

Frank Willer

## Zur Herstellungstechnik der Herme

Die zahlreichen Untersuchungen, die im Verlauf der Restaurierung an der Herme durchgeführt wurden, erbrachten wichtige Erkenntnisse zum Herstellungsverfahren der Statue.

Der Guß der Herme erfolgte im sog. Wachsausschmelzverfahren, eine der gebräuchlichsten antiken Gußtechniken, die auch heute noch Anwendung findet. Bei diesem Verfahren wird das zu gießende Objekt zunächst in Bienenwachs modelliert. Dabei sind zwei verschiedene Vorgehensweisen zu unterscheiden: Beim „direkten“ Verfahren wird auf ein zuvor vom Künstler gefertigtes Tonmodell flüssiges Wachs aufgetragen, das anschließend überarbeitet werden muß, bis es der gewünschten Form in allen Einzelheiten entspricht. Das fertige Wachsmo- dell erhält Einguß- sowie Entlüftungskanäle aus Wachs. Das direkte Verfahren gilt als risikoreich, da bei einem Fehlguß das Original verlorenght.

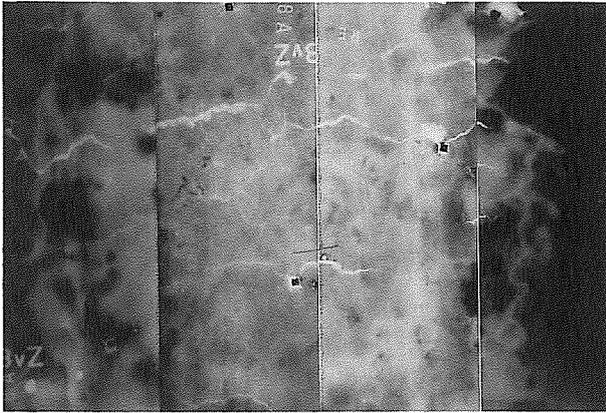
Beim sog. „indirekten“ Verfahren werden dagegen von einem Modell mehrteilige Hilfsnegative aus Gips oder Ton angefertigt. Diese Negativformen können anschließend – je nach gewünschter Materialstärke – entweder mit Wachsplatten ausgekleidet oder mit heißem Wachs verstrichen werden. Nach dem Erkalten werden die Wachspolitive aus den Negativformen entnommen und zusammengesetzt. Innere Hohlräume verfüllte man mit entsprechend gemagertem Ton. Bei diesem Verfahren bleibt das Modell erhalten und kann beliebig oft abgeformt werden.

An der Herme konnte nun erstmals nachgewiesen werden, daß bei der Herstellung eine Kombination beider Verfahren, des indirekten und des direkten, zur Anwendung kam.

Die Fertigung des Schaftes erfolgte im direkten Verfahren. Dazu wurde zunächst eine Vierkantstange in den Boden gesetzt, an der der

feuchte Ton aufgetragen und modelliert werden konnte<sup>1</sup>. Entsprechend dem Tonmodell wurden Wachsplatten gefertigt, an die man Geschlecht und Armbossen ansetzte. Wie Röntgenaufnahmen belegen (Abb. 1), bestehen die Seitenflächen aus jeweils zwei schmalen Wachsstreifen, die Vorder- und die Rückseite hingegen jeweils aus einer einzigen Platte. Endoskopieaufnahmen zeigen, daß bei den Armbossen die Wachsstreifen zunächst zu einem hohlen Rechteckzylinder geformt und dann auf einer Seite geschlossen und anschließend an der entsprechenden Stelle des Schaftes auf die Wachsplatten aufgesetzt wurden. Die Hohlräume wurden mit Ton ausgefüllt. Anschließend konnten alle Wachsplatten am Ton-schaft angepaßt und miteinander verschmolzen werden (Abb. 2).

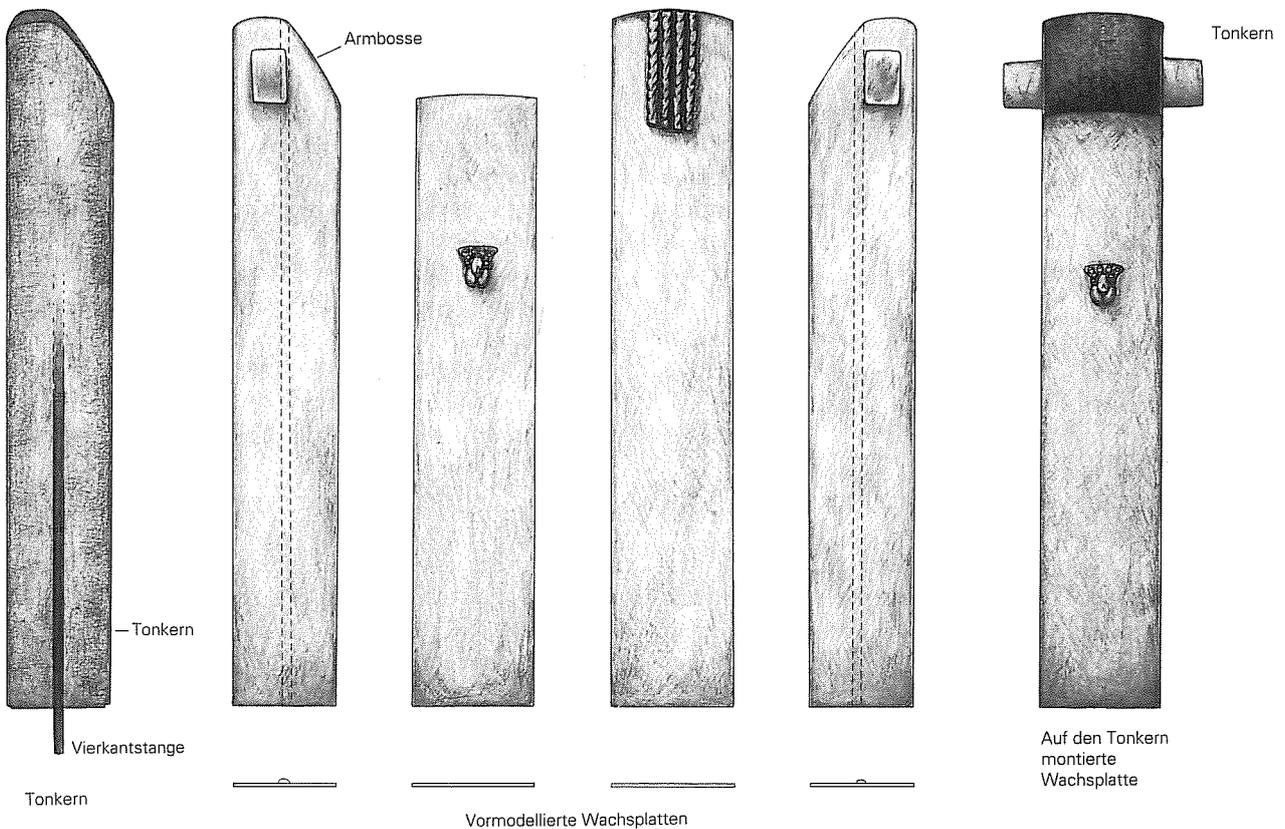
Am Kopf der Herme lassen sich verschiedene Verfahrensweisen der Wachsmo- dellherstellung erkennen. Den Nachweis erbrachte eine computertomographische Untersuchung der Herme; Endoskopie und Röntgenaufnahmen ergaben keine eindeutigen Hinweise auf die Fertigung des Wachsmodells. Daher soll zunächst kurz auf die Durchführung und Auswertung der Computertomographie (CT) eingegangen werden: Anhand eines Übersichtsbildes der gesamten Figur wurden einzelne Schnittebenen festgelegt und nummeriert, an denen anschließend tomographische Messungen durchzuführen waren (s. Beitrag Goebbels u.a. Abb. 7–8). Ein Rechner setzte diese Daten in zweidimensionale Bilder um, die jeweils eine Draufsicht der gewählten Schnittebene ergaben<sup>2</sup>. An den Schnittbildern ist die Stärke der Bronze ablesbar. Im Kopfbereich zeigten sich Ansatznähte, die darauf hinweisen, daß das Wachsmo- dell des Kopfes aus mehreren Teilen zusammengesetzt war (Abb. 3). Insgesamt können sechs Formteile nach-



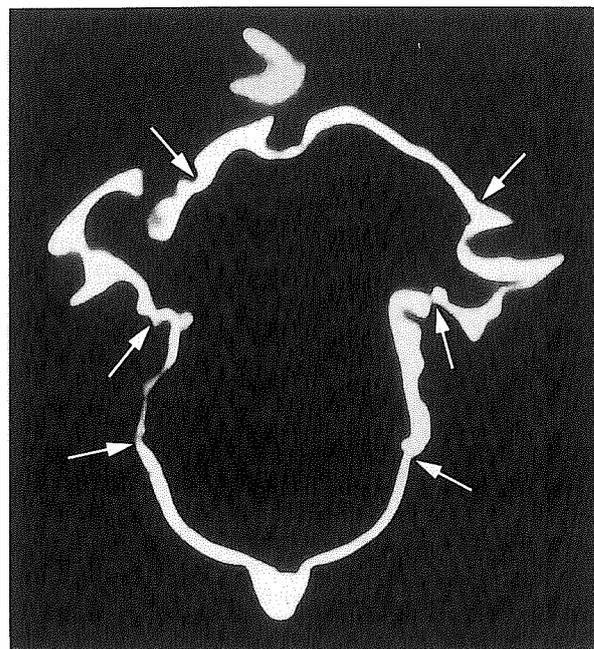
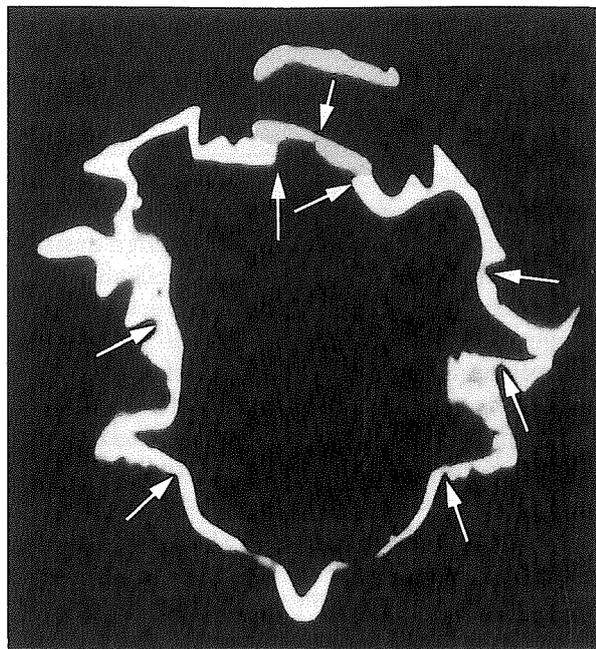
1 Herme, F 107. Röntgenaufnahme einer Schaftwand.

gewiesen werden: das Gesichtsfeld, der Hinterkopf sowie zwei rechte und zwei linke Seitenpartien. Daraus ist zu schließen, daß die abformbaren Elemente des Hermenkopfes im indirekten Wachsmodellverfahren hergestellt wurden, d.h., es existierte ein Modell des Kopfes, von dem Negativformen abgenommen wurden (Abb. 4).

Aus 115 computertomographischen Schnittbildern erstellte ein Großrechner ein dreidimensionales Bild des Hermenkopfes, das neben der äußeren auch die sonst nicht sichtbare innere Metalloberfläche zeigt und damit einen Vergleich beider Oberflächenstrukturen möglich macht (Beitrag Goebels u.a. Abb. 9–10)<sup>3</sup>. Diese bei einer antiken Bronze erstmals angewandte Untersuchungsmethode erbrachte eindeutige Hinweise auf bislang



2 Herme, F 107. Wachsplatte und Tonkern des Modells.



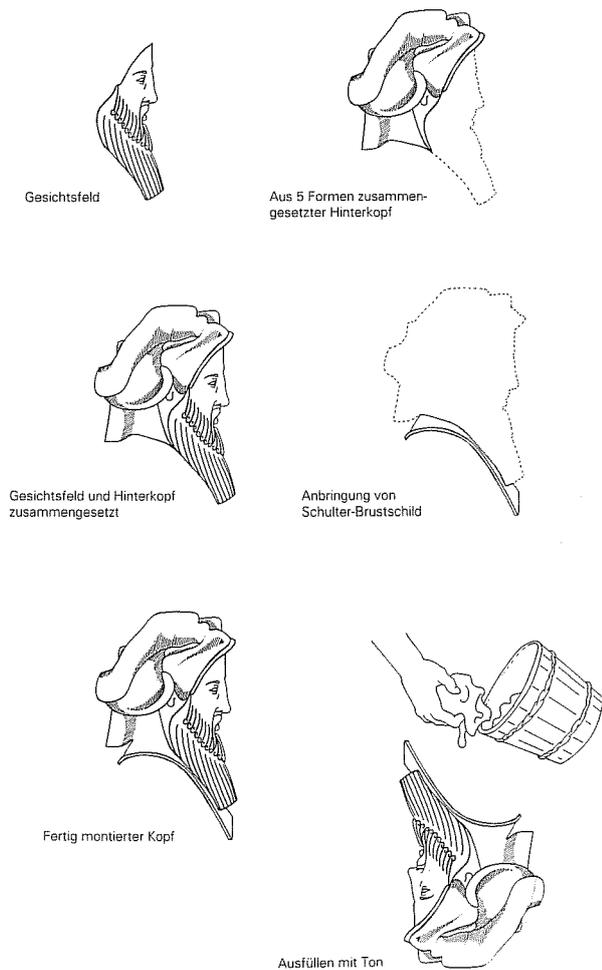
3 Herme, F 107. CT-Schnitte durch den Kopf. Die Pfeile zeigen die Nähte der einzelnen Formteile.

noch nicht belegte Arbeitsschritte bei der Herstellung des Wachsmodells: Einige Elemente des Kopfes, so die Zöpfe oder die Tanienschlaufen auf den Schultern, sind auf der Darstellung der inneren Metalloberfläche nicht zu sehen. Daraus läßt sich schließen, daß diese Formen, für die starke Unterschneidungen kennzeichnend sind, massiv gegossen, d.h. separat in Wachs modelliert und an die bereits fertige Grundform des Kopfes angesetzt wurden. Anders verhält es sich beim Bart, den vier Locken auf der Rückseite des Kopfes, den Locken an der Stirn, den Ohren und der Nase. Diese Bereiche sind bei der Herstellung des Wachsmodells mit Hilfe der Negativformen lediglich stärker mit Wachs verfüllt worden, also dickwandiger gegossen. Dadurch sollten Gußfehler an diesen, nach dem Guß schwer zu kaschierenden Stellen vermieden werden.

Eine Besonderheit stellen zwei übereinander liegende Weinblätter am vorderen rechten Kopfteil dar (Abb. 5). Sie entspringen demselben Stengel und überlagern sich so, daß das kleinere untere

Blatt völlig verdeckt ist (Abb. 6). Es scheint überarbeitet worden zu sein. Gleichzeitig weist eine nachträgliche Verstiftung und Verlötung beider Blätter auf eine Reparatur hin. Aus der Tänie treten drei weitere, abgebrochene Blattstiele hervor (Abb. 5. 7), zu denen jedoch keine Blätter gefunden werden konnten. Es ist anzunehmen, daß die Blätter nach dem Guß angelötet wurden, da die Ausarbeitung der Tänie unter den Blättern vollplastisch ist, was auf zwei aufeinander folgende Arbeitsgänge hinweist.

Der mit Ton verfüllte und mit der Brustplatte versehene Wachskopf wurde auf den Hermenschaft aufgesetzt, dann die separat modellierten Teile am Kopf angebracht und mit diesem verschmolzen (Abb. 8). Einen nächsten Schritt bildete das Ansetzen der ebenfalls aus Bienenwachs bestehenden Einguß- bzw. Entlüftungskanäle (Farbtafel 33,2). Auf der Oberfläche zeichnen sie sich als Kreise mit einem Durchmesser von 28 mm ab (Abb. 9)<sup>4</sup>. Vermutlich wurden auch die auf den Schultern aufliegenden Applikationen (Locken und Tánien) als



4 *Herme, F 107. Herstellung des Kopfmodells aus den einzelnen Formteilen.*

Entlüftungskanäle verwendet. Diese Applikationen sollten beim Transport der Schmelze im engen Halsbereich eine ausreichende Versorgung der oberen Formbereiche gewährleisten.

Das vollständige, mit Eingußtrichter und Gußkanälen versehene Wachsmo-  
dell der Herme konnte jetzt mit den äußeren Tonschichten abgedeckt werden. Zur sicheren Verbindung der inneren und äußeren Tonform dienten längliche eiserne Vierkantstäbe, die Kernhalter (Farbtafel 33,3).

Die fertige Gußform wurde nun in die vorbereitete Gießgrube gestellt und gegen ein Umstürzen seitlich gegen die Grubenwand abgestützt<sup>5</sup>. An der

tiefsten Stelle der Gußform wurde eine Öffnung gelassen, aus der das geschmolzene Wachs ausfließen konnte. Zwecks Wiederverwertung des Bienenwachses wurde ein vermutlich mit Tonschindeln abgedeckter schmaler Kanal im Boden angelegt, durch den das Wachs unter der Stützmauer hindurch abfließen und sich in einer Grube sammeln konnte (Farbtafel 33,1). Die Menge des sich dort sammelnden Wachses gab dem Gießer auch eine Kontrollmöglichkeit über die erforderliche Menge an flüssiger Bronze.

Die Befuerung mit Holzkohle erfolgte allmählich von unten nach oben, um ein Zerplatzen der Form zu verhindern. Das Ausschmelzen des Wachses konnte mehrere Tage dauern, bis auch die im Ton gebundenen Reste des Wachses verbrannt waren. Den Abschluß dieses Vorgangs erkannte der Gießer anhand der Verfärbung der Flammen, die aus den Formöffnungen austraten. In einem folgenden Arbeitsschritt verfüllte man die Gießgrube mit Sand und stampfte diesen fest. Dadurch vermied man ein Zerschlagen der Form durch das



5 *Herme, F 107. Kopf von oben.*

hohe Gewicht der einzugießenden Bronze. Jetzt wurden auch die mit Bronze gefüllten Schmelztiegel erhitzt (Abb. 10)<sup>6</sup>, das flüssige Metall konnte in die Eingußtrichter eingegossen werden. Entlüftungskanäle dienten beim Gußvorgang als Druckventile. Sie leiteten das beim Kontakt mit der etwa 1100 °C heißen Schmelze entstehende Gas aus dem Formmaterial (Ton) ab. Bei dieser sehr schnell ablaufenden Reaktion entsteht ein hoher Druck, der bei unzureichender Entlüftung die Form zum Platzen bringen kann. Das Entlüftungssystem sorgt für einen sicheren und schnellen Transport der Schmelze in alle zu gießenden Formbereiche (Farbtafel 33,3). Gleichzeitig dienen die beim Wachs ausschmelzen verkohlten organischen Zusätze im Ton zum Binden der Gase in der Schmelze. Häufig gelang dies jedoch nicht vollständig, so daß es zur Bildung von Blasen auf der Bronzoberfläche kommen konnte<sup>7</sup>. Das Gewicht der flüssigen Bronze in den Kanälen garantiert eine optimale Verfüllung der Form. Dabei entsteht der größte Druck im unteren Formbereich.



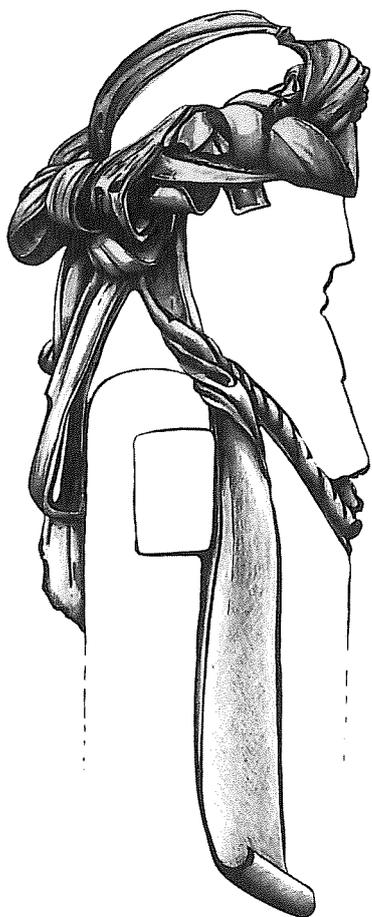
6 Herme, F 107. Weinblätter an der Tänie.

Der aufwendig gearbeitete Kopf der Herme stellt sicherlich den gußtechnisch schwierigsten Teil dar. Aus diesem Grund ist anzunehmen, daß die Figur mit dem Kopf nach unten gegossen wurde. Bestätigt wurde diese Annahme zum einen durch die wohl als Entlüftungskanäle dienenden Applikationen am Kopf, die in Richtung des Schaftendes zeigen, zum anderen durch einen erhöhten Bleigehalt im Kopfbereich der Herme<sup>8</sup>. Letzteres ist dadurch zu erklären, daß bei Großbronzen mit hohem Bleigehalt (zwischen 15 und 20 %) eine Segregation des Bleis beim Erstarren der Schmelze stattfinden kann. Dabei sinkt das Blei, welches nicht vollständig in der Kupferlegierung gebunden werden kann, in die unteren Formbereiche.

Für einen sicheren Guß wird wegen der Gußkanäle und des Eingußtrichters etwa die doppelte Menge an Bronze benötigt, die für die Figur selbst erforderlich ist (bei der Herme etwa 50 kg)<sup>9</sup>. Hinzukommt, daß dünnwandige Bronzebereiche – bei der Herme liegen diese zwischen 1,5 und 4 mm –



7 Herme, F 107. Tänie mit Abbruchstellen weiterer Weinblätter.



8 *Herme, F 107. Wachsmodell des Kopfes.*

schneller erkalten als die 28 mm starken Gußkanäle, mit dem Erkalten aber eine Schrumpfung des Metalls einhergeht, daher aus den Kanälen Bronze in diese Bereiche nachfließt. Dadurch wird eine Verformung des Objektes verhindert. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Stärke bzw. Anzahl der Kanäle so zu wählen, daß eine ausreichende Bronzefuhr und damit ein gleichmäßiger Druck auf die Form gewährleistet ist.

Nach dem Guß und dem Zerschlagen der Tonform wurden die Kernhalter herausgezogen. Ihre ehemaligen Positionen lassen sich auf den Röntgenaufnahmen als dunkle Quadrate mit einer Seitenlänge von ca. 4 mm erkennen<sup>10</sup>. Insgesamt

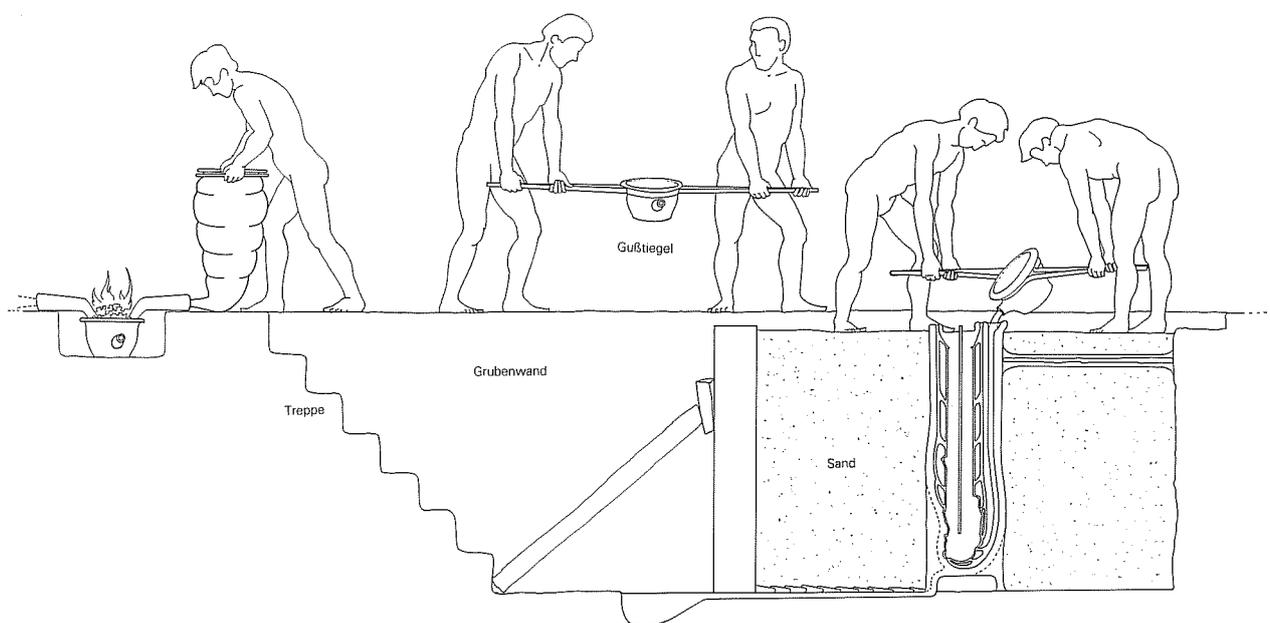
konnten 26 Kernhalter gezählt werden. Beim Erhitzen der Tonform während des Wachsuschmelzens bildeten sich an den Kernhaltern und an den Ecken des inneren Tonkerns leichte Schrumpfrisse. Sie verliefen zunächst diagonal zum Querschnitt der Kernhalter, wechselten dann aber meist ihre Richtung und bildeten horizontale Zickzacklinien (Abb. 11). An den Stellen, an denen die flüssige Bronze durch Trocknen des Tons die Kernhalter umfloß, läßt sich die nach innen hineinragende Länge abmessen (4 cm, konischer Verlauf).

Durch die Keilwirkung der Kernhalter ist beim Trocknen des Tons ein Bruch der Tonform nicht auszuschließen. Handelt es sich dabei um die äußere Tonform, so kann die flüssige Bronze ausfließen und zu einem Fehlguß führen. Bei einem Bruch der inneren Tonform, zu dem es beim Guß der Herme gekommen sein muß, verschließt sich der Innenraum an der entsprechenden Stelle (Abb. 12). Dadurch ist es nur schwer möglich, nach dem Guß den Ton des Gußkerns aus diesem Bereich zu entfernen. Möglicherweise wurde bei der Herme eine Öffnung am Hinterkopf ausgespart, durch die der



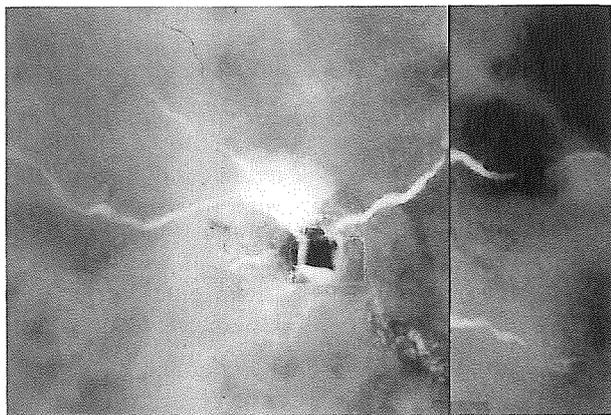
9 *Herme, F 107. Entlüftungskanal.*

## Zur Herstellungstechnik der Herme



10 Schematische Rekonstruktion einer Gießgrube.

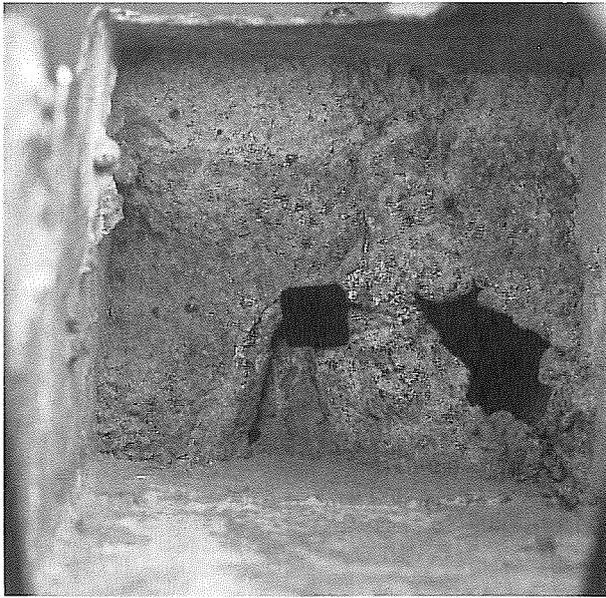
innere Tonkern trotz des Verschlusses entfernt werden konnte. Vielleicht wurden durch diese Öffnung später auch die vermutlich aus Elfenbein mit Glaseinlagen bestehenden Augen eingesetzt<sup>11</sup>. Nach Fertigstellung aller Details (Augen usw.) wurde die Öffnung mit einem Bronzeblech verschlossen.



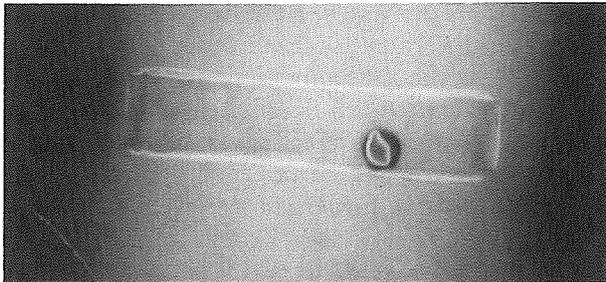
11 Herme, F 107. Röntgenfoto der Spur eines Kernhalters mit Schrumpfrissen.

Leicht kann man sich vorstellen, mit welcher Sorgfalt die Tonform hergestellt wurde, um einen Fehlguß zu vermeiden. Eine besonders wichtige Rolle spielte die Zusammensetzung des anstehenden Tones, der je nach Beschaffenheit mit organischen Magerungszusätzen, wie z.B. Haaren oder Holzkohle vermengt wurde.

Die durch das Entfernen der Kernhalter entstandenen Löcher in der Bronze mußten durch Flickungsbleche kaschiert werden. Auf den Röntgenaufnahmen sind sie durch eine feine, ca. 0,1–0,2 mm starke, helle Linie umrandet (Abb. 11. 13), die auf der Oberfläche der Figur schwarz erscheint. Erste Überlegungen, es könne sich bei diesen Linien um den beim Einschmieden verdichteten Randbereich des bronzenen Reparaturbleches handeln, treffen nicht zu. Beim Schmieden von Metall, z.B. Bronze, verschiebt bzw. verformt sich lediglich das Metallgitter. Dadurch wird das Metall härter, und seine Verformbarkeit nimmt ab; die Dichte des Metalls kann dabei aber nicht zunehmen. Folglich können auf den Röntgenaufnahmen auch keine Aufhellungen sichtbar werden. Würde



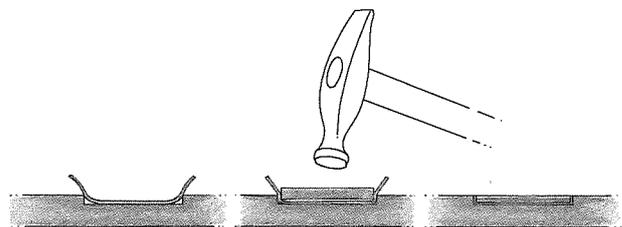
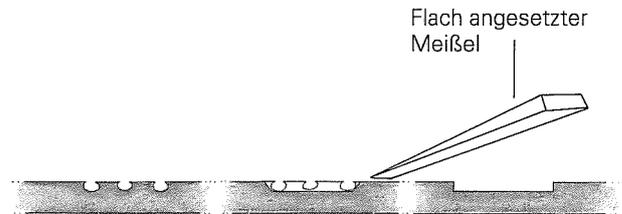
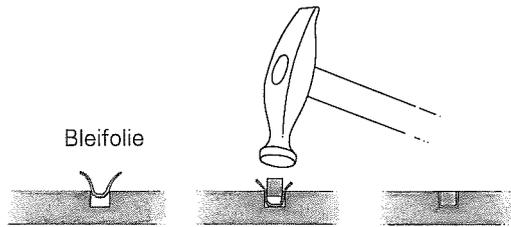
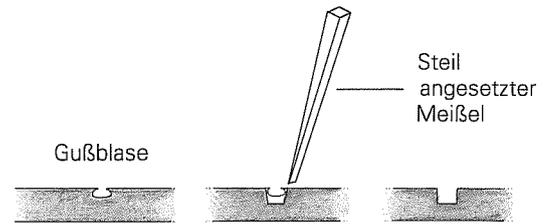
12 Herme, F 107. Durch Bruch eines Kernhalters eingeflossene Gußmasse.



13 Herme, F 107. Röntgenfoto eines Flickblechs über der Ausbruchspur eines Kernhalters.

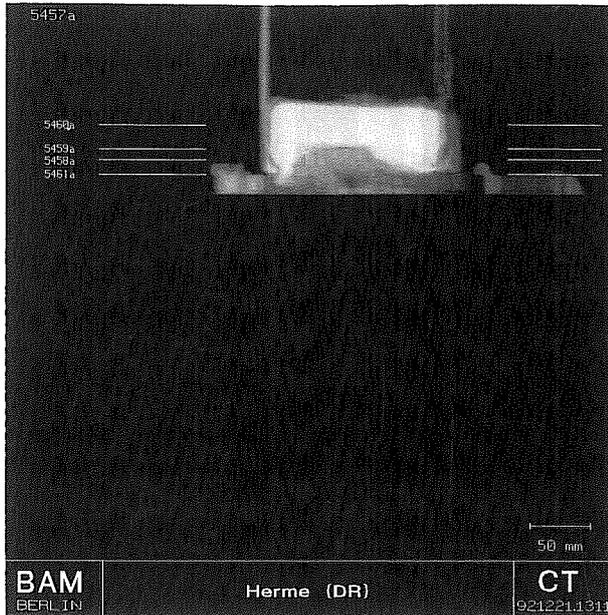
es sich um Bronzekorrosion handeln, müßte diese auf den Röntgenaufnahmen dunkel und nicht hell zeichnen. Die Röntgenaufnahmen machen deutlich, daß es sich an diesen Stellen um ein Metall mit einer höheren Dichte als das umgebende sowie das eingesetzte Metall handeln muß, da es mehr Strahlung absorbiert.

Durch praktische Versuche konnte erstmals nachgewiesen werden, daß vor dem Einschmieden



14 Einsetzen eines Flickblechs mit Bleifolie.

des Flickbleches in die zuvor ausgestochene Grube eine Bleifolie eingelegt wurde. Das weichere Blei wirkte beim Einschmieden wie eine Verkeilung und bildete einen sauberen Übergang. Gleichzeitig war durch diese Technik beim Einschmieden ein geringerer Kraftaufwand nötig. Gerade bei dünneren und schadhaften Stellen, an denen Flickungen vorwiegend gesetzt wurden, verringerte sich dadurch die Gefahr einer Deformation oder Beschä-



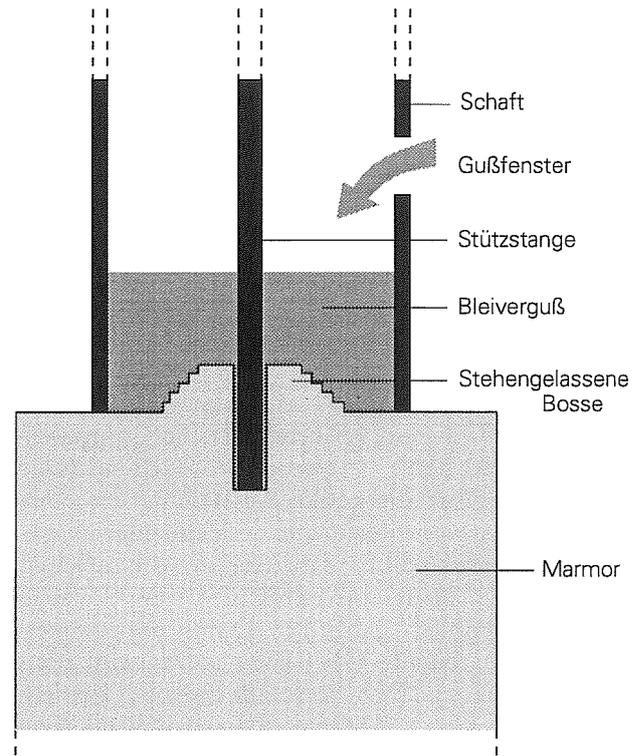
15 Herme, F 107. CT-Aufnahme des unteren Schaftendes.

digung. Wie sich in praktischen Versuchen überprüfen ließ, erreichte man durch diese technische Besonderheit auch eine dauerhaftere Verbindung. Bei extrem hohen Temperaturen (Hartlötung) zeigte sich gegenüber der herkömmlichen Methode eine höhere Haltbarkeit. Diese Art der antiken Flicktechnik scheint werkstattspezifisch zu sein und konnte bei der Mahdia-Herme erstmals beobachtet werden<sup>12</sup>.

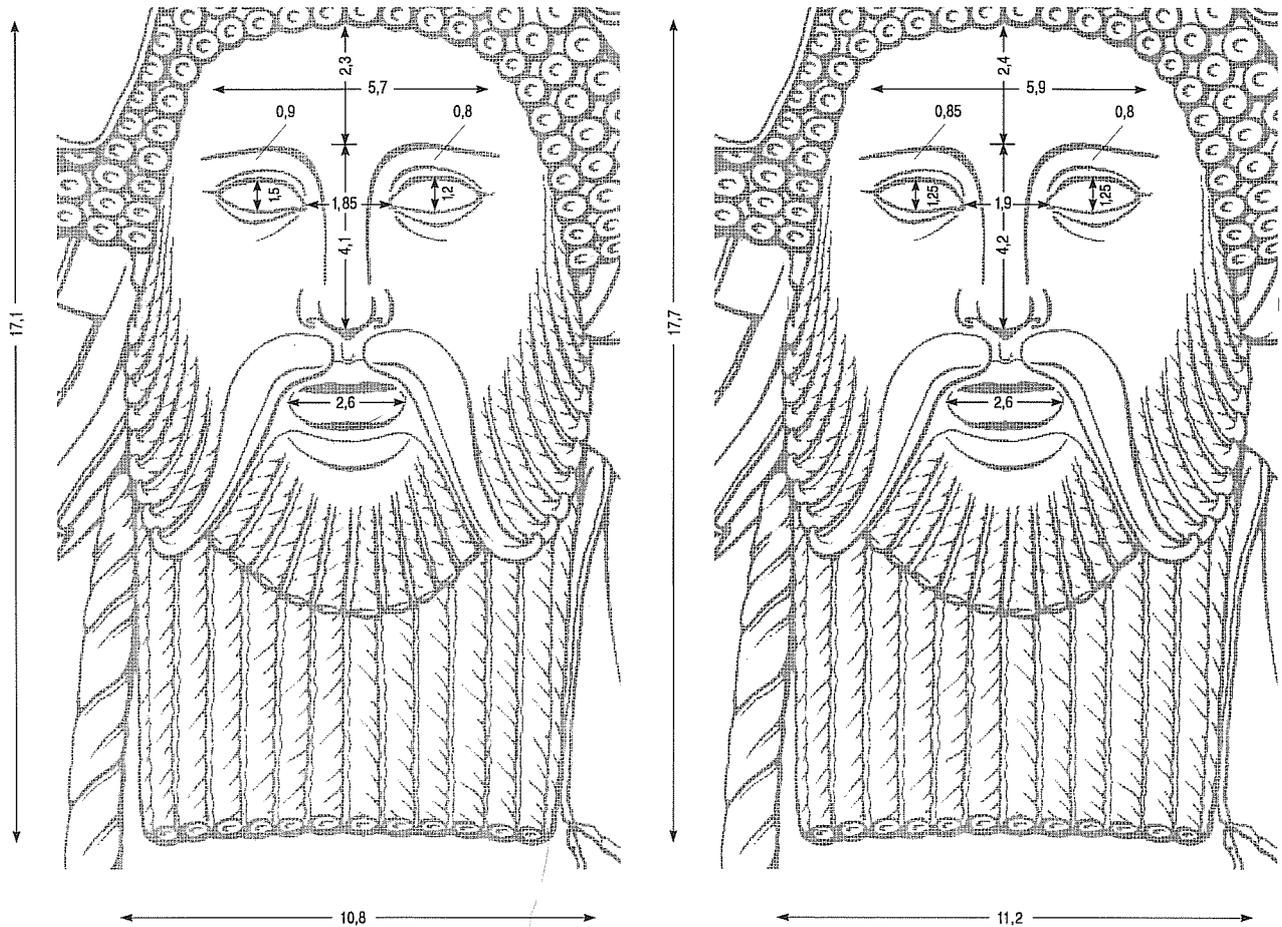
Wurden nach Entfernen der Gußhaut weitere Gußfehler sichtbar, so vertiefte man auch diese mit einem spanabhebenden Werkzeug (feinem Meißel) und verschloß sie anschließend mit einem Flickblech. Eine Klärung für die unterschiedliche Tiefe der großen und kleinen Flickstellen könnte die antike Arbeitstechnik bieten (Abb. 14): In praktischen Versuchen wurde beobachtet, daß die Werkzeughaltung entsprechend der Flickungsgröße variiert. Einzelne kleine Gußfehler können nur bei relativ steiler Werkzeughaltung ausgestochen werden. Automatisch dringt dabei der Meißel tiefer in die Bronze ein. Existierten jedoch mehrere Fehler

dicht nebeneinander, wurden sie der Einfachheit halber durch ein gemeinsames großes Blech abgedeckt. Beim Ausstechen einer solchen Stelle wird das Werkzeug relativ flach geführt.

Die Überarbeitung der Bronze nach ihrem Erkalten (Durchtrennen der 2,8 cm starken Gußkanäle, Entfernen der Gußhaut, Ausstechen der Gußfehler usw.) war sicherlich ohne die heute verwendeten Werkzeuge wesentlich aufwendiger. Wie auf der Erzgießereischale in Berlin zu erkennen ist, wurde zum Entfernen der rauhen Gußhaut keine Feile, wie wir sie heute kennen, sondern eine Art Strigilis (sichelförmiger Eisenschar) verwendet (vgl. Beitrag C. C. Mattusch zum Bronzeuß Abb. 2). Praktische Versuche mit einem Nachbau des Werkzeuges ergaben, daß aufgrund der Sichelform gewölbte Bronzeoberflächen leichter zu bearbeiten waren als mit einer Feile. Als abschließendes Schleif- bzw. Poliermit-



16 Rekonstruktion der Sockelung der Herme F 107.



17 Maßvergleich zwischen den Gesichtern der Mahdia-Herme und der Getty-Herme.

tel wurde Bimsstein verwendet<sup>13</sup>. Die Computertomographie (Abb. 15) erbrachte auch wichtige Ergebnisse über die antike Aufstellung der Herme. Der Marmorblock, auf dem die Herme gesockelt werden sollte, wurde zuvor so bearbeitet, daß in seiner Mitte eine pyramidenstumpfförmige Bosse stehenblieb (Abb. 16). Durch die unregelmäßig abgearbeitete Oberfläche sollte beim Bleiverguß eine größere Haftung erreicht werden. Zusätzlich versah man die Bosse mit einer Bohrung, in die eine metallene Stützstange mit Blei eingesetzt wurde. Reste des Bleis ließen sich in der Bohrung noch feststellen. Durch diese Stütz-

stange war die Figur nach dem Aufstellen gegen ein Umstoßen gesichert.

Die im unteren Bereich der Schaftvorderseite neben der Fehlstelle zu erkennenden Risse lassen auf eine Deformation der vorderen Bronzeplatte schließen. Diese ist wahrscheinlich nicht beim Untergang des Schiffes, sondern durch eine antike Demontage der Figur verursacht worden. Offensichtlich hatte man die bereits aufgestellte Herme gewaltsam mit einer Art Brechstange (Kuhfuß) gelöst. Bei diesem Vorgang kam es vermutlich zu einem Bruch, verbunden mit einer Stauchung der Bronzeplatte (Farbtafel 34,1).

*Beobachtungen zur Herme im  
J. Paul Getty Museum*

C. Mattusch vergleicht in ihrem Beitrag die Mahdia-Herme mit der Herme im J. Paul Getty Museum. Die bei der Untersuchung der Mahdia-Herme gewonnenen Erkenntnisse über die Herstellungstechnik ermöglichen Vergleiche mit der Getty-Herme und weisen trotz Unterschieden im Wachsmode llbau und der Gußtechnik auf eine eindeutige Verwandtschaft beider Bronzen hin.

Die Getty-Herme ist weniger stark korrodiert und zeigt im Inneren keine Anzeichen einer Meeresablagerung. Die Oberfläche weist eine wesentlich höhere Zahl an Gußfehlern auf, was durch eine unterschiedliche Gußtechnik bzw. ein nicht ausreichendes Entlüftungssystem zu erklären ist. Eine Reihe von Gußfehlern wurde bei der Kaltarbeit nicht geschlossen. An der Rückseite des Kopfes ist eine grobe Überarbeitung mit einem flachen schmalen Werkzeug zu beobachten, die Spuren auf der Oberfläche hinterlassen hat. Vielleicht sollten hier Gußnähte mit einem kleinen Meißel kaschiert werden.

Wie bei der Mahdia-Herme wurde der Schaft vermutlich zunächst in Ton modelliert (direktes Verfahren). Dazu wurden an den vier Ecken des zu errichtenden Tonschaftes je eine Wachsstange oder mit Wachs überzogene stabile Halme (Schilf o.ä.) in den Boden gesetzt (Farbtafel 34,2). Diese dienten, ähnlich der Vierkantstange bei der Mahdia-Herme, als Stütze für das Tonmodell. Beim Ausschmelzen des Wachses verkohlten sie weitgehend und dienten beim Guß als Einguß- bzw. Entlüftungskanäle (vgl. den Beitrag von C. C. Mattusch

zum Bronzeguß, Abb. 24)<sup>14</sup>. Wie Untersuchungen an der Herme zeigten, verbanden sie den Schulter- und Kopfbereich und sorgten bei Überbrückung des engen Halsbereiches für einen ausreichenden Transport der Schmelze. Nach dem Guß wurden sie abgetrennt. Diese technologische Funktion entspricht den auf den Schultern anliegenden Zöpfen und Tänienden bei der Mahdia-Herme. Vergleichbare innenliegende Gußkanäle konnte E. Formigli erstmals bei Bronzen aus der Renaissance beobachten. Bei antiken griechischen Bronzen stellen sie herstellungstechnisch eine Besonderheit dar.

Wie bei der Mahdia-Herme wurde das Wachs am Tonschaft nicht flüssig, sondern in Form von Platten angebracht. Im Gegensatz zur Mahdia-Herme handelte es sich jedoch um horizontal übereinander angesetzte Wachsplatten, deren Verbindungsnahte an den Innenflächen deutlich zu erkennen sind<sup>15</sup>.

Endoskopien des Innenraumes der Getty-Herme zeigten, daß weder die Täni an der Rückseite des Schaftes noch die Tänienschlaufen am Kopf massiv wie bei der Mahdia-Herme aufgesetzt, folglich auch nicht in Wachs frei modelliert waren. Die Gesichtsfelder beider Figuren weichen lediglich um Millimeter voneinander ab (Abb. 17). Dies belegt, daß beide entweder von demselben Vorbild mittels Hilfsnegativen kopiert wurden oder daß eine der beiden Figuren, zumindest ihr Gesichtsfeld, der anderen als Modell zur Verfügung stand. Zur Klärung dieser Frage wäre es wichtig, mit Hilfe der Computertomographie festzustellen, ob das Wachsmode ll des Getty-Kopfes Montagenähte zeigt.

*Anmerkungen*

<sup>1</sup> Die Vierkantstange ist durch die quadratische Aussparung am inneren Bronzeverschluß belegt. An dieser Stelle läßt sich ein Bruch des Tonkerns nachweisen. Durch die Metallstange wurde hier die flüssige Bronze am Weiterfließen gehindert. – Über die Beschaffenheit des Tons lassen sich

bei der Herme keine Aussagen machen. Bei dem aus dem inneren Kopfbereich geborgenen Tonmaterial handelte es sich nicht um antike Tonreste, sondern vermutlich um Meeresablagerungen (s. dazu Beitrag G. Schneider). Zu den in der Antike verwendeten technischen Tönen s. G. Zimmer,

Griechische Bronzegußwerkstätten (1990) 133–135. 159f.; G. Schneider – G. Zimmer, *BerlBeitrArchäom* 9, 1984, 39–49.

<sup>2</sup> J. Goebels – H. Heidt – A. Kettenschau – P. Reimers in: H. Born (Hrsg.), *Archäologische Bronzen, anti-*

ke Kunst, moderne Techniken, Ausst.Kat. Berlin (1985) 126–131; s. auch unten den Beitrag von J. Goebels u.a.

<sup>3</sup> Die Abtastschrittweite beträgt 0,5 mm, die Schichthöhe 2 mm; s. unten den Beitrag von J. Goebels u.a.

<sup>4</sup> Zimmer a.O. 213–219 Abb. a Taf. 26.

<sup>5</sup> Zimmer a.O. 222f. Abb. c Taf. 27.

<sup>6</sup> Die Form und die Art der Befehrerung des rekonstruierten Tiegels entspricht dem Befund aus Olympia und konnte in praktischen Versuchen nachvollzogen werden. Vgl. Zimmer a.O. 48ff. Abb. 15; U. Zwicker, *BerlBeitrArchäom* 9, 1984, 67. 92 Abb. 62; C. Rohden in: *Griechische und römische Statuetten und Großbronzen*, Akten 9. Tagung über antike Bronzen, Wien 1986 (1988) 196ff.

<sup>7</sup> Bei der Herme sind etwa 170 Gußfehler (Blasen) festzustellen, die durch Flickbleche kaschiert wurden. Heute

werden in der modernen Gußtechnik chemische Zusätze, z.B. Phosphorkupfer eingesetzt, um die Bildung von Blasen auf bzw. in der Metalloberfläche zu verhindern.

<sup>8</sup> Vgl. oben den Beitrag von G. Egert und E. Pernicka.

<sup>9</sup> Grundlage der Berechnung bildet das jetzige Gewicht der Herme von 32 kg. Davon abzuziehen ist das Gewicht der Versockelung, ca. 7 kg. Zu addieren ist das Gewicht der Fehlstelle im Schaftbereich. Die Bronze der Herme besteht aus 70 % Cu, 18 % Pb und 12% Sn. Auf das Gewicht bezogen, entfallen 17,5 kg Cu = 1,9 l (entsprechend dem spezifischen Gewicht), 4,5 kg Pb = 0,4 l und 3 kg Sn = 0,4 l. Dies ergibt 2,7 l flüssige Bronze. Für die Fehlstelle im unteren Schaftbereich sind ca. 0,3 l hinzuzurechnen. Für die Gußkanäle ca. 2,7 l. Daraus errechnet sich eine Gesamtmenge von ca. 5,7 l Bronze, d.h. ca. 50 kg.

<sup>10</sup> E. Formigli stellte in diesen Maßen eine Übereinstimmung zu Kernhalter-

löchern an den Riace-Bronzen sowie zu denen zahlreicher anderer römischer Bronzen fest. Es handelt sich also vermutlich um ein genormtes Maß, welches sich aus der praktischen Erfahrung im Umgang mit Bronzeuß entwickelte.

<sup>11</sup> s. die Beiträge von Ch. Brunnengraber und von C. C. Mattusch zum Bronzeuß.

<sup>12</sup> Vgl. J. Riederer, *Archäologie und Chemie. Einblicke in die Vergangenheit* (1987) 126; ders. in: *Griechische und römische Statuetten und Großbronzen*, Akten 9. Tagung über antike Bronzen Wien 1986 (1988) 158ff. Bei den von Riederer nachgewiesenen Bleiunterlagen handelt es sich vermutlich um sekundär eingelötete Reparaturbleche entlang einer Bruchkante.

<sup>13</sup> Zimmer a.O. (Anm. 1) 152ff.

<sup>14</sup> D. A. Scott – J. Podany in: *Small Bronze Sculpture from the Ancient World* (1990) 48ff.

<sup>15</sup> Scott – Podany a.O. 58 Abb. 13f.

#### Abbildungsnachweis

1. 2. 4–14. 16. 17 Rhein. Landesmus. Bonn (1. 11. 13 B. v. Zelewski; 2. 4. 8. 10. 14 F. Hilscher-Ehlert; 5. 12 H. Lilienthal; 6. 7. 9. 16. 17 F. Willer); 3. 15 BAM, Berlin.

#### Résumé

A grand renfort de coupes topographiques par ordinateur, on est parvenu à des connaissances sur des étapes de travail jusqu'à présent inconnues dans

la fabrication du modèle en cire. L'ensemble des observations permet une reconstitution du procédé de fonte. Les rectifications nécessaires après la fonte

ont été pratiquées, sur le buste en Hermès, dans une technique jusqu'ici inconnue.

Hans-Georg Hartke

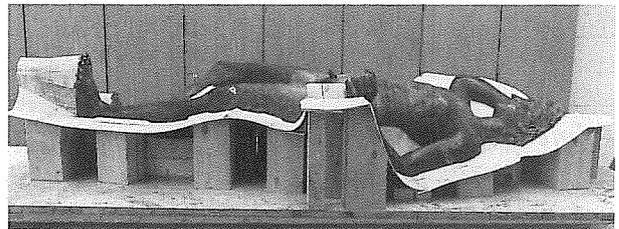
## Die Abformung des „Agon“

Als Vorbereitung der Restaurierungsmaßnahmen an der Figur des geflügelten Eros sollte das Objekt nicht nur fotografisch, zeichnerisch und schriftlich dokumentiert werden, sondern auch mit Hilfe einer Abformung der Zustand und die Position der Gliedmaßen in der Altrestaurierung festgehalten werden. Es war außerdem erforderlich, eine Kopie für die Experimente zur Neurekonstruktion des gesamten Körpers benutzen zu können. Die Originalteile konnten so parallel zu diesen Arbeiten konserviert und restauriert werden, während die Kunststoffgliedmaßen für die Festlegung des Standmotivs verwendet wurden. Ein weiterer positiver Nebeneffekt war die Verwendung der Kunststoffschale als ideale Verpackung für den Transport der Figur nach Berlin zur computertomographischen Untersuchung. Unser Ziel war also die Herstellung einer zweiteiligen Quetschform aus Silikon mit selbsttragender Kunststoffkapsel, welche als Transportkiste benutzt werden konnte.

Auf einer Trägerplatte wurde der „Agon“ in Position gelegt, mit Holzbalken unterfüttert und stabilisiert. Nun begann die Suche nach einer idealen Trennlinie für die beiden Hälften. Das Anlegen der Trennlinie ist die wichtigste Vorarbeit bei der Abformung. Wenn hierbei Fehler unterlaufen, kann unter Umständen die Form nicht mehr geöffnet werden, es sei denn unter Anwendung von Mitteln, die dem Original schaden könnten. Entlang dieser Trennlinie wurde eine Sperrholzkonstruktion (Abb. 1) errichtet, die die Auflagefläche für das Abformmaterial der ersten Schale bilden sollte. Die Abdichtung zur Originaloberfläche wurde mit Dentalwachs<sup>1</sup> modelliert. Ebenso wurden kleine Unterschnitte und Öffnungen der Oberfläche, wie zum Beispiel die Augen und die Flügelansätze (Abb. 2), mit diesem Wachs ausgeblockt. So wird ein Eindringen des dünnflüssigen Silikons in den

Innenraum vermieden. Paßmarken in Form von Halbkugeln und konischen Leisten garantieren ein genaues Einrasten der beiden Schalen. Zusätzlich wurde eine Begrenzungslinie aufgeklebt, die den Silikonantrag erleichtern und begrenzen sollte. Besonders wichtig ist eine gute Isolierung des Originals zum Silikon. Vaseline<sup>2</sup> erfüllt alle Kriterien für eine leichte Trennung: sie ist mit einem Pinsel dünn auftragbar, bei der anschließenden Konservierung werden alle Rückstände entfernt und der Isoliereffekt ist auf allen Materialien optimal. Ohne Isolierung würden die Adhäsionskräfte unter Umständen so hoch, daß sie ein Öffnen der Form verhindern könnten.

Es folgten drei Schichten Silikon<sup>3</sup> (Abb. 3), dünn aufgetragen, um eine genaue Zeichnung zu erreichen. In die vierte Schicht wurde eine Lage Mullbinden eingearbeitet, um die Stabilität und Reißfestigkeit der Silikonhaut zu erhöhen. Eine fünfte Silikonhaut schließt den elastischen Teil der Abformung. Die Materialstärke betrug ca. 0,7 bis 10 mm. Diese Schichtstärke garantiert den geringen Schwund und die lange Haltbarkeit der Form. Unterschneidungen werden durch Kunststoffkeile<sup>4</sup> ausgeglichen, die ein Verkanten der Außenschale beim Öffnen verhindern.



1 Abformung des „Agon“. Sperrholzkonstruktion an der Trennlinie der Formhälften.

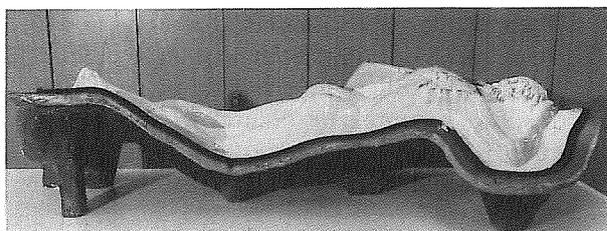


2 Abformung des „Agon“. Mit Dentalwachs ausgeblockte Flügelansätze.

Die Außenhaut der Form wurde ebenfalls aus Kunststoff hergestellt, welcher pastös auf die mit Vaseline isolierte Silikonhaut aufgetragen und mit Metalldrahteinlagen zusätzlich stabilisiert wurde. Zur Gewichtsreduzierung wurden Styroporkugeln und Stapelfaser in die Schichten eingebracht. Standplatten von Einwegpaletten wurden in den Kunststoffmantel integriert und bilden so eine sichere Standfläche für die gesamte Form.

Nach dem Aushärten wurde die erste Schale samt Original gewendet, die Holzkonstruktion und die anhaftenden Wachsreste entfernt. Wieder erfolgte eine Isolierung mit Vaseline, die Kontaktflächen der ersten und zweiten Schale wurden in

gleicher Weise behandelt. Auch der Aufbau der Silikonschichten und des Kunststoffmantels wurde analog zur ersten Schale erstellt. Nach dem Glätten und Beschneiden der Ränder wurden die Löcher für die Verschraubungen gebohrt, mit denen die Quetschform bei der Herstellung der Kopie zusammengepreßt wird. Zum Öffnen wurden Bohrungen durch die Kunststoffschale bis zum Silikon angelegt, hier konnte Druckluft zum Lösen der Schichten eingepumpt werden. An der Nahtstelle der beiden Schalenteile wurde die Form dann ge-



3 Abformung des „Agon“. Auftrag der Silikonschichten.

öffnet. In die beiden Schalen wird nach dem erneuten Isolieren mit Vaseline Kunststoff eingespachtelt, jeweils in der gewünschten Dicke, beide Schalen werden wieder verschraubt und nach dem Aushärten kann die Arbeitskopie aus der Form entnommen werden. Auch die Flügel des „Agon“ wurden auf diese Art kopiert. Für die Aufstellung der Figur wurde in einem weiteren Arbeitsschritt die Schulterpartie im Inneren des Körpers abgeformt, ein Stützkorsett aus Kunststoff übernimmt wichtige Aufgaben in der Statik der Haltekonstruktion. Ausgeführt wurden diese Arbeiten von Frank Willer, Peter Vershoven, Reinhold Keller und Hans-Georg Hartke.

### Anmerkungen

<sup>1</sup> Modellierwachs der Fa. Dental-Liga GmbH & Co. KG, Köln.

<sup>2</sup> Vaseline DAB 9, weiß, Fa. Kraemer & Martin GmbH, St. Augustin.

<sup>3</sup> Wir verwenden Silikone der Fa. Wacker-Chemie GmbH, München.

<sup>4</sup> Epoxidharz Araldit M der Fa. Ciba-Geigy, Basel.

## Die Abformung des „Agon“

---

Abbildungsnachweis

1-3 Rheinisches Landesmus. Bonn, H. Lilienthal.

### *Résumé*

Pour garder la position de l'„Agon“ connue jusqu'à présent plusieurs moules ont été

réalisés avant sa restauration. Un de ces moules servait aussi à expérimenter quelle serait la

nouvelle position. Pendant des travaux on a pu conserver et restaurer des pièces d'origine.

Barbara Cüppers

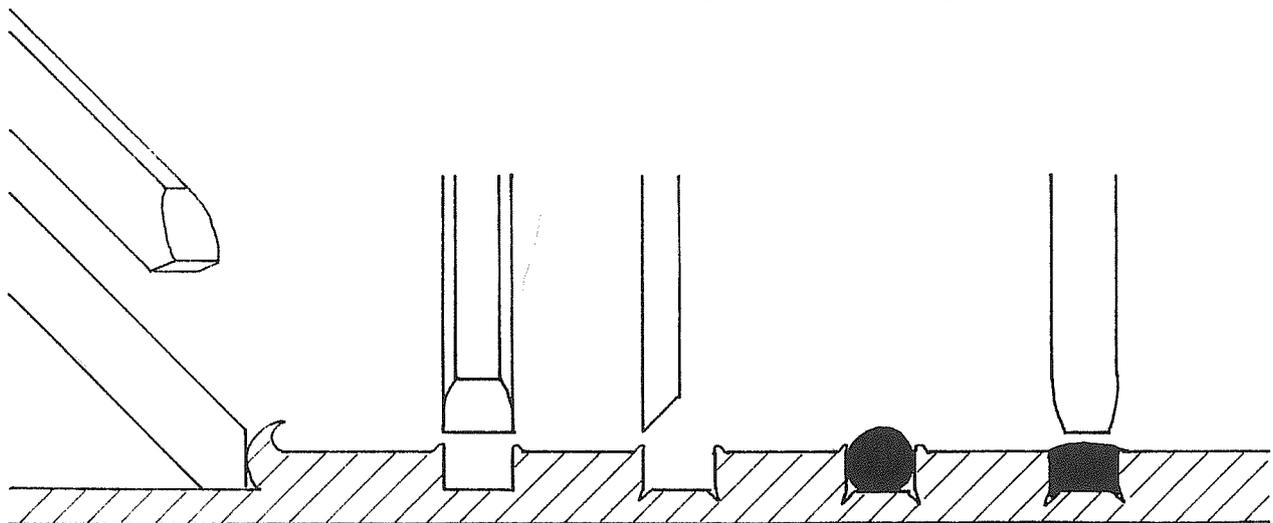
# Metalleinlagen als farbige Ziertechnik

An einigen Bronzeobjekten des Schiffsfundes von Mahdia wurde die Bronzeoberfläche in der Antike durch verschiedenfarbige Ziermotive ausgestaltet. Um Metalloberflächen in dieser Art farbig zu beleben, wurden und werden andere, farblich zur Bronze kontrastierende Metalle als Einlagematerial benutzt. Eine wichtige technische Voraussetzung ist, daß das Metall des Trägerobjekts härter ist als das Einlagematerial. So eignen sich bei Bronze- und Eisengegenständen hierfür insbesondere Gold, Silber und Kupfer.

Zwei Methoden, farbiges Metall in Oberflächen zu fassen, lassen sich unterscheiden: Lineare Ornamente werden mit Drähten ausgelegt (Tauschierung), während bei flächigen Formen Bleche benutzt werden (Plattierung).

## *Tauschierung*

Zur Vorbereitung der Tauschierung wird das darzustellende Motiv aufgezeichnet und anschließend eingraviert<sup>1</sup>. Die so ausgehobenen Rinnen können



a

b

c

d

e

- a. Meißel seitlich und perspektivisch
- b. eingemeißelte Gruben / Rinnen
- c. Innenkanten spitz eingemeißelt

- d. eingelegter Draht
- e. fertig eingeschlagener Draht

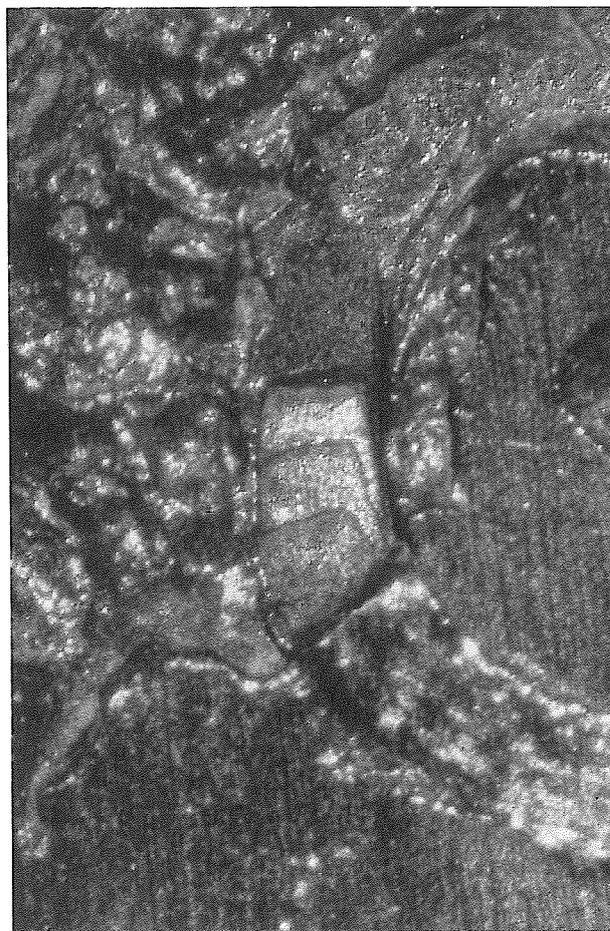
<sup>1</sup> Tauschierung mit gemeißelten Gruben.



2 Kline I, Seitenbeschlag 4. Rechteckige Rinne, an den Innenkanten zusätzlich Stichellinien.

weiter mit Stichel oder Meißel vertieft werden. Um den Halt der Einlage zu gewährleisten, sollte sich die Rinne nach unten verbreitern, also einen trapezförmigen Querschnitt haben. Die Rinnen an den Mahdia-Bronzen zeigen quadratische oder rechteckige Querschnitte (Abb. 1. 2). Bei der Schlagfolge entstandene Absätze und Unebenheiten lassen darauf schließen, daß die Rinnen mit dem Meißel eingearbeitet wurden (Abb. 3). Durch das Schlagen werden die Rinnenränder zuweilen leicht gratig aufgewölbt. Mit einem spitzen Meißel wurden die Innenkanten der Rinnen überarbeitet, um die Bronze einzudrücken und so den Halt für den tordierten Einlegedraht zu vergrößern. Der Einlegedraht wurde zunächst eingehämmert und dann mit einer Punze in die Rinne getrieben. Zuletzt wurde die gesamte Oberfläche plan geschliffen und poliert<sup>2</sup>.

In den eingetieften Linien der Mittelplatte eines Fulcrumrahmens von Kline I (vgl. Beitrag Faust Abb. 5) hat sich etwas Einlegedraht erhalten; die übrigen, durch Korrosion beschädigten Gruben laufen teilweise flach aus. Auf einem Seitenbeschlag mit künstlicher Schwarzpatina<sup>3</sup> der gleichen Kline zeigen sich Einlagen in Silber, die erst nach der Patinierung der Bronze eingearbeitet wurden. Da bei patinierten Oberflächen eine anschließende Überarbeitung der Tauschierung, wie sie oben beschrieben wurde, ausgeschlossen ist, mußte der



3 Kline I, Seitenbeschlag 4. Schlagspuren (Rattermarken) des Meißels in einer der Rundungen.

Handwerker sehr exakt arbeiten. Die Beschläge einer kleineren Kline zeigen gleichartige Tauschierungen. An der Pferdekopfprotome von Kline I finden sich am Pantherfell am Hals des Pferdes punktförmige Kupfereinlagen (vgl. Beitrag Faust Abb. 10). Um sie anzubringen wurden mit einem körnerartigen Stichel oder einem Bohrer Eintiefungen in die Bronze gebohrt. Teilweise verlaufen diese Bohrungen senkrecht, teilweise schräg in das Metall; in diese Löcher wurden Drahtstücke gesteckt. Zusätzlich sind das Auge und der Rachen mit rotem Kupferdraht ausgelegt.

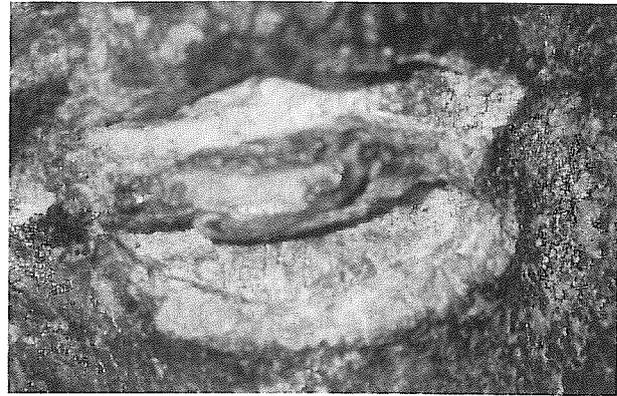
Das Bronzebecken F 282 (vgl. im Beitrag von R. Petrovsky die Kat.Nr. 27) und Teile eines Kandelabers (vgl. im Beitrag von F. Baratte Nr. 4) zeigen ebenfalls Tauschierung. Das umlaufende Mäanderband am Beckenrand sowie am Sockel des Kandelabers ist mit Silberdraht eingelegt. Zusätzlich zeigt sich am Sockel ein mit Kupferdraht tauschiefter Abschlußstreifen. Die dazugehörige Kandelaberstange weist an allen Kannelierungserhebungen eingetiefte Linien auf. An einer Stelle hat sich Kupferdraht erhalten. Die Rinnen für die Tauschierungen sind an einigen Funden unregelmäßig; sie verlaufen von einer rechteckigen zum Teil in eine dreieckige Form.

### Plattierung

Das Bronzekapitell eines Kandelabers (vgl. im Beitrag von F. Baratte Nr. 4) ist durchbrochen gearbeitet und von innen mit einem stark kupferhaltigen Blech hinterlegt<sup>4</sup>. Dieses Blech ist entsprechend der Hohlform des Kapitells kegelförmig und auf die Kandelaberstange gesteckt. Eine Bleiverfüllung befestigt den Kupferkörper an der Kandelaberstange.

An der Satyrbüste von Kline III (vgl. oben Beitrag S. Faust Abb. 6) waren verschiedene Elemente wie Lippen, Brustwarze, Hörner und Augen farbig abgesetzt. Für Lippen und Brustwarze sind Kupferplattierungen anzunehmen. Die Hörner können aus vergoldeter Bronze gewesen sein<sup>5</sup>. Als Material für die Augen diente Knochen oder Elfenbein mit farbig abgesetzter Iris und Pupille<sup>6</sup>.

Um die großflächigeren Elemente wie Lippen und Brustwarzen entsprechend farbig zu gestalten, wurden andersfarbige Metallbleche im Grundmaterial, der Bronze, gefaßt. Da die Satyrbüste im



4 Kline III, Satyrbüste. Gratig aufgestochene Ränder und aufgeraute Flächen an den Lippen.

Wachsausschmelzverfahren hergestellt wurde, bot sich dem Handwerker die Möglichkeit, die Mundpartie im Wachsmo­dell entsprechend auszusparen. Das Einlegeblech wurde erst nach dem Guß eingesetzt. Dazu wurde um die Ränder ein Grat aufgestochen, der einen etwas überstehenden, stegartigen Halt für die Einlage bietet (Abb. 4)<sup>7</sup>. Zusätzlichen Halt für das Einlegeblech konnte man gewinnen, wenn man das Grundmetall rasterförmig mit Hammer und Meißel oder mit dem Stichel aufraute. Die einzulegenden Bleche müssen etwas größer sein als die Grube. Ihre Kanten werden schräg zugefeilt, um sie leichter der Grubenform anzupassen. Das Blech wird gewölbt und mit den schrägen Kanten unter den unterschrittenen Grat eingesetzt, durch Andrücken des Grates mit einer Punze vorfixiert und dann endgültig festgeschlagen.

An der Satyrbüste sind aufgrund der Korrosion nur noch die vor dem Guß ins Modell eingearbeiteten Gruben für die Einlagen erhalten.

### Anmerkungen

<sup>1</sup> H. Born in: Tauschierarbeiten der Merowingerzeit, Museum für Vor- und Frühgesch. Berlin, Bestandskatalog 2 (1994) 72ff.

<sup>2</sup> E. Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmiedes (1987) 353ff.

<sup>3</sup> s. den Beitrag von F. Willer zur intentionellen Patinierung.

<sup>4</sup> s. den Beitrag von F. Baratte zu den Bronzekandelabern.

<sup>5</sup> P. C. Bol, Antike Bronzetechnik (1985) 148ff.

<sup>6</sup> s. den Beitrag von Ch. Brunnengraber zur Herstellungstechnik der Ruderkästenbeschläge.

<sup>7</sup> Klassische Reiseziele, Die Bronzestatuen von Riace in Reggio (1989) 16f.

Abbildungsnachweis  
1-4 Rhein. Landesmuseum Bonn, B. Cüppers.

*Résumé*

Diverses techniques s'offrent à la composition colorée des surfaces métalliques: des fils d'or, d'argent ou de cuivre se prêtent

au damasquinage d'objets en bronze ou en fer.

Une autre méthode consiste en la superposition de tôles tra-

villées et coupées avec un métal de couleur.

Ute Sobottka-Braun und Frank Willer

# Experimente zur antiken Guß- und Löttechnik

Die im folgenden beschriebenen Experimente wurden während einem Seminar zur Experimentellen Archäologie in Murlo, Italien, im Mai und August 1993 durchgeführt.

Die bei der Restaurierung der Mahdia-Bronzen beobachteten herstellungstechnischen Besonderheiten sollten im praktischen Versuch auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden. Dazu war es notwendig, die entsprechende antike Werkstattsituation zu rekonstruieren:

- Bau eines Lötovens mit Blasebälgen aus Ziegenfellen;
- Anfertigen von Gußtiegeln aus anstehenden Tonen;
- Herstellen von Spezialwerkzeugen wie z.B. striegelförmige Schaber, feine Meißel etc., die zur Oberflächenbearbeitung der Bronzen dienen sollten;
- Auswahl der in der Antike bekannten Materialien (z.B. Lote und Flußmittel, Herstellung der Legierungen).

## *Bleigehalt der antiken Legierung*

Die Untersuchungen der Bronzeproben hatten ergeben, daß, entsprechend den Objektgruppen (Statuetten, Großbronzen, Klinen, Kandelaber), die Legierungen der Zinnbronzen in ihren Bleigehalten schwankten<sup>1</sup>. Es sollte daher überprüft werden, ob die damit einhergehenden Unterschiede im Gußverhalten, in der Verformbarkeit und der mechanischen Bearbeitbarkeit der Oberfläche in der Antike bereits bei der Zusammenstellung der Legierung berücksichtigt wurden. Zu diesem Zweck wurden Nachgüsse der Originalteile angefertigt,

bei denen es nicht nur auf die exakte Wiedergabe der Form ankam sondern auch auf die Zusammensetzung der Legierung, die der antiken möglichst genau entsprach.

Das Gießerei-Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen fertigte für die Versuche einen Nachguß des Standbeines des „Agon“ aus zwei Teilen. Der Oberschenkel wurde aus einer den Kandelabern entsprechenden Legierung (Cu 86%, Sn 8%, Pb 6%), der Unterschenkel entsprechend den Analyseergebnissen des „Agon“ (Cu 70%, Sn 12%, Pb 18%) nachgegossen. Beim Überarbeiten nach dem Guß mit dem Eisenstriegel – angefertigt nach der Abbildung auf der Erzgießereischale (oben, Beitrag C. C. Matusch zum Bronzeguß Abb. 2) – zeigte sich kein nennenswerter Unterschied beim Entfernen der Gußhaut. Jedoch verblüffte die Funktionalität des Werkzeuges mit dem ein gleichmäßiges Abnehmen der Gußhaut auch an gewölbten Oberflächen möglich war. Ein weiterer Versuch, bei dem mit feinen Meißeln Gruben für die sogenannten Flickbleche an Gußfehlern ausgehoben wurden, ließ keine deutlichen Vorteile in der Bearbeitbarkeit erkennen. Der hohe Bleigehalt der Legierung des „Agon“ brachte also keinen deutlichen Vorteil in der Bearbeitbarkeit der Oberflächen nach dem Guß; ein Vorteil kann aber darin liegen, daß die bleihaltigere Bronze leichter gießbar ist<sup>2</sup>.

## *Bleiunterlagen bei Flickblechen*

Bei der Restaurierung der Herme konnten anhand der Röntgenbilder im Randbereich der Flickbleche Bleiunterlagen beobachtet werden, die nicht



1 Einsetzen eines Flickbleches.



2 Verstreichen der Lötgrube mit Lehm.

mit einer Reparatur in Form einer Weichlötung zu erklären sind, sondern eine spezielle mechanische Form der Verbindung von Gußstück und Flickblech bilden: Eine Bleifolie wurde unter das Flickblech gelegt<sup>3</sup> und zusammen mit diesem eingeschmiedet. Im praktischen Versuch zeigte sich, daß beim Einschmieden der bleiunterlegten Flickbleche weniger Kraft aufgewendet werden mußte als bei den bislang bekannten Verfahren. Bei anschließender mechanischer oder thermischer Beanspruchung zeigten die so gearbeiteten Flickungen eine höhere Haltbarkeit gegenüber den konventionell gearbeiteten (Abb. 1).

### *Löten in der Grube*

Bei der Restaurierung der bronzenen Kandelaberfüße wurde ein Stangenlot mit hohem Zinngehalt (Cu 58%, Pb 9%, Sn 33%) zur Montage der Einzelteile nachgewiesen. Die Flußrichtung des Lotes ist durch Tropfenbildung deutlich zu erkennen. Aus ihr ist zu schließen, daß alle sieben Teile des Kandelaberfußes in einem Arbeitsgang, auf dem Kopf stehend, miteinander verlötet wurden. Diese Art der Lötung ist nur in einem Lötöfen möglich, der eine der Form des Kandelaberfußes entsprechende Vertiefung aufweist.

Bau des Lötöfens: Im Erdboden wurde eine Grube von etwa 1 m Durchmesser ausgehoben und ihre



3 Flechten der Grubenüberdachung.

Wände mit gemagertem Ton verstrichen (Abb. 2). Für die Sauerstoffzufuhr während des Lötvorganges wurden für Luftdüsen im Randbereich der Grube drei Öffnungen angelegt. Für die Grubenüberdachung wurde ein Geflecht aus Zweigen hergestellt, das anschließend mit Ton, der zum besseren Halt mit Grashalmen vermischt war, verstrichen wurde (Abb. 3). Zur Isolierung gegen die Hitze erfolgte ein Auftrag eines hitzebeständigen Tones von der Innen- und Außenseite. Zur Herstellung der Blasebalgdüsen wurden Strohbindel mit Ton umkleidet. Nach dem Trocknen des Tons

wurde das Stroh ausgebrannt. Die Luftdüsen wurden so in die Öffnungen des Ofens eingesetzt, daß der Luftstrom die Holzkohle zentral von unten belüftete. Als Blasebälge verwendeten wir entsprechend verarbeitete Ziegenhäute<sup>4</sup>.

Lötvorgang: Die Lötstellen an den Einzelteilen des Kandelaberfußes wurden mit Borax bestrichen – Versuche mit Alaun und Soda in verschiedenen Mischungsverhältnissen als Flußmittel waren fehlgeschlagen –, und die Einzelteile dann mit Bindedrähten (antik vermutlich schmale eiserne Blechstreifen) vorläufig zusammengefügt. Bevor der Kandelaberfuß nun mittig in die glühende Holzkohle gestellt wurde, waren zum Schutz gegen ein Verschmoren die nicht zu lötenden Teile mit Ton abgedeckt worden (Abb. 4). Um die benötigte Löttemperatur (Schmelzpunkt des Lotes ca. 600 °C) zu erreichen, wurde die Kohle mit den Blasebälgen angefeuert. Das in dünnen Stangen gegossene Lot konnte mit einer langen Zange an die Lotstelle herangeführt werden, um die herum die Holzkohle mittels eines Blasrohres<sup>5</sup> zusätzlich erhitzt wurde. Nach Erreichen des Schmelzpunktes wurde die Luftzufuhr eingestellt. Das Lot begann zu fließen und wurde so lange nachgereicht, bis alle Verbindungsstellen mit Lotmaterial versorgt waren. Die noch glühende Holzkohle wurde mit Wasser abgelöscht, um ein weiteres Verlaufen des Lotes zu verhindern. Nach dem Abkühlen wurde der Fuß dem Ofen entnommen und die Lotstellen versäubert.



4 Einsetzen des Kandelaberfußes in den Lötöfen.

Für den gesamten Lötvorgang benötigten wir 20 Minuten.

### *Verbindung durch Überfangguß*

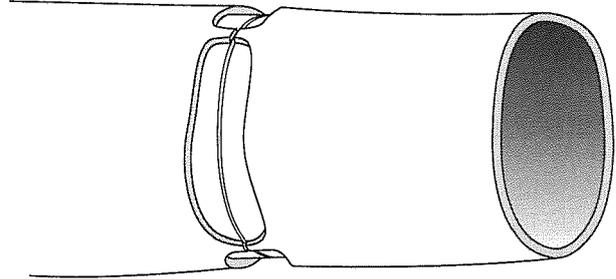
Eine weitere Verbindungstechnik von Bronzeteilen konnte bei der Restaurierung des „Agon“ beobachtet werden. Die separat gegossenen Arme und Beine waren in der Art des Überfanggusses am Torso befestigt. Als Versuchsobjekt diente der zweiteilige Nachguß des Standbeins des „Agon“. An den zusammenzufügenden Stellen wurden einander entsprechende ovale Aussparungen ausgearbeitet (Abb. 5. 6)<sup>6</sup>, die in der Antike bereits im Wachsmodell angelegt wurden. In die ovalen Gruben gegossene Bronze schuf dann eine feste Verbindung. Die beiden Einzelteile wurden mit Stützen (Metallstangen oder tonummantelte Hölzer) fixiert (Abb. 7). Die Lötstellen wurden mit Borax bestrichen und mit Tonmanschetten abgedeckt; Einguß- und Entlüftungskanäle wurden gesetzt. Nach dem Trocknen der Manschetten wurde das Bronzebein zur Erhitzung auf glühende Holzkohle gelegt. In einem Tiegel geschmolzene Gußabfälle wurden in den Eingußkanal der Tonmanschette gegossen. Nach dem Abkühlen und Entfernen des Tones wurde die Ansatzstelle mechanisch versäubert.

### *Patinieren der Bronzeoberfläche*

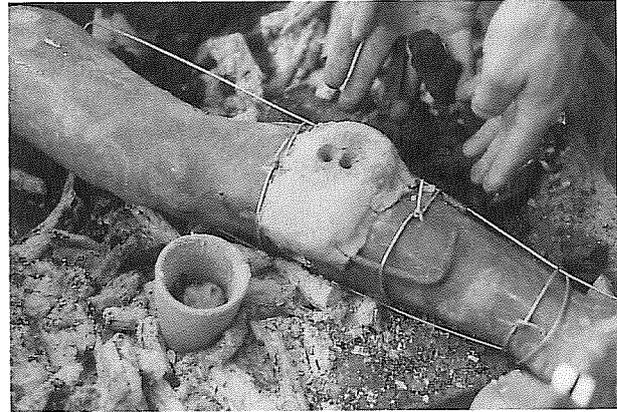
Die bei einigen Mahdia-Bronzen beobachtete Schwarzpatina konnte durch Analysen als Kupfersulfid identifiziert werden. Im praktischen Versuch mit Schwefel ließen sich optisch und chemisch gleiche Oberflächen herstellen<sup>7</sup>. Bei den Versuchen wurden Bronzen verwendet, deren Legierung der der Mahdia-Bronzen entspricht. Die Oberflächen wurden mit Bimsstein geglättet und mit einem punzierten Dekor versehen. Mit einem Pinsel wurde auf das erwärmte Objekt reiner Schwefel aufgetragen. Über der glühenden Kohle ist die Reaktion (Sulfidieren des Kupfers) anhand der Schwärzung zu beobachten. Der verflüssigte Schwefel wird mit dem Pinsel eingerieben. Wird eine stärkere Sulfidierung gewünscht, muß dieser



5 Bein des „Agon“, Nachguß mit ovalen Aussparungen.



6 Schematische Darstellung der Aussparungen für das Lötten durch Überfangguß.



7 Lötten durch Überfangguß.

Vorgang mehrfach wiederholt werden. Noch im heißen Zustand wird die Sulfidschicht mit einem weichen Tuch poliert. Nach der Patinierung sollen die Objekte langsam abkühlen, um eine Beschädigung der Patinaschichten zu vermeiden.

Bei silber- oder kupfertauschierten Objekten hat die Patinierung nach dem Ausheben der Gruben zu erfolgen. Die Metalleinlagen müssen nach

dem Patinieren eingearbeitet werden, da sonst der Schwefel auch die Einlagen sulfidieren würde und der gewünschte Farbkontrast verloren ginge.

### Anmerkungen

<sup>1</sup> Vgl. unten den Beitrag von E. Pernicka und G. Eggert.

<sup>2</sup> Vgl. den Beitrag von F. Willer zur Gußtechnik der Bronzeherme.

<sup>3</sup> Vgl. den Beitrag von F. Willer zur Gußtechnik der Bronzeherme.

<sup>4</sup> G. Nestler – E. Formigli, Etruskische Granulation (1993), 80ff.

<sup>5</sup> Ebd.

<sup>6</sup> E. Formigli in: Atti XII Convegno di Studi Etruschi e Italiani 16–20 (1979) 67 Abb. 5.

<sup>7</sup> Vgl. unten den Beitrag von F. Willer zur Patinierung.

*Résumé*

Lors d'un cours d'archéologie expérimentale à Murlo/Italie, les auteurs ont fait des expérimen-

tations diverses: réparation du bronze, soudure, patine artificielle. En outre on a étudié les

réactions des alliages différentes du bronze

Frank Willer

# Fragen zur intentionellen Schwarzpatina an den Mahdiabronzen

An einigen Bronzeobjekten des Mahdia-Fundes wurde während der Restaurierung eine bis zu 2 mm starke, schwarzbläuliche, sehr harte Oberflächenpatina entdeckt. Ob es sich dabei um die originale antike Oberfläche dieser Bronzen oder um eine durch die Lagerung im Meer entstandene Korrosion handelt, soll im folgenden näher untersucht werden.

Die Patina besteht, wie sich bei Analysen ergab, aus reinem Kupfersulfid<sup>1</sup>. Im Gegensatz zu den Korrosionsschichten der übrigen Bronzen des Mahdia-Fundes ist sie in einem erstaunlich guten Erhaltungszustand: sie zeigt kaum Gebrauchsspuren oder irgendeine Art von aufliegender Korrosion. Es scheint, als wären die Bronzen gerade erst in der antiken Werkstatt gefertigt worden, ein Phänomen, das bei einer über 2000 Jahre währenden Lagerung im Salzwasser verwundert. Unter der schwarzen Patina ist die Bronze wie bei den nicht-patinieren Objekten häufig korrodiert (Farbtafel 35,1). Dies führte dazu, daß sich die schwarze Patina bei der Abnahme der marinen Kruste teilweise ablöste.

Vergleichbare Untersuchungs- bzw. Analyseergebnisse an anderen antiken Schiffsfunden wie z.B. dem von Antikythera<sup>2</sup> liegen nicht vor. Für die an Meeresfunden verstärkt auftretende Patina machte man bislang die Lagerung der Stücke auf dem Meeresboden verantwortlich. Man nimmt allgemein an, daß durch den Fäulnisprozeß des Holzes der Schiffe sowie im Faulschlamm des Meeresbodens vorhandene schwefelhaltige Verbindungen die schwarze Patinierung hervorrufen. Lediglich E. Formigli beschreibt die schwarze Sulfidpatina an den Bronzestatuen von Riace als ursprünglich

antik und verweist auf die Abwesenheit von entsprechendem organischem Material (Meeresflora, Holz) an der Fundstelle<sup>3</sup>. Meeresbiologen, die die Fundstelle bei Mahdia 1993 in mehreren Tauchgängen untersuchten, wiesen auf eine zuweilen starke Meeresströmung hin, die eine Konzentration des Fäulnismilieus bei der Zersetzung des Holzes in Frage stellt<sup>4</sup>. Lediglich im Sand versunkene und durch Schiffsplanken abgedeckte Bronzen könnten diesem korrosionsfördernden anaeroben (sauerstoffarmen) Milieu ausgesetzt gewesen sein. Verwunderlich bleibt jedoch, daß nur einige wenige Bronzeobjekte eine Schwarzpatina aufweisen, wenn man die Menge des Holzes berücksichtigt, die bei einem Schiff von etwa 30 m Länge und 12 m Breite vorhanden war<sup>5</sup>. Wie G. Eggert nachgewiesen hat, fand eine durch die Meereslagerung ausgelöste Schwefelkorrosion statt. Sie schließt jedoch eine künstliche, d.h. intentionelle Schwarzpatina nicht aus. Die unterhalb der Patina vorhandene Korrosion läßt sich, wie schon Formigli deutlich machte<sup>6</sup>, durch ein Eindringen von Salzwasser an schadhaften Stellen der Patina erklären.

Ein erster Beleg dafür, daß die schwarze Patina künstlich erzeugt wurde, sind zwei Kandelaberteile (F 303 und MB 34; Abb. 1), bei denen lediglich die seitlich angesetzten Akanthusblätter eine gleichmäßige, starke Patinierung aufweisen. Eine natürlich entstandene Patina hätte sich, entsprechend ihrer Lagerung, unregelmäßig auf den Objekten ausgebreitet. Der teilweise recht gute Erhaltungszustand des tauschierten Silbers an den patinierten Klinenbeschlägen sowie die Kupfer- und Silbereinlagen an der Plinthe einer Kandelaberstange weisen ebenfalls auf eine künstlich erzeugte



1 *Akanthusranke F 303 mit angesetzten Blättern.*

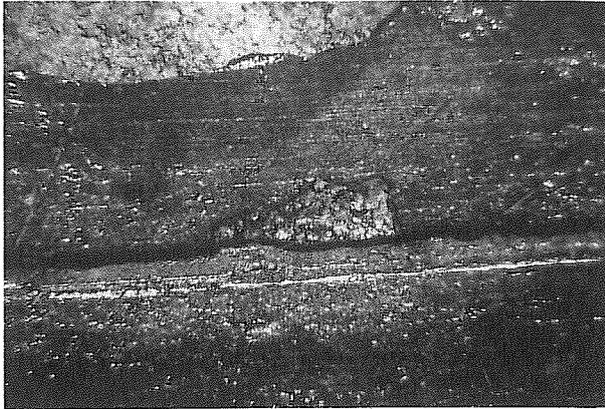
Patinierung hin, da bei einer Lagerung im schwefelhaltigen Fäulnismilieu diese Einlagen ebenso wie die Bronze der Schwefelkorrosion zum Opfer gefallen wären (oben, Beitrag Faust Abb. 26a und Farbtafel 35,1)<sup>7</sup>: Dies ließ sich in einem praktischen Versuch beobachten, bei dem zunächst die Verwendung von Schwefel als Treibkitt bei hohlen antiken Goldreifen nachgewiesen werden sollte. Dazu wurde auf 120 °C erhitzter, zähflüssiger Schwefel in ein dünnwandiges Goldrohr gegossen und anschließend in kaltem Wasser abgelöscht. Dadurch erhielt der Schwefel eine treibkittartige Festigkeit, die ein Biegen des Rohres zum Reif und ein anschließendes Ziselieren der Oberfläche ermöglichte. Zur Probe wurde bei diesem Versuch zunächst ein erwärmtes Kupferrohr verwendet, das sich beim Kontakt mit dem heißen Schwefel in schnell ablaufender Reaktion vollständig in schwarzbläuliches, sehr brüchiges und stumpf aussehendes Kupfersulfid umwandelte. Bei Experimenten mit Silber zeigte sich ein ähnliches Verhalten. Nur das hochlötige Gold konnte daher in der Antike mit dieser Methode verformt werden. Desweiteren wurde ein in der Zusammensetzung des Metalls den Mahdiabronzen entsprechendes Bronzeobjekt nachgegossen, um seine mechanische Bearbeitbarkeit – die sog. Kaltarbeit nach dem Guß –

zu überprüfen. Nach den Erfahrungen aus dem vorangegangenen Experiment sollte nun auch an diesem Stück die Reaktion mit Schwefel getestet werden. Diese lief jedoch nicht wie bei reinem Kupfer oder Silber ab, sondern es bildete sich eine glänzende, den schwarzblauen Schichten der Mahdiabronzen auch optisch entsprechende Oberfläche aus. Daraufhin wurden genauere Untersuchungen und Vergleiche der erzeugten Oberflächenpatinierung mit jener der Mahdiabronzen vorgenommen. Dabei kamen wir zu dem Ergebnis, daß in beiden Fällen dieselbe Zusammensetzung der Patina, reines Kupfersulfid, vorliegt<sup>8</sup>. Weitere Versuche zeigten, daß im Gegensatz zu reinem Kupfer der Zinnanteil in den Bronzelegierungen bei der Reaktion mit Schwefel ein Abplatzen des entstandenen Kupfersulfids verhinderte. Bei dieser Art der Patinierung entstehen keine auf der Bronzoberfläche aufliegenden Schichten, da der Schwefel in das Metallgefüge eindringt und das Kupfer sulfidiert. Dabei werden zuvor angebrachte Oberflächenverzierungen wie Punzierungen oder Gravuren nicht abgeschwächt.

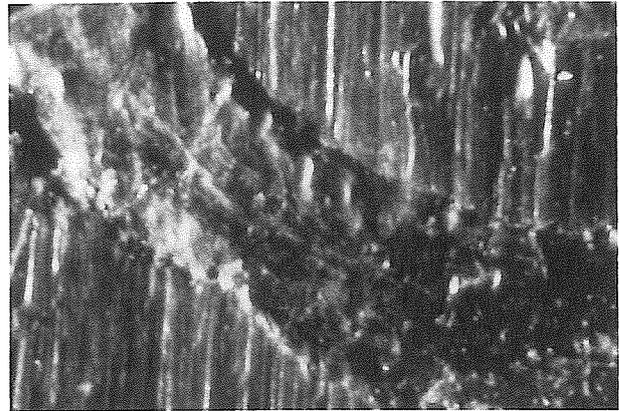
#### *Patinierte Bronzen des Mahdia-Fundes*

An dem Klinenbeschlag Nr. 4 von Kline 1 (oben, Beitrag Faust Abb. 26a), der an den sichtbaren Flächen teilweise noch Patinierung aufweist, befindet sich eine Silbereinlage (Tauschierung). Die Rückseite des Beschlages, die auf Holz montiert war, zeigt im Gegensatz zur Vorderseite nicht die schwarzglänzende, dichte Patina, sondern scheint „normal“ korrodiert zu sein.

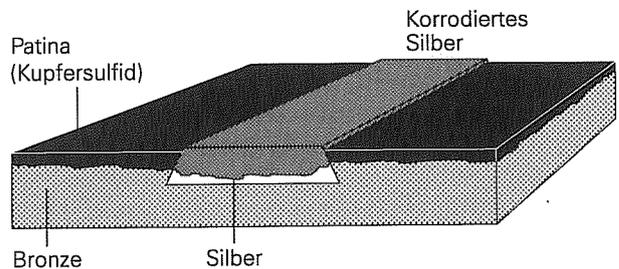
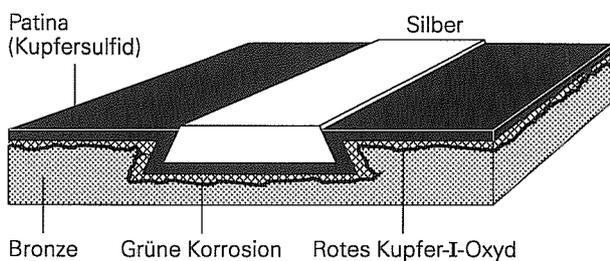
Ginge man auch bei der Vorderseite von einer natürlich entstandenen Patina aus, dann ist verwunderlich, daß das leicht mit Schwefel reagierende Silber teilweise noch metallisch ist, die Bronzoberfläche dagegen bis zu 1,0 mm tief sulfidiert wurde. An den Stellen, an denen die Gruben für den sicheren Halt der Silbereinlagen nicht ausreichend unterschritten waren und sich der Silberdraht herauslöste, ist die darunterliegende Bronze ebenfalls patiniert (Abb. 2). Da bei einer frühzeitigen Herauslösung eine natürliche Patinierung nicht ausgeschlossen werden kann, wurde an einer



2 Patinierte Bronze unter herausgelöstem Silberdraht.



3 Schleifspuren auf der Bronzefläche, durch die Silbereinlage unterbrochen.



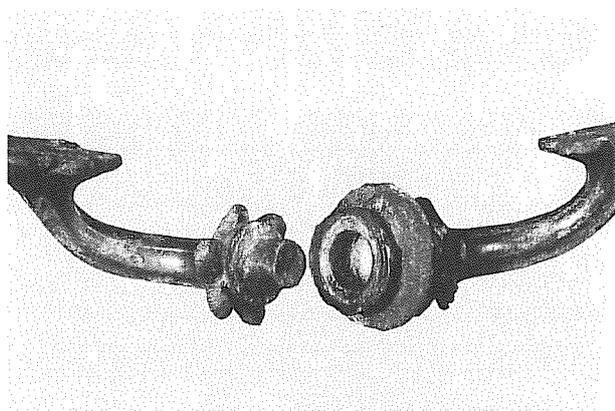
4 Intentionelle Patinierung mit Schwefel (links) und natürliche Korrosion durch Schwefel (rechts).

noch intakten Stelle ein 2 mm langes feststehendes Stück Silberdraht entnommen. Auch hier, an dieser dicht abgeschlossenen Stelle, zeigte sich Patina an der Bronze. An einer Bruchkante konnte beobachtet werden, daß die Patina in diesem Bereich ebenfalls bis zu 1,0 mm in die Bronze hineinreicht (Farbtafel 33,5). Die künstliche Patina wurde also nach dem Ausstechen der Gruben, aber noch vor der Einlage des Silberdrahtes erzeugt. Bei einer natürlich entstandenen Patina wäre anzunehmen, daß das Silber rascher als die Bronze sulfidiert; in den Gruben wäre die Sulfidschicht dünner als an der sonstigen Bronzefläche (Abb. 4).

Bei mikroskopischen Untersuchungen der Patina konnten Schleifspuren beobachtet werden, die beim Überarbeiten der Oberfläche – vermutlich mit Bimsstein – entstanden sind. An den Stellen, an denen sie den um ca. 0,1 mm erhöhten Silberdraht

im rechten Winkel getroffen hätten, sind sie jedoch auf dem Silber nicht sichtbar (Abb. 3). Daraus läßt sich schließen, daß auf ein weiteres Überschleifen bzw. Polieren nach Einlage des Silbers verzichtet worden ist, um die einheitlich glänzende Patina nicht zu gefährden. Die Patinierung wurde hier vermutlich angewendet, da die fein gearbeiteten Silbereinlagen auf unpatinierter Bronze weniger gut zur Geltung kommen als vor einem schwarzen Hintergrund (oben, Beitrag Faust Abb. 26a und Farbtafel 35,2)<sup>9</sup>. Dies zeigt eine aufwendig gearbeitete Kline im Museum Chieti, die aus einem Grab stammt. Das in Silber eingelegte Mäanderband des Klinenseitenbeschlages hebt sich deutlich vom dunklen Hintergrund ab<sup>10</sup>.

Auch die feinen Kupferinlegearbeiten an der zu dieser Kline gehörenden Pferdeprotome sprechen für eine beabsichtigte Kontrastierung zwischen



5 Rosettenhenkel, Petrovsky Kat.Nr. 1.

Kupfer und Bronze<sup>11</sup>. Die Beine der Kline 1 sowie die der anderen Klinen zeigen eine Patina, auf der ebenfalls noch die Arbeitsspuren der Kaltarbeit (Drehrillen vom Überarbeiten der Gußteile auf der Drehbank) ohne jegliche Abnutzungsspuren zu erkennen sind<sup>12</sup>. Praktische Versuche zeigten, daß die Patina wesentlich härter ist als eine unpatinierte Bronzeoberfläche.

Drehrillen läßt auch der Altar deutlich erkennen, auf dem der patinierte Schauspieler F 225 sitzt (Farbtafel 23). Eine dem Mahdiaschauspieler typologisch nahestehende Statuette aus dem 1. Jh. v. Chr. im J. Paul Getty Museum in Malibu weist ebenfalls die schwarzglänzende Sulfidpatina auf<sup>13</sup>.

Der patinierte Gefäßhenkel (MB 1; Beitrag Petrovsky Kat.Nr. 1) setzt sich aus drei Teilen zusammen (Mittelteil abgedreht), die mit einem Weichlot verbunden waren. Bei der Demontage während der Restaurierung zeigte sich auch unter den antiken Weichlotstellen die schwarze Patinierung, was für eine künstliche Herstellung spricht, da dieser Bereich der Meereskorrosion nicht zugänglich war (Abb. 5).

Eine entsprechende Patina zeigen die abgedrehten Bronzeobjekte (MB 12 und 19, Farbtafel 35,1 und Abb. 6)<sup>14</sup> sowie die Kandelaberbasis (Beitrag Baratte Nr. 5 Farbtafel 35,2). Bei letzterer sprechen zudem die auf der Plinthe noch teilweise erhaltenen Silber- und Kupfereinlagen für eine künstliche Patinierung, da bei einer natürlich bedingten

Schwefelkorrosion diese vollständig korrodiert wären.

Beim Schleiertänzer F 215 (Farbtafel 35,3) besteht das linke Auge aus sulfidierter Bronze. Es muß bereits vor dem Einsetzen patiniert worden sein, da bei einer Patinierung mit Schwefel eine genaue Begrenzung der zu färbenden Stelle nicht möglich gewesen wäre. Gleichzeitig wird deutlich, daß es sich hier nicht um eine natürlich entstandene Patinierung handeln kann<sup>15</sup>.

Ferner sind Patinierungen an der weiblichen Grotteske F 213 (Farbtafel 16), der Nikeapplik F 249 (Farbtafel 31), dem springenden Panther F 228, der Greifenplatte F 260 (Farbtafel 36,2), den Silensmasken F 256 und 257 sowie an dem liegenden Hund F 266 (Farbtafel 36,1) zu beobachten. Der Eimer Nr. 3 (oben, Petrovsky Kat.Nr. 11–13) zeigt unterhalb der geschützten Attaschen ebenfalls eine Schwarzpatina.

Die Patinierungsspuren an der Statue des „Agon“ sind nicht mit denen der anderen Objekte zu vergleichen. Sie konnten nur vereinzelt beobachtet werden und sind wesentlich dünner als bei den genannten Beispielen. Tatsächlich sind eindeutige Patinaspuren an Großbronzen bisher kaum nachgewiesen. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß eine eventuell vorhandene Patina eher abplatzen konnte, da sich die Bronzen aufgrund ihrer Größe sowie dünnen Wandstärke auch wesentlich leichter verformen konnten.

Allen patinierten Bronzen gemeinsam ist die Art der Ausarbeitung, die unter anderem in Ziselierungen und Punzierungen, aber auch im Abdrehen einzelner Stücke auf der Drehbank besteht.

### *Die Verbindung von Schwefel und Metall in der antiken Überlieferung*

In den antiken Schriftquellen konnte bislang kein direkter Hinweis, z.B. in Form einer Rezeptur, für die Schwarzpatina gefunden werden. Obgleich auf griechischen Vasenbildern oder in der pompejanischen Wandmalerei verschiedene gebräuchliche Handwerkstechniken dargestellt sind, läßt sich kein konkreter Nachweis für die Patinierungstechnik finden<sup>16</sup>. Den Wandmalereien sowie antiken Text-

stellen sind jedoch indirekte Belege für eine Patinierung zu entnehmen<sup>17</sup>. Erhaltene Bronzegegenstände, als Beispiel seien hier ein Dolch aus Mykene angeführt<sup>18</sup> sowie die ägyptische Statuette des Pharaos Osorkon I. (ca. 980 v. Chr.)<sup>19</sup>, belegen eine optisch vergleichbare Schwarzpatina bereits in früherer Zeit.

Die Verwendung von Schwefel ist in zahlreichen antiken Schriftquellen überliefert. Seine Funktion bzw. sein Verwendungszweck scheint sehr vielfältig gewesen zu sein. Schwefel wurde hochgeschätzt, Homer schreibt ihm sogar göttliche Herkunft zu<sup>20</sup>. Da Schwefel eine desinfizierende Kraft besitzt, wurde er als Reinigungsmittel, vor allem im religiösen Bereich zur Säuberung der Opfergeräte, verwendet (Hom. Il. 16,228). Bei bronzenen Geräten wäre dabei ebenfalls eine Schwärzung (Sulfidierung) des Metalls erfolgt. Plinius (nat. 35,175) unterscheidet vier Schwefelarten, von denen drei in ölhaltigen Konzentrationen vorkommen, die bei der Pflege von Bronzen eine Rolle gespielt haben könnten<sup>21</sup>. Er führt auch eine in unserem Zusammenhang besonders interessante Beobachtung an (nat. 33,131): So seien in Ägypten auf Silbergefäßen die Darstellungen des Anubis nicht, wie üblicherweise, getrieben, sondern schwarz „gemalt“. Dieser Brauch, so Plinius weiter, sei auf Triumphalstatuen übertragen worden, und diese seien durch die damit einhergehende Tilgung des Glanzes noch in ihrem Wert gestiegen. Plinius beschreibt sogar die Zusammensetzung der für diese Arbeit erforderlichen Masse, die aus Silber, feinstem kyprischem Kupfer und natürlichem Schwefel bestanden haben soll und in einem geschlossenen Gefäß vor ihrer Anwendung erhitzt wurde. Zwar gibt Plinius hier eine „Rezeptur“ zur Herstellung von Niello an, doch bleibt in unserem Zusammenhang die Beschreibung der auf diese Weise behandelten Statuen wichtig sowie ihre durch den Verlust des Glanzes zunehmende Wertsteigerung, die gleichzeitig auch einen Hinweis auf die geschmacklichen Vorlieben der Zeit gibt.

Wird Schwefel direkt oder in Lösungen auf Silber, Kupfer oder Bronze aufgetragen, verläuft er beim Erhitzen und würde dabei auch Bereiche schwärzen, die nicht patiniert werden sollten. Daraus ist zu schließen, daß diese Vorgehensweise

nur bei einer ganzflächigen Patina angewendet werden konnte. Es sei denn, patinierte Teile wurden mit metallisch blanken mittels Weichlot oder mechanisch (Farbtafel 35,3) verbunden<sup>22</sup>.

Plinius erwähnt (nat. 35,43) die Herstellung eines schwarzen Farbpigments, das sich in den Färbereien an bronzenen Kesseln absetzte. Sicherlich ist damit nicht der außen durch Feuer hervorgerufene Ruß gemeint, vielmehr wird es sich um ein an der Innenseite der Kesselwand entstandenes Kupfersulfid gehandelt haben. So schreibt Plinius (nat. 35,175), daß eine spezielle Art des Schwefels, *glabella* genannt, zum Bleichen von Wollstoffen in den Färbereien/Walkereien verwendet wurde.

Er spricht ferner (nat. 35,192) von der Verwendung der sog. Eretria-Erde, eines Tons, die, auf Kupfer gerieben, eine violette Färbung hervorruft. Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, daß dieser Ton mit Schwefel vermischt war: Die Insel Euböa, auf der Eretria liegt, ist für ihre heißen Schwefelquellen bekannt. Das Vorhandensein von Schwefel könnte daher eine Verfärbung des Kupfers (Sulfidierung) hervorgerufen haben.

Interessant ist darüber hinaus eine von Plinius (nat. 33,111) beschriebene Sitte, nach der in Rom ein Standbild des Jupiter an Festtagen mit Zinnober (Quecksilbersulfid, HgS) bestrichen wurde. Bei der Verwendung des Zinnobers an Wandmalereien bedurfte es einer Versiegelung mit Wachs, da sich das rote Farbpigment bei Sonneneinstrahlung verfärbte und dunkel wurde. Ähnliche Reaktionen könnte man auch bei Statuen erwarten<sup>23</sup>.

### *Schwarzfirniskeramik und schwarzpatinierte Bronzen*

Beziehungen zwischen Toreutik und Töpferkunst bzw. Vasenmalerei lassen sich spätestens seit klassischer Zeit feststellen, haben jedoch wohl eine schon weitaus längere Tradition<sup>24</sup>. Nicht nur in den Gefäßformen, sondern auch im Dekor finden sich unmittelbare Parallelen. So verwundert es nicht, daß auf einem rotfigurigen Schalenbild des Euergides beide Handwerkszweige nebeneinander dargestellt sind<sup>25</sup>. In Anwesenheit der Göttin Athena bemalt ein Vasenmaler ein auf der Töpfer-

scheibe stehendes Gefäß, während neben ihm ein Metallhandwerker bei der Kaltarbeit mit kleinen Ziselierhämmern zu sehen ist. Dies zeugt nicht nur von einer direkten Nachbarschaft der Handwerksbetriebe in Athen, sondern kann auch als Hinweis auf die bei vielen Gefäßen zu beobachtende Beeinflussung in ihrer Form und Farbgebung hindeuten<sup>26</sup>.

Keramik mit einem metallisch schwarz glänzenden Überzug ist in Griechenland überaus häufig anzutreffen. Sie könnte ein Beweis dafür sein, daß von Töpfern Metallvorbilder nicht nur in ihrer Form, sondern auch in ihrer Farbgebung möglichst getreu nachgeahmt wurden, daß also durchaus schwarze, d.h. patinierte, Metallgefäße existiert haben. Im Gegensatz zu Keramikgefäßen wurden Bronzegefäße vielfach eingeschmolzen; bei den erhaltenen Gefäßen ist eine Patina möglicherweise häufig durch Korrosion oder/und Deformation vollständig zerstört worden.

Die im 7. bis 5. Jh. v.Chr. hergestellte etruskische Buccherokeramik ähnelt mit ihrer schwarzen, metallisch schimmernden Oberfläche den Gefäßen aus Bronze<sup>27</sup>. Die Buccherokeramik erhält bei einem unter Luftabschluß bis zu zehn Tage dauernden Brand bei ca. 600 °C ihre schwarz glänzende Oberfläche, die der bei den Mahdiabronzen beobachteten optisch zu gleichen scheint. Ebenso heben sich die durch die Arbeit auf der Töpferscheibe angebrachten Drehrillen und die vor dem Brand aufgebrachten Oberflächenverzierungen wie bei den Metallobjekten deutlich ab. Feine Weiß- und Rotbemalungen lassen sich mit Silber- und Kupfereinlagen an den Bronzen vergleichen. Bei beiden, Ton- wie Bronzegefäßen, ermöglicht erst der schwarze Grundton ein optisches Hervortreten der Bemalung bzw. der Tauschierung.

Vergleichbares zeigt auch die zwischen 350 und 250 v.Chr. hergestellte sog. Gnathia-Keramik. Diese schwarzgefirnißte Keramik ahmt in ihren Gefäßtypen metallische Vorbilder nach und wird sich wohl auch in ihrem Dekor an diese angelehnt haben. So folgt eine um 300 v.Chr. zu datierende Situla bis ins Detail einem unteritalischen Bronzeemertypus mit Henkelattaschen. In unserem Zu-

sammenhang ist wichtig, daß die Silensattasche des Tongefäßes durch ihre helle Farbe vom ansonsten schwarzen Grund deutlich abgesetzt ist, genauso wie eine weiße Bemalung weitere Polychromie erzeugt<sup>28</sup>.

### *Patinierte Bronzegefäße in der pompejanischen Wandmalerei*

Eine Anzahl pompejanischer Wandmalereien zeigt Metallgefäße innerhalb größerer Bildkompositionen. In den meisten Fällen sind sie als Schaugefäße in sakraler Funktion, als Motivgaben oder Weihegefäße zu verstehen<sup>29</sup>. Innerhalb einzelner Szenen werden unterschiedliche Materialien (Stoff, Holz, Glas, Ton, Metalle etc.) in ihrer natürlichen Stofflichkeit präzise dargestellt. Bei den Metallobjekten sind die jeweiligen Metalle (Bronze, Silber, Gold) durch ihre Farblichkeit, Glanz und aufwendige Verzierung charakterisiert. Einzelne Gefäße, die eindeutig als metallen zu identifizieren sind, heben sich durch ihre schwarze Färbung von den übrigen Bronze- bzw. Silbergefäßen ab. Möglicherweise könnte es sich hierbei um die Darstellung schwarz patinierter Gefäße handeln. Auf einem Wandbild des 2. Stils im Atrium der Villa von Oplontis sind innerhalb einer Scheinarchitektur zwei Bronzekandelaber rechts und links von einem großen Portal dargestellt<sup>30</sup>. Während der rechte Kandelaber bronzefarben gezeigt wird, ist der linke schwarz wiedergegeben. Dadurch werden einige Details in heller Farbe, vermutlich die Imitation von Goldeinlagen, deutlich hervorgehoben.

### *Praktische Versuche zur Herstellung einer künstlichen Patina mit Schwefel*

Eine Versuchsreihe, bei der reiner, pulvriger Schwefel auf ein auf ca. 150 °C erhitztes, 4 mm starkes Bronzeblech aufgetragen wurde, zeigte, daß die dazu zunächst verwendete technische Bronze mit einem Zinnanteil von 10% (Typ: Gb Cu Sn 10) nicht besonders geeignet war. Zwar entsprach der Zinnanteil dem der Mahdiabronzen, doch verhinderten geringe Zusätze von Aluminium, Nickel sowie Zink, die bei modernen techni-

schen Bronzen vorhanden sind, eine zufriedenstellende Sulfidierung (Patinierung) des legierten Kupfers. Aus diesem Grund wurden eigens für diese Versuchsreihe Bronzen in einer den Mahdiabronzen identischen Zusammensetzung nachgegossen. Bei gleichen Versuchsbedingungen konnte nun an diesen Objekten eine den Mahdiabronzen entsprechende Schichtdicke der Patina erzeugt werden. Dabei wurde festgestellt, daß zuvor aufgebrachte Oberflächenverzerrungen, z.B. Gravurlinien und Punzierungen, ihre Konturschärfe nicht verloren, sondern im Gegenteil, wie es auch an den Mahdiabronzen zu beobachten ist, durch den matten Glanz optisch stärker hervortraten. Die mattschwarze Oberfläche der Bronze absorbiert einfallendes Licht und verhindert somit starke Reflexe, so daß die Oberflächendetails betont werden (Farbtafel 36,1. 2).

Je sorgfältiger die Bronze vorbehandelt wurde – dazu gehörte das Entfernen von Kupferoxiden auf der Oberfläche durch feines Überschleifen mit Bimsstein –, desto edler erschien die anschließend patinierte Oberfläche. Dabei wird auf die so vorbehandelte Bronze zunächst ein wenig Schwefel aufgebracht. Über glühender Holzkohle kann sie dann langsam erhitzt werden, bis der Schwefel bei etwa 120 °C zunächst wässrig wird und auf der Oberfläche verläuft. Kurz darauf, bei einer weiteren Temperatursteigerung der Bronze bis auf etwa 160 °C, verwandelt sich der Schwefel in eine rotbraune, honigartige Masse. In diesem Moment beginnt die Reaktion des in der Legierung gebundenen Kupfers mit dem Schwefel. Es bildet sich Kupfersulfid. Dabei verhindert der Zinnanteil in der Legierung ein Abplatzen der Sulfidschichten.

Mit dem Pinsel erneut aufgetragener Schwefel beginnt auf der Bronzoberfläche schwarz zu glänzen. Während dieser Reaktion ist darauf zu achten, daß die Temperatur der Bronze nicht über 400 °C ansteigt, um ein Entzünden des Schwefels zu verhindern. Bei mehrfachen, sorgsam wiederholungen dieses Vorgangs können Schichtdicken bis zu ca. 1,5 mm erreicht werden, die somit denen der Mahdiabronzen entsprechen.

Auf diese Weise konnten selbst größere Objekte patiniert werden, Großbronzen jedoch erst nach



6 *Klinenfuß, Element 1.*

der Montage aller separat gegossenen Teile, da die für eine Hartlötung benötigten Temperaturen die Sulfidpatina abgelöst hätten. Auch eine gleichmäßige Patinierung von Statuen – als Beispiele seien die Riacebronzen und der Jüngling von Salamis genannt<sup>31</sup> – ist mit dieser Methode durchaus möglich. Der dafür erforderliche Aufwand – Erhitzen der Bronze in einem provisorischen Ofen oder die Benutzung eines Töpferofens – ist wesentlich geringer als bei der übrigen Fertigung.

Der dreiteilige Gefäßgriff MB 1 (Abb. 5) zeigt auch unter der Weichlotstelle die gleiche Patina wie auf der übrigen Oberfläche, was auf eine Patinierung vor der Montage hinweist. An der beabsichtigten Lotstelle wurde die Bronze zuvor leicht angeschliffen, um eine bessere Verbindung von Lot und Bronze zu erreichen.

Querschnittanalysen der von uns erzeugten Patina und der der Mahdiabronzen von Kline 3 waren nicht nur in der Schichtdicke identisch, sondern zeigten auch in der chemischen Analyse die gleichen Ergebnisse. In beiden Fällen konnte als Hauptbestandteil ausschließlich Kupfersulfid nachgewiesen werden<sup>32</sup>. Sicherlich können Patinierung

gen von antiken Bronzen bei der Pflege oder beim Gebrauch mit schwefelhaltigen Lösungen entstanden sein. Die bei der Polychromie in Bronze tauschierten Gold-, Silber- oder Kupfereinlagen belegen jedoch einen absichtlich mit Schwefel schwarz patinierten Hintergrund der Bronze.

Dabei können zwei Techniken unterschieden werden. Beim sog. Niello wird ein separat hergestelltes Kupferblei- oder Silberbleisulfid auf ein Bronze- oder Silberobjekt aufgetragen. Dabei wird das Grundmetall zuvor aufgeraut, das Niello anschließend aufgebracht und geschmolzen<sup>33</sup>. In dieser Technik ist es nur schwer möglich, großflächige, vollplastische Formen zu schwärzen, die Färbung bleibt in der Regel auf gewünschte, kleinere Flächen

beschränkt, ein Übergreifen auf benachbarte Bereiche ist ausgeschlossen. Die Patinierung mit Schwefel kann hingegen nur bei Bronzeobjekten angewendet werden, bei denen die gesamte Oberfläche schwarz gefärbt werden soll. Ein Beschränken auf bestimmte Formbereiche wie beim Niello ist nicht möglich. Wollte man Tauschierungen in Silber vornehmen, so mußte die Patinierung aus den oben genannten Gründen vor der Tauschierung erfolgen (oben, Beitrag Faust Abb. 26a). Praktische Versuche konnten dies belegen (Farbtafel 36,3–5).

Die Beobachtungen an den oben aufgeführten Bronzeobjekten schließen eine natürliche Entstehung der schwarzen Sulfidschichten aus und deuten vielmehr auf eine intentionelle Patinierung hin.

### Anmerkungen

<sup>1</sup> Es handelt sich um eine schwarze, harte und bis zu 2 mm starke Schicht, die leicht metallisch glänzt.

<sup>2</sup> Zu den Antikythera-Bronzen (s. oben Beitrag N. Himmelmann) liegen keine chemischen Analysen von Patinaschichten vor.

<sup>3</sup> E. Formigli in: H. Born (Hrsg.), Archäologische Bronzen, antike Kunst – moderne Technik, Ausst.Kat. Berlin (1985) 168ff.

<sup>4</sup> Leider konnten bei den frühen Bergungen der Objekte noch keine genauen Situationspläne angefertigt werden, so daß dadurch wichtige Informationen verloren gingen, die zur Klärung der Frage nach der Entstehung der Patina hätten beitragen können.

<sup>5</sup> Zur Rekonstruktion des Schiffes siehe Beitrag O. Höckmann.

<sup>6</sup> Formigli a.O. 170f. Abb. 5.

<sup>7</sup> s. dazu ausführlicher in der Beschreibung zu Klinenbeschlag Nr. 4 Kline 1.

<sup>8</sup> s. Analyse und Meßverfahren G. Egert.

<sup>9</sup> Vgl. auch entsprechende Darstellungen von Metalleinlegearbeiten auf Wandmalereien. P. H. v. Blanckenhagen – Chr. Alexander, The Augustan Villa at Boscotrecase (1990) z.B. Taf. 28,2.

<sup>10</sup> L. Pirzio Biroli Stefanelli, Il bronzo dei Romani (1990) 172f. Abb. 138f.; 263 Nr. 31.

<sup>11</sup> s. dazu den Beitrag von B. Cüppers.

<sup>12</sup> s. dazu den Beitrag von U. Sobotta-Braun.

<sup>13</sup> D. A. Scott – J. Podany in: Small Bronze Sculpture from the Ancient World (1990) 41ff. Abb. 8 a. Eigene Beobachtungen am Original bestätigten die von Scott und Podany beschriebene Oberflächenbeschaffenheit.

<sup>14</sup> Bei dem bislang nicht identifizierten Bronzeobjekt MB 19 handelt es sich wohl um einen Gefäßfuß. Identisch gestaltete Füße zeigt ein Gefäß aus dem Museo Borbonico. Pirzio Biroli Stefanelli a.O. 108 Abb. 56.

<sup>15</sup> Daß die exakte Beschränkung der Patina auf das Auge nicht durch äußere

Einwirkung bei einer früheren Restaurierung entstanden sein kann, belegen mikroskopische Untersuchungen, bei denen keine derartigen Arbeitsspuren beobachtet werden konnten. Zum Schleiertänzer s. den Beitrag von S. Pfisterer-Haas.

<sup>16</sup> Sog. Erzgießereischale in Berlin; Eroten bei der Goldschmiedearbeit, Casa dei Vettii, Pompeji.

<sup>17</sup> Ein Besucher in Delphi rühmt im 2. Jh. n.Chr. die glänzende Bronze der Statuen, „... die weder fettigem Schmutz noch Rost ähnlich sehen... sondern in der Farbe von dunklem Stahl schimmerten.“ (Plut. mor. 395 B). Siehe dazu auch G. Zimmer in: Born a.O. (Anm. 3) 48f.; A. R. Giunilia-Mair – P. T. Craddock, Corinthium Aes, AW Sonderh. (1993) 19ff.

<sup>18</sup> Sp. Marinatos, Kreta, Thera und das mykenische Hellas (1973) 172 Nr. 194. Vgl. auch Craddock a.O. 47ff.

<sup>19</sup> R. S. Bianchi in: Small Bronze Sculpture from the Ancient World (1990) 61ff.

<sup>20</sup> Hom. Il. 8,135; Od. 12,417. s. dazu ausführlich RE IIA (1921) 796ff. s.v. Schwefel (H. Blümner).

<sup>21</sup> s. dazu technische Anwendung G. Zimmer. Auf einem Papyrus des 3. Jhs. n.Chr. wird in einer Kostenabrechnung die Tätigkeit eines Bronzehandwerkers erwähnt, der die Statuen im Jupiter-Capitolinus-Tempel in Arsinoe gepflegt hat.

<sup>22</sup> s. dazu die Beiträge von U. Sobotta-Braun sowie S. Faust.

<sup>23</sup> Plin. nat. 30,122f.

<sup>24</sup> Dazu zuletzt G. Hübner, JdI 108, 1993, 331f.

<sup>25</sup> Athen N.M. Akr. 166; ARV 92, 64; J. Boardman, Rotfigurige Vasen aus Athen (1981) 87 Abb. 101.

<sup>26</sup> Auf einer wiederum von Euergides gefertigten Schale sind die Figuren z.T. in Relief ausgeführt. Auch hier ist sicherlich eine Anlehnung an Relieftreiarbeiten zu sehen. Boardman a.O. 68. 87 Taf. 100.

<sup>27</sup> Einzelne etruskische Vasentypen (Kyathoi, Kantharoi etc.) wurden im 6. Jh. v.Chr. in Athener Werkstätten übernommen. Ferner lassen sich in griechischen Heiligtümern wie z.B. Samos und Perachora Gefäße aus etruskischer Produktion nachweisen. Die Welt der Etrusker. Ausst.Kat. Berlin (1988) 81ff.

<sup>28</sup> W. Hornbostel, Aus Gräbern und Heiligtümern (1980) 205f. 210ff. Nr. 121; Abb. S. 212.

<sup>29</sup> A. E. Riz, Bronzegefäße in der römisch-pompejanischen Wandmalerei (1990) 23ff.

<sup>30</sup> A. de Franciscis in: B. Andreae – H. Kyrieleis (Hrsg.), Neue Forschungen in Pompeji (1975) Abb. 4.

<sup>31</sup> W.-D. Heilmeyer in: Born a.O. (Anm. 3) 132ff.

<sup>32</sup> s. dazu den Beitrag von G. Eggert zur Bronze­patina.

<sup>33</sup> S. La Niece, AntJ 63, 1983, 279ff.

Abbildungsnachweis  
1–6 Rhein. Landesmus. Bonn, F. Willer.

### *Résumé*

On attend d'une patine naturelle survenue au fond de la mer une extension irrégulière. Au contraire de cela on trouve sur quelques bronzes isolés de l'épave une patine qui a été

appliquée de manière étonnamment précise. Dans l'antiquité, l'association intentionnelle de soufre et de métal était vraisemblablement connue comme le montrent les pièces décou-

vertes. Même si on manque de témoignages littéraires à ce sujet. Des expériences de l'auteur confirment l'application assez simple d'une patine noire artificielle.

Gerwulf Schneider

# Polarisationsmikroskopische Untersuchung einiger Gußkernproben

Aus den gegossenen Bronzeobjekten des Schiffsfundes von Mahdia konnten fünf kleine, als Gußkernreste angesprochene Proben entnommen und untersucht werden. Nach den bisherigen Erfahrungen mit solchen Materialien hatten sich polarisationsmikroskopische Untersuchungen von Dünnschliffen als am aussagekräftigsten erwiesen. Die zum Teil sehr kleinen Proben wurden daher für die Herstellung von Dünnschliffen verbraucht und keine darüberhinausgehenden Analysen durchgeführt.

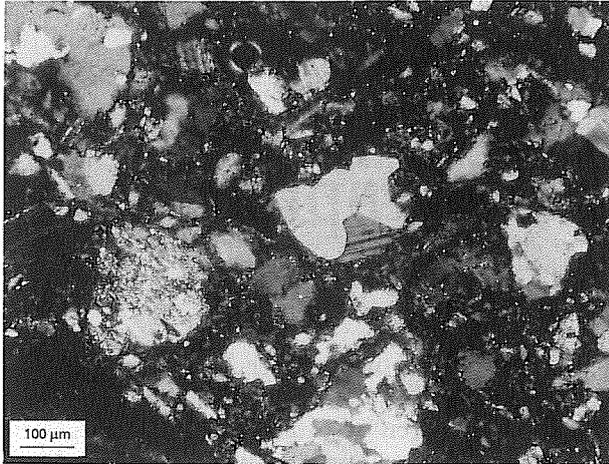
## „Agon“

Die als kompaktes Bröckchen entnommene, etwas über einen Zentimeter große Probe aus dem Standbein des „Agon“, von der Wandung unmittelbar oberhalb der Bleieinfüllung, zeigt das typische mikroskopische Bild eines mageren Lehms aus einer feinkörnigen Tonmatrix und groben nichtplastischen Bestandteilen, die die Magerung bilden (Farbtafel 37, 1). Die Probe stammt zweifellos vom originalen Gußkern und nicht aus Meeresablagerungen. Die bei Gußkernen antiker Großbronzen meist üblichen, porositätserhöhenden Zusätze von faserigem organischem Material, Häcksel, Haare und dergleichen, sind in der Probe nicht enthalten.

Der für den Gußkern verwendete Lehm enthält Mineral- und Gesteinsfragmente, die überwiegend aus Quarz und Feldspat (serizitisierter Plagioklas, Kalifeldspat, Mikroklin) bestehen. Daneben finden sich grüne Hornblende, etwas Biotit und Muskowit, einzelne Kalkbröckchen (Mikrit) sowie einzelne Körner von Epidot, Pyroxen und Titanit. Farbtafel xx, 1 zeigt eines der typischen, aus

Quarz, Feldspat und grüner Hornblende bestehenden Gesteinsfragmente. Solche Fragmente können aus sauren bis intermediären Silikatgesteinen stammen, etwa aus Graniten bis Granodioriten oder aus Gneisen. Für ein metamorphes Gestein wie Gneis spricht der in Farbtafel 37, 2 wiedergegebene Einschuß.

Die Mineral- und Gesteinsfragmente können gewisse Hinweise auf die Herkunft des verwendeten Lehms und damit auf den Herstellungsort der Statue geben. Die weite Verbreitung entsprechender Gesteine und die Möglichkeit, solche Fragmente auch in klastischen Sedimenten zu finden, macht eine sichere Zuordnung unmöglich. Da Athen als Ort für die Herkunft der Objekte diskutiert wurde, soll darauf etwas eingegangen werden. Gesteinsfragmente wie in der untersuchten Probe könnten in Lehmen aus dieser Region enthalten sein, zum Beispiel in solchen, die von den in der geologischen Karte verzeichneten Flyschsedimenten stammen. Daneben wären jedoch auch Fragmente niedrigmetamorpher Gesteine zu erwarten. Fast ausschließlich solche Fragmente von Phyllit und Glimmerschiefer und von Quarz der mikrokristallinen Varietät (Hornstein) finden sich in Material, das aus Bronzegießereien aus dem Athener Kerameikos zum Vergleich zur Verfügung stand. Die von diesem Fundort untersuchten Gußformen und Tiegel waren aus einem von der Agonprobe sehr verschiedenen Lehm mit einem sehr großen Anteil an feinem Glimmer und nur sehr wenig Feldspat hergestellt. Gesteinsfragmente wie in der Agonprobe waren in den untersuchten Proben aus dem Kerameikos nicht enthalten. Auch der bei den Gußformen aus dem Kerameikos enthaltene Kalk-

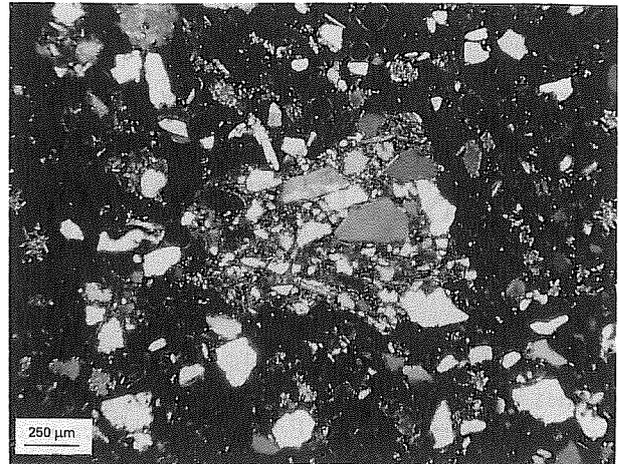


1 Das sehr feine Material des Gußkernrestes aus der springenden Pantherin enthält einen sehr hohen Magerungsanteil aus Quarz und Feldspat (z. B. eine Verwachsung von Quarz und Plagioklas im Zentrum der Abbildung). Daneben sind Biotit und, im Foto kaum erkennbar, wenig Hornblende und Muskowit vorhanden (gekreuzte Polfilter, stärkere Vergrößerung!).

anteil unterscheidet sich unter dem Mikroskop deutlich von den wenigen Mikrocalciteinschlüssen in der Agonprobe.

### *Springende Pantherin*

Aus dem rundplastischen Geräteteil in Form einer springenden Pantherin (F 231) stand ein kleines Bröckchen von etwa 5 mm Kantenlänge für einen Dünnschliff zur Verfügung. Bei der Probe handelt es sich sicher um einen Rest des originalen Gußkerns, der hier aus einem sehr mageren Lehm mit einem nur geringen Tonanteil besteht (Abb. 1). Die Mineralvergesellschaftung besteht aus Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat, Biotit und wenig Muskowit, Hornblende, Pyroxen sowie je einem Korn von Epidot und Granat. Diese Zusammensetzung gibt bei fehlenden Gesteinsfragmenten nur wenig Auskunft über die geologische Herkunft des Materials, ist allerdings wie bei der Probe aus dem „Agon“ sehr verschieden von keramischem Material aus dem Athener Kerameikos. Die Zusammensetzun-

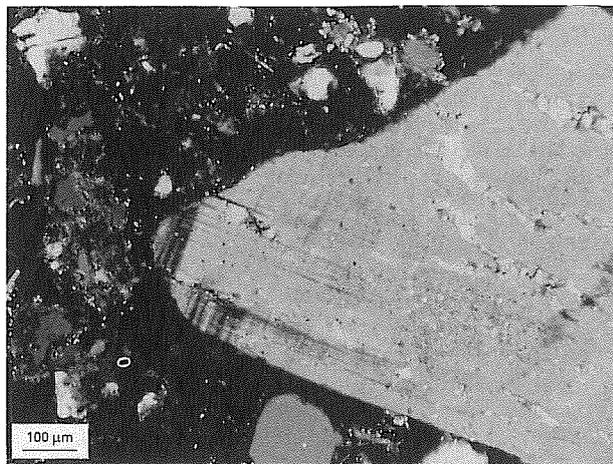


2 Kleines Bröckchen vom originalen Gußkern in der Pulverprobe aus dem tanzenden Zwerg (F 215). Es besteht aus feinem, sehr magerem Lehm mit vorwiegend kantigen Quarzfragmenten (gekreuzte Polfilter).

gen der beiden Gußkerne würden nicht gegen eine gemeinsame Herkunft von „Agon“ und Pantherin sprechen. Die größere Feinheit des verwendeten Lehms bei der springenden Pantherin läßt sich aus den kleineren Abmessungen der Statuette erklären.

### *Tanzender Zwerg*

Aus der Statuette eines tanzenden Zwerges (F 215) konnte nur eine pulverige Probe untersucht werden, wobei unter dem Mikroskop nur winzige kompakte Bröckchen die Struktur des originalen Gußkerns zeigen (Abb. 2). Diese Gußkernreste bestehen ähnlich der obigen Probe aus einem feinen, sehr mageren Lehm. Die Mineralzusammensetzung gleicht den beiden oben besprochenen Gußkernen. Allerdings überwiegen Hellglimmer gegenüber Biotit, und nur wenig Plagioklas ist enthalten. Dies, ebenso wie das Fragment eines Feldspates mit Mikroklingsitterung (Abb. 3), weist auch bei dieser Probe auf saure Silikatgesteine für die Herkunft der Ein-



3 Einzelnes Feldspatfragment mit typischer Mikroklingitterung in der Probe vom tanzenden Zwerg (gekreuzte Polfilter, stärkere Vergrößerung!)

schlüsse und ist damit für eine Eingrenzung des Herstellungsortes nicht sehr aussagekräftig. Die Herkunft der Statuette läßt sich wie oben auf Regionen begrenzen, in denen sandige und lehmige Sedimente detritische Reste saurer magmatischer oder metamorpher Gesteine, jedoch zum Beispiel keine Fragmente von metamorphen Schieferen, charakteristischen Sedimentgesteinen wie Sandsteinen, fossilführenden Kalken, Hornstein oder von vulkanischen Gesteinen enthalten.

### *Herme und Löwengreifappliken (Meeresablagerungen)*

Wie schon zuvor vermutet, besteht das „kalkhaltige Füllmaterial“ aus dem Innern der Herme aus eingeschwemmten Meeresablagerungen ohne identifizierbare Reste des originalen Gußkerns. Das mit Bronzekorrosionsprodukten durchsetzte Material besteht neben feinem Quarzsand aus Kalkschlamm, wie er sich aus Überresten karbonatabscheidender Organismen vor allem in warmen Meereslagunen bilden kann. In Farbtafel 37,3 sind

außer Sandkörnern die Schalen von Foraminiferen und Reste von Kalkalgen zu erkennen. Ein ähnliches Material mit erkennbaren Strukturen der Kalkschalen von Mikroorganismen fand sich auch in der schlecht erhaltenen, rückwärtig offenen Löwengreifapplike F 235 (Farbtafel 37,4).

### *Schlußfolgerungen*

Die untersuchten Proben aus den gegossenen Bronzeobjekten geben nur sehr begrenzte Hinweise auf Herstellungstechnik und mögliche Herkunft der Objekte. Aus dem „Agon“ stand eine kleine repräsentative Probe des originalen Gußkerns für die Untersuchung unter dem Polarisationsmikroskop zur Verfügung. Sie ließ keine Zumischung von faserigem organischem Material erkennen wie sie bei antiken bis renaissancezeitlichen Großbronzen fast immer typisch ist. Das Material der Gußkerne der kleineren Bronzen, springende Pantherin und tanzender Zwerg, besteht erwartungsgemäß aus feinem, sehr magerem Lehm ohne weitere Zusätze. Die untersuchte Probe aus der Herme, wie auch aus der Löwengreifapplik, enthielt lediglich Meeresablagerungen und erlaubt keine Aussagen zum originalen Gußkern.

Zur Frage der Herkunft der Objekte sind die enthaltenen Mineral- und Gesteinsfragmente nur wenig typisch und entsprechen bei „Agon“, Pantherin und tanzender Zwerg einer sauren magmatischen oder metamorphen geologischen Umgebung. Typisch sedimentäres oder vulkanisches Material ist in allen Proben nicht enthalten. Damit lassen sich bei zukünftigen gezielten Fragen wahrscheinlich einige geologische Regionen ausschließen. Da aus antiken Bronzegießereien vom Kerameikos in Athen Material zur Verfügung stand, läßt sich dieses zum Vergleich mit den Gußkernen heranziehen. Soweit man die Gußformen und Gußtiegel als repräsentativ ansehen darf, kann man aus den sehr deutlichen Unterschieden zu den Gußkernen eher gegen eine Herstellung der Objekte in dieser Athener Werkstattregion schließen.

*Literatur*

E. Formigli – G. Schneider, Antiche terre di fusione – Indagini archeometriche sulle terre di fusione di bronzi greci, romani e rinascimentali. In: E. Formigli (Hrsg.), Antiche officine del bronzo – materiali, strumenti, tecniche, Atti del seminario di studi ed esperimenti, Murlo 26–31 luglio 1991 (1993) 69–102.

G. Hellenkemper Salies, Bjb 192, 1992, 507–536.

G. Schneider – E. Formigli, Untersuchungen von Gußkernen griechischer und römischer Großbronzen. In: Akten des XIII. Internationalen Kongresses für Klassische Archäologie Berlin 1988 (1990) 618–619.

Abbildungsnachweis  
1–3 G. Schneider.

*Résumé*

On a examiné des échantillons de 5 objets en bronze coulés, trouvés sur l'épave, qui devraient donner des conclusions

sur le noyau en argile. Trois des échantillons contenaient effectivement du matériel de noyau en argile. Leur composition

minérale nous permet de supposer une origine commune.

# Das Wrack

Der antike Schiffsfund  
von Mahdia

*herausgegeben von*

Gisela Hellenkemper Salies

*mit*

Hans-Hoyer von Prittwitz und Gaffron

*und*

Gerhard Bauchhenß

Band 2



1994

Rheinland-Verlag GmbH · Köln