



# Lehrveranstaltung Experimentelle Archäologie Buntmetallverarbeitung

Mag. Mathias Mehofer  
Mag. Hannes Herdits



**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1. Das Experiment als Methode zur Erkenntnisgewinnung .....</b>	<b>3</b>
2. Buntmetallurgie.....	5
2. 1. Kupferlagerstätten .....	5
2. 2. Kupferlagerstätten in Österreich .....	5
2. 3. Metallverhüttung .....	6
2. 3. 1. Herstellung von Zinnbronze .....	6
2. 3. 3. Barren .....	10
2. 3. 4. Bronze .....	9
2. 3. 5. Arsenbronze (Arsenkupfer).....	9
<b>3. Gusstechnologie .....</b>	<b>11</b>
3. 1. Wachsausschmelzverfahren.....	11
3. 2. Guss in verlorener Sandform.....	11
3. 3. Guss in mehrteiligen Formen aus gebranntem Ton.....	11
3. 4. Guss in Steinformen .....	12
3. 5. Guss in Bronzeformen (Kokillen) .....	12
<b>4. Ziertechniken auf Bronzeoberflächen.....</b>	<b>13</b>
4. 1. Schmieden.....	13
4. 2. Treiben und Ziselieren .....	13
4. 3. Punzieren .....	13
4. 4. Gravieren .....	13
<b>5. Prüf- und Meßmethoden .....</b>	<b>14</b>
<b>6. Oberflächenveredelung.....</b>	<b>17</b>
6. 1. Vergoldungstechniken .....	17
6. 2. Tauschierung und Plattierung .....	18
6. 3. Pressblechherstellung mittels Pressmodel .....	18
<b>7. Das Löten .....</b>	<b>20</b>
<b>8. Literatur:.....</b>	<b>21</b>

# 1. Das Experiment als Methode zur Erkenntnisgewinnung

Hannes Herdits, Daniel Kumpa, Wolfgang Lobisser, Klaus Löcker, Mathias Mehofer und Hans Reschreiter

Die Vorstellung, durch praktische Experimente Einzelheiten über das Leben der Vergangenheit zu erfahren, ist beinahe so alt wie die Archäologie selbst, wenn auch die Anfänge sehr sporadisch verliefen. Die Pioniere dieser Forschungsmethode experimentierten bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, um Aussagen über die technischen Möglichkeiten von vergangenen Kulturen untermauern zu können.

In unseren Tagen, da die wissenschaftlichen Möglichkeiten der typologischen und auch der chronologischen Methoden nahezu ausgeschöpft sind, da man sich bei Datierungsfragen bereits unter dem Generationenbereich bewegt, beziehen sich die Fragen der Archäologen in zunehmendem Maße auf die Alltagskultur der Menschen, ihre Aktivitäten, Überlebensstrategien und Siedlungsgewohnheiten.

Neben den naturwissenschaftlichen Methoden (z. B. Pollenprofile, Dendrochronologie, Geomagnetik) stützt sich die moderne Forschung bei der Beantwortung dieser Fragen vor allem auf Ergebnisse der Experimentellen Archäologie. Keine andere Methode ist in dem Maße geeignet, unsere Vorstellungen von den technischen Möglichkeiten unserer Vorfahren auf eine lebensnahe Basis zu stellen, unsere Erklärungen und Interpretationen von Grabungsbefunden zu überprüfen.

Wenn die Ergebnisse unserer Versuche letztlich auch keinen endgültigen Beweischarakter haben, geben sie uns doch eine gute Vorstellung vom Alltagsleben der Vergangenheit, mit der wir uns wohl bei vielen Fragen weitgehend an die historische Realität annähern können<sup>1</sup>.

Das Experiment setzt dort an, wo die herkömmlichen Methoden der Archäologie nicht mehr greifen und versucht Handwerkspraktiken, technische Einrichtungen, und Arbeitsvorgänge zu überprüfen, zu erklären und so letztlich zu rekonstruieren. Viele Experimente führen zu einer Rekonstruktion, doch beruht nicht jede Rekonstruktion auf einem Experiment.

Die Vorgangsweise bei archäologischen Experimenten orientiert sich vor allem an den Naturwissenschaften, wobei für jedes Experiment eine ausformulierte Forschungsfrage als Ausgangspunkt dienen sollte, die sich meist aus der Interpretation einer aktuellen Ausgrabung, aus einem historischen Text oder einer bildlichen Darstellung ergibt.

Jedes Experiment hat einen klassischen Ablauf, der mit einem ausführlichen Studium der Forschungsgeschichte seinen Anfang nimmt. Bei der Vorbereitung werden auch Vergleiche aus Ethnologie und Ethno - Archäologie eingearbeitet.

Sind alle zur Verfügung stehenden Informationsquellen ausgeschöpft, erfolgt die minutiöse Planung des Versuchs, der streng wissenschaftlich angelegt und genauestens dokumentiert wird, um theoretische Annahmen durch praktische Arbeiten auf ihre Richtigkeit zu testen. Bei der Dokumentation setzt man auf moderne Technik, Messinstrumente und Videoaufnahmen, genauso wie auf Photographien und schriftliche Aufzeichnungen.

---

<sup>1</sup> Fansa, Mamoun, Experimentelle Archäologie in Deutschland In: Fansa, Mamoun (Hg.) Experimentelle Archäologie in Deutschland, Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland . Oldenburg 1996. Beiheft 13,S. 11.

Es empfiehlt sich, jedes Experiment mindestens zweimal vorzunehmen, damit eine gewisse Regelmäßigkeit bei den Ergebnissen nachvollziehbar ist. Die so gewonnenen Ergebnisse werden analysiert und mit dem bisherigen Forschungsstand verglichen, der so entweder bestätigt wird oder bei neuen Erkenntnissen entsprechend korrigiert werden muss. Neue Erkenntnisse führen zu neuen kulturhistorischen Ansätzen und in der Folge meist zu neuen Fragestellungen. Mittelpunkt der Experimentellen Archäologie ist immer der Mensch mit seinen Problemen, seinen Fähigkeiten und seinen Lösungsstrategien.

## 2. Buntmetallurgie

Mathias Mehofer, Hannes Herdits

Die prähistorische Metallurgie umschließt nicht nur die Wissenschaft der Metallgewinnung bis hin zum Metall, sondern sie beginnt bereits mit dem Erkennen, Sammeln dem Abbau der Erze und geht dann über die Aufbereitung, Verhüttung, Legierung, Gießen und Bearbeitung bis zum fertigen Metallartefakt. Weiters umfasst sie auch den Tausch, den Handel, den Gebrauch und den gesellschaftlichen Nutzen des fertigen Metallobjekts.

### 2. 1. Kupferlagerstätten

Bereits sehr früh in der Geschichte wurde Bergbau betrieben. Ohne die bewusste Auswahl von Rohstoffen wäre die Entwicklung der materiellen Kultur in dieser Form nicht möglich gewesen. Bereits während Paläolithikum mussten mineralische Rohstoffe durch Aufklauben oder Graben gewonnen werden. Gediegenes Kupfer kommt stellenweise vor, in urgeschichtlicher Zeit aber wurden meist sekundäre Kupfererze abgebaut, die sich als Verwitterungsprodukt aus den primären Erzen in den oberen Bereichen der Lagerstätten bilden. Da diese Erze oft intensiv blau oder grün gefärbt sind und sich auch für andere Zwecke – z.B. als Schmuckstein oder Farbstoff anboten – wurden sie bereits sehr früh verwendet. In Österreich gibt es, bedingt durch die reichen polymetallischen Erzvorkommen, zahlreiche Hinweise auf prähistorische Kupferabbaustellen. Es handelt sich in erster Linie um hydrothermale oder pegmatitische Gänge, die häufig entlang von tektonischen Schwächezonen (Störungen) das Gestein durchsetzen.

### 2. 2. Kupferlagerstätten in Österreich

Kelchalpe bei Kitzbühel, Tirol

Mitterberg am Hochkönig, Salzburg

Paltantal, Schoberpaß und Eisenerz, Steiermark

Abgesehen von diesen größeren und gut untersuchten Lagerstätten gibt es im gesamten Alpenraum und auch in Niederösterreich zahlreiche kleinere Erzlager, Bergbau und Verhüttungsplätze. Im Waldviertel findet man Kupfer bzw. Kupfererze z.B. in Eibenstein oder Spitz. Für die kupferzeitlichen Metallurgen waren vor allem die Kupferlagerstätten wichtig, in denen das Kupfer mit dem Arsen gemeinsam auftritt. Solche Vorkommen findet man besonders im Erzgebirge, im Harz, im Schwarzwald, in den Vogesen, in Böhmen, im Riesengebirge und in den Alpen.

Der Name Kupfer wird im Allgemeinen von der Insel Zypern abgeleitet. Bereits vor 5000 Jahren wurde dort Kupfer abgebaut und auch die Römer deckten den Großteil ihres Kupferbedarfs aus den zyprischen Minen. Sie nannten das Metall „*aes cypriu*“, später wurde das cyprium zu „*cuprum*“ abgekürzt. Von diesem Wortstamm werden das deutsche „Kupfer“, das englische „*copper*“ und das französische „*Cuivre*“ abgeleitet.

## 2. 3. Metallverhüttung

Der metallurgische Prozess durch den Erz in Metall verwandelt wird, nennt man „Verhütten“ oder „Schmelzen“. Diese Prozesse sind notwendig, da Kupfer nur selten in reiner Form vorkommt. Die europäischen Kupferlager bestehen hauptsächlich aus Kupferkies, einem Mineral, das etwa 35% Kupfer, 35% Schwefel und 30% Eisen enthält (z. B. Mitterberg am Hochkönig). Durch das Schmelzen wird das Kupfer von seinen Nebengesteinen getrennt.

- *chemisch verschiedene Erzbasen verlangen unterschiedliche Verhüttungsmethoden*, so sind sulfidische Kupfererze (z.B. Chalkopyrit –  $\text{CuFeS}_2$ ) aufgrund ihrer Zusammensetzung anders zu behandeln als oxidische Kupfererze (z. B. Malachit –  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$ ).
- Dem eigentlichen Schmelzen von sulfidischen Erzen geht das Rösten voran. Dadurch wird der Schwefelgehalt der Erze reduziert (dabei ist ein typischer Geruch verspürbar) und auch ein Teil des Eisens oxidiert. Davor wurde das Erz unter Zuhilfenahme von Pochsteinen und Reibplatten zerkleinert, zermahlen und durch Auswaschen nochmals angereichert. In einem zweiten Schritt wird das geröstete Erz mit dem noch verbleibenden Nebengestein unter Zusatz von Holzkohle in einem Schmelzofen unter reduzierenden Bedingungen verschmolzen. Es bildet sich Schlacke und Kupfer (Gußkuchen).
- Dieses Rohkupfer enthält oft noch Verunreinigungen, die durch nochmaliges Schmelzen in einem offenen Gusstiegel oxidiert werden können. Das gereinigte Kupfer wird dann in Barrenform gegossen.

### 2. 3. 1. Herstellung von Zinnbronze

Als *Legieren* bezeichnet man das intentionelle, d.h. das absichtliche Hinzufügen von Metallen zu dem Ausgangsmetall. Man legiert ein Metall, um seine Eigenschaften für bestimmte Verwendungszwecke zu verbessern. Kupfer kann durch die Beigabe von Zinn (oder Zink) gehärtet und schmiedbarer gemacht werden. Die Zugabe von Blei erleichtert das Gießen und die Bearbeitung von komplexen Formen. Durch das Hinzufügen von bis zu 45% Zink erhält man Messing.

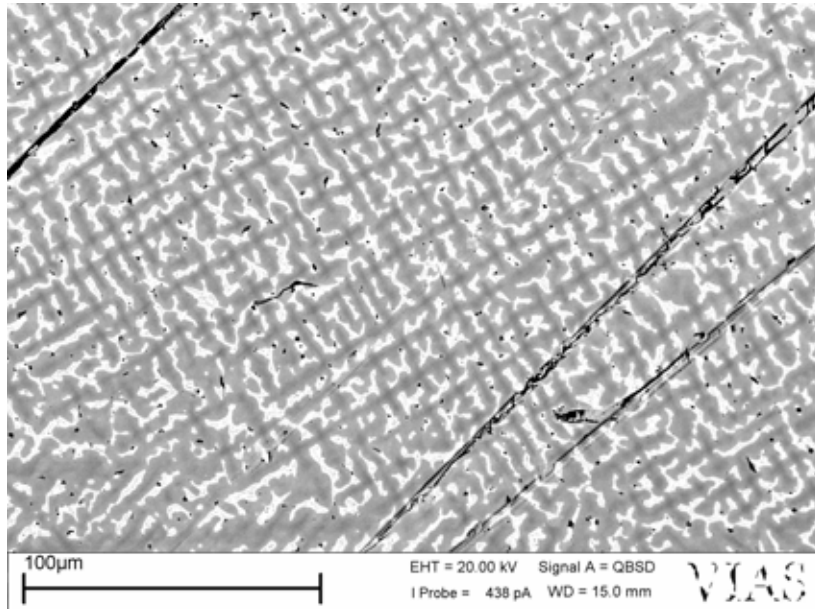
#### *Möglichkeiten der Bronzeherstellung*

1. Kupfererz (z. B. Malachit) wird mit Zinnerz (z. B. Kassiterit) zusammen geschmolzen.
2. Zinnerz wird zu flüssigem Kupfer hinzugegeben. Diesen Prozess nennt man Zementation: der Kassiterit wird unter einer Holzkohlenschicht zu Zinn reduziert und dann im flüssigen Kupfer aufgelöst.
3. Metallisches Zinn wird mit Kupfer unter reduzierenden Bedingungen zusammen geschmolzen.

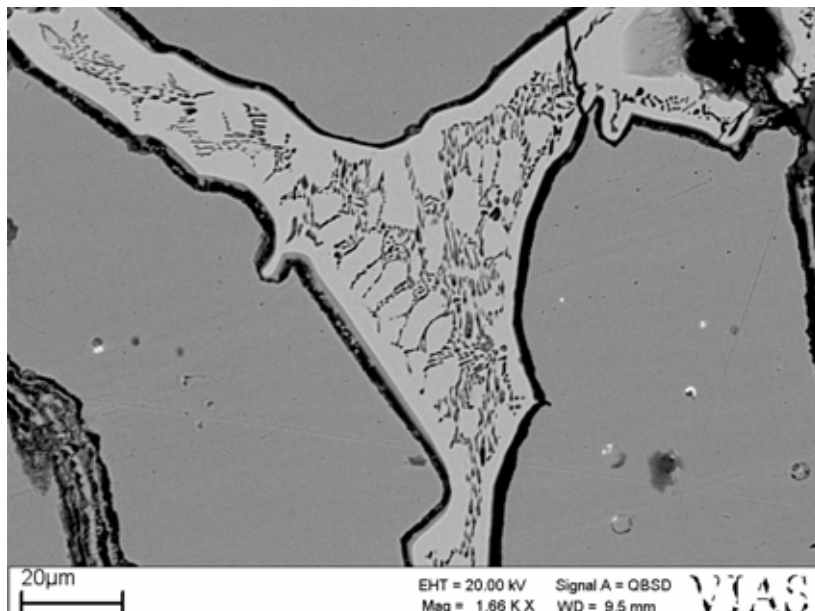
#### *Weiterverarbeitung*

- Rohgüsse aus Kupfer oder Kupferlegierungen können prinzipiell bei niedrigen oder bei hohen Temperaturen überarbeitet (geschmiedet) werden. Sie müssen aber immer wieder zur Entspannung des Gefüges zwischengeglüht werden.

- Bei Legierungen empfiehlt es sich jedoch, an diesen vor der Bearbeitung eine **Homogenisierungsglühung** durchzuführen. *Durch Glühen des Rohgusses bei 600 bis 700°C für mehrere Stunden* verschwinden die im Gefüge vorhandenen Dendriten und es entstehen Kristalle. Bei diesen Kristallen handelt es sich um Kupfer-Zinn-Mischkristalle, die eine einheitliche Konzentration aufweisen. Dies erleichtert die weitere Bearbeitung. Wird das Material nun im kalten Zustand weiter überschmiedet, wird es zwar härter aber auch spröder.



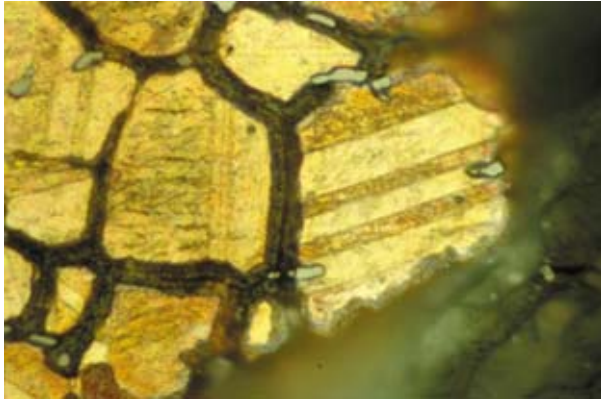
Gussgefüge einer Bronze mit ca. 12Gew% Zinn (hell) und 88 Gew%Kupfer (grau), die schmelzflüssige Bronze ist in dendritischer Struktur erstarrt.



Gussbronze: die zinnreiche Phase ( $\alpha - \gamma$  Eutektikum – hellgrau) ist in eine kupferreiche Matrix (grau) eingebettet.

- Soll das Werkstück nun weiter verformt werden, so ist eine *Wiedererweichung durch Glühen* (Anlassen) erforderlich. Die inneren Spannungen (Sprödigkeit) werden dadurch

ausgeglichen. Anlassen und Warmschmieden werden im Gefüge durch die Bildung so genannter „Zwillingskristalle“ erkennbar. Diese Kristalle entstehen durch Verschiebungen im Kristallgitter.



Durch längeres Glühen entstehen homogene Mischkristalle, die das Metall schmiebar machen.



### 2.3.2. Zinn

Im Gegensatz zu Kupfererzen ist das Vorkommen des wichtigsten Zinnminerals, des Kassiterits, in Europa auf wenige Lagerstätten beschränkt. Zinnstein – oder Kassiterit – ist dunkelbraun bis schwarz und sehr schwer. Er reichert sich wie Gold in Flussbetten an, nachdem er aus dem Gestein herausgewittert ist.

„...Zinn und Bernstein kommen unzweifelhaft vom Ende der Welt zu uns“, meinte Herodot. Zinnlagerstätten sind in Südwestengland, in der Bretagne und im französischen Zentralmassiv, auf der iberischen Halbinsel, auf Sardinien, Korsika und Elba und in der Toskana vorhanden. Bekannt sind auch Vorkommen im mitteldeutschen Erzgebirge und in Serbien und Bosnien. Besonders in Westeuropa weisen Metallgegenstände der frühen Bronzezeit überdurchschnittlich hohe Zinngehalte auf. Die dortigen Lagerstätten dürften also wirklich intensiv ausgebeutet worden sein.

Überraschend ist die Tatsache, daß im Gegensatz zu Südwestengland, der iberischen Halbinsel und Frankreich archäologische Nachweise für einen ur- und frühgeschichtlichen Zinnabbau im böhmisch-sächsischen Erzgebirge bis heute fehlen, obwohl auch dort Zinnseifenabbau durchaus möglich gewesen wäre. R. Krause konnte nachweisen, dass das Zinn für die süddeutschen und schweizerischen Bronzen aus den großen Zinnseifen Cornwalls und der Bretagne stammt. Für unseren Raum gibt es leider bis dato keine dementsprechenden Untersuchungen.

Die bewusste Herstellung von Bronze setzt die Verfügbarkeit der Metalle Kupfer und Zinn voraus. Da diese Metalle nur an wenigen Stellen und weit voneinander entfernt vorkommen, muss es weitreichende und gut funktionierende Handelsstrukturen gegeben haben. Metallversorgung und Handel sind also nicht voneinander zu trennen.

### 2.3.3. Bronze

Reines Kupfer besitzt eine niedrige Härte, die durch Kaltschmieden verbessert werden kann. Bronze ist jedoch schon in gegossenem Zustand härter und weist deutlich verbesserte Materialeigenschaften auf. Daher ist es nahe liegend, dass die Bronze im Lauf der Zeit das Kupfer abgelöst hat. Bereits in den letzten Jahrhunderten des 3. Jahrtausends v.Chr. wird die Verwendung von Bronze nördlich der Alpen allgemein üblich. Man nutzt sie um Schmuck, Waffen und Geräte herzustellen.

### 2.3.4. Arsenbronze (Arsenkupfer)

Die frühen Bronzen sind meist Arsenbronzen. Gediegenes Arsen kommt nur sehr selten vor. Meist begleitet es andere Metalle wie Zinn oder Kupfer. Daher kann man annehmen, dass diese frühen Arsenbronzen noch keine echten Legierungen sind. Es ist wahrscheinlich besser, diese Artefakte als Arsenkupfer zu bezeichnen.

Eine Legierung setzt ja voraus, dass dem Ausgangsmaterial, in diesem Fall dem Kupfer, absichtlich ein zweites Metall zugesetzt wird, um die Materialeigenschaften zu verbessern.

Die Vorteile des Arsenkupfers:

- Herabsetzung des Schmelzpunktes
- Erhöhte Qualität des Gusses
- Erhöhung der Härte durch Kaltbearbeitung
- Verbesserte Schmiedbarkeit
- Ästhetische Werte: so genannte „inverse Segregation“ kann dazu führen, dass die arsenreichen Komponenten silberglänzende Schichten an der Oberfläche bilden. Es wird von einigen Wissenschaftlern vorgeschlagen, dass es diese silbrige Farbe der Oberfläche war, die den vorgeschichtlichen Schmied dazu bewegte, Arsenkupfer herzustellen und zu bearbeiten.

## 2. .3. 5. Barren

Barrenformen spielen für den Archäologen eine wichtige Rolle. Sie sind ein Indikator für Kupferbergbau, Bronzeverarbeitung, Transport, Tausch und Handel zur Versorgung von Werkstätten.

Der Ausdruck Barren sollte nicht zu wörtlich genommen werden. Damit ist nicht nur die „klassische Barrenform“ gemeint, sondern auch Scheiben und Ösenringe. Wahrscheinlich sollte man auch kleine Meißel und Flachbeile hinzuzählen. Wichtig ist nur, dass es sich um mehr oder weniger genormte Größen und Gewichte handelt. Im archäologischen Fundmaterial finden sich vereinzelt Spangenbarren, wo Stücke abgeschnitten wurden – wenn der Barren zu schwer war – oder bei zu kleinen Barren weiteres Metall in Form von Manschetten hinzugefügt wurde. Sie wurden vermutlich hergestellt, um das fertige Material in handlichen Mengen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung zu haben und um den Transport des fertigen Materials zu erleichtern. Aber sie wurden nicht nur als handelsübliches Zwischenprodukt eingesetzt, sondern auch als Schmuck und „Wertanlage“ verwendet. Wir finden frühbronzezeitliche Ösenhalsreifen nicht nur in sogenannten Depot- oder Hortfunden, sondern auch als Halsschmuck in reich ausgestatteten Gräbern.

### 3. Gusstechnologie

Im Folgenden sollen einige Techniken exemplarisch vorgestellt werden, die relativ wenig Werkzeug voraussetzen, jedoch nur mit entsprechendem handwerklichem Können durchführbar sind. Die Rekonstruktion von Handwerkstechniken kann nur unter Einbindung der technotypologischen Analyse<sup>2</sup> von Fundstücken und Überprüfung derselben durch die Methoden der experimentelle Archäologie<sup>3</sup> von Erfolg gekrönt sein.

Bronzegeräte wurden meist durch Guss hergestellt. Ihre endgültige Form erhielten sie dann durch Schmieden. Für das Gießen standen dem Gießer – je nach erreichter Temperatur – nur wenige Sekunden zur Verfügung ehe sich das Metall wieder verfestigte. Man musste also sehr schnell und zielsicher gießen und dabei noch darauf achten, dass eventuell gebildete Schlacke oder andere Rückstände, die auf dem flüssigen Metall schwammen, nicht mit in die Form gegossen wurden. Man kann solche Rückstände durch einen Stab den man quer über den Gusstiegel hält, zurückhalten.

### Gusstechniken

#### 3. 1. Wachsausschmelzverfahren

Für jeden einzelnen Gegenstand, der gegossen werden soll, muss ein Wachsmode­l angefertigt werden. Dieses Wachsmode­l wird in Ton eingebettet und im Feuer gebrannt. Das Wachs „schmilzt aus“ und der entstehende Hohlraum wird mit schmelzflüssiger Bronze ausgegossen. Die Anwendung dieser Technik ist vor allem bei mehrteiligen Werkstücken und Objekten mit Hinterschneidungen sinnvoll. Die Reste dieser Gussformen sind nur in Einzelfällen archäologisch nachweisbar, da die Form beim Herausnehmen des Bronzeobjekts zerstört wird.

#### 3. 2. Guss in verlorener Sandform

Bei diesem Gussverfahren wird in ein vorbereitetes Sandbett ein Model des zu gießendes Werkstückes eingedrückt, sodass ein Negativform entsteht. In diese wird dann die heisse Bronze eingegossen (vgl. offener Herdguss).

#### 3. 3. Guss in mehrteiligen Formen aus gebranntem Ton

Diese Technik verwendet zwei- oder mehrschalige Tonformen, in denen im feuchten Zustand ein Modell des angestrebten Gußstückes abgedrückt wurde. Nach dem herausnehmen des Modells wurde der Negativabdruck mit einem EIngusstrichter und Windpfeifen versehen. Das genaue Zusammenpassen der beiden Hälften wird durch sogenannte „Schlösser“ gewährleistet. Dabei handelt es sich um Vorsprünge oder Vertiefungen, die ihr passgenaues Gegenstück in der zweiten Schale haben. Eine weitere Möglichkeit stellen Bohrungen für Passstifte aus Holz dar. Ebenso sind umlaufende Rillen möglich, die beim Guss durch einen Verschürung gesichert werden.

---

<sup>2</sup> Birgit Bühler, Untersuchungen zu Guss, Oberflächenbearbeitung und Vergoldung an frühmittelalterlichen Bunt- und Edelmetallgegenständen. Mit einem Beitrag von Hannes Herdits, *Archaeologia Austriaca* 82-83, Wien 1998-99, S. 429-478.

<sup>3</sup> Bühler, Birgit, Technologische Studien zur Herstellung von Goldschmuck im Frühmittelalter, Draht, Lötung und Granulation Wien 1998, S. 155 – 167.



### **3. 4. Guss in Steinformen**

Es gibt einschalige und zweischalige Gussformen aus Stein (meist Sand- oder Speckstein), sie haben den Vorteil, dass sie mehrmals benutzt werden können, wobei Gussformen aus Stein für Tüllenbeile, Messer und Sichel bekannt sind. Ihre Verwendung erfolgte analog den zweiteiligen Tonformen.

### **3. 5. Guss in Bronzeformen (Kokillen)**

Die Verwendung erfolgt ähnlich den mehrteiligen Formen aus Ton, allerdings scheint noch nicht endgültig geklärt, ob damit Metallgegenstände oder Wachsmodeill hergestellt wurden.

## 4. Ziertechniken auf Bronzeoberflächen

Metalle / Metallobjekte eignen sich aufgrund ihrer verschiedenen Eigenschaften (relativ hohe Verformbarkeit, glänzende Oberflächen) zum Verzieren besonders gut. Sie waren immer Statussymbole, egal ob es sich um Schmuck, Waffen oder Werkzeuge handelte.

Hieraus entwickelten sich verschiedene Ziertechniken.

### 4. 1. Schmieden

Rohgüsse aus Kupfer oder Kupferlegierungen können prinzipiell bei niedrigen oder bei hohen Temperaturen überarbeitet werden. Kupfer hat eine niedrige Härte, die durch das Kalt Schmieden erheblich verbessert werden kann. Bronze ist schon in gegossenem Zustand härter als Kupfer und wird durch Schmieden noch härter. Durch metallographische Untersuchungen kann gezeigt werden, wieso durch das Schmieden die Härte gesteigert wird und warum man ganz gezielt bestimmte Bereiche eines Werkstücks nach dem Gus bearbeitet. So wurden zum Beispiel oft nur die Schneiden von Beilen, Dolchen, Schwertern und Pfeilspitzen gehärtet, während der innere Kern der Stücke noch die gegossene Struktur zeigt. Mikroskopisch betrachtet führt das Schmieden zu Gitterverspannungen des Kristallgefüges, wodurch Versetzungen im Gefüge nicht mehr weitergeleitet werden können – die Härte nimmt zu.

### 4. 2. Treiben und Ziselieren

Das Treiben und Ziselieren sind spanlose Bearbeitungstechniken, die an einer Metalloberfläche durchgeführt werden. Das Umformen von Blechen mit dem Hammer wird als Treiben bezeichnet. Zur Bildung feinerer Verzierungen und Ornamente kommt es durch die Technik des Treibziselierens. Mittels eines Hammers und verschiedener Punzen werden in das Metall von der Vorder- und Rückseite die meistens vorgezeichneten Linien und Flächen hineingearbeitet. Punzen sind gehärtete Metallstifte aus Bronze oder Eisen mit unterschiedlich geformten Enden.

### 4. 3. Punzieren

Unter Zuhilfenahme bereits vorgeformter Metallstempel, diese werden ebenfalls als Punzen bezeichnet, werden Ornamente in die Metalloberfläche geschlagen. Diese Werkzeuge tragen oft einfache Muster – Kreise, Dreiecke – jedoch sind auch Stempel mit fein eingeschnittenen Tierbildern sowie unzähligen floralen und anderen Motiven bekannt.

### 4. 4. Gravieren

Im Gegensatz dazu ist das Gravieren eine spanabhebende Technik. Mit geschärften Werkzeugen, Stichel und Meißel, werden Linien und andere Verzierungen in die Oberfläche eingearbeitet oder aus ihr erhaben herausgearbeitet. Der Stichel wird mit der Hand geführt während ein Meißel mit dem Hammer vorwärts getrieben wird und dabei charakteristische Spuren am Werkstück hinterlässt.

## 5. Prüf- und Meßmethoden

Ausgehend von verschiedenen archäologischen und metallurgischen Befunden lassen sich verschiedene Methoden rekonstruieren:

- **Gewichts und Dichtebestimmungen:**

Wägung mit 2 Schalenwaage<sup>4</sup>

Die Auftriebmethode für die Dichtebestimmung diente zur Unterscheidung zwischen Gold und vergoldeten sowie von silbernen und versilberten Gegenständen.

- **Thermische Prüfmethode - Wärmemessverfahren.**

Die Temperaturbestimmung erfolgte auf der Grundlage natürlicher Bezugspunkte wie z.B. Ausdehnung und Verdampfung von Flüssigkeiten (Wasser, Essig).

Flüssiges Blei bringt Papyrus zum Brennen, Zinn nicht.

- **Optische Temperaturbestimmung**

Die Beurteilung der Temperatur ist auch durch Beobachtung der Oberfläche beim Aufschmelzen und der Glühfarbe möglich.

So kann durch Beobachtung des Metalls beim Erhitzen – eine entsprechende Ofenkonstruktion vorausgesetzt z. B. der Farbumschlag des Amalgams bei der Feuervergoldung in goldgelb erkannt werden, wenn die richtige Temperatur erreicht ist und genügend Quecksilber verdampft ist.

Die Glüh- und Anlassfarben von Eisen geben ebenfalls einen Hinweis auf die momentane Temperatur. Bei der Feuerschweißung ist zusätzlich eine „flüssige“ Oberfläche des Eisens zu sehen. Dabei handelt es sich um aufgeschmolzenes Flussmittel.

Gelbe Farbe der Flammen, wenn Natrium bei Reaktionslötungen verdampft

„Glatte“ und spiegelnde Oberfläche der geschmolzenen Bronze → richtige Gusstemperatur  
Unter Verwendung von Referenzmetalle, deren Schmelzpunkt bekannt ist (Blei, Zinn, Zink), kann ebenfalls Temperaturbestimmung erfolgen.

- **Geruchs und Geschmacksprobe**

Geruchs und Geschmacksprüfung - resultiert aus unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung.

Gold z. B. ist geschmacklos, Zink schmeckt bitter.

Beim Rösten von sulfidischen Kupfererzen (einer Vorstufe bei der Kupferverhüttung), entsteht charakteristischer Schwefelgeruch

---

<sup>4</sup> Hammer, Peter, Metallkundliche Untersuchungen In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. Geschmacksprobe, Beurteilung der Vergießbarkeit S. 159; Dichtebestimmung, Probiersteine S. 160; Härtebeurteilung S. 163.  
zur Geschmacksprobe: Dass man Münzen in den Mund nahm, wird von Aristophanes beschrieben, den Agricola zitiert“ als ich Trauben verkaufte, ging weg ich, das ganze Maul voller Münzen., G. Agricola ausgewählte Werke Bd. 5 Berlin 1959, S. 385.

- **Gießprobe**

Verschiedene Materialeigenschaften wie Farbe, Vergießbarkeit, Schmiedbarkeit und Bearbeitbarkeit nach dem Gießen der Legierungen tragen zur Unterscheidbarkeit bei. Bronze zum Beispiel weist mit zunehmenden Zinngehalt unterschiedliche Gefüge im Gusszustand auf. Bis ca. 10% Zinnanteil entsteht während der Abkühlung ein Alpha - Kristall, mit zunehmenden Zinngehalt ist bei Raumtemperatur entweder das spröde Alpha – Delta Eutektikum oder im Idealfall ein  $\alpha + \epsilon$  Gefüge vorhanden, die jedoch beide spröde sind. Dies bedeutet veränderte Guss- und Schmiedeeigenschaften. Mit steigendem Zinngehalt nimmt die Vergießbarkeit zu, da der Schmelzpunkt der Legierung fällt, die Schmiedbarkeit nimmt ab. Hier wäre als weiterer Bearbeitungsschritt das Homogenisierungsglühen notwendig, um homogene und besser verschmiedbare Kupfer – Zinn Mischkristall zu bilden.

- **Mechanische Prüfmethode:**

a. Ritzprüfung

b. Hämmer- Schmiedeprobe

c. Biegeprüfung

d. Probiersteine und Poliersteine

a) Ritzprobe

Die Härte besitzt als wichtigste mechanische Eigenschaft, eine große Bedeutung für den metallischen Werkstoff. Es wäre vielleicht eine Härtemessung nach „Mohs“ denkbar. Prinzip dieses Messverfahrens ist, dass das härtere Metall das weichere ritzt, dadurch lassen sich Vergleichsreihen erarbeiten.

Da Bronze durch unterschiedliche Legierung und Kaltverfestigung unterschiedliche Härte annehmen kann, ist es möglich, auch verschiedene Bronzelegierung zu unterscheiden.

b. Hämmer und Schmiedeprobe

Die chemische Zusammensetzung entscheidet sowohl bei Eisen wie auch Buntmetall<sup>5</sup> über die Schmiedbarkeit. Gusseisen war aufgrund des hohen Kohlenstoffgehalts nicht schmiedbar, schwefelhaltiges Eisen neigt zu „Rotbruch“, inhomogene Schlacke und Kohlenstoffverteilung führt beim Härtevorgang zu Rissen.

Verwendung von *Probiersteinen*

dient als mechanisches Verfahren zur Feingehaltbestimmung von Edelmetalllegierungen.

Auf der harten schwarzen Oberfläche wird eine Münze o. ä. derart abgestrichen, dass eine Spur des Metalls stehen bleibt, diese wird dann mit einem daneben gezogenen Gold oder Silberabstrich einer Probe oder Legierung bekannten Feingehalts verglichen. Die richtige

---

<sup>5</sup> Das Stangenkupfer (Regulare) wird auch in anderen Gruben gewonnen und ebenso das Kupfer, das sich durch Hitze bearbeiten lässt (caldarium). Der Unterschied besteht darin, dass das letztere nur geschmolzen wird und unter dem Hammer zerbricht, das Stangenkupfer, von einigen als das hämmerbare genannt, aber nachgibt, wie alles zyprische Kupfer<sup>5</sup>. Ergreife es (das gegossenen Kupfer) mit der Zange noch ehe es erkaltet ist, während es noch glüht und schmieße es kräftig mit einem großen Hammer auf dem Amboss. Wenn es bricht oder reißt, wirst du es erneut, wie vorhin schmelzen müssen Brepohl, Theopylus Presbyter 200, nach Hammer Peter, metallkundliche Untersuchungen, Anm. 131, S. 160.

Beurteilung setzt ein gutes Auge und beträchtliche Erfahrung im Umgang mit Edelmetallen voraus. Wichtig ist, dass der Stein keine Adern oder Streifen<sup>6</sup> besitzt.

Mit diesen Probersteinen bestimmen Sachkundige, nachdem sie, wie mit einer Feile, ein Stückchen von der Ader zur Prüfung abgerieben haben, sogleich auf den Skrupel genau, wie viel an Gold darin enthalten ist, wie viel Silber oder Kupfer, auf eine erstaunliche nicht täuschende Weise<sup>7</sup>.

Die Metalle und Legierungen haben eine typische Grundfarbe die mittels Proberstein ermittelt werden kann, Kupfer nimmt beim Legieren mit Zinn oder Zink typische Farben an, die mit steigendem Zinngehalt über gelb nach grau und weiß verlaufen, mit steigendem Zinkgehalt über Gold nach messinggelb<sup>8</sup>.

- **Chemische Prüfverfahren**

Das Oxidationsverhalten von Edelmetall ist vom Legierungsgehalt abhängig und gibt Auskunft über die Reinheit des Metalls, Bei Silber unterscheidet man drei Reinheitsgrade: "Legt man ein Stückchen in eine glühende eisernen Räucherpfanne, so ist es, soweit es weiß bleibt echt. Die nächstbeste Sorte wird rot, wertlos ist es, wenn es Schwarz wird<sup>9</sup>.

Das Aufbringen von Essigsäure auf Kupferlegierungen verursacht Grünfärbung<sup>10</sup>

---

<sup>6</sup>Zeledius, Volker, Merowingerzeitliche Probersteine im nördlichen Rheinland Der Anschnitt 1, Bochum 1981. S. 3; Löh, Hans, Goldprobersteinen in Trier, Funde und Ausgrabungen im Bezirk Trier, Trier 17, 1985. S. 13-18.

<sup>7</sup> Plin. Nat. 33, 126, nach Hammer Peter, metallkundliche Untersuchungen, Anm. 127, S. 160.

<sup>8</sup> Hammer Peter, metallkundliche Untersuchungen S. 160.

<sup>9</sup> Plinius. Nat. 33, 127, nach Hammer Peter, metallkundliche Untersuchungen, Anm. 130, S 161.

<sup>10</sup> Hammer Peter, metallkundliche Untersuchungen, S. 161.



## 6. Oberflächenveredelung

### 6. 1. Vergoldungstechniken

- Vergoldung durch mechanische Verbindung
- Blattvergoldung
- Vergoldung durch Verlöten mit Hart- oder Weichlot
- Feuervergoldung

#### *Feuervergoldung*

Bei der Feuervergoldung wird Goldamalgam<sup>11</sup>, eine Mischung der grauen  $\gamma$  - Phase -  $Au_2Hg$  mit Quecksilber ( $Au_2Hg$  enthält 33% Quecksilber) auf einen Grundwerkstoff aufgetragen und erhitzt. Der optimale Temperaturbereich für den Vergoldungsprozess liegt laut Anheuser zwischen 250-350°C, die Temperatur wird in diesem Bereich für ca. 10 Minuten gehalten, währenddessen geht die  $\gamma$  - Phase in die gelbe  $\zeta$  - Phase und dann in  $\alpha$  - Phase des Goldamalgams über. (Abb. 25) Vergoldung auf Kupfer ist etwas problematisch, da sich an der Oberfläche des Kupfers eine Oxidhaut bildet die den Vorgang sehr erschwert. Um den Prozess zu erleichtern, kann vor dem Aufbringen der Amalgampaste reines Quecksilber, das mit Kochsalz, Alaun und Essigsäure<sup>12</sup> vermennt ist, auf das Grundmaterial aufgetragen – *Verquickung* genannt - und dadurch die Oxidbildung aufgehoben werden.

Es sei jedoch auch angemerkt, dass das Vorhandensein von Quecksilber im Material nicht automatisch auf eine Feuervergoldung hindeutet. Anheuser schreibt hierzu, dass Gold zwischen 5-25 % Quecksilber haben kann ohne Farbänderung von goldgelb in Grau zu zeigen.

#### *Vergoldung durch Diffusionsbindung*

Bei dieser Vergoldungsmethode wird Gold (meist in Blattform) aufgebracht und anschließend erhitzt (z. B. eine Stunde lang). Die Atome diffundieren im festen Zustand bei ca. 500°C in die Oberfläche ein und bilden eine feste Verbindung.

*Vergolden* unter Anwendung eines Weichlotes zwischen einem Goldblech und einem Grundwerkstoff. Dies erfordert relativ dicke Goldschichten, dünne Zinnschichten und geringe Temperaturen.

Diese verschiedenen Techniken zur Oberflächenveredelung setzten größtenteils eine reduzierend wirkende Ofenatmosphäre voraus, um ungewollte Oxidbildung, z.B. bei der Feuervergoldung, zu unterbinden. Um solche Bedingungen zu schaffen sind sog. Muffelöfen von Vorteil. Dabei handelt es sich im Prinzip um eine Feuerstelle ähnlich einer Schmiedesse die mit einer Kuppel umwölbt wird, Der Rauchabzug ist durch ein Loch im Zenit der Kuppel gegeben, Luftzufuhr erfolgt mittels einer oder zwei Düsen. Frank Willer verwendet eine ähnliche Konstruktion für seine

<sup>11</sup> Hammer, Peter, Metallkundliche Untersuchungen In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 188.

<sup>12</sup> Anheuser, Kilian, Im Feuer vergoldet: Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik 4, Stuttgart 1999. S. 32.

Gussversuche<sup>13</sup> zu einer merowingischen Schatulle. Da die aufgehenden Seitenwände der Öfen im archäologischen Befund meist nicht mehr erhalten sind, und zudem eine große Ähnlichkeit mit Ofenkonstruktionen für Brotbacken gegeben ist, wäre es empfehlenswert, schon während der Grabung solchen Befunden besondere Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. In etwa, dass das abgetragene Erdreich mittels Schlämmen nach metallischen Resten durchsucht wird.

## 6. 2. Tauschierung und Plattierung

Bei diesen Verzierungstechniken wird Buntmetall in Form von Drähten oder dünn ausgehämmerten Blechen auf einen Grundkörper aufgebracht. Dies kann einerseits durch Einhämmern eines Drahtes in eine gestemte Rille als auch durch Aufhämmern von Blechen auf eine aufgeraute Oberfläche erfolgen. Bei der notwendigen Nachbearbeitung erfolgt die endgültige Form und Mustergebung. Es sei in diesem Zusammenhang auf die zusammenfassende Arbeit von Wilfried Menghin Tauschierarbeiten der Merowingerzeit<sup>14</sup> verwiesen.

Ebenso kann aufgrund der umfangreichen Literatur zu *Email und Niello* hier nur auf die entsprechenden Zitate<sup>15</sup> und darin angeführte Literatur verwiesen werden.

## 6. 3. Pressblechherstellung mittels Pressmodell

Technologisch unterscheidet man 3 Werkzeuge (Model)<sup>16</sup> zur Pechblechherstellung:

1. Model mit erhabenem Relief (Patrize positiver Model)
2. Model mit versenktem Relief (Matrize od. Negativer Model)
3. Model mit erhabenem Relief zur Abformung zweiteiliger Gussformen aus Lehm → Modell

In der Früh und Mittelawarezeit werden Trachtbestandteile (Riemenzungen etc.) vor allem mittels Pressmodellen hergestellt, diese Modelle waren im Allgemeinen aus Bronze hergestellt, es gibt auch Modelle und Gussmodelle aus Holz, Horn oder Geweih<sup>17</sup>.

Die Herstellung von Pressblechen erfolgt dermaßen, dass der Pressmodell als Unterlage dient, die Gold-, Silber-, Bronze- oder Kupferfolie darübergelegt wird, darauf wird dickes Leder gelegt und anschließend das Blech mit einem Hammer eingehämmert, diese Vorgehensweise ist sehr materialschonend und erklärt den allgemein guten Zustand der Reliefs auf den Modellen.<sup>18</sup> Die umgekehrte Vorgehensweise, Pressmodell in eine weiche Unterlage einhämmern, würde zur raschen Abnutzung führen und kann in den meisten Fällen ausgeschlossen werden; Capelle- Vierck nehmen

---

<sup>13</sup> Willer, Frank, The experimental reconstruction in bronze of a merovingian treasure box from 6th century A. D. Proceedings of the 1st International Workshop-Experimental and Educational aspects of Bronze Metallurgy Wilhelminaord 2001, S. 33, Fig. 3.

<sup>14</sup> Menghin, Wilfried (Hg.), Tauschierarbeiten der Merowingerzeit, Museum für Vor- und Frühgeschichte Bestandskataloge Band 2, Berlin 1994.

<sup>15</sup> Amrein, Heidi and Binder, Eugen, Mit Hammer und Zange an Esse und Amboß - Metallgewinnung und Schmiedekunst im frühen Mittelalter Die Alamannen - Begleitband zur Ausstellung Stuttgart 1997. S. 359-378.

<sup>16</sup> Capelle, Torsten; Vierck, Hayo, Modellen der Merowinger- und Wikingerzeit, Hauck, Karl; Frühmittelalterliche Studien 5, Berlin, 1971; S 43.

<sup>17</sup> Laut Capelle- Vierck sind aus Alt Novograd Holzformen zur Anfertigung für Bienenwachsmodelle bekannt, des Weiteren gibt es aus Haithabu Modelle aus Horn, Capelle, Torsten; Vierck, Hayo, Modellen der Merowinger- und Wikingerzeit, Hauck, Karl; Frühmittelalterliche Studien 5, Berlin, 1971, S. 93- 94.

<sup>18</sup> Flotz, E. Technische Betrachtungen an Goldblattkreuzen. Die Goldblattkreuze des frühen Mittelalters in: Hübener, W.; Veröffentlichungen des alamannischen Instituts Freiburg im Breisgau 371, 1975; S. 12.

diese Vorgehensweise jedoch für einige Model (Torslunda, Florennes, 'Bois des Sorcieres', Belgien)<sup>19</sup> an.

Die *Pressblechherstellung* erfordert relativ „einfaches“ Werkzeug, ein Pressmodel, einen Hammer, ein Lederstück und vielleicht einige Zusatzwerkzeuge (Punzen, Stichel zum Nachbearbeiten), jedoch muss für die Blechherstellung (ein sich wiederholender Vorgang von Treiben und glühen) genügend Erfahrung vorhanden sein, zu intensives Treiben des Materials kann zu Risse führen, Glühen bei zu hohen Temperaturen zum Wiederaufschmelzen des Bleches, oder, wenn zu niedrige Temperaturen erreicht werden, entspannt sich das Material nicht genug, sodass es beim nächsten Treibvorgang reißt. Dieses Temperaturintervall ist u. a. auch vom Verhältnis der Legierungselemente zueinander abhängig, deshalb sollte vor Beginn der Treibarbeiten die ungefähre Zusammensetzung bestimmt werden.

Exemplarisch soll hier auf das schon oben erwähnte Schmiedegrab von *Kunszentmarton* verwiesen werden, das in die Periode Frühawarisch I – II datiert wird.

Im Jahr 1928 wurden in Kunszentmarton 10 Gräber aufgedeckt, davon erbrachte das Grab 1 das vollständige Inventar einer Goldschmiedewerkstatt. Das Inventar bestand aus einem quer über die Beine gelegten Reitpferd, einem Panzer aus Eisenplatten, einer Stoßlanze und einem Säbel. Des Weiteren eine Feinwaage und 9 byzantinische Münzgewichte aus Bronze und Glas, Rohstoffen und Halbzeugen, Bronzelöffel, Blechschere, Hammer, LötKolben, Amboss und Schleifsteine, Gusstiegel, Roheisenfragmente, Glasbruchstücke<sup>20</sup>, Gießlöffel und Feuerhände. Außerdem wurden 40 massive Pressmodel aus Bronze beigegeben, die zur Herstellung von verschiedenen Gürtelgarnituren, Pferdegeschirren<sup>21</sup> dienten.

Die Frage, ob zwischen den stilistisch verschiedenen Modeln auch ein Unterschied in der Zusammensetzung der Legierungen besteht wird von Capelle- Vierck positiv beantwortet, jedoch mit dem Vorbehalt, dass „auch das Metall von zwei Modeln aus einer Hand unterschiedlich zusammengesetzt sein kann.“<sup>22</sup> Eine mögliche Begründung hierfür ist m. E. darin zu suchen, dass Altmetalle wieder eingeschmolzen wurden. Eine endgültige Klärung können nur große Analyseserien bringen. Diese Pressmodel lassen in sich in verschiedene Gruppen unterschiedlicher Herkunft gliedern, diese Tatsache spricht nach J. Werner dafür, „dass die 40 bunt zusammengewürfelten Pressmodel auf keine Fall Entwürfe bzw. Bronzegüsse von der Hand eines Mannes. Es hat vielmehr den Anschein, als ob der Goldschmied von Kunszentmarton sie zu verschiedenen Zeiten aus verschiedenen Bezugsquellen erworben habe“<sup>23</sup>.

Hayo Vierck hingegen geht aufgrund der eng begrenzten und ausdifferenzierten Produktpalette davon aus, dass es sich bei diesem Schmied nicht bloß um einen Handwerker handelte, der bloß reproduziert, sondern dass es ein Goldschmiedemeister aus dem byzantinischen Reich war, der die Pressmodel auch selber fertigen konnte.

---

<sup>19</sup> Capelle, Torsten; Vierck, Hayo, Modeln der Merowinger- und Wikingerzeit, Hauck, Karl; Frühmittelalterliche Studien 5, Berlin, 1971, Fig 1,3; Fig. 7,1

<sup>20</sup> Vierck Schmiedegräber S. 203: Bei diesen Glasbruchstücken könnte es sich auch um Reste eines ehemals ganzen Gefäßes zur Aufbewahrung von Quecksilber oder um Rohstoff für Glaseinlagen gehandelt haben

<sup>21</sup> Csallany, Deszö, Goldschmiedegrab aus der Awarenzeit von Kunszentmarton, Szentes 1933, Tafel 6 A.

<sup>22</sup> Capelle, Torsten; Vierck, Hayo, Modeln der Merowinger- und Wikingerzeit, Hauck, Karl; Frühmittelalterliche Studien 5, Berlin, 1971, S. 44.

<sup>23</sup> Werner, Joachim, Zur Verbreitung frühgeschichtlicher Metallarbeiten( Werkstatt- Wanderhandwerk- Handel- Familienverbindung), Antikvarisk arkiv (Early Medieval Studies 1) 38, S. 72.

## 7. Das Löten

Zur Aufbringung von Filigranverzierung und Granulation auf einen metallischen Grundkörper oder zur Verbindung von Metallteilen stehen grundsätzlich verschiedene Lötverfahren zur Verfügung:

- das Hartlöten
- das Weichlöten
- das Reaktionslöten
- das Sintern

Hart- und Weichlote, beides Legierungen mehrerer Metalle, werden nach ihrer Zusammensetzung und Schmelzpunkt unterschieden. Benötigtes Arbeitsgerät ist der LötKolben wie er z. B. im Werkzeugfund von Mästermyr und im Goldschmiedegrab von Kunszentmarton vorhanden ist. Ist Gold der Grundwerkstoff, können als Hartlote Gold –Silber, Gold - Kupfer und Gold - Silber - Kupfer Verbindungen gewählt werden, Weichlote können aus einer Gold - Zinn Basis bestehen.

Das Reaktionslöten ist ein Hartlötverfahren, bei dem anstatt metallischer Lotlegierungen mineralische oder künstlich hergestellte Kupferverbindungen verwendet werden. Diese werden in pulverisierter Form mit der wässrigen Lösung eines organischen Klebstoffes vermischt auf den Lötbereich aufgetragen und erhitzt. Dabei kommt es zur Reduktion des Kupfers und zur Ausbildung einer Oberflächenlegierung. Der große Vorteil des Reaktionslöten ist, dass die Lötstellen sehr fein und haltbar sind, wo hingegen als Nachteil anzusehen ist, dass große Spalten zwischen zu lötenden Werkstücken nur schwer überbrückt werden können. Nach dem Löten muss die Oberfläche nochmals geätzt (gebeizt) werden. Um das Lot vor dem Aufschmelzen zu fixieren, wurde z. B. Harz vom Tragant - Strauch, Weizenmehlkleister, Baumharze, Hautleim, Fischleim oder Seife als Klebstoff benutzt. Entscheidend für den Lötvorgang ist das richtige Mischungsverhältnis zwischen Klebstoff, Flussmittel und Kupfersalz. Das Flussmittel löst beim Löten gebildete Oxidfilme an der Oberfläche auf. Zusätzlich schützt es die Lötstelle vor weiterem Sauerstoffzutritt und verringert die Oberflächenspannung des Lotes. Natürlich vorkommende Kupferverbindungen sind Malachit ( $\text{CuCO}_3$ ) und Azurit. Schon in der Antike ist man dazu übergegangen künstlich hergestellte Lote zu verwenden. Daneben wurden aus Rohsoda durch Lösung und Rekristallisation hergestelltes Kristallsoda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) sowie u. a. Pottasche -  $\text{K}_2\text{CO}_3$  –wie auch Alaun  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  für diesen Zweck eingesetzt.

## 8. Literatur:

- Anheuser, Kilian, Im Feuer vergoldet: Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik 4, Stuttgart 1999.
- Arrhenius, Birgit, Ein Goldschmiedegrab von Hovgardsberg, Vendel, Uppland, Schweden In: Hauck, Karl (Hg.)Frühmittelalterliche Studien Berlin 1979. S. 393-414.
- Bachmann, Hans Gert, Becker, Matthias, Bemmann, Jan, and e. a., Römische und germanische Bunt und Edelmetallfunde im Vergleich. Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern BRGK Mainz am Rhein 1999. S. 107-383.
- Becker, Matthias, Fütting, Manfred, and Schnarr, Holger, Metallkundliche und analytische Untersuchungen am Fundmaterial aus dem "Fürstengrab" von Gommern, Lkr. Jerichower Land In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.) .), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 204-216.
- Birgit Bühler, Untersuchungen zu Guss, Oberflächenbearbeitung und Vergoldung an frühmittelalterlichen Bunt- und Edelmetallgegenständen. Mit einem Beitrag von Hannes Herdits Archaeologia Austriaca 82-83, Wien 1998-99, S. 429-478.
- Blumer, Rolf Dieter and Knaut, Matthias, Zum Edelmetallguss in Ossa- Sepia Formen im Frühmittelalter Fundberichte Baden Württemberg 16, 1991. 545.
- Brepohl, Ernst, Theophilus Prespyter und die mittelalterliche Goldschmiedekunst Wien-Köln-Graz 1987.
- Brepohl, Ernst, Theorie und Praxis des Goldschmiedes Leipzig 1962.
- Bühler, Birgit, Technologische Studien zur Herstellung von Goldschmuck im Frühmittelalter, Draht, Lötung und Granulation Wien 1998.
- Capelle, Torsten and Vierck, Hayo, Modeln der Merowinger- und Wikingerzeit In: Hauck, Karl (Hg.)Frühmittelalterliche Studien 5, Berlin 1971.S. 41 - 100.
- Capelle, Torsten, Metallschmuck und Gußformen aus Haithabu In: Schietel, Kurt (Hg.)Ausgrabungen in Haithabu 4, Neumünster 1970.S. 9.
- Drescher, Hans, Der Bronzeguß in Formen aus Bronze. Die Kunde N. F. 8 Hildesheim 1957. S. 52-75.
- Drescher, Hans, Untersuchungen zum Blei- und Zinnguß in Formen aus Stein, Lehm, Holz, Geweih und Metall. Ein Beitrag zur mittelalterlichen Gießtechnik von Kleingerät In: Hauck, Karl (Hg.)Frühmittelalterliche Studien 12, Berlin 1978. S. 84.
- Driehaus, Jürgen, Zum Problem merowingerzeitlicher Goldschmiede, Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen 7, Göttingen 1972.
- Fasnacht, Walter, Bronzezeitliches Metallhandwerk im Experiment Renovations archeologiques- Archäologie im Umbau, P. I. A. Musee Schwab 1990. 57-74.
- Fasnacht, Walter, Der prähistorische Bronzeguss im Experiment. Erfahrungen anlässlich der Ausstellung Pfahlbauland Minerva Helvetia 1991. 11a, 3-12.
- Fasnacht, Walter, Der prähistorische Kupfer und Bronzeguss. 4000 Jahre Technikgeschichte

im Experiment. Urgeschichte- Prehistoire- Preistorica Live. Ausstellungs- Begleitheft des schweizerischen Landesmuseums Zürich 1995. 33-37.

- Fasnacht, Walter, Metallanalyse und metallkundliche Untersuchungen an bronzernen Gürtelhaken In: Schmid Skimic, Biljana (Hg.)Prähistorische Bronzefunde Abteilung X/ 5, Stuttgart 1996. 198-202.
- Fecht, Maiken, Untersuchungen zur Herstellungstechnik und Gestaltung einer byzantinischen Goldschnalle in der Prähistorischen Staatssammlung München Bayrische Vorgeschichtsblätter 53, München 1988.S. 309.
- Foltz, Ernst, Einige Beobachtungen zu antiken Gold- und Silberschmiedetechniken In: RGZM (Hg.)Archäologisches Korrespondenzblatt 9, Mainz 1979. S. 213.
- Foltz, Ernst, Guss in verlorener Form mit Bleimodellen ? In: RGZM (Hg.)Archäologisches Korrespondenzblatt 10, Mainz 1980. S. 345.
- Foltz, Ernst, Untersuchungen zur Herstellung der Silberobjekte, Basler Beiträge Ur- und Frühgeschichte 1984. S. 361.
- Frána, Jaroslav and Mastalka, Antonín, Röntgenfluoreszenzanalyse von frühmittelalterlichen Bronzen aus Böhmen und Mähren In: Daim, Falko (Hg.)Awarenforschungen II, Wien 1991. S. 779.
- Goldenberg, Gert, Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Schwarzwald. Blei-, Silber-, Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert In: Goldenberg, Gert; Otto, Jürgen; Steuer, Heiko (Hg.)Archäologie und Geschichte, Freiburger Forschungen zum ersten Jahrtausend in Südwestdeutschland 8, Sigmaringen 1996. 9.
- Gomolka - Fuchs, Gudrun, Die Kleinfunde vom 4. bis 6 Jh. aus Iatrus Schriften zur Geschichte und Kultur der Antike 17, Berlin 1982. S. 149-207.
- Gschwantler, Kurt and Winter, Heinz, Feinschmiedehandwerk im österreichischen Teil der Avaria In: Ekkehardt Weber (Hg.)Römisches Österreich 19/20, Wien 1994. 1991- 1992, 105.
- Gschwind, Markus, Bronzegießer am Limes In: Zur Versorgung mittelkaiserzeitlicher Auxiliareinheiten mit militärischen Ausrüstungsgegenständen (Hg.)Germania 75/ 2, 1997. 607.
- Gustavs, Sven, Feinschmiedeabfälle, Fibeln und Importfunde der Siedlung Klein Köris, Lkr. Dahme- Spreewald - archäologischer Befund und Ergebnisse metallkundlicher Untersuchungen In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 217-229.
- Hammer, Peter, Metallkundliche Untersuchungen In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 158-168.
- Hammer, Peter, Verfahrenstechnische Untersuchungen In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.), Römische und Germanische Bunt- und Edelmetallverarbeitung im Vergleich, Archäometallurgische Untersuchungen ausgehend von elbgermanischen

- Körpergräbern, BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 179-199.
- Hedegaard, Ken Ravn, Die Herstellung von wikingerzeitlichen tierkopfförmigen und dosenförmigen Fibeln aus Gotland In: Mamoun Fansa (Hg.)Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz 1994, Oldenburg 1994. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland Beiheft 8, 311.
  - Herdits, Hannes, Experimentalarchäologische Untersuchungen zur bronzezeitlichen Verhüttung sulfidischer Kupfererze In: Fansa, Mamoun (Hg.)Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz Oldenburg 1996. Beiheft 18, 21.
  - Herdits, Hannes, Keen, Jake, and Steinberger, Michael, Wie kommt das Zinn in die Bronze? Ein Beitrag zur experimentellen Archäologie AÖ Wien 1995. 6/ 1, 78-85.
  - Herdits, Hannes, Zum Beginn experimentalarchäologischer Untersuchungen einer bronzezeitlichen Kupferverhüttungsanlage in Mühlbach, Salzburg In: Friesinger, Herwig; Kerchler, Helga (Hg.)ArchA 77, Wien 1993. 31.
  - Hundt, Hans Jürgen, Textilreste aus awarischen Gräbern von Leobersdorf und ein Exkurs über gegossene Textilstrukturen an der Rückseite bronzener Riemenzungen In: Daim, Falko (Hg.)Wien 1987. 15.
  - Jantzen, Detlef, Auf den Spuren bronzezeitlicher Gießler In: Mamoun Fansa (Hg.)Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz Oldenburg 1996. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland Beiheft 13, 98.
  - Jantzen, Detlef, Versuche zum Metallguß der nordischen Bronzezeit Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz 1991. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland Beiheft 6, 299-304.
  - Knöchlein, Ronald, Eine frühgeschichtliche Gussform aus dem Hessischen Ried Archäologisches Korrespondenzblatt 30/1, Mainz 2000. S. 131-135.
  - Lindgren, Uta (Hg.), Europäische Technik im Mittelalter 800 bis 1400, Tradition und Innovation, Berlin 1997.
  - Mehofer, Mathias Ein Griffplattendolch aus Wilfersdorf, Archäologie Österreichs 11/ 1 Wien 2000, S. 50
  - Muhl, Arnold, Awarische Gürtelbeschläge Acta Prehistorica et Archaeologica Berlin 1996. 108.
  - Neuhäuser, Ulrike, Vergleichende technische Untersuchungen an Riemenzungen von Hohenberg (Steiermark) und Bozen (Südtirol) , Die Awaren am Rand der byzantinischen Welt, In: Daim, Falko (Hg.)S. 253 - 267 Monographien zur Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie, Innsbruck 2000.S. 7.
  - Pernicka, Ernst, Chemische Zusammensetzung des kupfernen Ringes von Svodin In: Petrovic Petar (Hg.)Ancient Mining and Metallurgy in Southeast
  - Presslinger, Hubert, Eibner, Clemens, Walach, G., and Sperl, Gerhard, Ergebnis der Erforschung urnenfelderzeitlicher Kupfermetallurgie im Paltental Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 125 , Wien 1980. 3, 131.
  - Riederer, Josef, Die Metallanalyse der Gußkuchen aus dem urnenfelderzeitlichen Depot von Pustakovec, Kroatien In: Menghin, Wilfried (Hg.)Acta Prehistorica et Archaeologica 31, Berlin 1999. 93.

- Schmidt, Berthold, Ein Gußtiegel des 6. Jahrhunderts von Schönbeck (Elbe). Ausgrabungen und Funde Berlin 1971. S. 38.
- Schnarr, Holger, Becker, Matthias, and Fütting, Manfred, Mikroskopische und mikroanalytische Untersuchungen an den Fundstücken aus dem Fürstengrab Gommern Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 76, Haale(Saale) 1994. 249 ff.
- Schuster, Jörn, Zur Buntmetallverarbeitung auf der Dorfwurt Fedderson Wierde, Lkr. Cuxhaven (Niedersachsen) In: Voss, Hans Ulrich; Hammer, Peter; Lutz, Joachim (Hg.)BRGK 79, Mainz am Rhein 1998. S. 230-233.
- Steinberger, Michael, Kulturgeschichtliche Interpretation von Metallanalysen awarischer Beschläge aus Leobersdorf In: Daim, Falko (Hg.)Das awarische Gräberfeld von Leobersdorf, NÖ Wien 1987.
- Trachsel, W., Ein tragbarer Giesserofen aus dem Legionslager von Vindonissa-Beschreibung, Rekonstruktion und Experiment Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz1997. Beiheft 14,
- Tylecote, R. F., Properties of Copper Ingots of Late Bronze Age Type In: Mitscha, Märheim; Friesinger, Herwig; Kerchler, Helga (Hg.)ArchA Wien 1976. Beiheft 14, 157.
- Vorlauf, Dirk, Komplizierte Gußverfahren für bronzezeitliche Ringgehänge In: Mamoun Fansa (Hg.)Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz 1995 Oldenburg 1996. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland Beiheft 13, 99.
- Vynokur, I. S. Ein Goldschmiede - Fundkomplex Frühmittelalterlicher Slawen. Parczewskiego, Michala; Archaeoslavica 3 Krakow, 1998; S. 20-25.
- Werner, A. and Barth, Rolf, Versuche zu prähistorischen Bronzegußtechniken Experimentelle Archäologie in Deutschland Bilanz 1991. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland Beiheft 6, 299-304.
- Wobrauschek, Peter, Haider, Wolfgang, and Strel, Christiana, Röntgenfluoreszenzanalyse von Bronzefunden aus der Awarenzeit In: Daim, Falko (Hg.)Das awarische Gräberfeld von Leobersdorf, NÖ 2, Wien 1987. 45.
- Wolters, Jochem, Die Granulation - Geschichte und Technik einer alten Goldschmiedekunst München 1983.
- Wyss, Rene, Bronzezeitliche Gußtechnik Aus dem Schweizer Landesmuseum 19, Bern 1967.
- Zeledius, Volker, Merowingerzeitliche Probersteine im nördlichen Rheinland, Der Anschnitt 1, Bochum 1981. S. 2-6.