebung der Drähte als auch zum Löten mit Reaktionslot besonders gut geeignet ist.

5.2.3 Armringe mit drahtumwickelten Enden

Ein ab der Mittellatènezeit äußerst beliebter, weit verbreiteter und langlebiger Armringtyp ist der Armring mit drahtumwickelten Enden. Diese Form besteht aus einem einzigen Draht, dessen dünner werdende Enden um den Ringkörper gewickelt wurden.

Der Formtyp wird in der einschlägigen Literatur als "Armring mit verstellbarer Weite" oder Armring vom "Typ Lauterach" (Rieckhoff-Pauli 1981, 15) bzw. vom "Lauteracher Typ" (Miron 1989, 220) oder auch als "Drahtarmring mit Schiebeverschluss" (Riha 1990, 62) bezeichnet. Im Rahmen dieser Arbeit wird der deskriptive Bezeichnung "Armring mit drahtumwickelten Enden" der Vorzug gegeben, da eine Benennung nach einem Fundort wohl kaum der langlebigen und universalen Form gerecht wird und die tatsächliche Nutzung der - ohnehin nur begrenzt möglichen - Verstellbarkeit nicht bekannt ist, zumal an keinem der Ringe sichere Anzeichen für ein wiederholtes An- und Ablegen durch das Verschieben der Enden vorliegen.

Auf die weite Verbreitung dieser Ringform in den vorchristlichen Jahrhunderten im gesamten Mittelmeerraum wurde bereits mehrfach hingewiesen (Raddatz 1969, 126; Krämer 1971, 116; Pernet u. a. 2006, 119). Besonders auf der Iberischen Halbinsel scheint die Form häufig aus Edelmetall angefertigt worden zu sein, nicht nur für Armringe ab dem 2. Jh. v. Chr. (Raddatz 1969, 126), sondern auch bereits ab dem 6. Jh. v. Chr. für Ohrringe (Nicolini 1990, 268 ff.).

Hinsichtlich der latènezeitlichen Verwendung des Materials Silber für diese Armringform sind insbesondere der Südalpenraum und der Karpatenraum - und dort vor allem ihr Auftreten in den dakischen Silberdepotfunden des späten 1. Jhs. v. Chr. bis zu Beginn des 1. Jhs. n. Chr. (Horedt 1973, 139) - hervorzuheben. Im Tessin und in Oberitalien tritt der Armringtyp bereits seit der Mittellatènezeit auf, vorwiegend jedoch erst in Gräbern der Spätlatènezeit und der frühen Kaiserzeit (Pernet u. a. 2006, 119 f.), wie etwa in Giubiasco (ebd. 159 cat. 51 tipo 4; vgl. Kap. 5.2.1.2 Abb. 34) oder in Ornavasso (Graue 1974, 60; Taf. 1,1; 73,4).

Die Ringe aus Bronze und Eisen stammen vereinzelt aus mittellatènezeitlichen Grabfunden in Bayern und der Wetterau (siehe van Endert 1991, 11), aber hauptsächlich aus Befunden der Spätlatènezeit. Dazu zählen einzelne Ringe aus Gräbern, wie etwa ein eisernes Exemplar aus einem Frauengrab von Wederath-Belgium (Miron 1989, 218 ff.) oder mehrere Exemplare aus Bronze aus dem Gräberfeld von Solduno im Tessin (Stöckli 1975, 60; Taf. 36, C27; 39, D33.D38; 50, J18). Einige Stücke sind vor allem aus diversen Siedlungsbefunden Frankreichs und Österreichs (van Endert 1991, 12 mit Lit.) sowie der Schweiz und Tschechien bekannt, wie etwa aus Basel-Gasfabrik (Furger-Gunti 1982, 21) und Manching (van Endert 1991, 11 f.; Taf. 3,50-51) sowie vom Hradiště bei Stradonice und von Staré Hradisko in Böhmen (Menke 1968, 69; Krämer 1971, 116).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden hinsichtlich herstellungstechnischer Gesichtspunkte zwei formal vergleichbare, spätlatènezeitliche Armringe aus Lauterach (Kat. 18,1) und Schalunen (Kat. 36) untersucht. Der silberne Ring aus Lauterach stammt aus einem Depotfund, das aus hochwertigem Gold angefertigte Exemplar aus Schalunen ist ein

Einzelfund, der ebenfalls als Ergebnis einer religiös motivierten Deponierung gedeutet wird (Müller 1999, 54). Beide Ringe weisen keinerlei Abnutzungsspuren auf.

Als Variante der Spätlatènezeit ist schließlich ein Exemplar aus Gold zu nennen, welches aus einem Depotfund aus dem elsässischen Saint-Louis bei Basel (Furger-Gunti 1982, 8 Abb. 7; 10) stammt, der eine mit dem Lauteracher Depot vergleichbare Zusammensetzung - unter anderem auch zwei einfache Drahtfingerringe und Münzen - aufweist. Dieser Ring wurde jedoch nicht aus einem einzelnen Draht hergestellt, sondern besteht aus zwei Teilen mit vier - statt mit üblicherweise zwei - umwickelten Enden (ebd. 21).

In der gesamten römischen Kaiserzeit hielt sich die Beliebtheit der Armringform, wobei schon ab augusteischer Zeit Varianten hinzukamen, für deren Herstellung Draht anderen Querschnitts verwendet wurde oder bei welchen die Enden mit zusätzlichen Spiralwicklungen versehen wurden. Entsprechende Formvarianten scheinen bereits in dakischen Fundkontexten des 1. Jhs. n. Chr. (Kat. Daker 1980, 40 Abb. 19) aufzutreten. Auch ein aus einem Silberdepotfund des 1. Jhs. n. Chr. von Bonn stammender Armring weist diese Form auf (Böhme-Schönberger 1997, 32 Abb. 19). Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchte Beispiel stammt aus dem nach Ausweis der Schlussmünzen Ende des 2./Anfang des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depot von Rickenbach (Kat. 34,1).

Armringe mit drahtumwickelten Enden, für deren Herstellung vorwiegend Bronze, aber auch Silber verwendet wurde, waren während der römischen Kaiserzeit sowohl in den römischen Provinzen als auch in der Germania weit verbreitet (Riha 1990, 62). Nach E. Riha (ebd.) war die Form innerhalb des Römischen Reiches in den frühromischen Limeskastellen und in spätrömischer Zeit vor allem in den Donauprovinzen besonders gebräuchlich. In germanischen Kontexten tritt der Armringtyp vor allem in Gräbern der jüngeren Kaiserzeit links der Saale auf, wobei er dort häufig aus dem Material Silber angefertigt wurde (Roggenbuck 1988, 112).

Als Fallbeispiele einfacher Armringe dieses Typs wurden sowohl silberne Exemplare aus einem wohl im 2. Jh. n. Chr. niedergelegten Depot aus Regensburg (Kat. 30,1.2) als auch ein Ring aus Buntmetall aus dem Kastellvicus von Sulz (Kat. 41,4), ausgewählt. Darüber hinaus wurde auch ein spätrömischer Armring aus dem Gräberfeld von Kaiseraugst (Kat. 16) untersucht.

Der Formtyp des Armringes mit umwickelten Enden ist so also über viele Jahrhunderte hindurch und über weite Regionen hinweg beliebt gewesen. Eine regionale Zuweisung ihrer jeweiligen Herstellung erscheint angesichts der weiten Verbreitung und der an keine speziellen Kenntnisse gebundenen Konstruktion dieser Ringform meines Erachtens kaum möglich. Allein das Argument des verwendeten Materials Silber ist nicht ausreichend, um etwa den Ring aus Lauterach als Fremdgut aus Oberitalien anzusprechen (so Krämer 1971, 115 ff.;

Polenz 1982, 152; van Endert 1991, 12), lässt sich jedoch im Umkehrschluss auch nicht ausschließen, wenn weitere Argumente herangezogen werden können (siehe Kap. 5.3.1.3.1)⁹⁶.

Die untersuchten Fallbeispiele dieser Armringform sind in erster Linie Belege dafür, dass offensichtlich verschiedene Drahtherstellungsverfahren angewandt wurden, um stärkere Drähte anzufertigen (vgl. Kap. 4.2.3, bes. Abb. 6 und 7), deren Enden für die Umwicklungen jedoch in jedem Fall verjüngend ausgeschmiedet werden mussten.

Der Armring aus Lauterach (Kat. 18,1) ist offensichtlich aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen angefertigt worden. Darauf verweisen nicht immer strikt parallel zur Längsrichtung verlaufende Drahtfalten, die sich über längere Strecken hinweg zeigen (Taf. 40,3-5), sowie Risse in Querrichtung (Taf. 40,4; vgl. Kap. 4.2.3 Abb. 7). Diese leicht mäandrierenden Drahtfalten werden an den Drahtumwicklungen stärker spiralförmig (Taf. 40,6), weshalb anzunehmen ist, dass bereits der verwendete Blechstreifen zu den Enden hin schmaler war. Die zusätzlich sichtbaren Kratzer (Taf. 40,2) sind dagegen nicht auf die Drahtherstellung zurückzuführen (siehe Kap. 5.1.1.4 Fußnote 73). Obgleich die offensichtlich neuzeitlichen Riefen bei der Betrachtung irritieren, liegen darüber hinaus auch geringe Spuren von feinen parallelen Kratzern vor, die auf einen abschließenden Glättvorgang deuten könnten. Der Drahtrohling wurde zu den Enden hin dünner ausgeschmiedet, so dass für die Drahtumwicklungen schließlich ein Durchmesser von nicht viel mehr als 1 mm zur Verfügung stand.

Ein entsprechender Herstellungsvorgang ist auch für den Golddraht des formal nahe stehenden Armringes von Schalunen (Kat. 36; Taf. 140) anzunehmen. Obwohl der Draht sorgfältig geglättet wurde, liegen auch an diesem einzelne Indizien für die Drahtherstellung aus einem gerollten Blechstreifen vor. Die vereinzelt sichtbaren, nur über kürzere Strecken verlaufenden Falten (Taf. 140,1.2) ließen sich zwar beiden in Kap. 4.2.3 genannten Verfahren zuweisen, eine Blechkante und die Form der Rissbildung an einer Stelle (Taf. 140,4) verweisen jedoch auf Blech als Ausgangsform. Ferner lässt auch die Gestalt der Falten an den Drahtumwicklungen der Enden (Taf. 140,3) annehmen, dass es sich um Blechkanten handelt. Die mit ca. 97 % Au äußerst duktile Goldlegierung ermöglichte dabei ein starkes Rollen, so dass der Draht ein

⁹⁶ Abweichend von der hier interessierenden technischen Durchführung zur Herstellung der Armringe wäre eine detailliertere Zusammenstellung dieses Formtyps hinsichtlich seines epochenübergreifenden Auftretens in unterschiedlichen kulturellen Milieus ein gesondertes Thema. Bemerkenswert erscheint die Tatsache, dass das Ringschema mit drahtumwickelten Enden nicht nur bei der Herstellung von Armringen, sondern auch von anderen Schmuckgattungen Verwendung fand, wie etwa Fingerringen (Henkel 1913, 224 ff.; Riha 1990, 42; Taf. 12, 216-221; siehe auch Varianten in Kap. 5.1.1.4; 5.1.2.1) oder als anhängendes Ringchen, wie an einer Omega-fibel (Kat. 51; Taf. 187,1) bzw. an Anhängern (Riha 1990, 74; Taf. 31, 724-727). Diese Tatsache stellt einmal mehr die mögliche Funktion der "verstellbaren Weite" als Verschluss in Frage. Vielmehr ist das Umwickeln der Drahtenden - vor allem bei den kleineren Ringen - als reines Zierelement, bei den Armringen möglicherweise auch, um eine thermische Verbindung der Drahtenden zu umgehen, einzustufen. Angesichts der universalen Formgebung ist es zudem nicht überraschend, dass das Ringschema auch in späteren Zeiten fortlebte. Als Beispiele seien etwa als Kettenanhänger dienende Ringe mit drahtumwickelten Enden aus frühalamannischen Gräbern, wie etwa von Schleithem-Hebsack (Ruckstuhl 1988, 20 Abb. 6, 40-41), genannt, aber auch ein aus einem spätmerowingerzeitlichen Grab stammender Goldfingerring mit drahtumwickelten Enden, welcher zusätzlich mit einer verbreiterten Zierplatte gestaltet und mit christlicher Symbolik verziert wurde (Rabold 1999, 163 Abb. 117).

durchaus massives und rundes Erscheinungsbild erhielt. Darüber hinaus liefern streckenweise sichtbare Längsriefen (Taf. 140,5) den Hinweis, dass der Draht abschließend geglättet wurde.

Ähnliche Spuren liegen auch am Draht der beiden nicht vollständig erhaltenen provinzialrömischen Ringe aus einem vermeintlichen Depotfund innerhalb des Gräberfeldareals von Regensburg (Kat. 30,1.2; Taf. 100; 101) vor. Der sichtbare Querschnitt des Drahtes an den Bruchstellen (Taf. 100,6; 101,5) spricht auch an diesen gegen eine Drahtherstellung aus einem massiven Vorprodukt. Aus dem "mehrlagigen" Aufbau dieser Bruchflächen lässt sich hier wieder die Anfertigung aus gefalteten und gerollten Blechstreifen ableiten. Darüber hinaus scheinen auch die Falten nicht immer strikt parallel zur Längsrichtung zu verlaufen. Die kontinuierlich dünner werdenden Enden müssen dabei - wie an den zuvor genannten Exemplaren - ausgeschmiedet worden sein.

Die weiteren untersuchten provinzialrömischen Exemplare aus dünnerem Draht gehen wahrscheinlich ebenfalls auf eine Drahtherstellung aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen zurück.

So wurde vermutlich auch der Draht für den Armring aus Sulz (Kat. 41,4; Taf. 156,4.5) aus einem Buntmetallblechstreifen angefertigt. Darauf verweist der unregelmäßig ovale bis kantige Querschnitt mit streckenweise sichtbaren, leicht mäanderförmig verlaufenden Drahtfalten.

Der in die 2. Hälfte des 4. Jhs. n. Chr. datierte Armring aus dem Gräberfeld von Kaiseraugst (Kat. 16) mag als Beispiel dafür gelten, dass diese Armringe in spätrömischer Zeit zunehmend aus dünnerem Draht hergestellt wurden. Darüber hinaus wurden ihre Enden mit weniger Umwicklungen versehen, die zudem enger beieinander liegen. Nach Ausweis der nicht immer strikt parallel zur Längsrichtung verlaufenden Falten sowie des unregelmäßigen, leicht ovalen Querschnitts scheint auch hier der Draht aus einem Blechstreifen angefertigt worden zu sein⁹⁷.

Der provinzialrömische Armring aus Rickenbach (Kat. 34,1; Taf. 135) zeigt dagegen eine Variante aus einem vierkantigen Draht mit zusätzlich zur Spirale aufgewundenen Verzierungen am Anfang der Umwicklungen. Der Ring wurde aus einem massiv geschmiedeten Vierkantdraht hergestellt, dessen Enden für die Umwicklungen rund geschmiedet wurden.

Vor dem Umwickeln der Enden wurde das zuvor angefertigte Drahttringchen eingehängt. Es zeigt eine deutliche Lötstufe (Taf. 135,2) mit stumpf verbundenen Drahtenden, wobei sich die angewandte Löttechnik ohne Metallanalysen nicht präzisieren lässt. Das optische Erscheinungsbild könnte sowohl mit der Verwendung eines metallischen Hartlotes (vgl. Kap. 4.3.2.1 Abb. 10) als auch eines Reaktionslotes mit zugefügtem Metallstaub erklärt werden.

Überschlägt man die verwendeten Drahtlängen an den komplett erhaltenen Armringen, zeigt sich anhand der Fallbeispiele, dass zur Herstellung dieser Armringe unterschiedlich viel

⁹⁷ Auf Fotos musste hier verzichtet werden, da vom Schweizerischen Nationalmuseum, Landesmuseum Zürich, keine der Aufnahmen für die Publikation genehmigt wurde.

Material und Aufwand investiert wurde⁹⁸. Dies könnte davon abhängig sein, welche Weite der jeweilige Ring besitzen sollte und zu welchem Zweck - als Votivgabe, Prestigegut oder Alltagsschmuck - er angefertigt wurde. Eine Gegenüberstellung der beiden hinsichtlich ihrer Form besonders vergleichbaren Ringe aus Lauterach und Schalunen ergibt unterschiedlich benötigte Drahtlängen. Zur Anfertigung des Armrings aus Schalunen mit einer größeren Zahl der Umwicklungen musste ein Draht von ca. 60 cm angefertigt werden, für den Ring von Lauterach reichte dagegen eine erheblich kürzere Drahtlänge von ca. 43 cm aus. Drähte mit diesen Längen aus einem gefalteten und gerollten Blech herzustellen war mit einem äußerst aufwändigen Prozess verbunden. Daher scheint es durchaus überraschend, dass offensichtlich selbst längere und dickere Drähte auf diese Weise hergestellt wurden, was ohne die Verwendung duktiler Legierungen kaum vorstellbar ist.

Während die Anfertigung von Drähten mit einem Durchmesser über 1 mm in der frühen und mittleren Latènezeit vorwiegend über das Ausschmieden eines massiven Vorprodukts durchgeführt wurde, scheint die Drahtherstellung aus Blech in zunehmendem Maße erst ab der späten Latènezeit angewandt worden zu sein (vgl. auch Kap. 5.1.1.3; 5.1.1.4; 5.1.2.1). Warum das deutlich aufwändigere Verfahren gewählt wurde, bleibt zu klären. Möglicherweise steht dies jedoch in direktem Zusammenhang damit, dass Blech und Folie insgesamt mehr verwendet wurden als dies in den vorangegangenen Zeitstufen der Fall war. Zumindest für die provinzialrömische Schmuckherstellung kann man wohl davon ausgehen, dass diese Ausgangsprodukte - deren Herstellung allein schon mit einem erheblichen Aufwand verbunden war - in größerer Zahl, also nicht nur ad hoc für den jeweiligen Auftrag, angefertigt wurden.

5.3 Fibeln

Aufgrund des im Vergleich zu Buntmetallen und Eisen relativ weichen Materials sind Fibeln aus Silber nicht besonders gut dazu geeignet, feste Stoffe zusammenzuhalten, vielmehr ist eine rein schmückende Funktion anzunehmen. Abgesehen von besonderen Ziertechniken, wie Granulations- oder Filigranverzierungen, scheint zur Anfertigung von Fibeln aus Silber keine andere formgebende Technik gewählt worden zu sein als bei den zeitgleichen Buntmetallfibeln. Unabhängig vom verwendeten Rohmaterial und davon, ob Bügel und Nadelhalter aus einem Vorprodukt ausgeschmiedet oder gegossen wurden, musste bei allen Spiralfibeln der Draht für Spirale und Nadel geschmiedet werden. Der Prozess zur Wicklung der Spirale und die dafür notwendigen Hilfsmittel - wie eine Behelfsachse - wurden bereits Mitte des letzten Jahrhunderts von H. Drescher (1955) rekonstruiert und ausführlich beschrieben.

⁹⁸ Die abgeschätzten Drahtlängen wurden jeweils aus der Länge des Drahtkörpers, der Anzahl der Drahtumwicklungen und der verschiedenen Drahtstärken berechnet und sollen lediglich eine ungefähre Vorstellung liefern.

Bemerkenswert erscheint die Beobachtung, dass an mehreren Exemplaren der untersuchten Silberfibeln bzw. mit Silber versehenen Fibeln, sowohl aus dem mittellatènezeitlichen Grab von Sinsheim-Dühren (Kat. 37,2,3) als auch aus den provinzialrömischen Depotfunden von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,9) und Niederaschau (Kat. 26,1) Reparaturen festgestellt werden konnten. Für die Notwendigkeit einer Reparatur können zwei Gründe vorliegen (Drescher 1957, 90). Zum einen bedarf es einer Reparatur, wenn ein Fehler während des Herstellungsprozesses auftritt (z. B. ein Gussfehler). Falls man das gesamte Halbfabrikat nicht wieder einschmelzen will, muss der Fehler noch während der Anfertigung des Werkstücks nachgebessert werden. Zum anderen erfordert eine Beschädigung während des Gebrauchs ebenfalls eine Reparatur, wenn das Schmuckstück seine Tragefunktion behalten soll. Deshalb kann zwischen Werkstatt- und Gebrauchsreparaturen differenziert werden, wobei eine eindeutige Unterscheidung an den Fundobjekten nur selten möglich ist (so auch Armbruster 2000, 85 f.).

Die beobachteten Ausbesserungen bzw. Instandsetzungen an den aus Grab- oder Depotkontexten stammenden Fibeln aus Sinsheim-Dühren und Niederaschau scheinen direkt mit dem Prestigecharakter und dem Materialwert dieser Fibeln zusammenzuhängen. Ihre Deponierung in nicht mehr funktionstüchtigem Zustand mag ihrem personenbezogenen Wert als Erinnerungsstücke, aber auch ihrem Materialwert entsprechen.

5.3.1 Latènezeitliche Fibeln

Fibeln zählen zu den Formtypen, welche in der Latènezeit selten aus Edelmetall hergestellt wurden. Bis zur Spätlatènezeit gehörten Fibeln aus Silber zu den herausragenden Einzelobjekten, die sicher ein Statussymbol des Tragenden sowohl zu Lebzeiten als auch im Totenbrauchtum darstellten. Erst in der Spätlatènezeit treten sie bereits in einer - wenn auch nur geringfügig - größeren Anzahl auf und dann zumeist paarweise.

5.3.1.1 Fibeln vom Frühlatèneschema

Zu den in Mitteleuropa nur ausnahmsweise aus Silber hergestellten Fibeln der Früh- und Mittellatènezeit kann die Münsinger Fibel aus Bern-Schosshalde (Kat. 6; Taf. 11; 12) als ältestes Beispiel aufgeführt werden. Diese wie einzelne Bandfingerringe aus dem Schweizer Mittelland (siehe Kap. 5.1.1.1) und ein Anhänger aus Pottenbrunn in Niederösterreich (siehe Kap. 5.5.1) im Waldalgesheim-Stil verzierte Fibel stellt ein herausragendes Exemplar in der Verarbeitung von Silber dar und soll deshalb im Folgenden näher beschrieben werden.

Nach Ausweis einer streckenweise sichtbaren, rauen blasigen Oberflächenstruktur wurde die Grundform der Fibel im Guss angelegt, wobei die endgültige Formgebung der zurückgebogenen Fußscheibe sowie der Spirale und der Nadel, vermutlich aber auch des Nadelhalters auf einen nachträglichen Schmiedeprozess zurückgeht. Bei den seitlich an den Biegungen der Bügelunterseite erkennbaren Querrillen (Taf. 12,5) könnte es sich um

Schleifspuren handeln, denkbar wären jedoch auch Formungsspuren (Wulstbildungen) des Wachsmodells, die durch das freie Biegen des Wachsstreifens zustande gekommen sein könnten.

Die deutlich sichtbare Gussoberfläche auf der Innenseite der Fußscheibe (Taf. 11,4) verweist auf eine Formgebung im Wachsmodell, wobei die Innenseite nicht überschliffen und poliert werden musste, da sie aufgrund der - nicht erhaltenen - Einlage verdeckt war. Die zum Teil abgerundeten Kanten der Ziselierungen am Bügel und an der Nadelrast (Taf. 12,2.6; siehe auch Abb. 36) sind weniger auf Abnutzungsspuren zurückzuführen als vielmehr darauf, dass diese Verzierungen möglicherweise ebenfalls bereits im Wachsmodell angelegt wurden. Wie jedoch sowohl einzelne Punzierungsspuren an der Nadelrast sowie zwischen der S-Spiralen-Verzierung der Bügeloberseite (Taf. 12,6) als auch einige scharfkantigere Punzabdrücke, etwa an der Unterseite der Fußscheibe (Taf. 11,6), zeigen, müssen diese Verzierungen zumindest nach dem Guss noch nachzisiert worden sein. Die seitlichen mit einer Hohlpunze eingearbeiteten Kreisverzierungen (Taf. 12,3.4) wurden vermutlich überhaupt erst in das Werkstück punziert⁹⁹.

Zudem verweist die Gratausbildung der Lochung der Fußscheibe (Taf. 11,5.6) auf ein erst nach dem Guss erfolgtes Durchhauen des Loches für den Niet. Die Anfertigung der gesamten Nietkonstruktion wird noch vor dem Umbiegen der Fußscheibe erfolgt sein.



Abb. 36: Verzierungen an der Nadelrast der Fibel aus Bern-Schosshalde (Kat. 6).

Die Formgebung der Spirale und der Nadel erforderten einen sorgfältigen Schmiedeprozess nach dem Guss, wobei der Draht für die Spirale und die Sehne zusätzlich mit Profilierungen versehen wurde, möglicherweise um eine größere Stabilität und Spannkraft zu erreichen (Müller 1999, 34), aber sicher auch aus optischen Gründen.

⁹⁹ Die Verwendung einer Hohlpunze konnte bereits an einem der beiden Bandfingerringe aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,2; Taf. 152,3) beobachtet werden, wobei sowohl eine andere Punze benutzt wurde als auch die Verzierung an diesem Ring im Vergleich zur Fibel aus Bern-Schosshalde deutlich abgenutzt erscheint.

Im IFZAA in Basel durchgeführte Metallanalysen zeigen eine hochwertige Silberlegierung mit ca. 95 % Ag, die sowohl zum Gießen als auch zum Schmieden und Ziselieren bzw. Punzieren gleichermaßen gut geeignet ist.

An einer Stelle der Sehne wurde überraschenderweise eine Legierung mit lediglich 83,9 % Ag, 12,1 % Cu und einem mit 3,7 % für latènezeitliche Legierungen (siehe Kap. 7.1) ungewöhnlich hohen Gehalt an Zink gemessen. Dieser Bereich stellt sich damit als Reparaturstelle heraus, welcher sich auch optisch von den umliegenden Drahtbereichen abhebt (Taf. 12,1 oben rechts). Die Zusammensetzung entspricht einer neuzeitlichen Lotlegierung (metallisches Hartlot; siehe Kap. 4.3.2.1), da Zink nicht zu den Bestandteilen antiker Lotlegierungen gehörte, sofern es sich nicht um ein zufälliges Begleitelement aus der beim Reaktionslöten verwendeten Kupferverbindung handelte (siehe Kap. 4.3.2.2 Tab. 4; 4.3.4 Fußnote 24)¹⁰⁰. Da bei der Analyse auch die umliegende Legierung mit erfasst wurde, zeigt die Messung eine Mischung aus der wohl modernen Lotlegierung und der Legierung der Sehne. Der Anlass für diese offensichtlich neuzeitliche Reparatur bleibt unklar, eine Bruchstelle in diesem Bereich könnte auf eine antike Beanspruchung der Spiralkonstruktion verweisen, wahrscheinlicher ist eine Schädigung bei oder kurz nach der Auffindung der Fibel.

Ob die Fibel von Bern-Schosshalde als Vorbild für die Buntmetallfibeln dieses Typs anzusehen ist (Müller u. Lüscher 2004, 99) oder ob sie aufgrund des verwendeten Materials und der aufwändigeren Ausführung lediglich eine Art "Sonderedition" darstellt, muss offen bleiben. Allein das Material Silber scheint meines Erachtens nicht Grund genug die Fibeln aus Bronze mit vergleichbarem Rankenmotiv als direkte Imitationen anzusprechen. Die Ornamente der reichverzierten Bronzefibeln sollen bereits im Guss angelegt worden sein, aber auch unter diesen gibt es herausragende Exemplare, die anschließend mit weiterer Punzverzierung versehen wurden (Müller 1993, 2; 1999, 36), so dass sich diese hinsichtlich technischer Gesichtspunkte nicht wesentlich von der Fibel aus Silber unterscheiden würden.

5.3.1.2 Fibeln vom Mittellatèneschema

Von den wenigen mitteleuropäischen Silberfibeln vom Mittellatèneschema wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit drei Beispiele untersucht, die in ihrer jeweiligen Region als Besonderheiten dastehen. Sowohl das einfache Exemplar aus Horgen in der Nordschweiz als auch das aufwändig verzierte Fibelpaar aus Dühren in Südwestdeutschland stammen aus Gräbern einer fortgeschrittenen Phase der Stufe LT C, welche mit weiterem Edelmetallschmuck reich ausgestattet waren. Die direkte Parallele dieser beiden Gräber wird über die beigegebenen Spiralfingerringe aus Gold mit Perl- bzw. Kerbdrahtenden sichtbar (vgl. Kap. 5.1.1.2).

¹⁰⁰ Da sich die Reparaturstelle jedoch nur farblich von den übrigen Bereichen der Sehne abhebt, erscheint die Verwendung eines fugenfüllenden Hartlotes auch aus optischen Gründen wahrscheinlicher als ein Reaktionslot mit zugefügtem Metall.

5.3.1.2.1 Horgen

Die 5,6 cm lange Fibel aus Horgen (Kat. 12,1; Taf. 30) wurde aus einem Stück geschmiedet und der Fuß am Bügel mit einer knotenartigen Bügelklammer befestigt. Da die Fibel lediglich schwarz angelaufen ist und keine grünen Korrosionsprodukte aufweist, dürfte sie aus einer hochwertigen Silberlegierung bestehen. Streckspuren und eine in Längsrichtung verlaufende Falte verweisen auf das Ausschmieden des Drahtes aus einem massiven Vorprodukt (Taf. 30,2). Die Nadelrast wurde vor dem Umbiegen mit einer ziselierten Verzierung versehen und weist leichte Abnutzungsspuren auf. Die Verwendung einer Schrotpunze wird über die seitlich als U-förmige Kerben zu erkennende Verzierung belegt¹⁰¹.

Die Bügelklammer wurde in Form einer Manschette hergestellt, welche vor dem Biegen der Spiralkonstruktion auf den Bügel aufgeschoben wurde (Taf. 30,2-3). In Längsrichtung des Bügels ist eine Fuge erkennbar (Taf. 30,3). Die Sichtanalyse ermöglicht zwar keine sichere Entscheidung der Frage, ob die Manschette aus Blech oder massiv hergestellt wurde, eine Anfertigung aus einem massiven Stück ist angesichts der Größe jedoch anzunehmen. Wahrscheinlich wurde ein drahtförmiges Vorprodukt in einem Gesenk getrieben, zum Ring gebogen und die seitlichen Bereiche nachfolgend flachgeschmiedet. Die Enden der auf diese Weise mit Profilierungen versehenen Manschette wurden anschließend thermisch miteinander verbunden. Das Erscheinungsbild verweist auf eine Lötstufe, die nicht komplett geschlossen ist, ein für das Reaktionslöten charakteristisches Merkmal (siehe Kap. 4.3.2.2). Ohne Metallanalysen an der Nahtstelle kann die Verbindungstechnik aber nicht sicher geklärt werden.

Der Fuß wurde nach dem Ausschmieden des Nadelhalters und Verzieren der Nadelrast an seinem Ende plan geschmiedet und schließlich zurückgebogen. Abschließend wurde die Bügelmanschette über das flach geschmiedete Fußende geschoben und damit arretiert (Taf. 30,2).

5.3.1.2.2 Sinsheim-Dühren

Da die beiden Silberfibeln aus einem latènezeitlichen Körpergrab von Sinsheim-Dühren (Kat. 37,1-3; Taf. 141 - 147) mit ihren goldenen Zierelementen bislang für Mitteleuropa singulär sind und zudem technische Besonderheiten aufweisen, sollen sie im Folgenden ausführlich beschrieben und die Verfahren zu ihrer Herstellung diskutiert werden. Die Grundform beider Fibeln mit Bügel, Nadelhalter und Fuß sowie Spirale und Nadel aus Silber wurde jeweils aus einem Stück geschmiedet. Die Zierelemente aus Gold und Silber wurden mit Hilfe von thermischen und mechanischen Verbindungstechniken aufgebracht.

Die vollständig erhaltene Fibel 1 (Kat. 37,1) weist vor allem am Bügel und am Nadelhalter eindeutige Schmiedespuren auf. Auf der Bügeloberseite sind Schleifspuren zu erkennen

¹⁰¹ Die ziselierte Verzierung kann hier leider nicht illustriert werden, da ein entsprechendes Foto aufgrund der Bestimmungen des Schweizerischen Nationalmuseums, Landesmuseum Zürich, nicht für die Publikation verwendet werden konnte.

(Taf. 142,2). Die Wicklung der Spirale beginnt von der Rückseite gesehen mit der Rechtswindung der rechten Hälfte. Der Fuß ist als Perldraht ausgeführt, der Äquatorschnitt ist deutlich erkennbar (Taf. 142,5). Die bemerkenswert gleichmäßige Ausformung der "Perlen" zeugt von der hohen handwerklichen Fertigkeit des Feinschmieds. Am Übergang vom glatten Draht zum Perldraht befindet sich eine aus drei goldenen Perldrähten bestehende Fußscheibe. Diese wurde aus drei offenen Perldrahtringen, die an einzelnen Stellen thermisch miteinander verbunden sind, aufgebaut und vor dem Umbiegen des Perldrahtfußes aufgeschoben (Taf. 142,4). Sie wird zwischen dem Rand des glatten Drahtstücks und der ersten "Perle" des Perldrahtstücks gehalten. Die drei Perldrähte der Fußscheibe weisen an einzelnen Stellen ebenfalls einen Äquatorschnitt auf. Das Ende des Perldrahtfußes wurde flach geschmiedet, um darauf die Bügelklammer zu arretieren. Die Bügelklammer wiederum besteht aus zwei klammerartig gebogenen goldenen Perldrähten, auf welchen ein dritter Ring aus Perldraht aufgelötet wurde. Auf diesem oberen Perldrahtringchen, dessen Enden ebenfalls durch eine thermische Technik verbunden sind, wurden als weitere goldene Zierelemente vier Granalien in traubenförmiger Anordnung aufgebracht (Taf. 143)¹⁰². Zwischen den Perldrahtklammern und dem Perldrahtring wurde jeweils eine weitere Granalie seitlich aufgesetzt. Alle Zierelemente weisen eine goldene Oberfläche auf, jedoch in unterschiedlichen Farbtönen. Die gesamte Konstruktion der Bügelklammer wurde nach dem Verlöten der einzelnen Zierelemente mechanisch mit dem Bügel verbunden. Auf der Unterseite des Bügels ist zu erkennen, dass dort eine Art Nut eingeschmiedet wurde, in welcher die umgehämmerten Enden der zwei Perldrähte arretiert wurden (Taf. 143,4).

Die Durchmesser der goldenen Granalien variieren von ca. 1,0 bis 1,4 mm. Die Verbindungsstellen mit feinen "Hälsen" und die Beobachtung von grünen Kupferkorrosionsprodukten im Bereich der Nahtstellen verweisen auf die Verwendung eines Reaktionslotes. Da jedoch besonders die Kontaktstellen zwischen den Granalien und den Perldrähten deutliche Spuren einer "Materialbrücke" aufweisen, muss spaltfüllendes Material hinzugefügt worden sein. Für ein Reaktionslot allein liegen die Kontaktbereiche zu weit auseinander.

Die zweite Silberfibel aus Sinsheim-Dühren, die in der älteren Literatur entweder als "zwei Bruchstücke" (Schumacher 1890, 411) oder als ein "Bruchstück einer ähnlichen Silberfibel" Erwähnung fand (Polenz 1982, 59), liegt in zwei Fragmenten vor. Das eine Fragment besteht aus der Spirale und einer mit Granalien verzierten erneuerten Perldrahtsehne sowie einer ebenfalls erneuerten Nadel (Kat. 37,3; Taf. 146,1). Von dem zweiten Fragment sind der reich verzierte Bügel und der Fuß erhalten (Kat. 37,2; Taf. 144). Das Erscheinungsbild der beiden Fragmente von Fibel 2 ist sehr viel stärker von Korrosion geprägt als das von Fibel 1.

Auf der Spirale, der Sehne und dem ebenfalls als Perldraht geformten Fuß der Fibel 2 wurden ähnlich zu Fibel 1 Granalien zur Verzierung aufgebracht.

¹⁰² Nach Ausweis von Klebspuren zwischen der obersten Granalie und einer der darunter liegenden Granalien wurde die Befestigung der obersten Granalie offensichtlich neuzeitlich durch einen Klebstoff unterstützt.

Die Bügelklammer des Bügelfragments von Fibel 2 besteht aus einer Drahtspirale und zwei umlaufenden Perldrahtringen. Der Runddraht für die Drahtspirale wurde durch Verdrehen eines Blechstreifens hergestellt, da nur eine spiralförmig umlaufende Fuge zu erkennen ist (Taf. 145,4). Der Perldrahtfuß erscheint auf den ersten Blick nicht in der sorgfältigen Art ausgeführt wie derjenige von Fibel 1, die Ausformung der "Perlen" ist jedoch zusätzlich von Gebrauch und Korrosion überprägt (Taf. 145,1). Auf beiden Seiten des Perldrahtfußes wurden jeweils zwei Granalien, von welchen mittlerweile eine fehlt, aufgelötet¹⁰³.

Eine weitere Verzierung besteht aus drei in Längsrichtung auf dem Bügel angebrachten Filigrandrähten. Diese Filigrandrähte wurden an ihrem jeweiligen Ende zur Bügelklammer hin abgeflacht, um dort die Perldrähte besser befestigen zu können (Taf. 145,2). Möglicherweise ist das ebenfalls abgeflachte zweite Ende eines der Drähte ein Hinweis darauf, dass dort ursprünglich eine weitere Bügelverzierung aufgebracht war. Die Enden der beiden anderen Filigrandrähte sind dagegen abgebrochen. Die Bügelklammer, eine Granalie und die Filigrandrähte auf dem Bügel zeigen eine stellenweise unterschiedlich ausgeprägte Goldfarbe.

Das zweite Fragment der Fibel 2 besteht aus einer Spirale, einer Spiralachse sowie einer Nadel mit Nadelöse. Die ursprüngliche Spiralkonstruktion ist mehrfach gebrochen und dadurch zweigeteilt, wobei ein mittleres Stück der Sehne aus Runddraht fehlt (Taf. 146,5). Die beiden Spiralfragmente sowie die Nadel mit Öse sind auf eine Achse aufgeschoben und eine ergänzte Sehne aus Perldraht hält die gesamte Konstruktion zusammen.

Die ursprüngliche Nadel und die Sehne sind vermutlich durch den Gebrauch gebrochen. Um diese Fibel wieder in Funktion zu bringen, musste die alte Nadel umgearbeitet oder eine neue Nadel angefertigt werden, die nun über eine sicher neu gefertigte Spiralachse beweglich zwischen den beiden Spiralhälften sitzt. Die nachträgliche Ergänzung der Achse wird durch die Tatsache bekräftigt, dass die üblicherweise eingliedrigen Fibeln vom Mittellatèneschema mit wenigen Spiralwindungen keine Spiralachsen besitzen.

Zur seitlichen Arretierung dieser Konstruktion wurde eine neue Sehne aus Perldraht angefertigt, um die Enden der Spiralachse gebogen und sowohl direkt als auch mit Hilfe einer Granalie an einer alten Spiralhälfte über eine thermische Verbindungstechnik befestigt (Taf. 147,1.2). Damit sitzt ein Spiralfragment locker auf der Achse, die andere Hälfte der Spirale ist unbeweglich. Ebenfalls locker auf der Achse sitzt zwischen den Spiralhälften die umgearbeitete oder neu angefertigte Nadel. Ein kleiner Grat am Rand der Lochung weist darauf hin, dass zur Herstellung des Ösenloches der zuvor verbreiterte Nadelkopf mit einem Dorn durchgehauen wurde (Taf. 146,4).

Bemerkenswert ist nicht nur der Versuch die Fibel 2 wieder in einen funktionstüchtigen Zustand zu bringen, sondern sie als Schmuck- und Zierobjekt im Rahmen der Reparatur zusätzlich aufzuwerten. Zum einen wurde das ursprüngliche Erscheinungsbild der Fibel erhalten, da die Spiralfragmente ohne Spannung beibehalten wurden, zum anderen hat die neu

¹⁰³ Während die publizierten Beschreibungen und Abbildungen noch vier Granalien zeigten, waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen lediglich drei erhalten.

angebrachte Sehne nicht nur einen funktionellen Charakter, da sie als Perldraht ausgeführt wurde. Zur weiteren Verzierung wurden zusätzlich drei Granalien auf der Perldrahtsehne und eine weitere Granalie auf der fest sitzenden alten Spiralhälfte aufgebracht. Eine der beiden seitlich am Ende der Perldrahtsehne angebrachten Granalien ist sowohl mit der Sehne als auch mit der alten Spiralhälfte verbunden. Drei der vier Granalien und die Perldrahtsehne weisen goldene Oberflächenbereiche auf.

An beiden Fragmenten der zweiten Fibel deuten die verschieden ausgebildeten Nahtstellen zwischen Granalien und Drahtrezipienten sowohl in Form feiner "Hälse" als auch breiter Übergangsbereiche darauf hin, dass die angewandte Verbindungstechnik in Abhängigkeit des aufzulötenden Materials unterschiedlich gut gelang (Taf. 145,1; 147).

Obwohl die Oberfläche stark korrodiert ist, lassen sich auch an der erneuerten Sehne von Fibel 2 Hinweise auf eine Perldrahtherstellung erkennen. Die "Perlen" des Perldrahtes sind allerdings vergleichsweise unregelmäßig und schwach ausgeformt (Taf. 147,2.3). Die nachträglich aufgebrachten Granalien bezeugen dennoch die handwerklichen Fähigkeiten des die Reparatur ausführenden Feinschmieds.

Zu den originalen Bestandteilen der Fibel 2 zählen die beiden Spiralfragmente und sicherlich auch das separate Bügelfragment. Alle weiteren Elemente wurden während der Reparaturmaßnahmen entweder umgearbeitet oder nachträglich zugefügt. Ob die drei Granalien auf dem Bügelfragment erst während der Reparatur dazukamen oder schon zuvor aufgebracht worden waren, lässt sich nicht klären. Das Bügelfragment der Fibel 2 ist sicherlich erst nach der Reparatur abgebrochen, möglicherweise nicht einmal antik, sondern während oder nach der Bergung der Fundstücke. Der als Perldraht ausgeformte Fuß könnte auf eine paarige Herstellung der beiden Fibeln hinweisen. Auch die Verwendung goldener Zierelemente stellt eine Gemeinsamkeit dar, erscheint jedoch in unterschiedlicher Ausprägung.

Die Perldrahtfußscheibe sowie die Bügelklammer aus Perldraht und die Granalien der Fibel 1 weisen eine lückenlose Goldoberfläche auf (Abb. 37).



Abb. 37: Goldene Zierelemente der Fibel 1 aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,1).

Die Goldfarbe ist jedoch nicht an allen Stellen dieselbe. Einige Bereiche am Perldraht weisen eine hellere und teilweise gräuliche Farbe auf. Dies könnten Bereiche sein, welche mit Hilfe

eines Lötgutes mit einem höheren Silbergehalt zusammengefügt wurden. Die unterschiedliche Färbung hatte vermutlich zu der bisherigen Annahme geführt, die Zierelemente seien vergoldet. Mit optischen Hilfsmitteln allein ließ sich jedoch nicht klären, ob diese Elemente aus massivem Gold oder vergoldet sind. Es ist zweifelhaft, ob Granalien mit antiken Methoden vergoldet werden konnten. Auch erscheint eine Vergoldung von Granalien mit einem Durchmesser von ca. 1 - 2 mm als unpraktikabel und nicht materialeinsparend.

Die Fragmente der Fibel 2 weisen ebenfalls Stellen auf, die als Reste einer Goldschicht gedeutet wurden, da sie hier teilweise tatsächlich wie eine Art Überzug wirken (Abb. 38).



Abb. 38: Goldene Zierelemente der Fibel 2 aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,2.3).

Um einerseits Fragen nach den verwendeten Silberlegierungen und unterschiedlichen oder identischen Verfahrensweisen zu klären und andererseits die unterschiedliche Ausprägung der goldenen Zierelemente zu überprüfen, wurden an beiden Fibeln detaillierte Metallanalysen an den goldenen Zierelementen und an den Verbindungsstellen im FEM Schwäbisch Gmünd durchgeführt.

Die Silberlegierungen, die zur Herstellung beider Fibeln verwendet wurden, weisen einen hohen Silbergehalt auf und reihen sich damit in die schon an den latènezeitlichen Fingerringen beobachtete Legierungsgruppe mit einem Gehalt von über 90 % Ag ein (Tab. 9).

Die gemessenen Legierungen liegen dicht beieinander. Die Unterschiede sind - besonders in Anbetracht der vorliegenden Korrosion an den Fragmenten von Fibel 2 - nicht groß genug, um eindeutig auf unterschiedliches Rohmaterial der beiden Fragmente von Fibel 2 oder gar auf eine dritte Fibel schließen zu lassen. Selbst die Nadel zeigt keine wesentlich abweichenden Werte an. Bei der Reparatur von Fibel 2 wurde also entweder die alte Nadel umgestaltet oder gleiches Ausgangsmaterial zu einer neuen Nadel verarbeitet. Der hohe Materialwert der Silberlegierung lässt eine Umarbeitung der alten Nadel und damit einen sparsamen Materialumgang als wahrscheinlicher erscheinen.

	Ag	Cu	Pb	Au
Fibel 1: Bügel, Perldrahtfuß und Nadel	95,9	3,3	0,3	0,5
Fibel 2 - Bügelfragment¹⁰⁴ Perldrahtfuß	95,9	3,4	<0,1	0,7
Fibel 2 - Spirale und Nadel: Spirale und alte Sehne	98,2	1,2	<0,1	0,7
Fibel 2 - Spirale und Nadel: Nadel	97,3	2,2	<0,1	0,5

Tab. 9: Silberlegierungen der beiden Fibeln aus Sinsheim-Dühren (Angaben in Gew.-%, Mittelwerte der Messungen).

Alle Zierelemente an Fibel 1 bestehen aus einer einheitlich silberreichen Goldlegierung mit ca. 74 - 75 % Au, 18 - 20 % Ag und 5 - 6 % Cu.

Einzelne gezielte Metallanalysen an Verbindungsstellen der Fibel 1 zwischen den Granalien untereinander und zwischen den Granalien und den Perldrähten der Bügelklammer weisen auch in den Fugen eine einheitliche Goldlegierung auf (Tab. 10).

	Au	Ag	Cu
Granalie 1	74,9	19,8	5,4
Granalie 2	73,8	20,3	5,6
Verbindungsstelle	64,1	33,7	2,2
Granalie 2	73,8	20,3	5,6
Perldrahtring	74,3	19,4	6,3
Verbindungsstelle	65,7	30,6	3,7
Granalie 3	74,6	20,3	5,1
Perldrahtklammer	75,0	19,6	5,5
Verbindungsstelle	66,3	28,9	4,8

Tab. 10: Messungen an Verbindungsstellen der Bügelklammer von Fibel 1 aus Sinsheim-Dühren (Angaben in Gew.-%).

Da der gemessene Kupfergehalt in den Fugen entweder leicht absinkt oder in etwa gleich bleibt, während der Silbergehalt deutlich steigt, ist die alleinige Verwendung einer Kupferverbindung als Reaktionslot auszuschließen. Aufgrund der in Kapitel 4.4.5 geschilderten optischen Erscheinungen und praktischen Bedingungen zur Anfertigung einer Traubengranulation lassen sich jedoch sowohl das Schweißen als auch das Lötten mit metallischem Hartlot unter antiken Bedingungen ebenfalls ausschließen. Damit würde nur eine

¹⁰⁴ Eine Messung auf dem Bügel des Bügelfragments (siehe Tabelle FEM Schwäbisch Gmünd im Anhang) wurde hier wegen starker Korrosion und unmittelbarer Nachbarschaft zu den Filigrandrähten aus Gold nicht berücksichtigt.

Variante des Reaktionslötens infrage kommen, bei der metallisches Material - in diesem Fall Silber - brückenbildend hinzugefügt worden wäre. Die auffallende Einheitlichkeit der Messungen an den Verbindungsstellen sowie die Beobachtung, dass vor allem die oberste Granalie nur punktuelle Verbindungen zu den unteren Granalien aufweist, würde die Interpretation der Anwendung des Reaktionslötens unterstützen. Der absinkende Kupfergehalt könnte dabei möglicherweise aus einem weitgehenden Eindiffundieren des Kupfers resultieren.

Erstaunlich ist auch die Verwendung unterschiedlicher Legierungen für die Granalien an der Spirale und der Perldrahtsehne von Fibel 2. Für die optisch bereits wie Silber wirkende Granalie auf der Mitte der Perldrahtsehne wurde tatsächlich eine hochwertige Silberlegierung mit 95,7 % Ag gemessen. Die anderen Granalien weisen unterschiedliche Goldlegierungen auf. Die beiden seitlichen Granalien auf der Perldrahtsehne bestehen aus einer Goldlegierung mit ca. 83 % Au, 13 % Ag und 4 % Cu, während die Granalie auf der alten Spirale 73,4 % Au, 20,9 % Ag und 5,6 % Cu aufweist. Die Perldrahtsehne selbst zeigte seitlich dieselbe Goldlegierung wie die der Granalien an, während an einer Stelle neben der Silbergranalie ein höherer Silbergehalt gemessen wurde. Dieser Unterschied lässt sich vermutlich auf Diffusionsvorgänge durch die thermische Verbindung zurückführen. An den seitlichen Goldgranalien wurde auch an optisch silbern wirkenden Stellen dieselbe Goldlegierung gemessen wie an den goldenen Stellen. Eine Vergoldung erscheint damit unwahrscheinlich. Zwei Verbindungsstellen zwischen Granalien und Perldrahtsehne wurden analysiert (Tab. 11).

	Au	Ag	Cu
Goldgranalie auf Perldrahtsehne seitlich	82,5	12,5	5,0
Perldrahtsehne seitlich	82,1	13,2	4,7
Verbindungsstelle	72,9	23,7	3,1
Silbergranalie auf Perldrahtsehne Mitte	1,6	95,7	2,7
Perldrahtsehne Mitte	74,1	21,2	4,7
Verbindungsstelle	9,2	88,4	2,5

Tab. 11: Messungen an Verbindungsstellen der neuen Perldrahtsehne von Fibel 2 aus Sinsheim-Dühren (Angaben in Gew.-%).

Die Fuge zwischen der Goldgranalie und der Perldrahtsehne seitlich war gut fokussierbar. Die Legierung der Nahtstelle besteht auch hier wieder aus einer Goldlegierung mit höherem Silbergehalt als an Granalie und Perldrahtsehne und weist wie an Fibel 1 einen abgesunkenen Kupfergehalt auf.

Die Fuge zwischen der Silbergranalie und dem Perldraht war dagegen schwer zu messen und zeigt lediglich einen Mischwert aus den Silber- und Goldlegierungen an, wobei die Verhältnisse kein zugefügtes Material erkennen lassen. Das optische Erscheinungsbild verweist auf ein Anschmelzen der Granalie im unteren Bereich, was durchaus auch beim Reaktionslöten entstanden sein könnte.

Die an beiden Fibeln sichtbaren optischen Merkmale sowie die in Kapitel 4.4.5 geschilderten Voraussetzungen zur Verbindung von Granalien miteinander lassen sich nicht mit den Messwerten in Einklang bringen, die aufgrund des abgesunkenen Kupfergehaltes ein Reaktionslöten ausschließen würden. Zusammen mit den optischen und praktischen Bedingungen sprechen die Messergebnisse allerdings auch gegen die Anwendung des Hartlötens mit metallischem Lot oder des Schweißens mit zugefügtem Schweißgut. Die in allen Fällen festzustellenden Differenzen zwischen der Liquidustemperatur der Legierung mit ca. 980 bis 1000 °C in den Nahtstellen und der Solidustemperatur der Legierung der Granalien und Perldrähte mit ca. 970 bis 980 °C können weder auf eine Lot- noch eine Schweißgut-legierung zurückgeführt werden. Die jeweils an den Nahtstellen gemessene Goldlegierung würde erst bei höheren Temperaturen zu schmelzen beginnen als die der Verbundteile. Da die Legierungen der "Hälse" gut messbar sind, kann ein zu großer Messbereich mit einem "Mischwert" aus Lot und Verbundlegierungen als Begründung ausgeschlossen werden.

Hypothetisch vorstellbar ist ein Ablauf, bei dem zunächst die Granalien mit Hilfe eines adhäsiven organischen Binde- und Flussmittels, vermischt mit der als Reaktionslot dienenden Kupferverbindung und hinzugefügtem Silberstaub, drapiert wurden. Die so bestückten Elemente, wie die Bügelklammer von Fibel 1 und die Perldrahtsehne von Fibel 2, wurden nachfolgend entweder in einem Vorgang oder in mehreren Schritten bis zur Reaktionstemperatur des Lotes erhitzt. Das aus dem Reaktionslot gebildete Kupfer könnte dabei aufgrund starker Erhitzung weitgehend in die Matrix eindiffundiert und so den Oberflächenanalysen "entzogen" worden sein. Letztlich kann diese Interpretation nur einen modellhaften Charakter besitzen, die Grenzen der Aussagekraft von Oberflächenanalysen werden hier besonders deutlich.

An dem Bügelfragment wurden keine Analysen an Lotfugen durchgeführt, da die Verbindungsstellen zu klein erschienen und dadurch lediglich Mischwerte gemessen worden wären. Das Fehlen einer Granalie würde jedoch auch an diesem auf die Verwendung eines Reaktionslotes hinweisen (siehe Kap. 4.4.5). Die noch vorhandenen Granalien und die anderen Zierelemente zeigen wieder eine Verwendung unterschiedlicher Legierungen an (Tab. 12).

	Au	Ag	Cu
Drahtspirale der Bügelklammer	83,7	12,8	3,5
Perldrahtring neben Bügelklammer	79,1	16,9	4,1
Filigrandraht auf Bügel	78,8	16,9	4,3
Gralie auf Perldrahtfuß	81,3	14,6	4,1
Silbergranalie 1 auf Perldrahtfuß	20,6	77,5	1,9
Silbergranalie 2 auf Perldrahtfuß	1,0	96,6	2,4

Tab. 12: Gold- und Silberlegierungen am Bügelfragment von Fibel 2 aus Sinsheim-Dühren (Angaben in Gew.-%).

Die zwei in der Nähe der Bügelklammer sitzenden Granalien bestehen aus sich deutlich unterscheidenden Silberlegierungen mit einem Gehalt von 77,5 bzw. 96,6 % Ag, wobei die Granalie mit niedrigem Silbergehalt allerdings einen hohen Goldgehalt mit 20,6 % aufweist. Die anderen Zierelemente wurden dagegen aus relativ gleichartigen Goldlegierungen hergestellt, welche den Legierungen der Goldgranalien auf der Perldrahtsehne und ihr selbst entsprechen. Alle goldenen Zierelemente der Fragmente von Fibel 2 weisen also eine andere Legierungszusammensetzung als die der Elemente an Fibel 1 auf.

Zumindest die vollständig erhaltene Fibel 1 führt J. Wolters (1986, 13) in seinem umfassenden Werk zur Geschichte und Technik der Granulation als Beispiel für "vergoldete Granalien auf Silberrezipient" auf. Er greift damit auf alle Beschreibungen in der älteren Literatur zurück. Die Zierelemente wurden bislang immer als vergoldet bezeichnet. Die goldenen Granalien sind jedoch nicht auf einem Silberrezipienten aufgelötet worden, sondern auf einem ebenfalls goldenen Perldraht, welcher mechanisch als Bügelklammer mit dem silbernen Bügel verbunden ist.

Fibel 1 weist eine lückenlose Goldoberfläche ihrer Zierelemente auf, an Fibel 2 erscheint die Oberfläche der Granalien, Perldrahtverzierungen und Filigrandrähte tatsächlich nicht durchgehend golden. Die einheitlichen Gruppierungen von Goldlegierungen, die deutliche Differenzen zwischen den Zierelementen und ihren Verbindungsstellen zeigen, deuten jedoch auf Granalien und Drähte aus massivem Gold. Der durch die Oberfläche der Granalien bedingt unterschiedliche Eintreffwinkel des Röntgenstrahls hätte bei Vorliegen einer dünnen Goldschicht voneinander abweichende Goldanteile ergeben müssen.

Eine Vergoldung ist auch deshalb auszuschließen, da, wie neueren Untersuchungen (Hammer 1998b, 189; Anheuser 1999, 8) zu entnehmen ist, eine in diesem Fall zur Diskussion stehende Diffusionsvergoldung nur auf glatten und nicht auf reliefierten Oberflächen, wie dies bei den Perldrähten der Fall ist, durchführbar wäre (siehe Kap. 4.4.6). Quecksilber als Hinweis auf eine Feuervergoldung wurde erwartungsgemäß in keiner der Goldlegierungen gefunden. Nicht zuletzt erscheint eine Vergoldung der einzelnen kleinen Zierelemente als unpraktikabel und überflüssig. Angesichts der Größe der Zierelemente bedeutet eine Vergoldung von Silber wenig Materialersparnis bei gleichzeitig großem Aufwand, welchen eine Vergoldung mit sich führen würde. Alle Argumente zusammen genommen sprechen im Fall der beiden Fibeln aus Sinsheim-Dühren für Silberfibeln mit massiv goldenen und silbernen Zierelementen unterschiedlicher Legierungen. Die makroskopisch feststellbaren unterschiedlichen Färbungen einzelner Zierelemente lassen sich dabei vermutlich auf Korrosions- oder auf Diffusionsprozesse während der thermischen Verbindung zurückführen.

Die Kupfergehalte mit über 3,5 % in den Goldlegierungen lassen auf eine absichtliche Zugabe des Kupfers schließen. Die Verwendung silberreicher Goldlegierungen mit 74 bis 77 % Au im Raum zwischen der Schweiz und Böhmen wurde vor allem an Schmuckstücken der späten Frühlatènezeit festgestellt, während der Goldgehalt im Laufe der Mittellatènezeit tendenziell auf 90 % Au und mehr ansteigt (Waldhauser 1998, 103 Tab. 11). Der Umkehrschluss, mit den

gemessenen Goldlegierungen auf eine ältere Herstellung der Dührener Fibeln rückzuschließen, ist jedoch anhand der wenigen Analysen nicht zulässig. Die Goldlegierungen der Fingerringe aus demselben Grab wären mit 78,0 % Au, 18,0 % Ag und 3,5 % Cu sowie 64,6 % Au, 28,0 % Ag und 7,4 % Cu ebenfalls niedriger als die ansonsten für die Stufe LT C festgestellten Legierungen.

Nun stellt sich hier jedoch die Frage nach dem Herstellungsort der Fibeln.

Die vollständig erhaltene Fibel 1 ist eine klassische Fibel vom Mittellatèneschema. Für den Perldrahtfuß, die Fußscheibe aus Perldrähten und die Bügelklammer mit Granulation gibt es allerdings keine Parallelen im süddeutschen Raum. Eine Herstellung der Dührener Silberfibeln sowohl im Zentralbalkan als auch in Oberitalien scheint denkbar, da beide Regionen ab dem 3. Jh. v. Chr. durch keltische Ansiedelungen geprägt sind und Silber als Edelmetall für die Schmuckherstellung überwiegt. Die gemeinsame Nutzung von Gold und Silber - hauptsächlich über Diffusionsvergoldungen oder über die Verwendung von Golddrähten an Silberschmuck - ist vor allem von etruskischen Fundstücken bekannt (Formigli 1983, 327). Die perfekte Beherrschung der Granulation und der Perldrahtherstellung zeichnet etruskische Goldfunde ebenfalls aus (Cristofani u. Martelli 1983; Carducci 1962). Vereinzelt wurde auch Silber für Granulationsarbeiten genutzt (Formigli 1983, 328). Aber auch der griechische, hellenistische und illyrische Schmuck weist auf eine große Handfertigkeit in der Ausführung dieser Ziertechniken (z. B. Williams u. Ogden 1994, 26 ff.; Kat. Silber Illyrer 2004, 55; 104 f. Nr. 134 ff.). Auf dem Balkan und im Karpatenraum finden sich diese Elemente zudem auch in Verbindung mit dem Material Silber, wie etwa an einem wohl aus Nordwestgriechenland stammenden Armring der zweiten Hälfte des 4. Jhs. v. Chr. (Williams u. Ogden 1994, 73) oder an einem mittellatènezeitlichen Armreif aus Donji Grad bei Budapest (Szabó 1975, 151; Taf. VI,1-2). Das Reaktionslöten wird für die griechischen Arbeiten angenommen, nachgewiesen ist die Technik aber vor allem für die etruskische Granulation. Varianten und mögliche Oberflächenanreicherungen sind an diesen Funden ebenfalls festzustellen (Formigli 1983, 323; siehe Kap. 4.3.2.2; 4.3.4; 4.4.5)¹⁰⁵.

Die bei W. Krämer (1971, 130) erwähnte 4 cm lange Goldfibel vom Mittellatèneschema aus Armavir in Südrussland weist in Traubengranulation angeordnete aufgelötete Granalien sowohl auf dem Bügel als auch an den Spiralenden auf (Ambroz 1966, Taf. 10,1) und stellt damit den bisher besten Vergleich zur Fibel 1 aus Dühren dar. Weitere vergleichbare Fibeln, für welche sich W. Krämer die Dührener Fibel 1 als Vorbild vorstellt, sind Fibeln vom Spätlatèneschema, Varianten des Typs Almgren 65, aus dem Gräberfeld von Ornavasso "San Bernardo" in Oberitalien. Diese drei Fibeln aus Silber weisen - der Beschreibung und den Zeichnungen nach zu urteilen - ebenfalls eine Traubengranulation als Bügelverzierung auf (Graue 1974, 53 f.; Taf. 16,11.14; 21,6).

¹⁰⁵ Leider liegen bislang zu wenig metallanalytische Untersuchungen an Verbindungsstellen vor, als dass man weitergehende Rückschlüsse zu den im Mittelmeerraum ausgeübten Fügeverfahren ziehen könnte.

Bereits auf den älteren Certosa-Fibeln aus Gold sind vereinzelt Granulation und Perldraht als Verzierungs-elemente anzutreffen. Als Beispiel sei hier eine Fibel eines Fibelpaares aus Bologna mit unterschiedlich großen Granalien auf Bügel und Fuß angeführt (siehe Foto bei Carducci 1962, Taf. 16b).

Die rechteckige Form des Nadelhalters, wie an der Dührener Fibel 1, tritt an mittellatènezeitlichen Fibeln vor allem südlich der Alpen in Tessiner Gräbern auf (Polenz 1982, 111; Stöckli 1975, 38 Abb. 35,28; 39 Abb. 36,1).

Eine Spiralachse, wie an Fibel 2 aus Dühren, wurde teilweise an etwa 4 cm großen Bronzefibeln der Stufe LT C2 im Schweizer Mittelland verwendet, um die lange Armbrustspirale mit über 12 Windungen zu verstärken (Suter 1984, 84). Spiralachsen wurden vor allem an Fibeln mit langen Spiralen notwendig, um diese zu stabilisieren. So sind auch für Varianten der spätlatènezeitlichen Fibeln vom Typ Ornavasso, welche nach dem Mittellatèneschema konstruiert sind, Spiralachsen charakteristisch. Diese treten in der Stufe LT D gehäuft in Gräbern Oberitaliens und des Tessins auf (Pernet u. a. 2006, 102 f.). Genau dort ist die Verwendung von Silber zur Herstellung von Fibeln bereits ab der Mittellatènezeit äußerst beliebt und lässt eine lokale Produktion vermuten. Die Spirale und die Nadel der Fibeln vom Typ Ornavasso mit Spiralachsen wurden entweder aus der Verlängerung des Bügels gewickelt und geformt und nur zur Verstärkung mit einer Spiralachse versehen, oder sie wurden in zweigliedriger Konstruktion separat hergestellt und über eine Lochung am Bügel und eine Spiralachse mit dem Bügel verbunden (ebd. 103 Abb. 4.4). Weder an den mittellatènezeitlichen Fibeln mit Armbrustspirale noch an den spätlatènezeitlichen Fibeln vom Typ Ornavasso wurde die Nadel gesondert hergestellt. Diese Tatsache unterstreicht einmal mehr die Reparatur an der Fibel 2 aus Sinsheim-Dühren.

Für die originale Spirale der zweiten Dührener Fibel mit lediglich 6 Windungen war erst nach dem Abbrechen der Nadel eine Spiralachse notwendig, es ist jedoch durchaus wahrscheinlich, dass sie von einem Handwerker repariert wurde, welcher bereits mit der Verwendung von Spiralachsen Erfahrungen besaß. Das Bruchstück einer weiteren zum Grabinventar gehörigen Mittellatène-fibel aus Bronze mit einer ehemals wohl 16-schleifigen Spiralkonstruktion und einer eisernen Achse (Schumacher 1911, Taf. 15,251; Polenz 1982, 61 Abb. 4,6), könnte in diese Richtung weisen¹⁰⁶.

Bei der Suche nach Parallelen sollte man sich jedoch nicht allein auf Fibeln beschränken, da bei solch singulären Schmuckstücken technisch vergleichbare Funde anderer Fundgattungen in gleicher Weise von Bedeutung sein können.

Auch unter anderen Schmuckformen lassen sich hinsichtlich technischer Details Parallelen im Schweizer Mittelland aufführen, wie etwa das vereinzelte Auftreten der Verzierungs-elemente

¹⁰⁶ In diesem Zusammenhang erscheint die Tatsache bemerkenswert, dass auch in der Eisenfibelproduktion ab der Stufe LT C2, nicht nur im Schweizer Mittelland (Suter 1984, 84) und den Südalpen (Pernet u. a. 2006, 101), sondern auch in Süddeutschland eingliedrige Fibeln vom Mittellatèneschema mit langen Spiralen durch eine Spiralachse unterstützt und Reparaturen selbst kleiner Spiralen ebenfalls durch eine nachträglich eingezogene Achse vorgenommen wurden (Gebhard 1991b, 49).

Perldraht und Granulation an Goldfingerringen aus mittellatènezeitlichen Gräbern. Diese sind allerdings auch dort zu selten, als dass man sie eindeutig einer lokalen Produktion zuordnen könnte (siehe Kap. 5.1.1.4; Kat. 23,3; 38). Vielmehr ist die Nutzung der Techniken auch an diesen Fingerringen ohne Beziehungen zum Mittelmeerraum kaum vorstellbar.

Andere erwähnenswerte Funde, die technische Parallelen aufzeigen, stammen dagegen bereits aus frühlatènezeitlichen Gräbern, wie etwa aus Mannersdorf in Niederösterreich (Bühler u. a. 2008, 110 ff.). Ein in die Stufe LT B1 datierter Goldarmring mit Perldrähten und einzelnen größeren Granalien weist eine mit der Dührener Fibel 2 vergleichbare Goldlegierung auf. Auch an diesem wurden die Lötverbindungen mit Reaktionslot durchgeführt, mit Analysen konnten jedoch eindeutig erhöhte Kupfergehalte nachgewiesen werden (siehe Kap. 4.3.4).

Bezogen auf das Material Silber sind wiederum besonders norditalische Vergleichsstücke zu nennen. So finden sich beispielsweise einzelne auf Draht aufgelötete Silbergranalien an zwei aus glatten und tordierten Drähten aufgebauten Silberfingerringen aus einem Grab von Este, welches in das 3. Jh. v. Chr. datiert wird (Chieco Bianchi 1987, 204 Nr. 47 - 48 mit Abb. 22).

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang ein Zierelement an einer etruskischen Goldkette des 4. - 3. Jhs. v. Chr. aus Vulci (Cristofani u. Martelli 1983, 316, Nr. 266), welches verblüffende Ähnlichkeiten zu der Bügelklammer von Fibel 2 aus Sinsheim-Dühren zeigt (vgl. oben Abb. 38 links). Auch hier ist eine umlaufende Drahtspirale von zwei perlenförmig wirkenden Ringchen eingerahmt. Statt Perldrähten, wie im Falle des Dührener Bügelfragments, wurden hier jedoch - dem Erscheinungsbild nach zu urteilen - einzelne Granalien ringförmig an die Drahtspirale angelötet (siehe Foto bei Cristofani u. Martelli 1983, 238)¹⁰⁷.

Ob an den Dührener Fibeln auf Bekanntes aus der etruskischen Goldschmiedekunst zurückgegriffen wurde, kann freilich nicht ohne detaillierte Untersuchungen an weiterem Vergleichsmaterial festgestellt werden. Eine Herstellung im keltisch-etruskischen Kontaktbereich des Südalpenraums oder Nord-/Oberitaliens scheint jedoch genauso möglich wie im hellenistisch-illyrischen Balkanraum¹⁰⁸.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist nun vor allem die Frage nach einer zusammengehörigen Herstellung der Fibeln von Interesse. Wurden die beiden Fibeln als ungleiches Paar hergestellt oder wurde die zweite Fibel, welche ursprünglich in gleicher Weise als klassische Fibel vom Mittellatèneschema konstruiert war, nach dem Vorbild der ersten hergestellt oder umgekehrt?

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse sprechen für folgenden Ablauf:

Mit den beiden Silberfibeln aus Sinsheim-Dühren liegt ein ungleiches Paar vor. Der Perldrahtfuß, welcher bei beiden Fibeln schon zur Grundform gehört haben muss, könnte auf

¹⁰⁷ Von Granalien eingerahmte umlaufende Drahtspiralen finden sich schon an zwei Hohlperlen einer älteren etruskischen Goldkette Ende des 6. Jhs. v. Chr. (Platz-Horster 2001, 38).

¹⁰⁸ Die ausführlichere Suche nach direkten Vergleichsstücken soll jedoch anderen Arbeiten überlassen bleiben. Die Ergebnisse einer Bearbeitung des Fundmaterials aus dem Grab von Sinsheim-Dühren sowohl durch F. Fischer (Bonn) als auch im Rahmen einer in Arbeit befindlichen Dissertation von J. Spohn (Tübingen) bleiben abzuwarten.

eine bereits ursprüngliche Paarherstellung deuten. Aufgrund der optisch unterschiedlichen Ausführungen der Perldrahtfüße wurden die beiden Fibeln jedoch vermutlich bereits in ihrer ursprünglichen Form nicht von ein- und demselben Handwerker hergestellt. Die "Perlen" des Perldrahtfußes an Fibel 1 weisen einen größeren Abstand als diejenigen am Bügelfragment von Fibel 2 auf (Abb. 39). Dies deutet zumindest auf die Verwendung eines anderen Werkzeuges hin.

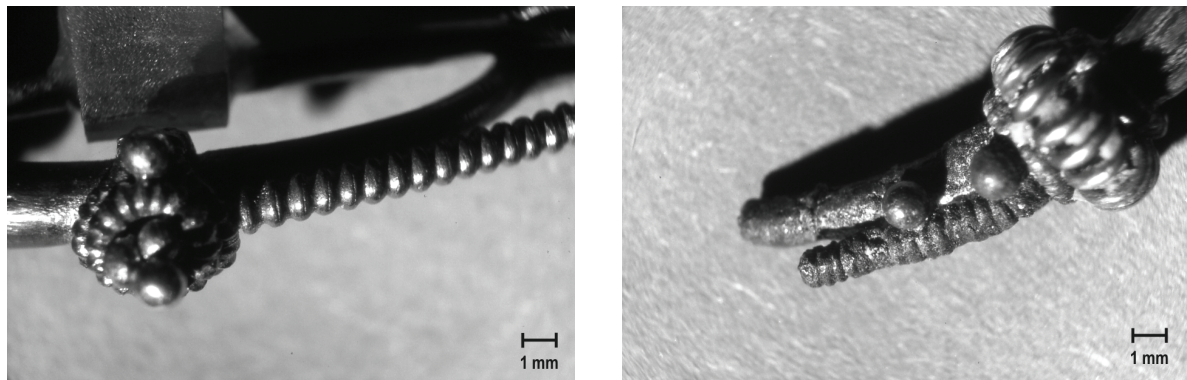


Abb. 39: Unterschiedliche Ausformungen der Perldrahtfüße von Fibel 1 (links) und Fibel 2 (rechts) aus Sinsheim-Dühren.

Vermutlich wurde Fibel 2 erst im Zuge der notwendig gewordenen Reparatur mit den weiteren Zierelementen versehen, die sie optisch an Fibel 1 angleichen sollten. Sichere Reparaturbestandteile sind lediglich die Nadel sowie die Perldrahtsehne und damit auch die drei Granalien auf der Sehne, wobei die Nadel aus der originalen Nadel umgearbeitet zu sein scheint. Auch wenn die Fibel 2 nach der Reparatur keine Spannung mehr hatte, reichte die optische Retuschierung aus, um eine Funktion als eine Art "Schmucknadel" zu gewährleisten. Die Verbindungstechnik der goldenen Granalien ist zwar bei beiden Fibeln dieselbe, die Verbindung mehrerer Granalien untereinander zur Herstellung der Traubengranulation an Fibel 1 ist jedoch deutlich aufwändiger und schwieriger als das Aufbringen der einzelnen Granalien an Fibel 2.

Beide Fibeln weisen für Süddeutschland fremde Form- und Verzierungselemente auf. Der Perldraht und die Granalien an allen Stücken, aber auch die Drahtspiralen-Form der Bügelklammer an Fibel 2 sprechen sowohl für die originale Herstellung als auch für die Reparatur durch fremde Handwerker. Wie diese herausragenden Stücke jedoch in den süddeutschen Raum gelangten, bleibt naturgemäß im spekulativen Bereich.

Von besonderem Interesse sind die kleinen Unterschiede in den Fügetechniken der Zierelemente aus Gold und Silber, wie sie bei den Dührener Fibeln nebeneinander zu beobachten sind. In beiden Fällen wurde wahrscheinlich das Reaktionslöten angewandt. Während die Goldgranalien offensichtlich mit zugefügtem Silbermaterial aufgelötet wurden, scheinen die Silbergranalien dagegen ohne zusätzliches Material gefügt worden zu sein. Darüber hinaus sind die Übergangsbereiche der aus Silber bestehenden Granalien zum

Rezipienten deutlich weniger fein als die der Goldgranalien. Diese Beobachtung steht im Einklang mit einer Bemerkung von D. Williams u. J. Ogden (1994, 28) zu griechischen Granulationsarbeiten, dass die Feinheit der Goldgranulation nie an Silberschmuck beobachtet werden konnte.

Eine unterschiedliche Handhabung der Granalien aus Gold und Silber hängt sicher mit den unterschiedlichen Schmelzbereichen der Gold- und Silberlegierungen zusammen, liegt an der Dührener Fibel 2 doch zudem der besondere Fall vor, dass Silber auf Gold aufgebracht wurde. Dennoch scheint sich aber weiterhin abzuzeichnen, dass gerade Silber in vorrömischer Zeit nur selten über Lötverbindungen gefügt wurde, eine Tatsache, die wohl technisch bedingte Ursachen haben dürfte, da Lötungen an Silberlegierungen mit größeren Schwierigkeiten verbunden sind als dies bei Gold der Fall ist (siehe Kap. 4.4.5). Im Falle der Dührener Fibeln handelt es sich zudem um ortsfremde Objekte.

5.3.1.3 Fibeln vom Spätlatèneschema

Auch die untersuchten spätlatènezeitlichen Fibeln stellen exzeptionelle Stücke dar, die sorgfältig verarbeitet wurden. Exemplarisch für die Verarbeitung von Silber innerhalb der spätlatènezeitlichen Fibelproduktion werden das Fibelpaar aus dem Depotfund von Lauterach (Kat. 18,3.4; Taf. 42 - 44), eine Schüsselfibel und eine Bügelknotenfibel aus Manching (Kat. 19,1.2; Taf. 46 - 49) sowie eine weitere Schüsselfibel aus Sutz-Lattrigen (Kat. 42; Taf. 157) vorgestellt. Die fünf Exemplare sind Fibeln vom Spätlatèneschema mit vierschleifiger Spirale und unterer Sehne.

5.3.1.3.1 Lauteracher Fibeln

Zu den Fibelformen, für deren Herstellung in der Spätlatènezeit vereinzelt auch das Material Silber verwendet wurde, zählen die Nauheimer Fibeln (Striwe 1996, 72 f.) und ihnen nahestehende Varianten, wie die Fibeln vom Typ Lauterach.

Die beiden eponymen Fibeln (Kat. 18,3.4; Taf. 42 - 44) stammen aus dem bereits mehrfach erwähnten Depotfund von Lauterach bei Bregenz, dessen Datierung und Interpretation lange Zeit kontrovers diskutiert wurde. Alle Argumente sprechen mittlerweile für eine Niederlegung um die Jahrhundertwende bzw. in den ersten Jahrzehnten des letzten vorchristlichen Jahrhunderts. Keines der Schmuckobjekte weist durch den Gebrauch entstandene Abnutzungsspuren auf, wie besonders die nicht abgerundeten Kanten der Verzierungen an den Fibeln zeigen. Infolgedessen kann man mit einer Herstellung direkt oder nicht lange vor ihrer Deponierung ausgehen¹⁰⁹.

¹⁰⁹ Nach den jüngsten fast prägefrischen Denaren aus der römischen Republik um 117/116 v. Chr. datiert die Niederlegung des Lauteracher Depots frühestens ab dem letzten Jahrzehnt des 2. Jhs. v. Chr. (Dembski 1992, 175; Nick 2006, 47). Da alle Schmuckstücke aus Silber ohne Abnutzungsspuren erscheinen, könnte der Zeitpunkt der Niederlegung mit dem der Herstellung des Schmucks einhergehen. Unter den Schmuckstücken können allein die

Einzelne sichtbare Kupferkorrosionsprodukte könnten auf eine jeweils verwendete Silberlegierung mit mindestens 4 % Cu hinweisen (siehe Kap. 3.2), die insgesamt kaum korrodierten, lediglich schwarz angelaufenen Oberflächen lassen hochwertige Legierungen annehmen.

Eine sichtbar nicht geglättete, raue bis blasige Oberfläche auf der Innenseite der jeweiligen Nadelrast (Taf. 43,3) sowie die Formgebung der Nadelhalter legen nahe, dass die Grundform der beiden Fibeln inklusive Fuß bereits im Guss angelegt worden ist. Auch ein kleiner gratartiger "Wulst" in einer Vertiefung des Zickzackmusters der Nadelrast von Fibel 1 (Taf. 43,5) kann nicht über das Punzieren in Metall entstanden sein, sondern verweist auf die Ausformung und das Anbringen dieser Verzierungen in Wachs. Facettenförmige Schlagspuren sowie Streckspuren und Falten (Taf. 44,4) sind auf ein Rundschmieden des Bügels zurückzuführen. Dies bedeutet, dass der jeweilige Gussrohling in ganzen Bereichen deutlich nachgeschmiedet wurde. So sind auch die Schlagspuren am Fuß von Fibel 1 (Taf. 42,3) auf ein anschließendes Überarbeiten zurückzuführen. Vor dem Ausschmieden des Drahtbereichs für die Spirale und die Nadel wurde die "stützbalkenartige" Kopfplatte (Krämer 1971, 111; Demetz 1999, 80), welche die Spiralkonstruktion stabilisiert, nachbearbeitet. Während dieses Vorgangs wurden wohl auch die Profilierungen ("Randleisten") der Bügeloberseite nachzisiert (Taf. 43,1).

Damit wäre die Herstellung der Lauteracher Fibeln nicht direkt mit dem von A. Furger-Gunti (1977) für die klassischen Nauheimer Fibeln modellhaft rekonstruierten und von K. Striwe (1996, 18 ff.) modifizierten Ablauf vergleichbar. Den jüngeren Untersuchungen von K. Striwe zufolge wurde für deren Anfertigung ein drahtförmiges Vorprodukt - nicht Blech, wie noch

Fibeln einen Beitrag zu einer Datierung liefern, der Fingerring, der Armring und das Kettchen lassen sich chronologisch nicht näher einordnen (Krämer 1971, 114 ff.; Rieckhoff-Pauli 1981, 15). Nach S. Demetz (1999, 88) wurden die Fibeln vom Typ Lauterach hauptsächlich im zweiten Viertel des 1. Jhs. v. Chr. sicher aber erst nach 100 v. Chr. getragen. Damit bliebe es bei der von S. Rieckhoff-Pauli (1981, 16) vorgeschlagenen Niederlegung in der ersten Hälfte des 1. Jhs. v. Chr. Eine Einordnung vor oder um 100 v. Chr., wie sie von G. Dembski (1992, 176), G. Grabher (2002, 565) und jüngst erst von M. Nick (2006, 47; 232) vertreten wurde, würde implizieren, dass die Fibeln als Vorläufer für die Herstellung der Exemplare aus Buntmetall und Eisen, wie etwa aus Manching oder Basel (Rieckhoff-Pauli 1981, 16; Demetz 1999, 242), anzusehen wären. Solange man keine genaueren Erkenntnisse darüber gewinnt, was "fast prägefrisch" bedeutet, d. h. wie lange die Schlussmünzen tatsächlich in Umlauf waren, wird man auch keine neueren Anhaltspunkte für den Niederlegungszeitpunkt des Depots gewinnen. Alle Argumente zusammen genommen legen eine Deponierung im ersten Viertel des 1. Jhs. v. Chr. nahe.

Die Beobachtung, dass die Schmuckstücke vermutlich "werkstattfrisch" in den Boden kamen, spricht meines Erachtens einmal mehr für die mehrfach vertretene Interpretation, dass es sich bei dem Lauteracher Depotfund um eine Votivgabe, etwa im Sinne eines "Mooropfers" (Rieckhoff-Pauli 1981, 16 ff.) oder eines "Wegeopfers" (Kurz 1995, 113 ff.), handeln könnte. Eine ebenfalls diskutierte Interpretation als Versteckfund aus Angst vor Übergriffen (ebd. 118 f.) scheint angesichts der Lage im Moor, aber auch, wenn es sich - den ersten Überlegungen zum Fundort von S. Jenny 1881 folgend - um einen frequentierten Verkehrsweg handeln würde (Krämer 1971, 112; Grabher 2002, 565), wohl kaum sinnvoll. Weder in dem einen noch in dem anderen Fall hätte sich das versteckte Gut so einfach wieder bergen lassen. Eine Niederlegung im Rahmen einer religiös motivierten Handlung scheint im Falle des Lauteracher Depotfundes überzeugender. Der Votivcharakter würde eine Deponierung mit Wertmessern derselben Zeit nahe legen, etwa in Form von Münzen (zur Deponierung von Münzen siehe z. B. Kurz 1995, 118 ff.). Sowohl die jüngsten römischen Denare als auch die Einordnung der keltischen Münzen (Polenz 1982, 153 ff.; Nick 2006, 47) scheinen dabei nicht gegen eine Deponierung in den ersten Jahrzehnten des 1. Jhs. v. Chr. zu sprechen.

von A. Furger-Gunti (1977, 75; 83) angenommen - ausgeschmiedet, wobei Meißelspuren auf das Ausmeißeln des rahmenförmigen Fußes verweisen würden (Striwe 1996, 20). Demgegenüber wurde der rahmenförmige Fuß der beiden untersuchten Lauteracher Fibeln bereits durch den Gussrohling vorgegeben und nicht durch ein Ausmeißeln durchbrochen¹¹⁰.

W. Krämer (1971, 115 ff.; 129) und H. Polenz (1982, 152 f.) plädieren für eine Anfertigung der Lauteracher Schmuckstücke im italischen Raum. Nicht nur der bereits beschriebene Armring (siehe Kap. 5.2.3), sondern auch das die beiden Fibeln verbindende Kettchen (siehe Kap. 5.4.2.1) weisen sowohl hinsichtlich ihrer Form als auch in Bezug auf die Verwendung des Materials Silber spätlatènezeitliche Parallelen im Südalpenraum und Oberitalien auf. Die Vertreter der Fibeln vom Typ Lauterach stammen dagegen vorwiegend aus spätlatènezeitlichen Siedlungen des nördlichen und westlichen Alpenvorlandes, vereinzelte Exemplare sind jedoch auch aus dem Schweizer Mittelland und dem Südalpenraum bekannt (Rieckhoff-Pauli 1981, 16; Striwe 1996, 74 ff.; Demetz 1999, 242; Karte 23). Das Material Silber wurde offensichtlich nur in Ausnahmefällen verwendet. Dazu gehören die eponymen Fundstücke und ein Exemplar aus Bibracte (Guillaumet 1994, 27; Taf. 14,77). Eine Herstellung des Lauteracher Schmuckensembles in Oberitalien, wo die Armringform, aber auch die mit einem Kettchen verbundenen Fibelpaare aus Silber keine herausragende Ausnahme darstellen, bleibt vorstellbar. Hinsichtlich des Materials Silber und des Formtyps der Lauteracher Fibel scheint darüber hinaus auch eine Anfertigung im Schweizer Südalpenraum denkbar, singuläre Einzelanfertigungen nördlich der Alpen sind ebenfalls nicht auszuschließen.

Die angewandten Techniken waren an keine materialbedingt spezialisierten Kenntnisse gebunden. Die Formgebung war durchaus von jedem innerhalb der Buntmetallverarbeitung tätigen Feinschmied durchführbar, der sich mit der Herstellung von Fibeln auskannte. Eine Sonderanfertigung in Silber wäre damit an jedem Ort möglich gewesen, sofern die Form bekannt war und das Material zur Verfügung stand. Da Silber innerhalb der zeitgleichen Münzherstellung genutzt wurde und gleichzeitig das Rohmaterial auch über fremde Münzen vorhanden gewesen sein könnte, lässt sich allein anhand des verwendeten Materials keine Lokalisierung der Anfertigung der Schmuckobjekte vornehmen. Noch weniger lässt sich daraus ableiten, ob die Lauteracher Fibeln als Prototypen (Krämer 1971, 111; Polenz 1982, 153) der Exemplare aus Buntmetall und Eisen zu interpretieren sind.

¹¹⁰ Das von A. Furger-Gunti (1977, 78 ff.) postulierte Drahtziehen der Fibelnadeln konnte K. Striwe (1996, 21) aufgrund der Untersuchung anderer Exemplare nicht beobachten. Die an einigen Nadeln sichtbaren, parallel verlaufenden Längsriefen dürften wohl vielmehr auf Glättspuren zurückzuführen sein. Abgesehen davon, dass der Einsatz des Zieheisens zur Drahtherstellung nach derzeitigem Forschungsstand nicht vor dem Mittelalter nachgewiesen ist und die damit ursprünglich in Verbindung gebrachten Spuren auf Glättvorgänge oder sichtbare Schmiedegefüge zurückzuführen sind (siehe Kap. 4.2.3), scheint das Drahtziehen zur Herstellung einer Nadel aus einem Bügelfortsatz kaum praktikabel und zudem aufgrund unterschiedlicher Drahtstärkenbereiche nicht nachvollziehbar. Auch wenn dagegen das Glätten mit Locheisen oder ähnlichen Geräten (siehe Kap. 6.1) möglich gewesen wäre, deuten die an allen Nadeln der untersuchten latènezeitlichen Fibeln sichtbaren Spuren auf das Schmieden und Rundrollen der Drähte in den zylindrischen Bereichen sowie das abschließende Schmieden der konischen Nadelspitzen.

Eine Sonderanfertigung ist auch für die vereinzelt bekannten Nauheimer Fibeln aus Silber (Striwe 1996, 72 f.) anzunehmen, die sich in Form und Verzierung oft von den klassischen Buntmetall Exemplaren unterscheiden. Der Herstellungsablauf wird jedoch auch hier nicht von der Anfertigung aus unedlen Metallen abweichen.

5.3.1.3.2 Bügelknoten- und Schüsselfibeln

Zur grundlegenden Formgebung weiterer spätlatènezeitlicher Fibeln aus Silber wurde ebenfalls das Gussverfahren angewandt, wobei auch an diesen einzelne Bereiche nach- und ausgeschmiedet wurden.

Formal nahe mit den Lauteracher Fibeln verwandt ist eine zusammen mit einer Schüsselfibel in einer Siedlungsgrube niedergelegte Bügelknotenfibeln aus Manching (Kat. 19,2; Taf. 48,1.2).

Nach Ausweis einer streckenweise sichtbaren blasigen Gussoberfläche (Taf. 49,3.5) wurden der Bügel - möglicherweise inklusive Knoten - und der Nadelhalter bereits im Formguss angelegt. Am seitlichen Bereich des Bügels verweisen Schleifspuren auf die Nachbearbeitung der Gussoberfläche (Taf. 48,5). Auch die Profilierungen am Fuß und am Bügel (Taf. 48,4.6; 49,5.6), sowohl die "Randleisten" als auch der "Mittelgrat", wurden wohl bereits am Modell geformt. Die sichtbaren Längsriefen könnten dabei sowohl auf Schleifvorgänge als auch auf das Nachschmieden bzw. Nachziselieren dieser Bereiche hinweisen. Die Verzierungselemente wurden wahrscheinlich schon beim Guss angelegt, die schräge Wickelbandverzierung am oberen Abschluss der Nadelrast (Taf. 49,2) erscheint "wulstartig" und wie durch eine Formung von Wachs entstanden. Diese Beobachtungen lassen annehmen, dass die Grundform der Fibel im Wachs ausschmelzverfahren gegossen und nachbearbeitet wurde. Die Spiralkonstruktion und die Nadel wurden abschließend aus einem mitgegossenen Fortsatz der leicht verbreiterten Kopfplatte ausgeschmiedet.

Ob der profilierte Bügelknoten (Taf. 48,5.6) bereits in dieser Form mitgegossen wurde oder ob er nachträglich - durch einen Verbundguss - angebracht wurde, ließ sich allein mit einfachen optischen Mitteln nicht klären. Aber auch eine Röntgenaufnahme zeigte keine Materialstärkenunterschiede an¹¹¹. Da die Dichte des Silbers jedoch zu wenig Röntgenstrahlung durchlässt, ergibt sich daraus nur, dass der Bügel sowie auch der Bügelknoten aus massivem Material bestehen. Eine aufgeschobene Manschette wie an mittellatènezeitlichen Fibeln, etwa dem Exemplar aus Horgen (Taf. 30,2.3), ist allerdings auszuschließen. Da ferner keine eindeutig überfangenen Stellen erkennbar sind, ist eine Formung des gesamten Bügels mit Bügelknoten im Wachsmodeill die naheliegende Interpretation. Die abschließende sorgfältige Oberflächenbearbeitung hat jedoch die vorangegangenen Spuren überdeckt.

¹¹¹ Die Röntgendurchstrahlung wurde dankenswerterweise von S. Gußmann, Restaurierungswerkstatt der Archäologischen Staatssammlung München, durchgeführt.

Nach Ausweis des noch anhängenden Ringes (Taf. 48,4) war die Bügelknotenfibel wohl ursprünglich über eine Kette mit einer zweiten Fibel, vermutlich der in demselben Kontext deponierten Schüsselfibel, verbunden. Der kleine Ring wurde wie bei den Lauteracher Fibeln aus einem massiv geschmiedeten Draht hergestellt und ohne thermische Verbindung seiner Enden zusammengebogen.

Die sichtbaren Herstellungsspuren an der zusammen mit der Bügelknotenfibel deponierten Schüsselfibel (Kat. 19,1; Taf. 46,1.2) legen eine in der grundlegenden Formgebung vergleichbare Anfertigung nahe. Die vor allem an seitlichen Bereichen des Bügels und am Fuß zu beobachtende Gussoberfläche (Taf. 46,3.4; 47,1) zeigt das Gießen der Grundform an, vermutlich wiederum inklusive des Nadelhalters, wobei der Durchbruch wohl bereits beim Gießen ausgespart wurde. Auch die Profilierungen auf der Bügeloberseite wurden möglicherweise bereits im Wachsmodell angelegt, deutlich sichtbare Längsstrukturen (Taf. 47,2.3) könnten - wie an der Bügelknotenfibel - auf Schleifspuren, aber auch auf ein Nachschmieden bzw. Nachziselieren verweisen.

Charakteristisch für die große und weit verbreitete Gruppe der Schüsselfibeln ist ihre die Spirale verdeckende, verbreiterte "schüsselförmige" Kopfplatte. Die jeweilige Verbindung zwischen Schüsselkopf und Spiraldraht weist dabei unterschiedliche Konstruktionsvarianten auf. Für die Schüsselfibeln in den Alpenländern wurde in den meisten Fällen der Überfangguss zur Befestigung der Spirale am gegossenen Bügel postuliert, wobei der vorbereitete Draht vor dem Guss des Bügels in die Gussform gesteckt worden sein soll (Demetz 1999, 67). An Tiroler Schüsselfibeln konnte offensichtlich sowohl ein Anlöten als auch in wenigen Fällen ein "Einzapfen" des Spiraldrahtes beobachtet werden (Gleirscher 1987, 67; Demetz 1999, 70). In letzterem Fall lässt das sichtbare Austreten des Drahtendes auf der Oberseite der Kopfplatte erkennen, dass es sich um eine "eingezapfte" bzw. genietete Befestigung des Spiraldrahtes handeln muss (z. B. Gleirscher 1987, 68 Abb. 1,4.5). An diesen Fibeln muss also eine mechanische Verbindung vorliegen.

Ein in Manching gefundenes Halbfabrikat aus Buntmetall (Sievers u. a. 2000, 372 Abb. 9,2) zeigt, dass die Spiralkonstruktion aus einem mitgegossenen Fortsatz für die Spirale und die Nadel ausgeschmiedet werden sollte. Bei der Weiterverarbeitung wäre der Übergang zwischen dem Schüsselkopf und der Spirale in diesem Fall jedoch nicht im rechten Winkel aus der Unterseite der Kopfplatte ausgetreten, sondern in der Verlängerung des Schüsselkopfes.

Die Ansatzstelle an der Manchinger Schüsselfibel aus Silber (Taf. 47,4.5) zeichnet sich durch einen sorgfältigen und haltbaren Übergang zwischen der Spiralkonstruktion und dem Fibelkörper aus. Eine Löt- oder Schweißverbindung hätte sichtbare Spuren auf der Unterseite hinterlassen und eine mechanische Verbindung über das Einzapfen des Spiraldrahtes wäre auf der Oberseite der Kopfplatte bemerkbar, so dass diese Verfahren wohl auszuschließen sind. Eine auch an dieser Fibel durchgeführte Röntgendurchstrahlung konnte keine Hinweise auf die Verbindungsstelle liefern. Denkbar wären sowohl der Überfangguss als auch das Ausschmieden eines im rechten Winkel mitgegossenen Fortsatzes. Mangels genauerer Sicht

auf die durch die Sehne verdeckten Bereiche am Übergang vom Spiraldraht zur Kopfplatte, bleibt das tatsächlich angewandte Verfahren jedoch unklar.

Die beiden offensichtlich als Paar deponierten Fibeln zeigen keine Gebrauchsspuren und keine Kupferkorrosionsprodukte an der Oberfläche, so dass man von Legierungen mit einem hohen Silber- und einem niedrigen Kupfergehalt ausgehen kann¹¹².

Die sichtbaren Oberflächenspuren an weiteren aus Manching stammenden Fibelfragmenten aus Silber (Kat. 19,3.4) verweisen auf ähnliche Herstellungsvorgänge wie sie für die beiden komplett erhaltenen Fibeln festgestellt wurden. Drahtfalten belegen das Ausschmieden eines massiven Drahtes (Taf. 50,1.2) zur Herstellung der Nadel und die raue, blasige Oberfläche der Nadelrast (Taf. 50,3.4) könnte sich darauf zurückführen lassen, dass diese im Guss angelegt wurde.

Eine weitere untersuchte Schüsselfibel aus Silber stammt aus Sutz-Lattrigen im Schweizer Mittelland (Kat. 42; Taf. 157). Da die Oberfläche überschliffen, korrodiert und offensichtlich auch durch altrestauratorische Maßnahmen stark angegriffen erscheint, sind die technischen Hinweise nur bedingt auswertbar. Dennoch dürfte die Herstellung mit der Manchinger Schüsselfibel vergleichbar sein. Aufgrund der überprägten und angegriffenen Oberfläche lässt sich jedoch weder entscheiden, ob die Bügelverzierungen mitgegossen oder nach dem Guss ziseliert worden sind, noch ob Ansatzstellen am Nadelhalter (Taf. 157,3) und zwischen der Spiralkonstruktion und der Kopfplatte (Taf. 157,5.6) gelötet oder mitgegossen und nachgeschmiedet wurden¹¹³.

Das Material Silber wurde in der Spätlatènezeit mehrfach zur Herstellung von Schüsselfibeln verwendet. Den typochronologischen Untersuchungen von S. Demetz (1999, 66; 70 ff.) zufolge gehört das Manchinger Exemplar zu den älteren Vertretern, während die Fibel aus Sutz-Lattrigen tendenziell eher zu den jüngeren Schüsselfibeln gerechnet werden dürfte, möglicherweise bereits in augusteische Zeit.

Mit der Manchinger Fibel formal vergleichbare Schüsselfibeln (vgl. Demetz 1999, 236 f.) stammen sowohl aus Oberitalien und Böhmen, wie etwa mehrere Fibeln aus Silber und Gold vom Hradiště bei Stradonice (Krämer 1971, 122 mit Taf. 27,1), als auch aus spätlatènezeitlichen Siedlungen der Schweiz, wie eine Silberfibel vom Mont Terri im Kanton Jura (Foto in Arch. d. Schweiz 10, 1987-2, 101) sowie aus Bayern, wie beispielsweise ein aus "Weißmetall" bestehendes Exemplar aus Karlstein bei Reichenhall in Oberbayern (Reinecke 1911, 364; Taf. 63,1143).

Zu den späteren Varianten zählen nach S. Demetz (1999, 66) weitere Schüsselfibeln aus Silber, wie ein Exemplar vom Titelberg in Luxemburg (Metzler 1984, 255 Nr. 108a), aber auch

¹¹² Materialanalysen an beiden Silberfibeln aus Manching könnten nicht nur hinsichtlich der verwendeten Legierungen, sondern möglicherweise auch in Bezug auf die nicht sicher geklärten Konstruktionen am Bügelknoten der Bügelknotenfibel und zur Kopfplatte der Schüsselfibel weitere Interpretationsansätze liefern.

¹¹³ Da aufgrund der mechanischen Beanspruchung dieser Stellen nur ein Hartlöten mit metallischem Lot sinnvoll gewesen wäre, ließe sich ein solches - wenn nicht auch von Korrosion und chemischen Reinigungen überprägt - über eine Materialanalyse nachweisen oder ausschließen.

mehrere oberitalische Varianten, wie Schüsselfibeln mit Bügelknoten aus bereits in die frühe Kaiserzeit zu datierenden Gräbern von Ornavasso (Graue 1974, Taf. 63,1.2.5.6).

Unter den weiteren Fibeln der Spätlatènezeit, welche aus Silber angefertigt wurden, sind besonders die Fibelvarianten vom Typ Almgren 65 zu erwähnen, die sowohl aus Bronze- als auch aus Silberlegierungen gegossen und nachgearbeitet worden sein sollen (Demetz 1999, 28). Zu den Stücken aus Silber zählen unter anderem die bereits in Kapitel 5.3.1.2.2 erwähnten mit Granulationsverzierungen versehenen Fibeln aus Ornavasso (Graue 1974, 53 f.; Taf. 16,11.14; 21,6) sowie weitere einfache Fibeln aus Ornavasso (ebd. Taf. 5,3; 16,6.8; 23,10; 46,11), aber auch zwei auf dem Martberg in Rheinland-Pfalz gefundene Exemplare (Haffner 1984, 263; Farbabb. Frontispiz; Nickel u. a. 2008, 173; 204 Abb. 119,11).

Besonders die Silberfibeln aus Manching werden als italische Importe angesprochen (Krämer 1971, 129; Sievers 2003, 93). Ähnlich wie dies bereits für die Lauteracher Fibeln in Betracht gezogen wurde (siehe Kap. 5.3.1.3.1), ist eine regionale Herstellung auch für die Manchinger Exemplare nicht vollständig auszuschließen, sofern die Formelemente bekannt waren und das Rohmaterial zur Verfügung stand. Das Material Silber wurde in der lokalen Münzherstellung verarbeitet (siehe Kap. 6.1) und vergleichbare Schüsselfibeln sind auch aus der näheren Umgebung bekannt (Demetz 1999, 70 f.). Die Bügelknotenfibel stellt eine Sonderform dar, welche Formelemente trägt, die sowohl mit oberitalischen Fibelformen als auch mit den Lauteracher Fibeln verwandt sind (Krämer 1971, 120 ff.; Demetz 1999, 71). Hinsichtlich des Bügelknotens, aber auch der Fußgestaltung besonders gute Vergleichsstücke aus Silber stammen aus Great Chesterford in Großbritannien, die W. Krämer ebenfalls als italische Importe ansieht (Krämer 1971, 124 ff. mit Taf. 24; 25). Parallelen zur Bügelgestaltung finden sich darüber hinaus an Fibeln aus Südfrankreich (Gebhard 1991b, 14), wie etwa aus La Cloche (z. B. Chabot 2004, 188 Abb. 243,4 K5-004). Da es sich bei den Silberfibeln jedoch immer um Sonderanfertigungen handeln dürfte, sollte den leichten Abweichungen in Form und Verzierung keine zu große Bedeutung beigemessen werden. Der Herstellungsort des Manchinger Fibelpaars - und selbst, ob beide Fibeln von ein- und demselben Handwerker angefertigt wurden - bleibt damit weiterhin offen.

Aus den Herstellungsspuren der untersuchten Fundstücke aus Silber und den publizierten Untersuchungsergebnissen zur Anfertigung von jeweils zeitgleichen Fibeln unedler Metalle sind keine abweichenden formgebenden Techniken in der Fibelproduktion ableitbar. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass in der latènezeitlichen Produktion von Silberfibeln überwiegend die aus der Buntmetallverarbeitung bekannten Techniken angewandt wurden. Mit Ausnahme der Nutzung spezieller, von der Goldbearbeitung abgeleiteter Ziertechniken, wie vor allem der Granulation und der Perldrahtherstellung an den Dürener Fibeln, könnte die Anfertigung der Silberfibeln - zumindest die der Spätlatènezeit - innerhalb der lokalen Buntmetallverarbeitung anzusiedeln sein¹¹⁴. Ob dabei die Exemplare aus Silber am Anfang der

¹¹⁴ Um diese Hypothese zu bestätigen, wären jedoch Serienuntersuchungen an zeitgleichen Buntmetallfibeln des jeweiligen Formtyps notwendig, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich waren.

Produktionskette standen oder ob es sich um Sonderanfertigungen nach bekanntem Muster handelt, ist nicht zu entscheiden, zumal es sich entweder um Einzelfunde oder um von den Buntmetall-exemplaren abweichende Einzelstücke handelt, die typologisch nur selten näher datierbar sind.

5.3.2 Provinzialrömische Fibeln

In der römischen Kaiserzeit gewann das Material Silber zur Herstellung von Fibeln zunehmend an Bedeutung, aber auch die provinzialrömischen Exemplare behielten einen exzeptionellen, wohl rein schmückenden Charakter und das Tragen dürfte auch weiterhin den begüterten Bevölkerungsschichten vorbehalten geblieben sein.

Im Gegensatz zu den meisten latènezeitlichen Fibeln weisen die provinzialrömischen Silberfibeln, die vorwiegend aus wohl als "Versteckfunde" zu interpretierenden Deponierungen stammen, jedoch deutliche durch den Gebrauch entstandene Abnutzungsspuren auf. Ob dieser Unterschied auf einen in römischer Zeit abweichenden Deponierungsritus oder auf eine andere Wertschätzung hinsichtlich des Materials Silber zurückzuführen ist, lässt sich nicht entscheiden. Bemerkenswert erscheint in jedem Fall die Tatsache, dass die aus mehrteilig deponierten Schmuckensembles stammenden Schmuckstücke immer getragen wurden, eine Beobachtung, die den jüngsten Untersuchungen von S. Martin-Kilcher (u. a. 2008, 74 f.) zufolge auch auf vergleichbaren Goldschmuck zutrifft. Die Niederlegung des über mehrere Generationen hinweg getragenen "Familienschmucks", der sich nicht nur in den Goldschmuckensembles, wie etwa aus Obfelden-Lunnern (ebd. 144; 128 ff.), sondern auch in den Silberdepotfunden, wie etwa aus Regensburg-Kumpfmühl (Boos u. a. 2000, 42 ff.) und Wiggensbach (Böhme 1985, 245; Weber 2006), abzeichnet, wird zumeist mit profanen Deponierungshintergründen in Verbindung gebracht¹¹⁵. Dies steht im Gegensatz zu den latènezeitlichen Edelmetalldeponierungen, wie etwa Lauterach (siehe Kap. 5.3.1.3.1 Fußnote 109), für die vorwiegend ein religiös motivierter Hintergrund vermutet wird.

5.3.2.1 Omega-fibeln

Zu den häufig aus Silber hergestellten provinzialrömischen Fibelformen gehören diverse Varianten der Omega-fibeln, welche während der gesamten Kaiserzeit in großer Anzahl in Buntmetall auftreten (Riha 1979, 205). Ein Schwerpunkt der Exemplare aus Silber liegt auf süddeutsch-schweizerischem Gebiet bis in den Ostalpenraum, wobei sowohl Varianten mit plastisch verziertem Bügel und Doppelknöpfen in zurückgebogenen, profilierten Enden als auch einfachere Varianten mit pilzförmig bzw. konisch geformten Endknöpfen auch aus Silber angefertigt wurden (Böhme 1972, 46; Ettlinger 1973, 131 ff.; Riha 1979, 205 ff.; 1994, 177 ff.; Martin-Kilcher u. a. 2008, 138 Abb. 5.4; 326). Die größte Anzahl ist aus im 1. oder späten 2.

¹¹⁵ Zur Diskussion unterschiedlicher Ansätze in der Interpretation römischer Edelmetalldeponierungen siehe vor allem S. Rieckhoff 1998 und S. Martin-Kilcher u. a. 2008, 121 ff.

bis beginnenden 3. Jh. n. Chr. niedergelegten Depotfunden bekannt, nur wenige stammen aus Grabzusammenhängen (Martin-Kilcher u. a. 2008, 139 mit Anm. 26) oder Siedlungsbefunden des 1. oder 2. Jhs. n. Chr. (z. B. Ulbert 1959, 93 mit Taf. 16,17,19; Riha 1994, 178 Kat.-Nr. 2981).

Während die drahtförmigen Varianten der Omegafibeln aus Buntmetall offensichtlich geschmiedet wurden (Riha 1979, 205; 1994, 177), wurden andere, massivere Stücke im Gussverfahren hergestellt (Riha 1994, 179 Kat.-Nr. 2990), so etwa auch ein Exemplar des 1. Jhs. aus Aislingen (Kat. 1; Taf. 1). Wie eine raue, blasige Gussoberfläche belegt, wurde die Aislinger Fibel inklusive ihrer profilierten Verzierungen auf dem Bügel massiv gegossen. Die profilierten Enden wurden mitgegossen, allerdings an den Biegungen ausgeschmiedet und erst nachfolgend zurückgebogen. Am Übergang von der Nadel zur Nadelöse liegen keine Hinweise auf eine getrennte Anfertigung und thermische Verbindung der beiden Elemente vor, so dass man davon ausgehen kann, dass diese aus einem gegossenen Vorprodukt ausgeschmiedet wurden.

Aus Silber bestehende, einfache Omegafibeln mit zurückgebogenen, pilzförmigen Enden stammen sowohl aus Deponierungen des späten 1. Jhs. n. Chr., wie etwa aus Bruck an der Glocknerstraße in Österreich (Flügel u. a. 2000, 426 Kat. 224 d), als auch aus Fundkomplexen des beginnenden 3. Jhs., wie aus Hettingen (Kat. 11,1.2; Taf. 18,1.2; 19,1.2) und Wiggensbach (Kat. 47,5.6; Taf. 167,1; 168,1). Sichtbare Streckspuren (Taf. 176,2) und ein vereinzelt zum Vorschein gekommenes Schmiedegefüge (Taf. 19,4; 177,3) verweisen auf das Schmieden als formgebende Technik. Die Bügelverzierungen an den Exemplaren aus Hettingen wurden punziert (Taf. 18,5; 19,3), wobei jeweils unterschiedliche Punzwerkzeuge verwendet wurden, so dass eine Paarherstellung durch ein- und denselben Handwerker fraglich ist. Die Nadeln mit Nadelöse wurden an allen vier Fibeln aus einem Stück geschmiedet, der verbreiterte Bereich ziseliert und zur Öse umgebogen (Taf. 18,6; 19,6; 167,4). Die Enden des an Fibel 2 aus Wiggensbach anhängenden Ringchens (Taf. 168,1) wurden nicht durch eine thermische Verbindungstechnik geschlossen, sondern lediglich zusammengebogen.

Im Gegensatz zu diesen einfacheren Exemplaren wurden die reicher verzierten Omegafibeln aus Rembrechts und einem unbekannten Fundort in Bayern sowie aus Rickenbach und Kottwil im Gussverfahren angefertigt und nachbearbeitet.

Die beiden Fibeln aus Rembrechts (Kat. 33,3; Taf. 123,1.2) und Bayern (Kat. 51; Taf. 187,1) scheinen nach Ausweis einer rauen, blasigen Oberfläche im Wachsausschmelzverfahren gegossen worden zu sein. Dabei wurden offensichtlich auch die Wellenbandverzierungen mitgegossen, vereinzelt ist die raue Gussoberfläche in deren Vertiefungen erkennbar (Taf. 124,4). Nach dem Guss wurde die zuvor gesondert hergestellte Nadel mit der Nadelöse auf den Omegabügel aufgeschoben. Danach wurden die Omega-Enden zur Fassung der Doppelknopfstifte zurückgebogen.

Ob die Nadeln und die Nadelösen (Taf. 123,3-6; 188,2.3) jeweils getrennt hergestellt und über ein thermisches Verbindungsverfahren gefügt wurden oder ob sie aus einem gegossenen

Vorprodukt ausgeschmiedet wurden, lässt sich nicht eindeutig klären. An der Fibel von Rembrechts durchgeführte Materialanalysen zeigten an allen gemessenen Stellen der Fibel - auch am Übergang zwischen Nadel und Nadelöse - eine fast identische Silberlegierung mit einem Feingehalt von ca. 93 %, die kleineren Differenzen (siehe Tabelle im Anhang) liegen im Rahmen der Messgenauigkeit. Sollte die Nadelkonstruktion tatsächlich aus zwei Teilen bestehen, käme als thermische Verbindungstechnik an dieser Fibel nur ein Schmelzschweißen mit nachfolgendem Überschmieden infrage. Wahrscheinlicher ist jedoch die Herstellung aus einem gegossenen Vorprodukt, da die Oberfläche an den Ösen der beiden Fibeln jeweils Gussmerkmale, wie Lunker (Taf. 123,3.5) oder Warmrisse (Taf. 188,3), aufweist.

Beide Fibeln weisen Abnutzungsspuren an ihrer Bügelverzierung auf, bestehen jedoch aus hochwertigem Silber, was für die Fibel aus Rembrechts nachgewiesen wurde und für die Fibel aus Bayern von unbekanntem Fundort aufgrund der gering korrodierten Oberfläche nahe liegt. Ähnliche Stücke aus Silber und Bronze (?) mit Wellenbandverzierung und anhängenden Ringchen sollen aus den Limeskastellen von Aislingen (Ulbert 1959, Taf. 16,19) und Faimingen (Henkel 1913, 177 Abb. 124) stammen.

Auch die beiden größeren Omega-fibeln aus Kottwil (Kat. 17,3 Taf. 37) und Rickenbach (Kat. 34,2; Taf. 135; 136,1) wurden - wohl inklusive ihrer reichen plastischen Verzierungen - im Wachsauflöschverfahren gegossen. Sowohl die Wellenbandverzierungen beider Fibeln (Taf. 39,1-3; 136,2-4) als möglicherweise auch die gekerbte Verzierung an den Rändern der Fibel von Rickenbach (Taf. 136,5) wurden bereits im Wachsmodell angelegt. Es liegen keinerlei Hinweise auf Abdrücke vor, die eine Punze in Metall hinterlassen hätte. Die Formgebung des Wellenbandes und die vereinzelt sichtbare raue Oberflächenstruktur in den Vertiefungen kann vielmehr auf eine zugrundeliegende Wachsarbeit zurückgeführt werden. Nach Ausweis der wie "ausgestrichen" wirkenden Spuren, die aus dem jeweiligen Wellenband heraus verlaufen, wurden diese Verzierungen nach der Formgebung der gekahlten Bereiche der Omega-bügel angefertigt. In den breiteren Rillen der Wellenbandverzierung sind unregelmäßig verlaufende Schleifspuren zu erkennen, die eine Nachbearbeitung der Gussoberfläche in diesen Bereichen anzeigen.

Die Fibel aus Rickenbach scheint insgesamt mit einer reicheren Verzierung versehen worden zu sein als das Exemplar aus Kottwil. Den ersten Beschreibungen nach (siehe Scherer 1916, 217) soll sie bei ihrer Auffindung eine Glasperle an der Nadel besessen haben und vergoldet gewesen sein. Von der Vergoldung sind heute allerdings nur noch geringe Spuren zu erkennen, so dass es sich hier möglicherweise um eine Blattvergoldung gehandelt haben könnte, die nicht abriebfest war.

Die profilierten Enden, welche an der Fibel aus Kottwil erhalten sind (Taf. 39,4), wurden mitgegossen und erst nach dem Guss zurückgebogen. An den Biegungen sichtbare Risse verweisen auf eine starke Beanspruchung des Materials in diesen Bereichen durch das Umbiegen der gegossenen Fortsätze. Eine solche Materialüberbeanspruchung wird ferner die Ursache für das Abbrechen der Enden an der Fibel aus Rickenbach gewesen sein (Taf. 137,1).

Auch eine direkt vergleichbare Omegafibel aus Augst (Riha 1994, Taf. 47,2981 mit Farbtafel auf Umschlagbild), welche ebenfalls aus Silber angefertigt wurde, weist - dem Foto nach zu urteilen - eine Gusshaut auf. Möglicherweise stammen die Exemplare aus Kottwil, Rickenbach und Augst - trotz leichter Unterschiede in ihrer Ausführung - aus derselben Werkstatt. In jedem Fall musste der Feinguss von hochwertigen Silberlegierungen beherrscht worden sein.

Im Gegensatz zu den untersuchten Fibeln aus Rembrechts und Bayern wurden die Nadeln und die Nadelösen der Fibeln aus Kottwil und Rickenbach sicher gesondert hergestellt und anschließend thermisch miteinander verbunden. Die sichtbaren Lötstellen zwischen Nadel und Nadelöse an den beiden Stücken aus Kottwil (Taf. 39,5) und Rickenbach (Taf. 137,3) verweisen auf die Verwendung eines metallischen Hartlotes. Die Anwendung dieser thermischen Verbindungstechnik setzt ein spezialisiertes Wissen im Umgang mit dem Material Silber voraus, weshalb die Anfertigung in einer vorwiegend edelmetallverarbeitenden Werkstatt anzunehmen ist. Auch die Nadelösen selbst wurden aus einem verlöteten Blech hergestellt, wobei die Nahtstellen lediglich an dunkleren Verfärbungen erkennbar sind. An dem direkt vergleichbaren Exemplar aus Augst verweist eine auf dem publizierten Foto erkennbare überlappende Stelle dagegen auf ein verschweißtes oder rein mechanisches Schließen der Blechhülse.

Die Tatsache, dass sich an allen vier untersuchten, mit Doppelknopfstiften versehenen, aber sicher aus verschiedenen Werkstätten stammenden Omegafibeln Nietköpfe an der Oberseite der Doppelknöpfe abzeichnen bzw. teilweise auch direkt sichtbar sind (Taf. 124,2; 188,4.6; 137,2), verweist auf eine technisch bedingte Konstruktion¹¹⁶.

Die Doppelknöpfe bestehen jeweils aus zwei Perlen, die über eine Art Nietverbindung miteinander verbunden wurden (Taf. 124,2; 137,1; 188,5). Dabei wurde ein Stift durch die beiden - vermutlich gegossenen - Perlen gesteckt, welcher nach dem Umbiegen der Omegabügelenden arretiert wurde, indem er mit den Doppelknöpfen vernietet wurde. Die erst nach dem Umbiegen der Enden erfolgte Vernietung sorgte auf diese Weise für eine größere Stabilität der Doppelknöpfe in den umgebogenen Enden.

Die lediglich kleineren Unterschiede in den Ausmaßen und Verzierungsformen der beiden Fibeln aus Kottwil und Rickenbach sind auf die jeweilige Einzelanfertigung zurückzuführen. Die in ihrer Form, Verzierung und Machart direkt vergleichbaren Fibeln sind damit vermutlich in einer Werkstatt entstanden, auch wenn die leicht differierende Wellenbandverzierung auf eine Herstellung durch unterschiedliche Handwerker hinweisen könnte. Die Fibel aus Kottwil zeigt keinerlei durch den Gebrauch entstandene Abnutzungsspuren, die in diesem Depotfund vergesellschafteten, aber deutlich abgenutzten Armringe (siehe Kap. 5.2.2.2) verweisen auf einen Herstellungszeitraum vom späten 2. bis in das beginnende 3. Jh. n. Chr. Die nach Ausweis der Schlussmünzen wohl Ende des 2. bzw. zu

¹¹⁶ Der Zeichnung nach zu urteilen scheint der Nietkopf auch an einer weiteren direkt vergleichbaren Omegafibel aus dem Kastell Saalburg sichtbar zu sein, welche aus Buntmetall angefertigt wurde (Böhme 1972, 46; Taf. 31,1215).

Beginn des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegte Fibel aus Rickenbach ist zwar an den Enden gebrochen, aber auch an dieser sind keine Spuren eines längeren Gebrauchs zu erkennen. Eine Herstellung dieser Omegafibeln Ende des 2. Jhs. scheint damit wahrscheinlich. Nicht zuletzt würde auch die schichtdatierte Parallele aus Augst, die anhand von vergesellschafteter Keramik in den Jahrzehnten um die Mitte des 2. Jhs. entstanden sein könnte (Riha 1994, 178 Kat. 2981), nahe legen, dass dieser Formtyp in der zweiten Hälfte des 2. Jhs. hergestellt wurde. In Anbetracht ihrer starken Abnutzung sind offensichtlich auch die sicher nicht derselben Werkstatt zuzuordnenden Omegafibeln aus Rembrechts und Bayern lange vor ihrer Deponierung angefertigt worden.

Alle reich verzierten Omegafibeln scheinen angesichts ihrer nur wenig korrodierten Oberflächen aus hochwertigen Silberlegierungen produziert worden zu sein. Nicht nur diese Beobachtung, die für diesen Zeitraum außergewöhnlich erscheint (siehe Kap. 7.2), sondern auch die aufwändige plastische Verzierung sowie die Materialkenntnis, die Voraussetzung für das Gelingen des Feingusses von Silber war, zeichnen diese Stücke als Prestigeobjekte aus, die wohl in einer für einen wohlstuierten Kundenkreis arbeitenden Werkstatt entstanden sein dürften.

5.3.2.2 Scheibenfibeln

Die zweite provinzialrömische Fibelgruppe, für deren Herstellung das Material Silber von Bedeutung war, sind gewölbte reichverzierte Scheibenfibeln. Deren wenige erhaltene Exemplare wurden ausschließlich aus Silber hergestellt. Diese stammen aus in den 30er Jahren des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfunden am nördlichen und südlichen Alpenrand (Martin-Kilcher u. a. 2008, 100; 139 Abb. 5.5) und werden in der einschlägigen Literatur als Scheibenfibeln des Typs Lovere (ebd. 139) oder des Typs Wiggensbach (Flügel u. a. 2000, 426) bezeichnet. Die Verbreitung der bekannten Exemplare weist mit den zwei aus Wiggensbach (Kat. 47,15.16; Taf. 174,1; 175,1) und fünf aus Rettenberg-Freidorf (Flügel u. a. 2000, 426 Kat. 233) stammenden Stücken einen Schwerpunkt im Allgäu auf, weitere Exemplare stammen aus Hettingen (Kat. 11,3.4; Taf. 20,1.2; 23,1.2) sowie Lovere am Lago d'Iseo in Oberitalien (Werner 1935, 160 Abb. 1). Bildliche Darstellungen, welche solchen gewölbten Scheibenfibeln ähnlich sehen, finden sich auf zwei norischen Grabdenkmälern aus Österreich (siehe Martin-Kilcher u. a. 2008, 140 Abb. 5.6).

Alle vier untersuchten Fibeln wurden jeweils aus mehreren Blechscheiben hergestellt, wovon die oberen - durch einen Treibvorgang - zu gewölbten Scheiben aufgetieft wurden. Hierfür wurden sicher Kugellanken, d. h. Gesenke mit einer halbkugelförmigen Hohlform, benutzt.

Die gleichmäßig gerundete Form an den Fibeln von Hettingen und das Auftreten konzentrisch verlaufender Rillen an Fibel 1 (Taf. 21,1-3; 22,3) führte zunächst zu der Annahme, dass diese möglicherweise nachgedreht worden wären. Während die einzelnen umlaufenden Rillen auf der Innenseite der Scheiben (Taf. 20,4; 22,4) jedoch als Zirkelspuren und damit als

Anrisslinien für die Positionierung der Zierniete anzusprechen sind, dürften die feinen, nur auf der Außenseite von Fibel 1 sichtbaren, umlaufenden Rillen auf einen lediglich überschleifenden Drehvorgang zurückzuführen sein.

Nach dem Auftiefen der Blechscheiben wurde also die Oberfläche der beiden gewölbten Scheiben von Fibel 1 auf einem rotierenden Gerät überschleift und geglättet. Abb. 40 verdeutlicht den Unterschied zwischen dem Schleifen eines rotierenden Werkstücks und einem "kreisenden" Schleifen per Hand im Experiment.

Eine Herstellung der Hohlformen durch das Drehen zur Formgebung scheint damit unwahrscheinlich und angesichts der Größe der Scheiben ohnehin überflüssig. Sie ist außerdem eindeutig durch sichtbare Hammerspuren auf den Innenseiten (Taf. 20,4; 22,4) widerlegt. Ein Überschleifen ohne Drehbewegung ergäbe auf der anderen Seite keine konzentrisch umlaufenden Rillen. Regelmäßig umlaufende Rillen - die, wie die Versuche zeigten, aufgrund der unterschiedlichen Körnung des verwendeten Sandsteins gelegentlich "aus der Bahn geraten" - können daher lediglich durch ein Schleifen der Oberfläche während einer Drehbewegung entstanden sein.

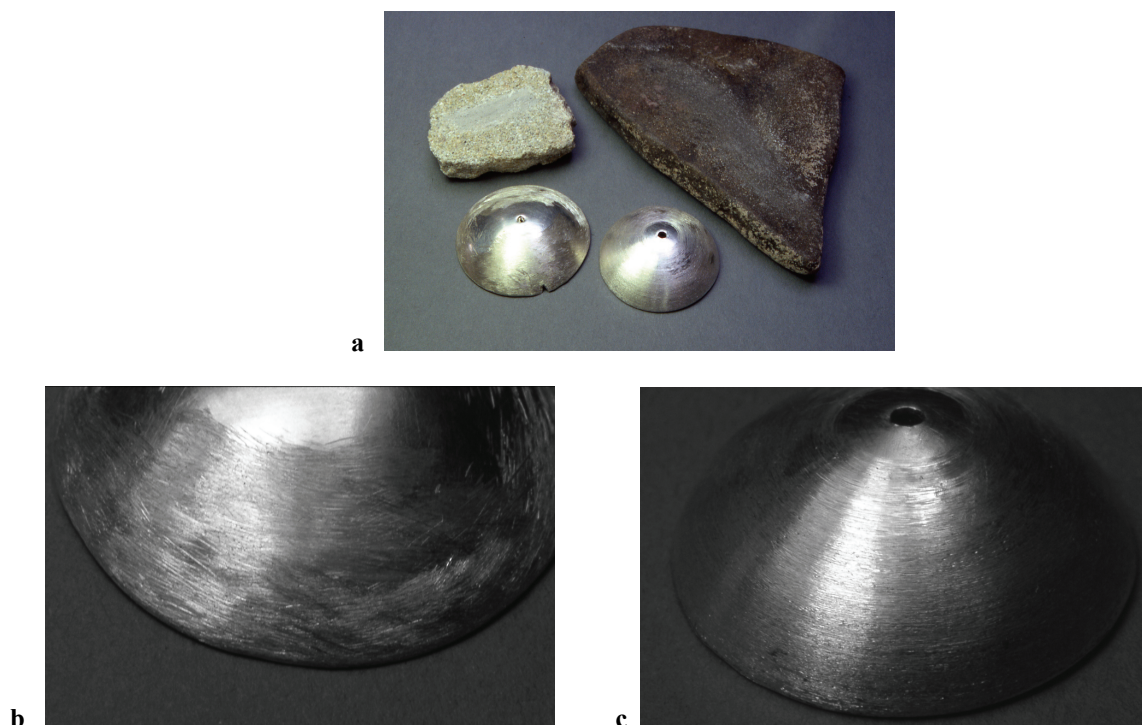


Abb. 40: Schleifversuche mit einfachen Sandsteinen an aufgetieften Blechscheiben.

a: Aufgetiefte Scheiben aus einem 0,5 mm starken Blech (Ag 935) und verwendete Schleifsteine.

b: Per Hand entstandene Schleifspuren.

c: Schleifspuren, die durch das Heranführen des Schleifsteine an die rotierende Blechscheibe entstanden sind (eingespannt in eine moderne Bohrmaschine; bei geringer Drehzahl).

Diese Art des Überschleifens wurde möglicherweise nur an den aufgetieften Scheiben der Scheibenfibel 1 aus Hettingen durchgeführt, da an keinem anderen der untersuchten Exemplare

entsprechende Spuren erkennbar sind, die allerdings auch durch anschließende Poliervorgänge entfernt worden sein könnten.

Die Scheiben und die einzelnen Zierelemente wurden an allen Scheibenfibeln aus Hettingen und Wiggensbach mithilfe von Nietverbindungen gefügt. Die heute nicht mehr zusammenhaltende Konstruktion der Exemplare aus Hettingen erlaubt eine Sicht auf das Innere und dadurch die Klärung der Befestigung der Zierelemente. Nachdem die Blechscheiben angefertigt wurden, mussten sie mit den Löchern für die Zierniete versehen werden. Einseitig aufgewölbte Grate der Lochungen verweisen auf das Durchhauen der Löcher mithilfe von Dornen (Taf. 22,5.6). Die auf der Außenseite sichtbaren Grate verlorener Zierniete (Taf. 22,2) zeigen, dass die Scheiben erst nach dem Auftiefen mit den Löchern für die Zierniete versehen worden sein mussten, andernfalls wären die Grate durch das Auftiefen der Scheiben geglättet worden. In diesem Fall konnten die Löcher nur von innen nach außen durchgehauen werden, da sich sonst die bereits aufgewölbten Blechscheiben wieder verformt hätten.

Alle vier Fibeln aus Wiggensbach und Hettingen zeigen Reste einer ursprünglich wohl flächig vorhandenen Vergoldung, möglicherweise einer diffusionsgebundenen Blattvergoldung (siehe Kap. 4.4.6 Abb. 26).

Weitere an spezialisierte Kenntnisse gebundene Verzierungen sind die nur an den Fibeln von Wiggensbach erhaltenen Perldrähte (Taf. 174,6; 176,3; siehe Kap. 4.4.4) und die an allen Fibeln aufgelegten runden Filigrandrähte, welche mechanisch durch die Ziernietköpfe gehalten werden (z. B. Taf. 21,1; 24,3; 175,6; 176,6).

Alle zusätzlichen Zierelemente bestehen aus Ziernieten, deren rautenförmige, dreieckige oder runde Nietköpfe mit "Kügelchen" versehen sind. Nur an Fibel 2 aus Hettingen wurden zudem Nietköpfe in Form von Füllhörnern hinzugefügt (Taf. 24,5). Wie die Innenseiten der Hettinger Fibeln zeigen, ist keines dieser Dekorelemente aufgelötet worden. Vielmehr sind alle vernietet worden, so dass also in allen Fällen Nietköpfe vorliegen.

In den publizierten Erwähnungen dieser Fibeln wird die Kügelchenzier der Dekorelemente in Form von Rauten oder Rosetten entweder als aufgelötet, also als Granulation (Böhme 1974, 20; 1985, 245; Rottloff 2000, 108 f.), oder als punzverziert angesprochen (Martin-Kilcher u. a. 2008, 100).

Die Beobachtungen, dass kaum eines der Kügelchen eine echte Kugelform besitzt, einige Kügelchen durchtrennt erscheinen (Taf. 24,1-3.6; 174,5; 175,6; 176,2) und viele ein angeschmolzenes Erscheinungsbild auf ihrer Oberseite aufweisen (Taf. 24,1-4; 174,5; 175,3-6), wohingegen direkt anliegende Kügelchen nicht davon betroffen sind, spricht jedoch gegen das Auflöten einzelner Kügelchen. Benachbarte Granalien können bei einer Überhitzung zwar anschmelzen, jedoch eher in den unteren Bereichen (siehe Kap. 4.4.5 bes. Abb. 22,f). Das an allen Fibeln mehrfach zu beobachtende Bild verschmolzener Kügelchen könnte zwar auf Fehler des Handwerkers hinweisen, der ansonsten sehr mühevollen Aufbau und die Vergoldung sowie die sorgfältig hergestellten Perldrähte an den Exemplaren von Wiggensbach sprechen

allerdings gegen einen ungeübten Feinschmied. Unwahrscheinlich scheint auch, dass eine solch große Anzahl von Granalien - fast regelhaft - verschmolzen wäre. Eine echte Granulation liegt also nicht vor¹¹⁷.

Andere Beobachtungen sprechen aber auch gegen die These der Punzverzierung der Zierniete. Die Unregelmäßigkeit der Kügelchen, das Vorhandensein metallischer Matrix zwischen ihnen und das vereinzelte Verschmelzen nebeneinander liegender Kügelchen kann sich nicht auf eine Punzierung zurückführen lassen. Darüber hinaus lassen die an einzelnen Stellen abgemeißelten Kanten durch solche Kügelchen hindurch (Taf. 24,6; 176,2) keine Hohlform erkennen, die durch ein Punzieren hätte entstehen müssen.

Vielmehr entsprechen alle Beobachtungen den bereits für die rautenförmigen Zieraufsätze der Fingerringe aus Rembrechts (siehe Kap. 5.1.2.3) genannten Argumenten, so dass man bei diesen Ziernieten von einer gegossenen Imitation von Granulationsarbeiten ausgehen kann.

Wahrscheinlich wurden die Nietköpfe inklusive ihrer Nietschäfte gegossen, so dass diese anschließend nur noch durch die Lochungen gesteckt und auf der Rückseite umgeschlagen, also vernietet, werden mussten. In gleicher Weise wurden sicher auch die Füllhorn-Nietköpfe an Fibel 2 aus Hettingen (Taf. 24,5) gegossen und vernietet.

Das Löten von Granalien aus Silberlegierungen scheint wegen seiner Problematik (siehe Kap. 4.4.5) bewusst umgangen worden zu sein, wobei sich das Erscheinungsbild der Granulation mit einer alternativen technischen Methode ebenfalls erreichen ließ. Die echte Granulation von Silber wurde nur vereinzelt genutzt. Der Eindruck einer flächigen Granulation in rauten- oder dreiecksförmiger Anordnung, wie sie an vergleichbarem Goldschmuck - Fingerringen und Zierscheiben - zum Einsatz kam (siehe Kap. 5.1.2.3; 5.5.3), wurde dagegen an Silberschmuck mit anderen Mitteln erweckt. Das gemeinsame Auftreten einzelner Granalien und im Gussverfahren nachgeahmter Flächengranulation an einem der beiden Fingerringe aus Rembrechts (siehe Kap. 5.1.2.3) verdeutlicht diesen auf Silber bezogenen technischen Umgang besonders offensichtlich. Das optische Ergebnis mag auf den heutigen Betrachter nachlässig und grob wirken, obwohl ein hoher Aufwand in die Herstellung der Scheibenfibeln investiert wurde. Die "Einbußen" in der Erscheinung wurden entweder in Kauf genommen oder waren von geringerer Bedeutung.

Abschließend wurden an allen Scheibenfibeln die auf diese Weise reich verzierten Blechscheiben und die Verschlusskonstruktion durch einen zentralen Niet miteinander verbunden (Taf. 20,5). Im Falle der Hettinger Scheibenfibel 1 wurde der Übergang vom Nietkopf zur oberen Blechscheibe mit einer aus einem verlöteten Blech hergestellten Manschette abgedeckt (Taf. 20,6). Die Wiggensbacher Exemplare wurden mit profilierten Abschlussknöpfen - ähnlich der oben geschilderten Doppelknopfstifte an den Omegafibeln - versehen (Taf. 174,4; 175,4).

¹¹⁷ Dass die "geperlten Rauten und Rundscheiben", also die Zierelemente mit Kügelchenzier, als "Imitation von Granulierarbeiten" anzusehen sind, hatte bereits F. Drexel (1927, 41) in seinen Beschreibungen der Fibeln aus Wiggensbach festgestellt.

Die an den Stücken aus Wiggensbach fragmentarisch erhaltenen Nadelhalter (Taf. 174,2.3; 175,2) bestehen aus einem abgemeißelten Trägerblech, dessen Kanten zur Stabilisierung umgebogen wurden, der Nadelrast und einem Scharnier. Während die Nadelrast offensichtlich angelötet worden ist, wurde die - nur noch an Fibel 2 erhaltene - Scharnierhülse möglicherweise aus dem Blech ausgearbeitet.

Die einfache Scharnierkonstruktion wurde von S. Martin-Kilcher (2008, 100) jüngst als Argument für eine Entstehung der Scheibenfibeln dieses Typs im südlichen Alpenraum angeführt, da im nördlichen Alpenvorland eine traditionelle, zweiteilige Spiralkonstruktion zu erwarten sei.

Eine regionale Herstellung in Raetien, wie sie unter anderem bereits J. Werner (1935, 160) in Erwägung gezogen hatte, lässt sich meines Erachtens dennoch nicht ausschließen. Technisch vergleichbare Details, wie die Anfertigung der Kugelchenzier im Gussverfahren, zeigen sich in ähnlicher Form auch auf den rautenförmigen Zieraufsätzen der Fingerringe aus Rembrechts (Kat. 33,8.9; siehe Kap. 5.1.2.3). Darüber hinaus finden sich regelhaft über Nietverbindungen gefügte Zierelemente auch bei den in Obergermanien und Raetien verbreiteten Zierscheiben (siehe Kap. 5.5.3). Die radförmige Anordnung der Zierniete auf den Zierscheiben ist zwar nicht direkt mit dem Aufbau der Zierelemente auf den Scheibenfibeln vergleichbar (so auch Martin-Kilcher u. a. 2008, 100), aber auch Letztere weisen ein symmetrisches Arrangement auf¹¹⁸. Die Anwendung unterschiedlicher Ziertechniken, wie das Ziselieren und Punzieren an den Zierscheiben (siehe Kap. 5.5.3) auf der einen und das Gussverfahren zur Nachahmung von Granulationsarbeiten an den Scheibenfibeln auf der anderen Seite, lässt sich wiederum durch eine Anfertigung in unterschiedlichen Werkstätten bzw. durch mehrere Handwerker erklären. Da es sich bei diesen reich verzierten Scheibenfibeln sicherlich um Sonderanfertigungen handelt, können die verwendeten mediterranen Dekorelemente in Form vegetabler Rosetten und Ranken sowie die Scharnierkonstruktion durchaus aus südlichen Werkstätten übernommen worden sein, andere technische Details scheinen jedoch für den raetischen Raum charakteristisch zu sein.

5.3.2.3 Flügelfibeln

Zu den mehrfach aus Silber hergestellten provinzialrömischen Fibeln gehören des Weiteren norisch-pannonische Formen, wie die meist paarweise getragenen Flügel- und Doppelknopffibeln. Norisch-pannonische Flügelfibeln aus Silber stammen zum einen aus Depotfunden, sowohl bereits aus frühaugusteischer Zeit, wie etwa von der Pillerhöhe in Tirol (Tschurtschenthaler u. Wein 1996, 24 ff. mit Abb. 14,1-2), als auch aus dem späten 1. Jh., wie aus Bruck an der Glocknerstraße (Flügel u. a. 2000, 426 Kat. 224 a) oder Aszár in Ungarn (Garbsch 1965, 73). Zum anderen kommen sie auch in Grabfunden des späten 1. Jhs. und der

¹¹⁸ Auch die sternförmige Anordnung der Niete in Form einer 8er-Symmetrie an den Scheibenfibeln wurde mithilfe eines Zirkels positioniert.

ersten Hälfte des 2. Jhs. vor, wie etwa von Karlstein in Oberbayern (ebd. 59; 61). Die in das 2. Jh. zu datierenden Exemplare sind insbesondere aus Pannonien bekannt (ebd. 71 ff.; 79), seltener auch aus norischen Fundkontexten, beispielsweise aus Enns (*Lauriacum*) in Oberösterreich (Jobst 1973, 76 ff.).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden zwei Flügelfibeln, die aus versilberter Bronze bestehen, untersucht. Diese stammen aus dem nach 166 n. Chr. niedergelegten Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,9.10; Taf. 116,1; 118,1). Dass die beiden Fibeln versilbert sind, ließ sich den Untersuchungen von A. Boos (u. a. 2000, 33 f. mit Anm. 37) zufolge erst durch eine Materialanalyse feststellen. Mit den hier zur Verfügung stehenden optischen Hilfsmitteln waren keinerlei Hinweise auf die angewandte Technik erkennbar.

Die Fibeln wurden jeweils aus einem gegossenen Vorprodukt angefertigt. Eine raue blasige Oberflächenstruktur (Taf. 116,3.4; 117,5; 118,2) und deutlich sichtbare Gusslunker (Taf. 116,2) sind Kennzeichen dafür, dass die Kopfgestaltung inklusive des Bügelknopfes im Guss geformt wurde. Auch die Ausgangsform der Bügel- und Fußplatte wurde mitgegossen, der untere Bereich des Nadelhalters ist jedoch zum Blech ausgeschmiedet worden. Über die Spiralkonstruktion lassen sich nur Vermutungen anführen, da der Einblick in das Innere kaum möglich ist. Die Spirale und die Nadel wurden dabei wohl aus einem ebenfalls mitgegossenen Fortsatz (Taf. 116,4) ausgeschmiedet und zur Stabilisierung mit einer Spiralachse versehen, die über eine Nietverbindung mit einem der beiden halbkugelförmigen Endknöpfe arretiert wurde (Taf. 116,3.4; 117,2). Die Sehne wurde zusätzlich mit einer wohl aus einem weiteren Fortsatz ausgeschmiedeten Sehnenkappe abgedeckt (Taf. 116,2.3).

Während die Fortsätze für beide Flügel von Fibel 2 offensichtlich mitgegossen worden sind (Taf. 118,2.3), zeigen sich bei Fibel 1 am Übergang des oberen Flügels zur Bügelplatte deutliche Hinweise auf eine nachträgliche Verbindung (Taf. 117). Möglicherweise machte ein Gussfehler die Nachbearbeitung des ursprünglichen Flügels unmöglich oder die Stelle ist während der weiteren Bearbeitung des Fibelhalbfabrikats gebrochen, so dass der Flügel vollständig entfernt und durch eine Neuankfertigung ersetzt werden musste. Da die Verbindungsstelle am Bügel nicht das Erscheinungsbild einer Lötstufe aufweist, lässt sich die Neuankfertigung und Anbringung des Flügels im Überfangguss annehmen. Diese Reparatur könnte also schon während des Herstellungsprozesses der Fibel erfolgt sein und daher als Nachbesserung bzw. als Werkstattreparatur interpretiert werden.

Die Verzierungen bestehen jeweils aus herzförmigen Ziernieten auf den Flügeln, einem Zierniet in der Mitte der Fußplatte, Punzierungen und Gravierungen sowie einem in zwei Reihen angeordneten Durchbruchmuster. Die leicht unregelmäßigen Zierlöcher würden auf das Durchhauen mit einem Dorn hinweisen, die scharfen Konturränder lassen sich jedoch vielmehr auf das Ausstanzen mit einem Aushauer zurückführen. Die an den Löchern sichtbaren Gratausbildungen (Taf. 116,5.6; 118,4) zeigen, dass das Durchlochen zumeist von der Rückseite erfolgte. Die Punzierung der Fußplatten wurde mit einer einfachen Kugelpunze durchgeführt, ein Stichel wurde für die Tremolierstichverzierungen (Taf. 117,4) und die auf der

Vorderseite der Bügelplatten einrahmenden Wellenlinien (Taf. 116,5) verwendet. Für die Linienverzierungen auf den Flügeln, den Sehnenkappen (Taf. 116,2) und auf den Bügeloberseiten (Taf. 117,1.5; 118,3) wurden Schrotpunzen eingesetzt.

Die beiden pannonischen Fibeln wurden als Paar hergestellt. Der Fibel 2, die nach der Ausrichtung ihrer Schauseite auf der rechten Schulter getragen wurde, fehlen die Nadel und eine Hälfte der Spirale, während die links getragene Fibel 1 nahezu komplett erhalten ist¹¹⁹. Dieser fehlt lediglich ein Teil der Nadelrast und die Spirale ist an einer Wicklung gebrochen, so dass sich die Nadel locker bewegen lässt. Beide Fibeln waren sicher zum Zeitpunkt ihrer Deponierung nicht mehr funktionstüchtig. Auch die Materialrisse an den Bügelplatten verweisen auf durch den Gebrauch beanspruchte Stellen. Es handelt sich damit um Gebrauchsschäden, die in keinem Zusammenhang mit einer intentionellen Beschädigung stehen müssen, wie dies an anderer Stelle postuliert wurde (Rieckhoff 1998, 525). Nicht nur einer der beiden Kolbenarmringe aus demselben Depotfund (Kat. 32,7; siehe Kap. 5.2.2.3), sondern auch die Fibeln sind an Stellen beschädigt, die aufgrund des Gebrauchs stärker beansprucht gewesen waren (so auch Boos u. a. 2000, 42 f.). "Magische Handlungen" im Rahmen der Deponierung (zum Schutz des Verstecks), wie sie sich S. Rieckhoff vorstellte, sind damit meines Erachtens nicht in Verbindung zu bringen. Im Sinne von A. Boos (ebd. 43 Anm. 65) ließen sich sowohl Objekte mit Amulettcharakter als auch defekte Schmuckstücke in Deponierungen, wie im Falle von Regensburg-Kumpfmühl, durchaus auf eine Niederlegung persönlich bzw. materiell geschätzter Gegenstände zurückführen.

Charakteristische Merkmale für die späten Varianten der pannonischen Flügelfibeln sind der nur mit einem spärlichen Durchbruchmuster versehene Fuß und die Konstruktion mit einer Spiralachse, die dann jedoch zumeist zweigliedrig zu sein scheint (Garbsch 1985, 565). Mit ihrer Versilberung und den herzförmigen Ziernieten auf ihren Flügeln sowie den Ziernieten auf den Fußplatten scheint es sich bei den Exemplaren aus Regensburg-Kumpfmühl jedoch um Sonderanfertigungen zu handeln, deren beste - aus massivem Silber hergestellte - Parallelen aus dem pannonischen Depotfund von Nagyberki-Szalasczka (Facsády 1994, 145 Abb. 6) auf eine Anfertigung im nordungarischen Raum verweisen (Rieckhoff 1998, 484; Boos u. a. 2000, 33 f.; 42).

5.3.2.4 Doppelknopffibeln

Auch die ebenfalls für den norisch-pannonischen Raum charakteristischen Doppelknopffibeln wurden vereinzelt aus Silber hergestellt, wie etwa ein Exemplar mit rahmenförmigem Fuß aus dem Depotfund von Bruck an der Glocknerstraße (Flügel u. a. 2000, 426 Kat. 224 c) oder zwei Exemplare des späten 1. bis 2. Jhs. n. Chr. aus Gräbern von Karlstein (Garbsch 1965, 39 f.).

¹¹⁹ Den Ausführungen von A. Boos (u. a. 2000, 33) zufolge wäre die Fibel 1 (dort Nr. 15) auf der linken und die Fibel 2 (Nr. 16) auf der rechten Schulter getragen worden. Mit Bezug auf die Darstellung der Fibeltracht in seiner Abb. 18 wurde hier jedoch sicher links und rechts miteinander verwechselt (siehe auch Garbsch 1965, Taf. 1,13; 6 - 7; 12 - 15 zur Darstellung norisch-pannonischer Flügelfibeln auf diversen Grabdenkmälern).

Die beispielhaft untersuchte Fibel aus dem norischen Depotfund von Niederaschau (Kat. 26,1; Taf. 85,1.2) stellt dabei - abgesehen von ihrem knieförmigen Bügel - eine späte Variante mit Spiralachse und punzverziertem Nadelhalter dar.

Die Fibel wurde in einer zweigliedrigen Konstruktion mit Spiralachse angefertigt. Der Bügel und der Kopf inklusive Spiralhalter sowie der Fuß wurden in einem Stück gegossen. Deutlich sind Lunker auf der Bügelunterseite und die porige Gussoberfläche am Bügel zu erkennen (Taf. 85,3.4; 86,2.3). Auch der Nadelhalter (Taf. 85,5.6) wurde mitgegossen, aber vermutlich nachgeschmiedet. Der zweite Teil der Fibel besteht aus der Spirale mit oberer Sehne, der Spiralachse und der Nadel. Durch die Spirale wurde ein Achsenstift gezogen und an den durchlochten seitlichen Achshaltern der Hülse durchgesteckt (Taf. 86,4.5; 87,1-4). Die beiden Enden sind jeweils mit einem halbkugelförmigen Endknopf versehen. Ein Endknopf ist durchbruchsfrei mit dem Achsenstift verbunden, während der andere mit einer durchgehenden Lochung auf den Stift gesetzt und anschließend durch ein Stauchnieten des Stiftendes arretiert wurde. Knopflochung und Stiftende sind (mittlerweile?) nicht sonderlich passgenau, so dass der Endknopf locker sitzt. Zusätzlich ist auf dieser Seite der Fibel der Achshalter gebrochen (Taf. 87,2.4). An dem Achsenstift sind teilweise Verrostungsspuren zu sehen, welche die Vermutung nahe legen, dass er aus Eisen angefertigt wurde.

Die Verzierungen am Nadelhalter wurden - im Gegensatz zu den älteren Varianten der Doppelknopffibeln mit rahmen- bzw. siebförmig durchbrochenen Nadelhaltern - punziert. Die Musterverzierungen an diesem sowie auch am Bügel und am Kopf wurden mit Hilfe ein- und derselben Musterpunze eingearbeitet (Taf. 85,6; 86,1.2). Ob sich die abgerundeten Kanten der Verzierungen allein auf eine Abnutzung durch den Gebrauch zurückführen lassen, oder ob es sich um mitgegossene Verzierungen handelt, kann nicht sicher entschieden werden. Die vereinzelt sichtbare raue Oberfläche in den Vertiefungen der Muster auf dem Bügel und dem Kopf lassen jedoch annehmen, dass diese Verzierungen bereits im Gussmodell angefertigt worden sind.

Die erstaunliche Übereinstimmung des Punzmusters mit dem Abdruck einer Musterpunze auf den Kolbenarmringen aus Regensburg-Kumpfmühl wurde bereits angesprochen (siehe Kap. 4.4.1 Abb. 17; Kap. 5.2.2.3), eine Herstellung der Doppelknopffibel lange vor ihrer Deponierung liegt damit nahe.

Die Fibel weist eine antike Reparatur eines Achshalters auf, welche jedoch noch ein zweites Mal gebrochen ist, so dass sie zum Zeitpunkt ihrer Niederlegung nicht mehr in Gebrauch gewesen sein dürfte.

Der innenseitige Achshalter ist gebrochen und zeigt an der Bruchstelle mittig einen Einzug, bei dem es sich um die Hälfte eines ursprünglichen Achsloches handeln muss (Taf. 87,2). Die Achse ist nur noch über den außenseitigen Achshalter (Taf. 87,1) mit dem Fibelkörper verbunden und die Achs-/Spiralkonstruktion sitzt schräg geneigt am Fibelkopf (Taf. 86,4.5). An der beschädigten Seite befindet sich zwischen dem Endknopf und der Spirale ein auf die Achse aufgesteckter Metallstreifen (Taf. 87,4), welcher schmaler und dünner als der erhaltene

Achshalter der Außenseite ist. Seine nach vorne gerichtete Schmalfläche ist rauer und gröber als die Vorderkante des intakten Achshalters, weshalb es sich hier um ein nachträglich hinzugefügtes Reparaturstück handeln muss. Der innenseitige Endknopf ist über eine Lochung auf die Achse aufgeschoben und wird durch das gestauchte Ende der Achse gehalten. Dabei ist die Lochung des Endknopfes auf der flachen Unterseite nicht mittig angebracht, sondern an den Rand verschoben (Taf. 87,3). Die Austrittsöffnung liegt wiederum mittig, ist jedoch unregelmäßig rund und deutlich größer als der Achsdurchmesser (Taf. 87,2).

Der Achshalter auf der Innenseite der Fibel war (eventuell durch einen Gussfehler) schwächer dimensioniert als sein Pendant und ist möglicherweise bereits bei der Herstellung der Fibel gebrochen. Dabei könnte der Bruch schon während der Belastung durch das Schmieden und Stauchen des Achsendes beim Arretieren des aufgesteckten Endknopfes aufgetreten sein. Allerdings ist das Brechen des Achshalters im Laufe des Gebrauchs der Fibel ebenfalls nicht auszuschließen. Für die Reparatur musste zunächst das nietkopfartig gestauchte Achsende mit einem Durchhauer durch den Endknopf getrieben werden, wobei der Rand der Lochung des Endknopfes trichterförmig beschädigt worden ist. Nach der Abnahme des Endknopfes wurde ein vorgearbeitetes Reparaturstück als Ersatz an der Fibel angebracht. Aufgrund der handwerklichen Handhabung musste das Reparaturstück etwas länger als der ursprüngliche Achshalter sein, wodurch sich zwangsläufig eine Schrägstellung der Achse und der Spirale ergibt. Das Reparaturstück musste folgend am Achshalterstumpf befestigt werden, vermutlich mithilfe eines thermischen Verbindungsverfahrens und wegen der Achsverkürzung durch die Demontage an der Innenseite des Achshalterrestes. Nach dem Anbringen des neuen Achshalterstückes konnten Spirale und Achse wieder montiert und der Endknopf aufgesteckt werden. Möglicherweise wurde vorher die Lochung an der Unterseite des Endknopfes modifiziert, um die Achsenschräge auszugleichen oder um die Reparaturstelle etwas zu kaschieren. Zum Abschluss der Reparatur wurde der Endknopf durch Schmieden und Stauchen des aus dem Endknopf ragenden Achsendes wieder arretiert.

Die Reparaturstelle ist erneut gebrochen, das Reparaturstück hat sich vom Achshalterstumpf gelöst. Die Ursache für den Bruch des reparierten Achshalters ist nicht eindeutig zu klären. In Frage kommen hier die mechanische Belastung bei der Montage des Endknopfes beim Abschluss der Reparatur, eine nicht ausreichend gelungene Verbindung zwischen dem Reparaturstück und dem Achshalterstumpf oder wiederum ein Gebrauchsschaden. Wenn nicht erst Korrosionsprozesse während der Bodenlagerung die Verbindung geschwächt und die Bergung sowie folgende Reinigungsmaßnahmen zum Brechen der Reparaturstelle geführt haben, war die Fibel sicher nicht mehr funktionstüchtig als sie in den Boden kam.

5.3.2.5 Kniefibeln

Weitere Fibelformen, welche innerhalb der provinzialrömischen Fibelproduktion aus Silber angefertigt wurden, gehören zu den Kniefibeln und den kräftig profilierten Fibeln und stammen aus dem norisch-pannonischen Raum. Silberne Ausfertigungen der kräftig profilierten Fibeln

sind vor allem aus Depotfunden bekannt, wie etwa ein zusammen mit den oben erwähnten Flügelfibeln, der Doppelknopffibel und der Omegafibel deponiertes Exemplar aus Bruck von der Glocknerstraße (Flügel u. a. 2000, 426 Kat. 224 b) oder ein anderes Exemplar vom östlichen Dachsteinplateau in den Ostalpen (Gleirscher 2006, 26 Abb. 2,1).

Eine Variante aus der großen Gruppe der ab der zweiten Hälfte des 2. Jhs. n. Chr. beliebten Kniefibeln stammt aus einem kleinen Depotfund von Waging am See (Kat. 46,1; Taf. 162,1.2). Diese stellt eine Sonderform dar, welche von J. Garbsch (1991, 1) in die erste Hälfte des 3. Jhs. datiert wurde. Die besten Vergleichsstücke dieser Form sind aus dem norisch-pannonischen Raum bekannt, wie etwa aus *Lauriacum* in Oberösterreich und *Carnuntum* in Niederösterreich (Riha 1979, 110).

Die Fibel wurde inklusive des Nadelhalters und der Spiralhülse in einem Stück gegossen. Deutliche Lunker und Warmrisse sind vor allem an der Spiralhülse und auf der gesamten Fibelunterseite zu erkennen (Taf. 162,3.4). Aber auch an anderen Bereichen der Fibel, beispielsweise an der Nadelrast, wurde die Gussoberfläche nur geringfügig überschliffen und poliert (Taf. 163,2). Zu den wenigen Nacharbeiten nach dem Gießen gehört das punzierte Dekor in Form einer Wolfszahnverzierung an den seitlichen und oberen Rändern des Bügels (Taf. 162,5.6). Die scharfkantig V-förmigen Kerben deuten dabei auf ein Punzieren nach dem Guss. Die Spirale und die Nadel wurden geschmiedet und über eine Spiralachse in der Hülse befestigt. Die Spirale ist an einer Stelle gebrochen (Taf. 162,3), so dass die Fibel zum Zeitpunkt ihrer Deponierung nicht mehr funktionstüchtig gewesen sein kann.

Andere norisch-pannonische Varianten der Kniefibeln mit Spiralhülse aus Silber sind beispielsweise aus *Lauriacum* in Oberösterreich bekannt, in einem Fall ebenfalls mit einer randlichen Wolfszahnverzierung (Jobst 1973, 79 ff.).

Das Material Silber zur Herstellung provinzialrömischer Fibeln wurde vorwiegend in Regionen verwendet, in welchen dieses Edelmetall ohnehin häufig in der Schmuckherstellung genutzt wurde, wie in den raetisch-obergermanischen und norisch-pannonischen Provinzen.

Die meisten provinzialrömischen Silberfibeln wurden mit denselben formgebenden Techniken hergestellt, wie sie für die entsprechenden Formtypen aus Buntmetall angewandt wurden. Unterschiede sind lediglich in einer meist reicheren und aufwändigeren Verzierung der Stücke aus Silber zu verzeichnen, so dass diese als Sonderanfertigungen und, wie es vor allem die reichverzierten Omegafibeln zeigen, durchaus als Prunkstücke anzusehen sind. Ähnlich wie dies bereits für die latènezeitlichen Silberfibeln festgestellt werden konnte, wurden auch in der provinzialrömischen Fibelproduktion keine von der Buntmetallverarbeitung abweichenden Techniken zur Formgebung der Silberfibeln angewandt. Die Nutzung von Löttechniken an einzelnen Exemplaren verweist jedoch auf die Kenntnis spezieller Techniken, wie sie nur aus der gleichzeitigen Goldverarbeitung bekannt gewesen sein können. Darüber hinaus wurden in der Kaiserzeit auch Fibelformen ausschließlich aus Silber hergestellt, wie die Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach, die sich vornehmlich durch ihre aufwändigen Dekorformen gegenüber anderen Scheibenfibelvarianten aus Buntmetall absetzen.

5.4 Ketten

Eine Kette besteht definitionsgemäß aus aneinandergereihten, beweglich miteinander verbundenen Elementen (Brepohl 2000, 251). Alle in der vorliegenden Arbeit untersuchten Schmuck- oder Zierketten sind aus ineinandergehängten Drahtgliedern aufgebaut. Damit ist die Herstellung von Draht der erste Schritt in der Anfertigung dieser Ketten. Die dafür verwendeten feinen Drähte mit einer Stärke von 0,3 bis 1,2 mm zeigen meist schon mit bloßem Auge erkennbare Spuren ihrer Herstellung. Bei allen hier untersuchten Funden ist eine einzelne spiralförmig umlaufende "Fuge" bezeichnend für das Verfahren des "strip-twisting", wie es in Kap. 4.2.3 zur Anfertigung von Draht durch Verdrehen eines Blechstreifens beschrieben wurde.

Zwei Formtypen sind im Rahmen der technischen Betrachtung von Silberschmuck des hier relevanten Untersuchungszeitraumes vorrangig von Interesse: die sogenannte Stabgliederkette und insbesondere die unterschiedlichen Ausführungen der sogenannten Fuchsschwanzkette.

5.4.1 Stabgliederketten

Die als Stabgliederkette bezeichnete Kettenform besteht aus langgestreckten, starren Drahtgliedern mit jeweils einer Öse an den Enden. Diese Kettenform wurde bereits in der Latènezeit aus Buntmetall hergestellt, wobei sie dort vor allem im funktionalen Kontext der Schwertaufhängung steht (vgl. Schönfelder 1998, 86). Aus Edelmetall angefertigt und mit aufgeschobenen Perlen versehen kommt sie ausschließlich im provinzialrömischen Fundspektrum vor.

Zwei Fragmente einer solchen Stabgliederkette aus Silber stammen aus dem in den 30er Jahren des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Rembrechts (Kat. 33,13.14; Taf. 133,1-4). Die Form dieser 3,3 bis 3,8 cm langen Kettenglieder wurde aus einem ca. 1 mm starken Stück Draht gebogen, der doppelt gewickelt wurde. Vor dem Ausführen der Drahtwicklungen wurde eine Perle in die Mitte aufgeschoben. Der Draht wurde dann zunächst auf einer Seite zu einer doppelten Öse gebogen und bis zur Perle gewickelt. Bevor die Wicklung auf der anderen Seite in gleicher Weise ausgeführt wurde, musste der Draht für das nächste Kettenglied durch die vorbereitete Öse gefädelt werden. Dasselbe Prinzip findet sich an Bronze- und Goldketten dieses in allen Provinzen verbreiteten Kettentyps wieder (Riha 1990, 76), darunter auch an einer Goldkette, die im Randbereich des Vicus von Aalen in Baden-Württemberg gefunden wurde (Raub 1977). Die Konstruktion dieser Kettenglieder kommt im Gegensatz zu der im Folgenden ausführlich zu erörternden Fuchsschwanzkettentechnik ohne eine thermische Verbindungstechnik aus.

5.4.2 Fuchsschwanzketten

Bevor die untersuchten Beispiele von Fuchsschwanzketten im Einzelnen behandelt werden, soll zunächst das Konstruktionsprinzip der Fuchsschwanzkette veranschaulicht werden (Abb. 41), um die nachfolgenden Ausführungen verständlich zu machen.

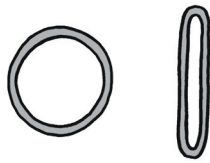
Eine Fuchsschwanzkette wird aus geschlossenen Drahttringen hergestellt, die zunächst mit zwei Dornen zu einer länglichen Schlinge geformt werden (Abb. 41,1). Die Schlinge wird schaukelförmig gebogen, wodurch ein erstes Kettenglied entsteht.

Bei der einfachen Fuchsschwanzkette wird eine nächste Schlinge durch die erste schaukelförmige Schlinge gefädelt und ebenfalls schaukelförmig gebogen. In gleicher Weise wird folgend Schlinge um Schlinge eingefädelt und gebogen (Abb. 41,2).

Die klassische oder doppelte Fuchsschwanzkette erfordert bei gleicher Länge dagegen deutlich mehr Kettenglieder. Bei dieser Ausführung wird die dritte Schlinge sowohl in die erste als auch in die zweite eingehängt. Es müssen also immer zwei Schlingen in eine eingefädelt werden (Abb. 41,3).

Noch aufwändiger ist die mehrfache Fuchsschwanzkette, die aus einem Anfangsglied mit mehreren Schlingen angefertigt wird. Dazu werden entweder mehrere Schlingen kreuzweise übereinandergelegt bevor sie umgebogen werden (Abb. 41,4a) oder eine Schlinge wird mit mehreren Schlaufen geformt (Abb. 41,4b). Die erste Variante ist noch eine direkte Weiterführung der einfachen und klassischen Fuchsschwanzkette, indem die nächsten Schlingen folgend wieder eingefädelt werden, jedoch in überkreuzter Abfolge. Bei der zweiten Variante wird das jeweils nächste Glied gegenläufig eingefädelt und die einzelnen Schlaufen zurückgebogen. Die gleichmäßige Formung der Schlingen mit mehreren Schlaufen ist ohne einen Faulenzer nicht möglich.

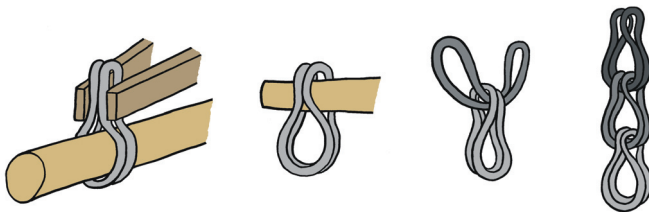
Die komplexeren Formen wurden in der älteren Forschung meist irrtümlich als geflochtene oder gestrickte Ketten bezeichnet. Allen Varianten der Fuchsschwanzkette ist gemeinsam, dass die zugrundeliegenden Drahttringe bereits vor dem Ineinanderhängen der Kettenglieder geschlossen werden.



1: Geschlossener Drahttring und Schlinge als Ausgangsformen



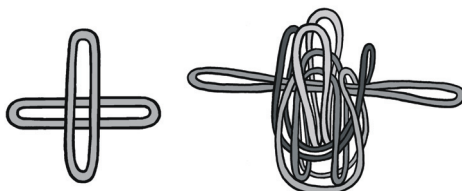
2a: Einfache Variante der einfachen Fuchsschwanzkette



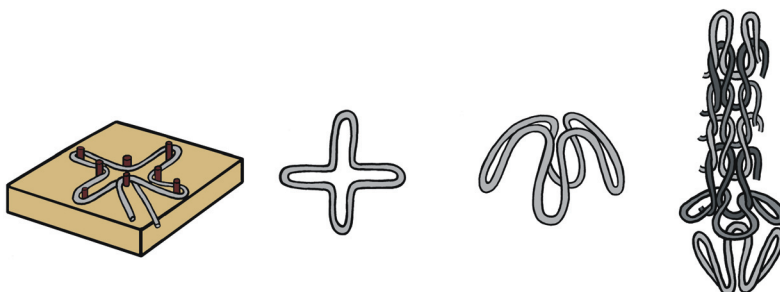
2b: Achterförmige Variante der einfachen Fuchsschwanzkette



3: Klassische Fuchsschwanzkette



4a: Variante der mehrfachen Fuchsschwanzkette
Anfangsglied aus sich kreuzenden Schlingen
(in diesem Beispiel 2)



4b: Variante der mehrfachen
Fuchsschwanzkette
Anfangsglied aus
Schlinge mit mehreren
Schlaufen
(in diesem Beispiel 4)

Abb. 41: Konstruktionsschemata der verschiedenen Varianten einer Fuchsschwanzkette (Umzeichnungen nach Higgins 1980, 17 Abb. 3; Untracht 1985, 192; Brepohl 2000, 255 Abb. 5.86; 256 Abb. 5.87 sowie nach eigenen Fotos).

5.4.2.1 Ketten der vorrömischen Eisenzeit

Obgleich selten, ist die Fuchsschwanzkette dennoch der einzige Kettentyp, welcher in Silber angefertigt in latènezeitlichen Fundkontexten auftritt. Eine Zusammenstellung der seit der Hallstattzeit im vorgeschichtlichen Mitteleuropa anzutreffenden Fuchsschwanzketten erfolgte unlängst durch M. Schönfelder (1998). Während die wenigen Fuchsschwanzketten aus Silber und Gold in Mitteleuropa als Fremdgut gelten, zählen sie im mediterranen Kulturraum zum gängigen Schmuckrepertoire. Vor allem die klassische Fuchsschwanzkette ist sowohl im griechischen als auch im etruskischen Goldschmiedehandwerk ein geläufiger Typ (z. B. Williams u. Ogden 1994, 26; Cristofani u. Martelli 1983, 323). Eines der prächtigsten Exemplare einer einfachen Fuchsschwanzkette ist eine hellenistische Kette mit sich abwechselnden Kettengliedern aus Gold und Granat aus einem Tarentiner Fundkomplex (Formigli u. Heilmeyer 1990, 44 ff.; Platz-Horster 2001, 70).

Silber wurde zur Anfertigung sowohl einfacher als auch klassischer Fuchsschwanzketten besonders in Regionen auf dem Balkan und im Karpatenraum verwendet. Zum einen sind klassische silberne Fuchsschwanzketten bei den Illyrern im direkten Einflussbereich griechischer Werkstätten bereits im 5. Jh. v. Chr. beliebt (Kat. Silber Illyrer 2004, 100 Nr. 96). Zum anderen ist für den dakischen Kulturraum innerhalb der Karpaten eine lokale Produktion von einfachen Fuchsschwanzketten mit ca. 1,5 cm großen Kettengliedern belegt, wo diese Ketten zusammen mit Knoten- und Schildfibeln in Silberschatzfunden des 2. Jhs. v. Chr. vorkommen (Horedt 1973, 137; Kat. Daker 1980, 41 Abb. 20)¹²⁰. Aber auch die klassischen Fuchsschwanzketten treten gehäuft in den dakischen Silberschatzfunden der Spätlatènezeit auf, vorwiegend im Zusammenhang mit bereits in eine fortgeschrittene Phase zu stellenden Löffelfibeln (Krämer 1971, 124; Horedt 1973, 137).

Auf dem Balkan und im Karpatenraum gilt speziell Silber als das in der gesamten Schmuckherstellung bevorzugte Edelmetall; die Fuchsschwanzketten fanden dort sowohl in Form von Halsketten als auch als Fibelkettchen Verwendung.

Den Untersuchungen von M. Schönfelder (1998) zufolge kann man für Mitteleuropa frühestens ab der Frühlatènezeit von einer Produktion einfacher Fuchsschwanzketten ausgehen, erst ab der späten Latènezeit sind auch klassische und mehrfache Formen hinzu gekommen. Während die Konstruktion einfacher Ankerketten aus runden, offenen Gliedern aus Bronze und Eisen bekannt und üblich war, wurde die Technik der Fuchsschwanzketten für Zierketten aus Gold und Silber aus der mediterranen Goldschmiedetechnik übernommen (ebd. 83). Dagegen wurden einfache Fuchsschwanzketten aus unedlen Metallen als Schwertketten in einer kurzen Phase der "keltischen Wanderungen" (LT B2) in geringer Stückzahl produziert. Aber auch hier wird hervorgehoben, dass erst der Kontakt mit Südfrankreich, Italien und den hellenisierten Kulturen des Balkans zur Übernahme der Fuchsschwanztechnik geführt hat (ebd. 84). Die Zierketten aus Gold und Silber fanden in der Frühlatènezeit vorwiegend als Halsschmuck, in der Spätlatènezeit bevorzugt als Fibelkettchen Verwendung.

¹²⁰ Bei K. Horedt wurde diese einfache Form noch als Gliederkette von der Fuchsschwanzkette unterschieden.

Da die Goldkette aus dem hallstattzeitlichen Wagengrab von Ins-Grossholz als ältester Beleg einer klassischen Fuchsschwanzkette in Mitteleuropa gilt, wurde sie vergleichend untersucht (Kat. 13; Taf. 33). Das Grab wird in die Spätphase der Stufe Ha C eingeordnet, für die Kette ist aufgrund der Granulationsverzierung des zugehörigen kugelförmigen Anhängers aus Gold eine mediterrane Herkunft zu vermuten (siehe Kap. 5.5.1). Die einzelnen Glieder dieser äußerst sorgfältig hergestellten Kette sind lediglich ca. 2,5 mm lang und weisen eine Drahtstärke von 0,3 - 0,4 mm auf. Die von M. Schönfelder (1998, 80) als verlötet angesprochenen Drahtringe zeigen deutlich verdickte Verbindungsbereiche, welche vielmehr auf ein Schmelzschweißen zum Schließen der Drahtringe hindeuten (Taf. 33,3.4).

Die beiden ca. 13 cm langen Silberkettchen aus dem frühlatènezeitlichen Nebengrab des Kleinaspergle (Kat. 2; Taf. 2; 3), welche in der Nähe zweier Trinkhornendbeschläge gefunden wurden, sind als einfache Fuchsschwanzketten konstruiert. Die Länge und die Drahtstärke der Kettenglieder sind vergleichbar mit der Goldkette aus Ins. Auch das Erscheinungsbild der Verbindungsstellen am Draht weist entsprechend auf ein Verschweißen überlappender Drahtenden hin (Taf. 2,3.5.6; 3,5.6). Gezielte Metallanalysen, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit an den Ketten aus dem Kleinaspergle im FEM Schwäbisch Gmünd durchgeführt wurden, ergaben, dass die Silberlegierung der Verbindungsbereiche nicht nennenswert von der anderer Drahtbereiche abweicht. Dies bedeutet, dass hier tatsächlich kein Lot zum Einsatz kam, sondern die Drahttringenden über eine Schweißverbindung geschlossen wurden.

An jeweils einem Ende der Kettchen ist ein Querstift aus Bronze mit zwei beweglich eingehängten, ebenfalls bronzenen Nietstiften befestigt, wobei einer der Nietstifte fehlt (Taf. 2,2; 3,2.3). Die Funktion der Nietstifte ist sicher in der Befestigung der Kettchen an einem nicht erhaltenen Objekt aus organischen Material zu suchen.

W. Kimmig (1988, 200) wies den beiden Kettchen eine Funktion zum Aufhängen der Trinkhörner zu. Dabei sollen die Endösen der Ketten mit den Ösen an den Tierkopfbenden der Trinkhornendbeschläge verbunden gewesen sein, während die Nietvorrichtungen an den entgegengesetzten Kettenenden an einem verlorengegangenen Ledergürtel befestigt waren. Angesichts der filigranen Konstruktion der Ketten erscheint eine Funktion als Trinkhornaufhängung allerdings unwahrscheinlich.

Dagegen zieht D. Krause (1996, 192) eine Funktion der Kettchen zur Befestigung von Holzdeckeln an den Trinkhörnern in Betracht. Sollten die beiden Silberkettchen tatsächlich zum Trinkhornzubehör gehören, ist diese Interpretation durchaus plausibel.

Darüber hinaus sind die filigranen Kettchen aber auch als reine Zierbestandteile denkbar, beispielsweise für ein Ziergehänge, vergleichbar einer Rekonstruktion von D. Krause (ebd. 74) für ein Knochenperlengehänge an der Spitze des Eisentrinkhorns aus dem späthallstattzeitlichen Grab von Hochdorf oder einem rekonstruierten Trinkhorngehänge aus dem Zentralgrab von Kappel a. Rh. (Dehn u. a. 2005, 187 ff. mit Taf. 37).

Aufgrund der Zusammengehörigkeit mit den der keltischen Handwerkskunst zugewiesenen Trinkhornbeschlägen spricht sich M. Schönfelder (1998, 81) dafür aus, dass es sich bei den

beiden Kettchen aus dem Kleinaspergle um die ersten einheimischen Fuchsschwanzketten handeln könnte. Da die Gestaltung der Endbeschläge mit den Widderkopfbenden auf einen mediterranen Einfluss deutet, könnten seines Erachtens auch die Kettchen "eine keltische Kopie der mediterranen Kettentechnik" darstellen. Geht man mit D. Krause (1996, 191) davon aus, dass die Widderkopfbenden auf tarentinische oder mittelitalische Vorbilder zurückgehen, ist auch für die Kettchen zumindest eine Beeinflussung oder sogar die Herkunft aus einer Werkstatt innerhalb dieser Kulturmilieus vorstellbar. Allerdings fällt auf, dass gerade im 5. Jh. v. Chr. die meisten Fuchsschwanzketten aus Silber aus dem illyrischen sowie nordgriechischen, thrakischen Kulturbereich stammen (z. B. Williams u. Ogden 1994, 53).

Eine keltische Herstellung der beiden Silberkettchen aus dem Kleinaspergle bleibt meines Erachtens aufgrund der für die im frühlatènezeitlichen Südwestdeutschland unüblichen Technik jedenfalls weiterhin in Frage zu stellen.

Für eine silberne Fuchsschwanzkette aus dem frühlatènezeitlichen Frauengrab 54 des Gräberfeldes von Pottenbrunn in Niederösterreich (vgl. Kap. 5.5.1; siehe Foto bei Neugebauer 1991, 297) scheint eine keltische Herstellung wahrscheinlicher. Diese Kette wurde durch P. C. Ramsel (2002, 362) im Rahmen der Gesamtbearbeitung des Gräberfeldes untersucht. Dabei ließ der Draht der Kette im Querschnitt erkennen, dass er "innen aus rötlichem Material besteht, das von einer dünnen Schicht in silberner Farbe umgeben ist". Seiner Beschreibung und den publizierten Mikroskopaufnahmen ist zu entnehmen, dass es sich offensichtlich um versilbertes Buntmetall handelt, wobei die Silberschicht an einzelnen Stellen abgeplatzt erscheint. Das von ihm publizierte Spektrum einer EDX-Analyse (ebd. 364 Abb. 13) lässt eine Messung auf der Oberfläche des Drahtes erkennen, welche auf ein fast reines Silber in der äußersten Schicht deutet. Die in derselben Publikation veröffentlichten quantitativen Analyseergebnisse von J. P. Northover (2002, 258) weisen wiederum auf eine Kupfer-Zinn-Legierung am Draht hin.

Die angewandte Methode zur Versilberung des Drahtes wird von P. C. Ramsel leider nicht kommentiert, der geschilderte Aufbau lässt jedoch vermuten, dass es sich um ein Beschichtungsverfahren handelt. Ähnlich wie für den zugehörigen - ebenfalls versilberten - Anhänger, für welchen eine Diffusionsbindung von Silberfolie als wahrscheinlich angesehen wird (siehe Kap. 5.5.1), würde man zunächst ebenfalls von einer Versilberung vor dem thermischen Verbinden der Drahtenden ausgehen. Gegen diese Abfolge spricht jedoch, dass die Silberschicht - nach der bei P. C. Ramsel (2002, 363 Abb. 5) publizierten REM-Aufnahme zu urteilen - über die Verbindungsstelle hinweg verläuft. Für eine Versilberung nach dem Schließen der Drahtringe erscheint lediglich das Aufschmelzen einer Silber-Kupfer-Legierung mit folgender Oberflächenanreicherung als denkbare Möglichkeit (siehe Kap. 4.4.6). Ohne weitergehende Untersuchungen ist eine genauere Aussage zur angewandten Versilberungstechnik allerdings nicht möglich.

Im Zusammenhang mit den technischen Untersuchungen zur Konstruktion der Fuchsschwanzketten ist vor allem die Frage nach der angewandten Verbindungstechnik zum

Schließen der Drahtösen von Interesse. An der Kette aus Pottenbrunn ergaben nach P. C. Ramsel (2002, 362) "Messungen mit der RFA-Methode an einem Anschliff von Draht und einer Lötperle [...] hohe Werte von Ag und Cu". Er zieht daraufhin die Schlussfolgerung, dass die Kettenglieder jeweils mit einem Silberlot zusammengelötet worden sein könnten. Diese knapp gehaltene Feststellung lässt leider die Frage nach den einzelnen Messpunkten und der Höhe der gemessenen Werte offen. Weder über das publizierte Spektrum noch über die quantitativen Messergebnisse lässt sich diese Annahme nachvollziehen. Die Daten einer Messung an einer Verbindungsstelle werden nicht explizit angegeben. Aufgrund des optischen Erscheinungsbildes der Verbindungsstelle (ebd. 363 Abb. 4; 5) lässt sich jedoch meines Erachtens auch eine Schweißverbindung der Bronzedrahtenden nicht ausschließen. Zudem wäre dadurch jede thermische Art von Versilberung nachfolgend vereinfacht worden.

Die Kette aus Pottenbrunn wurde in den früheren Publikationen fälschlicherweise als einfache Fuchsschwanzkette interpretiert, erst neuerdings wurde ihre Konstruktion als klassische Fuchsschwanzkette richtiggestellt (Ramsel 2002, 64). Damit stellt sie in Mitteleuropa den vermutlich ältesten Vertreter dieser Form in Verbindung mit dem Material Silber dar. Der zugehörige aus zwei getriebenen und ziselierten Hohlblechen hergestellte Anhänger kann aufgrund seiner Form und seiner Ornamentik als keltische Produktion angesehen werden (vgl. Kap. 5.5.1). Da offensichtlich sowohl die Perle als auch die Kette aus versilbertem Buntmetall bestehen, liegt eine gemeinsame Produktion von Anhänger und Kette nahe. Diese Materialkombination stellt nach dem derzeitigen Forschungsstand eine singuläre technische Besonderheit unter allen untersuchten Ketten dar und hebt das Exemplar aus Pottenbrunn als völlig einzigartiges Fundstück hervor. Trotz der gestörten Befundsituation zeigt die Fundlage, dass die Tote dieses Schmuckstück um den Hals trug (Ramsel 2002, 32 f. mit Abb. 22; 140). Mit einer Länge von lediglich 28 cm (zuzüglich ca. 3 cm durch den Anhänger) ist die Kette von der Bestatteten jedoch sicher nicht zu Lebzeiten getragen worden, da sie sich in den Hals eingeschnürt hätte. Die Kette wurde - den Zeichnungen nach zu urteilen - nur über eine letzte Öse im Blech des Anhängers befestigt (ebd. 363 Abb. 8; 364 Abb. 10) und besaß damit keinen Verschluss, der ein häufiges Anlegen und Abnehmen des Schmuckstücks ermöglichte. Vielmehr kann man von einem einmaligen Gebrauch ausgehen. Unter der Voraussetzung, dass die Kette vollständig ist und es sich nicht um ein Schmuckstück "aus Kindertagen" handelt, entsteht dadurch der Eindruck eines speziell für die Bestattung hergestellten und postmortal angelegten Totenschmucks.

Häufiger sind Fuchsschwanzketten aus Silber im vorgeschichtlichen Mitteleuropa erst ab der Spätlatènezeit bekannt (so auch Schönfelder 1998, 81). Im Gegensatz zu der zuvor vorrangigen Verwendung als Halsketten sind sie in der ausgehenden Latènezeit vor allem als Verbindungskettchen von Fibelpaaren in Gebrauch.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte das die beiden Silberfibeln aus dem Depotfund von Lauterach verbindende Kettchen (Kat. 18,5; Taf. 45) untersucht werden, welches als einfache Fuchsschwanzkette konstruiert ist. Dessen Kettenglieder sind mit einer durchschnittlichen

Länge von 3,5 mm und einer Drahtstärke von 0,3 bis 0,4 mm vergleichbar mit denen der älteren Funde. Die Verbindungsstellen der Ösen sind an den Kettengliedern kaum sichtbar, was zunächst auf mit metallischem Lot gelötete Fugen deuten würde. Vereinzelt sichtbare, überlappend verdickte Drahtstellen (Taf. 45,3) sind jedoch auch an diesem Exemplar Hinweise auf die Anwendung eines Schweißverfahrens. Das Kettchen wurde über zwei massiv ausgeschmiedete Drahttringchen an den beiden Fibeln befestigt, wobei die Ringe lediglich zusammengebogen und nicht thermisch verbunden wurden.

Fuchsschwanzketten in Verbindung mit Silberfibelpaaren der Spätlatènezeit und der frühen Kaiserzeit sind nicht nur aus den anfangs bereits erwähnten dakischen Fundkomplexen bekannt. Während - vermutlich einfache - Fuchsschwanzketten aus Silber im Zusammenhang mit zwei Fibelpaaren aus Great Chesterford, Großbritannien (Krämer 1971, Taf. 24), an ihrem Fundort Ausnahmen darstellen, nehmen die gleich an mehreren Fibeln aus den Gräberfeldern von Ornavasso in Norditalien stammenden Exemplare (Graue 1973, Taf. 16,6; 21,6; 46,7; 63,2) bereits keine Sonderstellung mehr ein.

Auch klassische Fuchsschwanzketten aus Silber wurden als Verbindungskettchen von Fibeln genutzt, wie beispielsweise an zwei frühaugusteischen Flügelfibeln aus dem Heiligtum auf der Pillerhöhe in Tirol (Tschurtschentaler u. Wein 1996, 24 f. mit Abb. 14,1-2; Schönfelder 1998, 81)¹²¹.

Eine mehrfache Fuchsschwanzkette aus Silber stammt - zusammen mit einer Silberfibel, zwei Bronzefibeln und zwei Bronzeringchen - aus einem Depotfund von Le Câtillon de Haut auf der britischen Kanalinsel Jersey (Krämer 1971, 121 Abb. 4,6). Die Größe verweist hier jedoch auf das Fragment einer Halskette (ebd. 127). Ähnlichkeiten der Silberfibeln aus Großbritannien zu einer ebenfalls aus Silber bestehenden Fibel aus Ornavasso haben für die britischen Funde eine Herkunft aus Norditalien annehmen lassen (Krämer 1971, 127). Eine ausschließlich norditalische Herstellung der silbernen Fuchsschwanzketten in spätlatène- und frühkaiserzeitlichen Fundzusammenhängen lässt sich daraus freilich nicht folgern.

5.4.2.2 Provinzialrömische Ketten

Auch unter den provinzialrömischen Ketten der Kaiserzeit ist die Fuchsschwanzkette der häufigste aus Silber angefertigte Typ. Es kommen sowohl einfache, als auch klassische und mehrfache Varianten vor. Alle einfachen Fuchsschwanzketten sind der "achterförmigen" Variante zuzuordnen (vgl. Abb. 41,2b). Die stark in Form einer gedrehten Acht ausgeprägten, 1 bis 2 cm langen Kettenglieder sind besonders für die römische Zeit bezeichnend. Die einzelnen Drahtglieder zeigen deutliche Verbindungsstellen mit dem Erscheinungsbild von Schweißperlen.

¹²¹ Sowohl die publizierten Zeichnungen als auch die Beschreibung von H. Schönfelder verweisen darauf, dass es sich um Reste klassischer Fuchsschwanzketten handelt, die jeweils über zwei offene Ringe und einen Zierniet an der Sehne befestigt wurden.

Eine einfache Fuchsschwanzkette ist aus einem vermuteten kleinen Depotfund innerhalb des Gräberfeldareals von Regensburg (Kat. 30,3; Taf. 102) bekannt. Die Verdickungen am Draht als Hinweis auf Schweißverbindungen sind - im Gegensatz zu den untersuchten vorrömischen Ketten - bereits mit bloßem Auge sehr deutlich zu erkennen (Taf. 102,4.5).

Mit den beiden einfachen Fuchsschwanzketten aus dem 1989 geborgenen Schatzfund von Regensburg-Kumpfmühl sind zwei vollständig erhaltene Ketten mit Schließösen und Endhaken des 2. Jhs. n. Chr. dokumentiert (Kat. 32,1.2; Taf. 105; 106). An beiden Ketten sind Eindellungen an den Seiten der Kettenglieder zu erkennen, welche das jeweils benachbarte Glied durch das Tragen verursacht hat (Taf. 105,4). Die aus Endhaken und Schließösen bestehenden Verschlusssteile sind jeweils aus einem Drahtstück gebogen. In Längsrichtung verlaufende einzelne Drahtfalten sowie facettenförmige Schlagspuren (Taf. 106,4) weisen auf die Herstellung des Drahtes für die Verschlusssteile aus einem massiv geschmiedetem Vorprodukt hin.

Fast alle Kettenglieder weisen deutliche, aber im hängenden Zustand verdeckte Schweißperlen auf. Diese sind an Kette 1 (Taf. 105,5) sehr fein und teilweise unauffällig, an Kette 2 (Taf. 106,5) dagegen wesentlich gröber. An Kette 2 verweisen einzelne deformierte und unvollständige Kettenglieder sowie ihre uneinheitliche Länge und Drahtstärke ebenfalls auf eine nachlässigere Ausführung als an Kette 1. Darüber hinaus sind an Kette 2 einzelne Kettenglieder an den Verbindungsstellen aufgegangen, während die Schweißverbindungen an Kette 1 offensichtlich stabiler durchgeführt worden sind. Auch ist an Kette 2 selbst im hängenden Zustand eine Schweißperle sichtbar. Die Beobachtung dieser kleineren Ausführungsunterschiede lässt darauf schließen, dass die beiden Ketten nicht gemeinsam hergestellt wurden.

Weitere untersuchte Fragmente von Fuchsschwanzketten stammen aus dem im ersten Drittel des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Rembrechts.

Dazu gehören die elf erhaltenen Kettenglieder einer einfachen Fuchsschwanzkette (Kat. 33,12; Taf. 132) die jeweils eine durchschnittliche Länge von gut 1 cm aufweisen. Bemerkenswert sind nicht nur die bereits in Augenschein tretenden Ungleichmäßigkeiten in Größe und Form der Kettenglieder sowie dem Erscheinungsbild der Verbindungsstellen (Taf. 132,2.3), sondern auch eine Verwendung unterschiedlicher Legierungen. Am FEM in Schwäbisch Gmünd durchgeführte Analysen ergaben sowohl Legierungen mit einem Gehalt von 56 - 57 % Ag als auch von 71,5 % Ag. Die Verbindungsstelle am Draht des letztgenannten Kettengliedes verweist mit 69,4 % Ag auf ein Verschweißen der Drahtenden. Die Schweißstelle erscheint hier besonders grob ausgeführt. Schließt man ein modernes Zusammensetzen der Kettenglieder während oder nach der Auffindung aus, gibt es dennoch weitere Interpretationsmöglichkeiten für die Unterschiedlichkeit der Kettenglieder¹²². Entweder handelt es sich um ein antik

¹²² Der Zeitrahmen während der Durchführung der Metallanalysen ließ nicht zu, dass alle Kettenglieder und alle Verbindungsstellen gemessen wurden, auch wenn das in diesem Fall lohnenswert gewesen wäre. Es sei jedoch ausdrücklich noch einmal darauf hingewiesen, dass die Metallanalysen an den Funden aus dem Landesmuseum

ergänzt Kettenglied, also eine Reparatur der Kette, oder der Handwerker stellte bereits bei der Produktion Drähte aus unterschiedlichem Rohmaterial her.

Das nicht einmal 2 cm lange Fragment einer mehrfachen Fuchsschwanzkette aus Rembrechts (Kat. 33,15; Taf. 133,5) lässt trotz des schlechten Erhaltungszustandes erkennen, dass die Kette aus einem Anfangsglied mit mehreren Schlaufen konstruiert wurde (vgl. Abb. 41,4b). Eine spiralförmig umlaufende "Fuge" am Draht deutet wie an allen anderen Ketten auf das Herstellen des Drahtes aus einem Blechstreifen.

Aus dem ebenfalls in den 30er Jahren des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Wiggensbach stammen eine einfache und drei mehrfache Fuchsschwanzketten (Kat. 47,11-14).

Die zwei Teile einer einfachen Fuchsschwanzkette (Kat. 47,14; Taf. 173,4.5) weisen zusammen eine erhaltene Länge von ca. 35 cm auf. Die Verbindungsstellen an den durchschnittlich 1,2 cm langen Kettengliedern treten auch hier wieder als verdickte Drahtbereiche in Erscheinung, sind jedoch sorgfältig gearbeitet und damit wenig auffallend (Taf. 173,6).

An der mehrfachen Fuchsschwanzkette mit einer erhaltenen Länge von ca. 6 cm (Kat. 47,13; Taf. 173,1-3) sind die Schweißstellen nur vereinzelt sichtbar, die Drahtstärke beträgt hier lediglich ca. 0,5 mm. Die Endhülsen wurden aus einem Blech getrieben und ziseliert sowie über einen Niet mechanisch mit der Kette verbunden. In der heutigen Zusammensetzung wurden die Endhülsen mithilfe moderner Drähte an dem erhaltenen Bereich der Kettenglieder befestigt. Auch der Schließhaken wurde modern angesetzt, obwohl er eindeutig nicht zu dieser Kette gehört haben kann. Am Verlauf der Drahtglieder ist noch deutlicher als an dem vergleichbaren Kettenteil aus Rembrechts (Kat. 33,15; Taf. 133,5) zu erkennen, dass die Kette aus einem Anfangsglied, welches aus einer Schlinge mit mehreren Schlaufen besteht, konstruiert wurde (Abb. 42; vgl. Abb. 41,4b).

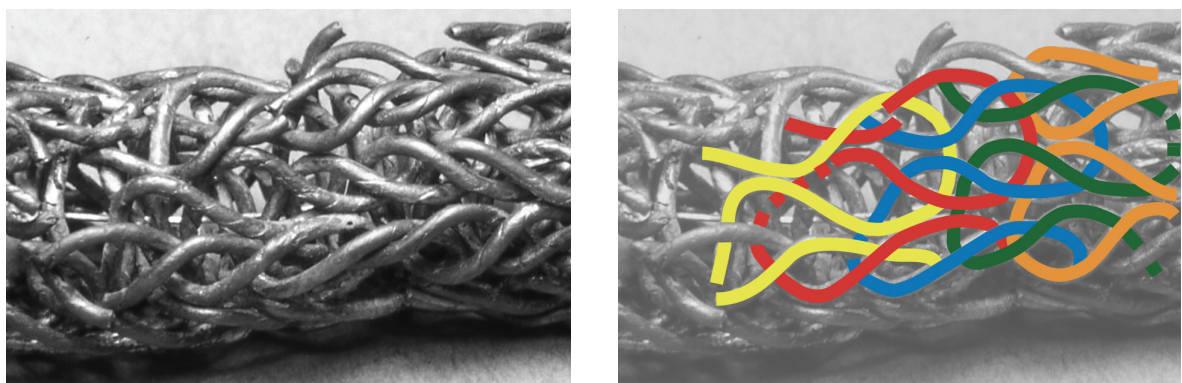


Abb. 42: Ausschnitt der Kette 3 aus Wiggensbach (Kat. 47,13) mit Drahtverlauf einer mehrfachen Fuchsschwanzkette der in Abb. 41 dargestellten Variante 4b.

Die beiden aus Wiggensbach stammenden, mehrfachen Fuchsschwanzketten mit beweglichen Zierhülsen (Kat. 47,11.12; Taf. 171; 172) wurden dagegen möglicherweise aus einem Anfangsglied mit zwei sich überkreuzenden Schlingen angefertigt (vgl. Abb. 41,4a), aufgrund der eng gearbeiteten - vermutlich gestreckten - Kette lässt sich der Verlauf jedoch nicht sicher nachvollziehen. Die jeweiligen Endhülsen wurden aus ziseliertem Blech hergestellt und mit den Drahtgliedern über einen Niet verbunden (Taf. 172,1.2), die eigentlichen Verschlusssteile fehlen. Die Drahtverbindungsstellen sind durch das jeweils nächste Kettenglied verdeckt und dadurch nicht sichtbar.

Die Zierhülsen der beiden Ketten wurden den Endhülsen entsprechend aus einem ziselierten Blech geformt und zur weiteren Verzierung mit Granalien versehen. Die Tatsache, dass sich einzelne Granalien gelöst und einen Negativabdruck hinterlassen haben (Taf. 171,3; 172,5), ist ein Hinweis auf die Verwendung eines Reaktionslotes (vgl. Kap. 4.3.2 Abb. 21). Die Kugelform der Granalien wurde durch das angewandte Lötverfahren nicht beeinträchtigt, aber die Bereiche dazwischen sind deutlich mit einer metallischen Matrix ausgefüllt. Da die Granalien im Kontaktbereich zur Blechhülse und untereinander wie von Lot umhüllt wirken (Taf. 171,5; 172,6), ist hier sicher überbrückendes metallisches Material hinzugefügt worden.

Alle Ketten aus dem Depot von Wiggensbach weisen starke Abnutzungsspuren und fehlende Teile auf. Damit sind sie sicher bereits kurz vor dem Niederlegungszeitpunkt nicht mehr getragen worden.

Die letzten Fallbeispiele für provinzialrömische Silberketten, welche im Rahmen der Arbeit untersucht wurden, stammen aus dem wohl ebenfalls in der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depotfund von Hettingen (Kat. 11,5-7; Taf. 25 - 27). Auch wenn eine detailliertere Funktionszuweisung der einzelnen Kettenteile dieses Depots durch diverse Veränderungen seit ihrer Auffindung erschwert ist, dürften die Ketten in jedem Fall Zierketten darstellen, sei es zur Verbindung von Fibeln oder als Halsketten.

Eine dreiteilige einfache Fuchsschwanzkette erscheint bereits auf einer Abbildung der Erstpublikation in der Zusammensetzung mit der dreiteiligen Blechhülse (Lindenschmit 1860, Taf. 10,1) und ist heute an eine der beiden Scheibenfibeln angehängt (Kat. 11,5; Taf. 25). Sie besteht aus 1,4 - 1,5 cm langen Kettengliedern, die ebenfalls wieder als Schweißperlen zu interpretierende Verbindungsstellen aufweisen. Ein Kettenglied ist hervorzuheben, da an diesem das Schmelzschweißen nicht sehr ausgeprägt erscheint und dadurch deutlich überlappende Drahtenden sichtbar sind (Taf. 25,5). Die dreiteilige Blechhülse (Taf. 25,2.4) wurde aus drei einzelnen ziselierten Blechhülsen zusammengefügt, mit einem weiteren Blech geschlossen und mit einem Schließhaken versehen. Die Einzelteile wurden vermutlich mittels eines Lötvorgangs verbunden. Die Ketten wurden über die letzten Drahtglieder in Löcher der Blechhülse eingefädelt.

Eine weitere einfache Fuchsschwanzkette aus Hettingen (Kat. 11,6; Taf. 26) besteht aus sicher neuzeitlich zusammengefügteten Teilen mehrerer Ketten. Die Einzelteile sind bei L. Lindenschmit (1860, Taf. 11,4) in einer anderen Zusammensetzung beschrieben, die

anhängende Blechscheibe taucht erst in jüngeren Abbildungen auf (Böhme-Schönberger 1997, 78 Abb. 74). Darüber hinaus weisen die verschiedenen Teile unterschiedlich lange Kettenglieder auf. Vermutlich wurde die Doppelblechhülse nachträglich an die ebenfalls später gefundene Blechscheibe angeklebt oder angelötet. Die Verbindungsstelle lässt auf einen jüngeren, wohl modernen Lötvorgang schließen, da sie silbrig glänzt, während das umliegende Material gräulich erscheint (Taf. 26,3)¹²³.

Auch die dreiteilige Blechhülse aus Hettingen (Kat. 11,8; Taf. 27,3.4) wurde offensichtlich modern zusammengesetzt. Während bei L. Lindenschmit (1860, Taf. 11) insgesamt drei doppelte Blechhülsen abgebildet wurden, ist in der heutigen Fundzusammensetzung eine zusätzliche Hülse an eine dieser doppelten Hülsen offensichtlich modern angeklebt worden. Die antike Nahtstelle zwischen zwei Hülsen zeigt das "gräuliche" Erscheinungsbild einer Weichlotverbindung (Taf. 27,5.6). Eine Verwendung von Weichlot könnte hier auch die Instabilität der Verbindungen an den Blechhülsen erklären¹²⁴.

An der aus mehreren Stücken bestehenden Kette hängt heute ein kurzes Teil einer klassischen Fuchsschwanzkette (Kat. 11,7; Taf. 27,1.2), die sicher schon zu den ursprünglichen Fundstücken gehörte. Am letzten Glied ist deutlich eine Schweißperle zu erkennen, welche an anderen klassischen oder mehrfachen Fuchsschwanzketten aus provinzialrömischen Fundkomplexen üblicherweise verdeckt ist (Taf. 27,1). Diese verdeckten Verbindungsstellen sind ein regelhaftes Phänomen an allen römischen Fuchsschwanzketten.

Im Gegensatz zur Latènezeit wurden einfache und klassische Fuchsschwanzketten in der römischen Kaiserzeit vielfach auch aus Buntmetall angefertigt. Außerhalb des Schmucksektors waren sie während der gesamten Kaiserzeit zum Aufhängen von Gefäßen, Waagen und Lampen gebräuchlich. Eine vermutlich klassische und drei einfache Fuchsschwanzketten wurden so beispielsweise zur Aufhängung einer bronzenen Laterne aus dem Bereich des Kastells III von Straubing genutzt (Czyz u. a. 1995, 520 Abb. 221). Auch aus Augst stammen neben einer komplett erhaltenen Halskette mehrere Bruchstücke von einfachen und klassischen Fuchsschwanzketten aus Buntmetall, die dort sowohl als Halsschmuck als auch zum Aufhängen von Lampen interpretiert werden (Riha 1990, 76).

Offensichtlich sind die einzelnen Drahtösen der Kettenglieder auch bei den Fuchsschwanzketten aus Buntmetall verschweißt worden (vgl. Riha 1990, 76). Abschließend kann daher postuliert werden, dass für das Schließen der Drahtösen bei der Herstellung der Fuchsschwanzketten - unabhängig von den verwendeten Metallen - dieselbe Verbindungstechnik angewandt wurde. Diese Vorstellung lässt sich in den nun folgenden Ausführungen verdeutlichen.

¹²³ Ob diese Blechscheibe dem Depotfund von Hettingen zuzuordnen ist, bleibt damit fraglich. Leider wurden nicht nur einige dieser Veränderungen undokumentiert durchgeführt, sondern die Unstimmigkeiten in den Fundzusammensetzungen bleiben auch in jüngeren Publikationen unerwähnt.

¹²⁴ Ob tatsächlich eine Weichlotverbindung vorliegt, kann allerdings nur eine Metallanalyse klären.

5.4.2.3 Zur Technik der Fuchsschwanzketten

Da die Fuchsschwanzkette innerhalb des hier behandelten Zeitraums die gängigste Form der Schmuckketten aus Silber war, sollen Details ihrer Herstellung im Folgenden ausführlich diskutiert werden.

Nach der Fertigung des Drahtes müssen die einzelnen Ösen für die Drahtglieder in Form von geschlossenen Ringen erzeugt werden. Dazu kann der Draht als lange dichte Spirale um einen Rundstab gewickelt und anschließend in Einzelringe zerlegt werden. Freilich ist dieser Schritt den Fundstücken selbst nicht zu entnehmen. Da die Kettenglieder ein sehr gleichförmiges Erscheinungsbild innerhalb der jeweiligen Kette aufweisen, ist eine solch rationelle Herstellung der Drahtringe jedoch anzunehmen.

Der nächste Arbeitsschritt ist das Verbinden der Drahttringenden. Das optische Erscheinungsbild der "verdickten" Drahtbereiche lässt nur zwei Varianten angewandter Verbindungstechniken zu, entweder mit zugefügtem metallischen Lot oder mittels einer Schweißverbindung. Die Verbindungsstellen von mit Reaktionslot gelöteten Drahttringen würden nicht nur ein anderes Aussehen erhalten, sondern auch der nachfolgenden mechanischen Umformung nicht standhalten. Nach Ausweis der an allen Ketten mehr oder weniger deutlich sichtbaren "Verdickungen" geschah das Verbinden der Drahttringenden über ein Verschweißen von sich überlappenden Enden.

Dies wird bestätigt durch analytische Untersuchungen an einer römischen Silberkette aus Rainau-Buch in Baden-Württemberg (Raub 1981). Die Analyse an einer Verbindungsstelle sowie an einem daneben liegenden Drahtbereich ergab "eine nur unwesentlich voneinander abweichende Zusammensetzung" der Legierungen, so dass laut Ch. J. Raub "beim Verbinden besser von Schweißen als von Löten gesprochen werden sollte" (ebd. 530).

Auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit an Ketten aus dem Kleinaspergle (Kat. 2) und aus Rembrechts (Kat. 33,12) durchgeführten Metallanalysen erbrachten dasselbe Ergebnis (vgl. Kap. 5.4.2.1; 5.4.2.2). Aufgrund der gleichen Legierungszusammensetzung von Drähten und Verbindungsstellen muss man bei diesen Ketten ebenfalls von Schweißverbindungen ausgehen. Im Falle der Kette aus Rembrechts könnte der leicht erhöhte Zinkgehalt auf einen schmelzpunktsenkenden Schweißzusatz zurückgeführt werden. Da keine Möglichkeit bestand, das Lauteracher Kettchen zu analysieren, kann nicht sicher geklärt werden wie bei diesem die Drahtglieder geschlossen wurden. Zumindest spricht das vergleichbare Erscheinungsbild nicht gegen eine Schweißverbindung. Auch die publizierten Untersuchungen der Kette von Pottenbrunn konnten keinen überzeugenden Nachweis für ein Lot liefern.

Zur Verbindung von Drahttringenden für Kettenglieder wurde Silberlot offensichtlich erst im Hochmittelalter verwendet. Eindeutige Nachweise von Silberlotlegierungen mit gegenüber den Drahtbereichen deutlich erhöhten Kupferkonzentrationen liegen erst mit den Befunden an Ketten aus dem hochmittelalterlichen Schatzfund von Fuchsenhof aus Oberösterreich vor (Bühler 2004a, 407).

Auch zu Goldketten aus diversen Fundkontexten und verschiedener Zeitstellungen sind Analysen publiziert. Diese zeigen in allen Fällen keine wesentlichen Unterschiede der Legierungszusammensetzungen von Draht und Verbindungsstellen, so dass sie in gleicher Weise als geschweißt interpretiert werden können. Dies gilt sowohl für eine vorgeschichtliche Goldkette aus dem National Museum of Archaeology in Malta (Ferro 2003) als auch für eine griechische Kette des späten 4. bis beginnenden 3. Jhs. v. Chr. aus Capua (Meeks 1998, 129 Tab. 1, Analysis no. 1 und 8) sowie für ein spätrömisches Exemplar aus New Grange in Irland (Lang u. Hughes 1991, 172).

Um Drahtenden auf Stoß miteinander zu verbinden, muss grundsätzlich ein spaltfüllendes Lotmaterial zugegeben werden. Ohne ein Lötgut besteht dagegen nur die Möglichkeit bereits mechanisch verbundene Enden schmelzend zu verschweißen. Die oben geschilderten Erscheinungsbilder an den Kettengliedern aller untersuchten Fuchsschwanzketten zeigen sowohl überlappende Drahtenden als auch dicke Schweißperlen. Um die Durchführbarkeit eines solchen Schweißprozesses und das daraus resultierende optische Erscheinungsbild zu überprüfen, wurden eigene Versuche angestellt.

Die Experimente im Rahmen dieser Arbeit zeigten, dass ein Verschweißen von Drahttringenden mit modernen Mitteln relativ einfach zu bewerkstelligen ist. Über eine Zange wurden die Drahtenden fest verbunden, so dass sie unter Spannung überlappend aufeinander lagen. Mit einer Lötpistole konnten sie so verschweißt werden, dass das Erscheinungsbild dem der untersuchten Fundstücke entsprach (Abb. 43).

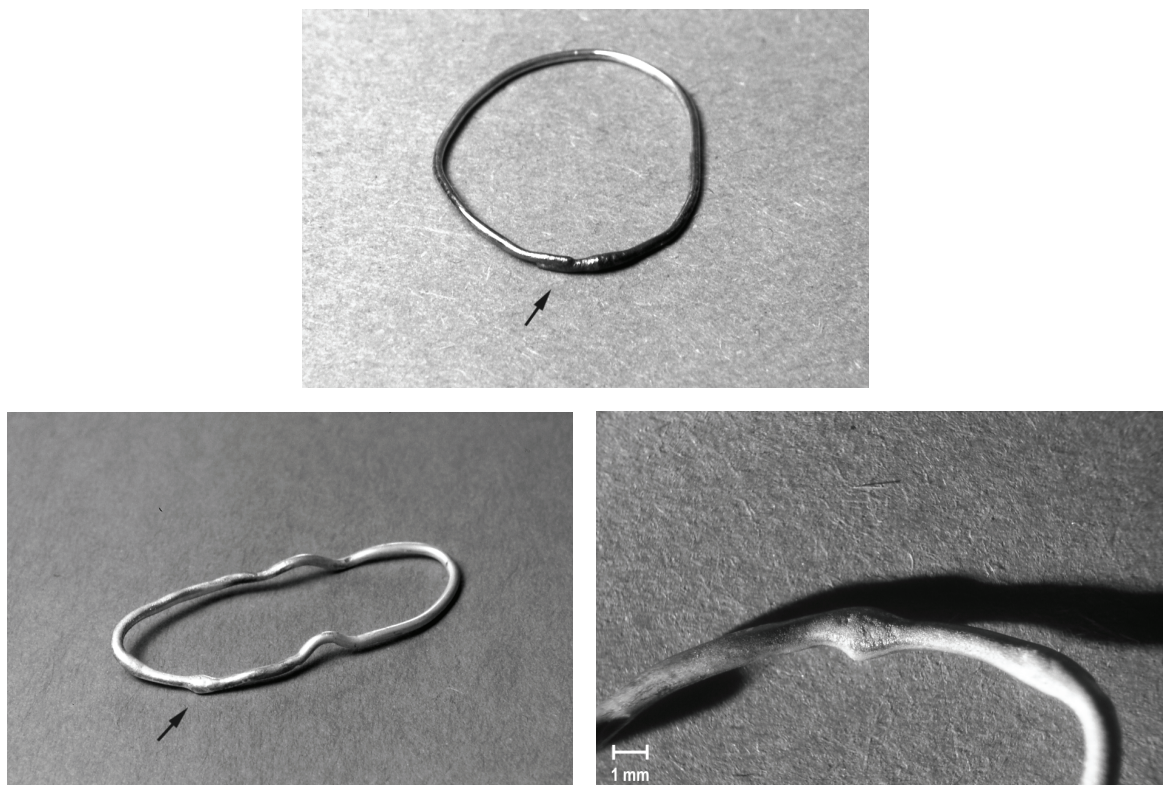


Abb. 43: Modern verschweißte Drahttringenden (Ag 935).

Die Technik ist im Holzkohlefeuer ohne exakte Temperaturkontrolle dagegen zunächst nur schwer vorstellbar. Wie lassen sich also feine Drahtenden ohne weiteres Anschmelzen der umliegenden Drahtbereiche im offenen Holzkohlefeuer miteinander verschweißen? Da ausschließlich die zu verschweißende Stelle und nicht der anliegende Drahtbereich schmelzen darf, kann man sich nur eine Lösung vorstellen, bei der die benachbarten Bereiche während des Schweißvorgangs geschützt werden.

Dazu wurden weitere Schweißexperimente mit Silberdrahttringen (0,9 mm Drahtstärke) und ohne den Zusatz von Löt- oder Schweißgut in einem simplen Holzkohlefeuer unternommen.

Beim ersten Versuch wurden die Enden eines offenen Drahttringes zweifach miteinander verdreht, um sie an dieser Stelle zu verschmelzen. Die Verdrehung sollte dabei die Drahtenden fixieren und das Material für eine Schweißperle liefern. Um den Rest des Drahttringes vor der Hitze zu schützen, wurde er mit einer Tonummantelung versehen, welche lediglich die verdrehten Enden frei lies. Nach einer kurzen Antrocknung des Tonmantels wurde das Werkstück auf einer Holzkohle in das Feuer gelegt. Mithilfe eines Blasrohres (in diesem Fall ein modernes Lötrohr) erfolgte die weitere Hitzezufuhr gezielt auf die zu verbindende Stelle. Das Ergebnis war ein Zusammenschmelzen der verdrehten Enden zu einer Schweißperle, die allerdings relativ grob ausfiel.

Ein zweiter Versuch sollte den vorangegangenen wiederholen, mit dem Unterschied, dass die Drahtenden nicht verdreht, sondern lediglich auf kurzer Länge umgebogen und ineinander verhakt wurden. Dies sollte beim Schmelzen zu einer kleineren Schweißperle an der Verbindungsstelle führen. Eine Temperatursteigerung durch punktuelle Luftzufuhr mit dem Blasrohr lies auch diesmal die Enden zu einer Schweißperle zusammenschmelzen, die erwartungsgemäß eine feinere Ausformung aufwies und dem Erscheinungsbild der Verbindungsstellen - zumindest an römischen Kettengliedern - deutlich näher kam (Abb. 44).



Abb. 44: Im Holzkohlefeuer verschweißte Drahttringenden (Ag 935).

Bei beiden Versuchen ließ sich ein leichtes Anschmelzen der an die Verbindungsstelle angrenzenden Drahtbereiche nicht verhindern. An den antiken Kettengliedern liegen jedoch keine entsprechenden Hinweise am Drahtkörper vor. Auch sind bei den Versuchen die

Schweißperlen zu grob geraten, aber die grundsätzliche Möglichkeit, feine Drahtenden im Feuer zu schweißen, konnte gezeigt werden.

Die große Anzahl der Drahtringe, deren Enden verschweißt werden mussten, um eine ausreichende Menge an Kettengliedern zu produzieren, erfordert eine rationelle Vorgehensweise. Denkbar ist eine Tonummantelung um eine ganze Reihe von Drahtringen, deren Enden auf diese Weise in einem Arbeitsschritt verschweißt werden können. Nur durch eine Rationalisierung des Arbeitsvorgangs ließe sich eine jüngst für die römische Kettenproduktion postulierte "rasche und serienmässige Herstellung" (Martin-Kilcher u. a. 2008, 83) der Fuchsschwanzketten bestätigen. Andernfalls sind diese - aufgrund der Drahtherstellung und der Verbindung der vielen Einzelteile - mit zu den aufwändigsten Schmuckarbeiten zu zählen.

Die nach dem Anfertigen und Schließen der Drahtringe erfolgte Konstruktion der Fuchsschwanzketten wurde zu Beginn des Kapitels beschrieben (vgl. oben Abb. 41). Nun fällt jedoch ein Unterschied zwischen der latènezeitlichen und provinzialrömischen Ausformung der einfachen Fuchsschwanzketten auf. Es ist deutlich erkennbar, dass die römischen Kettenglieder mit einer Länge von 1 bis 1,5 cm gegenüber den vorrömischen mit ca. 3 mm deutlich größer ausfallen und charakteristisch in Gestalt einer verdrehten Acht ausgeführt sind (vgl. Abb. 41,2b). Diese Ausformung bedeutet für jedes einzelne Kettenglied eine aufwändigere Anfertigung als bei der einfachen Schaukelform (vgl. Abb. 41,2a). Da jedes Kettenglied der achterförmigen Variante eine äußerst gleichmäßige Rundung aufweist, ist ein Dorn zur rationellen Ausführung anzunehmen. Spuren einer Zange, wie bei H. Hoffmann und V. von Claer (1968, 66) abgebildet, konnten auch an den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Silberketten festgestellt werden, beispielsweise an den Ketten aus Regensburg-Kumpfmühl (Taf. 105,6). Diese endgültige Ausformung der Kettenglieder in Gestalt einer gedrehten Acht lässt sich schwieriger bewerkstelligen als die einfache Schaukelformung, die dagegen durch Strecken der gesamten Kette zum Schluss in ihre endgültige Form gebracht werden kann. Eine Formkorrektur der gedrehten Acht wird jedoch ab dem zweiten Kettenglied durch das vorherige Kettenglied behindert.

Die Verbindungsstellen an allen untersuchten Ketten aus provinzialrömischen Fundkomplexen sind in hängendem Zustand durch das jeweils nächste Kettenglied verdeckt und damit beim Tragen nicht sichtbar. Dieser von Ch. J. Raub (1981, 539) als das "System der verdeckten Schweißnaht" benannte Effekt kann an allen römischen Kettengliedern beobachtet werden und ist bezeichnend für die kaiserzeitliche Produktion. Die Schweißstellen an den vorrömischen Kettengliedern befinden sich im Gegensatz dazu an den seitlichen Drahtbereichen und sind in hängendem Zustand nicht verdeckt. Da diese Kettenglieder jedoch sehr sorgfältig hergestellt wurden und zudem die Verbindungsstellen aufgrund ihrer geringen Größe kaum sichtbar sind, war eine Verdeckung nicht notwendig. Erst die größeren Kettenglieder erforderten diese

Verdeckung. Damit musste in der provinzialrömischen Kettenproduktion weniger Sorgfalt auf die Herstellung der Verbindungsstellen gelegt werden¹²⁵.

Aus dem Vorangegangenen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Fuchsschwanzketten eine technische Entwicklung durchliefen. Einfache und klassische Fuchsschwanzketten aus Edelmetall aus dem östlich-mediterranen oder etruskischen Kulturbereich tauchen zunächst als Fremdgut im mitteleuropäischen Fundmaterial auf. Erst ab der Spätlatènezeit ist sicher von einer einheimischen Übernahme der Technik auszugehen. In der römischen Kaiserzeit erfuhren die Fuchsschwanzketten eine Fortentwicklung hin zu einer weit verbreiteten Produktion der klassischen Kette und einer rationellen Durchführung der einfachen Kette mit größeren Einzelgliedern, die folgend auch in Buntmetall hergestellt wurde. Die Konstruktionsvariante der mehrfachen Fuchsschwanzkette aus Schlingen mit mehreren Schlaufen ist erst für die kaiserzeitliche Kettenproduktion belegt und ein weiteres Indiz einer rationelleren Vorgehensweise, da bereits mit einem Kettenglied das Erscheinungsbild mehrerer Schlingen erreicht wird.

5.5 Anhänger

Abschließend werden verschiedene Formen von Anhängern behandelt, welche ebenfalls zu den häufig aus Edelmetall angefertigten Schmuckformen gehören. Bei diesen dürfte es sich in den meisten Fällen um Schmuckobjekte handeln, welche eine apotropäische oder glückbringende Funktion innehatten. Vor allem den ab der Spätlatènezeit zahlreich auftretenden Anhängern in Rädchenform oder auch den provinzialrömischen Lunula-Anhängern wird diese Funktion zugeschrieben¹²⁶. An Ketten getragen besitzen diese jedoch zusätzlich einen ästhetischen Wert, so dass der von E. Riha (1990, 73) verwendete Begriff der "Zieramulette" durchaus angemessen erscheint.

Darüber hinaus dürften andere Anhänger, für welche unter dem Blickwinkel ihrer Herstellungstechnik ein besonders großer Aufwand betrieben wurde, auch eine zusätzliche Statussymbolik besessen haben. Dazu zählen sicherlich die aufwändig verzierten Blechperlen der vorrömischen Eisenzeit sowie die provinzialrömischen Zierscheiben.

Hinsichtlich technischer Gesichtspunkte wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit vor allem provinzialrömische Lunula-Anhänger untersucht, da sie in allen Provinzen in großer Zahl aus

¹²⁵ Hierbei scheint sich ein Unterschied zwischen den Ketten aus Buntmetall oder Silber und den Ketten aus Gold abzuzeichnen. Einfache Fuchsschwanzketten aus Gold stammen beispielsweise aus den britannischen Depotfunden des 2. Jhs. n. Chr. von Backworth und Llandoverly (Martin-Kilcher u. a. 2008, 80 Abb. 3.9,2.4) oder als Grundlage für eine Gliederkette aus einem in das 3. Jh. datierenden Depotfund von Kaiseraugst (Riha 1990, Taf. 29). Diese wirken nicht nur in ihrer Gesamtkonstruktion mit weiteren Zierelementen aufwändiger, sondern die Gestaltung der Einzelglieder erscheint auch tendenziell filigraner und sorgfältiger gearbeitet als die der untersuchten silbernen Exemplare. Zudem sind für die Anfertigung der Goldketten zumeist kürzere Kettenglieder verwendet worden. Die Unterschiede in der Ausführung der Ketten aus Silber und Gold lassen sich dabei auf eine differierende Handhabung der beiden Edelmetalle zurückführen. Das Material Gold wurde - seinem höheren Materialwert entsprechend- mit größerem Aufwand und mit mehr Sorgfalt verarbeitet. Dabei ist die Herstellung feinerer Kettenglieder durch die größere Duktilität von Gold vereinfacht.

¹²⁶ Vgl. auch eine Zusammenstellung der unterschiedlichen Bedeutungen der Amulette bei Schmitz 1993, 58 ff.

Gold, Silber und Buntmetall hergestellt wurden. Bevor diese detailliert besprochen werden, sollen jedoch zunächst einige Anhänger der vorrömischen Eisenzeit diskutiert werden. Dabei werden sowohl zwei goldene Anhänger der Hallstattzeit vorgestellt, die bezüglich der angewandten Zier- und Löttechniken vergleichend untersucht wurden, als auch die aus publizierten Daten zu entnehmenden Informationen zur Herstellung latènezeitlicher Anhänger aus Silber.

5.5.1 Anhänger der vorrömischen Eisenzeit

Blechperlen als Anhänger an Ketten treten in Fundzusammenhängen der vorrömischen Eisenzeit mehrfach auf (Ramsl 2002, 64 f.). Die beiden mit Granulation und Filigran verzierten hallstattzeitlichen Goldanhänger aus Ins-Grossholz (Kat. 13; Taf. 32) und Jegenstorf-Hurst (Kat. 15; Taf. 36) gehören dabei zu den ältesten Beispielen.

Beide Anhänger bestehen jeweils aus gewölbten Blechteilen, deren Formgebung in Treibarbeit erfolgte. Der Anhänger aus Jegenstorf wurde aus zwei Halbkugeln angefertigt, die anschließend verlötet wurden, so dass die Hohlkugelform entstand. Kleine Stauch-Falten deuten dabei auf ein Auftiefen von runden Blechen in einem Gesenk, einer sogenannten Kugelanke, hin (so auch Binggeli 2003, 35). Die Montagefuge ist abgedeckt von den aufgelöteten runden Filigrandrähten und der ornamentalen Linien- bzw. Flächengranulation, mit welchen die Kugel abschließend versehen wurde. Auch an dem Anhänger aus Ins überdecken die Filigrandrähte vorausgehende Löt Nähte, eine "äquatoriale" Fuge ist nicht erkennbar. Zusammen mit der etwas unregelmäßigeren Kugelform verweist dies darauf, dass dieser Anhänger aus zwei schalenförmigen Blechen und einem gewölbten mittleren Blechring aufgebaut wurde, die jeweils über einer Punze getrieben wurden. Für die zusätzlich an der Kugel von Jegenstorf anhängende Filigranverzierung wurde tordierter Vierkantdraht verwendet. M. Binggeli (ebd.) konnte durch Experimente zeigen, dass derselbe Vierkantdraht auch für die Formung der feinen Runddrähte der Kugel genutzt worden sein muss, indem er ebenfalls tordiert, aber anschließend rund gerollt wurde. Damit handelt es sich in diesem Fall um das als "block-twisting" bezeichnete Drahtherstellungsverfahren, welches anhand mehrerer, eng beieinander liegender, umlaufender "Fugen" sichtbar ist (siehe Kap. 4.2.3).

Für die angewandte Verbindungstechnik zur Granulation liegt bei beiden Anhängern ein Reaktionslöten nahe. Die jeweiligen Übergangsbereiche zwischen Granalien und Blechkugel sind makroskopisch kaum sichtbar, an einigen Stellen sind die Granalien zwar stärker von einer Lötmasse umgeben, in den meisten Fällen sind jedoch lediglich feine "Hälsen" zu erkennen. Die umgebenden Bereiche um die Granalien weisen an beiden Anhängern eine für das Reaktionslöten typische blasige Oberflächenstruktur auf. Experimente und originalgetreue Nachbildungen des Anhängers von Jegenstorf durch M. Binggeli (2003, 36) konnten zumindest für diesen die Interpretation der Anwendung des Reaktionslötens untermauern. Bei beiden Anhängern wurde streckenweise offensichtlich relativ viel Lötmasse verwendet, entweder von der Kupferverbindung allein oder auch von einem dem Reaktionslot beigemengten

Metallmaterial. Dies führte offensichtlich auch schon zu der Annahme, dass die Granulation der Perle aus Ins mit einem metallischen Lot durchgeführt worden sei (Jäggy 1991, 47).

Der Herstellungsort beider Anhänger ist umstritten. Die mit diesen Stücken erstmals nördlich der Alpen auftretende Granulation verweist auf die Herkunft aus dem Mittelmeerraum, wo diese Technik zum gängigen Repertoire gehörte. Die Ornamentik mit "Lotusmotiv" an der Perle aus Ins ist für die Hallstattzeit Mitteleuropas unüblich und lässt ebenfalls an eine mediterrane Provenienz denken. Das Motiv der diagonal angeordneten Mäander findet sich vergleichbar auf norditalischen Keramik- und Metallgefäßen, aber auch als Granulationszier auf rhodischen Goldblechen (Guggisberg 1991, 77). Die Hohlkugel von Jegenstorf deutet zusammen mit ihrem halbmondförmigen Filigrangehänge auf eine besonders im etruskischen Italien weit verbreitete Symbolik von Sonne und Mond, so dass nicht nur die Granulationstechnik, sondern auch die Darstellung im direkten Zusammenhang mit dem etruskischen Kulturraum gesehen wird (Müller 1999, 20). Die etwas gröbere Ausführung der Granulationsverzierung führte gelegentlich zu der Annahme, dass es sich bei diesem Stück um eine "frühkeltische Nachahmung" handeln könne (ebd.). Dass jedoch auch an etruskischen Granulationsarbeiten nicht immer perfekt gearbeitet wurde, zeigen beispielsweise leicht angeschmolzene Granulationen der bereits erwähnten Fibeln aus Comeana und Vetulonia (siehe Kap. 4.4.5). Zusammen mit der Nutzung von Reaktionslot ist eine in wellenförmigen Schlaufen gebogene Filigranverzierung in dieser Zeit ebenfalls besonders an etruskischen Arbeiten zu beobachten, wie etwa an einem Armring aus Vetulonia (Mello u. a. 1983; siehe Kap. 4.3.2.2 Abb. 12). In jedem Fall stellen die beiden Anhänger aus Ins und Jegenstorf für diese Zeit in Mitteleuropa singuläre Granulationsarbeiten dar, welche zudem mit für diesen Raum unüblichen Ornamenten versehen sind, so dass sie sowohl nach stilistischen als auch nach technischen Gesichtspunkten als Fremdgüter anzusprechen sind.

Anhand der angewandten Verbindungstechnik lassen sich keine Unterschiede zwischen beiden Anhängern festmachen. In beiden Fällen kann man von einem Reaktionslot ausgehen. Wie bereits in Kapitel 4.4.5 erläutert, ist dies vor allem an Flächengranulationsarbeiten nicht sonderlich überraschend, da es das technisch einfachste Verfahren ist, um eine größere Anzahl von Granalien aufzubringen.

Direkte Parallelen aus Silber sind nicht bekannt. In seiner formgebenden Grundtechnik vergleichbar ist eine später zu datierende, versilberte Hohlblechperle aus Grab 54 des frühlatènezeitlichen Gräberfeldes von Pottenbrunn in Niederösterreich (siehe Foto bei Neugebauer 1991, 297).

Während der Anhänger in älteren Publikationen als in zwei Teilen hohl gegossen angesprochen wurde (Megaw u. a. 1997, 723), ergab eine Untersuchung hinsichtlich technischer Details im Rahmen der Bearbeitung des gesamten Fundmaterials aus Pottenbrunn eine andere herstellungstechnische Interpretation. Demnach wurden die beiden Hälften der Perle aus Blech getrieben und anschließend thermisch miteinander verbunden (Ramsl 2002, 362). Die Reliefdarstellungen in Form von gegenläufig umlaufenden S-Spiralen wurden laut der neueren

Untersuchungen von innen heraus getrieben und von außen mit einer Schrotpunze nachziseliert. Sowohl die Ornamente als auch die Form sind vergleichbar mit Pufferenden von Torques im Marnegebiet und dem Rheinland und zeugen damit von keltischer Herstellung.

Das Material der Hohlblechperle besteht wie das der zugehörigen Fuchsschwanzkette aus versilbertem Buntmetall (siehe Kap. 5.4.2.1). Die Analyse einer Bohrprobe aus der Perle wies Bronze unter einem fast reinen Silber nach (Ramsl 2002, 363 Anm. 2; Northover 2002, 258 pot 48)¹²⁷. Als Versilberungstechnik wird eine Diffusionsbindung als wahrscheinlich angesehen (Ramsl 2002, 366; Northover 2002, 257). An der Nahtstelle wurde wie an anderen Stellen des Anhängers ein einheitlich fast reines Silber nachgewiesen, so dass P. C. Ramsl (2002, 365) von einer Versilberung nach dem Löten der beiden getriebenen Blechhälften ausgeht. Da eine Tauchversilberung in Silberschmelze die Lötnaht wieder zum Aufschmelzen gebracht hätte, eine elektrochemische Tauchversilberung eine dünnere Silberschicht hinterlassen hätte und eine Amalgamversilberung erst in späteren Zeiten in Gebrauch gewesen wäre, schließt er diese Beschichtungsverfahren aus (ebd. 364 ff.).

Über die Technik zur Verbindung der beiden Blechhälften, die offensichtlich unter der Versilberungsschicht liegt, kann ohne einen zerstörenden Querschliff nichts ausgesagt werden. Die publizierten Mikroskopaufnahmen zeigen eine poröse, blasige Oberflächenstruktur, die wie eine geschmolzene Oberfläche wirkt¹²⁸. Dies könnte auf ein Tauchversilbern hindeuten. Die Gefahr, dass die mit 89,23 % Cu und 8,31 % Sn gemessene Kupferlegierung des Anhängers von Pottenbrunn (Ramsl 2002, 363) bei den Temperaturen flüssigen Silbers zu schmelzen beginnt, wäre jedoch in Abhängigkeit der Blechstärke und der Tauchzeit äußerst groß. Diese Art der Tauchversilberung scheint ohnehin kein Verfahren, welches für die Antike in Betracht zu ziehen ist (siehe Kap. 4.4.6). Selbst wenn die elektrochemische Tauchversilberung die "eleganteste" Möglichkeit gewesen wäre, spricht die Schichtdicke auch gegen diese Methode. Deshalb wird man sich hier der Meinung von P. C. Ramsl anschließen und diese Verfahren für die Versilberung des Anhängers von Pottenbrunn ausschließen können.

Eine Diffusionsbindung einer Silberfolie auf Kupfer, welche eine Oberflächenlegierung von fast reinem Silber hinterlässt, ist theoretisch bei einer Temperatur unter 779 °C möglich (Hammer 1998b, 194.). Auch die Diffusionsbindung kann bei längerer Hitzezufuhr und höheren Temperaturen ein geschmolzenes Erscheinungsbild entstehen lassen, führt dann jedoch zu kupferreicheren Oberflächenlegierungen (La Niece 1993, 205; Hammer 1998b, 194). Andere Varianten wären das Aufschmelzen oder Auflöten einer Silberfolie. Die Versilberung durch das Aufschmelzen einer Silber-Kupferlegierung (Hammer 1998b, 196; La Niece 1993,

¹²⁷ In P. C. Ramsls Angabe der Legierungsbestandteile für das Bronzeblech liegt offensichtlich ein Druckfehler vor. Die Angabe von 89,23 % Ag sollte sicherlich den Kupfergehalt nennen.

¹²⁸ Dieses Oberflächenercheinungsbild hatte sicher zu der früheren Annahme geführt, der Anhänger bestünde aus gegossenen Hohlformen.

205 f.) würde ebenfalls zu einer geschmolzenen Oberflächenerscheinung führen, wobei auch in diesem Fall eine kupferreichere Legierung an der Oberfläche hätte entstehen müssen¹²⁹.

Der hohe Feingehalt der Silberschicht könnte in jedem Fall aus einer anschließenden Oberflächenabreicherung des Kupfers resultieren. Die Oberflächenanreicherung von Silber wäre zudem eine mögliche Erklärung für den hohen Feingehalt an der Oberfläche der Lötnaht. Ohne detailliertere Untersuchungen sind wohl kaum sichere Aussagen zur angewandten Versilberungstechnik an dem Anhänger und der Kette aus Pottenbrunn möglich, zumal hier kein reines Kupfer, sondern Zinnbronze versilbert wurde. Im Falle der vermuteten Diffusionsbindung wäre jedoch das Versilbern vor dem Treiben und Ziselieren des Blechs notwendig gewesen, da die Methode für gewölbte, unregelmäßige Oberflächen weniger geeignet ist (Anheuser 1999, 11). Eine Silberanreicherung, um die - sicherlich erwünschte - glänzende Optik herzustellen, ist in allen genannten Fällen anzunehmen. Auch diese mag letztlich zu der blasigen Oberflächenstruktur geführt haben¹³⁰.

Demselben Zeithorizont (Stufe LT B) werden die im Waldalgesheim-Stil reliefverzierten silbernen und goldenen Bandfingerringe aus dem Schweizer Mittelland, der Nordschweiz, dem Salzburger Land und Böhmen zugerechnet (siehe Kap. 5.1.1.1). Auch die Silberfibel von Bern-Schosshalde (Kat. 6), welche als einer der ältesten Funde mit Verzierungen dieses Stils gilt, weist Ähnlichkeiten im Dekor auf. Während diese Funde stilistisch direkt vergleichbar sind, scheint es in ihrer technischen Durchführung - Treibarbeit oder Guss - offensichtlich Unterschiede zu geben. Gemeinsam ist jedoch allen Objekten aus Silber, dass die Ornamente ziseliert bzw. nachziselieren wurden.

Angesichts dieser Tatsache besteht einiger Grund zu der Annahme, dass diese Funde nicht als Fremdgüter aus dem Süden zu bezeichnen sind. Besonders im Schweizer Mittelland beginnt das Material Silber ab der Stufe LT B an Bedeutung zu gewinnen. Die Verzierung im Waldalgesheim-Stil ist dort vor allem an Münsinger Fibeln aus Buntmetall beliebt (Müller 1998b). Eine regionale Herstellung der im Waldalgesheim-Stil verzierten Silberobjekte ist daher möglicherweise genau dort anzusiedeln. Vom technischen Standpunkt aus betrachtet, steht jedoch gerade der Kettenanhänger aus Pottenbrunn aufgrund seiner Versilberung bislang ohne direkt vergleichbare Funde da.

¹²⁹ Dieses Verfahren wurde beispielsweise auch für die Versilberung eines Kupferdrahtes an einem Halsring aus den letzten Jahrzehnten des 1. Jhs. v. Chr. aus Norfolk in Großbritannien postuliert (Northover u. Salter 1990, 119).

¹³⁰ Auf eine eigene Untersuchung dieses Fundstücks im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde verzichtet, da auf bereits publizierte Ergebnisse zurückgegriffen werden konnte. Angesichts der für diese Zeitstufe außergewöhnlichen Materialkombination wären jedoch weitere detaillierte Untersuchungen sowohl an der Kette als auch an dem Anhänger äußerst lohnenswert. Für die hier angestrebte diachrone Untersuchung zu einer Verarbeitung von Silber zu Schmuck hätte jedoch vor allem die Frage nach den angewandten Verbindungstechniken eine besondere Bedeutung, deren Klärung allerdings ohnehin nicht ohne zerstörende Analysen durchgeführt hätte werden können.

Weitere Formen, die im weitesten Sinne als Anhänger gelten und die in der ausgehenden Latènezeit vereinzelt aus Silber produziert wurden, sind die Radamulette¹³¹. Die zahlreich in den spätlätènezeitlichen Oppida und gallischen Heiligtümern auftretenden Rädchen wurden vorwiegend aus Bronze und Blei angefertigt. Dabei verweisen erhaltene Gussformen sowie die Oberflächenstruktur, Gussgrate und Gussfehler an den Stücken selbst (z. B. Wyss 1989, 97 Abb. 9) auf deren Herstellung im Gussverfahren. Mit einer Gussform aus der Verfüllschicht einer Siedlungsgrube des 1. Jhs. v. Chr. vom Oppidum auf dem Martberg in Rheinland-Pfalz (siehe Kap. 4.2.1) ist eine Produktion von vierspeichigen Rädchen vor Ort nachgewiesen. Die Tatsache, dass mit dieser Form mehrere Radamulette - bzw. deren Gussmodelle - in einem Vorgang gegossen werden konnten, belegt die serienmäßige Produktion dieser sogenannten Rouelles, welche in einer großen Fülle in den gallischen Heiligtümern auftreten (Haffner 1995, 28).

Die selteneren Exemplare aus Gold und Silber stammen vorwiegend aus den gallorömischen Heiligtümern, besonders in Nordfrankreich, und waren meist aufwändiger gestaltet. Zur Herstellung der in großer Zahl in Villeneuve-au-Châtelot im Département Aube gefundenen Radanhänger aus Silber, Bronze und Blei wurden laut J. Piette (1981, 369) unterschiedliche Techniken angewandt. Die formgebende Grundtechnik der Stücke aus Edelmetall war offensichtlich ebenfalls der Guss, wie beispielsweise eine sichtbare raue Gussoberfläche am Reif eines Rädchens aus Gold vom Martberg vermuten lässt (Haffner 1984, 262; Farbabb. Frontispiz; vgl. auch Nickel u. a. 2008, 56 Fußnote 237). Die Speichen wurden dagegen möglicherweise aus einem tordierten Draht angefertigt und nachträglich mit dem Reif verbunden, ähnlich wie dies für zwei silberne Exemplare aus Villeneuve-au-Châtelot beschrieben wurde (Piette 1981, 370).

5.5.2 Provinzialrömische Zieramulette

Anhänger in Form einer Lunula, einem bereits auf vorgeschichtliche Zeitepochen zurückgehenden Symbolzeichen, sind seit dem 1. Jh. n. Chr. über alle römischen Provinzen weit verbreitete Amuletttypen, die sowohl aus Bronze als auch aus Gold und Silber hergestellt wurden. Die unterschiedlichen Formen mit spitzen oder gestauchten Enden besitzen dabei keine typochronologische Relevanz (Riha 1990, 73). Darüber hinaus können sie auch in flache blechförmige oder runde drahtförmige Varianten unterschieden werden, wobei die rundplastische Variante mit angelöteter Aufhängehülse in Kleinasien bereits ab dem 1. Jh. (Deppert-Lippitz 1985, Taf. 3,4), in den nördlichen und westlichen Provinzen dagegen erst ab dem 2. Jh. n. Chr. auftritt.

Die Beispiele der Lunula-Anhänger aus Silber sind zahlreich, wobei die flache Form, wie in Augst und Kaiseraugst (Riha 1990, Taf. 31,717; 76,2947), seltener ist. Häufiger ist die rundplastische Form, beispielsweise aus den wohl in das 2. Jh. datierenden Schichten einer

¹³¹ Ob diese tatsächlich immer als Anhänger getragen wurden, müsste im Einzelfall diskutiert werden (vgl. Nickel u. a. 2008, 55 f.).

Villa von Kloten-Aalbühl im Schweizer Kanton Zürich (Drack 1992, 161 Abb. 12,3) oder aus dem britannischen Depotfund von Snettisham (Johns 1997, 113 Nr. 320 - 322) sowie den rätischen Depotfunden des 2. Jhs. von Regensburg (Kat. 32,3; Taf. 107) und des beginnenden 3. Jhs. von Rembrechts (Kat. 33,4-7; 125,1) und Wiggensbach (Kat. 47,7-10; Taf. 169).

Aufwändigere Ausführungen, die zusätzlich mit Granalien versehen wurden, wurden offensichtlich vorwiegend aus Gold hergestellt. Beispiele sind nicht nur aus Pompeji (Martin-Kilcher 2008, 80 Abb. 3.9,1), sondern auch aus Kleinasien (Deppert-Lippitz 1985, Taf. 3,4; Zahlhaas 1985, 19 Nr. 15), den Donauprovinzen (Martin-Kilcher u. a. 2008, 84 Abb. 3.13,4.6-8) und Obergermanien, wie aus Obfelden-Lunnern (ebd. 65 Abb. 2.27), bekannt. Lunula-Anhänger aus Gold treten zudem meistens im Zusammenhang mit Goldketten auf, die einen Verschluss in Form eines Rädchens aufweisen, wie beispielsweise an zwei Goldketten aus Backworth, Großbritannien (Pfeiler 1970, Taf. 19; Martin-Kilcher u. a. 2008, 80 Abb. 3.9,2). Selten wurden auch Lunula-Anhänger aus Silber mit Granalien verziert, wie zwei Beispiele aus einem um 270 n. Chr. niedergelegten Depotfund von Zambana im Trentino zeigen (Martin-Kilcher u. a. 2008, 351 Kat.-Nr. 13).

Die Symbolik von Rad und Lunula als Sinnbild für das Gegensatzpaar Sonne und Mond wurde häufig kombiniert, indem die Lunula als Anhänger und das Rad als Kettenverschluss an einer Kette gemeinsam angebracht wurden.

Die Rädchenanhänger aus Edelmetall sind vorwiegend aus Gold hergestellt worden, wie ein Exemplar aus dem Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,11; Taf. 119). Mit diesem Stück vergleichbare Rädchenformen, die mit Granalien verziert sind, treten in Form von Kettenverschlüssen an Goldketten ab dem 1. Jh. n. Chr. in Pompeji (Martin-Kilcher u. a. 2008, 80 Abb. 3.9,1) und ab dem 2. Jh. in den westlichen und nördlichen Provinzen auf. Besonders bekannt sind die Anhänger aus den britannischen Schatzfunden von Backworth und Llandovery (Böhme-Schönberger 1997, 62 Abb. 53; 64 Abb. 55; Martin-Kilcher u. a. 2008, 80 Abb. 3.9,2-4). Aufwändigere Exemplare des späten 2. bis 3. Jhs. n. Chr., die mit mehreren Granalien und zwischen den Speichen verlöteten Filigrandrähten versehen sind, deren Grundform dennoch die eines Rades ist, stammen beispielsweise aus Augst und Obfelden-Lunnern in der Schweiz (Riha 1990, 69 mit Taf. 89 Mitte; Martin-Kilcher u. a. 2008, 85 Abb. 3.14; 60 f. Abb. 2.23 - 2.24).

Seltener scheint das Rädchenamulett in Silber hergestellt worden zu sein. Beispiele finden sich wieder in Großbritannien, wie etwa als Kettenverschlüsse (abermals zusammen mit Lunula-Anhängern) aus dem Depotfund des 2. Jhs. von Snettisham (Johns 1997, 113 Nr. 317 - 319).

Anders als die bereits erwähnten Gussformen (siehe Kap. 4.2.1) vermuten lassen, sind die Exemplare sowohl der Rad- als auch der Lunulaanhänger aus Edelmetall nur selten gegossen, sondern meistens aus geschmiedeten Drähten aufgebaut¹³². Die Drähte wurden untereinander

¹³² Auch W. Schmitz (1993, 64) verweist im Zuge der Diskussion um die Gussformen auf die vermutlich im seriellen Guss hergestellten Amulette aus Blei im Gegensatz zu geschmiedeten Amuletten aus Gold und Silber. Darüber hinaus weisen gegossene Exemplare aus Buntmetall eine andere Form als die der geschmiedeten

(bei den Rädchen) und mit den Aufhängehülsen (bei den Rädchen und den Lunulae) verlötet. Die Aufhängehülsen wurden in allen Fällen aus Blechstreifen hergestellt, wobei die Profilierung durch ein Ziselieren entstand.

Der goldene Radanhänger aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,11; Taf. 119) wurde aus jeweils zwei Rund- und Perldrähten hergestellt, welche miteinander verlötet wurden. Die Radspeichen wurden als Perldraht geformt und ebenfalls verlötet. Zur Darstellung der Radnabe wurde eine Granalie auf die Mitte eines Perldrahtes aufgesetzt. Die einzelnen umlaufenden Fugen lassen eine Herstellung des Runddrahtes aus einem verdrehten Blechstreifen erkennen und der sichtbare Äquatorschnitt verweist auf die Verwendung eines Arbeitgerätes mit zwei Arbeitskanten zur Formung der Perldrähte (vgl. Kap. 4.44). Für das Löten der Filigrandrähte und der Granalie ist sicher eine Hartlöttechnik angewandt worden, eventuell ein Reaktionslot mit zugefügtem Gold.

Der aus demselben Fundkomplex stammende, als Gegenstück zu interpretierende Lunulaanhänger aus Gold (Kat. 32,12; Taf. 120) wurde dagegen aus Blech hergestellt. Die Ausformung der dargestellten Büsten (Boos u. a. 2000, 24 ff.) und der wie Perldraht wirkende Rand gehen sicher auf die Verwendung eines Pressmodells zurück (vgl. Kap. 4.4.2), wobei einzelne Konturen mit der Punze nachgearbeitet wurden.

Der Depotfund aus Regensburg-Kumpfmühl enthält zudem weitere Anhänger aus Silber, die sich in die für das 2. und 3. Jh. üblichen Formen einreihen lassen. Die Enden des einen Anhängers (Kat. 32,4; Taf. 108) wurden in Form von Widderhörnern gestaltet, der zweite (Kat. 32,3; Taf. 107) gehört zu den Lunula-Anhängern mit gekerbten Enden. Nach Ausweis von parallel zur Längsachse verlaufenden Falten (Taf. 107,2.5; 108,1-4) wurde die Ausgangsform beider Anhänger aus einem massiven Vorprodukt geschmiedet (vgl. Kap. 4.2.3). Die Gestaltung der Enden (Taf. 107,6; 108,4) geht auf das Kerben der Drahtenden vor dem Umbiegen zurück. Während der Lunula-Anhänger noch heute fest mit seiner Aufhängehülse verbunden ist, hat sich die Verbindung des Anhängers mit Widderhornenden von der an der Kette verbliebenen Hülse gelöst.

Weitere Lunula-Anhänger aus Silber wurden ebenfalls aus geschmiedeten Vorprodukten hergestellt, wobei angesichts des häufig schlechten Erhaltungszustandes nicht immer eindeutig zwischen einer Drahtherstellung aus gerollten Blechstreifen und einem Schmieden aus massiven stabförmigen Vorprodukten unterschieden werden kann (vgl. Kap. 4.2.3).

An einem Lunula-Anhänger aus Rottenburg (Kat. 35,1; Taf. 138) ist eine nicht immer parallel zur Längsrichtung verlaufende Falte zu erkennen (Taf. 138,3-4). Zusammen mit einem ungleichmäßig ovalen Querschnitt weist dies auf die Herstellung eines aus Blech angefertigten Drahtes hin. Die daneben auftretenden Querriefen (Taf. 138,4) könnten dabei in direktem Zusammenhang mit dem Rollvorgang stehen, ähnlich wie dies auch für einen

Exemplare aus Silber auf. Ein Beispiel dafür ist ein aus Augst bekanntes Halbfabrikat eines Lunula-Anhängers aus Bronze, welches inklusive Aufhängeöse im Schalenguss mit nur einer Formschale gegossen wurde (Martin 1978, 114 Abb. 6; Furger u. Riederer 1995, 118 f. mit Abb. 1,6).

spätlatènezeitlichen Drahtfingerring aus Lauterach postuliert wurde (vgl. Kap. 5.1.1.4). Der Anhänger ist modern in zwei Teile gebrochen und die beiden Enden passen genau ineinander. Die Bruchflächen (Taf. 138,5; 139,1) liefern weitere Hinweise zur Herstellungstechnik aus einem gefalteten und gerollten Blechstreifen.

Die Form der Enden des Anhängers aus einem vermuteten Depotfund von Regensburg (Kat. 30,4; Taf. 103,4) lässt sich ebenfalls auf einen aus einem Blechstreifen hergestellten Draht zurückführen. Dasselbe trifft möglicherweise auch auf einen Lunula-Anhänger aus dem Regensburger Kastellvicus (Kat. 31,2; Taf. 104) zu. Zusammen mit Rissen spricht auch das "mehrlagige" Erscheinungsbild an zwei Fragmenten aus Wiggensbach (Kat. 47,9.10; Taf. 170) für die Anfertigung aus einem aus Blech gerollten Draht. Trotz der schlecht erhaltenen Oberfläche verweist das Auftreten mehrerer, über längere Strecken hinweg verlaufender "Falten" auch an einem der beiden vollständig erhaltenen Lunula-Anhänger aus diesem Depotfund (Kat. 47,8; Taf. 169,4-6) auf einen Blechstreifen als Grundlage. Ob der dickere Lunula-Anhänger aus Wiggensbach (Kat. 47,7; Taf. 169,1-3) dagegen aus einem massiven Vorprodukt geschmiedet wurde oder ob er im Formguss angefertigt wurde, lässt sich nicht definitiv beurteilen. Die Formgebung wäre zumindest im Gussverfahren einfacher gewesen.

Dass das Gussverfahren tatsächlich auch für Lunula-Anhänger aus Silber zum Einsatz kam, zeigt sich an einem der Exemplare aus dem Depotfund von Rembrechts (Kat. 33,5; Taf. 126). Nicht nur eine raue Oberfläche, sondern auch eine sichtbare Gussnaht (Taf. 126,3.4) verweisen darauf, dass dieser offensichtlich im Zweischalenguss angefertigt wurde. Ein anderer Lunula-Anhänger aus Rembrechts (Kat. 33,4; Taf. 125,2-6) und das Fragment eines weiteren Exemplars (Kat. 33,7; Taf. 128) scheinen dagegen nach Ausweis sichtbarer Falten auf das Schmieden eines massiven Vorprodukts zurückzugehen. Dass der dritte der komplett erhaltenen Anhänger (Kat. 33,6; Taf. 127) geschmiedet wurde, ist deutlich erkennbar. Die über längere Strecken hinweg verlaufenden Falten (Taf. 127,5) ließen sich dabei auf die Drahtherstellung aus einem Blechstreifen, besser aber auf die beim Glättrollen entstandenen Faltungen eines massiv geschmiedeten Drahtes zurückführen (vgl. Kap. 4.2.3 Abb. 6,b und Abb. 7,c,d).

Die spitzen Enden der Lunula-Anhänger aus Draht wurden vor dem Umbiegen häufig mit Kerben verziert, so etwa an einem Exemplar aus Rainau-Buch (Raub 1981), aber auch an weiteren raetischen Stücken aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 31,2; Taf. 104) und Rembrechts (Kat. 33,7; Taf. 128). Diese werden als Stierhörner interpretiert, weshalb in den beiden Anhängern aus Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,3-4) eine beabsichtigte Paar-Zusammenstellung von Stier und Widder, in der Symbolik ähnlich wie die von Rad und Lunula, vermutet wird (Boos u. a. 2000, 27 f.). Bemerkenswert erscheint in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die doch selten auftretende Gestaltung in Form von Widderhörnern ein weiteres Mal in Regensburg-Kumpfmühl vorkommt, an einem kleinen Anhänger aus dem Kastellvicus (Kat. 31,1; Taf. 104,1) und möglicherweise auch hier wieder in Kombination mit einem Lunula-Anhänger mit gekerbten Enden (Kat. 31,2; Taf. 104,2).

Die Enden anderer Lunula-Anhänger sind spitz zulaufend gestaltet, wie an den Exemplaren aus dem vermuteten Depotfund aus Regensburg (Kat. 30,4; Taf. 103)¹³³ sowie aus den Depotfunden von Rembrechts (Kat. 33,4,6; Taf. 125,2; 127) und Wiggensbach (Kat. 47,7,8; Taf. 169). Dagegen sind an den Anhängern von Rembrechts (Kat. 33,5; Taf. 126) und Rottenburg (Kat. 35,1; Taf. 138,6) auch gestauchte Enden zu beobachten.

Für eine technische Betrachtung sind die angewandten Lötverfahren zur Verbindung der jeweiligen Anhängergrundform mit ihrer Aufhängehülse von besonderer Bedeutung.

Eine Untersuchung eines Lunula-Anhängers wurde bereits durch Ch. J. Raub (1981, 531 ff.), an einem Exemplar aus Rainau-Buch, Baden-Württemberg, durchgeführt (zur zugehörigen Kette siehe Kap. 5.4.2.3). Die qualitativen Analysen (EDX) ergaben an der Lötstelle deutlich höhere Kupfer-, Zink- und Zinngehalte als in der Silberlegierung des Grundmetalls. Quantitative Messergebnisse liegen nicht vor. Nach Ch. J. Raub ist der Gehalt an Zinn jedoch so stark erhöht, dass dieses dem Lot beigelegt worden sein muss. Da eine Vermischung des Lotes mit dem Grundmetall nicht auszuschließen sei, führt er auf, dass die Lötung möglicherweise auch mit einem reinen Zinnlot oder einer Kupfer-Zinn-Legierung durchgeführt worden sein könnte.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten weitere Analysen an vier Fallbeispielen durchgeführt werden, deren Ergebnisse im Folgenden erörtert werden (vgl. Kap. 4.3.2).

Die an dem Lunula-Anhänger aus Rottenburg vorhandene Bruchstelle (Taf. 138,5; 139,1) befindet sich direkt an der Lötnaht zur Öse. Diese Tatsache verweist auf eine Schwachstelle im Bereich der Lötnaht, entweder durch eine Überhitzung oder durch das verwendete Lot, welches das Material versprödet und damit den Bruch an dieser Stelle verursacht hat. In gleicher Weise könnte jedoch auch eine starke Korrosion zum Brechen des geschmiedeten Drahtes geführt haben.

Die Ergebnisse der Messungen an der Verbindungsstelle lassen in erster Linie zugefügtes Zinn erkennen (Tab. 13).

	Ag	Cu	Zn	Sn	Pb	Sonst.
Aufhängehülse	49,25	47,25	1,45	0,99	0,70	0,31 Au
Lunula	41,80	53,75	1,27	0,95	0,31	0,24 Au; 1,35 Fe ¹³⁴
Lotstelle, Messung 1 mit großem Kollimator	17,30	71,15	0,53	7,67	1,43	0,15 Au; 1,3 Fe
Lotstelle, Messung 2 mit kleinem Kollimator	20,81	67,04	0,70	9,51	2,07	-

Tab. 13: Messungen an der Verbindungsstelle des Lunula-Anhängers aus Rottenburg (Kat. 35,1); IFZAA Basel; Angaben in Gew.-%.

¹³³ Das eingerollte eine Ende und das möglicherweise abgebrochene andere Ende könnten sich jedoch auch auf eine ursprüngliche Gestaltung in Form von Widderhörnern zurückführen lassen.

¹³⁴ Das in den Analysen erfasste Eisen ist auf die Lagerung im Boden zurückzuführen und nicht als Legierungspartner anzusprechen (vgl. Stern 1988, 29; 1990, 21).

Die an der Lotstelle gemessene Legierung hätte einen sehr hohen Schmelzbereich, weshalb sie in dieser Zusammensetzung nicht als Lot gedient haben konnte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei den Messungen nicht ausschließlich die Lotlegierung an der Verbindungsstelle, sondern zusätzlich Bereiche des Lunuladrahtes oder der Hülse erfasst worden sind (Abb. 45). Bedingt durch den Kollimatordurchmesser (Blende) und die geringe Breite der Verbindungsstelle sowie durch die Diffusion der Elemente an der Nahtstelle bilden die vorliegenden Daten der Lotstelle einen Mischwert aus den Lot- und den Verbundlegierungen. Die im Vergleich zu den Anhängerteilen in der Lotstelle deutlich höheren Messwerte von Zinn und Blei verweisen auf ein zinn- und bleihaltiges Lot. Sollte es sich bei der eigentlichen Lotlegierung um ein Weichlot und damit um eine reine Zinn-Blei-Legierung handeln, müssten die an der Lotstelle gemessenen Gewichtsanteile an Kupfer und Silber ausschließlich aus den Verbundmetallen stammen. Diese sollten dann in allen Messungen in etwa demselben Verhältnis vorliegen. Da dies jedoch nicht der Fall ist, sondern ein deutlich höherer Kupfergehalt an der Nahtstelle gemessen wurde, muss die Lotlegierung auch Kupfer enthalten haben.

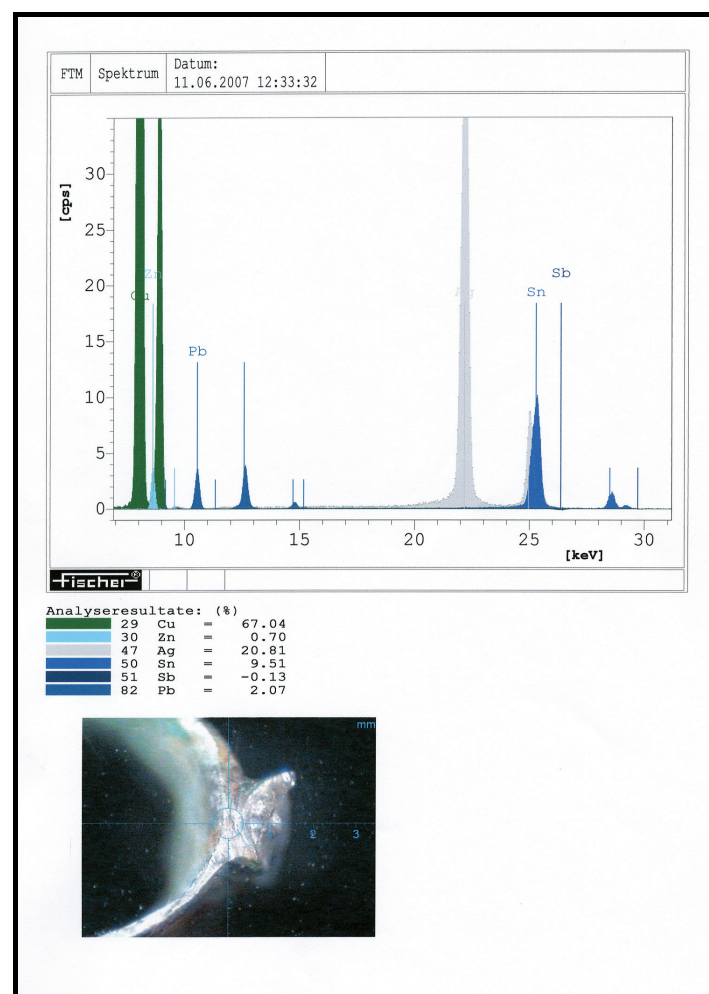


Abb. 45: Spektrum der EDXRF-Analyse an dem Lunula-Anhänger aus Rottenburg (IFZAA Basel). Der blaue Kreis im Foto bezeichnet Position und Größe der Messstelle (Tab. 13, Lotstelle Messung 2).

Da die Verhältnisse von Silber zu Zink in den Messdaten der Lotstelle und der Verbundteile annähernd gleich sind, entstammen diese Elemente vermutlich aus den Verbundmetallen und sind keine Bestandteile des Lotes. Bei Verwendung des kleineren Kollimators ergeben sich höhere Werte von Zinn und Blei, womit man den wahren Werten der Lotstelle etwas näher kommen dürfte. Die Messdaten verweisen ohne genaue quantitative Aussagen lediglich qualitativ auf eine Kupfer-Zinn-Blei-Legierung für das bei dem Lunula-Anhänger aus Rottenburg verwendete Lot. Die tatsächliche Lotlegierung ist leider nicht zu ermitteln, eine Form von metallischem Hartlot liegt jedoch nahe.

Zu anderen Ergebnissen führten Analysen an den Lunula-Anhängern aus Rembrechts (Tab. 14).

		Ag	Cu	Zn	Sn	Pb
Lunula-Anhänger 1	Lunula	53,7	42,8	2,6	0,4	0,6
	Aufhängehülse	55,6	36,2	7,3	0,5	0,4
	Verbindungsstelle zw. Lunula u. Hülse, Messung 1	4,5	1,4	0,5	48,5	45,2
	Verbindungsstelle zw. Lunula u. Hülse, Messung 2	5,1	2,2	0,6	49,5	42,6
Lunula-Anhänger 2	Lunula	66,9	28,3	3,7	0,4	0,8
	Aufhängehülse	73,6	21,1	3,9	0,5	0,9
	Verbindungsstelle zw. Lunula u. Hülse	4,9	2,8	1,1	45,2	46,0
Lunula-Anhänger 3	Lunula	54,7	39,1	5,3	0,2	0,7
	Aufhängehülse	61,0	34,9	2,6	0,8	0,8
	Verbindungsstelle zw. Lunula u. Hülse	17,6	80,5	1,2	0,2	0,5

Tab. 14: Messungen an Verbindungsstellen der Lunula-Anhänger aus Rembrechts (Kat. 33,4-6); FEM Schwäbisch Gmünd; Angaben in Gew.-%.

Die optische Betrachtung der Lotstellen hatte bereits aufgrund der grauweißen Farbe an zwei Anhängern zu der Annahme geführt, dass bei diesen Zinnlotnähte vorliegen.

Da die Lotfugen an den Lunula-Anhängern 1 und 2 ausreichend breit sind, konnte gezielt das Lot gemessen werden und die Analysen bestätigen die ursprüngliche Vermutung eines Weichlots. Die Nahtstellen der Anhänger 1 und 2 ergaben Blei-Zinn-Lotlegierungen mit annähernd gleichen Anteilen an Zinn und Blei.

Nachdem die Solidustemperatur der Silberlegierung der Verbundmetalle während eines Weichlötens mit dieser Lotlegierung bei weitem nicht erreicht wird, schmelzen die zu verbindenden Teile kaum an, wodurch die Diffusionszone sehr gering ist. Infolgedessen kann man davon ausgehen, dass an diesen beiden Anhängern weitgehend die tatsächlichen Lotlegierungen gemessen wurden.

In den 20er Jahren des 20. Jhs. wurden vereinzelt Weichlote mit jeweils 50 % Gewichtsanteilen an Zinn und Blei für Reparaturen im Goldschmiedehandwerk verwendet (Pritzlaff 1922, 129; Diebeners Handbuch 1929, 129). Auch heute noch wird das Weichlötens für Reparaturen

eingesetzt (Brepohl 2000, 320). Die Objekte aus Rembrechts sind Altfunde und gelangten 1933 - kurz nach ihrer Auffindung - in die Staatliche Altertümersammlung nach Stuttgart. Daher ist nicht ganz auszuschließen, dass die vorliegenden Verbindungen der Lunulae und ihrer Hülsen auf neuzeitliche Reparaturmaßnahmen zurückgehen könnten. Es liegt allerdings keine Dokumentation zu einer eventuellen Altrestaurierung der Lunula-Anhänger vor. Zudem wurden altrestauratorische Lotreparaturen häufig nachlässig ausgeführt¹³⁵, wohingegen die Lotfugen an den Lunula-Anhängern sehr sorgfältig erscheinen.

Wie bereits in Kapitel 4.3 ausgeführt, ist das Weichlöten sowohl in antiken Schriftquellen erwähnt als auch an anderen römischen Silberfunden über Metallanalysen nachgewiesen, so dass eine antike Verwendung auch hier nicht von der Hand zu weisen ist.

Viele der im Rahmen der Arbeit untersuchten Lunula-Anhänger sind nicht vollständig erhalten oder wurden modern wieder zusammengesetzt, da die Nahtstellen zwischen Aufhängehülse und Drahtkörper nicht gehalten haben. Auch an der Hülse von Lunula-Anhänger 1 aus Rembrechts ist eine weitere ehemalige Naht aufgegangen (Taf. 125,5). Die "angefressen" wirkenden Kanten könnten auf eine Schädigung der Silberlegierung im Verbindungsbereich zurückzuführen sein, die durch das Blei oder Zinn des Weichlots verursacht worden sein könnte. Das eventuell ehemals an dieser Stelle vorhandene Zinn könnte sich während der Bodenlagerung durch Kälteeinfluss in seine zweite pulverig-graue Form umgewandelt haben (Braun-Feldweg 1968, 254). Dieser als Zinnpest bezeichnete Zerfall wurde an anderer Stelle für "verschwundenes Lot" verantwortlich gemacht (Schmidt 1993, 23).

Lunulakörper und Hülse der beiden Anhänger 1 und 2 aus Rembrechts bestehen jeweils aus Legierungen mit einem relativ geringen Silbergehalt und für eine schnelle und einfache Verbindung dürfte ein Weichlot durchaus ausgereicht haben. Ein Abwägen aller aufgeführten Daten und Überlegungen deutet hier auf ein bereits antik angewandtes Weichlöten für die Verbindung von Drahtkörper und Hülse.

Im Unterschied zu den beiden mit Weichlot gelöteten Anhängern weist der dritte Lunula-Anhänger aus Rembrechts eine Lotlegierung mit einem hohem Kupfergehalt auf, während die Gehalte an Zinn und Blei kaum eine Veränderung zu den Verbundlegierungen zeigen. Die Liquidustemperatur der gemessenen Kupferlegierung an der Nahtstelle wäre mit über 900 °C viel zu hoch, um die Verbundteile aus einer Silberlegierung mit einer Solidustemperatur von ca. 800 °C zu löten.

Im Bereich der Verbindungsstelle ist der Kupfergehalt im Vergleich zu Lunula und Hülse mindestens doppelt so hoch, bei gleichzeitig erheblich niedrigeren Silbergehalten. Dies zeigt eine hohe Zugabe von Kupfer, weshalb die wahrscheinlichste Verbindungstechnik die des Reaktionslötens ist (siehe Kap. 4.3.2.2).

Wenn in der Messstelle außer der Fuge selbst etwa zu gleichen Teilen auch Hülse und Lunula erfasst wurden, kann man für den in der Messstelle befindlichen Anteil von Hülse und Lunula den Mittelwert der Messungen aus Tab. 14 für eine Abschätzung zugrundelegen, d. h.

¹³⁵ Freundlicher Hinweis von Herrn M. Raithelhuber, Landesmuseum Württemberg, Stuttgart.

57,9 % Ag, 37,0 % Cu und 4,0 % Zn. Vergleicht man das daraus berechnete Verhältnis von Silber zu Zink mit dem Silber-Zink-Verhältnis in der Verbindungsstelle, so ergibt sich in beiden Fällen ein Wert von etwa 14,6 zu 1. Dieses gleichbleibende Verhältnis bestätigt, dass nur Kupfer zugegeben wurde, wodurch wiederum ein Reaktionslot plausibel wäre.

Eigene Versuche zum Reaktionslöten hatten jedoch gezeigt, dass Silberlegierungen mit einem Feingehalt unter ca. 94 % nur schwer mit einem Reaktionslot zu verbinden sind, ohne dass umliegendes Material schmilzt (siehe Kap. 4.3.2.2 bes. Abb. 14,i). Erstaunlich bleibt daher die Tatsache, dass im Falle des Anhängers 3 aus Rembrechts offensichtlich Reaktionslot eingesetzt wurde, obwohl sich der Prozess bei Vorliegen einer solchen silberarmen Legierung an der Grenze der Durchführbarkeit der Methode befindet.

Zusammenfassend zeigt die Interpretation der Analysen an vier Lunula-Anhängern exemplarisch die Verwendung unterschiedlicher Techniken zum Löten von Konstruktionsteilen an provinzialrömischem Silberschmuck. Sowohl das Löten mit Zinn und Blei als auch mit Kupferverbindungen wurde offensichtlich an in großer Zahl hergestellten Schmuckstücken, wie den Lunula-Anhängern, eingesetzt. Wie in Kapitel 4.3.4 geschildert, wurde die unterschiedliche Nutzung von Hart- und Weichloten auch an anderen Silberobjekten festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass die Wahl der Verbindungstechnik und des Lotes von der Verfügbarkeit des Lotmaterials und dem technischen Wissensstand des jeweiligen Handwerkers abhing.

Auch das Erscheinungsbild der anderen, nur optisch untersuchten Lunula-Anhänger verweist auf ähnliche Lötverbindungen.

Die Verbindung des Anhängers mit Enden in Form von Widderhörnern von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,4) hat nicht gehalten und die Lotreste an der Hülse (Taf. 108,6) weisen eine gräuliche Farbe auf. Ein Weichlot scheint damit nahe zu liegen. Die Nahtstelle an dem Lunula-Anhänger aus demselben Fundkomplex (Kat. 32,3) weist zwar einen kaum erkennbaren Übergang auf, wie es für ein Reaktionslot typisch wäre. Aber das spröde rissige Erscheinungsbild (Taf. 107,2) und die sichtbare Lotperle (Taf. 114,3.4) sind vielmehr auf metallisches Lot zurückzuführen, vermutlich ebenfalls auf zinn- oder bleihaltiges Material. Die Bildung einer solchen Lotperle deutet auf eine falsche Erhitzung oder unzureichend verwendetes Flussmittel hin, wobei sich das Lot dorthin gezogen hat, wo die Wärme am größten war und sich damit während des Lötvorgangs zur Kugel geformt hat. Das würde zudem die nicht richtig geschlossene Nahtstelle erklären.

Auch das Fragment des dritten Lunula-Anhängers aus dem Depotfund von Wiggensbach (Kat. 47,9; Taf. 170,1) zeigt einen erhaltenen Lotrest mit gräulicher Farbe. Die Lötung war nicht haltbar. Darüber hinaus lässt auch die "angefressen" wirkende Oberfläche an der Nahtstelle des vollständig erhaltenen Anhängers aus Wiggensbach (Kat. 47,7; Taf. 169,1-3) zusammen mit der offensichtlich wiederholten Lötung der Hülse (Taf. 169,2) auf die Verwendung eines Zinnlotes schließen.

Lunula-Anhänger wurden nicht als exzeptionelle Stücke von langer Haltbarkeit hergestellt, sondern in großer Stückzahl angefertigt und offensichtlich vorwiegend aus Silberlegierungen mit niedrigeren Feingehalten¹³⁶. Sie dienten als Zieramulette oder wurden als reiner Modeschmuck getragen. Dass sich eine Reparatur abgelöster Aufhängehülsen dennoch lohnte, zeigt die Beobachtung, dass die Hülsen wohl bereits in der Antike vereinzelt auf der anderen Seite wieder angelötet wurden (siehe jeweils zweite Nahtstelle auf Taf. 125,5; 126,5; 169,2)¹³⁷. Die Tatsache, dass die Lotfugen stellenweise aufgingen, weist jedoch an sich schon auf ein wenig beanspruchbares antikes Lot hin.

5.5.3 Provinzialrömische Zierscheiben

Eine weitere Anhängerform, welche insbesondere aus Silber produziert wurde, ist die Zierscheibe. Diese tritt gehäuft in obergermanisch-raetischen Fundkomplexen des späteren 2. und 3. Jhs. n. Chr. auf. Exemplare aus Silber stammen beispielsweise aus Bregenz im österreichischen Vorarlberg (Vonbank 1978, 150; 226 Kat. Nr. 174; Luik u. Blumer 2006; Martin-Kilcher u. a. 2008, 86 Abb. 3.15,1), Rottenburg in Baden-Württemberg (Heiligmann 2003, 33 Abb. 24), Obfelden-Lunnern und Neftenbach im Schweizer Kanton Zürich (Martin-Kilcher u. a. 2008, 87 Abb. 3.15,2-3; 203 Abb. 8.3), Hettingen (Kat. 11,9-11; Taf. 28; 29), Rembrechts (Kat. 33,16.17; Taf. 134) und Regensburg (Kat. 29,1; Taf. 97). Zwei der erst jüngst neu untersuchten Stücke aus Obfelden-Lunnern (Martin-Kilcher u. a. 2008, 66 - 69 Abb. 2.28 - 2.31) wurden dagegen aus Gold hergestellt¹³⁸.

Während die Ornamentik der meisten Zierscheiben aus Silber ziseliert und punziert sowie mithilfe von Ziernieten durchgeführt wurde, sind für die Herstellung der goldenen Stücke, wie aus Obfelden-Lunnern, aufwändig verlötete Filigrandrähte und Granalien verwendet worden (Martin-Kilcher u. a. 2008, 43 ff.). Zu den Ausnahmen aus Silber, die ebenfalls mit verlöteten Drähten und mit Granalien versehen wurden (ebd. 83 ff.), gehören ein Exemplar aus Bonn, welches bereits im 1. Jh. n. Chr. hergestellt wurde (ebd. 104 f. Abb. 3.33 - 3.35), und die

¹³⁶ Auch der Lunula-Anhänger aus Rainau-Buch besteht aus einer Silberlegierung mit lediglich 68 % Ag (Raub 1981, 531).

¹³⁷ Diese Feststellung beruht auf der Annahme, dass diese Lötungen nicht auf neuzeitliche Reparaturmaßnahmen zurückzuführen sind, was an anderen Stücken sicher der Fall ist. So ist besonders bei der Interpretation der Lötstellen an den Funden von Wiggensbach Vorsicht geboten, da diese sowohl direkt nach ihrer Auffindung als auch seit ihrer Erstveröffentlichung durch A. Ullrich 1889 mehrfachen Veränderungen unterzogen worden sind. Während der Lunula-Anhänger 1 (Kat. 47,7) bereits auf den ersten Abbildungen bei A. Ullrich (1889, Taf. III.17) in dieser Zusammensetzung erscheint, wurde der Lunula-Anhänger 2 (Kat. 47,8) erst in jüngerer Zeit mit der Aufhängehülse zusammengesetzt (bei Ullrich 1889, Taf. III,7 Lunula und Taf. I,9 Hülse; so auch in den Inventarlisten des Kemptener Museums 1988 vermerkt). Diese Verbindung ist damit nicht antiken Ursprungs.

¹³⁸ Vgl. auch eine Auflistung der Zierscheiben bei S. Martin-Kilcher u. a. 2008, 325 f. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden lediglich einzelne Beispiele begutachtet, da diese Zierscheiben vom sogenannten "Typ Hettingen" (bei Martin-Kilcher u. a. 2008, 325 "Typ Lunnern") durch M. Luik und R.-D. Blumer umfassend behandelt und erst jüngst vorgelegt wurden (Luik u. Blumer 2008).

erwähnte Zierscheibe aus Bregenz¹³⁹. Auch eine Zierscheibe aus Burghöfe in Bayern wurde mit verlöteten Filigrandrähten verziert (Luik u. Blumer 2008, 168 Kat.-Nr. 3).

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit exemplarisch untersuchten Zierscheiben aus Hettingen (Kat. 11,9-11; Taf. 28; 29) und Rembrechts (Kat. 33,16.17; Taf. 134) weisen sowohl Entsprechungen als auch kleinere technische Unterschiede auf.

Gemeinsamkeiten bestehen in ihrem Konstruktionsaufbau aus einer wohl gegossenen Scheibe, den je zwei angenieteten aus Blech hergestellten Aufhängeschlaufen sowie den Ziernieten. Letztere sind auf der Rückseite durch kleine Bleche stabilisiert und auf der Vorderseite entweder mit Draht umwickelt oder mit einem Blech "umhüllt" und weisen ein kegelförmiges Erscheinungsbild auf. Gemeinsam ist auch das Ziselieren und Punzieren von einzelnen Ornamenten, sei es bereits im Gussmodell oder erst im Metall. Grundlegende Techniken waren damit in allen Fällen vor allem das Gießen, Blechschmieden und Durchlochen, das Nieten, die Drahtherstellung sowie das Punzieren und Ziselieren. Für die Herstellung der Ziermuster unabdingbare Werkzeuge waren der Zirkel sowie Kugel- und Schrotpunzen bzw. Modellierstifte.

Die Löcher scheinen in allen Fällen mit einem Dorn durchgehauen zu sein, denn eine Gratbildung ist jeweils nur auf einer Seite zu beobachten. Bei der Zierscheibe 1 aus Hettingen im Inneren des zentralen Lochs (Taf. 28,3.4) zu erkennende konzentrische Schleifspuren lassen sich vermutlich auf die Bewegung des ursprünglich nicht fest sitzenden Niets zurückführen.

Die sowohl an den Scheiben aus Rembrechts als auch aus Hettingen streckenweise sichtbare blasige Oberfläche (Taf. 134,4; Taf. 28,3-4; 29,3.6) verweist auf den Guss als grundlegende formgebende Technik. Die Beobachtung, dass nicht nur die - sich nicht auf den Rückseiten abzeichnenden - gekehlten Bereiche, sondern wahrscheinlich auch die wie Kerbdraht wirkenden Verzierungen im Zentrum der Hettinger Stücke mitgegossen sind, spricht für das Zugrundeliegen von Wachsmodellen.

Während sich die zentralen Ziermuster an den Hettinger Exemplaren und auch der Zierscheibe 2 aus Rembrechts auf der jeweiligen Vorder- oder Rückseite nicht durchgedrückt haben und damit ein Anbringen im Wachsmodell nahe liegt, sind die auf der Vorderseite der Zierscheibe 1 aus Rembrechts sich als Erhebung abzeichnenden Muster (Taf. 134,1.3) darauf zurückzuführen, dass diese mit Kugelpunzen von der Rückseite aus in das Metall punziert wurden.

Die unterschiedlich ausgeprägten Kanten der halbkugelförmig eingetieften Muster an den Hettinger Scheiben verweisen darauf, dass diese sowohl bereits im Wachs als auch teilweise erst nach dem Guss mit einer Kugelpunze angebracht bzw. nachzisiert wurden. Gleiches gilt auch für die auf eine Schrotpunze zurückgehenden scharfkantigen Linien der Zierscheiben 2 und 3 (Taf. 29,3.6), die auf die Kegel zulaufen. Trotz des schlechten

¹³⁹ Vgl. die Untersuchungen zur Herstellung und zur stilistischen Entstehung der Schmuckscheiben bei Luik u. Blumer 2006 und 2008 sowie Martin-Kilcher u. a. 2008, 103 ff.

Erhaltungszustandes der Zierscheibe 2 aus Rembrechts scheint die Ausführung ihrer Ornamentik mit den Hettinger Stücken direkt vergleichbar.

Als Erklärung für die Beobachtung, dass die außerhalb der zentralen Bereiche der Zierscheiben umlaufenden Linien deckungsgleiche Pendants auf ihrer jeweiligen Rückseite zeigen und die Ränder in einzelnen Fällen genau entlang dieser Linien ausgebrochen sind (Taf. 134,4; Taf. 29,1.2), kommen mehrere Ursachen infrage.

Im Falle der Zierscheibe 1 aus Rembrechts ist anzunehmen, dass die jeweils von beiden Seiten aus mit einem Zirkel im WachsmodeLL eingearbeiteten Linien aufgrund der dort äußerst dünnen Materialstärke Schwachstellen darstellten.

Für die untersuchten Hettinger Zierscheiben ist in Betracht zu ziehen, dass eine gegossene innere Zentralscheibe mit einzelnen umlaufenden Drähten, die platt geschmiedet wurden, versehen wurde. Diese Drähte hätten folgend passgenau verlötet werden müssen. In diesem Fall wäre die Anfertigung, die mit einer großen technischen Anforderung verbunden ist, mit der für die goldenen Stücke aus Obfelden und für die silbernen Exemplare aus Bonn und Bregenz postulierten Konstruktion direkt vergleichbar (siehe unten). Dagegen muss jedoch in Erwägung gezogen werden, dass sich solche, wie feine Filigranarbeiten wirkende Objekte durchaus im WachsauSchmelzverfahren herstellen lassen, indem das WachsmodeLL aus einzelnen Wachsdrähten aufgebaut wird. Dieses Verfahren hat ethnographische Parallelen in Westafrika (Gardi 1969, 77 ff.) und wurde in Experimenten nachvollzogen, welche als ErklärungsmodelL für einen bronzezeitlichen Scheibenring herangezogen wurden (Armbruster 2000, 77 ff.). Aufgrund der Beobachtung, dass der zentrale Bereich der Hettinger Zierscheiben bereits im Guss angelegt wurde, scheint diese Variante wahrscheinlicher. Die wie Kerbdraht wirkende Ornamentik dürfte dabei bereits im Wachs angelegt und möglicherweise an einzelnen Stellen nachziseliert worden sein. Die Verwendung eines Werkzeuges in Form eines "Zirkels mit schaufelförmigem Ende", wie es von M. Luik und R.-D. Blumer (2008, 170 ff.; 180) aufgrund der sichtbaren Schleifspuren in den gekehlten Halbkreisen und umlaufenden Kreisverzierungen in Betracht gezogen wurde, ist dabei durchaus denkbar, um die Übergänge im WachsmodeLL zu glätten.

Auffällig ist bei allen untersuchten Zierscheiben die nachlässige Ausführung bzw. fehlende AkkurateSSe der Verzierungen, da diese häufig aus der ursprünglich beabsichtigten Spur laufen. Besonders deutlich wird dies an der Zierscheibe 3 aus Hettingen (Taf. 29,6).

Die Unterschiede im Erscheinungsbild der Zierscheiben aus Rembrechts und Hettingen lassen sich auf eine abweichende Handhabung zur Anfertigung vergleichbarer Muster zurückführen. Zudem wurden die Scheiben von Hettingen deutlich stärker verziert als dies bei den Stücken aus Rembrechts der Fall ist, auch wenn die Ornamentik der Zierscheibe 2 aus Rembrechts sicher in gleicher Manier durchgeführt wurde. Damit verbunden kann besonders das Erscheinungsbild der Hettinger Exemplare als Nachahmung von Filigranverzierungen interpretiert werden (so auch Luik u. Blumer 2008, 149; 153 für die meisten der Zierscheiben aus Silber). Zusammen genommen, deuten die genannten Abweichungen auf unterschiedliche

Handwerker hin, die diese regional beliebte Schmuckform anfertigten (vgl. auch Luik u. Blumer 2008, 154).

Im Gegensatz zu diesen Zierscheiben zeigt das Regensburger Exemplar (Kat. 29,1; Taf. 97) auf der Rückseite nur ansatzweise Spuren einer umlaufenden Kreisverzierung. Wegen seiner angeschmolzenen Oberfläche - der Anhänger stammt aus einem Brandgrab - lassen sich leider keine detaillierten Rückschlüsse auf die Anfertigung der Trägerplatte ziehen¹⁴⁰. Eine Herstellung der Scheibe durch Guss ist jedoch auch hier anzunehmen, wobei die umlaufenden Kreise auf der Vorderseite ebenfalls bereits in das WachsmodeLL eingebracht worden sein dürften.

Die vier "peltaförmigen" Durchbrechungen sind in Form und Größe nahezu identisch und wahrscheinlich mit einer Formstanze hergestellt. Die Durchbrüche mit leicht einziehenden Rändern auf der Schlagseite und mit scharfen Konturen und einer leichten Gratbildung an der Unterseite zeigen die typischen Merkmale eines Ausstanzens. Obwohl die Zierscheibe deformiert ist und der Vergleich der Durchbrechungen durch unterschiedliche Aufsichten erschwert wird, zeigt ein Übereinanderlegen ihrer Konturen deutliche Übereinstimmungen (Abb. 46).

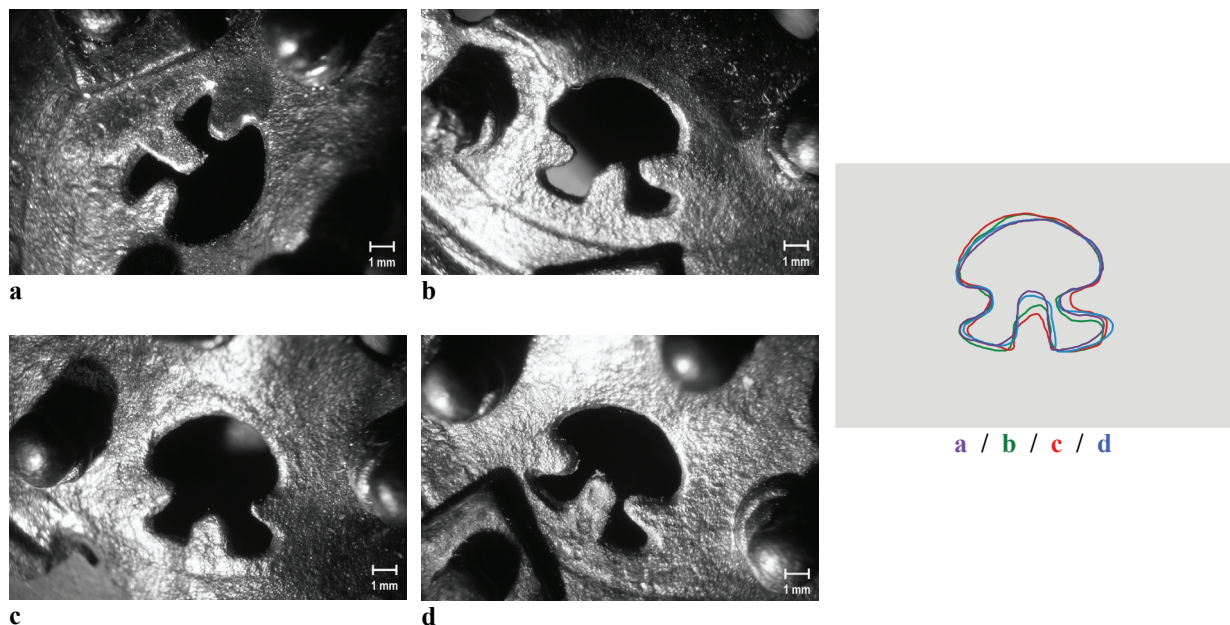


Abb. 46: Durchbrechungen der Zierscheibe aus dem Regensburger Gräberfeld (Kat. 29,1) und Umzeichnung der Konturen.

¹⁴⁰ Beobachtungen von Goldschmelzresten an Fragmenten von Leichenbrandresten belegen, dass die Hitze eines Scheiterhaufens Maximaltemperaturen von über 1000 °C erreichen kann (Becker u. a. 2005, 150). Dies reicht aus, um jede Silberlegierung zum Anschmelzen zu bringen. Experimentelle Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, dass vor allem blechförmige Objekte aus Silber und Buntmetall während der Leichenverbrennung deformieren bzw. sogar schmelzen können (ebd. 106; 119; 147 ff.).

Eine entsprechende Formstanze kann beispielsweise aus einer im Querschnitt runden Punze hergestellt werden, indem die untere und die seitlichen Einbuchtungen eingefeilt werden und die Stirnfläche plan geschliffen wird.

Auch die Regensburger Zierscheibe wurde mit drahtumwickelten Ziernieten bestückt. Lediglich die Zierscheibe 3 aus Hettingen (Taf. 29,6) wurde statt der kegelförmigen Drahtumwicklungen mit aus Blech geformten "Zierkegeln" versehen. Für die anderen hier untersuchten Exemplare wurde jeweils ein Draht kegelförmig gewickelt und durch einen Niet mit der Scheibe verbunden. Die Drähte weisen einzelne umlaufende Fugen auf (Taf. 134,3; 28,5; 29,3; 97,5), ein Hinweis darauf, dass sie aus verdrehten Blechstreifen ("strip-twisting") angefertigt wurden¹⁴¹. Anzunehmen ist, dass die Drähte der Drahtkegel an einzelnen Stellen durch eine thermische Verbindungstechnik fixiert wurden, da die Übergänge zwischen den einzelnen Drahtwicklungen teilweise wie mit metallischer Matrix gefüllt sind und sich keine Drähte abgelöst haben. Gleichzeitig diente dies auch zur Stabilisierung der Kegel bei der nachfolgenden Vernietung. Für diese feinen Filigrandrähte kommt nur eine Löttechnik infrage (so auch Luik u. Blumer 2008, 151 Abb. 5,b; 170 f.; 179), ohne Metallanalysen lässt sich diese jedoch nicht belegen.

In jedem Fall waren zur Anfertigung aller hier untersuchten Zierscheiben aus Silber ein erheblicher Zeitaufwand und für die angewandten Zier- und Löttechniken spezialisierte Kenntnisse in der Handhabung des Materials Silber notwendig. Buntmetall wurde nicht für diesen Formtyp verwendet, die silbernen Zierscheiben wurden jedoch vorwiegend aus Legierungen mit geringeren Feingehalten angefertigt (Martin-Kilcher u. a. 2008, 85; Luik u. Blumer 2008, 149).

Während an den untersuchten Exemplaren wohl nur vereinzelt eine thermische Verbindungstechnik zum Einsatz kam, wurde das Löten in der Anfertigung der goldenen Zierscheiben aus Obfelden-Lunnern, aber auch der silbernen Exemplare aus Bonn und Bregenz grundlegend dazu verwendet, um die einzelnen Form- und die zahlreichen Zierelemente miteinander zu verbinden.

Den jüngst von M. Luik und R.-D. Blumer (2006) publizierten Untersuchungen zufolge ist die Zierscheibe aus Bregenz aus miteinander verlöteten Perldrähten, Blechen und Filigrandrähten aufgebaut. Als weitere Dekorelemente wurde eine größere Zahl an in Linien angeordneten Granalien auf den frei verlöteten Filigrandrähten aufgebracht (ebd. 61 f. mit Abb. 1 - 2). Mit Metallanalysen konnte offensichtlich kein Lot nachgewiesen werden, weshalb von den Autoren die Anwendung des Reaktionslötens mit anschließender Oberflächenanreicherung angenommen wird (ebd. 64 f.). Zusätzlich wurden aus Drähten aufgebaute Kegel mit Ziernieten befestigt und auch die Aufhängeschlaufen wurden - wie bei allen anderen Zierscheiben aus Silber - mit der Zierscheibe vernietet.

¹⁴¹ Es handelt sich dabei jedoch nicht um "tordierte" Drähte, wie dies von M. Luik u. R.-D. Blumer (2008, 151; 170 f.; 179) postuliert wurde, sondern um eindeutige Spuren der Drahtherstellung (vgl. Kap. 4.2.3).

Das Nieten als Verbindungs- und Ziertechnik wurde offensichtlich an allen Scheiben aus Silber eingesetzt, nicht aber an den beiden Exemplaren aus Gold. Diese zeigen statt der Niete aufgelötete Zierkegel, Granalien auf der Vorderseite sowie Bleche auf der Rückseite. Selbst die Aufhängeschlaufen wurden nicht vernietet, sondern aufgelötet (Martin-Kilcher u. a. 2008, 43 f.). Besonders die an diesen Scheiben reichlich angewandten Filigran- und Granulationsverzierungen wären ohne spezialisierte Kenntnisse nicht durchführbar gewesen. Die Löttechnik wurde zwar vereinzelt auch an den Zierscheiben aus Silber eingesetzt, bevorzugt wurden jedoch andere Verbindungstechniken angewandt. Diese Beobachtung zeigt wieder eine abweichende Handhabung der beiden Edelmetalle an und wahrscheinlich auch die Arbeit verschieden spezialisierter Handwerker.

6. Werkstattbefunde, Werkzeuge und Arbeitsgeräte der Silberverarbeitung

In den vorangegangenen Ausführungen wurden die in der Silberverarbeitung angewandten Feinschmiedetechniken zur Schmuckherstellung dargestellt und mit Fallbeispielen belegt. Im Anschluss daran stellt sich nun die Frage nach den Werkstätten und den eingesetzten Hilfsmitteln zur Herstellung solcher Schmuckobjekte.

Im Folgenden soll an einzelnen Beispielen aufgezeigt werden, wie das Werkstattinventar eines Feinschmieds in der vorrömischen Eisenzeit und der römischen Kaiserzeit ausgesehen haben könnte und welche archäologischen Befunde Hinweise auf eine Silberverarbeitung aufzeigen können. Zusätzlich sind besonders für thermische Verbindungstechniken weitere Hilfsmittel notwendig, die sich nicht allein anhand der archäologischen Quellen, sondern nur mithilfe von Bild- und Schriftquellen sowie experimentellen Untersuchungen erschließen lassen. Diese sollen in einem letzten Teil des Kapitels diskutiert werden.

Die Ver- und Bearbeitung von Silber erfordert dieselben Werkzeuge und Geräte wie die Gold- oder Buntmetallverarbeitung, zumindest im Fall der Herstellung von Schmuckgegenständen. Eindeutige Belege für das jeweils verarbeitete Metall sind Halbfabrikate und Werkstattabfälle in Form von Gusstropfen oder abgetrennten Gusskanälen sowie Rohmaterial in Form von Barren oder Altmetall.

Als Werkzeuge werden Arbeitsgeräte bezeichnet, welche mit der Hand bewegt werden, wie Hämmer, Meißel, Punzen und Zangen. Alle anderen Arbeitsgeräte, die während der Arbeit fest auf dem Boden stehen, werden als Geräte definiert und sind wiederum nur in Verbindung mit Werkzeugen von Nutzen (Pietsch 1983, 7). In diesem Sinne sind beispielsweise Ambosse keine Werkzeuge, sondern für das gesamte Schmiedehandwerk unentbehrliche Arbeitsgeräte.

Die wichtigsten Werkzeuge, Arbeitsgeräte oder Hilfsmittel, welche im archäologischen Fundmaterial dem Inventar einer Feinschmiedewerkstatt zugeordnet werden können, sind folgende:

- Feuerstellen oder Öfen, Blasebalgdüsen, Gusstiegel, Gussformen und Blasrohre (Schmelzen, Gießen, Glühen und Löten)
- Ambosse und Gesenke (Schmieden und Treiben)
- Hämmer, Zangen, Punzen, Zirkel, Meißel und Durchhauer (Schmieden, Treiben, Trennen, Ziselieren und Punzieren)
- Feilen und Schleifsteine (Oberflächenbearbeitung)

Im Sinne der Klassifizierung von H.-U. Voß (1998a, 132 Tab. 4) können Funde und Befunde zur Bunt- und Edelmetallverarbeitung in Belege, Nachweise, Hinweise und in lediglich Anzeichen einer Metallverarbeitung gegliedert werden. Der Beleg einer Werkstatt zur Verarbeitung von Silber zu Schmuck ist nur über einen geschlossenen Fund gegeben, in welchem Silber in Form von Rohmaterial, Schmelzresten oder Halbfabrikaten zusammen mit mindestens zwei Feinschmiedewerkzeugen oder -geräten vergesellschaftet ist. Die weitere

Unterteilung in Verarbeitungsnachweise, -hinweise und -anzeichen stellt dagegen lediglich die Wahrscheinlichkeit einer Metallverarbeitung dar und erfolgt ohne einen zusammenhängenden Befund mit abnehmenden Kombinationen von Metallresten, Werkzeugen und Geräten. Für die Silberverarbeitung allerdings sind die Kategorien Nachweis, Hinweis oder Anzeichen immer an Funde von Rohmaterial, Schmelzresten oder Halbfabrikaten gebunden.

Hinweise oder gar Nachweise auf eine Edelmetall- und im Besonderen auf eine Silberverarbeitung liegen erwartungsgemäß nur wenige vor. Begründet wird diese Tatsache dadurch, dass zum einen Edelmetalle - ob Rohmaterial, Produktionsreste, Halbfabrikate oder fertige Produkte - selten im Siedlungsschutt hinterlassen wurden, zum anderen aber auch dadurch, dass gerade die Edelmetallschmiede nicht an eine bestimmte Örtlichkeit gebunden sind. Darüber hinaus kann die Herstellung von Edelmetallschmuckstücken auch innerhalb von Werkstätten der Buntmetallverarbeitung oder der Münzprägung stattgefunden haben. Konzepte zur Lokalisierung der Werkstätten können jedoch nur in Verbindung mit technischen Betrachtungen zu den erhaltenen Schmuckfunden diskutiert werden (siehe Kap. 7; 8).

6.1 Vorrömische Eisenzeit

Es ist einem glücklichen Umstand zu verdanken, dass am Rande der illyrischen Festung Daors bei Stolac im heutigen Bosnien-Herzegowina ein Depot mit dem nahezu vollständigen Werkzeuginventar eines Feinschmieds aus der Zeit zwischen der Mitte des 3. und dem 2. Jh. v. Chr. entdeckt wurde (Marić 1978; 1995; Gebhard 1991a)¹⁴².

Dieser mit Werkzeugen, Rohmaterial, Halbfabrikaten und fertigem Schmuck ausgestattete "Werkstattkomplex" aus Ošanići verdient wiederum eine nähere Betrachtung, da hier ein Schwerpunkt auf der Herstellung und Bearbeitung von Silberobjekten liegt.

Ausgehämmerte Bleche und aufgerollte Drahtstücke aus Silber (Marić 1978, Taf. 24,24-28; 26,83), diverse Bronzebeschläge sowie Glasanhänger, Perlen und Gemmen sind sicherlich als Rohmaterialien und Halbfabrikate für die Weiterverarbeitung anzusprechen. Zu den Werkzeugen und Geräten gehören Ambosse aus Bronze und Eisen, Grob- und Feinhämmer zum Treiben, Schmieden und Nieten, Schmiedezangen, Feilen und Meißel aus Eisen, Punzen aus Bronze und Eisen, ein Eisenzirkel sowie ein als Durchschläger interpretierter Gegenstand aus Bronze (ebd. Taf. 29,102). Mehrere Bronze- und Eisenmodel wurden als Gesenke für

¹⁴² Die Datierung dieses Befundes ist umstritten. Der Niederlegungszeitpunkt wird von den Autoren anhand stilistischer und typologischer Gesichtspunkte entweder um die Mitte des 3. Jhs. v. Chr. oder in das 2. Jh. v. Chr. angesetzt. R. Gebhard (1991a, 8) datiert das Depot anhand der Fibeltypen um die Mitte des 3. Jhs. v. Chr. Z. Marić (1995, 61) dagegen begründet seinen bereits in der ersten Publikation postulierten Niederlegungszeitpunkt im 2. Jh. v. Chr. weiterhin mit einer Datierung der Fibeln über Parallelen aus Gostilj, welche dort mit Münzen des 2. Jhs. v. Chr. vergesellschaftet seien. Vgl. auch M. Treister (2001, 280-296) zu weiteren Argumenten, die für eine Datierung zumindest an den Anfang des 2. Jhs. v. Chr. sprechen.

Blechverzierungen und zur Herstellung halbkugelförmiger oder gewölbter Bleche sowie für die Drahtherstellung verwendet (Marić 1978, Taf. 4 - 18)¹⁴³.

Eine Feinwaage mit einem 27,6 cm langen Waagbalken und Waagschalen mit einem Durchmesser von 6,5 cm (Marić 1978, Taf. 27,87-89) diente dem Abwiegen von Rohmaterial. Die Größe der Silberdrahtrollen weist nach R. Gebhard (1991a, 4) eine auffällige Übereinstimmung mit den Waagschalenmaßen auf. Dies könnte zwar in einem Zufall begründet sein, die Größe der Waagschalen ist jedoch für das Abwiegen von Metallmengen für die Schmuckherstellung durchaus geeignet und die Silberdrahtrollen könnten sowohl als Rohmaterial als auch als Halbfabrikate interpretiert werden. Schließlich könnten kleine Bronzeplättchen im Zusammenhang mit der Waage als Gewichte genutzt worden sein (Marić 1978, Taf. 27,90-92).

Die unterschiedlichen Größen und Formen von Feilen mit Querhieb (Marić 1978, Taf. 39,161-171), Meißeln (ebd. Taf. 40,172-178) sowie Punzen (ebd. Taf. 29,103-112; 41,183-222) zeigen ein Ensemble feiner Werkzeuge, wie sie in verschiedenen Bereichen der Feinbearbeitung eingesetzt werden konnten (Gebhard 1991a, 7). Allein die Punzen - sofern dies anhand der publizierten Zeichnungen feststellbar ist - weisen mit unterschiedlichen Köpfen ein großes Spektrum in Form von Schrot-, Setz-, Modellier- und Planierpunzen auf und stellen damit einen wohl kompletten Satz zum Ziselieren und Punzieren dar.

Mehrere meißelförmige Werkzeuge aus Eisen und zwei Bügelscheren wurden als Blechschneidewerkzeuge interpretiert (Gebhard 1991a, 5). Während die Meißel mit einer Keilschneide von bis zu 10 cm sicherlich als Trennwerkzeuge für Blech genutzt wurden, ist die Funktion der Scheren - wie bereits in Kap. 4.2.4 dargelegt - zu bezweifeln. Ob die Scheren (Marić 1978, Taf. 30,120.121) jedoch zum Schneiden von weichen Materialien verwendet wurden oder ob sie hier lediglich als pinzettenartige Greifzangen zu deuten sind, kann anhand der Abbildungen nicht bestimmt werden¹⁴⁴.

Drei Geräte aus Eisen wurden als Drahtziehgeräte bezeichnet (Gebhard 1991a, 7). Eines der beiden plattenförmigen Eisen weist fünf Löcher auf, das andere nur vier (Marić 1978, Taf. 30,122.123). Verknüpft man die Längenangaben von Z. Marić mit einem Foto der beiden Locheisen (Müller 1991c, 148), lassen sich verschiedene Lochdurchmesser zwischen ca. 2 und 5 mm ermitteln¹⁴⁵. Für eine Drahtherstellung dürfte die Abstufung der Löcher zu groß sein. Um einen zuvor ausgeschmiedeten Draht anschließend zu glätten bzw. zu "runden", könnten sie jedoch verwendet worden sein (siehe Kap. 4.2.3). Darüber hinaus lässt sich auch eine Funktion als Nagel- oder Nieteisen in Betracht ziehen. Auch ein Gerät, welches aus zwei über ein Gelenk miteinander verbundenen Kanteisen besteht (Marić 1978, Taf. 124), kann lediglich

¹⁴³ Die Gesenke zur Herstellung von figürlichen Ornamenten konnte M. Treister (2001, 280 - 296) - im Rahmen seiner Untersuchungen zur Verwendung von Matrizen in der griechischen und römischen Schmuckherstellung und Toreutik - plausibel mit der Herstellung diverser Schmuckelemente in Verbindung bringen.

¹⁴⁴ Der untere Scherenbereich ist offensichtlich nicht vollständig erhalten bzw. stark korrodiert, so dass die Scherschneiden nicht erkennbar sind. Damit fehlt das Hauptidentifikationsmerkmal für die Deutung als Schere.

¹⁴⁵ Diese Maße können lediglich als Annäherungswerte dienen und müssten an den Originalen überprüft werden. Dennoch können sie eine Vorstellung der Dimension der Lochdurchmesser bieten.

als Werkzeug zum Glätten eines Drahtes gedient haben. Mehrere Rillen auf der Innenseite deuten darauf hin, dass dort vorbereitete Drähte eingelegt werden konnten, um sie dann durch das zugeklappte Gerät zu ziehen. Diese drei Gegenstände können also durchaus als "Drahtglätteisen" fungiert haben.

Die funktionelle Interpretation eines hakenförmigen Bronzedrahtes mit vierkantigem Schaft (Marić 1978, Taf. 28,94) als Lötkolben müsste nach R. Gebhard (1991a, 7) durch eine Materialuntersuchung überprüft werden. Da das dünne Drahtende mit einem Durchmesser von ca. 0,4 cm als Hitzespeicher ungeeignet wäre, bleibt jedoch eine Funktion als Lötkolben äußerst fraglich¹⁴⁶. Eine Interpretation des Stückes als Löthilfe, z. B. zum Korrigieren der Position der zu lötenden Teile, aber auch für vielfältige andere Arbeiten ist denkbar. Ein hakenförmiges Werkzeug ist grundsätzlich universell einsetzbar. Ein langes Blechrohr ist dagegen ein Werkzeug, welches als Blasrohr sicher für Lötarbeiten in der Buntmetall- und Silberverarbeitung infrage kommt (siehe Kap. 6.3.2).

Unter den fertigen Silberschmuckstücken sind mehrere Fibeln vom Mittellatèneschema und eine Zierhülse (Marić 1978, Taf. 25,32-35.38) sowie ein scheibenförmiger mit Granalien verzierter Anhänger (ebd. Taf. 23,29) hervorzuheben, die vom technischen Standpunkt aus betrachtet mit hier untersuchten Fundstücken vergleichbar sind. Mit dem Depot aus Ošanići liegen jedoch nicht nur Nachweise für eine Silberverarbeitung vor, sondern - in Form von Blechen und Beschlägen aus Bronze - auch für eine Buntmetallverarbeitung. Anhand des vorliegenden Befundes ist daher anzunehmen, dass der auf die Silberverarbeitung "spezialisierte" Feinschmied auch Buntmetalle verarbeitete. Dabei wurden dieselben Schmuckformen nicht nur aus Silber, sondern auch aus Buntmetall hergestellt, wie zwei in Form und Größe identische Omeganadeln aus Silber bzw. Bronze (ebd. Taf. 25,37.81) erkennen lassen¹⁴⁷.

Andere Werkzeuge und Geräte, wie Äxte und Ackerhauen (Marić 1978, Taf. 45), werden üblicherweise in den landwirtschaftlichen Sektor gestellt. Diese sind aber gleichzeitig durchaus für grobe Arbeiten von Nutzen, die direkt zum Handwerk des Feinschmieds gehört haben dürften, etwa um eine Ofengrube auszuheben oder um Holz als Brennmaterial zu "ernten".

Interpretiert man die Silberdrähte als Halbfabrikate, würde eigentliches Silber-Rohmaterial, also entweder Barren, Altmetall oder Münzen, im Fundspektrum fehlen. Eventuell wurde dieses jedoch nicht deponiert, da man es aufgrund des Materialwertes mit sich führte. Auf der anderen Seite muss in Betracht gezogen werden, dass ein Rohmaterialvorrat nicht zum Inventar gehört haben muss, da die Materialverwaltung in den Händen des Auftraggebers lag bzw. für den jeweiligen Auftrag direkt gestellt wurde¹⁴⁸.

¹⁴⁶ Sicher als Lötkolben zu deutende Werkzeuge treten erst im römischen Fundmaterial auf (siehe unten).

¹⁴⁷ Darüber hinaus stammt eine weitere Omeganadel aus Silber zusammen mit einer bronzenen Fibel vom Mittellatèneschema und einem Goldring aus einem Körpergrab oberhalb der befestigten Siedlung von Ošanići (Marić 1995, 52 f.).

¹⁴⁸ In Analogie zum Silberschmiedehandwerk der Tuareg in Afrika scheint Letzteres durchaus vorstellbar. So beschreibt R. Gardi in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts die Arbeit eines Schmiedes aus Agades, welcher

Unabhängig von seiner Interpretation ist das aus hellenistischer Zeit stammende Depot aus Ošanići durchaus beispielhaft für das in der Mittellatènezeit verwendete Feinschmiedewerkzeug und gleichzeitig ein singulärer Beleg für die Verarbeitung von Silber zu Schmuck.

Werkzeugfunde aus den spätlatènezeitlichen Oppida zeigen, dass sich das Repertoire der Feinschmiede auch in der Folgezeit nicht wesentlich verändert hat.

Allein die in Manching gefundenen Werkzeugformen vermitteln bereits ein umfangreiches Bild der in spätkeltischer Zeit verwendeten Feinschmiedewerkzeuge (Jacobi 1974, 5 - 27). Verschiedene Hammerformen, Zangen, Ambosse für Biege- und Treibarbeiten, Feilen mit Querhieb, Meißel, und Punzen, aber auch Gusstiegel können in den Bereich der Buntmetallverarbeitung gestellt werden, sind jedoch in gleicher Weise geeignet, Schmuckstücke aus Edelmetall herzustellen und zu bearbeiten. Düsenziegel, die für den Einsatz von Blasebälgen bestimmt waren (ebd. 255), und Schmelztiegelbruchstücke können verschiedenen Schmelzvorgängen zugewiesen werden. Die Bronzeverarbeitung ist mehrfach durch Tiegelfragmente, Schmelzreste, Fehlgüsse, Halbfabrikate und Altmaterial (größtenteils in Form von Blechresten), welches auf ein Altmetallrecycling hinweist, belegt (z. B. Sievers u. a. 2000, 376 f.; Sievers 2003, 74 f.; Schwab u. Sievers 2006).

Die Edelmetallverarbeitung ist dagegen nicht nur in Manching, sondern auch in anderen spätlatènezeitlichen Siedlungen, lediglich im Zusammenhang mit der Münzherstellung nachgewiesen, so beispielsweise über Gold- und Silber Spuren in Tüpfelplatten, aber auch an Schmelzofenfragmenten (Gebhard 1995, 266 ff.; Gebhard u. a. 1995, 276 ff.). Zusammen mit dem durch Analysen der technischen Keramik und metallographische Untersuchungen an Münzrohlingen erbrachten Nachweis, dass Temperaturen von über 1000 °C erreicht wurden (Gebhard 1995, 269; Lehrberger u. a. 1997, 99), belegen sie das Schmelzen von Gold und Silber zur Herstellung von Münzschrötlingen.

Auch die mehrfach überlieferten Feinwaagen werden im Gegensatz zu dem etwas größeren Exemplar aus Ošanići überwiegend in den Bereich des Münzwesens gestellt, u. a. zur Kontrolle des Münzgewichts. Das genaue Messen und Abwiegen von Rohmaterial ist für die gezielte Herstellung aller Bunt- und Edelmetalllegierungen unabdingbar. Die bekannten kleinen Feinwaagen des spätlatènezeitlichen Mitteleuropa wurden dabei sicher zum Abwiegen kleinerer Mengen an Bunt- und Edelmetall nicht nur für den Guss von Münzschrötlingen, sondern auch im gesamten Feinschmiedehandwerk benutzt (Steuer 2007, 554). Für das Abwiegen von Metallmengen, welche für die Herstellung von Fingerringen oder Fibeln benötigt wurden, sind die kleinen Feinwaagen durchaus ausreichend.

Zu weiteren Werkzeugen und Geräten der Spätlatènezeit, die im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Silber von Interesse sind, zählen auch Tondüsenfragmente von Blasebälgen. Für ein Schmelzen selbst kleinerer Mengen an Silber ist die Verwendung eines Blasebalges

sowohl einen Silbervorrat besitzt als auch das von Kunden mitgebrachte Rohmaterial, in diesem Fall Maria-Theresien-Thaler, verwendet (Gardi 1969, 50; 58).

durchaus von Vorteil, da die notwendige Temperatur der Holzkohlenglut zum Schmelzen und Gießen schneller und langanhaltender erreicht werden kann als mit Blasrohren (siehe Kap. 6.3.1; 6.3.2). Im Kontext einer Edelmetallverarbeitung wurden Tondüsenfragmente jedoch ebenfalls nur in Münzwerkstätten gefunden, beispielsweise in einer Werkstatt des 2. - 1. Jhs. v. Chr. aus Kelheim in Bayern (Overbeck 1987, 248; Taf. 8,11).

Vereinzelte Hinweise auf eine Edelmetallverarbeitung außerhalb der Münzherstellung könnten jedoch auch auf eine Produktion von Silberschmuck innerhalb von Buntmetallwerkstätten verweisen. Darauf deuten möglicherweise kleine Gussreste aus Gold und Silber, die zusammen mit Schmelzresten und Altmetall aus Bronze außerhalb einer spätkeltischen Höhensiedlung von Leonberg in Oberbayern gefunden wurden (Pietsch 2002, 74).

Abschließend soll der dakische Kulturbereich, in dem während der gesamten Latènezeit Silber das bevorzugte Schmuckmetall war, vergleichend herangezogen werden. Eine große Anzahl an Werkzeugen und Geräten, die sowohl der Bronze- als auch der Edelmetallverarbeitung dienten, wie Ambosse, Hämmer, Zangen, Meißel und Punzen sowie Schmelztiegel und vereinzelte Hinweise auf Öfen, stammt aus dakischen Siedlungen (Kat. Daker 1980, 47). Da dakische Silberschmuckstücke des 1. Jhs. v. bis 1. Jhs. n. Chr. große Parallelen zu einigen im Rahmen der Arbeit untersuchten Funden aufweisen, ist das in Südosteuropa gut belegte Feinschmiedehandwerk sicherlich auch auf die mitteleuropäische Verarbeitung von Bunt- und Edelmetallen übertragbar. Interessant ist in diesem Zusammenhang vor allem ein Depotfund aus Surcea (Rumänien), welcher mit mehreren Ambossen, einem Silberbarren, Teilen von Pokalfüßen sowie zwei Phalerae (Zierscheiben bzw. Beschlagteilen) als das Werkstattinventar eines wandernden Goldschmiedes gedeutet wird (Kat. Daker 1980, 47). Daneben stammt ein anderes Inventar einer Goldschmiedewerkstatt aus Pecica (Rumänien) mit Amboss, Punzen oder Meißeln, kleinen Schmelztiegeln und Gussformen, u. a. einer zweischaligen Gussform für einfache Ringe, aus einer Siedlung (Kat. Daker 1980, 45 Abb. 24; 187).

Die geringe Zahl an Hinweisen auf eine vorrömische Edelmetallverarbeitung in Mitteleuropa muss jedoch nicht bedeuten, dass die archäologischen Silberschmuckfunde ausschließlich Fremdgüter darstellen. Es stellt sich vielmehr die Frage nach der Lokalisierung der Silber verarbeitenden Werkstätten. Wenn spezifische Geräte oder Produktionsreste fehlen, ist nicht zu entscheiden, ob einzelne Werkzeugfunde einer Buntmetallverarbeitung, einer Münzproduktion oder einer edelmetallverarbeitenden Schmuckwerkstatt zuzuweisen sind. Alle erwähnten Feinschmiedewerkzeuge können auch für die Bearbeitung von Silber genutzt worden sein. Der Mangel an überlieferten Halbfabrikaten oder anderen Produktionsresten sowie an Edelmetallschmuckstücken selbst verweist vielmehr auf den herausragenden Wert des Materials¹⁴⁹.

¹⁴⁹ Es bleibt grundsätzlich erstaunlich, dass in den Siedlungen doch eine verhältnismäßig große Anzahl an Werkzeugen und einzelne Edelmetallfunde hinterlassen wurden, würde man doch eher davon ausgehen, dass beide Fundgattungen so kostbar gewesen sein müssen, dass man sie nicht zurückließ, wenn nicht überraschende Katastrophen für das Ende der Besiedlung verantwortlich waren.

6.2 Römische Kaiserzeit

Die handwerkliche Produktion in den römischen Provinzen ist hauptsächlich in Kastelldörfern und Villae Rusticae angesiedelt, wobei das Feinschmiedehandwerk vorwiegend anhand von Werkzeugen, Geräten oder Werkstattabfällen aus den Militärlagern und ihren zugehörigen Zivilsiedlungen sowie aus den Handwerkervierteln der Städte belegt ist.

In mehreren Arbeiten von M. Pietsch (1983) und W. Gaitzsch (1978; 1980; 1985) gewinnt man einen repräsentativen Einblick in das Spektrum römischer Werkzeuge und ihrer Verwendung.

Allein unter der großen Anzahl der Werkzeuge und Geräte aus den Kastellen Saalburg, Feldberg und Zugmantel, können dem Feinschmiedehandwerk vor allem Schmiede-, Treib- und Niethämmer sowie Meißel, Durchschläge, Punzen, Feilen, Zangen, Ambosse und Gesenke zugerechnet werden (Pietsch 1983)¹⁵⁰.

Unter den bei W. Gaitzsch (1980) in seiner bis heute zur römischen Werkzeugkunde grundlegenden Arbeit aufgeführten Feilen sind alle Typen von Flach-, Vierkant-, Dreikant- bis hin zu Rund- und Halbrundfeilen vertreten. Die meisten Exemplare weisen einen Hieb senkrecht zur Feilenachse auf, nur vereinzelt ist auch ein Schräghieb an Exemplaren des 1. Jhs. n. Chr. zu verzeichnen, wodurch bereits eine technische Entwicklung gegenüber den Feilen der vorrömischen Eisenzeit festzustellen ist (Gaitzsch 1980, 50). Der Schräghieb ermöglicht durch das leichtere Abführen der Späne eine verbesserte Spanabhebung und stellt gleichzeitig auch die Grundlage für den späteren Kreuzhieb dar (ebd. 52; siehe Kap. 4.5).

Funde von provinzialrömischen Hämmern belegen das komplette im Feinschmiedehandwerk benötigte Spektrum. Auch wenn aufgrund des häufig schlechten Erhaltungszustandes und mangels funktionszuweisender Fundkontexte die ursprüngliche Verwendung der Hammerformen selten eindeutig zu identifizieren ist, können doch einige Treib-, Schmiede- und Niethämmer in der Bunt- oder Edelmetallbearbeitung genutzt worden sein. Sowohl die Hämmere als auch die große Formenvielfalt an Meißeln und Zangen weisen für die Nutzung im Feinschmiedehandwerk keine technisch entscheidenden Unterschiede zum Spektrum der vorrömischen Eisenzeit auf.

Ein Werkzeug, welches dagegen erstmals in provinzialrömischen Fundzusammenhängen auftaucht, ist der Hammerlötkolben (Gaitzsch 1980, 131). Dies verwundert jedoch nicht, bekommt das Weichlöten in der Buntmetallverarbeitung doch erst in der Kaiserzeit eine wichtige Bedeutung, wie beispielsweise zum Verlöten von Wasserrohren. Der im Feuer erhitzte hammerförmige Kopf sorgt für die Wärmeleitung und damit für das Schmelzen von Zinn und Blei an der zu lötenden Nahtstelle. In Abhängigkeit von Größe und Form des Kopfes weist der Lötkolben einen geringen und kurzzeitigen Wärmespeicher auf und ist deshalb nur für den Einsatz zum Weichlöten geeignet. Die bei W. Gaitzsch aufgeführten Lötkolbenfunde aus den frühkaiserzeitlichen Legionslagern von Augsburg-Oberhausen in Bayern und Vindonissa im Schweizer Kanton Aargau sowie aus einem spätrömischen Hortfund von Seltz

¹⁵⁰ Dort werden die Durchschläge und Punzen den Meißeln zugeordnet (Pietsch 1983, 37; 41).

im Elsass weisen Kopflängen von 3,7 bis 4,5 cm auf (ebd. 130; Hübener 1973, 50; Taf. 12,28). Sowohl Spuren von Zinn an dem Exemplar von Vindonissa als auch drei in dem Hortfund von Seltz enthaltene, als Lot interpretierte "Bleiklumpen" legen den Einsatz dieser LötKolben zum Weichlöten nahe (Gaitzsch 1980, 130). Ob die römischen LötKolben auch in der edelmetallverarbeitenden Schmuckherstellung eingesetzt wurden, bleibt zu diskutieren (siehe Kap. 6.3.3).

Eine andere Form des LötKolbens mit spitz zulaufendem Kopf liegt aus dem germanischen Moorfund aus Illerup, Dänemark, vor (Voß 1998a, 134 Abb. 4,5). Der spitz zulaufende Kopf des Werkzeuges erlaubt eine gezieltere Erhitzung am Werkstück im Vergleich zur breiten "Finne" des römischen HammerlötKolbens und verweist hier möglicherweise auf eine andere Handhabung, beispielsweise zum Weichlöten kleiner punktueller Verbindungen.

Die im archäologischen Befund nachweisbare Formenvielfalt der in der Metallbearbeitung verwendeten Werkzeuge und Geräte entspricht der Fülle an spezialisierten Handwerksbezeichnungen in den schriftlichen Quellen (Gaitzsch 1985, 178). Die meisten provinzialrömischen Feinschmiedewerkzeuge stehen allerdings in latènezeitlicher Tradition, nur wenige Unterschiede verweisen auf eine technisch relevante Weiterentwicklung, wie das oben bereits erwähnte, vereinzelte Auftreten von Feilen mit einem Schrägtrieb (ebd. 179).

Veränderungen in der Konstruktion der Gebläseformen dürften eine verbesserte Technik aller Schmelz- und Gussvorgänge zur Folge gehabt haben. Die über Funde von Düsen und bildliche Darstellungen rekonstruierte Entwicklung vom einfachen und doppelten Schlauchgebläse zum effektiveren Spitzblasebalg ab dem 1. Jh. n. Chr. in Kombination mit automatisch arbeitenden Ventilkappen an einem Deckel- oder Bodenbrett (Weisgerber u. Roden 1998, 512) verweist auf eine Leistungssteigerung der Hitzezufuhr für alle thermischen Vorgänge. Auf die Feinschmiedetechnik und im Besonderen auf die Edelmetallverarbeitung hätte diese jedoch nur bei einer Serienproduktion Auswirkung, bei welcher große Mengen geschmolzen und gegossen werden sollten.

Eine Weiterentwicklung deutet sich auch für den Bereich des Messens und Wiegens von Rohmaterial an. Neben dem Gebrauch von Balkenwaagen wurde die Schnellwaage mit Laufgewicht zur üblichen Waage für Handelswaren, Münzen oder Edelmetall im gesamten Römischen Reich (Steuer 2007, 557). Eine verbesserte Messgenauigkeit und der Umgang mit Normgewichten konnte auch die Herstellung normierter Legierungen im Metallhandwerk erleichtern. Nach Ausweis der in der Schmuckherstellung verwendeten Legierungen (siehe Kap. 7) spielte dies jedoch keine unmittelbare Rolle für die Verarbeitung von Silber zu Schmuck.

Neue Werkzeugformen, die zumindest für die provinzialrömische Verarbeitung von Buntmetall von Bedeutung waren, sind die Gelenkschere und der LötKolben. Es ist jedoch fraglich, inwiefern diese in der Edelmetallschmuckherstellung eingesetzt wurden (siehe Kap. 4.2.4; Kap. 6.3.3).

Anhand des erhaltenen Spektrums an provinzialrömischen Werkzeugen und Arbeitsgeräten lässt sich also im Vergleich zur vorausgehenden Latènezeit keine nennenswerte technische Veränderung ausmachen, die für das Feinschmiedehandwerk grundlegend von Bedeutung gewesen wäre. Ein Wandel zeichnet sich jedoch im soziökonomischen Bereich ab, da eine zunehmende Spezialisierung innerhalb des Feinschmiedehandwerks zu erkennen ist, welche sich nicht nur aus der Herstellung der Fundstücke ableiten lässt (siehe Kap. 8), sondern auch aus speziellen Werkstatteinrichtungen, wobei hier besonders spezielle Schmelzeinrichtungen zu nennen sind.

Ein kleiner transportabler Ofen aus gebranntem Ton aus dem frühkaiserzeitlichen Legionslager von Vindonissa in der Nordschweiz führt eindrücklich eine speziell zum Schmelzen kleinerer Metallmengen konzipierte Konstruktion vor Augen. Die Funktionsweise des - aus zwei durch eine Lochplatte getrennten Kammern bestehenden - Gießerofens mit einem Durchmesser von ca. 18 cm und einer erhaltenen Höhe von ca. 13,5 cm wurde im Experiment getestet (Trachsel 1998). Über die untere Kammer wurde die Sauerstoffzufuhr durch einen angesetzten Blasebalg geregelt. Durch die zugeführte Luft konnte über die Lochplatte die Temperatur der Holzkohlenglut in der oberen Kammer erhöht und so das Metall im dort befindlichen Tiegel zum Schmelzen gebracht werden. Da der Ofen kein großes Fassungsvermögen für das Brennmaterial aufweist, musste die Holzkohle zuvor in einer separaten Feuerstelle zum Glühen gebracht werden. Der Fund eines zugehörigen Tiegels verweist auf die Größenordnung des Schmelzgutes von max. 100 - 200 g Metall. Dieser Schmelzofen war also direkt zum Gießen kleinerer Gegenstände geeignet und ließ sich zudem an jedem Ort aufstellen und betreiben. Diese Mobilität und die relativ geringe Schmelzkapazität deuten auf eine Spezialisierung innerhalb des Feinschmiedehandwerks hin.

Andere Einrichtungen, welche dem Schmelzen kleinerer Metallmengen dienten, waren Grubenöfen, wie sie beispielsweise aus Augst im Schweizer Kanton Baselland bekannt sind. Eine Grube mit einem Durchmesser von 29 cm und einer Tiefe von 20 cm sowie einer Auskleidung mit Ziegeln und Lehm weist eine Größenordnung auf, die für das Schmelzen kleinerer Mengen durchaus ausreicht (Martin 1978, 118f.; Abb. 20). Darüber hinaus wurde in Augst eine große Anzahl an kleinen Tiegeln gefunden, die ebenfalls zum Schmelzen geringer Buntmetallmengen verwendet wurden. Ein Schmelzen und Gießen von Silber ist mit diesen Gerätschaften in gleicher Weise denkbar. Während die Buntmetallverarbeitung durch Halbfabrikate, Fehlgüsse, Gussformen und Gussreste in Form von Gusskanälen und Gusszapfen sowie unzählige Bronzefragmente als Altmetall zum Wiedereinschmelzen belegt ist (ebd. 113ff.), sind jedoch keine Nachweise für eine Silberverarbeitung bekannt.

Größere Ofenkonstruktionen, wie weitere Befunde aus Augst (Martin 1978, 118) und Befunde von Schachtofen aus Bad Wimpfen in Baden-Württemberg (Filgis u. Pietsch 1986, 532 f.), dienten dagegen vermutlich eher der Buntmetallverarbeitung zu größeren Gegenständen, denkbar wäre etwa die Herstellung von Gefäßen oder Statuen.

Offensichtlich einhergehend mit der zunehmenden Verwendung von Silber in der Kaiserzeit mehren sich auch die Hinterlassenschaften einer Silberverarbeitung in den römischen Provinzen. Während diese in den vorhergehenden Jahrhunderten vorwiegend auf die Münzproduktionsstätten beschränkt waren, liegen aus den ersten nachchristlichen Jahrhunderten einzelne Befunde vor, die als Belege einer Silberverarbeitung im Bereich der Herstellung von Schmuck gelten können.

Von insgesamt 454 Metallwerkstätten, die in einer Studie von B. Gralfs (1994) zu den metallverarbeitenden Werkstattbefunden im Nordwesten des Römischen Reiches aufgeführt sind, wurden 35 bekannte "Sonderwerkstätten" vermerkt. Diese werden als Werkstätten zur Verarbeitung von Gold, Silber, Blei und Zinn definiert und schließen dabei reine Münzwerkstätten mit ein. Die meisten dieser spezialisierten Werkstätten sind in den städtischen Siedlungen und Kastelltdörfern anzusiedeln (ebd. 21; 45).

Im Zusammenhang mit einer Verarbeitung von Edelmetallen zu Schmuck nennt B. Gralfs (1994) beispielsweise eine städtische Goldschmiedewerkstatt des 2. - 3. Jhs. n. Chr. aus Rouen in Frankreich. Gusstiegel mit Goldresten, Gemmen, Perlen und Armreifen belegen auf einem Areal von vier Quadratmetern eine kleine auf die Schmuckherstellung spezialisierte Werkstatt (ebd. 22; 131). Darüber hinaus verweisen Bronzeblechfragmente und ein Silberbarren auch auf die Verarbeitung von Buntmetall und Silber innerhalb dieser Werkstatt (Guiraud 1993, 79).

Hinsichtlich der provinzialrömischen Verarbeitung von Silber ist die Tatsache bemerkenswert, dass eine Spezialisierung offensichtlich nur in Bezug auf die hergestellten Produkte festzustellen ist, jedoch verschiedene Materialien gleichzeitig verwendet werden. Die meisten Belege für die Existenz einer silberverarbeitenden Werkstatt sind mit einer Buntmetallverarbeitung vergesellschaftet.

Eine gemeinsame Verarbeitung von Bronze und Silber zur Herstellung von "Kunstprodukten" des 1. Jhs. n. Chr. soll beispielsweise in Rottweil, Baden-Württemberg, über Funde von Schmelztiegeln, Schlacken und Gussstücken, Altmittel aus Bronze in Form zerschnittener Gefäße, Knöpfe und Gürtelteile, einer tönernen Gussform für ein Relief sowie Resten zerschnittener Silberdrähte nachgewiesen sein (Gralfs 1994, 20; 131).

Auch in der Zivilsiedlung von Hedderheim in Hessen würden Funde, wie Tiegel, Gussformen, Werkzeuge und Halbfabrikate auf eine Bronze- und Silberverarbeitung im 1. Jh. n. Chr. verweisen (Baatz u. Herrmann 1989, 288; Gralfs 1994, 46; 118).

Eine Werkstatt zur Herstellung von Schmuck aus Bronze, Gold und Silber ist in dem Kastellvicus des 2. - 3. Jhs. n. Chr. von Tibiscum in der Provinz Dacia im heutigen Rumänien nachgewiesen. Neben einem Meißel und Gusstiegeln mit Goldresten, geschmolzenen Bronzestücken sowie Fragmenten von Gussformen für den Barrenguss fanden sich dort auch Silbermünzen zum Einschmelzen (Benea u. Petrovsky 1987, 229; Gralfs 1994, 45; 134f.).

Des Weiteren liegen Hinweise sowohl auf eine Münzwerkstatt als möglicherweise auch auf eine Herstellung von Buntmetall- und Silberfibeln in einer gallischen Villa des späten 3. Jhs. n. Chr. von Saareinsmünz in Lothringen vor. Dort wurde in mehreren Räumen neben

Werkzeugen, Ofenbefunden, Schmelztiegeln, geschmolzenem Blei, Münzen und Buntmetallresten zum Wiedereinschmelzen auch eine große Anzahl von Silber- und Bronzefibeln gefunden (Gralfs 1994, 37; 118f.).

Schließlich stammen "Metallabfälle von Goldschmiedewerkstätten" auch aus dem Handwerkerviertel des Vicus von Sulz in Baden-Württemberg, sowohl im Zusammenhang mit den frühen Bauten des 1. Jhs. n. Chr. als auch wieder nach einem Brand in trajanischer Zeit (Müller 1974, 487 ff.). Ob die Schmuckstücke aus Silber aus der Zivilsiedlung von Sulz (siehe Beispiele in Kat. 41) lokal hergestellt wurden, erscheint damit zwar denkbar, lässt sich jedoch nicht nachweisen.

Rohmaterial in Form von Barren aus Silber wurde im Gegensatz zu Blei- und Kupferbarren selten in provinzialrömischen Werkstattzusammenhängen angetroffen (Gralfs 1994, 64). Zu den wenigen Ausnahmen zählen beispielsweise kleine Barren aus dem Mitte des 2. Jhs. n. Chr. niedergelegten Depot von Snettisham in England, die dort zum Rohmaterialbestand eines Silber und Gold verarbeitenden Feinschmieds gehörten (Johns 1997, 69; Wiegels 2003, 91).

Erst ab dem 4. Jh. n. Chr. bezeugen vermehrt auftretende Funde von gestempelten Silberbarren den Umlauf normierter Rohmaterialstandards. Diese vorwiegend aus Depotfunden von thesauriertem Tafelsilber und Silbermünzen stammenden Barren, wie beispielsweise aus dem spätrömischen Schatzfund von Kaiseraugst, sind jedoch kaum mit einer Weiterverarbeitung in Verbindung zu bringen, ihre Funktion wird vielmehr in der eines Zahlungsmittels gesehen (Wiegels 2003, 56 ff.).

Altmetallreste für den Bronzeguss, welche dagegen ein regelrechtes Charakteristikum für die Befunde der römischen Buntmetallverarbeitung darstellen (z. B. Oldenstein 1974, 186 ff.; Martin 1978, 114 f.; Baumeister 2004, 87 ff.), könnten jedoch darauf hinweisen, dass die Rohmetalle allgemein seltener in Barrenform zu den Feinschmieden gelangten, sondern stattdessen das Altmetallrecycling eine übliche Rohmaterialgewinnung der metallverarbeitenden Werkstätten war (siehe Kap. 7). Auch in dem erwähnten Depotfund von Snettisham sind neben zahlreichen Schmuckstücken aus Silber, Silber- und Kupfermünzen, Halbfabrikaten und den eindeutig als Rohmaterial anzusprechenden Barren weitere Bruchstücke aus Silber als Rohmaterial zu interpretieren (Johns 1997, 69; Wiegels 2003, 91).

Ein in diesem Zusammenhang besonders hervorzuhebender Befund, welcher den Vorgang eines Altmetallrecyclings in der 1. Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. belegen kann, liegt mit Materialabfällen und Tiegelresten aus der Insula 39 der "Colonia Ulpia Traiana" in Xanten, Nordrhein-Westfalen, vor (Kraus u. Rehren 1995; Rehren u. Hauptmann 1995). Dort wurden innerhalb eines Handwerkerviertels Fragmente zahlreicher Tiegel gefunden, welche mit einer glasigen tiefroten Schlacke gefüllt waren. Wie Untersuchungen der Schlackenreste belegen konnten, wurde in den Tiegeln silberhaltiges Altmetall unter Zugabe von Blei aufgeschmolzen und anschließend das Silber vom Blei und den anderen unedlen Bestandteilen getrennt (Kraus u. Rehren 1995, 239). Durch mineralogische Untersuchungen eines Kupellationsbodens konnten Bleioxide als Abfallprodukt festgestellt werden, welche in einem Treibprozess - nach

Ausweis von Schlacken in anderen Tiegeln - durch die Zugabe von Quarzsand zu Bleisilikaten gebunden wurden. Dieser Quarzsand schützte zum einen den Tiegel, da das Absetzen von Bleioxiden in die Keramik diese während des Schmelzprozesses zerstört hätte, und diente zum anderen als Sammler für alle weiteren während des Schmelzprozesses anfallenden Oxide. Wegen des niedrigeren Schmelzpunktes und der geringeren Dichte von Bleisilikaten im Vergleich zu Bleioxiden, ließen sich die entstandenen Bleiverbindungen leichter mechanisch vom Regulus aus Silber und Kupfer trennen. Dieser konnte folgend wiederum unter Zugabe von Blei in Silber und Kupfer getrennt werden (Rehren u. Hauptmann 1995, 134). Im Unterschied zu den bekannten Prozessen bei der Silbergewinnung aus Erzen, bei welchen das während der Kupellation entstandene Bleioxid abfloss bzw. als Oxidhaut abgezogen wurde (siehe Kap. 3.1), sollte bei dieser Art der Rückgewinnung aus Altmittel der Prozess durch die Bildung von Bleisilikaten vereinfacht und effizienter gemacht werden.

Während in nahegelegenen Bereichen innerhalb der Colonia in Xanten weitere Belege für eine Bunt- und Edelmetallverarbeitung vorliegen, zeugen diese Funde von der durchaus gezielten Rückgewinnung des Materials Silber. Gleichzeitig ist auch hier wieder eine Spezialisierung anzunehmen, in dem Fall auf die Raffination von Silber. Die größere Tiegellanzahl verweist weniger auf eine Rohmaterialgewinnung für eine einmalige Weiterverarbeitung als vielmehr auf mehrfache Vorgänge zur Rückgewinnung von hochwertigem Silber. Die in den Kupellationsresten festgestellten "nicht unerheblichen Gehalte an Zinn" deuten ferner auf die Rückgewinnung aus Werkstattabfällen oder Münzmaterial hin. Das Zinn könnte beispielsweise aus Silbermünzen stammen, für welche bereits nicht nur reines Kupfer, sondern Altbronze herangezogen wurde oder aus mit Zinnlot verunreinigtem Blei, welches zum verbleienden Schmelzen verwendet wurde (Rehren u. Hauptmann 1995, 135).

Andere Tiegel aus diesem Handwerkerviertel erwiesen sich als Schmelztiegel, welche eine Verarbeitung des rückgewonnenen Silbers vor Ort andeuten könnten. Besonders aufschlussreich scheint hier die Untersuchung eines doppelwandigen Tiegels, welcher mit dem Wachsausschmelzverfahren im geschlossenen System in Verbindung gebracht wurde (siehe Kap. 4.2.1).

Fasst man nun die anhand von Beispielen im Vorangegangenen erläuterte Befundsituation zusammen, entsteht der Eindruck, dass die Verarbeitung von Silber zu Schmuck sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit - und das auch jeweils über die kulturellen Grenzen hinweg - innerhalb der Buntmetallverarbeitung zu lokalisieren ist. Silber dürfte in Anbetracht seines hohen Materialwertes jedoch nur selten in Werkstätten hinterlassen worden sein. Angesichts der wenigen erhaltenen archäologischen Hinterlassenschaften, welche diese Tatsache bestätigen, kann das vermittelte Bild lediglich theoretischer Natur sein. Die Befundlage allein reicht nicht aus, um die zunächst naheliegende Schlussfolgerung zu ziehen, dass die Herstellung von Silberschmuck regelhaft nur in den Händen der Buntmetall verarbeitenden Handwerker lag.

Darüber hinaus lassen die Ergebnisse der Untersuchungen an den Fundobjekten selbst auch andere Interpretationen zu. Diese setzen zumindest teilweise einen spezialisierten Umgang mit dem Material Silber voraus und damit auch das Vorhandensein spezialisierter Edelmetallschmiede. Besonders die angewandten Verbindungstechniken mit zugefügtem Lötmaterial verlangen im Vergleich zu Buntmetall andere technische Kenntnisse für die Edelmetalle. Deshalb soll im folgenden Kapitel die archäologische Quellensituation zu dieser Thematik dargestellt werden.

6.3 Hilfsmittel der thermischen Techniken

Werkzeuge für die Edel- und Buntmetallverarbeitung müssen nicht immer über die archäologischen Funde und Befunde eindeutig als solche erkennbar sein. Durch Umformung oder unterschiedliche Handhabung kann ein Gerät diverse Funktionen erhalten. So kann beispielsweise ein Nagel zum Durchhauer umfunktioniert oder ein Meißel zur Punze umgeschmiedet werden. Aber auch die Verwendung vergänglicher Materialien schlägt sich selten im archäologischen Befund nieder. So sind eine Schlagunterlage aus Holz oder ein Leder zum Polieren sowie Hilfsmittel, wie Treibkitt, Beize und Lötmedium, kaum nachzuweisen und dennoch für die vor- und frühgeschichtliche Edelmetallverarbeitung vorauszusetzen.

6.3.1 Hitzequelle

Unter allen Werkzeugen, Geräten und Hilfsmitteln ist nicht zuletzt die Hitzequelle für alle Feinschmiedearbeiten von grundlegender Bedeutung. Eine technische Entwicklung in der Verarbeitung von Silber ist damit nicht nur abhängig von der Weiterentwicklung und Neuerfindung von Werkzeugformen, sondern auch von der fortschreitenden Nutzung des Feuers.

Auf die gesamte Geschichte der Löttechnik bezogen, lässt sich eine Fortentwicklung vom einfachen Holzkohlefeuer zu unterschiedlichen Konstruktionen diverser Ofenformen und viel später zu Lötlampen - die erst im 19. Jh. mit Gas betrieben wurden - bis hin zum heutigen Gasbrenner feststellen.

Für alle Techniken mit Feuerbehandlung, insbesondere für das Schmelzen, Gießen, Hartlöten und Schweißen, war in vor- und frühgeschichtlichen Zeiten das Holzkohlefeuer die Grundlage. Selbst bei Verwendung von Gebläsen reicht ein einfaches Holzfeuer nicht aus, um die zumindest zum Schmelzen und Gießen nötigen Temperaturen über einen längeren Zeitraum zu halten (Wolters 1986, 51). Als Brennmaterial erzeugt Holzkohle die erforderlichen höheren Temperaturen. Gleichzeitig ist die reduzierende Wirkung für alle Schmelz- und Lötvorgänge von Vorteil, für einige Arbeiten, wie das Reaktionslöten, sogar unabdingbar.

Für den Bedarf an größeren Mengen konnte Holzkohle in Erdgruben (Grubenmeilern) oder in oberirdischen Stapeln (Kohlenmeilern) hergestellt werden (vgl. Holsten u. a. 1991). Eine

intentionelle Holzkohleproduktion ist archäologisch nur schwer nachzuweisen, ist jedoch in Mitteleuropa spätestens ab der vorrömischen Eisenzeit anzunehmen, da die Eisen- und Kupferverhüttung große Mengen an Holzkohle verbrauchte¹⁵¹.

Im Vergleich zu Verhüttungsprozessen benötigte jedoch die Verarbeitung von Silber zu Schmuck nur geringe Mengen an Holzkohle. Die Edelmetallschmiede waren deshalb zur Herstellung kleiner Schmuckgegenstände nicht zwangsläufig auf eine großangelegte Holzkohleproduktion angewiesen.

Um eine kleinere Menge an Holzkohle direkt herzustellen, können glühende Äste mit Sand bedeckt werden, so dass sie auf diese Weise verkohlen. W. Creyaußmüller (1983, 459) schildert diesen Vorgang der Holzkohleherstellung bis in moderne Zeit auch noch für Schmiede der Westsahara, die sich damit behelfen, wenn der Kauf von Holzkohle auf dem Markt einmal nicht möglich ist.

Fertige Holzkohle erleichtert und rationalisiert die Schmiedearbeit erheblich, benötigt doch bereits die Holzkohleherstellung einiges an Aufwand und Zeit. Während Verhüttungsprozesse aufgrund der großen erforderlichen Menge an Holzkohle in waldreichen Gebieten anzusiedeln sind, können die für die Feinschmiedetätigkeiten benötigten kleineren Mengen an Holzkohle leicht zu den Arbeitsplätzen transportiert werden, die damit wiederum nicht an einen Standort gebunden sind.

Die Größenordnung eines Holzkohlefeuers zum Schmelzen und Gießen in der Schmuckherstellung veranschaulicht die aus einem alten Keramikgefäß bestehende Ofenkonstruktion eines modernen in Burma arbeitenden Silberschmiedes (Abb. 47). Auf einen archäologischen Befund übertragen, würde sich diese Konstruktion - sofern alle Werkzeuge, Gusstiegel und Halbfabrikate mitgenommen worden wären - lediglich als ein Haufen verbrannter Scherben präsentieren und würde möglicherweise nur über die Düsenöffnung in der Rückwand als Schmelzofen identifiziert werden können.

¹⁵¹ Die in deutschen Mittelgebirgen ab 700 v. Chr. rückläufigen Buchenbestände in der Nähe von Verhüttungsplätzen werden auf eine intensive Holzkohlenproduktion zurückgeführt. Pollendiagramme liefern Hinweise auf eine Niederwaldwirtschaft und damit auf eine Wirtschaftsweise, welche auf große Mengen von Holz als Energieträger ausgerichtet war. Ein Zusammenhang mit Köhlerei und Eisenverhüttung wurde so beispielsweise für das Siegerland (Pott 1990, 10 f.) und erst jüngst auch für den Nordschwarzwald (Rösch u. a. 2005; Gassmann u. a. 2006, 298ff.) postuliert. Dem widersprechend konnte Th. Ludemann (2007, 18) anhand holzanatomischer Untersuchungen von Holzkohlestücken zahlreicher Fundplätze vom Neolithikum bis in die Neuzeit, vor allem des Schwarzwaldes, keine Hinweise auf Holzselektion und Walddegradation und dementsprechend eine ausgesprochene Niederwaldwirtschaft feststellen. Die gezielte Holzkohleproduktion muss jedoch in jedem Fall eine große Rolle für alle Prozesse vom Erz zum Metall gespielt haben, unabhängig davon welche Waldwirtschaftsform dafür genutzt wurde.



Abb. 47: Silberverarbeitung (Toreutik) in den Pfahlbauten des Inle Sees in Burma; Verwendung eines halben Keramikgefäßes als Schmelzofen. Der Gusstiegel in der Mitte wird über die seitliche Sauerstoffzufuhr von links auf Schmelz- bzw. Gießtemperatur erhitzt (Fotos: Manuela Fischer 2008).

Vergleichbare archäologische Funde stammen von der hallstattzeitlichen Höhensiedlung Heuneburg in Baden-Württemberg (Drescher 1995, 315 ff. mit Abb. 34 - 36). Aufgrund runder Öffnungen in der Wandung von dort gefundenen Keramikfragmenten sowie Spuren stärkerer Hitzeeinwirkung und Resten von Metallspritzern auf ihrer Innenseite interpretierte H. Drescher (1984, 101 ff.) diese Fragmente als Reste von "Topföfen" zum Schmelzen von Buntmetall. Diese "Topföfen" mit einem Durchmesser von überwiegend 26 - 32 cm und einer überschlagenen Höhe von etwa 25 - 30 cm weisen ein 2,8 - 10 cm großes Loch knapp unterhalb ihres größten Durchmessers auf, welches nach H. Drescher als Öffnung für die Blasebalgdüse gedient haben könnte. Im experimentell nachvollzogenen Konstruktionsmodell (ebd. 102 Abb. 5) geht er davon aus, dass diese Öfen jeweils über einem Grubenfeuer, in dem der Schmelztiegel stand, aufgebaut waren und vom Feuer genommen wurden, sobald das Metall geschmolzen war. Auch er setzt Holzkohle als Brennmaterial voraus.

In antiken Schriftquellen wird wiederholt Spreu als Brennmaterial zum Schmelzen und Glühen von Gold genannt. Im Rahmen seiner Schilderungen der Eigenschaften von Gold ist bei Plinius d. Ä. zu lesen, dass Gold nicht mit Hilfe von Holzkohle, sondern durch ein Spreufeuer zum Glühen gebracht wird (Plin. nat. 33, 60). Auch der griechische Geograph Strabon führt aus, dass Spreu beim Schmelzen von Gold der Kohle vorzuziehen sei (Strab. III 2,8 p. 146C) und in einem Traktat des Plutarch heißt es, dass die Goldschmiede mithilfe des Feuers, das durch Spreu erzeugt wird, das Gold bearbeiteten (Plut. symp. 3,10 658D). Kurzfristig können

mit Spreu, Trockenhalmen und Reisig tatsächlich höhere Temperaturen als mit Holzkohle erzielt werden, es muss jedoch ständig nachgelegt werden (Projektgruppe Plinius Gold, 33). Ob die genannten Textstellen der antiken Autoren sich tatsächlich auf das Glühen und Schmelzen von Gold mit Spreu beziehen oder ob nicht vielmehr die Spreu zum anfänglichen Entfachen des Feuers genutzt wurde, entzieht sich unserer Kenntnis. Ein ständiges Nachlegen und das Lodern von Brennmaterial während des Schmelzprozesses erscheint jedenfalls in einer offenen Feuerstelle eher unpraktisch. Interessant wären dagegen Versuche mit Spreu als Brennstoff zum Zwischenglühen oder zum Schmelzen in einem Tiegelofen (siehe oben das Beispiel aus Vindonissa).

6.3.2 Blasrohr

Die einfachste Einrichtung eines Schmiedefeuers ist die Ofengrube, die für alle Schmelz- und Gießarbeiten in gleicher Weise geeignet ist. Ein Löten über dem offenen Holzkohlefeuer gestaltet sich jedoch schwierig und bedarf daher einer gesonderten Konstruktion und weiterer Hilfsgeräte für eine gezielte Temperatursteigerung.

Um durch Sauerstoffzufuhr die Temperatur einer Gasflamme zu steigern, wird heutzutage im modernen Goldschmiedehandwerk beim Löten und Schweißen sowie zum Schmelzen und Glühen entweder ein zusätzliches (Blas-) Rohr mit Mundstück an der Lötpistole befestigt oder entsprechende Gasgemische sorgen bereits im Gasbrenner für die erforderlichen Temperaturen. Wie und mit welchen Hilfsmitteln wurde aber in der vorrömischen Eisenzeit und römischen Kaiserzeit geschmolzen, geglüht, gelötet und geschweißt?

Während ein besonderes Augenmerk der experimentellen Archäologie auf den diversen Gusstechniken liegt, gibt es wenige praktische Untersuchungen zur Durchführung der thermischen Verbindungstechniken. Da jedoch einige der untersuchten Fundstücke Löt- und Schweißstellen aufweisen, soll im Folgenden der Frage nachgegangen werden, wie man sich das thermische Verbinden im Holzkohlefeuer vorstellen kann und welche Funde und Befunde für eine entsprechende Interpretation vorliegen. Sowohl antike und mittelalterliche Schrift- und Bildquellen als auch ethnographische Analogien und experimentelle Untersuchungen sollen dazu herangezogen werden.

Eine wichtige Informationsquelle in Analogie zu den vor- und frühgeschichtlichen Löttechniken liegt mit den Beschreibungen der verschiedenen mittelalterlichen Lötarbeiten - vom Weichlöten bis hin zum Reaktionslöten - des Theophilus Presbyter aus dem 12. Jh. n. Chr. vor.

Zum Verlöten von Bleiruten bei der Bleiverglasung, zum Anlöten eines Zinndrahtes auf der verzinnten Rückseite eines Zierknopfes und zum Verzinnen von Orgelpfeifen aus Kupfer nennt Theophilus die Verwendung eines LötKolbens (Brepohl 1999, 212 f.; 220). Das eigentliche Weichlöten von Fugen wurde jedoch nicht mit einem LötKolben ausgeführt, sondern über das Erhitzen in Holzkohlen. So wurden Zinngefäße mit Zinnlot ($\frac{2}{3}$ Zinn + $\frac{1}{3}$ Blei) gelötet, indem

das Lot in Lotstückchen, den Lotpaillen, angelegt und über anliegende "brennende Kohlen" zum Schmelzen gebracht wurden (Brepohl 1999, 263). Die Hitze glühender Kohlen reicht aus, um das Zinnlot zum Fließen zu bringen. Aber auch die zuvor verzinnnten Überlappungsnähte der Orgelpfeifen wurden mit Zinnlot auf glühenden Holzkohlen gelötet (ebd. 220).

Noch 1922 wurde das vom Goldschmied äußerst selten angewandte Weichlöten über ein Erhitzen des gesamten Werkstücks der Verwendung des LötKolbens vorgezogen. Der LötKolben wiederum wurde nur bei zuvor verzinnnten Gegenständen verwendet (Pritzlaff 1922, 122). Bis in die erste Hälfte des 20. Jhs. diente der HammerlötKolben mit einem hammerförmigen Kopf aus Kupfer oder Eisen zum Weichlöten. Über den im Feuer erhitzten Kopf wird die Wärme an die LötFuge abgeleitet und das Weichlot geschmolzen. Die Größe des Kolbenkopfes bestimmt dabei die notwendige Wärmeabgabe (Gaitzsch 1980, 131). Anders als bei Verwendung des heutigen ElektrolötKolbens erleichterte das zuvor durchgeführte Verzinnen ein schnelleres und sauberes Fließen des Zinnlotes in die Fuge.

Abweichend zum Zinnlot wird bei Theophilus das Silberlot in Form von Lotfeilung zusammen mit dem Lötmedium aus gebranntem Weinstein an die zu lökende Stelle eines Silbergefäßes aufgestreut. Das Gefäß wird ins Feuer gestellt und dann folgt die Anweisung "blase behutsam mit langem Zug, bis das Lot genügend geflossen ist" (Brepohl 1999, 82). Mit dem Blasen war hier sicher nicht das Anheizen des gesamten Feuers gemeint, sondern die gezielte Luftzufuhr auf die Holzkohlen um den zu lökenden Bereich, da auch an anderer Stelle dieselbe Prozedur mit einem Goldlot beschrieben wird (ebd. 129). An dieser Stelle folgend wird ausführlich das Löten sowohl mit Reaktionslot als auch mit metallischem Lot im Holzkohlefeuer geschildert (ebd. 129 - 134). Die glühenden Holzkohlen werden dabei so um das zu lökende Stück geschichtet, dass eine Art Ofen entsteht, der eine gezielte Sauerstoffzufuhr und das Beobachten des Lötvorgangs von vorne zulässt. Theophilus beschreibt jedoch den Vorgang der Hitzezufuhr nicht näher, sondern lediglich, dass man durch die Öffnung blasen könne, damit Unter- und Oberhitze gewährleistet bleibe (ebd. 133). Ein Blas- bzw. Lötrohr wurde an keiner Stelle erwähnt. Es ist jedoch denkbar, dass die Unterhitze über das Anheizen des Holzkohlefeuers mittels eines Blasebalgs und die Oberhitze während des eigentlichen Lötvorgangs über ein Lötrohr erreicht wurde, da es heißt, man solle das bestückte Werkstück ins Feuer halten und bis zum Zeitpunkt des Lotfließens mit Mund und Blasebalg blasen (ebd. 129).

Die Schilderungen des Theophilus beziehen sich allerdings auf das Anlöten eines Kelchhenkels und damit auf den Lötvorgang an einem größeren Objekt. In Anbetracht der geringen Größe kleiner Schmuckstücke, wie sie mit den untersuchten Fundstücken vorliegt, darf dagegen das Holzkohlefeuer keine großen Ausmaße besitzen, da sonst die Lötung solch kleiner Fugen schlecht beobachtet werden kann und das gesamte Schmuckstück anschmelzen könnte. Ein kleines Gefäß als Kohlebecken, in dem die glühenden Holzkohlen in dieser Art geschichtet werden, kann jedoch so gehandhabt werden, dass das Beobachten ermöglicht wird.

Eine weitere Beschreibung zum Löten im Holzkohlefeuer findet sich auch in den Traktaten über die Goldschmiedekunst von Benvenuto Cellini, einem Gold- und Silberschmied des

16. Jhs. n. Chr. (Brepohl 2005, 85). Cellini hebt besonders die beim Anlegen des Holzkohlefeuers zu vermeidende Rauchentwicklung hervor. Es sollten unbenutzte Holzkohlen verwendet werden und die brennenden Enden vom Werkstück entfernt wegstehen. Das zu lötende Werkstück müsse auf die Holzkohlen gelegt und mit einem Rost, welcher mit weiteren Holzkohlen bestückt ist, überdeckt werden. Sobald das Werkstück glüht, solle mit einem kleinen Blasebalg die Hitze der Glut vorsichtig erhöht werden bis die Oberfläche zu schmelzen beginnt, und dann müsse das fertig gelötete Werkstück sofort mit Wasser abgeschreckt werden. Cellinis Schilderung bezieht sich allerdings nur auf das Reaktionslöten von hochkarätigen Goldlegierungen. Er nennt zwar die Anfertigung einer Goldlotlegierung für die Reparatur kleiner Löcher und Risse, jedoch nicht wie mit dieser gelötet werden soll.

Zur Filigranbelötung mit Feinsilber bzw. hochwertigen Silberlegierungen verwendete Cellini eine Silber-Kupfer-Lotlegierung (Brepohl 2005, 47; 51). Das Löten in einem Ofen wird zwar erwähnt, jedoch nicht wie man sich dessen Konstruktion vorzustellen hat. Dennoch ist seinen Schilderungen zu entnehmen, dass das mit Granalien und Filigrandrähten bestückte Werkstück auf einer Eisenplatte im Ofenfeuer erhitzt und das Lot zum Fließen gebracht wird, indem extra "einige Späne trockenen Kleinholzes darunter" mit dem Blasebalg angefacht werden (ebd. 48). Als Ofenkonstruktion vermutet E. Brepohl in seinen Kommentaren eine liegende Tonmuffel, die in glühende Holzkohlen eingebettet wurde, wobei das Werkstück in der Tonmuffel vor Schmutz und Ascheteilen geschützt wäre (ebd. 52). Sicher ist eine Tonmuffel auch zur besseren Beobachtung des Werkstücks geeignet. Zur Temperatursteigerung wird jedoch auch bei Cellini kein Blasrohr erwähnt, sondern der Blasebalg.

Ohne eine gezielte Luftzufuhr auf die direkt am Werkstück anliegenden Holzkohlen sind in jedem Fall weder das Hartlöten noch das Schweißen an kleinen Schmuckstücken denkbar. Damit ist die Verwendung eines Blasrohres durchaus von Nutzen.

Bildliche Darstellungen des vor einem Kohlebecken sitzenden Handwerkers mit Blasrohr gibt es sowohl aus der Antike als auch noch aus dem 19. Jh. Die wohl bekannteste antike Darstellung stammt aus dem Grab des Rhekmara im ägyptischen Theben aus der Mitte des zweiten vorchristlichen Jahrtausends (Feldhaus 1965, 639 Abb. 433; Wolters 1981, 29 Abb. 7; Nestler u. Formigli 1993, 84 Abb. 59). Für die römische Zeit sind vor allem eine Wandmalerei des 1. Jhs. n. Chr. im Haus der Vettier in Pompeji (Mau 1908, 353 mit Taf. IX,2 ; Neuburger 1920, 68 Abb. 96; Wolters 1981, 32 Abb. 11; Weisgerber u. Roden 1985, 12 Abb. 16) und ein spätkaiserzeitliches Grabrelief aus Laodikea am Lykos in der Westtürkei (Weisgerber u. Roden 1985, 13 Abb. 17; Schmidts u. Tobias 2008, 106 Abb. 4,4) zu nennen.

Der pompejanische Fries aus der erwähnten Wandmalerei zeigt mehrere Eroten bei der Ausübung diverser Goldschmiedearbeiten. In der hier besonders interessierenden Szene arbeiten zwei dieser Eroten zu beiden Seiten eines Ofens (Abb. 48; vgl. Farbfoto bei Étienne 1991, 71).

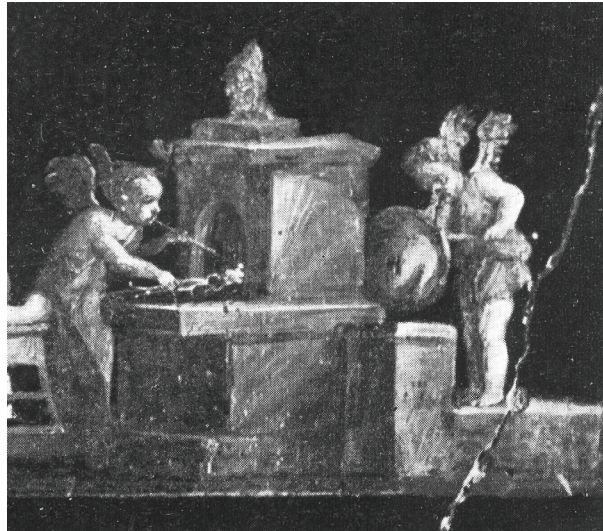


Abb. 48: Ausschnitt aus dem Erosenfries im Haus der Vettier, Pompeji (Mau 1908, Taf. IX,2).

Der Erot links vor dem Ofen hält mit einer Zange einen nicht erkennbaren Gegenstand ins Feuer und mit der anderen Hand ein Blasrohr, über das er dem Feuer zusätzlich Luft zuführt. Als eine Interpretationsmöglichkeit für die Arbeit mit Zange und Blasrohr wird das Wegblasen der Schlacke von der Metallschmelze in einem Tiegel vorgeschlagen (Weisgerber u. Roden 1985, 13). Diese Vorstellung scheint hier jedoch wenig plausibel, da bei einem reduzierenden Schmelzen von Edelmetallen in einem kleinen Tiegel lediglich Holzkohlestückchen, welche als Abdeckung die Oxidation des Schmelzgutes verhindern sollen, weggeblasen werden müssen. Ungewollt entstandene Schlacken oder bei einer Edelmetallraffination, also einem oxidierenden Treibprozess, bewusst herbeigeführte Schlacken würden dagegen entweder am Tiegelrand erstarren oder müssten mechanisch beseitigt werden. Das Wegblasen von auf der Schmelze schwimmender Holzkohle mithilfe eines Blasrohrs, wie es auch in einer Filmaufnahme aus den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts bei traditionell arbeitenden Silberschmieden im Norden Thailands dokumentiert wurde (Scholz 1974, 9), ist dagegen durchaus vorstellbar.

J. Wolters (1981, 32) geht in einer anderen Interpretation davon aus, dass mit der Zange ein zu lötendes Werkstück ins Feuer gehalten wird, während mit dem Blasrohr die Flamme auf das Werkstück umgelenkt wird. In diesem Fall wäre das Blasrohr ein Lötrohr, eine für diese Darstellung durchaus nachvollziehbare Auslegung.

Auch die Tätigkeit des rechts hinter dem Ofen stehenden Erosen wird unterschiedlich interpretiert. Während A. Mau (1908, 353) und A. Neuburger (1920, 68) die Vorstellung äußerten, dass in dieser Szene ein Gegenstand entweder poliert oder mit einem Ziselierhammer nachbearbeitet würde, deuten G. Weisgerber und Ch. Roden (1985, 13) den dargestellten rundlichen Gegenstand als Blasebalg. Würden die beiden Tätigkeiten links und rechts des Ofens gleichzeitig ausgeführt, erscheint eine Deutung der rechts dargestellten Arbeit als das Treiben oder Ziselieren einer Schale wahrscheinlicher, denn das Feuer müsste während des Lötens nicht zusätzlich mit einem Blasebalg angefacht werden.

Ein Blasrohr ist auch auf dem genannten Grabrelief aus Laodikeia dargestellt (Abb. 49). Seine Verwendung wird hier zum Schmelzen oder Erhitzen kleinerer Metallmengen interpretiert (Weisgerber u. Roden 1985, 13). Auf der linken Seite der Szene sitzt ein Handwerker auf einem Stuhl mit Rückenlehne und Fußbank und bearbeitet ein Werkstück mit einem Hammer, während auf der rechten Seite ein weiterer Handwerker vor einem Kohlebecken steht, in welches er mit einem Blasrohr hineinbläst. In seiner rechten Hand hält er einen sicherlich als Zange (Schmidts u. Tobias 2008, 107) zu interpretierenden Gegenstand.



Abb. 49: Grabrelief aus Laodikea (Weisgerber u. Roden 1985, 13 Abb. 17).

Aufgrund seiner sitzenden und dennoch überragenden Position kann der schmiedende Handwerker als eine Art "Meister" im weiteren Sinn angesprochen werden (so auch Schmidts u. Tobias 2008, 107). Die Person mit Blasrohr und Zange hätte folgend eine Funktion als Gehilfe oder Zuarbeiter, wobei eine anspruchsvolle und für das Werkstück riskante Tätigkeit, wie das Löten, sicherlich nicht auf den Gehilfen übertragen worden wäre. Damit kommt man zu dem Schluss, dass hier ein alternativer Arbeitsgang dargestellt sein muss und im Zusammenhang mit der Schmiede- oder Treibtätigkeit des sitzenden Handwerkers liegt hierfür das notwendige Zwischenglühen von mechanisch umgeformten Werkstücken nahe.

Ob im Einzelfall der Darstellungen nun das Löten oder das Erhitzen zum Zwischenglühen der Werkstücke oder gar das Schmelzen kleinerer Metallmengen gezeigt ist, bleibt unsicher. Allein mit der Kraft der Lungen über ein einzelnes Blasrohr das Holzkohlefeuer auf die nötige Temperatur zu bringen, damit Edel- oder Buntmetalle zum Schmelzen gebracht werden, scheint nur bei einer äußerst geringen Materialmenge möglich. Ein kleines Stückchen Gold oder Silber kann zwar jederzeit mit Hilfe eines Blasrohres auf einer glühenden Holzkohle zur Granalie geschmolzen werden, wie dies bereits H. Moesta (1986, 116) in einem Versuch zeigte, hiervon ausgehend jedoch zu behaupten, dass sich jegliches Schmelzen von Metall mit nur einem Blasrohr bewerkstelligen ließe, wäre die falsche Schlussfolgerung. Bei eigenen

Versuchen zum Schmelzen kleinerer Mengen an Silber (10 - 30 g Ag 935) in einem Holzkohlefeuer musste einiges an Kraftaufwand betrieben werden, um die Schmelztemperatur selbst mit einem Blasebalg zu erreichen. Nur mit mehreren Blasrohren, die für eine kontinuierlich hohe Luftzufuhr sorgen, ist das Schmelzen von Metall in einem Tiegel denkbar. Ch. J. Raub (1995, 249f.) meint dagegen gerade in der ägyptischen Darstellung aus dem Grab des Rhekmara das Erhitzen von Goldstaub zum Sintern mit Hilfe eines Blasrohres zu erkennen. Wie jedoch seine eigenen Experimente zeigen, ist das Sintern von Goldstaub bei Temperaturen mit 300 °C nur über einen Zeitraum von etwa zwölf Stunden zu erreichen, während dieser Prozess bei einer hohen Temperatur von 900 °C sehr viel schneller abläuft. Damit bewegt man sich jedoch bereits wieder in der Nähe der Schmelztemperaturen und der Einsatz eines einzelnen Blasrohres hierfür ist zu bezweifeln¹⁵².

Da ein einzelnes Blasrohr zur Steigerung der Hitze für das Schmelzen nicht ausreichend erscheint und das Zwischenglühen der Werkstücke wiederum zu den häufigsten Tätigkeiten während aller Feinschmiedearbeiten gehört - sowohl beim Schmieden oder Treiben als auch bei der Münzprägung -, sind folglich nicht nur das Wegblasen von Holzkohle beim Schmelzen sowie das Löten, sondern auch ein gezieltes Erhitzen des Werkstückes zum Zwischenglühen denkbare Interpretationen der Illustrationen eines Handwerkers mit einem Blasrohr.

Bis heute wird das Zwischenglühen der Werkstücke von westafrikanischen Goldschmieden nicht nur im Holzkohleofen durchgeführt, sondern auch in einem ursprünglich zum Teekochen verwendeten kleinen Drahtofen (Fisher 1984, 86; Armbruster 1995b, 124). In dieser Art Kohlebecken wird die glühende Holzkohle zwar nicht mit einem Blasrohr, sondern mit einem Bastfächer angefacht, besitzt jedoch den Vorteil der von allen Seiten möglichen Luftzufuhr. Das Blasrohr dient den afrikanischen Goldschmieden dagegen zum Löten mit einer Lötlampe. Auch im traditionellen Goldschmiedehandwerk in Indien wurde und wird das Blasrohr zum Löten verwendet, heutzutage ebenfalls zusammen mit einer Lötlampe, im 19. Jh. offensichtlich zumeist noch mit einem Holzkohleofen. Bemerkenswert ist dabei die erstaunliche Übereinstimmung von Illustrationen, welche die Arbeit der indischen Goldschmiede im 19. Jh. dokumentieren, mit den oben gezeigten römischen Darstellungen. Auf dem hier exemplarisch abgebildeten Gemälde (Abb. 50; zu vergleichbaren Abbildungen siehe auch Untracht 2008,

¹⁵² Dagegen ist für den hier behandelten Zeitraum ohnehin davon auszugehen, dass die Befeuerung zum Schmelzen von Metall eher mit Hilfe von Blasebalgdüsen denn mit Blasrohren vorgenommen wurde. Ab der Latènezeit deuten diverse Befunde zum Schmelzen von Metall eher auf Schmelzöfen mit Blasebälgen denn auf Herdstellen, welche über Blasrohre angeheizt wurden. So werden beispielsweise die kleinen Öfen zum Schmelzen von Edelmetallen im Zusammenhang mit der Münzherstellung in Manching mit einer rechteckigen Ofenkammer zwischen zwei Blasebälgen rekonstruiert (Gebhard 1995, 269). Die Größe der rekonstruierten Ofenkammer mit einer Weite von 22 - 25 cm würde gut zu den mit 14 - 17 cm² großen Tüpfelplatten passen (ebd.), führt aber auch die vorstellbare Dimension eines Ofens für jegliche Feinschmiedearbeit vor Augen. Untersuchungen an Tiegeln (Modarressi-Tehrani 2004, 30) konnten zudem aufzeigen, dass einige der Tiegel ab der Latènezeit nicht mehr, wie in der Bronzezeit und der frühen vorrömischen Eisenzeit, von oben, sondern von unten bzw. außen befeuert wurden. Auch die erhaltenen Ofenkonstruktionen, Düsenziegel und Schmelztiegel aus provinzialrömischen Siedlungsbefunden verweisen auf eine Befeuerung von außen (vgl. Kap. 6.2). In diesem Fall ist der Einsatz eines Blasrohres nicht notwendig, weshalb sich besonders die hier gezeigten römischen Darstellungen sicher nicht auf Schmelzvorgänge beziehen.

283 Abb. 676; Wolters 1986, 53 Abb. 10)¹⁵³ wird auf der linken Seite der Vorgang des Lötens gezeigt, wobei die Glut in einem als Ofen dienenden Keramiktopf mit einem Blasrohr angefacht wird und die Zange als Manipulierhilfe dient.



Abb. 50: Malerei eines indischen Künstlers 1856 (© The British Library Board. Add. Or. 1555); links Goldschmied beim Löten, rechts Goldschmied beim Schmieden eines dort traditionellen Fußringes aus Silber (vgl. Beschreibung bei Untracht 2008, 282).

In Analogie zu den erwähnten neuzeitlichen Bildquellen kann die verbildlichte antike Benutzung von Blasrohren auch ihren Gebrauch zum Löten zeigen. In antiken Schriftquellen finden sich dagegen keine Hinweise auf das Löten mit Blasrohr, auch wenn verschiedentlich Belege in der einschlägigen Fachliteratur geführt werden.

In mehreren Abhandlungen zur antiken Löttechnik wird auf ein um 40 n. Chr. entstandenes "Epigramm über die Goldschmiedekunst, das Philippos aus Theassalonich verfasste", verwiesen, in dem angeblich das Lötrohr erwähnt sein soll (Mötefindt 1916, 185; Feldhaus 1965, 640; Wolters 1975, 20; Schmidt 1993, 18). Erstaunlich ist nicht nur, dass dieses Zitat bis in jüngste Zeit immer wieder wörtlich übernommen wurde, sondern auch, dass die Textstelle im Original offenbar nie überprüft wurde.

¹⁵³ Auch in der Online Gallery der British Library, London, finden sich weitere vergleichbare photographische Drucke, auf welchen Tätigkeiten mit dem Blasrohr gezeigt sind. Sitzen die Handwerker vor einem Holzkohlebecken, wird die Tätigkeit als Erhitzen von Metall interpretiert, zusammen mit einer Lötlampe als Lötvorgang (<http://www.bl.uk/onlinegallery>, shelfmarks "Photo 1000/52(4929b)", "Photo 1000/52(4929c)", "Photo 1000/52(4930)", "Photo 15/10(58)").

Philippos von Thessalonike schreibt (Anth. Gr. 6,92):

Αὐλὸν καμινευτῆρα τὸν φιλήνεμον	Den Balg, der auf dem Schmiedeherd das Feuer facht,
ρίνην τε κνησίχρυσον ὠκυδήκτορα	die Feile, die mit raschem Biß das Gold zerreibt,
καὶ τὸν δίχηλον καρκίνον πυραγρέτην	der Zange Doppelkralle, die ins Feuer faßt,
πτωκὸς πόδας τε τούσδε λειψανηλόγους	und Hasenfüße hier, womit man Späne fegt,
ὁ χρυσοτέκτων Δημοφῶν Κυλληνίῳ	bracht Demophon, der Goldschmied, dem Kyllenier dar
ἔθηκε, γήραx κανθὸν ἐξοφωμένος.	nun, da das Alter ihm das Augenlicht getrübt.

In der hier wiedergegebenen Übersetzung von H. Beckby (Anth. Gr. 6,92) wird das Wort αὐλός (aulos) mit "Balg" gleichgesetzt und verweist hier sicher auf die richtige Bedeutung. Es wird lediglich der Blasebalg zum Feuer Ent- oder Anfachen erwähnt, nicht jedoch das Blas- oder Lötrohr für feinere Lötarbeiten. In allen einschlägigen Wörterbüchern findet man als Übersetzung für das griechische Wort αὐλός (aulos) sowohl die Flöte und die Pfeife als auch jede Art von Röhre und bei H.-G. Liddell und R. Scott (1968, 277) wird αὐλός ἐκ χαλκεῖον (aulos ek chalkeion) mit "the smith's bellows" übersetzt.

Die Erwähnung bei Philippos von Thessalonike ist sicher nicht im Sinne eines Rohres zum Löten zu interpretieren, sondern als Blasrohr am Blasebalg zum Anfachen des Feuers, also das Rohr als technisches Konstruktionselement an Blasebälgen, die Blasebalgdüse. Damit gehen alle von diesem Zitat ausgehenden Interpretationen von falschen Tatsachen aus.

Auch weitere Schriftquellen, in welchen das Lötrohr erwähnt sein soll, erweisen sich als nicht haltbar. So wird das Blasrohr in der zitierten Textstelle der Arzneimittellehre des Dioskurides, einem griechischen Arzt des 1. Jhs. n. Chr. in militärischen Diensten Roms, zwar angeführt, bezieht sich jedoch auch hier wieder auf Blasebälge. Bei der Beschreibung, wie Hüttenrauch hergestellt wird, werden lediglich die Blasebälge mit φυσητήρ (physeter) bzw. φύσα (physa) und deren Bediener φυσητής (physetes) genannt (Diosk. mat. med. 5,75 bzw. 5,85)¹⁵⁴, was in keinem Zusammenhang mit einem Lötvorgang steht.

In den griechischen Schriftquellen wird folglich die Verwendung des Blasrohrs zum Löten nicht explizit erwähnt. Blasrohre werden zwar mehrfach genannt, auch um das Feuer anzufachen, aber selbst bei diesen Textstellen ist aufgrund der unterschiedlich verwendeten Terminologie eher davon auszugehen, dass mit dem Blasrohr das verlängerte Rohr der Blasebalgdüse gemeint war und nicht das Blasrohr für die Luftzufuhr über den Mund, da die altgriechischen Worte für Blasebalg und Blasrohr synonym verwendet werden: αὐλός (aulos) wird für den Blasebalg und jedes Rohr verwendet, aber auch φύσα (physa) wird mit Blasebalg übersetzt und mit φυσητήρ (physeter) wird das Blasrohr, sowie mit ἀκροφύσιον (akrophysion) die Spitze der Blasebälge, also die Blasebalgdüse, bezeichnet. Die relevanten

¹⁵⁴ In den hier verwendeten Ausgaben (griechischer Text von M. Wellmann 1958 und deutsche Übersetzung von J. Berendes 1902) wird die Kapiteleinteilung unterschiedlich angegeben.

literarischen Quellen zum griechischen Gebläse wurden bei G. Weisgerber und Ch. Roden (1986) ausführlich beschrieben.

Den römischen Schriftquellen ist ebenfalls nichts zu der beim Löten angewandten Feuertechnik zu entnehmen. Plinius d. Ä. beschreibt zwar Lötmittel und Lote (siehe Kap. 4.3.2), erwähnt jedoch nicht, wie die Löttechniken durchgeführt wurden. Diverse mechanische Einrichtungen, darunter auch die der Schmiede, galten jedoch als alltäglich und mussten deshalb nicht explizit beschrieben werden, wie aus einer vielzitierten Äußerung von Vitruv Ende des 1. Jhs. v. Chr. hervorgeht (Vitr. 10, 1, 242 - 246), wo es nach der verwendeten Übersetzung von C. Fensterbusch heißt: "Außerdem gibt es noch unzählige Arten von mechanischen Einrichtungen, über die man wohl nicht zu sprechen braucht, da sie täglich zur Hand sind, z. B. Mühlen, die Blasebälge der Schmiede, vier- und zweirädrige Reisewagen, Drehbänke und die übrigen Dinge, die allgemeine Vorteile für den gewöhnlichen täglichen Gebrauch bieten."

Im archäologischen Fundmaterial treten Rohre in Form von Blasebalgdüsen und Blasrohren hin und wieder auf, sind jedoch erst durch eindeutige Kontexte als solche bestimmbar.

Für die vorrömische Eisenzeit ist sicherlich das Blasrohr aus dem illyrisch-hellenistischen Depotfund von Ošanići besonders interessant, stammt es doch aus einem vollständig erhaltenen Werkzeugkomplex, wie er auch für keltische Feinschmiede in Mitteleuropa denkbar ist (Müller 1991c, 148). Mit einer Länge von fast 60 cm und einem Durchmesser von ca. 0,5 cm an der Luftaustrittsöffnung (Marić 1978, Taf. 27,84) erscheint seine Verwendung vor allem zum Zwischenglühen, aber auch zum Löten, durchaus geeignet.

Eine Auflistung eiserner Blasebalg- und Blasrohre vom 1. Jh. v. Chr. bis zum 7. Jh. n. Chr. wurde jüngst von T. Schmidts und B. Tobias (2008) vorgelegt. Die Autoren deuten die Rohre mit einem Durchmesser von ca. 3 - 10 cm als Blasebalgdüsen, die kleineren als Blasrohre zum Schmelzen von Metall. Aufgrund ihres mit 1 - 2 cm kleinen Lochdurchmessers wurden demzufolge nur drei Exemplare des 5. bis 7. Jhs. n. Chr. aus Schweden und Ägypten als Blasrohre angesprochen, die übrigen gelten als Bestandteile von Blasebälgen.

Bereits 1914 machte F. M. Feldhaus in seinem Technik-Lexikon darauf aufmerksam, dass man Lötrohre vielleicht in den Sammlungen antiker ärztlicher Instrumente zu suchen habe und wies in diesem Zusammenhang auf ein kleines Bronzeröhrchen aus Kos hin, welches in das 2. Jh. v. Chr. datieren soll (Feldhaus 1965, 640 Abb. 432). Mit einer Länge von nicht einmal 10 cm und einem Außendurchmesser von unter 3 mm erscheint dieses jedoch als Blas- oder Lötrohr nur eingeschränkt brauchbar zu sein.

Als ethnographische Vergleiche können traditionelle Blechrohre aus Westafrika oder aus dem Jemen angeführt werden, die mit einer Länge von 25 - 35 cm sowie einem Durchmesser von ca. 0,6 - 1 cm am Mundstück und ca. 0,2 - 0,3 cm an der Luftaustrittsöffnung zum Löten mit Petroleum-Lötlampe genutzt werden (Dostal 1972, 11; Schunk 1991, 149 Abb. 74; Armbruster 1995b, 124). Das Düsenende kann in seinem Durchmesser offensichtlich je nach Bedarf verändert werden. Sowohl den archäologischen, als auch den bildlichen Quellen ist zwar kein Vergleich zum gebogenen Ende dieser Blasrohre zu entnehmen, dieses ist jedoch weder zum

Umlenken einer Flamme noch zur Temperaturerhöhung glühender Holzkohle zwingend notwendig.

Denkbar sind gleichwohl auch Blasrohre aus vergänglichem Material, welche sich kaum im archäologischen Fundmaterial niederschlagen. So ist ein Schilfrohr oder ein ausgehöhlter Ast (z. B. Holunder) in gleicher Weise geeignet wie ein Langknochen. Um die Spitze vor Verbrennung zu schützen und die austretende Luft zu zentrieren, muss lediglich eine Tondüse angesetzt werden. Eine tönernen Düse wird beispielsweise auch für die oben erwähnte ägyptische Darstellung des mit Blasrohr vor einem Kohlebecken sitzenden Goldschmieds postuliert (Wolters 1981, 28; Nestler u. Formigli 1993, 84).

6.3.3 Löten und Schweißen im Experiment

Für das Löten kleinerer Gegenstände sind offene Holzkohlefeuer kaum geeignet, da die erforderliche Beobachtung und das Herausnehmen des Werkstücks durch die abstrahlende Hitze erschwert ist. Deshalb ist für alle Lötarbeiten jede Art von Kohlebecken denkbar, wobei das Werkstück auf einer ebenen Holzkohle als Lötunterlage aufliegt und von drei Seiten mit weiteren Holzkohlen umgeben wird. Diese Konstruktion ermöglicht das Beobachten des Werkstücks von vorne und schützt vor zu großer Wärmeabstrahlung. Die Arbeitstemperaturen zum Löten können dabei mühelos über die Luftzufuhr eines Blasrohrs erreicht werden.

Im Rahmen ausführlicher Untersuchungen zur etruskischen Granulation erprobten G. Nestler und E. Formigli (1993, 81 ff.) mehrere Varianten kleiner Ofenkonstruktionen. Dabei galten ihre Experimente vorrangig der Frage nach der Durchführung des Reaktionslötens. Die nachgebauten Kuppelöfen konnten von unten her angeheizt werden und besaßen nur auf der Vorderseite eine kleine Öffnung. Damit war eine geringere Hitzeabstrahlung nach vorne gewährleistet. Als vorteilhaft erwies sich zudem das Überbauen der Arbeitsebene mit einem Dach aus Holzkohlen, wodurch ein gleichmäßiges Erhitzen des Werkstücks garantiert war. Mit ihren Versuchen konnten G. Nestler und E. Formigli eine glaubhafte Möglichkeit zum Reaktionslöten granalienbestückter Werkstücke aufzeigen. Fraglich ist, ob entsprechende Konstruktionen auch für einfachere Löt- und Schweißarbeiten nötig sind, wie sie etwa an den im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Lunula-Anhängern oder Kettengliedern vorliegen. Für solche Arbeiten reichen sicherlich schlichtere Konstruktionen aus, ohne dass ein Ofen gebaut werden muss.

Noch bis in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde zum Weichlöten entweder ein LötKolben mit Kupferkopf verwendet oder eine Lötlampe, wenn die Lötstelle für den Kolben nicht zugänglich war (Lüder 1936, 16). Bevor Gasbrenner üblich wurden, wurde zum Hartlöten kleiner Stellen die Lötlampe eingesetzt, wobei die Druckluft mit Hilfe eines Lötrohres in eine Kerzen-, Öl- oder Gasflamme eingeblasen und die Lötstelle mit der so entstandenen Stichflamme erhitzt wurde (ebd. 37). Das Hartlöten größerer Gegenstände wurde dagegen im Holzkohlefeuer durchgeführt, indem die Verbindungsstelle mit Lot bestückt und der übrige

Bereich des Werkstückes mit Lehm bestrichen wurde. Das Ganze wurde anschließend mit glühenden Holzkohlen umgeben, so dass das Schmelzen des Lotes beobachtet werden konnte (ebd. 38).

Die Gefahr der Überhitzung kleinerer Werkstücke im Feuer ist jedoch besonders groß. Verschiedene Methoden zum Weich- und Hartlöten kleinerer Objekte wurden deshalb in eigenen Experimenten getestet, um hypothetische Möglichkeiten des Lötens an den latènezeitlichen und provinzialrömischen Schmuckstücken aufzuzeigen.

Ein einfacher Versuch zum Löten mit Hilfe eines Holzkohlenbeckens ließ sich ohne größere Schwierigkeiten bewerkstelligen. Die Enden eines vorbereiteten Ringes aus einem Silberdraht (Ag 935) mit einem Durchmesser von 2 mm wurden mit einer modernen Silberlotlegierung unter Verwendung von Borax als Flussmittel zusammengelötet. Der mit Lot und Borax versehene Ring wurde auf einer Holzkohle in ein mit glühenden Kohlen bestücktes Gefäß gegeben und mit weiteren Kohlen umgeben. Um die Schmelztemperatur des Lotes zu erreichen, musste lediglich die Glut der anliegenden Holzkohlen mit einem Blasrohr verstärkt werden, so dass sich die Fuge innerhalb kurzer Zeit mit flüssigem Lot füllte. Auch ein zweiter Versuch, bei welchem der Draht mit einer Blechhülse verbunden werden sollte, gelang auf dieselbe Weise.

Für kleine Schmuckgegenstände und einfache Lötarbeiten reichen also bereits wenige glühende Holzkohlen und ein Blasrohr aus. Der Zeitpunkt, zu welchem das Lot in die Fuge "schießt", kann so problemlos beobachtet werden. Obwohl dies nicht explizit getestet wurde, dürfte auch das Reaktionslöten in gleicher Weise funktionieren, sofern für eine ausreichend reduzierende Atmosphäre durch die anliegenden Holzkohlen gesorgt ist.

Ein Verschweißen von Drahtenden, wie es an den untersuchten Kettengliedern vorliegt, gestaltet sich mit dieser Methode jedoch sehr viel schwieriger, da nicht nur der Zeitpunkt des Anschmelzens genauer abgepasst, sondern auch eine höhere Temperatur erreicht werden muss. Wie bereits in Kap. 5.4.2.3 ausgeführt, ist zum Schweißen sicher eine stärkere Unterhitze und eine Tonabdeckung der an die Schweißstelle angrenzenden Bereiche des Werkstücks notwendig.

In seinen Untersuchungen zur Geschichte der Löttechnik betont J. Wolters (1986, 53) ausdrücklich, dass das Löten mit Lötlampe erst im 17. Jh. über bildliche Darstellungen und schriftliche Erwähnungen belegt ist und die Verwendung des Lötrohres in Verbindung mit Lötlampen erst ab dieser Zeit einsetzte.

Auch wenn das Löten mit Lötrohr und Öllampe vor dem 17. Jh. weder über Bild- noch über Schriftquellen nachgewiesen ist, schließt dies eine vorherige Verwendung nicht gänzlich aus. Mit Bezug auf M. É. Vernier (1907, 68 ff.) erwähnt auch G. Nicolini (1990, 170) in seiner Studie zu den Goldschmiedetechniken des 7. - 4. Jhs. v. Chr. der Iberischen Halbinsel die theoretisch vorstellbare Verwendung von Öllampen in Kombination mit Blasrohren.

Wie die Ausführungen oben gezeigt haben, war das Blasrohr nicht unbekannt und die aus römischer Zeit zahlreich erhaltenen Öllampen könnten hypothetisch auch für technische Zwecke genutzt worden sein.

Weitere Versuche wurden unternommen, um zu überprüfen, ob einfache Löt- und Schweißarbeiten, wie sie an den provinzialrömischen Anhängern und Ketten belegt sind, mit einer Öllampe und einem Blasrohr durchgeführt werden können. Dazu wurden eine mit Olivenöl befüllte Replik einer römischen Tonlampe und ein Blasrohr aus Rohrkolben verwendet, womit die Flamme auf das zu lötende Objekt umgelenkt werden konnte (Abb. 51). Für das Blasrohr wurde das Stück eines Rohrkolbens mit einem Draht ausgehöhlt. Durch das Ansetzen einer Tondüse war die Öffnung des Lötrohrs ausreichend klein, damit sich die Flamme umlenken ließ. Das gebogene Ende moderner Mundlötrohre erleichtert lediglich die Sicht auf das zu lötende Werkstück, ist jedoch nicht notwendig, um die Flamme umzulenken.



Abb. 51: Experiment zum Löten mit Öllampe, Blasrohr und Holzkohle.

Innerhalb weniger Sekunden war die Fuge zwischen einem Draht und einer Blechhülse (ähnlich den Lunula-Anhängern) mit einem Zinn-Bleilot ausgefüllt (Abb. 52). Das Löten mit Weichlot, wie es für einige der Lunula-Anhänger belegt und für weitere anzunehmen ist, lässt sich somit mit relativ einfachen Mitteln bewerkstelligen.

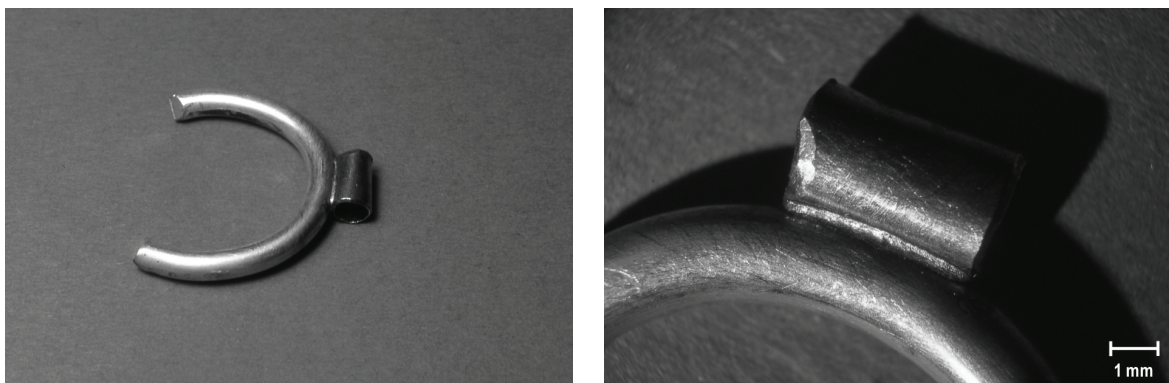


Abb. 52: Experiment zum Löten mit Weichlot und Öllampe.

Sowohl das Hartlöten eines entsprechenden Objekts als auch das Schweißen der Drahtenden eines dünnen Drahttringes gestalteten sich sehr viel schwieriger und ließen sich im Experiment nicht zufriedenstellend durchführen. Die erforderlichen Temperaturen konnten nur erreicht werden, indem eine Holzkohlen-Unterlage zusätzlich zum Glühen gebracht wurde.

Nach Ch.-H. Wunderlich (2006, 32) kann eine einfache Ölflamme bereits eine Flammentemperatur von ca. 1000 °C erreichen. Diese Temperatur kann über eine gezielte Luftzufuhr noch erhöht werden. Damit können theoretisch die für alle Silberlegierungen notwendigen Arbeitstemperaturen zum Löten, ja selbst zum Schweißen erzielt werden. Offensichtlich reichen also die Hitze des Olivenöls und die richtige Atemtechnik aus, um an kleinen Objekten zu löten. Zumindest das Weichlöten von Verbindungsstellen, wie die der Lunula-Anhänger, erscheint mit der Öllampe äußerst praktikabel. Ob die zahlreich im provinzialrömischen Fundspektrum vorkommenden Öllampen tatsächlich auch hin und wieder für diese Zwecke genutzt wurden, kann freilich nicht über die Befundlage geklärt werden.

Auch das Weichlöten eines entsprechenden Versuchsstücks auf einer glühenden Holzkohle, deren Glut mit Hilfe eines Blasrohres verstärkt wurde, funktionierte schnell und einfach. Im Gegensatz zum Löten mit Öllampe muss das Werkstück lediglich im Moment des Lotfließens mit Wasser abgeschreckt werden, da sonst das Lot "frisst" und das Silber beschädigt wird (siehe Kap. 4.3.2.1).

Die im Zusammenhang mit dem Weichlöten immer wieder erwähnten HammerlötKolben sind für die Weichlotverbindungen an den Fugen der Lunula-Anhänger sicher ungeeignet, da ihr Funktionsende zu grob ist. Überlappungsnähte von Bleirohren oder auch Fugen an größeren Gefäßen lassen sich damit gut löten, aber bei Objekten, an welchen eine kleine Fuge mit Lot ausgefüllt werden soll, erscheint es praktikabler und sauberer, wenn das Zinnlot entweder mit einer Öllampe oder über einer glühenden Holzkohle zum Schmelzen gebracht wird.

Alle einfacheren Löt- und Schweißvorgänge lassen sich also mit Hilfe eines Blasrohres durchaus auf glühenden Holzkohlen durchführen, ohne dass eine Ofenkonstruktion gebaut werden muss. Die Luftzufuhr wird dabei auf die Holzkohle gerichtet, welche die nötige Hitze an das Werkstück abgibt. Erhitzt man die Holzkohle unter der zu lötenden Fuge stärker, erreicht man auch eine gezieltere Temperatursteigerung der Lötstelle. Das Blasrohr dient in diesem Fall der Hitzezufuhr durch indirekte Temperatursteigerung und nicht der gezielten Ablenkung einer Flammenhitze auf das Werkstück¹⁵⁵.

Auch wenn es bisher in keiner Weise belegbar ist, sollte die Möglichkeit des gezielten Umlenkens der Flamme einer Öllampe, zumindest für das Löten mit niedrigschmelzenden Legierungen, für die römische Löttechnik der Kaiserzeit in Betracht gezogen werden.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit unternommenen Versuche reichen jedoch bei weitem nicht aus, um die in der Antike durchgeführten Löt- und Schweißtechniken im Detail

¹⁵⁵ Unter der Annahme, dass das Blasrohr wie heutige Lötrohre lediglich zum Umlenken einer Flamme genutzt werden könne, wurde die Funktion des Blasrohres als Lötrohr gelegentlich infrage gestellt (Jüngst 1981, 96).

nachzuvollziehen. Weitere Untersuchungen sind daher sehr wünschenswert. Offen gebliebene Fragen, die sich durch Experimente und anschließende Metallanalysen klären ließen, beziehen sich beispielsweise auf das Reaktionslöten mit zugefügtem Silber, insbesondere unter antiken Bedingungen. Auch das Reaktionslöten verschiedener Legierungen und das Auflöten feiner Zierelemente, wie Filigrandrähte oder Granalien unterschiedlicher Anordnung, bedarf weiterer Experimente mit antiker Feuerungstechnik.

7. Verwendete Silberlegierungen

Die optische Betrachtung der im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Schmuckfunde führte bereits zu der Annahme, dass zur Herstellung der latènezeitlichen Objekte hochwertige Silberlegierungen verwendet wurden, eine große Anzahl der provinzialrömischen Schmuckstücke dagegen aus Legierungen mit einem hohen Kupfergehalt angefertigt wurden. Exemplarische Metallanalysen konnten an früh- und mittellatènezeitlichen Grabfunden des Schweizer Mittellandes und des nördlichen Baden-Württemberg sowie an provinzialrömischen Schmuckstücken aus obergermanisch-raetischen Siedlungs- und Depotfunden der frühen Kaiserzeit und späten Limeszeit durchgeführt werden (siehe Tabellen im Anhang). Die spezifischen Probleme, die sich aus der Interpretation zerstörungsfreier Oberflächenanalysen ergeben, wurden bereits in Kapitel 2.3 besprochen und bei den Fallbeispielen mehrfach erörtert. Trotzdem können aus den so gemessenen Legierungszusammensetzungen allgemeine Charakterisierungen und Tendenzen in der Nutzung von Silber abgeleitet werden.

Abgesehen von zwei Ausnahmen wurden für die untersuchten latènezeitlichen Schmuckstücke Silberlegierungen mit einem hohen Feingehalt verwendet. Die gemessenen Silbergehalte liegen zwischen 90 und 99 % (Abb. 53). Dies umfasst sowohl die heute als Sterlingsilber bezeichnete Legierung mit 92,5 % Ag, als auch Zusammensetzungen, die man als Feinsilber bezeichnen kann. Die Analysen der provinzialrömischen Funde dagegen ergaben für diese eine weite Spanne von ca. 42 bis 99 % Ag. Damit bestätigt sich der aus der Sichtanalyse gewonnene Eindruck.

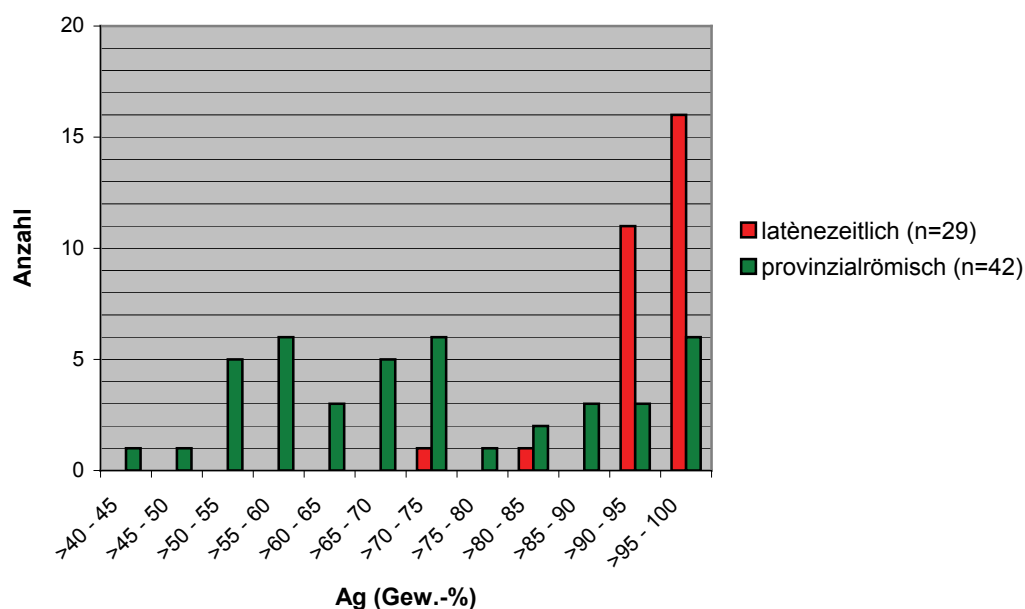


Abb. 53: Feingehalte der verwendeten Silberlegierungen (Mittelwerte der Analysen von Konstruktionsteilen)¹⁵⁶.

¹⁵⁶ Die diesem und den folgenden Diagrammen zugrundeliegenden Analysen der aufgenommenen Objekte sind an zwei Stellen aufgeführt: die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Analysen in den Tabellen im Anhang sowie im Katalog, die publizierten Analysen unter den Katalognummern 11,9-11; 29,1; 33,16-17; 49.

7.1 Latènezeitliche Legierungen

Eine regelhaft intentionelle Nutzung unterschiedlicher Legierungen nach ihren Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften (siehe Kap. 3.2) lässt sich für die früh- und mittellatènezeitlichen Silberlegierungen nicht feststellen. Fast alle untersuchten Schmuckstücke weisen unabhängig von ihrer Herstellung - ob geschmiedet oder gegossen - und unabhängig von ihrem Verwendungszweck - ob ausschließlich als Grabbeigabe oder auch für das Tragen zu Lebzeiten angefertigt - hohe Feingehalte in den Legierungen auf. Wichtig war offensichtlich der Wert des Silberschmucks, der in der Regel aus reich ausgestatteten Gräbern stammt und damit vermutlich einer keltischen Oberschicht vorbehalten war.

Denkbar ist eine Verwendung von Silber, welches entweder primär aus dem verhütteten Erz oder sekundär aus eingeschmolzenem Münzmaterial - in dieser Zeit vor allem griechischen Münzen - stammte. Die Nutzung lokaler Erze konnte bislang nicht nachgewiesen werden (siehe Kap. 3.1). Ein Altmetallrecycling durch das Einschmelzen von Münzen ist jedoch besonders für die Regionen in Betracht zu ziehen, die nicht in der Nähe von potentiell nutzbaren Erzlagerstätten liegen und für die trotzdem mit einer örtlichen Verarbeitung von Silber zu rechnen ist. Dies gilt insbesondere für das Schweizer Mittelland, aus welchem der Großteil der analysierten Schmuckfunde stammt.

Auch wenn lokale Münzprägungen Großgriechenlands vereinzelt eine Verwendung gestreckter Legierungen mit Kupfergehalten von ca. 30 - 40 % aufweisen, soll der Großteil der griechischen Münzen aus Silber mit Feingehalten von über 90 % bestehen (Hammer 1993, 78; Moesta u. Franke 1995, 67 f.). Die aus kupelliertem Silber hergestellten athenischen Silber-Drachmen des 6. bis 3. Jhs. v. Chr. weisen zumeist Gehalte von über 97 % Ag auf (Moesta u. Franke 1995, 68 Tab. 7). Eine Nutzung von Münzen, die über bestehende Kontakte in die Region gelangten, ist im Falle des Schweizer Mittellandes naheliegend, wobei dort insbesondere Massalia-Obole zu den ältesten Fundmünzen aus Silber zählen (siehe Kap. 5.1.1.2.2 Seite 132; Kap. 5.1.1.2.3). Analysen von massaliotischen Münzen (Brenot 1982, 196 f.) zeigen an, dass auch für diese offensichtlich überwiegend Silberlegierungen mit Feingehalten über 90 % Ag verwendet wurden.

Bemerkenswert erscheint in diesem Zusammenhang die Beobachtung, dass die Anzahl der Silberschmuckfunde gerade mit dem Auftreten der ersten griechischen Silbermünzen in Mitteleuropa steigt. Damit scheint eine sekundäre Rohmaterialbeschaffung in der lokalen Silberverarbeitung dieser Zeit durchaus nicht abwegig.

Auch die wenigen Ausnahmen unter den analysierten früh- und mittellatènezeitlichen Schmuckfunden könnten auf eine Nutzung von Münzen zurückzuführen sein. Für den Spiralfingerring aus Grab 181 von Münsingen-Rain (Kat. 22,13) mit einem Kupfergehalt von ca. 19 % wurde entweder eine entsprechende Münze in dieser Zusammensetzung genutzt oder es wurde dem zur Verfügung stehenden Rohmaterial zusätzliches Kupfer hinzugefügt, zur Wertminderung oder aus verarbeitungstechnischen Gründen. Letzteres erscheint angesichts der für diesen Fingerring zur Anwendung gekommenen Drahtherstellung unwahrscheinlich, wäre

hier doch eine duktilere Legierung mit weniger Kupfer von Vorteil gewesen. Für den Bandfingerring aus Grab 31 von Stettlen-Deisswil (Kat. 40,2) mit einem Goldgehalt von fast 6 % wurde entweder Rohmaterial verwendet, welches aus einem silberhaltigen Golderz gewonnen wurde oder aber entsprechend zur Verfügung stehendes Münzmaterial. Da sich das edlere Element Gold beim Wiedereinschmelzen von Altmittel anreichern kann (Laser u. a. 1998, 258), ist vor allem Letzteres naheliegend. Schließlich muss für diese Legierung auch in Betracht gezogen werden, dass ein "verunreinigter" Tiegel benutzt wurde, in dem zuvor Gold geschmolzen wurde. Ähnliches gilt für den Schaukelfingerring aus Worb mit 5 % Au (Kat. 49), für welchen jedoch deutlich mehr Kupfer hinzugefügt wurde.

Unabhängig davon, ob primäre oder sekundäre Rohstoffquellen genutzt wurden, bleibt die Feststellung, dass der Großteil der hier analysierten latènezeitlichen Legierungen auf ein offensichtlich nur mit Kupfer legiertes, durch Kupellation gewonnenes Silber zurückgeht.

Diversen Untersuchungen zufolge verbleiben nach der Kupellation Restgehalte von ca. 0,5 bis max. 2 % Cu (Hughes u. Hall 1979, 332; Laser u. a. 1998, 258; Burkhardt 1994, 66; 2003a, 318), etwa 0,01 bis 1 % Pb (Hughes u. Hall 1979, 334; Stern 1989, 181; Pernicka 1990, 58) und lediglich Spuren von Gold, Zinn und Zink. Demnach ließen sich die verwendeten latènezeitlichen Legierungen auf eine Nutzung von nahezu unverändertem Rohmaterial zurückführen¹⁵⁷. Besonders im Vergleich zu den provincialrömischen Legierungen wird deutlich, dass abgesehen von den oben genannten Ausnahmen lediglich Kupfer hinzugefügt wurde, sicherlich um die Gießbarkeit der Legierung zu verbessern, die jeder weiteren Herstellung vorausgegangen sein musste (Abb. 54).

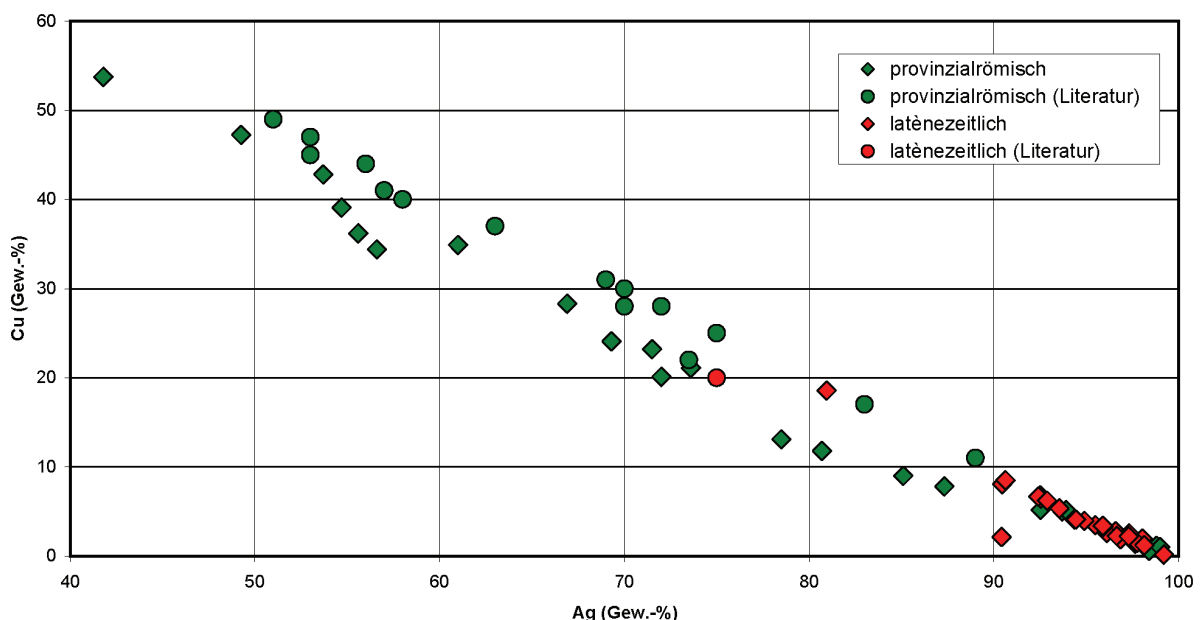


Abb. 54: Silber- und Kupfergehalte der analysierten früh- und mittellatènezeitlichen sowie provincialrömischen Silberfunde.

¹⁵⁷ Die Restgehalte sind dabei nicht nur abhängig von der Durchführung des Kupellationsprozesses, sondern auch von den verwendeten Erzen (siehe Kap. 3.1).

Die in ihrer Grundform als gegossen interpretierten Stücke, wie etwa die Fibel aus Bern-Schosshalde (Kat. 6) oder die Schaukelfingerringe aus den Gräbern 171 und 184 von Münsingen-Rain (Kat. 22,12.16) weisen verhältnismäßig hohe Kupfergehalte auf, die für den Herstellungsprozess durchaus vorteilhaft waren. Demgegenüber konnten - selbst unter Berücksichtigung an Kupfer verarmter Oberflächen - besonders hohe Feingehalte vor allem an den Objekten festgestellt werden, für deren Anfertigung starke Umformungsprozesse notwendig waren. Beispiele dafür sind der reich ziselierte Bandfingerring aus Stettlen-Deisswil (Kat. 40,1) und die Fuchsschwanzkettchen aus dem Kleinaspergle (Kat. 2). Ähnliches trifft auch auf den Fingerring mit vergoldeter Zierplatte aus Oberhofen (Kat. 28,1) zu, der nicht nur eine für die Prägung, sondern auch für die Diffusionsvergoldung geeignete Silberlegierung aufweist. Da jedoch auch eindeutig als geschmiedet anzusprechende Schmuckstücke, wie besonders der Spiralfingerring aus dem Münsinger Grab 181 (Kat. 22,13), mit zusätzlichem Kupfer legiert wurden, kann man keinen zielgerichteten Einsatz bestimmter Legierungen bezüglich ihrer Verarbeitungseigenschaften erkennen. In letztem Fall scheint wohl eher das zur Verfügung stehende Rohmaterial für diese Legierung verantwortlich gewesen zu sein als eine absichtliche Streckung. Festzuhalten bleibt, dass fast alle gemessenen Legierungen gleichermaßen gut zum Gießen und zum Schmieden geeignet waren.

Die wenigen publizierten Analysen von latènezeitlichen Silberschmuckfunden zeigen ebenfalls, dass hochwertige Legierungen verwendet wurden. Das gilt nicht nur für "Sonderobjekte", wie den Trichtinger Silberring mit ca. 95 bis 97 % Ag (Richter 1987, 234), sondern auch für zwei Fingerringe aus frühlatènezeitlichen Gräbern von Pottenbrunn mit etwa 98 bis 99 % Ag (Northover 2002, 257; 262 Tab. 1).

Auch wenn an den Silberschmuckfunden der Spätlatènezeit keine Metallanalysen durchgeführt werden konnten, lässt das optische Erscheinungsbild (Korrosion und Farbe) annehmen, dass für diese weiterhin ebenfalls Silberlegierungen mit hohen Feingehalten verwendet wurden. Erst für diese Zeitstufe ist durch die aufkommende lokale Prägung von Silbermünzen damit zu rechnen, dass das Rohmaterial Silber in stärkerem Maße auch für die Schmuckherstellung zur Verfügung stand. In Betracht zu ziehen ist eine regionale Primärgewinnung aus silberhaltigen Erzen, auf die es bislang jedoch nur vereinzelt Hinweise gibt (siehe Kap. 3.1). Darüber hinaus kommt die Verwendung fremder oder eigener Münzen infrage, die wahrscheinlich auch in der lokalen Münzprägung als Rohmaterial genutzt wurden. Das wird durch das Vorhandensein zerhackter, aber als unbrauchbar deklarerter gefütterter römisch-republikanischer Denare in Manching (vgl. Kellner 1990, 24) sowie einen Klumpen aus zusammengeschmolzenen Büschelquinaren in Altenburg-Jestetten (vgl. Burkhardt 2008, 89 Abb. 14.2) deutlich. Metallanalysen zeigen für die meisten der untersuchten republikanischen Denare Feingehalte von etwa 95 bis 98 % Ag (Hollstein 2000, 115; 157 ff. Tab. 1). Ferner verweisen auch an spätlatènezeitlichen keltischen Münzen durchgeführte Analysen für die aus massivem Metall bestehenden Stücke auf mehrheitlich hochwertige Silberlegierungen (Burkhardt 1994, 118 ff.; 1998, 68, 74 ff.; 2003a, 318; 2003c).

Für die Goldlegierungen, die in der mit den analysierten Fundstücken vergleichbaren Schmuckherstellung der Früh- und Mittellatènezeit verwendet wurden, liegen Untersuchungen vor, die einen tendenziell zunehmenden Goldgehalt ergaben (Waldhauser 1998, 96 ff.). Während Goldfingerringe aus dem Gebiet zwischen der Schweiz und Böhmen zu Beginn der Latènezeit einen Feingehalt von ca. 84 bis 87 % Au aufweisen, welcher in der späten Frühlatènezeit nur noch 74 bis 77 % Au beträgt, ist eine Zunahme auf 90 % Au und mehr für die Mittellatènezeit zu beobachten (ebd. 103 mit Tab. 11).

J. Waldhauser (1998, 103) zieht als mögliche Ursachen für den absinkenden Feingoldgehalt während der Frühlatènezeit eine Einschränkung der Goldgewinnung, einen Ortswechsel bei der Goldgewinnung sowie Änderungen in den Abbaumethoden und der Legierungstechnologie in Betracht¹⁵⁸.

Das Auftreten der erhöhten Feingehalte im Goldschmuck der Mittellatènezeit fällt dagegen in dieselbe Zeit, in welcher erste keltische Münzen in Umlauf kamen. Diese ältesten Goldprägungen zeichnen sich durch höchste Feingehalte aus, die auch für die hellenistischen Münzen charakteristisch sind, weshalb der zunehmende Feingehalt des Goldschmucks mit dem Umschmelzen von Münzen in Verbindung gebracht wird (Waldhauser 1998, 107).

Während also beim Goldschmuck Änderungen im Feingehalt festzustellen sind, die sich auf wechselnde Rohmaterialquellen oder eine schwankende Rohmaterialverfügbarkeit zurückführen lassen, scheint sich für die Beschaffung des Rohstoffes Silber keine wesentliche Veränderung innerhalb desselben Zeitraumes abzuzeichnen. Eine Erklärung dafür ist wohl am ehesten in der unterschiedlichen primären und sekundären Rohmaterialgewinnung dieser beiden Metalle zu suchen.

Während für die Edelmetalllegierungen vorwiegend Münzen als Rohmaterialquelle in Betracht zu ziehen sind, weisen Untersuchungen zu den in der vorrömischen Eisenzeit verwendeten Kupferlegierungen darauf hin, dass in der Buntmetallverarbeitung, spätestens ab der Spätlatènezeit, gezielt "standardisierte" Legierungen hergestellt wurden, für die "unvermisches Metall" erforderlich war (Lutz u. Schwab 2008). Diese scheinen in Bezug auf die unterschiedlichen zur Anwendung gekommenen Verarbeitungstechniken nach den spezifischen Eigenschaften von Guss- und Schmiedelegierungen eingesetzt worden zu sein.

Aus dem bisher Gesagten lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass der Umgang mit unterschiedlichen Legierungen durchaus in der Latènezeit bekannt gewesen sein muss, die Silberlegierungen jedoch vorwiegend nach ihrer Verfügbarkeit und hinsichtlich ihres Materialwertes eingesetzt wurden und nicht nach ihren spezifischen Verarbeitungseigenschaften.

¹⁵⁸ Der in den Goldlegierungen messbare Kupfergehalt ist häufig höher als in Berg- und Flussgold. Deshalb muss Kupfer bereits ab 0,5 % zugesetzt worden sein. Während Flussgold üblicherweise einen Silbergehalt von unter 4 % Ag aufweist, soll Berggold etwa einen Gehalt von 4 - 16 % Ag zeigen (Lehrberger u. a. 1997, 260). Auffällig sind daher die mit ca. 18 - 30 % hohen Silbergehalte frühlatènezeitlicher Goldlegierungen, die nicht in natürlichen Gold-Silber-Legierungen vorkommen.

7.2 Provinzialrömische Legierungen

Das für die Latènezeit gezeichnete Bild, welches sich allerdings nur auf eine geringe Datenmenge stützen kann, ändert sich für die folgenden Jahrhunderte. Für die provinzialrömischen Schmuckobjekte ist eine Verwendung von Silberlegierungen mit niedrigerem Silbergehalt nicht mehr als außergewöhnlich zu bezeichnen. Eine größere Anzahl der untersuchten Funde weist nunmehr Legierungen mit Feingehalten unter 90 % Ag auf (siehe Abb. 53 und 54).

Dieser Eindruck wird durch weitere publizierte Analysen von vergleichbaren provinzialrömischen Silberschmuckfunden bestätigt (Tab. 15).

Objekt	Silberlegierung	Literatur
Halsringe, Fibeln, Kette und Zierscheibe des 1. Jhs. n. Chr. aus Bonn (Nordrhein-Westfalen, D)	Silber mit einem Kupferanteil unter 5 % (ED-XRF)	Martin-Kilcher u. a. 2008, 103
Finger- und Armringe des 2. Jhs. n. Chr. aus Snettisham (Norfolk, GB)	ca. 63 bis 97 % Ag (ED-XRF, EDX)	Pike u. Cowell 1997, 52 ff. bes. Tab. 1 und 5
Fingerringe, Ohrringe und Anhänger des 2. bis 4. Jhs. n. Chr. aus Augst und Kaiseraugst (Kt. Baselland, CH)	ca. 77/84 bis ca. 97 % Ag ¹⁵⁹ (ED-XRF)	Stern 1990, 20 Tab. 6; Riha 1990, 12 Tab. 2
Lunula-Anhänger und Kette des 2./3. Jhs. n. Chr. aus Rainau-Buch (Baden-Württemberg, D)	68 % Ag (Spektralanalyse, nasschemische Analyse)	Raub 1981
Schlangenkopfarmring des 3. Jhs. n. Chr. aus Waiblingen (Baden-Württemberg, D)	ca. 50 - 60 % Ag (Methode nicht angegeben)	Luik u. Schach-Döriges 1993, 353 Fußnote 26
Zierscheiben "Typ Hettingen" des 2. bis 3. Jhs. n. Chr. aus obergermanisch-raetischen Fundkomplexen (Baden-Württemberg und Bayern, D)	ca. 30 - 98 % Ag (ED-XRF)	Luik u. Blumer 2008, 149 Abb. 3 sowie 167-181

Tab. 15: Publizierte Angaben zu den verwendeten Silberlegierungen provinzialrömischer Schmuckobjekte.

Spätestens ab dem 2. Jh. n. Chr. wurden demnach auch Legierungen mit einem deutlich geringeren Feingehalt verwendet, wobei die Frage bleibt, ob dies auf eine zielgerichtete Zugabe anderer Elemente oder auf das Einschmelzen zur Verfügung stehender Rohmaterialien zurückzuführen ist. Dass die Raffination von Altmetall zur Gewinnung reinen Silbers in dieser Zeit bekannt gewesen sein muss, belegen Funde, die auf ein Altmetallrecycling rückschließen lassen (siehe Kap. 3.1; 6.2).

¹⁵⁹ Die von W. B. Stern (1990) durchgeführten Analysen zeigen viele Objekte mit außergewöhnlich hohen Zinngehalten (bis 12,5 %), die nach seiner eigenen Aussage (ebd. 19) vor allem auf Probleme des Analysegerätes zurückzuführen sind. Die Ergebnisse wurden daher zwar als qualitativ angesprochen, dennoch mit Prozentzahlen versehen. Dazu kommen Differenzen zwischen den in seiner Tabelle aufgelisteten und den bei E. Riha (1990, 12 f.) zu findenden Angaben. Für die hier erörterte Thematik bleibt dennoch die Aussage, dass auch in Augst Legierungen mit deutlich unterschiedlichen Feingehalten verwendet wurden und die Untergrenze des Silbergehalts niedriger als 84 % Ag ist.

Im Falle der für die Herstellung der analysierten Objekte aus Sulz (Kat. 41,1.3) sowie der Omegafibel und der Fingerringe aus Rembrechts (Kat. 33,3.8.9) verwendeten Silberlegierungen mit hohen Feingehalten ist von einem Rohmaterial auszugehen, welches über eine Kupellation gewonnen wurde und welchem - zumindest zur Anfertigung der Omegafibel - lediglich Kupfer hinzugefügt wurde. Ob dafür Altsilber recycelt wurde oder ob das Rohmaterial aus einem primär gewonnenen Silber bestand, lässt sich daraus freilich nicht ableiten.

Abgesehen von Silber ist nur Kupfer Hauptbestandteil der Legierungen. Die auffällige Korrelation von Kupfer und Silber in Abb. 54 zeigt, dass alle übrigen Bestandteile nur in geringer Menge vorhanden sind. Im Folgenden soll versucht werden, ob aus diesen Nebenbestandteilen - vor allem Blei, Zink und Zinn - weitere Aussagen gewonnen werden können.

Wie in Kapitel 7.1 erwähnt, kann man bei Bleianteilen bis ca. 1 % von einem Bleirestgehalt aus dem Kupellationsverfahren ausgehen. Abb. 55 zeigt besonders für die provinzialrömischen Funde eine weite Streuung der Bleigehalte, wobei einige Werte zwar über 1 % liegen, aber vermutlich auch noch in den Bereich des "Kupellationsbleis" fallen. Dennoch bleibt bemerkenswert, dass ein großer Teil der provinzialrömischen Stücke deutlich höhere Bleigehalte aufweist als die meisten der latènezeitlichen Objekte. Möglicherweise kann dies auf die Anwendung eines Rückgewinnungsverfahrens zurückgeführt werden, bei welchem die höheren Restgehalte nicht ausreichend entfernt wurden.

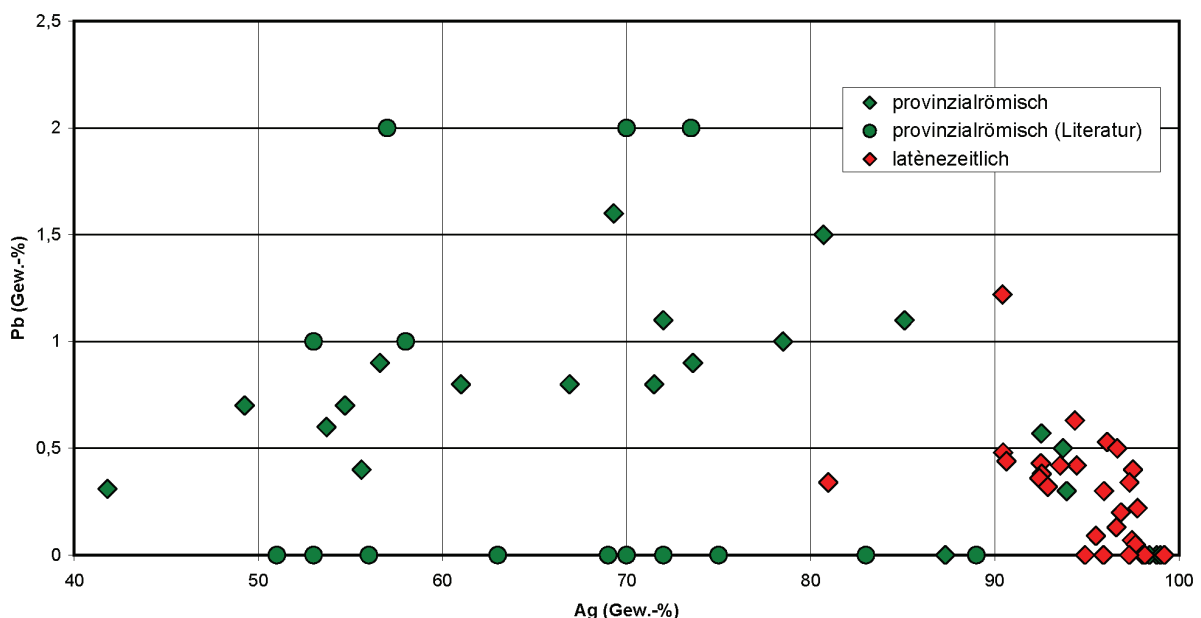


Abb. 55: Silber- und Bleigehalte der analysierten früh- und mittellatènezeitlichen sowie provinzialrömischen Silberfunde.

Die Diagramme der Abb. 56 und 57 zeigen, dass auch die Zink- und Zinn-Gehalte in den provinzialrömischen Legierungen wesentlich stärker streuen und vor allem oft erheblich höher

sind als in den latènezeitlichen. Die Elemente Zink und Blei können mindestens ab ca. 5 % sowie Zinn ab ca. 1 % als Hinweise auf eine bewusste Legierungsherstellung gelten (vgl. Hauptmann 2008, 136 f.).

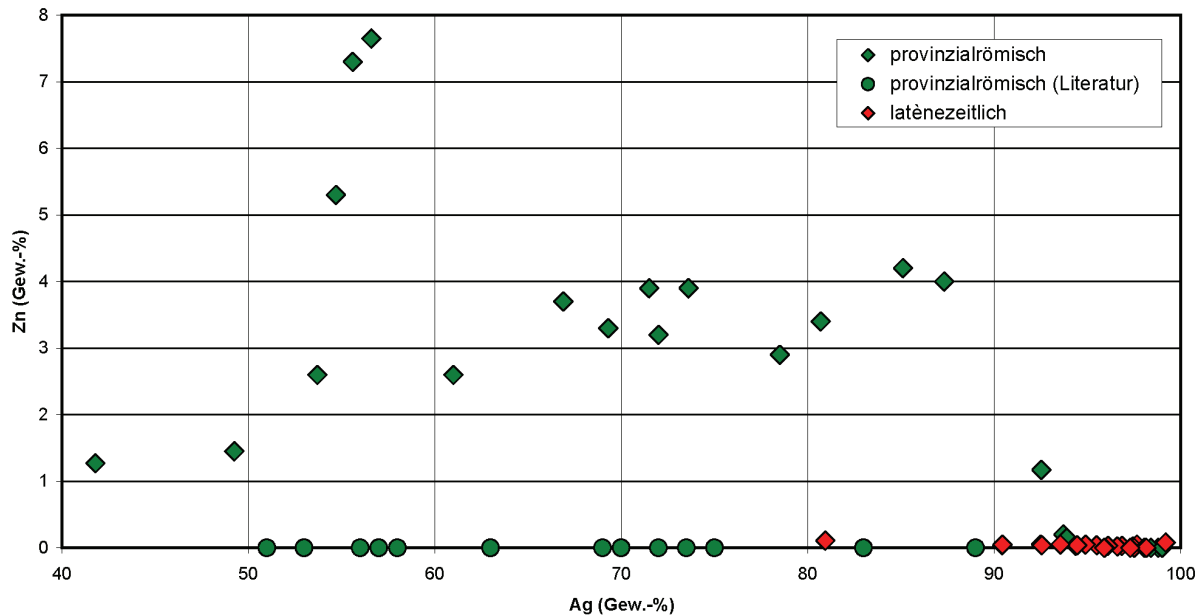


Abb. 56: Silber- und Zinkgehalte der analysierten früh- und mittellatènezeitlichen (ohne Analysen MAH Genf und die publizierte Analyse des Fingerrings aus Worb)¹⁶⁰ sowie provinzialrömischen Silberfunde.

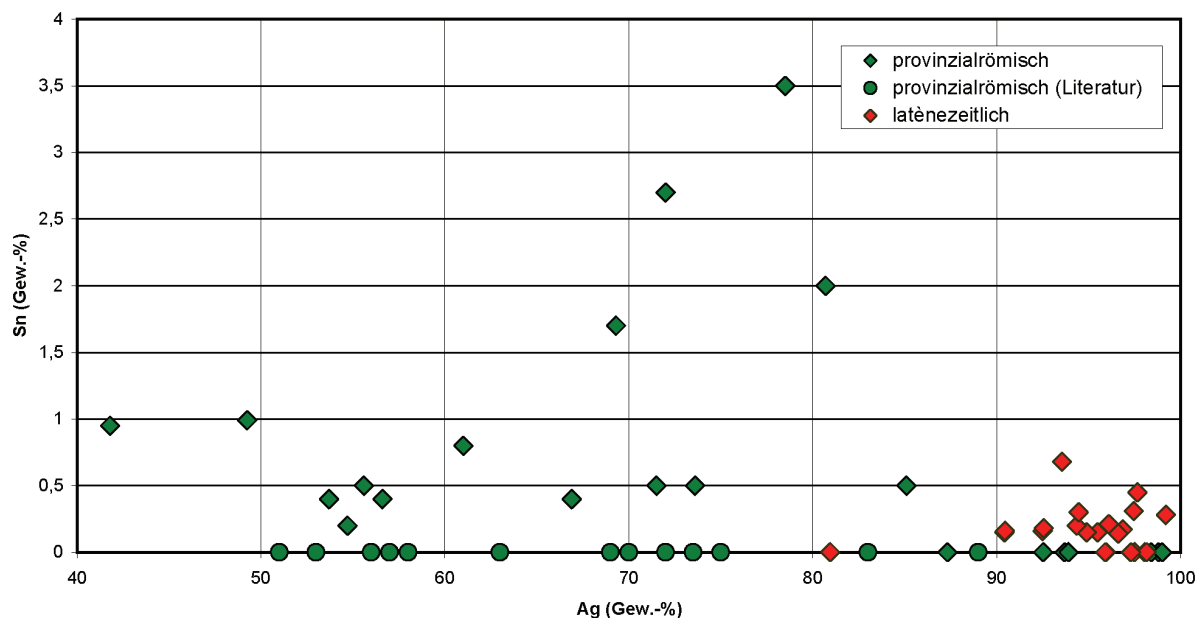


Abb. 57: Silber- und Zinngehalte der analysierten früh- und mittellatènezeitlichen (ohne Analysen MAH Genf und die publizierte Analyse des Fingerrings aus Worb) sowie provinzialrömischen Silberfunde.

¹⁶⁰ Quantitative Messungen von Zink und Zinn waren an den Fingerringen aus Oberhofen nicht möglich. Deshalb sind keine Messwerte für diese Ringe in Abb. 56 und 57 enthalten.

Vermutlich sind die höheren Gehalte von Zink und Zinn als Anzeiger für die Verwendung von eingeschmolzenem Altmetall zu betrachten. Auffällig ist das besonders an den Legierungen mit niedrigerem Feingehalt zu beobachtende Zink, welches den Argumenten diverser Autoren (Mortimer 1986, 240 f.; Pike u. Cowell 1997, 54 ff.) zufolge auf die Zugabe von Messing zurückgeführt werden kann.

Da eine Oberflächenanalyse gerade bei Legierungen mit Zink als problematisch anzusehen ist und der tatsächliche Zinkgehalt höher gewesen sein könnte als an der Oberfläche gemessen (Mortimer 1986, 238), können nicht nur die Legierungen mit ca. 5 bis 7 % Zn, sondern möglicherweise auch die mit niedrigeren Anteilen auf eine Zugabe dieses Elements zurückgeführt werden¹⁶¹.

An römischen Sesterzen gemessene Messing-Legierungen (siehe Riederer 1994, 250) verweisen auf Zinkgehalte, die von ca. 25 % in augusteischer Zeit auf ca. 10 % bis zur Mitte des 2. Jhs. n. Chr. abgesunken sind. Besonders ab dieser Zeit scheint auch verstärkt Zinn (0,5 bis 2,0 % Sn im Messing) zugefügt worden zu sein, die gemessenen Zinkgehalte sinken gleichzeitig bis Ende dieses Jahrhunderts auf ca. 3 %.

Aber auch andere Objekte aus Messing, wie etwa diverse Fibelhalbfabrikate aus Augst oder Gefäße und Statuetten aus dem Depotfund von Weißenburg, weisen entweder Kupfer mit etwa 11 bis 23 % Zn oder Kupfer mit etwa 5 bis 18 % Zn und 2 bis 6 % Sn auf (siehe Analysen bei Furger u. Riederer 1995, 163 f.; Bachmann 1993c).

Möglicherweise sind auch die mit ca. 1,7 bis 3,5 % an den vier Armringen aus Wilsingen (Kat. 48) gemessenen hohen Zinngehalte auf die zugefügte Kupferlegierung zurückzuführen, wie es an anderer Stelle für römische Silbermünzen der ersten Hälfte des 3. Jhs. mit ca. 1 - 2 % Sn postuliert wird (von Kaenel u. a. 1993, 116; 226 ff.). Bei den Legierungen der Armringe aus Wilsingen handelt es sich vermutlich wieder um hinzugefügtes Messing, wobei der Zinngehalt jedoch von den Legierungen der übrigen Funde abweicht¹⁶². Auffällig scheinen auch die gerade an diesen Armringen feststellbaren höheren Restbleiergehalte mit über 1 % Pb. Die Zusammensetzungen verweisen auf eine für die vier Armringe zur Anwendung gekommene vergleichbare Rohmaterialgewinnung und Legierungsherstellung, weitergehende Aussagen sind anhand der Oberflächenanalysen nicht zulässig.

Auch in den Silberlegierungen anderer Schmuckfunde konnten erhöhte Zink- und Zinngehalte festgestellt werden. So wurde beispielsweise in Drahtresten der Fuchsschwanzkette aus Rainau-Buch 23 % Cu, 4 % Zn und 1,5 % Sn gemessen (siehe Analyse Raub 1981, 530).

¹⁶¹ Der von C. Mortimer (1986, 239 Tab. 2) exemplarisch an vier britannischen Fingerringen durchgeführte Vergleich von den an der Oberfläche gemessenen (ED-XRF) mit den aus einer entnommenen Probe gewonnenen Daten (Mikrosonde) zeigte tendenziell höhere Kupfer- und Zinkgehalte im Inneren der Silberlegierungen an. Ursachen für die unterschiedliche Zusammensetzung von Oberfläche und Innenbereich des Werkstücks können sowohl Oberflächenanreicherungen sein als auch eine Segregation, d. h. eine heterogene Abscheidung einzelner Elemente beim Abkühlen der Schmelze.

¹⁶² Ferner könnte Zinn nicht nur über das Einschmelzen verzinneter Buntmetallobjekte, sondern auch über das zur Raffination verwendete Blei mit in die Legierung gelangt sein, wenn durch Zinnlot verunreinigtes Blei zur Kupellation verwendet wurde (Rehren u. Hauptmann 1995, 135; siehe Kap. 6.2).

Chr. J. Raub führt diese Zusammensetzung auf ein mit Messing legiertes Silber zurück. Eine von ihm aufgestellte Hochrechnung ergab für die Vorlegierung ein Messing mit 80 % Cu, 14 % Zn und 5 % Sn, wohl davon ausgehend, dass dieses mit einem Feinsilber und nicht mit einer bereits bestehenden Silber-Kupfer-Legierung geschmolzen worden ist.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei der Untersuchung der Schmuckfunde aus Snettisham erzielt. Vor allem bei den Silberlegierungen mit höheren Kupfergehalten wurde in einigen Fällen bis zu 3,4 % Zn gemessen (Pike u. Cowell 1997, 52 Tab. 1). Die von den Autoren beobachtete lineare Korrelation zwischen den Kupfer- und Zinkgehalten (ebd. 55 mit Abb. 14) führt sie zu der Vermutung, dass die beiden Elemente in einem relativ gleichmäßigen Verhältnis hinzugefügt worden seien und man deshalb von einem zu einer Silber-Kupferlegierung zugefügten Messing mit einem Zinkgehalt von etwa 12 % ausgehen könne. Die zusammen mit den Schmuckfunden niedergelegten Barren weisen dagegen lediglich hohe Kupfergehalte von etwa 10 bis 35 % auf, ohne dass Zink als gezielte Zugabe erkennbar ist (ebd. 52 f. Tab. 1 - 2)¹⁶³. Darüber, ob diese mit Silber oder Messing weiterlegiert werden sollten oder gar als Lot gedient haben könnten (ebd. 56 f.), lässt sich meines Erachtens nur spekulieren. Dass jedoch auch hochwertiges Rohmaterial zur Verfügung stand, zeigen nicht nur die Münzen dieses Depotfundes, die aus einem hochwertigen Silber bestehen sollen (ebd. 55), sondern auch die wohl ebenfalls als Altmetall anzusprechenden Blech- und Drahtbruchstücke, die Feingehalte von über 95 % Ag aufweisen (ebd. 57). Insgesamt verweisen die Analysen der als Rohmaterial zu interpretierenden Funde von Snettisham darauf, dass vorwiegend Altmetall verwendet wurde.

Ob sich das wohl auch für die hier analysierten Fallbeispiele verwendete Messing auf eine Zugabe zu kupelliertem oder bereits mit Kupfer legiertem Silber zurückführen lässt bzw. ob zur Verfügung stehende Münzen dieser Zusammensetzungen eingeschmolzen oder die reinen Metalle verwendet wurden, lässt sich aus den Analysen nicht ableiten. Die Streuung der Werte deutet allerdings darauf hin, dass gerade zur Verfügung stehendes Ausgangsmaterial als Vorlegierung verwendet wurde. Zu bemerken bleibt jedoch, dass Zink möglicherweise durchaus zielgerichtet hinzugefügt wurde, da geringe Zinkzusätze nicht nur die Gießeigenschaften (Wolters 1992, 93; Brepohl 2000, 29), sondern auch die mechanische Bildsamkeit und Belastbarkeit (Brepohl 2000, 54; Untracht 2008, 281) von Edelmetalllegierungen verbessern können. Möglicherweise war deshalb die Zugabe von Messing hinsichtlich der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften von Silberlegierungen mit niedrigem Feingehalt durchaus vorteilhafter als das reine Kupfer.

In den Legierungen der Silbermünzen des 2. Jhs. und der ersten Hälfte des 3. Jhs. ist Zink dagegen offensichtlich nicht oder nur in Spuren festgestellt worden (von Kaenel u. a. 1993, 116; 226 ff.; Riederer 1994, 249; Bachmann u. Hammer 2003, 111). Damit scheint ein intentionell zugegebenes Messing zu raffiniertem Silber oder zu eingeschmolzenen

¹⁶³ Die Analysen der Barren wurden sowohl mit ED-XRF als auch mit AAS an entnommenen Proben durchgeführt.

Silbermünzen als die wahrscheinlichste Variante zur Gewinnung des Ausgangsmaterials für die Herstellung von Silberschmuck mit niedrigeren Feingehalten und erhöhten Zinkgehalten (so auch Pike u. Cowell 1997, 56 für die Schmuckobjekte aus Snettisham).

Abgesehen von den unterschiedlichen verwendeten Rohmaterialquellen, kann man nun - anders als in der Latènezeit - für einige der hier untersuchten provinzialrömischen Funde auch eine gezielte Herstellung verschiedener Legierungen zur Beeinflussung ihrer Fertigungseigenschaften annehmen.

Nur wenige Schmuckstücke, wie der Fingerring und die eingelegten Silberdrähte des Armringes aus Sulz (Kat. 41,1.3) sowie die beiden verzierten Fingerringe aus Rembrechts (Kat. 33,8.9) wurden aus einem Silber angefertigt, das sehr wenig oder kein zugesetztes Kupfer enthält. Für die an diesen zur Anwendung gekommenen formgebenden Verfahren und thermischen Verbindungstechniken war eine solche Legierung sicher von Vorteil. Sowohl der Fingerring als auch der Armring aus Sulz lassen sich anhand formkundlicher Vergleiche in das 1. Jh. n. Chr. datieren, alle anderen analysierten Fundstücke wurden wohl erst im späten 2. bis beginnenden 3. Jh. n. Chr. hergestellt. Unter Letzteren weisen lediglich die beiden Fingerringe und die Omegafibeln aus Rembrechts hochwertige Legierungen auf, wobei die Einzelteile der Omegafibeln (Kat. 33,3) mit einer einheitlichen, nahezu für alle Techniken einsetzbaren Silberlegierung mit einem Feingehalt von etwa 93 % angefertigt wurden. Auch für das zur Herstellung der Armringe aus Rembrechts (Kat. 33,1.2) und Wilsingen (Kat. 48) angewandte Gussverfahren waren die verwendeten Legierungen mit unterschiedlichen Feingehalten von ca. 69 bis 87 % Ag (sowie Zinkgehalten von ca. 3 - 4 %) durchaus vorteilhaft. Ähnliches ist auch für die Zierscheiben aus Hettingen (Kat. 11,9-11), Regensburg (Kat. 29,1) und Rembrechts (Kat. 33,16.17) vorstellbar, obwohl hier nicht nur ein Gussverfahren angewandt wurde, sondern auch das Schmieden und vereinzelt auch das Punzieren und Ziselieren, wofür solche Legierungen nicht optimal wären. Bemerkenswert ist, dass die Einzelbestandteile der hier untersuchten Zierscheiben - trotz ihrer zumeist niedrigen Silbergehalte - aus "reinen" Silber-Kupfer-Legierungen angefertigt wurden. Auch die übrigen im Rahmen der Studie von M. Luik u. R.-D. Blumer (2008, 167 ff.) analysierten Zierscheiben zeigen in keinem Fall Zink- oder Zinngehalte. Die vereinzelt mit bis zu 2,0 % gemessenen Bleigehalte verweisen hier vermutlich vielmehr auf die Anwendung eines Rückgewinnungsverfahrens. Hin und wieder erwecken die genutzten Legierungen den Eindruck, dass zur Herstellung der geschmiedeten Konstruktionsteile bildsamere Legierungen verwendet wurden als zum Gießen der Grundscheiben (z. B. Kat. 11,9-10; Luik u. Blumer 2008, 167 Kat.-Nr. 1; 169 Kat.-Nr. 3; 177 Kat.-Nr. 13; 181 Kat.-Nr. 20). Da dies allerdings in anderen Fällen nicht erkennbar ist (z. B. Kat. 11,11; 33,16; Luik u. Blumer 2008, 175 Kat.-Nr. 11; 178 Kat.-Nr. 15) und damit keine regelhaft spezifischen Legierungszusammensetzungen zur Anfertigung der verschiedenen Einzelbestandteile feststellbar sind, stammte das Rohmaterial vermutlich aus eingeschmolzenem Altmetall und wurde nicht gezielt zur Beeinflussung der Verarbeitungseigenschaften hergestellt. Lediglich für den Einsatz

komplizierter Löttechniken zum Befestigen feiner Zierelemente wurden offensichtlich bewusst hochwertige Legierungen verwendet, wie dies an der Grundplatte der Zierscheibe aus Bregenz der Fall ist (vgl. Luik u. Blumer 2008, 167 f. Kat.-Nr. 2). Dagegen scheinen auch die Legierungen der Lunula-Anhänger aus Rottenburg (Kat. 35,1) und Rembrechts (Kat. 33,4.6) sowie der Fuchsschwanzkette aus Rembrechts (Kat. 33,12) nicht primär zur Erzielung bestimmter Verarbeitungseigenschaften hergestellt worden zu sein, da für die hier angewandten plastischen Bearbeitungstechniken Legierungen mit einem höheren Feingehalt zweckmäßiger gewesen wären. Die erhöhten Kupfergehalte und die an den Lunula-Anhängern und der Kette feststellbaren Zinkgehalte können jedoch auf eine Verbesserung der Gebrauchseigenschaften gezielt haben.

Für die wohl im 2. Jh. n. Chr. hergestellten Schmuckfunde aus dem Depotfund von Snettisham, der aufgrund seiner Geschlossenheit die besten Voraussetzungen für eine solche Untersuchung bot, wurde ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der verwendeten Silberlegierungen und der jeweils angewandten Herstellungstechnik festgestellt (Pike u. Cowell 1997, 58 ff.). Während besonders für die geschmiedeten und gelöteten Drahringe Legierungen mit hohem Feingehalt genutzt worden sind, wurden für die wohl in ihrer Grundform im Guss angefertigten Fingerringe vorwiegend Silberlegierungen mit höheren Kupfer-, aber auch Zinkgehalten verwendet.

Eine gezielte Herstellung und Auswahl von Legierungen entsprechend ihrer Verarbeitung und ihrer Funktion konnte besonders auch innerhalb der provinzialrömischen Buntmetallverarbeitung festgestellt werden (Furger u. Riederer 1995; Hammer u. a. 1998). Die Vielzahl und die Zusammensetzung der Kupferlegierungen führte dabei zu der Annahme, dass ein Großteil der Legierungen durch das Einschmelzen von Altmetall hergestellt worden ist (Furger u. Riederer 1995, 165). Ein Altmetallrecycling wird darüber hinaus auch durch das Auftreten von Münzen und Blechresten, die zur Wiederverwertung genutzt wurden, unterstützt (ebd. 136).

Aus den Analysen von Silberschmuckfunden, sowohl der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten als auch der publizierten, können zwar keine regelhaft zielgerichtet verwendeten Legierungen abgeleitet werden, wie sie in der Buntmetallverarbeitung zu erkennen sind (Hammer u. a. 1998). Diese waren aber auch nicht in vergleichbarem Maße notwendig, handelt es sich doch in den meisten Fällen um reine Schmuckstücke und nicht um funktionale Bestandteile wie dies etwa bei Fibeln aus Buntmetall der Fall ist. Dennoch scheinen auch für die Silberverarbeitung Zusammenhänge zwischen den Legierungen und ihren spezifischen Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften zu bestehen.

Die publizierten Analysen von vergleichbaren Goldfunden des 2. bis 3. Jhs. n. Chr. vermitteln den Eindruck, dass im Gegensatz zu den Silberfunden üblicherweise nur Silber und Kupfer hinzugefügt wurde, aber wohl kaum Kupferlegierungen mit anderen Elementen

(Stern 1990, 20 Tab. 6¹⁶⁴; Voûte 1991, 165 f. Kat.-Nr. 260 - 274; Bachmann 1993c, 151 Tab. 8; Pike u. Cowell 1997, 53 Tab. 3 - 4¹⁶⁵; 58 f.; Voûte u. a. 2008, 321). Die verwendeten Goldlegierungen scheinen damit sorgfältig ausgewählt worden zu sein, sowohl hinsichtlich ihres Materialwertes als auch ihrer Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften.

Vergleicht man nun die Schmuckfunde mit anderen Objekten aus Silber, fällt auf, dass besonders für das römische Tafelsilber fast ausnahmslos hochwertige Silberlegierungen verwendet wurden. Nicht nur das Silbergeschirr der frühen Kaiserzeit, sondern auch des 2. und 3. Jhs. n. Chr. sowie der Spätantike wurde vorwiegend aus Silberlegierungen mit über 95 % Ag angefertigt (vgl. Lang u. a. 1984; Hughes u. a. 1989, 22; Lang 1997, 154 f.; Niemeyer 2007, 123 ff.). Bemerkenswert erscheint hier jedoch, dass einzelne Bestandteile, wie etwa die im Gussverfahren hergestellten Henkel, durchaus auch aus geringerwertigen Silberlegierungen mit etwa 80 - 90 % Ag (Niemeyer 2007, 123 ff.), in einem Fall sogar mit nur etwa 60 % Ag (Lang 1997, 155), angefertigt worden sind. Folglich könnte man damit argumentieren, dass für die Gefäßherstellung - angesichts der zugrundeliegenden Treibarbeiten - gezielt mechanisch gut formbare Legierungen eingesetzt wurden. Diese Legierungen waren aber für die Festigkeit und damit auch die Belastbarkeit nicht von Vorteil. Die Gebrauchseigenschaften scheinen hier jedenfalls nicht im Vordergrund gestanden zu haben, sondern viel mehr der Repräsentationscharakter und der Materialwert.

Anders sieht es bei möglicherweise in Serien hergestellten Votivblechen aus, wie beispielsweise aus dem Depotfund der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. von Weißenburg in Bayern. Deren Analysen (Bachmann 1993c, 151 Tab. 10) weisen vergleichbar mit dem ebenfalls in größeren Stückzahlen angefertigten Silberschmuck niedrigere Feingehalte und wohl durch Altmittel in die Legierung eingebrachtes Zink auf.

Zusammenfassend kann für die provinzialrömischen Silberschmuckfunde festgestellt werden, dass sie in stärkerem Maße als zuvor eine große Bandbreite an möglichen Legierungen aufweisen. Für die silberärmeren Legierungen wurde entweder hochwertigem Silber Kupfer oder Messing zugefügt, welches als Rohmaterial den Feinschmieden aus der Bronze- oder Messingherstellung zur Verfügung stand, oder es wurden Silbermünzen mit bereits geringerem Silbergehalt eingeschmolzen. Das während der Kaiserzeit zur Verfügung stehende Rohmaterial war vermutlich größtenteils Altmittel, welches nicht immer aus hochwertigen

¹⁶⁴ Nur an den Schmuckfunden aus Augst und Kaiseraugst wurde vereinzelt auch ein höherer Gehalt von Zinn (ca. 1 bis 4 %) gemessen, wobei unklar bleibt, ob dieser wieder auf eine Messproblematik zurückzuführen ist (siehe oben Fußnote 159)

¹⁶⁵ Als Begründung für das Fehlen von Zink in den Goldlegierungen der als Altmittel zu wertenden Blech- und Drahtreste aus Snettisham führen die Autoren die Ähnlichkeit zu Goldfunden der späten vorrömischen Eisenzeit auf, worin sie eine Verwendung von Altgold dieser Zeit zu erkennen glauben. Da jedoch auch anderen Analysen von römischem Gold keine Legierungen mit Zink oder Zinn zu entnehmen sind, scheint dies wenig überzeugend. Vielmehr wird das Material Gold im Vergleich zu Silber, wie bereits oben in Kap. 7.1 aufgeführt, auf eine andere Rohmaterialgewinnung zurückzuführen zu sein. Sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit wurde offensichtlich viel Wert darauf gelegt, dass die Goldlegierungen möglichst nicht durch andere Bestandteile "verunreinigt" wurden. Dies setzt voraus, dass das reine Metall Kupfer in der Legierungsherstellung verwendet wurde und nicht Bronze oder Messing.

Silberlegierungen bestand. Weiteres Kupfer oder Messing wurde zugefügt, falls die Menge oder die Kaufkraft für Silber mit hohem Feingehalt nicht ausreichte. Wichtig war vor allem die optische Wirkung und die Verfügbarkeit auch für breitere Bevölkerungsschichten. Silberreichere Legierungen wurden vermutlich nur für die Herstellung der exzeptionellen und wertvollen Stücke verwendet, wie etwa die Omegafibeln und die Fingerringe aus Rembrechts. Für Modestücke, wie die Lunula-Anhänger, oder für Stücke mit großer benötigter Materialmenge, wie die Armringe vom Typ Wiggensbach, lohnte sich der Einsatz von hochwertigem Silber nicht. Dass jedoch auch kupelliertes Silber verwendet wurde, scheint nicht nur durch die Funde von Kupellen belegt zu sein (siehe Kap. 6.2), sondern auch durch die zur Herstellung einzelner Schmuckstücke verwendeten Silberlegierungen mit höheren Feingehalten (vgl. Abb. 53).

Dazu muss noch der zeitliche Aspekt hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Silberlegierungen diskutiert werden. Analysen römischer Denare weisen einen nahezu stetig absinkenden Silbergehalt vom 1. bis 3. Jh. n. Chr. auf (Pense 1992, 216 Abb. 1; Hammer 1993, 79). Besonders stark war die Verringerung des Feingehaltes ab dem späten 2. Jh., welche auf Krisen im Römischen Reich zurückgeführt wird (Bachmann u. Hammer 2003, 116 f.; vgl. auch Heising 2008, 214 f. bes. Abb. 45b). Für die Verwendung von Legierungen mit geringerem Silbergehalt werden deshalb ein Mangel an Silber und damit verbunden Sparbemühungen bei der Silberverarbeitung verantwortlich sein.

Da der Feingehalt der Silbermünzen staatlich reguliert wurde, müssen die Münzlegierungen weitgehend aus reinen Metallen hergestellt worden sein. Für die Nutzung von Altmetall in der Prägung von Silbermünzen musste dieses also raffiniert werden, bevor der Feingehalt durch Zugabe von Kupfer wieder herabgesetzt werden konnte.

Die Herstellung von Silberschmuck war dagegen an keine staatlichen Kontrollen gebunden, die Verwendung des Materials aber abhängig von der Verfügbarkeit des Silbers. Die Tatsache, dass in einigen Silberlegierungen der Schmuckobjekte ein hoher Zinkgehalt festzustellen ist, unterstreicht eine gemeinsame Verarbeitung von Silber und Buntmetall. Darüber hinaus haben auch die Vermögensverhältnisse des Auftraggebers einen Einfluss auf die Wahl der Silberlegierung. Zum einen könnte einem immer breiteren Abnehmerkreis das Tragen von Silber - das optische Erscheinungsbild ist auch bei minderwertigen Legierungen noch silbern - ermöglicht worden sein, zum anderen könnte dies die wirtschaftliche Situation der Auftraggeber widerspiegeln, die sich in Krisenzeiten verschlechtert haben dürfte. Besonders eindrücklich erscheint in diesem Zusammenhang das Beispiel der Zierscheiben vom Typ Hettingen, für deren Anfertigung im späteren 2. bzw. beginnenden 3. Jh. n. Chr. ganz offensichtlich gerade zur Verfügung stehendes Altmetall genutzt wurde. Dafür spricht die Uneinheitlichkeit der Legierungen, wobei weder die gemeinsam deponierten noch die aufgrund technischer und stilistischer Gemeinsamkeiten wohl auch in einer Werkstatt gemeinsam entstandenen Scheiben, geschweige denn die einzelnen Konstruktionsteile einer Zierscheibe selbst, aus einheitlichen Legierungen hergestellt wurden. Da hier jedoch kein Messing oder Bronze hinzugefügt wurde, ist anzunehmen, dass demonetarisierter Silbermünzen verwendet

wurden, die dem Auftraggeber zur Verfügung standen. Da im Gegensatz zu anderen Schmuckformen keine der Zierscheiben aus Buntmetall hergestellt wurde, sind diese Schmuckstücke sicher als eine Art "Statussymbol" anzusehen (vgl. Martin-Kilcher 2008, 85). Die Unterschiedlichkeit des Feingehalts verweist dabei lediglich auf das - vermutlich in Form von Münzen - thesaurierte Vermögen des einer Mittelschicht angehörenden Auftraggebers dieser Zeit¹⁶⁶.

Dass in den Depotfunden des beginnenden 3. Jhs. n. Chr. unterschiedlich wertvolle Stücke gemeinsam niedergelegt wurden, lässt sich vermutlich auf den Besitz kostbarer "Erbstücke" zusammen mit geläufigen Modeschmuckstücken zurückführen. So wurden beispielsweise in Rembrechts abgetragene, aus hochwertigen Silberlegierungen aufwändig hergestellte Schmuckstücke (die Fingerringe und die Omegafibel) neben Modestücken aus Silberlegierungen mit niedrigem Feingehalt (die Lunula-Anhänger und die einfache Fuchsschwanzkette) gemeinsam deponiert.

Bei den im späten 2. und der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. hergestellten provinzialrömischen Schmuckstücken scheint also nicht mehr allein der Rohmaterialwert des Silbers von vorrangigem Interesse gewesen zu sein. Dies steht im Gegensatz zum römischen Tafelgeschirr aus Silber, bei welchem fast ausnahmslos hohe Silbergehalte festgestellt werden konnten, die den Materialwert und den damit verbundenen Luxuscharakter betonen.

¹⁶⁶ Die soziale Stellung der Auftraggeber scheint durch den Fund einer Zierscheibe aus Neftenbach im Kt. Zürich deutlich zu werden, welche in einem Villennebengebäude zutage kam, das als Wohnsitz des Verwalters und seiner Familie angesehen wird (Martin-Kilcher 2008, 138).

7.3 Unterschiede und Gemeinsamkeiten im verwendeten Rohmaterial

Aus dem Vorangegangenen ergibt sich folgender Vergleich zwischen den latènezeitlichen und den provinzialrömischen Silberlegierungen, die zu Schmuck verarbeitet wurden (Tab. 16).

	Latènezeitliche Silberlegierungen	Provinzialrömische Silberlegierungen
Legierungszusammensetzung	Hochwertig mit Feingehalten von zumeist über 90 % Ag Hauptbestandteile Ag und Cu (kupelliertes Silber bzw. Zusatz von reinem Kupfer)	Starke Streuung mit Feingehalten von ca. 42 bis 99 % Ag Zn und Sn als zusätzliche Bestandteile neben Ag und Cu (Zusatz von Messing zur Legierungsherstellung)
Rohmaterialgewinnung	Primäre Erzverhüttung und Einschmelzen von Silbermünzen	Primäre Erzverhüttung und Einschmelzen von Silbermünzen und anderem Altmittel
Objektabhängigkeit	Keine feststellbaren regelhaften Unterschiede beim Einsatz der Legierungen nach Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften	Silberreichere Legierungen im 1. Jh. und für aufwändige Schmuckstücke des 2./3. Jhs. Silberärmere Legierungen ab dem 2. Jh. und für Serienproduktion sowie materialintensive Guss-Stücke
Verwendungszweck	Hoher Materialwert ist entscheidend Offensichtlich immer "Prestigeobjekte"	Hoher Materialwert im 1. Jh. und für "Prestigeobjekte" des 2./3. Jhs. Geringerer Materialwert für "Serienware" des 2./3. Jhs. Verwendung in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit und dem Verwendungszweck
Vergleich mit Silberlegierungen der Münzen und Toreutik	Griechisch-hellenistische und römisch-republikanische Münzen überwiegend mit hohen Feingehalten Keltische Münzen der Spätlatènezeit mit hohen Feingehalten von ca. 95 - 99 % Ag	Silberlegierungen des Tafelsilbers überwiegend mit hohen Feingehalten Absinkender Feingehalt bei Münzen ab dem 2. Jh.
Soziokulturelle und sozioökonomische Interpretation	Bedeutung von Silber als Wertstoff	Bedeutung von Silber als Wert- und als Werkstoff

Tab. 16: Tendenzen in der Verwendung der Silberlegierungen.

Wenn auch nur eine begrenzte Anzahl von Objekten analysiert werden konnte, lässt sich dennoch folgende Interpretation für die Nutzung unterschiedlicher Silberlegierungen bei der Herstellung latènezeitlichen und provinzialrömischen Silberschmucks ableiten.

Für die Verwendung von Silber zu Schmuck stand in der Latènezeit offensichtlich der hohe Materialwert im Vordergrund. Die Silberobjekte stammen aus Deponierungen oder aus reich ausgestatteten Gräbern, der Schmuck diente hier allein als Wertträger. Dies änderte sich in der provinzialrömischen Silberverarbeitung, innerhalb derer sich zwei Tendenzen abzeichnen. Auf der einen Seite wurden Stücke mit Prestigecharakter aus Feinsilber angefertigt. Dies gilt wohl

für das gesamte 1. Jh. n. Chr. und auch noch für einzelne herausragende Objekte des 2. Jhs. Auf der anderen Seite wurde ab dem 2. Jh. n. Chr. Schmuck nun auch aus weniger hochwertigem Silber hergestellt. Dieser sollte zwar das Edelmetall enthalten und das silberne Erscheinungsbild wahren, aber doch in großer Zahl bei gleichzeitiger Materialeinsparung produziert werden. Dass im späten 2. und beginnenden 3. Jh. n. Chr. auch Prestigeobjekte aus silberärmeren Legierungen hergestellt wurden, hängt sicher an der wirtschaftlichen Situation der einer Mittelschicht zugehörigen Auftraggeber.

Neben der Verwendung hochwertiger Legierungen kann man dem latènezeitlichen Silberschmuck aufgrund seiner sorgfältigen Verarbeitung und zum Teil aufwändigen Verzierung wohl einen mit heutigen Designerstücken vergleichbaren Status zuschreiben. Im Gegensatz dazu lässt sich an provinzialrömischem Silberschmuck - einhergehend mit der oben genannten Bandbreite an unterschiedlich wertvollen Silberlegierungen - eine größere Vielfalt an mehr oder weniger aufwändigen Techniken beobachten. Spätestens ab dem 2. Jh. n. Chr. wurde Silber also nicht mehr nur für die gehobenen Schichten und für besondere Anlässe verarbeitet, sondern durchaus auch für den alltäglichen Schmuck breiterer Bevölkerungsschichten. Das reicht von - nicht immer sorgfältig ausgeführten - Serienprodukten bis hin zu kunsthandwerklich herausragenden Einzelstücken. Der Silberschmuck ist nun nicht mehr allein Wertträger, sondern auch Werkstoff von materiellem Wert.

Ein gezielter Handel mit dem Rohmaterial Silber ist für beide Zeitepochen nicht erkennbar. Einzelne erst in provinzialrömischen Befunden auftretende Silberbarren sind sicher als Vorprodukte innerhalb der Produktionskette einzustufen und gestempelte Barren treten nicht vor der Spätantike auf, wobei selbst diese weniger als zur Weiterverarbeitung gedachtes Rohmaterial denn vielmehr als Zahlungsmittel anzusehen sind. Dagegen ist eine sekundäre Nutzung von Münzen als Rohmaterial durchaus in Betracht zu ziehen.

Für die Latènezeit ist anzunehmen, dass das Rohmaterial ausschließlich von den Auftraggebern gestellt wurde, da in dieser Zeit nicht von einem Umlauf großer Edelmetallmengen auszugehen ist und die Edelmetallnutzung auf sozial höhergestellte Gesellschaftsschichten beschränkt war. Die Verwendung alter (sowohl fremder als auch eigener) Silbermünzen in der lokalen Münzprägung lässt sich sicher auch auf die Herstellung von Silberschmuck übertragen.

Für die römische Kaiserzeit verweisen Funde von Silbermünzen in diversen Werkstattbefunden darauf, dass Münzen tatsächlich zum Rohmaterial gehörten und die Schmucklegierungen machen eine erstaunlich ähnliche Entwicklung im absinkenden Feingehalt mit wie die für den Handel genutzten Münzen. Die aus mehreren Teilen konstruierten Schmuckstücke des späten 2. und 3. Jhs. n. Chr. weisen zumeist unterschiedliche Legierungen auf, so dass hier keine Regelmäßigkeit in der Legierungsherstellung erkennbar ist, obwohl die Feinschmiede durchaus um die Verarbeitungseigenschaften wussten. Eine Nutzung von zur Verfügung stehenden Münzen als Rohmaterial liegt hier ebenfalls nahe.

Auch in der traditionellen außereuropäischen Silberverarbeitung, wie etwa bei den Tuareg im nördlichen Afrika (siehe Kap. 6.1 Fußnote 148), den Meo in Nordthailand (Scholz 1974, 8), im

Jemen (Dostal 1972, 13) sowie in Indien (Untracht 2008, 281), gehörten Münzen und alter Silberschmuck bis in jüngste Zeit hinein zu den wichtigsten Rohstoffquellen in der Herstellung von kleineren Auftragsarbeiten. Sofern es sich nicht um in großen Mengen hergestellte Serienprodukte handelte, ist eine Beschaffung des Ausgangsmaterials über den Auftraggeber auf die Anfertigung der antiken Schmuckobjekte durchaus übertragbar. Hierüber geben auch die antiken römischen Schriftquellen Auskunft, sowohl die der vor- als auch die der nachchristlichen Jahrhunderte (vgl. Gummerus 1918, 289 f.). So heißt es beispielsweise in einer Komödie des Plautus im späten 3. / zu Beginn des 2. Jhs. v. Chr., dass das Gold dem Goldschmied gebracht würde, welches zur Reparatur eines Armringes (Plaut. *Menaech.* 525 s) oder zur Anfertigung von Ohrringen (ebd. 545) benötigt würde. In einer spätrepublikanischen Juristenschrift des Alfenus wird berichtet, dass das Silber dem Handwerker zur Verfügung gestellt würde, um Gefäße zu machen oder das Gold, um Fingerringe herzustellen (Gummerus 1918, 289 Fußnote 1). Zumindest für den Kauf von Silbergefäßen und Goldschmuck in den Städten wird daneben jedoch auch die Möglichkeit genannt, dass bereits fertige Produkte von den Handwerkern oder Händlern angepriesen würden (vgl. ebd. 290 f.). Über einen Rohmaterialvorrat, der in normierter Form von den Handwerkern über den Handel bezogen wird, ist dagegen nichts überliefert. Die unterschiedlichen Silberlegierungen, zumindest die der hier untersuchten Silberschmuckstücke, sprechen jedoch gegen einen solchen, andernfalls wären einheitlichere Legierungen zu erwarten.

Abschließend kann festgestellt werden, dass auch die Verbreitung der Silberfunde möglicherweise Unterschiede in der Nutzung primärer oder sekundärer Rohmaterialquellen anzeigt. Auffällig bleibt die Konzentration von Silberschmuck auf die Regionen, die in der Nähe potentiell nutzbarer Lagerstätten liegen. In der Latènezeit sind dies insbesondere der Südalpenraum und Regionen auf dem Balkan und im Karpatenraum. Aber auch in römischer Zeit bleibt die Vorliebe für Silber im Alpenraum und den Donauprovinzen erhalten. Eine Nutzung der silberhaltigen Erze in diesen Regionen ist zwar naheliegend, ließ sich jedoch bislang nicht sicher nachweisen. Eine sekundäre Rohmaterialgewinnung aus eingeschmolzenem Altmittel ist dagegen insbesondere für die Gebiete wahrscheinlich, die nicht in der Nähe von Lagerstätten liegen.

Schwerpunkte in der Produktion von Silberschmuck, wie das Schweizer Mittelland in der Früh- und Mittellatènezeit oder die Militärstützpunkte und Provinzstädte Raetiens, wurden offensichtlich aufgrund ihres geographischen oder politischen Standortes - als Handels- oder Verkehrsknotenpunkte - mit dem Edelmetall Silber versorgt. Die ab dem 2. Jh. n. Chr. häufig feststellbaren niedrigeren Feingehalte der Silberlegierungen hängen dabei sicher mit einer auf die ökonomische Situation zurückzuführenden Edelmetallverknappung zusammen. Die Versorgung mit dem Edelmetall war wiederum abhängig von dem Vorhandensein entsprechender Abnehmer bzw. Auftraggeber, die maßgeblich dafür verantwortlich gewesen sein dürften, dass sich gerade im Bereich solcher Umschlagplätze eine Silberverarbeitung lohnte.

8. Entwicklungstendenzen in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck

8.1 Technische Entwicklungen

In Hinblick auf die eingangs gestellten Fragen nach einer technischen Entwicklung in der Verarbeitung von Silber und einer Spezialisierung innerhalb des Feinschmiedehandwerks müssen die Einflüsse, die sowohl die angewandten Techniken als auch die Form bestimmen, diskutiert werden. Faktoren für die Wahl der eingesetzten Herstellungsverfahren sind die gewünschte Form, das technische Können des Handwerkers, Traditionen in der Verarbeitung anderer Metalle sowie das Vermögen des Auftraggebers. Die Form wiederum wird durch die technischen Kenntnisse des Handwerkers, Modeerscheinungen und persönliche Vorlieben des Auftraggebers beeinflusst.

Abgesehen von formimmanent notwendigen Schmiedetechniken, wie etwa zur Herstellung von Drähten ganz allgemein sowie der Fuchsschwanzketten und der Spiralkonstruktionen von Fibeln im Speziellen, hätten viele der hier untersuchten Stücke auch mit anderen als den beobachteten Techniken angefertigt werden können. Theoretisch wäre beispielsweise die Herstellung der latènezeitlichen Bandfingerringe (siehe Kap. 5.1.1.1) statt durch Auf- oder Ausschmieden gegossener Vorprodukte auch über das alleinige Schmieden und Löten möglich gewesen. Aber auch die provinzialrömischen Lunula-Anhänger (siehe Kap. 5.5.2) hätten inklusive einer Aufhängeöse komplett gegossen und die Armringe vom Typ Wiggensbach (siehe Kap. 5.2.2.2) geschmiedet werden können. Deshalb liegt nahe, dass vorwiegend das technische Können und traditionelle Arbeiten der Handwerker für die Anwendung der Techniken verantwortlich war und weniger die Form das Herstellungsverfahren bestimmte. Ob die Techniken dabei aus der Buntmetall- oder aus der Goldverarbeitung stammten, kann insbesondere über die angewandten Zier- und Verbindungstechniken herausgearbeitet werden (siehe unten). Dass es jedoch auch formimmanente Entwicklungen innerhalb der Produktion einzelner Formtypen gab, die ferner nicht allein vom verwendeten Material, sondern auch von der technischen Praktikabilität abhängig waren, machen die aus den Untersuchungen der Schaukelfingerringe gewonnenen Erkenntnisse wahrscheinlich (siehe Kap. 5.1.1.2.2).

Die gewünschte Form, die aus Silber angefertigt werden sollte, war dabei vorwiegend nach den jeweils gängigen Modeerscheinungen ausgerichtet. Während die silbernen Schmuckstücke der Latènezeit von den exklusiveren Goldarbeiten insbesondere über die an Letzteren angewandten Ziertechniken abweichen können, gibt es unter den provinzialrömischen Stücken deutlichere Annäherungen zwischen den aus Silber und Gold hergestellten Formen.

Fasst man die aus den Untersuchungen der Fallbeispiele gewonnenen und die aus den publizierten Studien zu entnehmenden Erkenntnisse zusammen, kommt man hinsichtlich der in der Silberbearbeitung angewandten Techniken zu folgenden Ergebnissen, die im Vergleich zur Gold- und Buntmetallbearbeitung verdeutlicht werden sollen (Tab. 17).

	Silber		Gold		Buntmetall	
	LT	RKZ	LT	RKZ	LT	RKZ
Formgebende Techniken						
Gusstechniken						
Wachsausschmelzverfahren	□ ●	□ ●	□ ●	○	□ ●	□ ●
Schalenguss	—	■ ●	●	●	●	●
Überfangguss	□	—	—	—	●	■ ●
Plastische Umformung						
Schmieden und Treiben	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●
Drahtherstellung (massiv geschmiedet)	■ ●	■ ●	■ ●	●	●	■ ●
Drahtherstellung (aus gefaltetem und gerolltem Blech)	■	■	□	●	—	■
Drahtherstellung (aus verdrehtem Vorprodukt)	■	■ ●	■ ●	■ ●	●	○
Thermische Verbindungstechniken						
Weichlöten	—	■ ●	—	—	○	○
Hartlöten mit metallischem Lot	—	□ ○	○	—	—	—
Reaktionslöten	□	□ ○	□ ●	□ ●		
Schweißen	■	■ ●	□ ●	●	—	○
Verzierungsstechniken						
Formende Techniken und Applikationen						
Ziselieren, Punzieren und Prägen	■ ●	■ ●	●	■ ●	●	■ ●
Gravieren	—	●	●	●	●	■ ●
Perl- und Kerbdrahtverzierung	■	■ ●	■ ●	■ ●	—	—
Filigranverzierungen und Granulation	■	■ ●	■ ●	■ ●	—	—
Vergoldungstechniken						
Mechanische Folienvergoldung	□ ●	●			●	●
Diffusionsvergoldung	■	●			—	—
Blattvergoldung	—	□ ●			—	●
Feuervergoldung	○	●			○	●

Legende:

□ Hinweise aus eigenen Untersuchungen	○ Hinweise aus der Literatur
■ Nachweise aus eigenen Untersuchungen	● Nachweise aus der Literatur
LT = Latènezeit; RKZ = Römische Kaiserzeit	— Keine Belege bekannt bzw. ungebräuchlich

Tab. 17: Schematische Übersicht der technikgeschichtlich relevanten Feinschmiedetechniken in der latènezeitlichen und provinzialrömischen Bearbeitung von Silber-, Gold- und Buntmetalllegierungen.

An latènezeitlichen und provinzialrömischen Schmuckfunden aus Silber wurden die formgebenden Techniken des Gießens, Schmiedens und Treibens in Abhängigkeit von dem Wissen um die traditionell ausgeübten Verfahren, der beabsichtigten Formgebung, ihrer Funktion und der technischen Praktikabilität angewandt. Die verwendeten Verfahren scheinen

sich dabei nur selten von den zur Anfertigung vergleichbarer Formen in der Gold- oder Buntmetallverarbeitung genutzten zu unterscheiden.

Während Goldschmuck tendenziell durch alle Zeiten hindurch häufiger geschmiedet wurde und insbesondere für die römischen Schmuckstücke nur selten ein Gussverfahren als formgebende Technik gewählt wurde, scheint das Gießen in der Formgebung von Silberschmuck nicht außergewöhnlich gewesen zu sein.

Obwohl der Schalenguss generell sowohl in der latènezeitlichen als auch in der provinzialrömischen Buntmetallverarbeitung angewandt wurde, ließen sich anhand des untersuchten Fundmaterials innerhalb der Silberverarbeitung nur unter den provinzialrömischen Stücken vereinzelt Hinweise auf den Einsatz dieses Gussverfahrens finden. Mit einem provinzialrömischen Lunula-Anhänger aus Rembrechts (Kat. 33,5; siehe Kap. 5.5.2) liegt nur einmal ein eindeutiger Beleg für die Anwendung dieser Technik vor. Bei diesem Stück handelt es sich um einen Vertreter einer in großer Anzahl hergestellten Form, deren Anfertigung im Schalenguss auch innerhalb der Buntmetallverarbeitung belegt ist. Auch für die Ausgangsform der Armringe mit Schlangenkopfen aus dem Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl (Kat. 32,5.6; siehe Kap. 5.2.2.1) ist der Schalenguss anzunehmen, der in diesem Fall zur Formgebung der Schlangenkopfen genutzt wurde, in derselben Weise wie dies auch für vergleichbare Silber- und Goldarmringe festgestellt wurde.

Es ist davon auszugehen, dass Hinweise auf das angewandte Gussverfahren, wie vor allem Gussnähte, in den meisten Fällen von einer sorgfältigen Oberflächenbehandlung überprägt wurden und damit für den heutigen Betrachter unkenntlich sind. Komplexe Formen und das offensichtlich häufige Anbringen von Verzierungen im Guss sprechen jedoch innerhalb des gesamten behandelten Zeitraumes für die überwiegende Anwendung des Wachsausschmelzverfahrens in der Silberverarbeitung.

Das Schmieden wurde in allen Zeitstufen angewandt, um Drähte und Konstruktionsteile herzustellen (z. B. Fibelnadeln und Kettenglieder) oder um Formen anzufertigen, die formbedingt nur durch eine plastische Umformung erzielt werden können (z. B. Armringe mit drahtumwickelten Enden).

Besonders in der Anfertigung von Silberfibeln (siehe Kap. 5.3) wurden offensichtlich die Techniken eingesetzt, die auch zur Herstellung der entsprechenden Fibelformen aus Buntmetall angewandt wurden - unabhängig davon, ob diese gegossen, nach dem Guss nach- oder ausgeschmiedet oder gar komplett geschmiedet wurden. Tendenziell ist in der provinzialrömischen Fibelherstellung zu beobachten, dass sich die zugrundeliegenden Gussrohlinge zunehmend der gewünschten Endform nähern, so dass immer weniger Nachbearbeitung notwendig war (so auch Riha 1979, 36 für die Buntmetallverarbeitung). Dabei wurden sogar Gussfehler in Kauf genommen (siehe bes. Taf. 85,3; 162,3.4), ein hinsichtlich des Edelmetallcharakters bemerkenswertes Phänomen, welches an keinem der latènezeitlichen Silberobjekte beobachtet werden konnte.

Während Treibarbeiten aus Blech an den latènezeitlichen Schmuckstücken aus Silber nur selten angewandt worden sind, beispielsweise zur Formgebung von einzelnen Bandfingerringen (Kat. 40,1), gehören diese mit zu den häufigsten formgebenden Techniken in der provinzialrömischen Silberbearbeitung. Sowohl Schlaufen und Hülsen in aufhängender oder zierender Funktion (siehe Kap. 5.4.2.2; 5.5.2; 5.5.3) als auch Scheibenfibeln (siehe Kap. 5.3.2.2) und Fingerringe (siehe Kap. 5.1.2.2) wurden aus getriebenem Blech hergestellt. Die Blechherstellung wurde vereinzelt auch schon in der latènezeitlichen Silberverarbeitung genutzt, wie die Anwendung von Blechstreifen als Ausgangsmaterial zur Drahtherstellung zeigt (z. B. Taf. 40; 41; 51,1-3; 63; 68). Bei einzelnen Fundstücken, wie den Fuchsschwanzketten (siehe Kap. 5.4.2.1) sowie den Ringen aus dem Depotfund von Lauterach (siehe Kap. 5.1.1.4; 5.2.3) bleibt eine Herstellung in fremden kulturellen Zusammenhängen jedoch nicht auszuschließen¹⁶⁷.

In keinem hier untersuchten Fall konnten Hinweise auf eine Drahtherstellung durch einen Ziehprozess gefunden werden. An verschiedenen Stellen dieser Arbeit wurde bereits betont, dass gleichmäßige Drähte durchaus durch Schmiedeprozesse angefertigt werden können (siehe bes. Kap. 4.2.3). Auch aus der einschlägigen Fachliteratur liegen keine überzeugenden Nachweise für ein Drahtziehen in den hier relevanten Zeitstufen vor.

In der Produktion feiner Drähte konnten keine Unterschiede zwischen der latènezeitlichen und der provinzialrömischen Anfertigung festgestellt werden. Bemerkenswert bleibt, dass die dickeren Drähte vor allem ab der Spätlatènezeit häufig Kennzeichen für eine Drahtherstellung aus gefalteten und gerollten Blechstreifen aufweisen (z. B. Finger- und Armringe). Möglicherweise setzte sich diese Technik durch, da sie zu einem besseren, "runderen" Ergebnis führte, obwohl sie unter Umständen aufwändiger war als das ältere traditionell angewandte Verfahren des Schmiedens aus einem massiven Vorprodukt.

Aus den Untersuchungen der Fallbeispiele geht hervor, dass speziell im Bereich der angewandten Verbindungstechniken wichtige Entwicklungstendenzen zu erkennen sind. Technikgeschichtlich besonders relevant sind dabei vor allem die thermischen Fügetechniken, da sie eine genaue Materialkenntnis voraussetzen.

An vielen der besprochenen Beispiele aus Silber wurde festgestellt, dass jegliche thermische Verbindungstechnik umgangen wurde, indem sowohl die Form - entweder durch den Einsatz eines Gussverfahrens oder das Aufschmieden von Ringen - als auch die Zierelemente durch das Gießen oder das Aufnieten der Zierteile erzielt wurden. Zahlreiche Beispiele aus der jeweils zeitgleichen Goldverarbeitung lassen erkennen, dass die thermischen Verbindungstechniken an Gold durchaus verbreiteter waren als an Silber (siehe Kap. 4.3; 4.4.5).

¹⁶⁷ Nicht nur die Herstellung von Fuchsschwanzketten, sondern auch die Blechverarbeitung scheint dagegen vor allem in der Silberbearbeitung auf dem Balkan und im Karpatenraum eine größere Rolle gespielt zu haben, beispielsweise zur Herstellung von Zierhülsen oder Kettenanhängern (siehe z. B. die in Kap. 6.1 genannten Funde aus Ošanići oder diverse Funde in Kat. Silber Illyrer 2004, 104 Nr. 131 ff.; 108 Nr. 164 sowie in Kat. Daker 1980, 41 Abb. 20).

Die Tatsache, dass nur selten charakteristische Hinweise auf echte Löt Nähte an den latènezeitlichen Silberfunden zu erkennen sind, lässt den Rückschluss zu, dass entweder alternative Anfertigungsmethoden eingesetzt wurden, die keine thermische Verbindung notwendig machten (z. B. das Gießen von Schaukelfingerringen), oder dass notwendige Verbindungen durch ein Schmelzschweißen überlappender Drahtenden erreicht wurden (z. B. an geschlossenen Finger- und Armringen aus Draht oder an Kettengliedern).

Nur einzelne Fallbeispiele aus latènezeitlichen Fundkontexten, wie die Fibel und der Gemmenfingerring aus Horgen (Kat. 12,1.2) sowie die zweite Fibel aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,2.3), lieferten Hinweise auf die Anwendung eines Lötverfahrens an Silber, wobei die optischen Merkmale für den Einsatz eines Reaktionslotes sprechen. Die Schwierigkeiten in der analytischen Interpretation des zur Gold- und Silbergranulation an den Silberfibeln aus Sinsheim-Dühren angewandten Lötverfahrens wurden ausführlich erörtert (siehe Kap. 5.3.1.2.2). Auch wenn dies durch die Metallanalysen nicht sicher bestätigt werden konnte, führte vor allem die optische Ansprache unter Berücksichtigung von Experimenten zu der Interpretation, dass es sich hier nur um eine Variante des Reaktionslötens handeln kann.

An den provinzialrömischen Silberobjekten konnten dagegen diverse Löttechniken nachgewiesen werden. Unabhängig davon, ob die jeweils angewandte Technik unseren heutigen optischen und an den Edelmetallcharakter gebundenen Ansprüchen genügt, musste für diese nicht nur das jeweilige Lötmaterial verfügbar gewesen sein, sondern auch ein spezialisiertes Wissen und die Erfahrung in der Durchführung der Techniken.

Sowohl die optischen Untersuchungen als auch die vereinzelt durchgeführten Metallanalysen erlaubten Rückschlüsse zur Unterscheidung der jeweils angewandten Lötverfahren.

Erstaunlich ist besonders die Anwendung des Weichlötens mit Blei-Zinn-Legierungen, die heute üblicherweise nicht an Edelmetallen verwendet werden, da sie weder mechanisch belastbar sind noch ohne zerstörerische Folgen auf das Metallgefüge bleiben. Diverse optische Hinweise, aber auch an zwei Exemplaren aus Rembrechts durchgeführte Analysen (Kat. 33,4.5; siehe Kap. 5.5.2), lieferten Hin- und Nachweise für den Einsatz eines Weichlotes bei Lunula-Anhängern, obwohl andere Techniken bekannt waren und an anderen Lunula-Anhängern auch angewandt wurden. Zinn-Blei-Legierungen zum Löten waren bislang vor allem aus der Buntmetallverarbeitung und aus der Silbergefäßherstellung bekannt (vgl. Kap. 4.3.2.1; 4.3.4). Eine Übernahme der Technik des Weichlötens aus einem dieser Produktionsbereiche liegt nahe.

Hinweise auf das Hartlöten mit metallischen Lotlegierungen lagen bisher nur an römischem Tafelsilber vor, wobei die analysierten Zusammensetzungen auf die Verwendung von Silber-Zinnlegierungen verweisen (siehe Kap. 4.3.4). Eine Analyse an einem Lunula-Anhänger aus Rottenburg (Kat. 35,1; siehe Kap. 5.5.2) legte auch hier nahe, dass eine Form eines metallischen Hartlotes verwendet wurde. Die Messungen deuteten dabei allerdings nur auf eine Kupfer-Zinn-Blei-Legierung hin, ohne dass die originale Lotzusammensetzung quantitativ bestimmbar gewesen wäre. Dass diverse Legierungen zum Löten von Funktionsteilen an

Vertretern ein- und desselben Formtyps verwendet wurden, konnte vor allem anhand der Lunula-Anhänger festgestellt werden. Dies mag zwar zunächst einmal auf unterschiedliche Handwerker hinweisen, letztlich aber auch darauf, dass keine normierten Löttechniken oder gar Lotlegierungen in der Silberverarbeitung zum Einsatz kamen.

Das dagegen spätestens ab dem Mittelalter bekannte Verfahren des Hartlötens mit metallischen Lotlegierungen in einer Zusammensetzung, die den heutigen Silberloten entspricht, konnte analytisch bislang nur an spätantikem Silbergeschirr festgestellt werden (siehe Kap. 4.3.4). An einigen der untersuchten provinzialrömischen Schmuckfunde liegen zwar optische Hinweise auf ein stumpfes Aneinanderlöten von Drahtenden oder Konstruktionsteilen vor, wie etwa an einem anhängenden Ring des Armringes aus Rickenbach (Kat. 34,1; siehe Kap. 5.2.3) oder den Verbindungsstellen von Nadel und Nadelöse an den Omegafibeln aus demselben Depotfund (Kat. 34,2) und aus Kottwil (Kat. 17,3; siehe Kap. 5.3.2.1). Ohne Metallanalysen lässt sich jedoch nicht klären, welche Zusammensetzung das jeweils verwendete metallische Hartlot hatte bzw. ob hier nicht auch Varianten des Reaktionslötens mit zugesetztem Metall eingesetzt worden sind.

Für das Hartlötens mit mineralischem Lötgut, das sogenannte Reaktionslötens, welches als Standardverfahren für den Goldschmuck der Antike angesehen werden kann, lagen bisher kaum Hinweise aus der Silberbearbeitung vor. Die Problematik in der optischen, aber auch analytischen Ansprache wurde in der hier vorliegenden Arbeit eingehend diskutiert (siehe bes. Kap. 4.3.2.2; 4.4.5). In diesen Zusammenhängen wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass über das Reaktionslötens in seiner "reinen Form" hinaus Varianten mit zugefügtem Metall in Betracht zu ziehen sind, die optisch mit einer durch ein metallisches Lot verbundenen Nahtstelle verwechselbar sind. Optische Hinweise auf die Anwendung des Reaktionslötens liegen in einigen Fällen vor, besonders zum Auflöten von Filigrandrähten und zur Granulation. Nachweise sind mit Oberflächenanalysen nur schwer möglich, aber auch hier ergaben Vergleichsanalysen moderner Lötexperimente als Anhaltswert, dass sich die reine Verwendung eines mineralischen Lötgutes durch einen etwa auf das Doppelte bis Dreifache gestiegenen Kupfergehalt an der Verbindungsstelle auszeichnen würde. Gleichzeitig sollte gezeigt werden, dass eine Interpretation nur über die Kombination aus charakteristischen optischen Merkmalen und Analysen möglich ist, und dass es weiterhin viel Forschungsarbeit zu leisten gilt, um die antiken Löttechniken eindeutig nachweisen zu können. Die optischen und analytischen Hinweise berechtigen zur Annahme des Reaktionslötverfahrens im Falle von zwei Fingerringen aus Rembrechts (Kat. 33,8.9; siehe Kap. 5.1.2.3) und an einem mit aufgelöteten Silberdrähten verzierten Armring aus Sulz (Kat. 41,3; siehe Kap. 5.2.2.3). Auch wenn die verwendete Legierung aufgrund theoretischer Überlegungen eigentlich dagegen spricht, führte eine Analyse der Lötnaht an einem dritten Lunula-Anhänger aus Rembrechts (Kat. 33,6; siehe Kap. 5.5.2) zu dem überraschenden Ergebnis, dass wohl auch an diesem mineralisches Lot eingesetzt worden sein muss.

Im Gegensatz zu den anderen thermischen Verbindungstechniken ist das Schmelzschweißen sowohl für die Latènezeit als auch für die römische Kaiserzeit mehrfach belegt. Dieses ist zwar an eine genaue Beobachtung des Schmelzverhaltens gebunden, um den Zeitpunkt des Schweißens zu erfassen und ein Überhitzen zu vermeiden. Auf der anderen Seite sind jedoch keine Kenntnisse von Lotlegierungen und ihren Eigenschaften Voraussetzung. Mit antiken Mitteln, speziell im Holzkohlefeuer, scheint die Anwendung dieser Technik zum Aufbringen feiner Zierelemente (z. B. von Granalien und Filigrandrähten) kaum möglich (siehe Kap. 4.4.5). Das Verschweißen von überlappenden Drahtenden ist dagegen sowohl in der latènezeitlichen als auch in der provinzialrömischen Produktion von Drahtfingerringen und Kettengliedern durchaus praktiziert worden. Speziell für alle Varianten der Fuchsschwanzketten wurde es in gleicher Weise benutzt (siehe Kap. 5.4.2.3).

Verschiedene Kettenkonstruktionen der römischen Kaiserzeit kamen dabei jedoch mit einer unterschiedlichen Anzahl von Verbindungsstellen aus. Die mehrfachen Fuchsschwanzketten aus Gliedern mit jeweils mehreren Schlaufen (vgl. Kap. 5.4.2 Abb. 41,4b) benötigen erheblich weniger Verbindungsstellen als die Varianten aus einzelnen sich überkreuzenden Schlingen (vgl. Abb. 41,4a), um ein ähnliches optisches Erscheinungsbild zu erreichen. Die damit verbundene Rationalisierung in der Arbeitsweise kann dabei als Indikator eines technischen Fortschritts betrachtet werden.

Für die thermischen Verbindungstechniken in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck kann im Ergebnis festgehalten werden (Tab. 18), dass diese in der Latènezeit nur selten genutzt wurden, um Konstruktionsteile miteinander zu verbinden, während in der römischen Kaiserzeit vielfältige Methoden eingesetzt wurden.

Nachweise für das Löten an latènezeitlichem Goldschmuck finden sich über publizierte Analysen (siehe Kap. 4.3.4), optische Hinweise konnten auch an einigen im Rahmen der eigenen Arbeit untersuchten Fallbeispiele gefunden werden. Im Gegensatz dazu ist die Anwendung des Lötens für Silberschmuck dieser Zeit nur in Einzelfällen anzunehmen, wobei es sich hier insbesondere um Granulationsarbeiten oder Formen handelt, die sicher auf Kontakte zu mediterranen Kulturen zurückzuführen sind¹⁶⁸.

Aus der Vielzahl der verschiedenen an provinzialrömischen Schmuckstücken aus Silber angewandten Löttechniken wurde das Verfahren des Reaktionslötens sicher aus der Goldbearbeitung übernommen und das Löten mit zinnhaltigen Legierungen entweder aus der Buntmetallbearbeitung oder aus der Toreutik.

Die Tatsache, dass auch in der provinzialrömischen Schmuckherstellung insgesamt nur selten an Silber gelötet wurde, ließe sich damit erklären, dass das Löten mit Silber und seinen Legierungen im Vergleich zu Gold sehr viel schwerer durchzuführen ist, da die besonders bei hohen Kupfergehalten stattfindenden Oxidationsprozesse hinderlich sind.

¹⁶⁸ Weitergehende Untersuchungen an Silberschmuck aus diesen Regionen wären daher besonders aufschlussreich.

	Verbindungstechniken an latènezeitlichem Silberschmuck	Verbindungstechniken an provinzialrömischem Silberschmuck
Mechanische Verbindungen	Vereinzelte Nieten und Falzen	Nieten als Verbindungstechnik Niete gleichzeitig als Verzierungs-elemente eingesetzt
Weichlöten	Keine Hinweise, keine Nachweise	Optische Hinweise und Nachweise über Analysen
Hartlöten mit metallischem Lot	Keine Hinweise, keine Nachweise	Vereinzelte optische und analytische Hinweise
Hartlöten mit Reaktionslot	Vereinzelte optische und analytische Hinweise	Optische und analytische Hinweise
Schweißen	Nachweise an Kettengliedern und optische Hinweise an Fingerringen	Nachweise an Kettengliedern und optische Hinweise an Fingerringen
Bevorzugte Verbindungstechniken an Silberschmuck	Formgebung ohne thermische Verbindungstechniken Schmelzschweißen	Vielfältige Löttechniken Schmelzschweißen Verwendung in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des Lotmaterials, dem technischen Wissensstand und dem Verwendungszweck
Verbindungstechniken an anderen Fundgattungen, in der Buntmetalltoreutik und an Goldschmuck zum Vergleich	Weichlöten am Gundestrup-Kessel als Sonderfall (Datierung aber weiterhin umstritten) Mechanische Verbindungen sowie Überfangguss und Schweißen in der Herstellung von Buntmetallgefäßen Reaktionslötungen, Schweißen und Hartlöten mit metallischem Lot (?) an Goldschmuck	Weich- und Hartlöten (?) mit Zinn sowie Reaktionslötungen (?) an Silbertoreutik Mechanische Verbindungen sowie Weichlöten in der Herstellung von Buntmetallgefäßen Reaktionslötungen und Schweißen an Goldschmuck

Tab. 18: Übersicht über die angewandten Verbindungstechniken.

Die traditionell im Mittelmeerraum in der Schmuckherstellung angewandte Verbindungstechnik des Reaktionslötens sowie die Technik des Schmelzschweißens wurden in Mitteleuropa sowohl vereinzelt in der Latènezeit als auch weiterhin noch im 1. Jh. n. Chr. als einzige thermische Verbindungstechniken genutzt. Offensichtlich erst mit zunehmender Romanisierung kamen ab dem 2. Jh. auch weitere Löttechniken hinzu, wie das Weich- und Hartlöten mit zinnhaltigen Legierungen. Diese traditionell aus der Toreutik stammenden Techniken gewannen augenscheinlich erst durch die zunehmenden kulturellen Einflüsse aus allen Teilen des Römischen Imperiums an Bedeutung¹⁶⁹.

¹⁶⁹ Dass im späten 2. und in der ersten Hälfte des 3. Jhs. n. Chr. beispielsweise auch allgemein als Goldschmiede bezeichnete oder auf Gold spezialisierte Handwerker aus Kleinasien in den gallischen und germanischen Provinzen arbeiteten, belegen Inschriften dieser Zeit, wie aus Avenches (*Aventicum*) in der Schweiz sowie Lyon (*Lugdunum*) in Frankreich (Gummerus 1918, 274 Nr. 182 und 179; 285), welche Goldschmiede aus den östlichen Provinzen nennen. Dies mag letztlich auch die Ausbreitung neuer Techniken gefördert haben.

Neben den Verbindungstechniken spielen aber auch die angewandten Verzierungsstechniken eine Rolle, wenn es um die Frage nach technischen Entwicklungstendenzen geht. Die Ziertechniken Filigran, Granulation sowie Perl- und Kerbdrahtherstellung wurden in der Latènezeit selten und dann vor allem an Goldschmuck angewandt. Sie wurden unter den untersuchten Fallbeispielen aus Silber nur an den als Fremdgüter anzusprechenden Fibeln von Sinsheim-Dühren beobachtet (siehe Kap. 5.3.1.2.2). Erst in der Kaiserzeit wurden diese Techniken häufiger auch in der Herstellung von Silberschmuck eingesetzt, zählen aber weiterhin zu den Besonderheiten (siehe Kap. 5.1.2.3; 5.4.2.2; 5.5.3). Potentielle Gründe für die innerhalb des hier behandelten Zeitraumes seltene Nutzung der - sicher aus der Goldbearbeitung stammenden - Sondertechnik der Granulation an Silber wurden in Kombination mit eigenen Experimenten ausführlich dargelegt (siehe Kap. 4.4.5). Besonders der hierfür notwendige Einsatz des Lötens von Silber war problematisch bzw. die dazu erforderlichen Kenntnisse lagen wohl lediglich in den Händen einzelner Spezialisten. Für den Prozess des Lötens zur Silbergranulation mussten nicht nur hochwertige Legierungen zur Verfügung gestanden haben, sondern auch die Erfahrung in der Durchführung des Reaktionslötens an Silber. An den Fragmenten der zweiten Dührener Fibel (Kat. 37,2.3) scheint deshalb besonders die Beobachtung aufschlussreich, dass das Löten von Granalien aus Gold und Silber materialbedingte Unterschiede aufweist.

Vergoldung als zierendes oder aufwertendes Element wurde in der Latènezeit nur selten in der Silberschmuckherstellung angewandt, wobei die mechanische Folienvergoldung üblich war. Die diffusionsgebundene Folienvergoldung, wie an dem Ring von Oberhofen (Kat. 28,1; siehe Kap. 5.1.1.5), stellt die Ausnahme dar und verweist hier sicher wieder auf Kontakte zum mediterranen Kulturraum. Die Blattvergoldung ist erst in der Römischen Kaiserzeit nachgewiesen und scheint hier auch diffusionsgebunden angewandt worden zu sein, wie es an den eponymen Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach (Kat. 47,15.16; siehe Kap. 5.3.2.2) anzunehmen ist. Die Feuervergoldung soll vereinzelt bereits ab dem 1. Jh. v. Chr. belegt sein, gewinnt jedoch erst ab der Spätantike an Bedeutung und konnte an keinem der untersuchten Fundstücke festgestellt werden, wobei der Nachweis erst über Metallanalysen erbracht werden könnte.

8.2 Spezialisierungen

Aus der Untersuchung der Fallbeispiele (siehe Kap. 5) ergibt sich, dass die genutzten Techniken zur Herstellung von Silberschmuck häufig keine technisch relevanten Unterschiede zur Buntmetallbearbeitung aufweisen. Daneben deuten eine Vergesellschaftung von Silber und Buntmetall in den Werkstattbefunden (siehe Kap. 6.1.; 6.2) sowie einige der Legierungszusammensetzungen (siehe Kap. 7) auf eine gemeinsame Verarbeitung der beiden Metalle hin. Folglich scheint eine "Sonderanfertigung" der Schmuckobjekte aus Silber innerhalb einer buntmetallverarbeitenden Werkstatt in vielen Fällen nicht abwegig. Besonders die in größerer Stückzahl hergestellten latènezeitlichen Band-, Schaukel- und Spiralfingerringe

sowie die provinzialrömischen Lunula-Anhänger, aber auch die meisten Fibeln beider Zeiten müssen damit nicht von spezialisierten Gold- oder Silberschmiedem angefertigt worden sein.

Schmuckstücke aus Silber, an welchen spezielle Löttechniken eingesetzt wurden, sind dagegen sicher von Spezialisten angefertigt worden und nicht innerhalb der lokalen Buntmetallverarbeitung anzusiedeln. Das gilt sowohl für einzelne Funde der Latènezeit, wie die Fibeln aus Sinsheim-Dühren (Kat. 37,1-3) oder den Gemmenfingerring aus Horgen (Kat. 12,2), als auch für Objekte der Kaiserzeit, wie die Fingerringe aus Rembrechts (Kat. 33,8.9), die granulierten Zierhülsen der Ketten aus Wiggensbach (Kat. 47,11.12) oder die Omega-fibeln aus Rickenbach (Kat. 34,2) und Kottwil (Kat. 17,3). Die Kenntnis der Legierungen und deren Schmelzeigenschaften lässt sich leichter aus dem bekannten Wissen der Buntmetallverarbeitung ableiten als der Gebrauch von Löttechniken, so dass Letztere sicher an ein spezialisiertes Know-how gebunden waren. Das Wissen um die Durchführung des Reaktionslötens kann nur aus der Goldbearbeitung übernommen worden sein, so dass man im Falle der Anwendung dieses Verfahrens von spezialisierten Feinschmiedem ausgehen muss.

Ein Sonderfall ist die Produktion der Fuchsschwanzketten (siehe Kap. 5.4.2.3). Da die Ketten der vorrömischen Eisenzeit fast ausschließlich aus Edelmetall bestehen, sind sie sicher nicht innerhalb der lokalen Buntmetallverarbeitung hergestellt worden. In der provinzialrömischen Metallverarbeitung dagegen lässt das Vorhandensein dieser Ketten aus Buntmetall sowie die teilweise nachlässigere Sorgfalt bei ihrer Herstellung erkennen, dass es sich hier nicht mehr um allein von Spezialisten angefertigte Produktionen handelt. Andererseits scheint gleichzeitig eine Entwicklung in der Konstruktionsweise feststellbar, die auf eine Rationalisierung und damit auf eine Spezialisierung auf einen bestimmten Formtyp in der provinzialrömischen Kettenproduktion hindeutet.

Nicht nur die Konstruktionstechnik der Fuchsschwanzketten, sondern auch die Ziertechniken der Perldrahtherstellung sowie der Filigran- und Granulationsarbeiten wurden in der Goldbearbeitung entwickelt und setzten sich nur langsam innerhalb der Silberbearbeitung durch.

Einzelne Goldschmiedewerkstätten, die auf den Bedarf einer Oberschicht ausgerichtet waren und in welchen die Prunkstücke aus Gold hergestellt wurden, wie etwa der frühlatènezeitliche Goldschmuck aus dem Mittelrheingebiet oder die mittel- bis spätlatènezeitlichen Halsringe von Großbritannien über Frankreich bis nach Südosteuropa (z. B. Eluère 1987, 169 ff.), müssen aufgrund der angewandten Zier- und Löttechniken spezialisiert gewesen sein.

Schmuckobjekte aus Silber, die in ihrer Grundform mit solchen aus Gold vergleichbar sind, wie etwa die Drahtfingerringe mit Spiralzierplatte oder die Spiralfingerringe der Mittellatènezeit (siehe Kap. 5.1.1.3; 5.1.1.4), weisen keine der an den Goldobjekten zusätzlich angewandten Ziertechniken auf. Offensichtlich wurden diese technischen Ideen nicht von der lokalen Silberverarbeitung adaptiert, vielmehr hielten sich hier die traditionellen Verfahren. Folglich lässt der Silberschmuck keine notwendige Spezialisierung erkennen. Die Schmuckstücke, die lokal angefertigt wurden, waren mit den bekannten technischen Mitteln

möglich, ohne dass spezialisierte Kenntnisse, etwa zur Löttechnik, erforderlich gewesen wären. Damit wäre ihre Produktion auch durch jeden Feinschmied möglich gewesen, der sich das Wissen um die Schmelzeigenschaften der zur Verfügung stehenden Silberlegierungen aneignete. Die einzelnen herausragenden Schmuckstücke, deren Anfertigung an die Kenntnis von Löttechniken in Kombination der Verwendung unterschiedlicher Edelmetalle geknüpft gewesen sein mussten, wie etwa die Fibeln aus Sinsheim-Dühren oder der Gemmenfingerring aus Horgen, müssen zwar in einer spezialisierten Werkstatt entstanden sein, ihr sporadisches Auftreten legt allerdings nahe, dass sie als Fremdgüter in die Region gelangt sind. Gleiches gilt auch für die Herstellung des Fingerringes aus Oberhofen mit diffusionsvergoldeter Zierplatte, dessen Anfertigung nicht ohne materialspezifische Kenntnisse auskam. Die technischen Besonderheiten verweisen jedoch auch für dieses Stück auf fremde Handwerker. Abgesehen von diesen Ausnahmen wurden in der Latènezeit offensichtlich keine speziellen Verfahren aus dem Technikrepertoire der Goldschmiede zur Anfertigung von Silberschmuck übernommen. Vielmehr scheint der lokal produzierte Schmuck aus Silber mit den aus der Buntmetallverarbeitung bekannten Techniken hergestellt worden zu sein¹⁷⁰.

Demgegenüber lassen die Funduntersuchungen erkennen, dass es unter den provinzialrömischen Silberschmuckstücken deutlich mehr Objekte gibt, die regional hergestellt wurden und die materialbezogene spezialisierte Kenntnisse voraussetzten. Die beispielsweise an den Fingerringen mit Zierplatte aus Rembrechts oder den Gemmenfingerringen aus Wiggensbach und den Omega-fibeln angewandten Zier- und Löttechniken basieren dabei auf einer genauen Kenntnis der spezifischen Werkstoffeigenschaften. Dass in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck jedoch nicht nur Spezialisten tätig waren, zeigen besonders die Lunula-Anhänger, an welchen die eingesetzten Löttechniken häufig nicht an das Edelmetall angepasst waren. Folglich müssen die provinzialrömischen Schmuckobjekte aus Silber sowohl in spezialisierten Silberschmiedewerkstätten als auch in Buntmetallwerkstätten angefertigt worden sein.

Dass es darüber hinaus regional arbeitende Werkstätten gegeben haben muss, die sich auf die Herstellung von "Sonderobjekten" aus Silber spezialisiert hatten, können nicht nur die Untersuchungen an den Zierscheiben vom Typ Hettingen aufzeigen, die aufwändig und nie aus Buntmetall hergestellt wurden, sondern insbesondere auch die der Scheibenfibeln vom Typ Wiggensbach (siehe Kap. 5.3.2.2). Zu deren Anfertigung waren gleichzeitig Kenntnisse im Treiben, im Feinguss, im Vergolden und teilweise auch in der Perldrahtherstellung notwendig. Auffällig ist, dass die besonders an den eponymen Stücken aus Wiggensbach zu beobachtende nachlässige Ausarbeitung der gegossenen Zierniete im Widerspruch zu den sorgfältig gearbeiteten Perldrähten und der Vergoldung steht, so dass man geneigt ist, an mehrere beteiligte Handwerker zu denken.

¹⁷⁰ Dies scheint allerdings in anderen Regionen nicht der Fall gewesen zu sein. Für den Silberschmuck, der im mediterranen Kulturraum oder auch im Karpatenbecken hergestellt wurde, waren spezialisierte Techniken notwendig, die sicher der Goldbearbeitung entlehnt wurden. Dazu zählen vor allem die Kettenproduktion sowie die Ziertechniken der Granulation und Filigranverzierungen (siehe Kap. 5.3.1.2.2; 5.4.2.1).

Ob es sich möglicherweise auch bei dem Bronzearmring mit eingelegten und verlöteten Silberdrähten aus Sulz (siehe Kap. 5.2.2.3) um ein in Arbeitsteilung entstandenes Schmuckstück handelt oder ob der spezialisierte Feinschmied auch den Ringkörper anfertigte, lässt sich allein aufgrund der angewandten Techniken nicht klären. Sicher ist nur, dass zum Löten der Silberdrähte ein technisches Wissen vorhanden gewesen sein muss, das in der herkömmlichen Buntmetallbearbeitung nicht gebraucht wurde. Dass umgekehrt aber auch der Spezialist mit Buntmetall umgehen konnte, ist vorauszusetzen. Eine strikte Trennung nach Metallen war innerhalb des gesamten Feinschmiedehandwerks nicht möglich und ist im Übrigen selbst heute nicht üblich, auch wenn es durchaus Materialspezialisierungen gibt¹⁷¹.

Von spezialisierten Arbeitsteilungen ist dagegen sicher in anderen Bereichen auszugehen. Vor allem in der Herstellung von Gemmenfingerringen (siehe Kap. 5.1.2.2) sind offensichtlich Feinschmiede tätig gewesen, die vorzugsweise diese Fingerringform herstellten, die aber die Gemmen von anderen Handwerkern (Gemmenschneidern) bezogen haben dürften. Besonders aus der Zusammensetzung des Depotfundes von Snettisham scheint deutlich zu werden, dass ein Schwerpunkt des Feinschmiedes auf der Herstellung solcher Fingerringe aus Silber lag und ihm dafür bereits fertige Gemmen zum Fassen zur Verfügung standen (Johns 1997, 70).

Bemerkenswerterweise ist aus den vorchristlichen Jahrhunderten lediglich mit dem *faber argentarius* eine auf das Material Silber bezogene Handwerksbezeichnung überliefert, die in schriftlichen Quellen erst ab der Mitte des 1. Jhs. v. Chr. auftaucht (Petrikovits 1981, 72; 126 f.). Auch wenn dies mit einer lückenhaften Überlieferung der lateinischen Literatur dieser Zeit begründet werden kann (ebd. 71), ist eine stärkere Spezialisierung auf das Material Silber auch über die archäologischen Funde erst ab dieser Zeit zu erkennen. Eine angestiegene und spezialisierte Produktion von silbernem Tafelgeschirr ist beispielsweise durch eine Textstelle bei Plinius d. Ä. (Plin. nat. 33, 139 - 140) belegt, wo es heißt, dass die Auftraggeber laufend andere Formen und Verzierungen der Silbergefäße verlangen würden. Der starke Konkurrenzkampf und die Spezialisierung der Silbertoreutik-Werkstätten wird hier besonders deutlich.

Aus der Kaiserzeit sind einige schriftlich überlieferte Handwerkerbezeichnungen bekannt, die sich auf Silber beziehen, wie etwa der *argentarius caelator* (= Hersteller von Treib- oder Ziselierarbeiten in Silber) oder der *argentarius vascularius* (= Hersteller von Metallgefäßen aus Silber). Belegt ist jedoch auch der *aurifex*, also der Goldschmied (z. B. Zimmer 1982, 39; 196 Nr. 139; zu den provinziellen Inschriften siehe Gummerus 1918, 274), welcher durchaus auch Silberschmuck hergestellt haben wird. Andere Bezeichnungen, wie *interrator* (= Hersteller von Durchbrucharbeiten) oder *impaestator* (= Hersteller von Ziselierarbeiten), *fusarius* bzw. *flaturarius* (= Gießer), *gemmarius* (= Gemmenschneider) sowie *anularius*

¹⁷¹ Die Materialkombination von Bunt- und Edelmetalllegierungen ist ohnehin mehrfach belegt, besonders über vergoldete oder versilberte Schmuckstücke (siehe Kap. 4.4.6), vereinzelt aber auch über Tauschierungen oder Blechauflagen und Drahtumwicklungen, wie beispielsweise Bronzefibeln mit eingelegten Silberdrähten aus Augst (Riha 1979, 26) oder mit silbernen Zierbestandteilen aus dem Kastell Zugmantel (Böhme 1972, 29 f.; 42), wobei anzunehmen ist, dass die Handwerker die Metalle gemeinsam verarbeiteten.

(= Hersteller von Ringen) machen deutlich, dass es darüber hinaus auch Spezialisierungen auf bestimmte Techniken oder Formen gegeben haben muss, die eine Arbeitsteilung annehmen lassen¹⁷².

Hieraus Regelmäßigkeiten in den handwerklichen Organisationsstrukturen abzuleiten, ist freilich spekulativ, aber wie aus dem oben Dargelegten hervorgeht, lassen auch die untersuchten archäologischen Funde entsprechende Tendenzen erkennen. Anders als dies für die Produktion der römischen Silbergefäße anzunehmen ist (vgl. auch Wiegels 2003, 50), deren Auftraggeber sicher in der römischen Oberschicht zu suchen sind, scheint der Silberschmuck in den römischen Provinzen vor allem in kleinen Werkstätten und für Angehörige einer Mittelschicht angefertigt worden zu sein. Diese Produktionsstätten waren auf den lokalen Bedarf ausgerichtet, wobei nicht nur reichsrömische Modeformen, sondern auch regionale Sonderformen hergestellt wurden. Eine Spezialisierung ist nicht nur hinsichtlich des Materials, sondern auch in Bezug auf die Form feststellbar. Neben regionalen Eigenheiten, wie den in Raetien angefertigten Armringen (Typ Wiggensbach), Zierscheiben und Scheibenfibeln, sind darüber hinaus nach Formen spezialisierte Anfertigungen, vor allem von "Reichsformen", wie den Lunula-Anhängern und den Gemmenfingerringen, erkennbar.

Das Material Silber stand in der römischen Kaiserzeit bereits in größerer Menge zur Verfügung als in der vorrömischen Eisenzeit. Damit einhergehend wurden in der Silberbearbeitung Techniken eingeführt, die der Gold-, aber auch der Buntmetallbearbeitung und/oder der Silbertoreutik entlehnt wurden. Dabei handelt es sich vor allem um diverse Hart- und Weichlötverfahren, die an vorrömischen Silberobjekten nicht oder nur in als Fremdgüter anzusprechenden Ausnahmefällen zu beobachten sind.

Schließt man diese fremden Anfertigungen aus, entsteht der Eindruck, dass die regionale latènezeitliche Verarbeitung von Silber zu Schmuck innerhalb der buntmetallverarbeitenden Werkstätten anzusiedeln ist¹⁷³ und sich eine Spezialisierung erst im provinzialrömischen Feinschmiedehandwerk abzeichnet. Neben Handwerkern, die innerhalb der Buntmetallverarbeitung tätig waren, gab es nun offensichtlich auch auf Edelmetall oder gar Silber spezialisierte Feinschmiede, wie sie literarisch und epigraphisch belegt sind.

¹⁷² Vgl. Listen bei Petrikovits 1981, 83 ff.

¹⁷³ Diesbezüglich wären entsprechende Untersuchungen für die in stärkerem Maße Silber verarbeitenden Regionen auf dem Balkan oder auch im Südalpenraum und Oberitalien besonders interessant.

9. Resümee

Die vorliegende Studie befasst sich mit den in der Verarbeitung von Silber zu Schmuck angewandten Herstellungstechniken der Latènezeit und der römischen Kaiserzeit Mitteleuropas. Grundlage bildete eine makro- und mikroskopische Untersuchung ausgewählter Fallbeispiele von latènezeitlichen und provinzialrömischen Schmuckobjekten, vor allem aus Süddeutschland und der Schweiz.

Mit optischen Mitteln konnten charakteristische Werkzeugspuren und Verfahrensmerkmale an der Oberfläche der Objekte identifiziert, dokumentiert und damit der wahrscheinliche Arbeitsablauf ermittelt bzw. rekonstruiert werden. Ausgewählte Metallanalysen dienten dabei nicht nur der Charakterisierung des verwendeten Ausgangsmaterials, sondern insbesondere auch der Interpretation der angewandten thermischen Verbindungstechniken. Experimentelle Untersuchungen und ethnographische Parallelen konnten an verschiedenen Stellen dazu beitragen, ermittelte Herstellungsprozesse nachzuvollziehen und zu veranschaulichen, Hypothesen zu untermauern sowie andere Verfahren auszuschließen.

Im Laufe der Arbeit ergaben sich erweiterte methodische Ansätze zur Identifizierung verschiedener technischer Herstellungsprozesse. Auf dieser Grundlage wurden neue Erkenntnisse zur antiken Ver- und Bearbeitung von Silber gewonnen.

Zunächst sollen die methodischen Gesichtspunkte bei der technischen Untersuchung von Silberschmuckfunden zusammengefasst werden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um eine Ausweitung der Erkennungsmerkmale, die zur Interpretation der Bearbeitungstechniken herangezogen werden können.

Die optische Untersuchung von Silberfunden kann weitaus schwieriger sein als die Sichtanalyse von Goldfunden, da das Erscheinungsbild von Silberlegierungen im Gegensatz zu Gold durch Korrosionsvorgänge stark verändert werden kann. Die Korrosion einer Silberoberfläche kann sich allerdings auch als vorteilhaft herausstellen, wenn dadurch Gefügestrukturen sichtbar gemacht wurden. An einigen Fundstücken feststellbare Längsstrukturen erwiesen sich so beispielsweise als besonders "nützlich", um ein zugrundeliegendes Schmiedegefüge erkennen zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden praktische Experimente eingesetzt, um charakteristische Merkmale einzelner Techniken zu verbildlichen, aber auch, um potentielle Fehlerquellen einzelner Techniken zu eruieren und damit neue Erkenntnisse in der Interpretation optischer Merkmale zu gewinnen. In diesem Kontext zeigte sich deutlich, dass während der Versuche entstandene "Fehler" durchaus aufschlussreicher sein können als perfekt gelungene Ergebnisse. So konnten etwa die beim Gießen von Schaukelfingerringen entstandenen Gussfehler an den Biegungen direkt als Erklärung dafür herangezogen werden, warum selbst die sichtlich gegossenen Fundobjekte dieser Form gerade in diesen Bereichen nachgeschmiedet wurden.

Ein weiteres Beispiel sind quer verlaufende Materialrisse, die bei der Drahtherstellung aus einem gerollten Blechstreifen entstehen können und damit als Kennzeichen für eine

entsprechende Anfertigung herangezogen werden können. Darüber hinaus zeigten sich während der Herstellung von Draht durch Schmieden und Rollen eines massiven Vorproduktes Längsstrukturen, die als Anzeichen für ein Glättrollen gelten können, aber leicht mit Drahtziehspuren verwechselbar sind.

Da die Untersuchungen der Löttechniken mit einer Sichtanalyse allein nur selten eindeutig sind, wurden eigene Lötexperimente und Metallanalysen an deren Fugen sowie an einzelnen Funden hinzugezogen. Überraschend war vor allem die Beobachtung, dass für eine Fugenlötung auch Silberlegierungen mit niedrigerem Feingehalt mithilfe eines Reaktionslotes gelötet werden können. Weitere Experimente konnten darüber hinaus verdeutlichen, dass sich das Reaktionslöt mit zugefügter Metallfeilung optisch kaum von einem Löt mit metallischer Lotlegierung unterscheidet. Diese Thematik lässt allerdings noch einige Gesichtspunkte offen, deren Untersuchung zukünftig wünschenswert wäre, besonders in Hinblick auf die optische und analytische Unterscheidung von Lötungen mit Reaktionslot und mit metallischen Lotlegierungen. Im Zusammenhang mit den Löttechniken stehen auch die praktischen Versuche zum Löt im Feuer und mit einer Öllampe, die zeigten, dass eine "Zweckentfremdung" solcher Lampen durchaus in Betracht gezogen werden kann.

Metallanalysen der Oberflächen sind insbesondere bei Silber-Kupfer-Legierungen schwierig, da die Zusammensetzung an der Oberfläche infolge von Korrosion, Anreicherungen oder Segregation vom ursprünglichen Ausgangsmaterial abweichen kann. Sie können jedoch tendenzielle Erkenntnisse erbringen. Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Oberflächenanalysen erlauben trotz der genannten Probleme die Feststellung, dass innerhalb des hier behandelten Zeitraumes deutlich unterschiedliche Silberlegierungen verwendet wurden und dass keine einheitlichen Löttechniken zur thermischen Verbindung von Konstruktionsteilen aus Silber eingesetzt wurden.

Schriftliche und bildliche Quellen sowie ethnographische Daten können behilflich sein, Hypothesen zu antiken Herstellungsverfahren aufzustellen oder zu untermauern. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden diese insbesondere herangezogen, um praktische Vorstellungen vom Ablauf der Löttechniken im Holzkohlefeuer zu bekommen.

Abschließend seien die wichtigsten Untersuchungsergebnisse zur Verarbeitung von Silber innerhalb des hier behandelten Zeitraumes zusammengefasst.

Die formgebenden Techniken, also sowohl die Gusstechniken als auch die plastischen Umformungstechniken, wurden während des gesamten hier behandelten Zeitraumes in Abhängigkeit von der beabsichtigten Form und dem Kenntnisstand der traditionell in der Buntmetallverarbeitung angewandten Verfahren eingesetzt. In der Durchführung der formgebenden Techniken konnten keine grundlegenden Unterschiede zwischen der latènezeitlichen und der provinzialrömischen Silberverarbeitung festgestellt werden. Lediglich in der Anfertigung stärkerer Drähte zeichnen sich Tendenzen ab, diese nicht nur durch Schmieden eines massiven Vorprodukts, sondern zunehmend auch durch Falten und Rollen von Blechstreifen herzustellen.

Allerdings variiert die Anwendung der Techniken, da die einzelnen Vertreter derselben Formtypen mit jeweils unterschiedlichen Methoden hergestellt und verziert wurden. Dies konnte beispielsweise für die latènezeitlichen Fingerringtypen, aber auch für die provinzialrömischen Lunula-Anhänger festgestellt werden. Diese wurden jeweils sowohl im Gussverfahren als auch durch Schmieden hergestellt und selbst in der Drahtherstellung variieren die Ausgangsformen zwischen massiven Vorprodukten und Blechstreifen. Auch für das Anbringen der Lunula-Hülsen wurden unterschiedliche Lötverfahren gewählt. Das bedeutet, dass sich sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit zwar die Formen verbreiteten, nicht aber eine jeweils daran geknüpfte Anfertigungstechnik. Dies lässt für beide Zeitepochen auf regionale bzw. lokale kleine Werkstätten rückschließen, die mit unterschiedlichen Techniken arbeiteten.

Im Vergleich zur Latènezeit ist für die römische Kaiserzeit nicht nur eine größere und weiter verbreitete Nutzung des Materials Silber zu beobachten, sondern auch ein deutlich aufwändigerer Konstruktionsaufbau einzelner Schmuckstücke und damit einhergehend ein Bedeutungszuwachs einzelner Verbindungs- und Ziertechniken.

Unterschiede zwischen der latènezeitlichen und der provinzialrömischen Silberverarbeitung werden deshalb insbesondere über den Umgang mit den Verbindungstechniken deutlich. An den untersuchten latènezeitlichen Silberschmuckstücken scheinen thermische Verbindungstechniken häufig umgangen worden zu sein. Nur wenn eine Verbindung von Drähten erforderlich war, wurde das Schmelzschweißen von sich überlappenden Drahtenden eingesetzt. Die thermisch gefügten Nahtstellen an provinzialrömischem Silberschmuck deuten dagegen auf eine zunehmende Vielfalt im Einsatz diverser Schweiß- und Löttechniken, sowohl um Konstruktionselemente miteinander zu verbinden als auch um Zierteile zu befestigen.

Traditionelle Ziertechniken, wie das Ziselieren und das Punzieren, wurden sowohl in der Latènezeit als auch in der römischen Kaiserzeit häufig eingesetzt, wobei an Gussstücken nur schwer zwischen dem Modellieren im WachsmodeLL, dem Nachziselieren oder dem Ziselieren in Metall unterschieden werden kann.

Die Sondertechniken Perl- und Kerbdrahtherstellung sowie der Einsatz von Filigran- und Granulationsverzierungen, die in mediterranen Kulturräumen an Goldschmuck auf eine lange Tradition zurückblicken können, setzten sich innerhalb der Goldbearbeitung in Mitteleuropa nur langsam durch, lassen sich in der lokalen latènezeitlichen Silberbearbeitung nicht belegen und wurden selbst an provinzialrömischen Schmuckarbeiten aus Silber nur selten angewandt.

Die verwendeten Silberlegierungen verweisen auf Unterschiede in Wertschätzung und Verfügbarkeit des Rohstoffes Silber. In der Latènezeit wurde Silber offensichtlich als Wertstoff im Rahmen der Herstellung von Prestigeobjekten eingesetzt, fast alle analysierten Fundstücke zeigen Feingehalte von über 90 %. Die Verwendung hochwertiger Legierungen, die seltene Nutzung von Silber für Schmuck und sein Auftreten in Fundkomplexen, die einer oberen Gesellschaftsschicht zugerechnet werden können, unterstreichen die herausragende Bedeutung und Kostbarkeit des Materials in der Latènezeit.

Dagegen scheint dieses Edelmetall innerhalb der kaiserzeitlichen Schmuckherstellung vielmehr auch als "normaler" Werkstoff genutzt worden zu sein, nun mit einer großen Streuung des Feingehalts von etwa 42 bis über 90 % Ag. Die provinzialrömischen Schmuckstücke wurden zwar mit größerem Aufwand hergestellt, Einbußen in der optischen Erscheinung wurden jedoch in Kauf genommen. Allzu häufig zeigen die römischen Silberschmuckstücke eine weniger sorgfältige Ver- und Bearbeitung als die vorrömischen Produkte. Offensichtlich wurde das Material Silber nun vielmehr auch für den Schmuck für breitere Bevölkerungsschichten genutzt. Die Verwendung von Legierungen mit geringeren Feingehalten ab dem 2. Jh. n. Chr. dürfte die schlechtere ökonomische Situation der Auftraggeber in den römischen Provinzen widerspiegeln und kann letztendlich wieder als Hinweis auf deren gesellschaftliche Stellung innerhalb einer Mittelschicht gelten. Wie die hochwertigen Legierungen des Silbergeschirrs zeigen, hätte sich eine Oberschicht dagegen "besseres" Silber leisten können - sei es primär gewonnenes oder raffiniertes Silber.

Beim derzeitigen Forschungsstand ist sowohl für die Latènezeit als auch für die römische Kaiserzeit davon auszugehen, dass das in der Schmuckherstellung verwendete Rohmaterial vorwiegend sekundär, d. h. über das Einschmelzen von Münzen oder eine Raffination von Altmetall, gewonnen wurde. Während das Silber in der Latènezeit nur mit Kupfer legiert wurde, erscheint es für einige der provinzialrömischen Silberschmuckfunde bezeichnend, dass stattdessen auch Messing als Legierungspartner eingesetzt wurde. Anzeichen für eine gezielte Verbesserung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften liegen in einigen Fällen vor, eine Nutzung von gerade zur Verfügung stehendem Altmetall ist daneben ebenfalls nicht auszuschließen.

Weder die Zahl der im Rahmen der Arbeit untersuchten Fundstücke noch die vergleichsweise herangezogenen publizierten Ergebnisse zu Gold-, Silber- und Buntmetallschmuck sowie Silbergefäßen reichen aus, um endgültig verallgemeinernde Aussagen zur Lokalisierung der Ver- und Bearbeitung von Silber zu treffen. Aus den dargelegten Ergebnissen geht jedoch hervor, dass die eingesetzten Techniken in der jeweils zeitgleichen Herstellung von Silberschmuck sowohl aus der Gold- als auch aus der Buntmetallverarbeitung stammen müssen. Damit steht das Material Silber nicht nur wegen seines Materialwertes, sondern auch aufgrund der angewandten Verarbeitungsmethoden zwischen Gold und Buntmetall. Verantwortlich dafür sind vor allem die materialbedingten Unterschiede in der Verarbeitung der Metalle, die im direkten Vergleich der Herstellung gleicher Schmuckformen immer wieder deutlich wurden. Nur in Ausnahmefällen ist eine Spezialisierung auf das Material Silber anzunehmen. Die wohl ursprünglich aus dem mediterranen Raum übernommenen Löt- und Ziertechniken wurden in der Latènezeit nur an Goldschmuck eingesetzt, nicht aber an direkt vergleichbaren Silberobjekten. Die Formgebungs- und Ziertechniken, die an regional hergestellten Silberobjekten festgestellt wurden, können aber auch der Buntmetallverarbeitung entlehnt worden sein, da ihre Anwendung keine auf das Material bezogenen spezialisierten Kenntnisse voraussetzte. Damit ist eine Art "Sonderanfertigung" der wohl immer als Prestigeobjekte anzusehenden Schmuckstücke innerhalb von lokalen buntmetallverarbeitenden

Werkstätten durchaus in Erwägung zu ziehen. Auch unter den provinzialrömischen Schmuckstücken aus Silber gibt es viele Stücke, die angefertigt wurden, ohne dass materialbezogene spezialisierte Kenntnisse notwendig gewesen wären. Zusammen mit der Anwendung von Techniken, die ursprünglich aus der Buntmetallverarbeitung stammen, wie etwa das Weichlöten, lässt dies auch hier eine Herstellung vieler Stücke innerhalb einer buntmetallverarbeitenden Werkstatt als wahrscheinlich erscheinen. Andere Schmuckstücke lassen dagegen erkennen, dass es nun durchaus auch Spezialisierungen in Bezug auf Form oder Technik gab. Eine auf die Technik bezogene Spezialisierung wird besonders über die zunehmend angewandten Hartlöttechniken deutlich, die an die Kenntnis der spezifischen Werkstoffeigenschaften und Lötverfahren gebunden waren. Die Verarbeitung von Silber zu Schmuck ist in dieser Zeit also sowohl weiterhin in Buntmetallwerkstätten als aber auch in spezialisierten Edelmetallwerkstätten anzusiedeln.

Eine Spezialisierung im Sinne einer Arbeitsteilung - sowohl nach Material und Form als auch nach dem Einsatz spezieller Arbeitstechniken - ist für das römische Feinschmiedehandwerk durchaus überliefert. Mit der Romanisierung und der damit einhergehenden Zunahme von Urbanisierung und sozialer Differenzierung, stieg die Zahl der zahlungskräftigen Auftraggeber, so dass Silberschmuck nun auch für breitere Bevölkerungsschichten zugänglich wurde. Der gestiegene Bedarf an Luxusgütern förderte dabei die Produktion und die zunehmende Verarbeitung von Silber und damit auch eine zunehmende Spezialisierung. Daneben begünstigte nicht nur die steigende Nachfrage nach bestimmten bis dahin vor allem in der Goldbearbeitung verwendeten Formen und Verzierungen, sondern auch der vereinfachte Austausch über alle Teile des Römischen Reichs hinweg die zunehmende Verwendung von Techniken, die zuvor in der Anfertigung von Silberschmuck nicht oder nur selten zur Anwendung gekommen waren. Der ökonomische Wandel zum Staatsgebilde des Römischen Reichs schloss eine Verbreitung der Münzwirtschaft im Sinne einer Geldwirtschaft mit ein, wodurch das Material Silber in größerer Menge verfügbar wurde. Neben einer größeren Verfügbarkeit des Rohmaterials - sei es primär durch einen in größerem Stil betriebenen Erzabbau oder sekundär durch das Vorhandensein einer größeren Menge an einschmelzbarem Münz- und Altmetall - lässt sich die größere und weiter verbreitete Nutzung von Silber zur Herstellung von Schmuck in der römischen Kaiserzeit wiederum auch mit einer zunehmenden Verwendung dieses Edelmetalls für den Alltagsschmuck in Verbindung bringen.

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wären in einzelnen Fällen weitergehende oder ergänzende Metallanalysen, Gefügeuntersuchungen und besonders Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop wünschenswert, um die auf einfachem optischem Wege ermittelten Interpretationen zu überprüfen, zu festigen und zu erweitern.

Auch wenn sich während des letzten Jahrhunderts innerhalb der archäologischen Forschung doch vieles in der Methodik verändert hat, in den letzten Jahren nicht zuletzt angeregt durch die Anwendung moderner naturwissenschaftlicher Verfahren und der experimentellen Archäologie sowie das stärker auf die Öffentlichkeitsarbeit ausgerichtete "Living History", ist

eine von H. Mötefindt (1916, 189) geäußerte, trivial erscheinende Schlussbemerkung immer noch so aktuell, dass sie hier als Schlusswort aufgegriffen werden soll:

"Wir schliessen mit dem Wunsche, dass die vorstehende Arbeit die Archäologen zum häufigeren Besuch der Werkstätten, die Techniker zum regeren Besuch unserer Museen veranlassen möge, und mit der Zuversicht, dass beide reiche Früchte pflücken mögen, und weiter, dass die vorliegenden Untersuchungen an vielen Stellen, besonders in unseren Museen, zur Nachprüfung und somit zur möglichst tief eindringenden Sachforschung an den Fundstücken Veranlassung geben."

10. Literaturverzeichnis

- Agricola:** G. Agricola, *De re metallica libri XII* (1556). Übers. u. bearb. von C. Schiffner u. a. (1928). Nachdruck der dritten Auflage 1961 (München 1977).
- Allen 1974:** D. F. Allen, *The Philippus in Switzerland and the Rhineland*. Schweizerische Numismat. Rundschau 53, 1974, 42-74.
- Alt u. a. 2005:** K. W. Alt, P. Jud, F. Müller, N. Nicklisch, A. Uerpmann u. W. Vach, *Biologische Verwandtschaft und soziale Struktur im latènezeitlichen Gräberfeld von Münsingen-Rain*. Jahrb. RGZM 52, 2005, 157-210.
- d'Ambrosio u. De Carolis 1997:** A. d'Ambrosio u. E. De Carolis, *I monili dall'area vesuviana* (Rom 1997).
- Ambroz 1966:** A. K. Ambroz, *Fibuly juga evropejskoj časti SSSR, II v. do. n. e IV v. n. e.* [Fibeln aus dem südlichen europäischen Teil der UdSSR, 2. Jh. v. - 4. Jh. n. Chr.]. Arch. SSSR D1-30 (1966).
- Andersson 1995:** K. Andersson, *Romartida guldsmide i Norden III. Övriga smycken, teknisk analys och verkstadsgrupper* (Uppsala 1995).
- Anheuser 1999:** K. Anheuser, *Im Feuer vergoldet. Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung*. AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik Bd. 4 (Stuttgart 1999).
- Anth. Gr.:** *Anthologia Graeca, Griechisch-Deutsch*. Hrsg. von H. Beckby (München 1965²).
- Armbruster 1995a:** B. R. Armbruster, *Funktionale Analogien als Quellen für die experimentelle Archäologie - Metalltechniken und Werkstätten aus Westafrika*. In: *Experimentelle Archäologie Bilanz 1994*. Arch. Mitt. Nordwestdeutschland Beiheft 8 (Oldenburg 1995) 347-361.
- Armbruster 1995b:** B. R. Armbruster, *Traditionelles Goldschmiedehandwerk in Westafrika und bronzezeitliche Metallverarbeitung in Europa. Beiträge zur allgemeinen und vergleichenden Archäologie* 15, 1995, 111-201.
- Armbruster 2000:** B. R. Armbruster, *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik. Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel*. Monographies Instrumentum 15 (Montagnac 2000).
- Armbruster 2001:** B. R. Armbruster, *Stichwort "Metallguß"*. In: *RGA II*, 19, 622-642.
- Armbruster 2002:** B. R. Armbruster, *Goldschmiede in Haithabu - Ein Beitrag zum frühmittelalterlichen Metallhandwerk*. In: K. Schietzel (Hrsg.), *Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu* 24 (Neumünster 2002) 85-198.
- Baatz u. Herrmann 1989:** D. Baatz u. F.-R. Herrmann (Hrsg.), *Die Römer in Hessen* (Stuttgart 1989²).
- Bach 1902:** M. Bach, *Fundchronik 1902 - Wilsingen*. Fundber. Schwaben 10, 1902, 6.
- Bachmann 1977:** H.-G. Bachmann, *Bleiglätte-Fund aus der Nordeifel. Ein Hinweis auf Silbergewinnung in der römischen Rheinzone*. Bonner Jahrb. 177, 1977, 617-622.
- Bachmann 1991:** H.-G. Bachmann, *Archäometallurgie des Silbers*. Die Geowissenschaften 9, 1991, 12-17.

- Bachmann 1993a:** H.-G. Bachmann, Zur frühen Blei- und Silbergewinnung in Europa. In: Steuer u. Zimmermann 1993a, 29-36.
- Bachmann 1993b:** H.-G. Bachmann, Vom Erz zum Metall - Die chemischen Prozesse im Schaubild. In: Steuer u. Zimmermann 1993b, 35-40.
- Bachmann 1993c:** H.-G. Bachmann, Analyse ausgewählter Metallartefakte. In: H.-J. Kellner u. G. Zahlhaas, Der römische Tempelschatz von Weißenburg i. Bay. (Mainz 1993) 147-159.
- Bachmann u. Hammer 2003:** H.-G. Bachmann u. P. Hammer, Vergleichende metallanalytische Untersuchungen an römischen Denaren aus der 2. Hälfte des 2. Jahrhunderts n. Chr. In: K. Strižny, Funktionsanalyse barbarisierter, barbarischer Denare mittels numismatischer und metallurgischer Methoden. SFMA 18, 2003, 107-147.
- Baratte 1988:** F. Baratte (Hrsg.), Argenterie Romaine et Byzantine. Actes de la Table Ronde Paris 11-13 octobre 1983 (Paris 1988).
- Baumeister 2004:** M. Baumeister, Metallrecycling in der Frühgeschichte. Untersuchungen zur technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rolle sekundärer Metallverwertung im 1. Jahrtausend n. Chr. Würzburger Arbeiten zur Prähistorischen Archäologie 3 (Rahden/Westf. 2004).
- Baumer u. Koller 2003:** U. Baumer u. J. Koller, Das Kultbäumchen von Manching. Untersuchung des prähistorischen Klebstoffs der Vergoldung (Teil II). VDR Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut H. 1, 2003, 80-84).
- Beck u. Barrandon 1993:** L. Beck u. J.-N. Barrandon, Analyse par PIXE du trésor d'Eauze et de certains bijoux monétaires: alliage utilisé et composition des soudures. In: Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens [Symposium Saint-Germain-en-Laye 1991] Antiquités Nationales Mémoire 2 (Saint-Germain-en-Laye 1993) 73-76.
- Beck u. Biel 1974:** A. Beck u. J. Biel, Untersuchungen in einer Grabhügelgruppe bei Wilsingen, Kreis Münsingen. Fundber. Baden-Württemberg 1, 1974, 180-204.
- Becker u. a. 2003:** M. Becker, M. Füting, P. Hammer u. U. Sieblist, Reine Diffusionsbindung. Rekonstruktion einer antiken Vergoldungstechnik und ihrer Anwendungsbereiche im damaligen Metallhandwerk. Jahresschr. Mitteldeutsche Vorgesch. 86, 2003, 167-190.
- Becker u. a. 2005:** M. Becker, H.-J. Döhle, M. Hellmund, R. Leineweber u. R. Schafberg, Nach dem großen Brand. Verbrennung auf dem Scheiterhaufen - ein interdisziplinärer Ansatz. Ber. RGK 86, 2005, 61-195.
- Benadík u. a. 1957:** B. Benadík, E. Vlček u. C. Ambros, Keltské pohrebiská na juhozápadnom Slovensku. Keltische Gräberfelder der Südwestslowakei (Bratislava 1957).
- Benea u. Petrovsky 1987:** D. Benea u. R. Petrovsky, Werkstätten zur Metallverarbeitung in Tibiscum im 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. Germania 65, 1987, 226-239.
- Bergonzi 1995:** G. Bergonzi, La Tène Gold and Silver in Italy: A Review of the Archaeological Evidence. In: Morteani u. Northover 1995, 561-576.
- Bernard 2005a:** L. Bernard, L'oppidum du Verduron (Commune de Marseille). L'Archéologue 79, 2005, 23-26.
- Bernard 2005b:** L. Bernard, Le Verduron. In: Marseille et ses alentours. Carte Archéologique de la Gaule 13/3, 2005, 733-739.

- Bernhard u. a. 1990:** H. Bernhard, H.-J. Engels, R. Engels u. R. Petrovsky, Der römische Schatzfund von Hagenbach (Mainz 1990).
- Bill 1981:** J. Bill, Die latènezeitlichen Gräber von Horgen. Zeitschr. Schweiz. Arch. u. Kunstgesch. 38, 1981, 173-177.
- Binggeli 2003:** M. Binggeli, Sonne und Filigran - Beobachtungen zur Herstellung des Goldgehänges von Jegenstorf. Arch. d. Schweiz 26, 2003, 34-36.
- Bittel 1934:** K. Bittel, Die Kelten in Württemberg. Röm.-Germ. Forsch. 8 (Berlin - Leipzig 1934).
- Blumer u. Knaut 1991:** R.-D. Blumer u. M. Knaut, Zum Edelmetallguß in Ossa-Sepia-Formen im Frühmittelalter. Fundber. Baden-Württemberg 16, 1991, 545-553.
- Böhme 1972:** A. Böhme, Die Fibeln der Kastelle Saalburg und Zugmantel. Saalburg-Jahrb. 29, 1972, 5-112.
- Böhme 1974:** A. Böhme, Schmuck der römischen Frau. Kleine Schriften zur Kenntnis der römischen Besetzungsgeschichte Südwestdeutschlands 11 (Stuttgart 1974).
- Böhme 1985:** A. Böhme, Aus einem Schmuckkästchen: Der Schatzfund von Wiggensbach. In: Bayer. Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Die Römer in Schwaben [Kat. Ausstellung Augsburg 1985]. Arbeitshefte des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege 27 (München 1985), 243-245.
- Böhme-Schönberger 1997:** A. Böhme-Schönberger, Kleidung und Schmuck in Rom und den Provinzen. Schriften des Limesmuseums Aalen 50 (Stuttgart 1997).
- Böhme-Schönberger 1998:** A. Böhme-Schönberger, Das Grab eines vornehmen Kriegers der Spätlatènezeit aus Badenheim. Neue Forschungen zu den Schwertscheiden mit *opus interrabile*-Zierblechen. Germania 76, 1998, 217-256.
- de Bonstetten 1855:** G. de Bonstetten, Recueil d'Antiquités Suisses (Berne - Paris - Leipzig 1855).
- Boos u. a. 2000:** A. Boos, L.-M. Dallmeier u. B. Overbeck, Der römische Schatz von Regensburg-Kumpfmühl (Regensburg 2000).
- Born 1989:** H. Born, Antike Bohrung in Metall. Acta Praehist. et Arch. 21, 1989, 117-130.
- Braun-Feldweg 1968:** W. Braun-Feldweg, Metall. Werkformen und Arbeitsweisen (Ravensburg 1968²).
- Brenot 1982:** C. Brenot, Nouvelles recherches sur le monnayage d'argent de Marseille du I^{er} au I^{er} siècle av. J.-C. T. Hackens u. R. Weiller (Hrsg.), Actes du 9^{ème} Congrès International de Numismatique. Berne, Septembre 1979 (Louvain-La-Neuve - Luxembourg 1982) 186-197.
- Brenot 1996:** C. Brenot, Monnaies Massaliètes. In: C. Brenot u. S. Scheers, Les Monnaies Massaliètes et les Monnaies Celtiques [Catalogue Musée des Beaux-Arts de Lyon] (Leuven 1996) 1-48.
- Brepohl 1999:** E. Brepohl, Theophilus Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk: Gesamtausgabe der Schrift de diversis artibus in zwei Bänden. Bd. 2 Goldschmiedekunst (Köln 1999).
- Brepohl 2000:** E. Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmieds (München - Wien 2000¹⁴).

- Brepohl 2005:** E. Brepohl (Hrsg.), Benvenuto Cellini - Traktate über die Goldschmiedekunst und die Bildhauerei. Auf der Grundlage der Übersetzung von Ruth und Max Fröhlich (Köln 2005).
- Bühler 2000:** B. Bühler, Der Scharnierbeschlag von Weiden am See und die Drahtherstellung im Frühmittelalter. In: F. Daim (Hrsg.), Die Awaren am Rand der byzantinischen Welt. Monographien zur Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie 7 (Innsbruck 2000) 205-248.
- Bühler 2003:** B. Bühler, Technological Aspects of the "Fuchsenhof hoard" (silver jewellery, late thirteenth century AD, Upper Austria). In: AIM (Hrsg.), Archeometallurgy in Europe [Internat. Conference Milan 14.-16. Sept. 2003] Proceedings Vol. 1 (Milano 2003) 401-410.
- Bühler 2004a:** B. Bühler, Feinschmiedetechnische Untersuchungen auf der Oberfläche der Schmuckstücke aus dem Schatzfund. In: B. Prokisch u. Th. Kühtreiber (Hrsg.), Der Schatzfund von Fuchsenhof. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich Folge 15 (Linz 2004) 375-414.
- Bühler 2004b:** B. Bühler, Metallurgie und Technologie. Synthese. In: B. Prokisch u. Th. Kühtreiber (Hrsg.), Der Schatzfund von Fuchsenhof. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich Folge 15 (Linz 2004) 415-423.
- Bühler u. a. 2008:** B. Bühler, J. V. S. Megaw, M. R. Megaw u. P. C. Ramsel, Grab 115 des latènezeitlichen Gräberfeldes von Mannersdorf am Leithagebirge (Niederösterreich): Typologische, technologische und stilistische Studien zu den beiden Goldarmreifen. *Germania* 86, 2008, 103-134.
- Burkhardt 1994:** A. Burkhardt, Die numismatischen Untersuchungsmethoden der keltischen Münzen Ostgalliens. In: Burkhardt u. a. 1994, 45-78.
- Burkhardt 1998:** A. Burkhardt, Quantitative Methoden zur keltischen Numismatik am Beispiel der Münzfunde aus latènezeitlichen Siedlungen der Oberrheinregion (Bern 1998).
- Burkhardt 2003a:** A. Burkhardt, Metallanalytische und numismatische Untersuchungen. In: Burkhardt u. a. 2003, 307-344.
- Burkhardt 2003b:** A. Burkhardt, Produktion der Münzen und Lokalisierung der Münzstätten. In: Burkhardt u. a. 2003, 353 - 357.
- Burkhardt 2003c:** A. Burkhardt, Numismatisch-analytische ED-XRF Datentabellen. In: Burkhardt u. a. 2003, 368-387.
- Burkhardt 2008:** A. Burkhardt, Keltische Münzen der Schweiz. *Helvetia Archaeologica* 39, 2008, 78-172.
- Burkhardt u. a. 1994:** A. Burkhardt, W. B. Stern u. G. Helmig, Keltische Münzen aus Basel. Numismatische Untersuchungen und Metallanalysen. *Antiqua* 25 (Basel 1994).
- Burkhardt u. a. 2003:** A. Burkhardt, H.-G. Bachmann, R. Dehn u. W. B. Stern, Keltische Münzen aus latènezeitlichen Siedlungen des Breisgaus. Numismatische, geochemische und archäometallurgische Untersuchungen. *Fundber. Baden-Württemberg* 27, 2003, 281-439.
- Burkhardt u. Wendling 2005:** A. Burkhardt u. H. Wendling, Handwerk und Wirtschaft. In: A. Bräuning, A. Burkhardt, R. Dehn, E. Deschler-Erb, S. Dornheim, A. Hagendorn, Ch. Huth, M. Nick, N. Spichtig, H. Wendling u. J.-J. Wolf, Kelten an Hoch- und Oberrhein. Führer zu arch. Denkmälern Baden-Württemberg 24 (Esslingen 2005) 25-34.

- Carducci 1962:** C. Carducci, Gold- und Silberschmuck aus dem antiken Italien (Wien - München 1962).
- Chabot 2004:** L. Chabot, L'oppidum de La Cloche (Les Pennes-Mirabeau, Bouches-du-Rhône). Protohistoire européenne 7 (Montagnac 2004).
- Charpy u. Chossenot 1989:** J.-J. Charpy u. M. Chossenot, Les cimetières gaulois de Saint-Memmie (Marne). I - "Le Chemin des Dats". II - "La rue du Ponts-Alips". Mém. Soc. Agriculture, Commerce, Sciences et Arts Marne 104, 1989, 7-53.
- Chausserie-Laprée 2000:** J. Chausserie-Laprée (Hrsg.), Le temps des Gaulois en Provence [Kat. Musée Ziem 2000] (Martigues 2000).
- Chieco Bianchi 1987:** A. M. Chieco Bianchi, Dati preliminari su nuove tombe di III secolo da Este. In: D. Vitali (Hrsg.), Celti ed Etruschi nell'Italia centro-settentrionale dal V secolo a. C. alla romanizzazione (Bologna 1987) 191-204.
- Cope 1972:** L. H. Cope, Surface-silvered Ancient Coins. In: E. T. Hall u. D. M. Metcalf (Hrsg.), Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage (London 1972) 261-278.
- Creyaufmüller 1983:** W. Creyaufmüller, Nomadenkultur in der Westsahara. Die materielle Kultur der Mauren, ihre handwerklichen Techniken und ornamentalen Grundstrukturen (Hallein - Stuttgart 1983).
- Cristofani u. Martelli 1983:** M. Cristofani u. M. Martelli, L'oro degli Etruschi (Novara 1983).
- Curdy u. Guénette-Beck 2001:** Ph. Curdy u. B. Guénette-Beck, Les Alpes, les Celtes et L'argent. A propos d'un Bracelet à Godrons de Sierre. In: L'archéologie en 83 Trouvailles [Kat. Ausstellung Lausanne-Vidy 2001] (Lausanne 2001) 46-47.
- Czyz u. a. 1995:** W. Czyz, K. Dietz, Th. Fischer u. H.-J. Kellner, Die Römer in Bayern (Stuttgart 1995).
- Dallmeier 1990:** L.-M. Dallmeier, Ein römischer Hortfund aus Regensburg-Kumpfmühl. Arch. Jahr in Bayern 1989 (Stuttgart 1990), 120-122.
- Dannheimer u. Gebhard 1993:** H. Dannheimer u. R. Gebhard (Hrsg.), Das keltische Jahrtausend. Katalog zur Landesausstellung des Freistaates Bayern und der Stadt Rosenheim vom 19. Mai - 1. November 1993 in Rosenheim. Ausstellungskataloge der Prähistorischen Staatssammlung 23 (Mainz 1993).
- Dehn u. a. 2005:** R. Dehn, M. Egg u. R. Lehnert, Das hallstattzeitliche Fürstengrab im Hügel 3 von Kappel am Rhein in Baden. Monograph. RGZM 63 (Mainz 2005).
- Dembski 1992:** G. Dembski, Der Schatzfund von Lauterach - endlich datiert. In: H. Swozilek u. G. Grabher (Hrsg.), Archäologie in Gebirgen. Schriften des Vorarlberger Landesmuseums Reihe A, Bd. 5 (Bregenz 1992), 175-176.
- Demetz 1999:** S. Demetz, Fibeln der Spätlatène- und frühen römischen Kaiserzeit in den Alpenländern. Frühgeschichtliche und provinzialrömische Archäologie 4 (Rahden/Westf. 1999).
- Deppert-Lippitz 1985:** B. Deppert-Lippitz, Goldschmuck der Römerzeit im Römisch-Germanischen Zentralmuseum. Kataloge vor- und frühgeschichtl. Altertümer 23 (Bonn 1985).
- Diebeners Handbuch 1929:** Diebeners Handbuch des Goldschmieds. Ein Werkstattbuch für die Praxis (Leipzig 1929).

- Diosk. mat. med.:** Dioskurides, De materia medica. Pedanii Dioscuridis Anazarbei De Materia Medica Libri Quinque. Hrsg. von M. Wellmann (Berlin 1958) sowie Des Pedanios Dioskurides aus Anazarbos Arzneimittellehre in fünf Büchern. Übers. von J. Berendes (Stuttgart 1902). Neudruck der Ausgabe 1902 (Vaduz 1987).
- Dostal 1972:** W. Dostal, Arabien Hadramaut - Silber-Bearbeitung. Angaben zum Film E 1346 des Instituts für den wissenschaftlichen Film (Göttingen 1972).
- Drack 1992:** W. Drack, Das Herrenhaus des römischen Gutshofes Kloten-Aalbühl. In: H. Swozilek u. G. Grabher (Hrsg.), Archäologie in Gebirgen. Schriften des Vorarlberger Landesmuseums Reihe A, Bd. 5 (Bregenz 1992), 151-164.
- Drescher 1955:** H. Drescher, Die Herstellung von Fibelspiralen. Germania 33, 1955, 340-349.
- Drescher 1957:** H. Drescher, Die Technik der germanischen Rollenkappenfibeln. Germania 35, 1957, 80-95.
- Drescher 1958:** H. Drescher, Der Überfangguß. Ein Beitrag zur Geschichte der Metalltechnik (Mainz 1958).
- Drescher 1959:** H. Drescher, Untersuchungen zur römischen Löttechnik. In: Technische Beiträge zur Archäologie 1 (Mainz 1959) 65-77.
- Drescher 1966:** H. Drescher, Arbeitsversuche mit dem Pressblechmodel aus dem Römischen Museum Augsburg. Anhang I in: G. Ulbert, Ein Pressblechmodel aus dem Römischen Museum Augsburg. Jahrb. RGZM 13, 1966, 208-210.
- Drescher 1973:** H. Drescher, Der Guß von Kleingerät, dargestellt an Funden aus provinziäl-römischen Werkstätten. Early Medieval Studies 6 = Antikvariskt Arkiv 53 (Stockholm 1973) 48-62.
- Drescher 1978a:** H. Drescher, Stichwort "Blech und Blechschere". In: RGA II, 3, 1978, 63-72.
- Drescher 1978b:** H. Drescher, Stichwort "Bohrer". In: RGA II, 3, 1978, 189-203.
- Drescher 1984:** H. Drescher, Zur Metallverarbeitung auf der Heuneburg. In: S. Sievers, Die Kleinfunde der Heuneburg. Die Funde aus den Grabungen von 1950 - 1979. Heuneburgstudien 5 = Röm.-Germ. Forsch. 42 (Mainz 1984) 96-104.
- Drescher 1986a:** H. Drescher, Stichwort "Draht". In: RGA II, 6, 1986, 141-152.
- Drescher 1986b:** H. Drescher, Stichwort "Drehbank und Drechslerei". In: RGA II, 6, 1986, 158-171.
- Drescher 1995:** H. Drescher, Die Verarbeitung von Buntmetall auf der Heuneburg. In: E. Gersbach, Baubefunde der Perioden IVc - IVa der Heuneburg. Heuneburgstudien 9 = Röm.-Germ. Forsch. 53 (Mainz 1995) 255-364.
- Drexel 1927:** F. Drexel, Der Schatzfund von Wiggensbach im Allgäu. Das Schwäbische Museum. Zeitschrift für Kultur, Kunst und Geschichte Schwabens 1927, 33-42.
- Duczko 1985:** W. Duczko, The Filigree and Granulation Work of the Viking Period. An Analysis of the material from Björkö. Birka 5 (Stockholm 1985).
- Dunning u. Evans 1986:** F. W. Dunning u. A. M. Evans (Hrsg.), Mineral Deposits of Europe. Vol. 3: Central Europe (London 1986).
- Duval u. a. 1989:** A. R. Duval, C. Eluère u. L. P. Hurtel, Joining techniques in ancient gold jewellery. Jewellery Studies 3, 1989, 5-14.

- Echt u. Thiele 1987:** R. Echt u. W.-R. Thiele, Etruskischer Goldschmuck mit gelöteter und gesinterter Granulation. Arch. Korrb. 17, 1987, 213-222.
- Echt u. Thiele 1994:** R. Echt u. W.-R. Thiele, Von Wallerfangen bis Waldalgesheim. Ein Beitrag zu späthallstattzeitlichen und frühlatènezeitlichen Goldschmiedetechniken. Saarbrücker Studien und Materialien zur Altertumskunde 3 (Bonn 1994).
- Echt u. Thiele 1995:** R. Echt u. W.-R. Thiele, Sintering, Welding, Brazing and Soldering as Bonding Techniques in Etruscan and Celtic Goldsmithing. In: Morteaux u. Northover 1995, 435-451.
- Eichhorn 1987:** P. Eichhorn, Neue technische Untersuchungen am Ring von Trichtingen. Fundber. Baden-Württemberg 12, 1987, 213-225.
- Eilbracht 1999:** H. Eilbracht, Filigran- und Granulationskunst im wikingschen Norden. Untersuchungen zum Transfer frühmittelalterlicher Gold- und Silberschmiedetechniken zwischen dem Kontinent und Nordeuropa. Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters Beiheft 11 (Köln 1999).
- Elliott 1965:** R. P. Elliott, Constitution of Binary Alloys, First Supplement (New York - St. Louis - San Francisco - Toronto - London - Sydney 1965).
- Eluère 1987:** Ch. Eluère, Das Gold der Kelten (München 1987).
- Eluère 1989:** Ch. Eluère, A 'Gold Connection' between the Etruscans and Early Celts? Gold Bulletin 22, 1989, 48-55.
- Eluère u. a. 1989:** Ch. Eluère, F. Drilhon, H. Duday u. A.-R. Duval, L'or et l'argent de la tombe de Vix. Bull. Soc. Préhist. Française 86, 1989, 11-32.
- Eluère 1991:** Ch. Eluère, The Celts and their Gold: Origins, Production and Social Role. In: Moscati u. a. 1991, 349-355.
- van Endert 1991:** D. van Endert, Die Bronzefunde aus dem Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen in Manching 13 (Stuttgart 1991).
- Epprecht u. Mutz 1974/75:** W. Epprecht und A. Mutz, Gezogener römischer Draht. Jahrb. SGUF 58, 1974/75, 157-161.
- Étienne 1991:** R. Étienne, Pompeji, die eingeäscherte Stadt (Ravensburg 1991).
- Ettlinger 1973:** E. Ettlinger, Die römischen Fibeln in der Schweiz (Bern 1973).
- Ewald 2003:** J. Ewald, Herstellungstechnik. In: M. A. Guggisberg (Hrsg.), Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst. Die neuen Funde. Silber im Spannungsfeld von Geschichte, Politik und Gesellschaft in der Spätantike. Forsch. Augst 34 (Augst 2003) 185-192.
- Faber 1994:** A. Faber, Das römische Auxiliarkastell und der Vicus von Regensburg-Kumpfmühl. Münchner Beitr. Vor- und Frühgesch. 49 (München 1994).
- Facsády 1994:** A. R. Facsády, Trésors de Pannonie du 2^e siècle. In: Akten der 10. Internationalen Tagung über antike Bronzen Freiburg 1988. Forsch. u. Ber. zur Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 45 (Stuttgart 1994) 141-146.
- Fecht u. a. 2002:** M. Fecht, S. Greiff u. U. Herz, Untersuchungen zu antiken Herstellungstechniken am Beispiel eines griechischen Goldmedaillons. Jahrb. RGZM 47, 2000 (2002), Teil 1, 337-353.
- Feldhaus 1965:** F. M. Feldhaus, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. Ein Lexikon (München 1965²).

- Ferro 2003:** D. Ferro, Characterization of a gold double loop-in-loop chain, from National Museum of Archaeology, Malta, obtained with SEM, mod. LEO 1450VP, EDS microanalysis mod.INCA300. In: Associazione Italiana di Metallurgia (Hrsg.), Archaeometallurgy in Europe. Proceedings Vol. 2 (Milano 2003), 621.
- Feugère 1988:** M. Feugère, Anse en Argent du 1^{er} S. de Notre Ère découverte sur L'oppidum D'Ambrussum. In: Baratte 1988, 57-62.
- Filgis u. Pietsch 1986:** M. N. Filgis u. M. Pietsch, Fundschau Römische Zeit: Bad Wimpfen (Kreis Heilbronn). Fundber. Baden-Württemberg 10, 1985 (1986) 527-541.
- Fischer 1981:** F. Fischer, Sinsheim-Dühren. In: K. Bittel, W. Kimmig u. S. Schiek (Hrsg.), Die Kelten in Baden-Württemberg (Stuttgart 1981).
- Fischer 1991:** F. Fischer, Kleinaspergle near Asperg. In: Moscati u. a. 1991, 178-179.
- Fischer 2001:** Th. Fischer (Hrsg.), Die römischen Provinzen. Eine Einführung in ihre Archäologie (Stuttgart 2001).
- Fisher 1984:** A. Fisher, Afrika im Schmuck (Köln 1984).
- Fleischer u. Teegen 2004:** F. Fleischer u. W.-R. Teegen, Ein Goldprobierstein von der Pâtur du Couvent, Bibracte - Mont Beuvray. In: F. Fleischer u. W.-R. Teegen (Hrsg.), Miscellen zur Eisen- und Römerzeit für Prof. Dr. Sabine Rieckhoff von ihren Mitarbeitern und Schülern. Zusammenfassungen der Poster. Leipziger online-Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 15 (Leipzig 2004) 4-5.
- Flügel 2000:** Ch. Flügel, Bronze- und Edelmetallbearbeitung. In: Wamser u. a. 2000, 124-128.
- Flügel u. a. 2000:** Ch. Flügel, Th. Schmidts u. B. Ziehaus, Katalog der Ausstellung. In: Wamser u. a. 2000, 311-441.
- FMRD:** Die Fundmünzen der römischen Zeit in Deutschland. I,1 Oberbayern (1960), I,3 Oberpfalz (1978), II,3 Südwürttemberg Hohenzollern (1964).
- Foltz 1979:** E. Foltz, Einige Beobachtungen zu antiken Gold- und Silberschmiedetechniken. Arch. Korrb. 9, 1979, 213-222.
- Foltz 1980:** E. Foltz, Guss in verlorener Form mit Bleimodellen? Arch. Korrb. 10, 1980, 345-349.
- Foltz 1981:** E. Foltz, Antike Goldschmiedetechniken und ihre Erkennung. Arbeitsblätter für Restauratoren Heft 2, 1981, Gruppe 3, 50-63.
- Foltz 1984:** E. Foltz, Untersuchungen zur Herstellung der Silberobjekte. Mit einem Anhang von Ch. J. Raub. In: H. A. Cahn u. A. Kaufmann-Heinimann, Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst (Derendingen 1984) 361-374.
- Foltz 1989:** E. Foltz, Die Herstellung von Golddraht im Frühen Mittelalter. Arbeitsblätter für Restauratoren Heft 2, 1989, Gruppe 3, 99-106.
- Formigli 1983:** E. Formigli, Appendice Tecnica. In: Cristofani u. Martelli 1983, 321-333.
- Formigli 1985:** E. Formigli, Tecniche dell'oreficeria Etrusca e Romana. Originali e falsificazioni (Firenze 1985).
- Formigli 1993:** E. Formigli, Sulla tecnica di costruzione dei fili d'oro nell'oreficeria etrusca. In: Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens [Symposium Saint-Germain-en-Laye 1991] Antiquités Nationales Mémoire 2 (Saint-Germain-en-Laye 1993) 35-38.

- Formigli u. Heilmeyer 1990:** E. Formigli u. W.-D. Heilmeyer, Tarentiner Goldschmuck in Berlin. Winckelmannsprogramm der Archäologischen Gesellschaft zu Berlin 130/131 (Berlin 1990).
- Frey 1991:** O.-H. Frey, Einige Bemerkungen zu den durchbrochenen Frühlatènegürtelhaken. In: A. Haffner u. A. Miron, Studien zur Eisenzeit im Hunsrück-Nahe-Raum [Symposium Birkenfeld 1987] Trierer Zeitschr. Beiheft 13 (Trier 1991) 101-111.
- Furger-Gunti 1977:** A. Furger-Gunti, Zur Herstellungstechnik der Nauheimerfibel. In: L. Berger, G. Bienz, J. Ewald u. M. Joos (Hrsg.), Festschrift E. Schmid zu ihrem 65. Geburtstag. Regio Basiliensis 18 (Basel 1977) 73-84.
- Furger-Gunti 1982:** A. Furger-Gunti, Der "Goldfund von Saint-Louis" bei Basel und ähnliche keltische Schatzfunde. ZAK 39, 1982, 1-47.
- Furger u. Müller 1991:** A. Furger u. F. Müller (Hrsg.), Gold der Helvetier - Keltische Kostbarkeiten aus der Schweiz [Kat. Ausstellung Zürich 1991] (Zürich 1991).
- Furger u. Riederer 1995:** A. R. Furger u. J. Riederer, *Aes* und *aurichalcum*. Empirische Beurteilungskriterien für Kupferlegierungen und metallanalytische Untersuchungen an Halbfabrikaten und Abfällen aus metallverarbeitenden Werkstätten in Augusta Raurica. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 16, 1995, 115-180.
- Furtwängler 1993:** A. Furtwängler, Massalia im 5. Jahrhundert v. Chr.: Tradition und Neuorientierung. Ein Überblick über die städtischen Emissionen im Lichte neuer Funde. Études offertes à Jean Schaub. Blesa 1 (Metz 1993) 431-448.
- Gairhos 2008:** S. Gairhos, Stadtmauer und Tempelbezirk von Sumelocenna. Die Ausgrabungen 1995 - 99 in Rottenburg am Neckar, Flur "Am Burggraben". Forsch. u. Ber. Vor- und Frühgesch. Baden-Württemberg 104 (2008).
- Gaitzsch 1978:** W. Gaitzsch, Römische Werkzeuge. Kleine Schriften zur römischen Besetzungsgeschichte Südwestdeutschlands (Stuttgart 1978).
- Gaitzsch 1980:** W. Gaitzsch, Eiserne römische Werkzeuge. BAR Int. Ser. 78 (Oxford 1980).
- Gaitzsch 1985:** W. Gaitzsch, Werkzeuge und Geräte in der römischen Kaiserzeit. Eine Übersicht. In: H. Temporini u. W. Haase (Hrsg.), Aufstieg und Niedergang der römischen Welt. Geschichte und Kultur Roms im Spiegel der neueren Forschung II (Berlin - New York 1985) 171-204.
- Garbsch 1965:** J. Garbsch, Die norisch-pannonische Frauentracht im 1. und 2. Jahrhundert. Münchner Beitr. Vor- und Frühgesch. 11 (München 1965).
- Garbsch 1985:** J. Garbsch, Die norisch-pannonische Tracht. In: H. Temporini u. W. Haase (Hrsg.), Aufstieg und Niedergang der römischen Welt: Geschichte und Kultur Roms im Spiegel der neueren Forschung II (Berlin - New York 1985) 546-577.
- Garbsch 1991:** J. Garbsch, Ein kleiner Schatzfund von Waging am See, Ldkr. Traunstein, Obb. Mitt. d. Freunde d. Bayer. Vor- u. Frühgesch. 63, 1991 (URL: <http://www.archaeologie-bayern.de/mitt.>).
- Gardi 1969:** R. Gardi, Unter afrikanischen Handwerkern (Bern 1969).
- Garscha u. Dauber 1951:** F. Garscha u. A. Dauber, Fundschau Singen (Pforzheim), Ortsetter. Bad. Fundber. 19, 1951, 173-174.
- Gassmann u. a. 2006:** G. Gassmann, M. Rösch u. G. Wieland, Das Neuenburger Erzrevier im Nordschwarzwald als Wirtschaftsraum während der Späthallstatt- und Frühlatènezeit. Germania 84, 2006, 273-306.

- Gebhard 1991a:** R. Gebhard, Aus der Werkstatt eines antiken Feinschmiedes - Zum Depotfund von Ošanići bei Stolac in Jugoslawien. ZAK 48, 1991, 2-11.
- Gebhard 1991b:** R. Gebhard, Die Fibeln aus dem Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen in Manching 14 (Stuttgart 1991).
- Gebhard 1995:** R. Gebhard, Industry in Celtic Oppida - Aspects of High Temperature Processes. In: Morteani u. Northover 1995, 261-272.
- Gebhard u. a. 1995:** R. Gebhard, G. Lehrberger, G. Morteani, Ch. Raub, F. E. Wagner u. U. Wagner, Coin Moulds and Other Ceramic Material: A Key to Celtic Precious Metal Working. In: Morteani u. Northover 1995, 273-301.
- Gleirscher 1987:** P. Gleirscher, Tiroler Schüssel- und Palmettenfibeln. Archäologisches zur Frage der Eroberung der Alpen durch die Römer. Germania 65, 1987, 67-88.
- Gleirscher 2006:** P. Gleirscher, Zum Nachweis römischer Almhütten am Dachsteinplateau und in den Steiner Alpen (Kamniške Alpe). In: F. Mandl (Hrsg.), Alpen. [Festschrift 25 Jahre ANISA Verein für alpine Forschung] (Haus i. E. 2006) 23-29.
- Goldenberg 2003:** G. Goldenberg, (Ur- und) frühgeschichtlicher Bergbau im südlichen Schwarzwald und in der südlichen Oberrheinregion. Freiburger Universitätsblätter 159, 2003, 181-198.
- Grabher 1997:** Tesoretto di argenti. Da Lauterach. In: L. Endrizzi u. F. Marzatico (Hrsg.), Ori delle Alpi [Kat. Ausstellung Trient 1997]. Quaderni della Sezione Archeologica, Castello del Buonconsiglio 6 (Trient 1997) 282.
- Grabher 2002:** G. Grabher, Der Lauteracher Schatzfund. In: L. Zemmer-Plank (Hrsg.), Kult der Vorzeit in den Alpen. Opfergaben - Opferplätze - Opferbrauchtum (Bozen 2002), 563-566.
- Gralfs 1994:** B. Gralfs, Metallverarbeitende Werkstätten im Nordwesten des Imperium Romanum. Antiquates 8 (Hamburg 1994).
- Graue 1974:** J. Graue, Die Gräberfelder von Ornavasso. Eine Studie zur Chronologie der späten Latène- und frühen Kaiserzeit. Hamburger Beiträge zur Archäologie Beiheft 1 (Hamburg 1974).
- Guénette-Beck u. a. 2009:** B. Guénette-Beck, N. Meisser u. Ph. Curdy, New insights into the ancient silver production of the Wallis area, Switzerland. Archaeological and Anthropological Sciences 1, 2009, 215-229.
- Guggisberg 1991:** M. Guggisberg, Die Kontakte zwischen der frühkeltischen Schweiz und dem Süden: Eine Bestandesaufnahme. Arch. d. Schweiz 14, 1991, 75-88.
- Guggisberg 2000:** M. A. Guggisberg, Der Goldschatz von Erstfeld. Ein keltischer Bilderzyklus zwischen Mitteleuropa und der Mittelmeerwelt. Antiqua 32 (Basel 2000).
- Guillaumet 1994:** J.-P. Guillaumet, Les fibules de Bibracte. Technique et typologie. Publications du Centre de Recherches sur les Techniques Gréco-Romaines 14 (Dijon 1994).
- Guiraud 1989:** H. Guiraud, Bagues et anneaux à l'époque romaine en Gaule. Gallia 46, 1989, 173-211.
- Guiraud 1993:** H. Guiraud, Les orfèvres en Gaule à l'époque romaine. In: Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens [Symposium Saint-Germain-en-Laye 1991] Antiquités Nationales Mémoire 2 (Saint-Germain-en-Laye 1993) 77-84.

- Gummerus 1918:** H. Gummerus, Die römische Industrie. Wirtschaftsgeschichtliche Untersuchungen. Klio 15, 1918, 256-302.
- Haffner 1984:** A. Haffner, Der Mart- und Hüttenberg bei Pommern/Karden, ein Oppidum im östlichen Treverergebiet. In: Trier - Augustusstadt der Treverer. Stadt und Land in vor- und frühromischer Zeit [Kat. Trier 1984] (Mainz 1984) 106 -111; 262-265.
- Haffner 1995:** A. Haffner (Hrsg.), Heiligtümer und Opferkulte der Kelten (Stuttgart 1995).
- Hammer 1993:** P. Hammer, Metall und Münze (Leipzig - Stuttgart 1993).
- Hammer 1998a:** P. Hammer, Metallkundliche Untersuchungen. In: Voß u. a. 1998, 158-168.
- Hammer 1998b:** P. Hammer, Verfahrenstechnische Untersuchungen. In: Voß u. a. 1998, 179-199.
- Hammer 2001:** P. Hammer, Stichwort "Löten". In: RGA II, 18, 2001, 551 - 556.
- Hammer u. Voß 1998a:** P. Hammer u. H.-U. Voß, Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Anwendung bevorzugter Feinschmiedetechnik. In: Voß u. a. 1998, 292-306.
- Hammer u. Voß 1998b:** P. Hammer u. H.-U. Voß, Glossar metallkundlicher und herstellungstechnischer Fachbegriff - erläutert für antike Handwerkstechnik. In: Voß u. a. 1998, 314-330.
- Hammer u. a. 1998:** P. Hammer, H.-U. Voß u. J. Lutz, Das Material - Die Verwendung von Bunt- und Edelmetallen bei römischen und germanischen Handwerkern. In: Voß u. a. 1998, 276-288.
- Hansen 1958:** M. Hansen, Constitution of Binary Alloys (New York - Toronto - London 1958²).
- Hansen 2003:** L. Hansen, Die Panzerung der Kelten. Eine diachrone und interkulturelle Untersuchung eisenzeitlicher Rüstungen (Kiel 2003).
- Hansen 2007:** L. Hansen, Ein frühlatènezeitliches Goldhalsringfragment von Dornburg-Wilsenroth (Kr. Limburg-Weilburg). Arch. Korrb. 37, 2007, 233-246.
- Hartmann 1970:** A. Hartmann, Prähistorische Goldfunde aus Europa. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 3 (Berlin 1970).
- Haseloff 1989:** G. Haseloff, Stichwort "Email". Begriff - Technik. In: RGA II, 7, 1989, 197-200.
- Hauptmann 2005:** A. Hauptmann, Stichwort "Silber". In: RGA II, 28, 2005, 428-432.
- Hauptmann 2008:** A. Hauptmann, Vom Erz zum Metall - naturwissenschaftliche Untersuchungen innerhalb der Metallurgiekette. In: A. Hauptmann u. V. Pingel (Hrsg.), Archäometrie. Methoden und Anwendungsbeispiele naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäologie (Stuttgart 2008) 125-140.
- Hauptmann u. Weisgerber 2004:** A. Hauptmann u. G. Weisgerber, Die Schmelztiegel von Walheim: Belege für den Guss in der verlorenen Form? In: K. Kortüm u. J. Lauber, Walheim I. Das Kastell II und die nachfolgende Besiedlung. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 95 (Stuttgart 2004) 543-550.
- Heierli u. Oechsli 1896:** J. Heierli u. W. Oechsli, Urgeschichte des Wallis. Mitt. Antiquar. Ges. Zürich 24, 1896, 97-180.
- Heiligmann 2003:** K. Heiligmann, Sumelocenna - Römisches Stadtmuseum Rottenburg am Neckar. Führer zu archäologischen Denkmälern in Baden-Württemberg 18 (Esslingen 2003²).

- Heising 2008:** A. Heising, Die römische Stadtmauer von Mogontiacum - Mainz. Archäologische, historische und numismatische Aspekte zum 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. (Bonn 2008).
- Henkel 1913:** F. Henkel, Die römischen Fingerringe der Rheinlande und der benachbarten Gebiete (Berlin 1913).
- Henning 2004:** J. Henning, Stichwort "Schere". In: RGA II, 27, 2004, 3-5.
- Higgins 1980:** R. Higgins, Greek and Roman Jewellery (Berkeley and Los Angeles 1980²).
- Hildebrandt 1989:** L. Hildebrandt, Der mittelalterliche Blei-Zink-Silber-Bergbau im nordwestlichen Kraichgau südlich von Heidelberg. In: A. Hauptmann, E. Pernicka u. G. A. Wagner (Hrsg.), Archäometallurgie der Alten Welt. Beiträge zum Internationalen Symposium "Old World Archaeometallurgy" Heidelberg 1987. Der Anschnitt, Beiheft 7 (Bochum 1989) 241-246.
- Hodson 1968:** F. R. Hodson, The La Tène Cemetery at Münsingen-Rain. Catalogue and relative Chronology. Acta Bernensia 5 (Bern 1968).
- Hoffmann u. von Claer 1968:** H. Hoffmann u. V. von Claer, Antiker Gold- und Silberschmuck. Katalog mit Untersuchung der Objekte auf technischer Grundlage (Hamburg 1968).
- Hoffmann u. Davidson 1965:** H. Hoffmann u. P. F. Davidson, Greek Gold. Jewelry from the Age of Alexander (Mainz 1965).
- Hofmann 1991:** F. Hofmann, Gold, seine Lagerstätten und seine Gewinnung. In: Furger u. Müller 1991, 35-39.
- Hollstein 2000:** W. Hollstein (Hrsg.), Metallanalytische Untersuchungen an Münzen der Römischen Republik. Berliner Numismat. Forsch. N. F. 6 (Berlin 2000).
- Holsten u. a. 1991:** H. Holsten, M. Lund, A. Moser u. F. Nikulka, Holzkohlegewinnung im Experiment. Experimentelle Archäologie Bilanz 1991. Arch. Mitt. Nordwestdeutschland Beiheft 6 (Oldenburg 1991) 365-391.
- Horedt 1973:** K. Horedt, Die dakischen Silberfunde. Dacia 17, 1973, 127-167.
- Hübener 1973:** W. Hübener, Die römischen Metallfunde von Augsburg-Oberhausen. Materialh. Bayer. Vorgesch. 28 (Kallmünz/Opf. 1973).
- Hughes u. Hall 1979:** M. J. Hughes u. J. A. Hall, X-ray Fluorescence Analysis of Late Roman and Sassanian Silver Plate. Journal of Archaeological Science 6, 1979, 321-344.
- Hughes u. a. 1989:** M. Hughes, J. Lang, S. La Niece u. A. Oddy, Technologie de l'argenterie romaine. In: F. Baratte (Bearb.), Tresors d'orfèvrerie gallo-romains [Kat. Ausstellung Paris - Lyon 1989] (Paris 1989) 21-28.
- Hunt 1976:** L. B. Hunt, The Oldest Metallurgical Handbook. Recipes of a fourth century goldsmith. Gold Bulletin 9/1, 1976, 24-31.
- Jacobi 1974:** G. Jacobi, Werkzeug und Gerät aus dem Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen von Manching 5 (Wiesbaden 1974).
- Jacobi 1979:** G. Jacobi, Drahtzieheisen der Latènezeit. Germania 57, 1979, 111-115.
- Jäggy 1991:** Ch. Jäggy, Gold - Vollkommenes Metall und idealer Werkstoff. In: Furger u. Müller 1991, 41-47.
- Jenny 1881:** S. Jenny, Die Münzfunde von Lauterach. Rechenschaftsbericht des Ausschusses des Vorarlberger Museumsvereins Bregenz 21, 1881, 12-18.

- Jobst 1973:** W. Jobst, Römische Silberfibeln aus Lauriacum. Jahrb. Oberösterreich. Musealverein 118, 1973, 75-88.
- Johns 1997:** C. Johns, The Snettisham Roman Jeweller's Hoard (London 1997).
- Johns u. Potter 1983:** C. Johns u. T. Potter, The Thetford Treasure. Roman Jewellery and Silver (London 1983).
- Jüngst 1981:** H. Jüngst, Wesen und Wandlungen des "Chrysocolla"-Begriffs. Studien zur Geschichte und Technologie antiker und mittelalterlicher Reaktionslote (Frankfurt a. M. 1981).
- Jud 1998:** P. Jud, Untersuchungen zur Struktur des Gräberfeldes von Münsingen-Rain. In: Müller 1998a, 123-144.
- Kaenel 1990:** G. Kaenel, Recherches sur la période de La Tène en Suisse occidentale. Analyse des sépultures. Cahiers d'Archéologie Romande 50 (Lausanne 1990).
- von Kaenel 1981:** H.-M. von Kaenel, Zum Massalia-Obol aus Grab 22. In: Martin-Kilcher 1981, 119-120.
- von Kaenel u. a. 1993:** H.-M. Von Kaenel, H. Brem, J. Th. Elmer, J. Gorecki, B. Hedinger, C. E. King, M. Klee, M. Leuthard, J. P. Northover, J. Rychener u. A. Zürcher, Der Münzhort aus dem Gutshof in Neftenbach. Zürcher Denkmalpflege Archäologische Monographien 16 (Zürich 1993).
- Kalter 1976:** J. Kalter, Schmuck aus Nordafrika (Stuttgart 1976).
- Kat. Daker 1980:** Die Daker. Archäologie in Rumänien [Kat. Ausstellung Köln 1980] (Mainz 1980).
- Kat. Silber Illyrer 2004:** Nationalmuseum Belgrad, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg u. Keltenmuseum Hochdorf/Enz (Hrsg.), Silber der Illyrer und Kelten im Zentralbalkan [Kat. Ausstellung Hochdorf/Enz 2004] Schriftenreihe des Keltenmuseums Hochdorf/Enz 6 (Eberdingen 2004).
- Kaufmann 2004:** S. Kaufmann, Metallographische Untersuchungen an ausgewählten Objekten des Schatzfundes von Fuchsenhof. In: B. Prokisch u. Th. Kühtreiber (Hrsg.), Der Schatzfund von Fuchsenhof. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich Folge 15 (Linz 2004) 347-374.
- Keesmann 1993:** I. Keesmann, Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer- und Silberverhüttung in Südwestspanien. In: Steuer u. Zimmermann 1993a, 105-122.
- Keller 1845/47:** F. Keller, Beschreibung der helvetischen Heidengräber und Todtenhügel welche seit dem Jahre 1836 eröffnet worden. Mitt. Antiquar. Ges. Zürich 3, H. 4, 1845/47, 11-52.
- Keller 1969:** W. Keller, Der Römerfund von Rickenbach ob Schwyz von 1857. Mitteilungen Hist. Verein Schwyz 62, 1969, 157-160.
- Kellner 1971:** H.-J. Kellner, Die Römer in Bayern (München 1971).
- Kellner 1990:** H.-J. Kellner, Die Münzfunde von Manching und die keltischen Fundmünzen aus Südbayern. Die Ausgrabungen in Manching 12 (Stuttgart 1990).
- Kemkes 1991:** M. Kemkes, Bronzene Truhenbeschläge aus der römischen Villa von Eckartsbrunn, Gde. Eigeltingen, Lkr. Konstanz. Fundber. Baden-Württemberg 16, 1991, 299-387.

- Kimmig 1988:** W. Kimmig, Das Kleinaspergle. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 30 (Stuttgart 1988).
- Klein 2007:** S. Klein, Dem Euro der Römer auf der Spur - Bleiisotopenanalysen zur Bestimmung der Metallherkunft römischer Münzen. In: G. A. Wagner (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie (Berlin - Heidelberg 2007) 139-152.
- Körber-Grohne 1992:** U. Körber-Grohne, Teer aus Birkenrinde im römischen Handelshaus von Walheim am Neckar. Fundber. Baden-Württemberg 17, 1992, 347-354.
- Körlin u. Gechter 2003:** G. Körlin u. M. Gechter, Römischer Bergbau auf dem Lüderich - Vorbericht über die Grabungen 2000 - 2002. In: Th. Stöllner, G. Körlin, G. Steffens u. J. Cierny (Hrsg.), Man and Mining - Mensch und Bergbau [Studies in honour of G. Weisgerber in occasion of his 65th birthday]. Der Anschnitt Beiheft 16 (Bochum 2003) 237-248.
- Krämer 1964:** W. Krämer, Das keltische Gräberfeld von Nebringen (Kreis Böblingen). Veröffentl. des Staatl. Amtes für Denkmalpf. Reihe A, H. 8 (Stuttgart 1964).
- Krämer 1971:** W. Krämer, Silberne Fibelpaare aus dem letzten vorchristlichen Jahrhundert. Germania 49, 1971, 111-132.
- Kraus u. Rehren 1995:** K. Kraus u. Th. Rehren, Vom Gröbsten und vom Feinsten: zum Metallhandwerk in der Insula 39 der Colonia Ulpia Traiana. In: H. G. Horn, H. Hellenkemper, H. Koschik u. B. Trier (Hrsg.), Ein Land macht Geschichte. Archäologie in Nordrhein-Westfalen [Kat. Ausstellung Köln 1995] (Köln 1995) 237-240.
- Krausse 1996:** D. Krausse, Hochdorf III. Das Trink- und Speiseservice aus dem späthallstattzeitlichen Fürstengrab von Eberdingen-Hochdorf (Kr. Ludwigsburg). Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 64 (Stuttgart 1996).
- Kruta u. Roualet 1995:** V. Kruta und P. Roualet, Les torques torsades en fil double de la Champagne et leurs analogies dans l'aire Laténienne au IIIe siècle avant J.-C. In: J.-J. Charpy (Hrsg.), L'Europe celtique du Ve au IIIe siècle avant J.-C. Contacts, échanges et mouvements de populations [Actes du deuxième Symp. Internat. D'Hautvillers 1992] (Sceaux Cedex 1995), 317-334.
- Kurz 1995:** G. Kurz, Keltische Hort- und Gewässerfunde in Mitteleuropa. Deponierungen der Latènezeit. Materialh. Arch. Baden-Württemberg 33 (Stuttgart 1995).
- La Niece 1993:** S. La Niece, Silvering. In: La Niece u. Craddock 1993, 201-210.
- La Niece u. Craddock 1993:** S. La Niece u. P. Craddock (Hrsg.), Metal Plating and Patination (Oxford 1993).
- Lang 1997a:** J. Lang, Technische Aspekte des Hildesheimer Silberfundes. In: M. Boetzkes u. H. Stein (Hrsg.), Der Hildesheimer Silberfund. Original und Nachbildung. Vom Römerschatz zum Bürgerstolz [Kat. Ausstellung Hildesheim 1997] (Hildesheim 1997), 154-165.
- Lang 1997b:** J. Lang, Manufacturing Techniques. In: Johns 1997, 61-67.
- Lang u. Hughes 1984:** J. Lang u. M. J. Hughes, Soldering Roman Silver Plate. Oxford Journal of Archaeology 3,3, 1984, 77-107.
- Lang u. Hughes 1988:** J. Lang u. M. J. Hughes, Soldering on Late Roman Silver Plate. In: Baratte 1988, 27-33.

- Lang u. Hughes 1991:** J. Lang u. M. J. Hughes, Joining Techniques. In: W. A. Oddy (Hrsg.), Aspects of Early Metallurgy. British Museum Occasional Papers 17 (London 1991) 169-177.
- Lang u. a. 1984:** J. Lang, M. J. Hughes u. W. A. Oddy, Report on the Scientific Examination of the Sea City Dish 62, the Achilles Dish 63 and some other Items. In: H. A. Cahn u. A. Kaufmann-Heinimann, Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst (Derendingen 1984) 375-381.
- Laser u. a. 1998:** R. Laser, P. Hammer u. J. Lutz, Archäologische und metallkundliche Untersuchungen der Silber- und Aes-Funde von Mühlberg, Lkr. Gotha. Alt-Thüringen 32, 1998, 255-294.
- Lehrberger u. a. 1997:** G. Lehrberger, J. Fridrich, R. Gebhard u. J. Hrala (Hrsg.), Das prähistorische Gold in Bayern, Böhmen und Mähren: Herkunft - Technologie - Funde. Památky Archeologické Suppl. 7 (Pragne 1997).
- Liddell u. Scott 1968:** H.-G. Liddell u. R. Scott, A Greek -English Lexicon (Oxford 1968).
- Lindenschmit 1860:** L. Lindenschmit, Die vaterländischen Alterthümer der Fürstlich Hohenzoller'schen Sammlungen zu Sigmaringen (Mainz 1860).
- Löhr 1985:** H. Löhr, Goldprobiersteine in Trier. Kurtrierisches Jahrbuch 25, 1985, 13*-18*.
- Ludemann 2007:** Th. Ludemann, Das Abbild der natürlichen Vegetation in der historischen Holznutzung. Synthese anthrakologischer Studien im Mittelgebirgsraum Zentraleuropas. Ber. d. Rheinhold-Tüxen-Gesellschaft 19, 2007, 7-22.
- Lüder 1936:** E. Lüder, Löten und Lote (Berlin 1936²).
- Lüscher 1991:** G. Lüscher, Hallstattzeit: Zentren des Reichtums und der Macht. In: Furger u. Müller 1991, 59-69.
- Lüscher 1993:** G. Lüscher, Unterlunkhofen und die hallstattzeitliche Grabkeramik in der Schweiz. Antiqua 24 (Basel 1993).
- Luik 1992:** M. Luik, Schatzfunde von Schomberg-Rembrechts, Kreis Ravensburg, und Wiggensbach, Kreis Oberallgäu. In: H.-P. Kuhnen (Hrsg.), Gestürmt - Geräumt - Vergessen? Der Limesfall und das Ende der Römerherrschaft in Südwestdeutschland. Württembergisches Landesmuseum Arch. Slg. Führer und Bestandskataloge des Württ. Landesmuseums Stuttgart II (Stuttgart 1992), 89.
- Luik u. Blumer 2006:** M. Luik u. R.-D. Blumer, Die Zierscheibe von Bregenz. Jahrb. Vorarlberger Landesmuseumsverein 2005 (Bregenz 2006) 61-65.
- Luik u. Blumer 2008:** M. Luik u. R.-D. Blumer, Zierscheiben vom Typ Hettingen. Mit einem Exkurs: Funde aus einem Steinkeller von Weinstadt-Endersbach. Fundber. Baden-Württ. 30, 2008, 145-186.
- Luik u. Schach-Döriges 1993:** M. Luik u. H. Schach-Döriges, Römische und frühalamannische Funde von Beinstein, Gde. Waiblingen, Rems-Murr-Kreis. Fundber. Baden-Württemberg 18, 1993, 349-432.
- Lutz u. Schwab 2008:** J. Lutz u. R. Schwab, Kupfer für die Kelten. In: Archäologie in Deutschland 2, 2008, 28-29.
- Marić 1978:** Z. Marić, Depo pronaden u ilirskom gradu Daors (2 st. pr. n. e.). Glasnik Zemaljskog Muzeja Bosne i Hercegovine u Sarajevu Arheologija N. S. 33, 1978, 23-113.
- Marić 1995:** Z. Marić, Die hellenistische Stadt oberhalb Ošanići bei Stolac (Ostherzegowina). Ber. RGK 76, 1995, 31-72.

- Martin 1978:** M. Martin, Römische Bronzegießer in Augst BL. Arch. d. Schweiz 1, 1978, 112-120.
- Martin 1991:** M. Martin, Das spätrömisch-frühmittelalterliche Gräberfeld von Kaiseraugst, Kt. Aargau. Basler Beitr. zur Ur- und Frühgesch. 5 (Derendingen 1991).
- Martin-Kilcher 1981:** S. Martin-Kilcher, Das keltische Gräberfeld von Vevey VD. Jahrb. SGUF 64, 1981, 107-156.
- Martin-Kilcher u. a. 2008:** S. Martin-Kilcher, H. Amrein u. B. Horisberger, Der römische Goldschmuck aus Lunnern (ZH). Ein Hortfund des 3. Jahrhunderts und seine Geschichte. Collectio archaeologica 6 (Zürich 2008).
- Marzoli 2002:** D. Marzoli, Ausstattung eines Fürstengrabs in Nordwürttemberg. In: Hessische Kultur GmbH (Hrsg.), Das Rätsel der Kelten vom Glauberg [Kat. Ausstellung Frankfurt a. M. 2002] (Stuttgart 2002), 296-297.
- Mau 1908:** A. Mau, Pompeji in Leben und Kunst (Leipzig 1900²).
- Meeks 1998:** N. Meeks, A Greek Gold Necklace: A Case of Dual Identity. In: D. Williams (Hrsg.), The Art of the Greek Goldsmith (London 1998) 127-138.
- Megaw 1965/66:** J. V. S. Megaw, Two La Tène Finger Rings in the Victoria and Albert Museum, London: an essay on the human face and Early Celtic Art. Prähist. Zeitschr. 43/44, 1965/66, 96-166.
- Megaw u. Megaw 1989:** J. V. S. Megaw and M. R. Megaw, Celtic Art. From its Beginnings to the Book of Kells (New York 1989).
- Megaw u. a. 1997:** J. V. S. Megaw, M. R. Megaw and J.-W. Neugebauer, Notes on a Silver Pendant and Chain from Pottenbrunn-Ratzersdorf, Niederösterreich, and its wider European Implications. Germania 75/2, 1997, 717-735.
- Mello u. a. 1983:** E. Mello, P. Parrini u. E. Formigli, Etruscan Filigree: Welding Techniques of two Gold Bracelets from Vetulonia. Am. Journal Arch. 87, 1983, 548-551.
- Menke 1968:** M. Menke, Die spätlatènezeitlichen Jochbeschläge aus Karlstein. Bayer. Vorgeschbl. 33, 1968, 58-81.
- Metzler 1984:** J. Metzler, Das treverische Oppidum auf dem Titelberg (Luxemburg). In: Trier - Augustusstadt der Treverer. Stadt und Land in vor- und frühromischer Zeit [Kat. Trier 1984] (Mainz 1984) 68 - 78; 253-261.
- Miron 1989:** A. Miron, Das Frauengrab 1242. Zur chronologischen Gliederung der Stufe Latène D2. In: A. Haffner (Hrsg.), Gräber - Spiegel des Lebens. Zum Totenbrauchtum der Kelten und Römer am Beispiel des Treverer-Gräberfeldes Wederath-Belginum (Mainz 1989) 215-228.
- Modarressi-Tehrani 2004:** D. Modarressi-Tehrani, Ein Ensemble frühlatènezeitlicher Metallverarbeitung aus der Siedlung von Eberdingen-Hochdorf (Lkr. Ludwigsburg). Metalla 11.1 (Bochum 2004).
- Moesta 1986:** H. Moesta, Erze und Metalle - ihre Kulturgeschichte im Experiment (Berlin - Heidelberg 1986²).
- Moesta u. Franke 1995:** H. Moesta u. P. R. Franke, Antike Metallurgie und Münzprägung. Ein Beitrag zur Technikgeschichte (Basel - Boston - Berlin 1995).
- Mötefindt 1916:** H. Mötefindt, Zur Geschichte der Löttechnik in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. Bonner Jahrb. 123, 1916, 133-189.

- Morteani u. Northover 1995:** G. Morteani u. J. P. Northover (Hrsg.), Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Prehistoric Gold in Europe, Seeon, Germany, September 27 - Oktober 1, 1993 (Dordrecht 1995).
- Mortimer 1986:** C. Mortimer, Early use of brass in silver alloys. *Oxford Journal of Archaeology* 5,2, 1986, 233-242.
- Moscatti u. a. 1991:** S. Moscati, O. H. Frey, V. Kruta, B. Raftery u. M. Szabó (Hrsg.), The Celts [Kat. Ausstellung Venedig 1991] (Milano 1991).
- Müller 1981:** F. Müller, Die frühlatènezeitlichen Flachgräber der Kantone Baselstadt und Baselland. *Jahrb. SGUF* 64, 1981, 73-106.
- Müller 1991a:** F. Müller, Latènezeit: Die Welt gerät in Bewegung. In: Furger u. Müller 1991, 71-83.
- Müller 1991b:** F. Müller, Latènezeit: 450 v. Chr. bis um Christi Geburt. In: Furger u. Müller 1991, 121-134.
- Müller 1991c:** F. Müller, Gewinnung, Verarbeitung und Gebrauch des Goldes. In: Furger u. Müller 1991, 148-151.
- Müller 1993:** F. Müller, Überraschendes unter der Patina einer keltischen Fibel aus Münsingen. *Arch. d. Schweiz* 16, 1993, 60-64.
- Müller 1998a:** F. Müller (Hrsg.), Münsingen-Rain, ein Markstein der keltischen Archäologie. Akten Internat. Kolloquium "Das keltische Gräberfeld von Münsingen-Rain 1906 - 1996". Münsingen/Bern, 9. - 12. Oktober 1996. Schriften des Bernischen Historischen Museums 2 (Bern 1998).
- Müller 1998b:** F. Müller, Die Entwicklung des Waldalgesheimstils in Münsingen-Rain. In: Müller 1998a, 71-83.
- Müller 1999:** F. Müller, Das keltische Schatzkästlein. Schmuck als Zier und Zeichen. Glanzlichter aus dem Bernischen Historischen Museum 1 (Bern 1999).
- Müller u. Lüscher 2004:** F. Müller u. G. Lüscher, Die Kelten in der Schweiz (Stuttgart 2004).
- Müller 1974:** H. F. Müller, Der römische Vicus von Sulz am Neckar. *Fundber. Baden-Württemberg* 1, 1974, 483-496.
- Müller 1976:** H. F. Müller, Sulz. In: Ph. Filtzinger, D. Planck u. B. Cämmerer (Hrsg.), Die Römer in Baden-Württemberg (Stuttgart - Aalen 1976²).
- Mutz 1972:** A. Mutz, Die Kunst des Metalledrehens bei den Römern. Interpretationen antiker Arbeitsverfahren auf Grund von Werkspuren (Basel und Stuttgart 1972).
- Nestler u. Formigli 1993:** G. Nestler u. E. Formigli, Etruskische Granulation. Eine antike Goldschmiedetechnik (Siena 1993).
- Neuburger 1920:** A. Neuburger, Die Technik des Altertums (Leipzig 1920²).
- Neugebauer 1991:** J.-W. Neugebauer, The Cemetery near St. Pölten. In: Moscati u. a. 1991, 296-297.
- Nick 2006:** M. Nick, Gabe, Opfer, Zahlungsmittel. Strukturen des keltischen Münzgebrauchs im westlichen Mitteleuropa. *Freiburger Beiträge zur Archäologie und Geschichte des ersten Jahrtausends* 12 (Rahden/Westf. 2006).

- Nickel u. a. 2008:** C. Nickel, M. Thoma u. D. Wigg-Wolf, Martberg - Heiligtum und Oppidum der Treverer. I Der Kultbezirk. Die Grabungen 1994 - 2004. Berichte zur Archäologie an Mittelrhein und Mosel 14 (Koblenz 2008).
- Nicolini 1990:** G. Nicolini, Techniques des ors antiques. La Bijouterie Ibérique du VIIe au IVe Siècle (Paris 1990).
- Nicolini 1995:** G. Nicolini, Gold Wire Techniques of Europe and the Mediterranean around 300 B.C. In: Morteani u. Northover 1995, 453-470.
- Nielsen u. a. 2005:** S. Nielsen, J. H. Andersen, J. A. Baker, Ch. Christensen, J. Glastrup, P. M. Grootes, M. Hüls, A. Jouttijärvi, E. B. Larsen, H. B. Madsen, K. Müller, M.-J. Nadeau, S. Röhrs, H. Stege, Z. A. Stos und T. E. Waight, The Gundestrup Cauldron. New Scientific and Technical Investigations. Acta Archaeologica 76, 2005, 1-58.
- Niemeyer 2007:** B. Niemeyer, Trassologie an römischem Silber. Herstellungstechnische Untersuchungen am Hildesheimer Silberfund. BAR Int. Ser. 1621 (Oxford 2007).
- Northover 2002:** J. P. Northover, Analysis of Non-ferrous Metalwork from the Iron Age Cemetery at Pottenbrunn, NÖ. In: Ramsel 2002, 251-263.
- Northover u. Salter 1990:** J. P. Northover u. C. J. Salter, Decorative Metallurgy of the Celts. Materials Characterization 25, 1990, 109-123.
- Oddy 1977:** A. Oddy, The Production of Gold Wire in Antiquity. Gold Bulletin 10/3, 1977, 79-87.
- Oddy 1979:** W. A. Oddy, Handmade Wire in Antiquity: A Correction. MASCA Journal 1 (2), 1979, 44-45.
- Oddy 1987:** W. A. Oddy, Does "strip-drawn" wire exist from antiquity? MASCA Journal 4, 1987, 175-177.
- Oddy 1988:** W. A. Oddy, The Gilding of Roman Silver Plate. In: Baratte 1988, 9-21.
- Oddy 1993:** W. A. Oddy, Gilding of Metals in the Old World. In: La Niece u. Craddock 1993, 171-181.
- Oddy 1996:** A. Oddy, Jewelry under the Microscope. A Conservators' Guide to Cataloguing. In: A. Calinescu (Hrsg.), Ancient Jewelry and Archaeology (Bloomington 1996) 185-197.
- Ogden 1991:** J. M. Ogden, Classical Gold Wire: Some Aspects of its Manufacture and Use. Jewellery Studies 5, 1991, 95-105.
- Ogden 1992:** J. M. Ogden, Ancient Jewellery (London 1992).
- Ogden u. Schmidt 1990:** J. M. Ogden u. S. Schmidt, Late Antique Jewellery: Pierced Work and Hollow Beaded Wire. Jewellery Studies 4, 1990, 5-12.
- Oldenstein 1974:** J. Oldenstein, Zur Buntmetallverarbeitung in den Kastellen am Obergermanischen und Rätischen Limes. Bull. Musées Royaux d'Art et d'Histoire 46, 1973 (1974) 185-196.
- Overbeck 1987:** B. Overbeck, Alkimoënnis-Kelheim, eine neue keltische Münzstätte. Bayer. Vorgeschbl. 52, 1987, 245-248.
- Paret 1933-35:** O. Paret, Der römische Schatzfund von Rembrechts OA. Tettang. Fundber. Schwaben NF 8, 1933 - 1935, 111-113.
- Paret 1934:** O. Paret, Der römische Schatzfund von Remrechts, OA. Tettang. Germania 18, 1934, 193-197.

- Parrini u. a. 1982:** P. Parrini, E. Formigli u. E. Mello, Etruscan Granulation: Analysis of Orientalizing jewelry from Marsiliana d'Albegna. *Am. Journal Arch.* 86, 1982, 118-121.
- Pense 1992:** A. W. Pense, The Decline and Fall of the Roman Denarius. *Materials Characterization* 29, 1992, 213-222.
- Pernet u. a. 2006:** L. Pernet, E. Carlevaro, L. Tori, G. Vietti, Ph. Della Casa u. B. Schmid-Skimić, La Necropola di Giubiasco (TI) Vol. II. Les Tombes des La Tène Finale et d'Epoque Romaine (Zürich 2006).
- Pernicka 1990:** E. Pernicka, Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrb. RGZM* 37, 1990, 21-129.
- Petrikovits 1981:** H. v. Petrikovits, Die Spezialisierung des römischen Handwerks. In: H. Jankuhn, W. Janssen, R. Schmidt-Wiegand u. H. Tiefenbach (Hrsg.), *Das Handwerk in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. Teil I: Historische und rechtshistorische Beiträge und Untersuchungen zur Frühgeschichte der Gilde. Abh. Akademie Wiss. Göttingen Folge 3* (Göttingen 1981) 63-132.
- Peyer 1980:** S. Peyer, Zur Eisenzeit im Wallis. *Bayer. Vorgeschbl.* 45, 1980, 59-75.
- Pfeiler 1970:** B. Pfeiler, Römischer Goldschmuck des ersten und zweiten Jahrhunderts n. Chr. nach datierten Funden (Mainz 1970).
- Pietsch 1983:** M. Pietsch, Die römischen Eisenwerkzeuge von Saalburg, Feldberg und Zugmantel. *Saalburg Jahrb.* 39, 1983, 5-132.
- Pietsch 2002:** M. Pietsch, Eine neue spätkeltische Höhensiedlung bei Leonberg. In: *Arch. Jahr in Bayern 2001* (Stuttgart 2002) 72-75.
- Piette 1981:** J. Piette, Le fanum de la Villeneuve-au-Châtelot (Aube). *État des recherches en 1979. Mém. Soc. Arch. Champenoise* 2, 1981, 367-375.
- Pietzsch 1964:** A. Pietzsch, Zur Technik der Wendelringe. *Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege Beiheft 4* (Berlin 1964).
- Pike u. Cowell 1997:** A. Pike u. M. Cowell, Analyses of Materials. In: *Johns 1997*, 50-61.
- Platz-Horster 2001:** G. Platz-Horster, *Antiker Goldschmuck: Altes Museum, eine Auswahl der ausgestellten Werke* (Mainz 2001).
- Plaut. Menaech.:** T. Maccius Plautus, *Menaechmi*. Übers. und hrsg. von H. Rädle (Stuttgart 1980).
- Plin. nat. 33:** C. Plinius Secundus d. Ä., *Naturalis Historia*, Buch XXXIII. Hrsg. und übers. von R. König u. G. Winkler (München und Zürich 1984).
- Plin. nat. 34:** C. Plinius Secundus d. Ä., *Naturalis Historia*, Buch XXXIV. Hrsg. und übers. von R. König u. G. Winkler (München und Zürich 1989).
- Plin. nat. 35:** C. Plinius Secundus d. Ä., *Naturalis Historia*, Buch XXXV. Hrsg. und übers. von R. König u. G. Winkler (München 1978).
- Plut. symp.:** *Plutarchi Moralia*. Hrsg. von C. Hubert (Leipzig 1971).
- Polenz 1982:** H. Polenz, Münzen in latènezeitlichen Gräbern Mitteleuropas aus der Zeit zwischen 300 und 50 vor Christi Geburt. *Bayer. Vorgeschbl.* 47, 1982, 27-222.
- Pott 1990:** R. Pott, Die Haubergswirtschaft im Siegerland: Vegetationsgeschichte, extensive Holz- und Landnutzungen im Niederwaldgebiet des südwestfälischen Berglandes (Siegen 1990).

- Pritzlaff 1922:** J. Pritzlaff, Der Goldschmied (Leipzig 1922). Neudruck der Originalausgabe 9. Aufl. 1922 (Stuttgart 1991).
- Projektgruppe Plinius Blei und Zinn 1989:** Plinius der Ältere über Blei und Zinn. Übers. und kommentiert von der Projektgruppe Plinius des Arbeitskreises Archäometrie in der Fachgruppe Analytische Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Werkhefte der Universität Tübingen Naturwissenschaften 10 (Tübingen 1989).
- Projektgruppe Plinius Gold 1993:** Gold und Vergoldung bei Plinius dem Älteren. Gold und Vergoldung in der Naturalis Historia des Älteren Plinius und anderen antiken Texten mit Exkursen zu verschiedenen Einzelfragen. Attempo-Werkheft Naturwissenschaften 13 (Tübingen 1993).
- Projektgruppe Plinius Silber 1998:** Silberbergbau und -verhüttung in der Antike nach Texten von Plinius, Diodor und Dioskurides. Übers. und kommentiert von der Projektgruppe Plinius des Arbeitskreises "Archäometrie" in der Fachgruppe "Analytische Chemie" der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Die Technikgeschichte als Vorbild moderner Technik 22 (Bochum 1998).
- Rabold 1999:** B. Rabold, Abschließende Ausgrabungen im spätmerowingerzeitlichen Gräberfeld von Stammheim, Stadt Calw. Arch. Ausgr. Baden-Württemberg 1999, 161-163.
- Raddatz 1969:** K. Raddatz, Die Schatzfunde der Iberischen Halbinsel vom Ende des dritten bis zur Mitte des ersten Jahrhunderts vor Chr. Geb. Untersuchungen zur hispanischen Toreutik. Madrider Forschungen 5 (Berlin 1969).
- Ramsl 2002:** P. C. Ramsl, Das eisenzeitliche Gräberfeld von Pottenbrunn. Forschungsansätze zu wirtschaftlichen Grundlagen und sozialen Strukturen der latènezeitlichen Bevölkerung des Traisental, Niederösterreich. Fundber. Österreich. Materialhefte Reihe A, Heft 11 (Wien 2002).
- Ratimorská 1975:** P. Ratimorská, Das keltische Gräberfeld in Chotín (Südslowakei). In: F. Jenő (Hrsg.), The Celts in Central Europe [Papers of the II. Pannonia Conference]. Alba Regia 14 (Székesfehérvár 1975) 85-96.
- Raub 1977:** Ch. J. Raub, Technologische Untersuchung einer römischen Goldkette aus Aalen (Fundbericht von A. Rüschi). Fundber. Baden-Württemberg 3, 1977, 388-401.
- Raub 1981:** Ch. J. Raub, Technologische Untersuchung einer römischen Silberkette aus Buch, Ostalbkreis. Fundber. Baden-Württemberg 6, 1981, 529-540.
- Raub 1987:** Ch. J. Raub, Analytisch-metallographische Untersuchung einer Probe der Silberschicht des Trichtinger Ringes. Fundber. Baden-Württemberg 12, 1987, 235-240.
- Raub 1995:** Ch. J. Raub, The Metallurgy of Gold and Silver in Prehistoric Times. In: Morteau u. Northover 1995, 243-259.
- Raub 1998:** Ch. J. Raub, Technische Untersuchungen an Blattvergoldungen von Manching, Tarent und Sciatbi. Beitrag in: F. Maier, Zur Vergoldungstechnik des keltischen Kultbäumchens und hellenistischer Blattkränze. Germania 76, 1998, 189-207.
- Rauschkolb 1999:** M. Rauschkolb, "... et in valle Sulzberg ..." - Eine frühe Bergbausiedlung im Sulzbachtal. In: Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald. Arch. Inf. Baden-Württ. 41, 1999, 59-62.
- Reber 1892-93:** B. Reber, Die vorhistorischen Denkmäler im Einfischthal (Wallis). Archiv für Anthropologie 21, 1892 - 1893, 305-320.

- Rehren u. Hauptmann 1995:** Th. Rehren u. A. Hauptmann, Silberaffinations-Schlacken aus der CUT (Xanten), Insula 39: Mineralogische Untersuchung und archäometallurgische Interpretation. In: Xantener Berichte 6, 1995, 119-137.
- Reinecke 1911:** P. Reinecke, Funde vom Ende der La Tènezeit aus Wohnstätten bei Karlstein unweit Reichenhall, Oberbayern. In: L. Lindenschmit (Hrsg.), *Altertümer unserer heidnischen Vorzeit* 5 (Mainz 1911) 364-369.
- Rey 1999:** T. Rey, Das latènezeitliche Gräberfeld von Stettlen-Deisswil BE. *Jahrb. Schweiz. Ges. Ur- und Frühgesch.* 82, 1999, 117-148.
- Richter 1987:** E.-L. Richter, Analytische Untersuchung des Trichtinger Ringes. *Fundber. Baden-Württemberg* 12, 1987, 233-234.
- von Richthofen 2000:** J. von Richthofen, Fibelgebrauch - gebrauchte Fibeln. *Studien an Fibeln der älteren Römischen Kaiserzeit. Archäologische Berichte* 13 (Bonn 2000).
- Rieckhoff 1990:** S. Rieckhoff, Ein neuer Schatzfund aus Bayern. Vorbericht über den römischen Depotfund von Regensburg-Kumpfmühl. *Bayer. Vorgeschbl.* 55, 1990, 291-298.
- Rieckhoff 1998:** S. Rieckhoff, "Römische Schatzfunde" - ein historisches Phänomen aus prähistorischer Sicht. In: B. Fritsch, M. Maute, I. Matuschik, J. Müller u. C. Wolf (Hrsg.), *Tradition und Innovation: Prähistorische Archäologie als historische Wissenschaft [Festschrift Christian Strahm]* Intern. Arch. Studia honoraria 3 (Rahden/Westf. 1998), 479-540.
- Rieckhoff-Pauli 1981:** S. Rieckhoff-Pauli, Der Lauteracher Schatzfund aus archäologischer Sicht. *Numismatische Zeitschr.* 95, 1981, 11-23.
- Riederer 1994:** J. Riederer, *Echt und falsch. Schätze der Vergangenheit im Museumslabor* (Berlin - Heidelberg 1994).
- Riha 1979:** E. Riha, Die römischen Fibeln aus Augst und Kaiseraugst. *Forschungen in Augst* Bd. 3 (Augst 1979).
- Riha 1990:** E. Riha, Der römische Schmuck aus Augst und Kaiseraugst. *Forschungen in Augst* Bd. 10 (Augst 1990).
- Riha 1994:** E. Riha, Die römischen Fibeln aus Augst und Kaiseraugst. Die Neufunde seit 1975. *Forschungen in Augst* Bd. 18 (Augst 1994).
- Roeren 1960:** R. Roeren, Zur Archäologie und Geschichte Südwestdeutschlands im 3. bis 5. Jh. n. Chr. *Jahrb. RGZM* 7, 1960, 214-294.
- Rösch u. a. 2005:** M. Rösch, H. Volk u. G. Wieland, Frühe Waldnutzung und das Alter des Naturwaldes im Schwarzwald - neue vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den Mischenmooren des Nordschwarzwaldes. *AFZ - Der Wald* 12, 2005, 636-638.
- Roggenbuck 1988:** P. Roggenbuck, Untersuchungen zu den Edelmetallfunden der römischen Kaiserzeit zwischen Limes, Nord- und Ostsee. *BAR Internat. Ser.* 449 (Oxford 1988).
- von Roten 1991:** H. von Roten, Keltische Goldmünzen in der Schweiz. In: Furger u. Müller 1991, 85 - 91; 135-147.
- Rottloff 2000:** A. Rottloff, Kleidung, Schmuck und "mundus muliebris". In: G. Weber (Hrsg.), *Cambodunum - Kempten. Erste Hauptstadt der römischen Provinz Raetien?* (Mainz 2000), 107-112.
- Ruckstuhl 1988:** B. Ruckstuhl, Ein reiches frühalamannisches Frauengrab im Reihengräberfeld von Schleithem-Hebsack SH. *Arch. d. Schweiz* 11, 1988, 15-31.

- Schach-Döriges 2005:** H. Schach-Döriges, Zu einigen Kolbenarmringen mit Querrillendekor der älteren Merowingerzeit. *Fundber. Baden-Württemberg* 28, 2005, 305-317.
- Scherer 1916:** E. Scherer, Die vorgeschichtlichen und frühgeschichtlichen Altertümer der Urschweiz. *Mitt. Antiquar. Gesellschaft Zürich* 27, 1916, 190-275.
- Schickler 2001:** H. Schickler, Heilige Ordnungen. Zu keltischen Funden im Württembergischen Landesmuseum. Bronze- und eisenzeitliche Sammlung Texte (Stuttgart 2001).
- Schmidt 1993:** H. Schmidt, Übersicht zur wissenschaftlichen Literatur über das "Löten und Schweißen in der Antike/Altertum". *Berliner Beitr. Archäometrie* 12, 1993, 5-53.
- Schmidts u. Tobias 2008:** T. Schmidts u. B. Tobias, Blasebalg - statt Strahlrohr. Bemerkungen zu einem Fundstück aus dem Burgus Jülich-Kirchberg (Kr. Düren). *Arch. Korbl.* 38, 2008, 103-114.
- Schmitz 1993:** W. Schmitz, "Alles Unheil halte fern!" Zu einigen Gußformen für Amulette aus römischer Zeit. *Bonner Jahrb.* 193, 1993, 45-68.
- von Schnurbein 1977:** S. von Schnurbein, Das römische Gräberfeld von Regensburg. *Materialh. z. Bayer. Vorgesch. Reihe A*, Bd. 31 (Kallmünz/Opf 1977).
- Schönfelder 1998:** M. Schönfelder, Zu Fuchsschwanzketten in der Latènezeit. *Arch. Korbl.* 28, 1998, 79-93.
- Scholz 1974:** F. Scholz, Miao (Thailand, Tak-Provinz). Herstellen von Silberdraht und Anfertigen einer Kette. Angaben zum Film E 1231 des Instituts für wissenschaftlichen Film (Göttingen 1974).
- Schumacher 1890:** K. Schumacher, Ein gallisches Grab bei Dühren. *Zeitschr. für die Geschichte des Oberrheins N. F.* 5, 1890, 409-424.
- Schumacher 1911:** K. Schumacher, Grabfund der sog. Mittel-La Tène-Zeit von Dühren (Bez.-A Sinsheim, Grossh. Baden). In: *Altertümer unserer heidnischen Vorzeit* 5 (Mainz 1911) 73-81.
- Schunk 1991:** T. Schunk, Gold aus Mali. Roter Faden zur Ausstellung 18 (Frankfurt 1991).
- Schwab u. Sievers 2006:** R. Schwab u. S. Sievers, Duales System am Ende der Eisenzeit. In: *Archäologie in Deutschland* 2, 2006, 6-11.
- Sievers 2003:** S. Sievers, Manching. Die Keltenstadt (Stuttgart 2003).
- Sievers u. a. 2000:** S. Sievers in Zus.arb. mit R. Gebhard, M. Leicht, R. Schwab, J. Völkel, B. Weber u. B. Ziehaus, Vorbericht über die Ausgrabungen 1998-1999 im Oppidum von Manching. *Germania* 78, 2000, 355-394.
- Stähli 1977:** B. Stähli, Die Latènegräber von Bern-Stadt. *Schriften des Seminars für Urgeschichte der Universität Bern H.* 3 (Bern 1977).
- Stern 1988:** W. B. Stern, Chemische Analysen der Silberobjekte. Beitrag in: *Ruckstuhl* 1988, 29-31.
- Stern 1989:** W. B. Stern, Zur zerstörungsfreien Zustandsdiagnose: Metallkundliche Untersuchungen an antiken Silberlegierungen. In: F. Schweizer u. V. Villiger (Hrsg.), *Methoden zur Erhaltung von Kulturgütern* (Bern 1989) 181-192.
- Stern 1990:** W. B. Stern, Zerstörungsfreie Analysen des Edelmetallschmucks (EDS-XFA). In: E. Riha, *Der römische Schmuck aus Augst und Kaiseraugst. Forsch. Augst* 10 (Augst 1990), 18-21.

- Stern 1994:** W. B. Stern, Die naturwissenschaftliche Untersuchung der Münzen. In: Burkhardt u. a. 1994, 79-100.
- Stern 2003:** W. B. Stern, Zur Problematik der zerstörungsfreien Münzanalyse. In: Burkhardt u. a. 2003, 290-300.
- Steuer 1994:** H. Steuer, Stichwort "Feile". In: RGA II, 8, 1994, 292-295.
- Steuer 1999:** H. Steuer, Keltischer und römischer Bergbau im Südschwarzwald. In: Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald. Arch. Inf. Baden-Württ. 41, 1999, 37-42.
- Steuer 2003:** H. Steuer, Stichwort "Probiersteine". In: RGA II, 23, 2003, 470-477.
- Steuer 2007:** H. Steuer, Stichwort "Waagen und Gewichte". In: RGA II, 35, 2007, 539-586.
- Steuer u. Zimmermann 1993a:** H. Steuer u. U. Zimmermann (Hrsg.), Montanarchäologie in Europa. Berichte Internat. Koll. "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa" in Freiburg i. Br. 4. - 7. Okt. 1990. Archäologie und Geschichte 4 (Sigmaringen 1993).
- Steuer u. Zimmermann 1993b:** H. Steuer u. U. Zimmermann (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland (Stuttgart 1993).
- Stöckli 1975:** W. E. Stöckli, Chronologie der jüngeren Eisenzeit im Tessin. Antiqua 2 (Basel 1975).
- Strab.:** Strabons Geographika. Hrsg., übers. und komm. von S. Radt (Göttingen 2002).
- Streubel 1959:** C. Streubel, Handbuch der Gravierkunst. Ein Werkstattbuch für die Praxis und den Fachschulunterricht (Leipzig 1959³). Nachdruck der 3. Auflage (Leipzig 1984).
- Striwe 1996:** K. Striwe, Studien zur Nauheimer Fibel und ähnlichen Formen der Spätlatènezeit. Internationale Archäologie 29 (Espelkamp 1996).
- Suter 1984:** P. J. Suter, Neuere Mittellatène-Grabkomplexe aus dem Kanton Bern. Ein Beitrag zur Latène C-Chronologie des Schweizer Mittellandes. Jahrb. SGUF 67, 1984, 73-93.
- Swaddling u. a. 1991:** J. Swaddling, A. Oddy u. N. Meeks, Etruscan and Other Early Gold Wire from Italy. Jewellery Studies 5, 1991, 7-21.
- Szabó 1975:** Szabó, Sur la question du filigrane dans l'art des celtes orientaux. In: F. Jenő (Hrsg.), The Celts in Central Europe [Papers of the II. Pannonia Conference]. Alba Regia 14 (Székesfehérvár 1975) 147-166.
- Tanner 1979:** A. Tanner, Die Latènegräber der nordalpinen Schweiz. Schriften des Seminars für Urgeschichte der Universität Bern (Bern 1979).
- Tatarinoff 1914:** E. Tatarinoff, Sechster Jahresbericht der Schweiz. Gesellschaft für Urgeschichte 1913 (Zürich 1914).
- Theophr. de lap.:** Theophrastus de lapidibus. Ed., transl. and comm. by D. E. Eichholz (Oxford 1965).
- Thieme 1980:** W. Thieme, Silberne Tierkopfarmringe aus Garlstorf, Kreis Harburg. Offa 1980, 68-76.
- Thoma 2006:** M. Thoma, Der gallorömische Tempelbezirk auf dem Martberg bei Pommern an der Mosel, Kreis Cochem-Zell. Archäologie an Mittelrhein und Mosel 18 (Koblenz 2006).
- Thomas 2003:** C. Thomas, Das Kultbäumchen von Manching. Neurestaurierung und Rekonstruktion (Teil I). VDR Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut H. 1, 2003, 74-79.

- Tori u. a. 2004:** L. Tori, E. Carlevaro, Ph. Della Casa, L. Pernet, B. Schmid-Sikimić u. G. Vietti, La necropoli di Giubiasco (TI) Vol. I. Storia degli scavi documentazione inventario critico. Collectio Archaeologica 2 (Zürich 2004).
- Trachsel 1998:** M. Trachsel, Ein tragbarer Giesserofen aus dem Legionslager von Vindonissa - Beschreibung, Rekonstruktion und Experiment. In: M. Fansa (Hrsg.), Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz 1997. Arch. Mitt. Nordwestdeutschland Beiheft 19 (Oldenburg 1998) 141-155.
- Treister 2001:** M. Y. Treister, Hammering Techniques in Greek and Roman Jewellery and Toreutics. Colloquia Pontica 8 (Leiden - Boston - Köln 2001).
- Tschumi 1929:** O. Tschumi, Latènegräber von Muri-Mettlen. Jahrb. BHM 9, 1929, 57-60.
- Tschumi 1943:** O. Tschumi, Das Gräberfeld von Deisswil (Gem. Stettlen, Amt Bern), 1936 - 1942. Jahrb. BHM 22, 1943, 60-67.
- Tschumi 1953:** O. Tschumi, Urgeschichte des Kantons Bern (Bern und Stuttgart 1953).
- Tschurtschenthaler u. Wein 1996:** M. Tschurtschenthaler u. U. Wein, Kontinuität und Wandel eines alpinen Heiligtums im Laufe seiner 1.800-jährigen Geschichte. Archäologie Österreichs 7, 1996, 14-28.
- Ulbert 1959:** G. Ulbert, Die römischen Donaukastelle Aislingen und Burghöfe. Limesforschungen 1 (Berlin 1959).
- Ulbert 1969:** G. Ulbert, Neue Bronzefunde aus Aislingen und Burghöfe. Bayer. Vorgeschbl. 34, 1969, 54-63.
- Ullrich 1889:** A. Ullrich, Der Silberfund bei Wiggensbach. Allgäuer Geschichtsfreund 2, 1889, 53-55, 69-73 mit Taf. 1-3.
- Ulrich 1914:** R. Ulrich, Die Gräberfelder in der Umgebung von Bellinzona Kt. Tessin (Zürich 1914).
- Untracht 1985:** O. Untracht, Jewelry Concepts and Technology (London 1985).
- Untracht 2008:** O. Untracht, Traditional Jewelry of India. Neuausgabe der Erstveröffentlichung 1997 (New York 2008).
- Verma 1989:** E. M. Verma, Ringschmuck mit Tierkopffenden in der Germania Libera. BAR Internat. Ser. 507 (Oxford 1989).
- Vernier 1907:** M. É. Vernier, La Bijouterie et la Joaillerie Égyptiennes (Le Caire 1907).
- Viollier 1916:** D. Viollier, Les sépultures du second âge du fer sur le Plateau Suisse (Genève 1916).
- Vitali 1992:** D. Vitali, Tombe e necropoli galliche di Bologna e del territorio (Bologna 1992).
- Vitr.:** Vitruvii De Architectura Libri Decem. Übers. und mit Anm. vers. von C. Fensterbusch (Darmstadt 1991⁵).
- Vonbank 1978:** E. Vonbank (Hrsg.), Kunst und Kultur von der Steinzeit zur Gegenwart [Kat. Bregenz 1978]. Ausstellungskatalog des Vorarlberger Landesmuseums 78 (Bregenz 1978).
- Voß 1998a:** H.-U. Voß, Archäologische Quellen. In: Voß u. a. 1998, 123-157.
- Voß 1998b:** H.-U. Voß, Zum Vergleich römischer und germanischer Feinschmiedetechnik an Hand ausgewählter Sachgüter. In: Voß u. a. 1998, 307-313.

- Voß u. a. 1998:** H.-U. Voß, P. Hammer u. J. Lutz, Römische und germanische Bunt- und Edelmetallfunde im Vergleich. Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern. Ber. RGK 79, 1998, 107-382.
- Voûte 1991:** A. Voûte, Anhang: Goldanalysen. In: Furger u. Müller 1991, 164-167.
- Voûte u. a. 2008:** A. Voûte, S. Martin-Kilcher, K. Hunger u. A. Brumann Cullen, Metallanalysen und technische Untersuchungen. In: Martin-Kilcher u. a. 2008, 321-324.
- Waldhauser 1998:** J. Waldhauser, Die Goldfingerringe von Münsingen-Rain und ihre Vergleichsstücke aus Flachgräberfeldern im Gebiet zwischen dem schweizerischen Mittelland und dem Karpatenbecken. In: Müller 1998a, 85-121.
- Waldhauser 2003:** J. Waldhauser, Das Silber der Kelten in Böhmen. In: Th. Stöllner, G. Körlin, G. Steffens u. J. Cierny (Hrsg.), Man and Mining - Mensch und Bergbau [Studies in honour of G. Weisgerber in occasion of his 65th birthday]. Der Anschnitt Beiheft 16 (Bochum 2003) 503-512.
- Walther 1996:** W. Walther, Eine bronzene Fibelgußform der jüngeren römischen Kaiserzeit von Neunheiligen und weitere Zeugnisse frühen Gießerhandwerks aus dem Unstrut-Hainich-Kreis. Mühlhäuser Beitr. 19, 1996, 19-32.
- Wamser u. a. 2000:** L. Wamser in Zus.arb. mit Ch. Flügel u. B. Ziehaus (Hrsg.), Die Römer zwischen Alpen und Nordmeer. Zivilisatorisches Erbe einer europäischen Militärmacht [Kat. Ausstellung Rosenheim 2000]. Schriftenreihe der Archäologischen Staatssammlung (Mainz 2000).
- Weber 2006:** G. Weber, Der Schatzfund von Wiggensbach (Lkr. Oberallgäu) und zwei ähnliche Schatzfunde im Vergleich. In: Historisches Museum der Pfalz Speyer (Hrsg.), Geraubt und im Rhein versunken. Der Barbarenschatz [Kat. Ausstellung Speyer 2006] (Stuttgart 2006), 24-26.
- Weisgerber 1993:** G. Weisgerber, Römischer Erzbergbau in Deutschland. In: Steuer u. Zimmermann 1993b, 55-62.
- Weisgerber u. Roden 1985:** G. Weisgerber u. Ch. Roden, Römische Schmiedeszenen und ihre Gebläse. Der Anschnitt 37, 1985, 2-21.
- Weisgerber u. Roden 1986:** G. Weisgerber u. Ch. Roden, Griechische Metallhandwerker und ihre Gebläse. Der Anschnitt 38, 1986, 2-26.
- Weisgerber u. Roden 1998:** G. Weisgerber u. Ch. Roden, Stichwort "Gebläse". In RGA II, 10, 1998, 509-514.
- Wendling 2004:** H. Wendling, Neues aus Tarodunum. Ausgrabungen in der mittel- und spätlatènezeitlichen Großsiedlung von Kirchzarten-Zarten "Rotacker", Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. Arch. Ausgr. Baden-Württemberg 2004, 107-110.
- Werner 1935:** J. Werner, Zu den Schatzfunden von Wiggensbach und Rembrechts. Germania 19, 1935, 159-160.
- Whitfield 1990:** N. Whitfield, Round Wire in the Early Middle Ages. Jewellery Studies 4, 1990, 13-28.
- Whitfield 1998:** N. Whitfield, The Manufacture of Ancient Beaded Wire. Jewellery Studies 8, 1998, 57-86.
- Wiegels 2003:** R. Wiegels, Silberbarren der römischen Kaiserzeit. Katalog und Versuch einer Deutung. Freiburger Beiträge zur Archäologie und Geschichte des ersten Jahrtausends 7 (Rahden/Westf. 2003).

- Williams u. Ogden 1994:** D. Williams u. J. Ogden, Greek Gold. Jewellery of the Classical World (London 1994).
- Wolters 1975:** J. Wolters, Zur Geschichte der Löttechnik (Hanau 1975).
- Wolters 1981:** J. Wolters, Zur Geschichte der Edelmetallötung von den Anfängen bis zum 18. Jahrhundert. Diebeners Goldschmiede- und Uhrmacher-Jahrbuch 1981, 16-42.
- Wolters 1986:** J. Wolters, Die Granulation. Geschichte und Technik einer alten Goldschmiedekunst (München 1986²).
- Wolters 1991:** J. Wolters, Zur Geschichte der Goldschmiedetechniken (Leinfelden-Echterdingen 1991³).
- Wolters 1992:** J. Wolters, Der Gold- und Silberschmied Bd. 1. Werkstoffe und Materialien (Stuttgart 1992⁷).
- Wolters 1997a:** J. Wolters, Niello im Mittelalter. In: U. Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter: 800 bis 1400. Tradition und Innovation (Berlin 1997²) 169-186.
- Wolters 1997b:** J. Wolters, Löten im Mittelalter. In: U. Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter: 800 bis 1400. Tradition und Innovation (Berlin 1997²) 187-203.
- Wolters 1997c:** J. Wolters, Drahtherstellung im Mittelalter. In: U. Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter: 800 bis 1400. Tradition und Innovation (Berlin 1997²) 205-216.
- Wolters 1998:** J. Wolters, Stichwort "Goldschmied, Goldschmiedekunst". In: RGA II, 12, 1998, 362-386.
- Wolters 2006a:** J. Wolters, Stichwort "Vergolden". In: RGA II, 32, 2006, 179-199.
- Wolters 2006b:** J. Wolters, Stichwort "Versilbern". In: RGA II, 32, 2006, 240-255.
- Wunderlich 2006:** Chr.-H. Wunderlich, Und es ward Licht. Archäologie in Deutschland 4, 2006, 32-35.
- Wyss 1989:** R. Wyss, Das Rad in Kult und Brauchtum der Ur- und Frühgeschichte. In: B. A. Schüle, D. Studer u. Ch. Oechslin (Hrsg.), Das Rad in der Schweiz vom 3. Jt. vor Christus bis um 1850 [Kat. Zürich 1989] (Zürich 1989) 91-99.
- Zahlhaas 1985:** G. Zahlhaas, Antiker Schmuck [Ausstellung Burgmuseum Grünwald 1985]. Kleine Ausstellungsführer Prähist. Staatssammlung München 4 (München 1985).
- Zwicker 1973:** U. Zwicker, Untersuchungen an goldplattierten keltischen und griechischen Münzen. Jahrb. f. Numismatik und Geldgeschichte 23, 1973, 115-117.
- Zwicker u. a. 1985:** U. Zwicker, N. H. Gale u. Z. Stos-Gale, Keltisches Münzsilber aus dem Blei-Silber-Erz von Wiesloch? Lapis 10, 1985, 45-46.
- Zwicker u. a. 1993:** U. Zwicker, A. Oddy u. S. La Niece, Roman Techniques of Manufacturing Silver-plated Coins. In: La Niece u. Craddock 1993, 223-246.
- Zwierlein-Diehl 2007:** E. Zwierlein-Diehl, Antike Gemmen und ihr Nachleben (Berlin - New York 2007).