

WAS KANN DER ARCHÄOLOGE VON DER METALLKUNDE ERWARTEN?

Beispiele aus Baden-Württemberg

CHRISTOPH J. RAUB

Mit 24 Textabbildungen und 1 Tabelle

Einleitung

Das Thema gleicht dem eines Aufsatzes, den H. v. PETRIKOVITS unter dem Titel „Was erwartet der Archäologe von der Metallkunde?“ (1957) veröffentlichte und in dem er eine enge Zusammenarbeit zwischen Archäologen und Metallkundlern forderte¹. So schrieb er u. a., daß die „Archäologen eine wissenschaftlich zuverlässige Stelle brauchen, die sie in Fragen der Metallkunde berät“ und in der „die Lagerstättenkunde, der Bergbau, die Hüttenkunde, die physikalische Chemie, die Sondergebiete der einzelnen Metallverarbeitungen sowie die Vor- und Frühgeschichte“ vertreten sind.

Inzwischen hat sich vieles in Richtung der Erfüllung dieses Wunsches getan, und vorliegende Arbeit möchte an einigen Beispielen aus keltischer, römischer und alamannischer Zeit aus Baden-Württemberg zeigen, welche Aussagen die metallkundliche Untersuchung archäologischer Proben bringen kann.

Methoden der chemisch-metallkundlichen Untersuchung

Die metallkundliche Untersuchung läßt sich in zerstörende und zerstörungsfreie Methoden gliedern, die jeweils chemischer oder physikalischer Art sein können. Bei ersterer wird eine winzige, häufig nur wenige Zehntel Gramm schwere oder nur einige Kubikmillimeter große Probe entnommen, die bei der Untersuchung zerstört wird. Bei letzterer bleibt der Gegenstand unverändert.

Allerdings ergibt sich häufig die Notwendigkeit, aus größeren Objekten kleinere Muster „zerstörend“ zu entnehmen und diese dann zerstörungsfrei zu untersuchen.

Den Metallkundler interessieren u. a. die Zusammensetzung, der kristallographische Aufbau, die Anordnung der einzelnen Kristallite des Metalls (Gefüge), die Reaktion verschiedener Metalle miteinander und der Einfluß einer Wärmebehandlung (Diffusion, Löten, Schweißen, Beschichten, Rekristallisation), aber auch die Wechselwirkung mit der Umgebung, z. B. beim Erwärmen an Luft (Oxidation) oder beim Lagern mit Bodenbestandteilen (Anlaufen, Korrosion). Aus den erhaltenen Werten ist es ihm häufig möglich, Aussagen über Herkunft und Herstellung archäologischer Objekte zu machen, wobei die Arbeitsweise – nicht nur bei Echtheitsprüfungen

¹ H. v. PETRIKOVITS, Stahl und Eisen 77, 1957, 129.

– derjenigen eines Kriminalisten vergleichbar ist. Für die Aussagekraft der Ergebnisse ist aber häufig entscheidend, daß Bergungs-, Reinigungs- und Konservierungsmethoden der Funde möglichst genau bekannt sind.

Weiter ist u. a. zu beachten, daß bei der Analyse nicht eine durch Korrosion veränderte Oberfläche, sondern der unveränderte Kern der Probe untersucht wird, da sonst z. B. die quantitative Zusammensetzung verfälscht erscheint. Streuungen der Analysenwerte können sich ferner aus ungleichmäßiger Zusammensetzung der Legierung ergeben (Seigerung). So ist z. B. bei hochbleihaltigen Kupfer-Zinn-Legierungen nur durch eine statistische Auswertung mehrerer Proben eine einigermaßen korrekte Angabe der mittleren Zusammensetzung möglich.

Das vielseitigste und gleichzeitig am wenigsten aufwendige moderne Verfahren zur qualitativen Analyse ist die optische Spektralanalyse, die aber mit etwas größerem Aufwand auch quantitative Bestimmungen, besonders kleiner Anteile, gestattet².

Auch die völlig zerstörungsfrei arbeitende Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) oder die energiedispersive Röntgenanalyse (EDX) liefern Übersichtsspektren oberflächennaher Bereiche, wobei Flächen von Bruchteilen von wenigen mm² Größe untersucht werden können. Eine quantitative Auswertung wird aber relativ kostenaufwendig. Hierfür wird heute im allgemeinen die Atomabsorptionsanalyse (AAS) eingesetzt.

Andere Methoden wie die Aktivierungsanalyse oder massenspektrometrische Methoden seien hier nur erwähnt. Diese liefern teilweise, wie z. B. die Isotopenanalyse, auch Hinweise zur Datierung³.

Durch metallographische Verfahren, einschließlich der Grob- und Feinstruktur-Röntgenmethoden, lassen sich Informationen über Aufbau und Herstellungsmethoden der vorhandenen Proben erhalten. Mit Hilfe von Röntgenfeinstrukturmessungen ist z. B. die Identifizierung der bei der „Weißmetallbeschichtung“ oder bei der Spiegelherstellung entstandenen intermetallischen Phasen – im Gegensatz zur reinen Verzinnung – bei Kupfer-Zinn-Legierungen möglich. Analog können auch Niellochichten oder Korrosionsprodukte untersucht werden⁴.

An einem metallographischen Querschliff lassen sich häufig verschiedene Herstellungsmethoden ablesen, besonders wenn dann noch am gleichen Schliff im Rastermikroskop Untersuchungen vorgenommen werden. Mit ihm lassen sich Aussagen über die Schichtdicken von Korrosionszonen und Beschichtungen (Niello, Feuervergoldung, Abfolge Niellierung – Feuervergoldung), die dem Schmelzen folgende Verarbeitung (Hämmern, Walzen, Ziehen, Lötten, Schweißen, Glühen, Metallschneiden) und aus der Art der Einschlüsse (Silikate, Oxide, Sulfide) Hinweise auf die Verhüttung bzw. Schmelztechnik erhalten.

Ein deutlicher Unterschied besteht im Gefüge zwischen einem gegossenen und einem verformten und mehrfach geglühten oder einem nur wenig geglühten Blech.

Nur durch Anfertigung von Querschliffen gelang es zu klären, daß die römischen Silber- und Bronzetafelgeschirre vorwiegend durch Hämmern und Drücken einer ursprünglich gegossenen flachen Platte erzeugt wurden und die auf den berühmten römischen Tafelsilberfunden (Mildenhall, Kaiseraugst) dargestellten Reliefszenen aus dem massiven weichgeglühten Material geschnitzt, gemeißelt, ziseliert und graviert, aber nicht gegossen wurden⁵. Ähnliches gilt für die

² A. HARTMANN/E. SANGMEISTER, *Angewandte Chemie* 84, 1972, 668.

³ S. J. FLEMING, *Authenticity in Art* (The Institute of Physics, London u. Bristol) (1975) 102 ff.

⁴ CH. J. RAUB, *Chemische und metallkundliche Untersuchungen an Metallfunden aus den Königsgräbern von Es Soumaa und Siga*. In: *Die Numider* (Ed. H.-G. HORN/C. B. RÜGER) (1980) 363 ff.

⁵ E. FOLTZ, *Arbeitsblätter für Restauratoren* 14 (2) 1981, 50. – E. FOLTZ/CH. J. RAUB, *Untersuchungen*

Bilderfriese der römischen Eimer vom Hemmoor-Typ. Aus der Beobachtung von Querschlif-
fen gelang auch der sichere Nachweis der weitverbreiteten Nacharbeit (Kaltarbeit) durch Mei-
ßeln des Metalls bei römischen Großstatuen bzw. der Verbindung einzelner „Bauteile“ durch
Überfangguß.

Ein schönes Beispiel für die Anwendung der Metallographie gibt die Untersuchung von Bruch-
stücken der Silberkette von Buch, bei der sowohl die Herstellung des Runddrahtes durch
Hämmern bzw. Querwalzen als auch der Übergang des Gefüges vom hartverformten Zustand
in das geschmolzene und erstarrte Gefüge der Schweißzone des einzelnen Ringes sichtbar
gemacht wurden⁶.

Hallstattzeit: Tiegel und Schrotlingsformen von Breisach-Hochstetten

Der Tiegel sieht äußerlich hell- und an den Bruchflächen dunkelgrau aus. Seine Wandstärke be-
trägt am Rand etwa 13 mm, am Boden 15 mm. Die gesamte Innenseite weist bis zum Rand eine
glasig-porige Schlackenschicht auf, die von runden bis elliptischen, grün patinierten Metallkü-
gelchen (1–2 mmØ) durchsetzt ist. Über dem Rand der Gießschnauze liegt ein etwa 80 mm²
großer, unregelmäßig geformter Bronzefladen (Gießzunge). Die Außenseite der Tiegelwan-
dung ist praktisch frei von Schlacke.

Eine Übersichtsaufnahme des Tiegels zeigt Abb. 1 a, das Positiv der Röntgenaufnahme Abb. 1 b
und die Aufnahme der maßstabgerechten Nachbildung Abb. 1 c.

Die Spektralanalyse eines Schlackenrestes ergab: Hauptbestandteil: Kupfer, Silizium*; Neben-
bestandteil: Eisen, Zinn, Calcium*, Blei; starke Spur: Natrium*, Aluminium*, Magnesium*,
Mangan*, Chrom; Spur: Silber, Titan*, Phosphor*, Nickel; geringe Spur: Antimon, Bor*
(* = Tiegel-, Schlacke- oder Bodenbestandteile). Die hohen Gehalte der Schlacke an Eisen, Cal-
cium und Silicium sprechen dafür, daß der keltische Gießer zum Schutz der Schmelze gegen
Oxidation eine nach Versuchen bei etwa 1100 °C schmelzende Eisenschlacke verwandt hat
(„Abdecken“ der Schmelze), zumal der Eisenanteil des Inneren der Tiegelwand wesentlich ge-
ringer ist. Die Verwendung von Eisenschlacken (mit oder ohne Kochsalzzugabe) in der Antike
zum Abdecken der Metallschmelzen wurde bereits seit längerem diskutiert. Den experimentel-
len Nachweis führte vor kurzem H. MOESTA⁷.

Die Gießzunge spricht dafür, daß der keltische Schmelzer sein Handwerk verstand. Auch heute
noch gilt dieser nach dem Guß in der Schnauze erstarrte Schmelzrest, z. B. beim Edelmetallguß,
als ein Zeichen richtiger Abstimmung zwischen Gießtemperatur und Gießgeschwindigkeit.

An einer aus der Schlacke isolierten Metallkugel wurden naßchemisch die Hauptbestandteile be-
stimmt: Kupfer 80 %, Blei 5 %, Zinn 3–4 %, Zink 0,02 %, d. h. im Tiegel wurde eine zinkarme
Kupfer-Zinn-Blei-Bronze, die sehr schwierig kalt weiter verarbeitbar ist und z. B. für gegossene
Statuetten oder Fibeln Verwendungen finden kann, hergestellt.

Aus der Rekonstruktion des Tiegels lassen sich Volumen und Gewicht der Schmelze zu etwa
30–40 ml und 250–350 g abschätzen.

Daß in der Schmelze Tropfen verblieben, ist mit der Verwendung von Schrott, aber auch von
Erzen oder einem Rühren der Schmelze unter der zähflüssigen Abdeckmasse erklärbar.

zur Herstellung der Silberobjekte. In: Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst (Red. H. A.
KÄHN/A. KAUFMANN-HEINIMANN) (1984) 361 ff.

⁶ CH. J. RAUB, Fundber. aus Bad.-Württ. 6, 1981, 529 ff.

⁷ H. MOESTA, Erze und Metalle. Ihre Kulturgeschichte im Experiment (1983) 20.

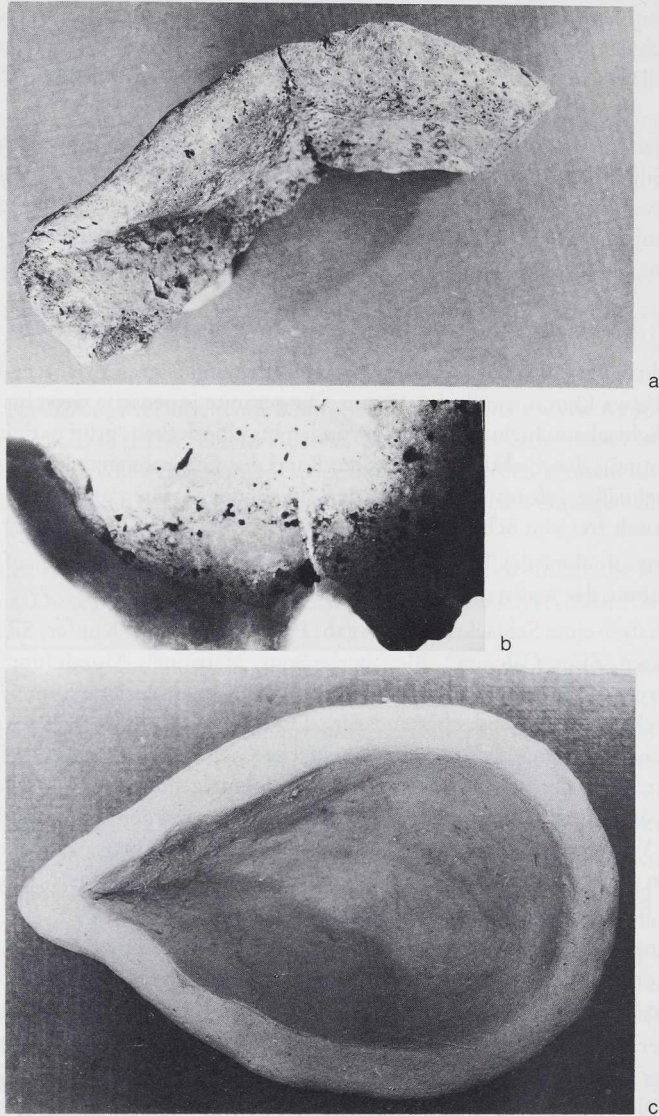


Abb. 1 Hallstattzeitlicher Tiegel aus Breisach-Hochstetten. a) Übersichtsaufnahme; b) Positiv der seitlichen Röntgenaufnahme mit Bronzeinschlüssen; c) Rekonstruktion des Tiegels. Verkleinerung 1:0,67.

Das oben erwähnte Bronzekügelchen wurde vor der chemischen Analyse noch metallographisch untersucht (Abb. 2).

Das dendritische Gefüge mit den dunklen Bleiausscheidungen und relativ wenigen Einschlüssen (Oxid?) entspricht dem eines in einer schlecht wärmeleitenden, langsam abkühlenden Schmelze erstarrenden Metalles. In für derartige Legierungen charakteristischer Weise wurde dabei das im festen Zustand nur wenig lösliche flüssige Blei am Rande der primär erstarrten Kupfer-Zinn-Bronze-Dendriten abgeschieden.



Abb.2 Schliff, ungeätzt, durch eine aus der Schlackenschicht des Tiegels isolierte Bronzekugel mit Kupfer-Zinn-Dendriten und Bleiausscheidungen. Vergrößerung 1:100.

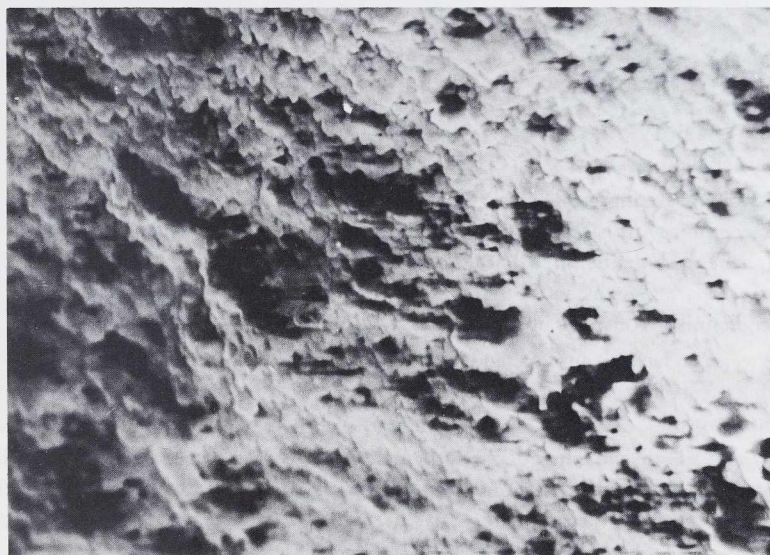


Abb.3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines gebrannten Knochenstückes im Tiegel von Breisach-Hochstetten. Vergrößerung 1:700.

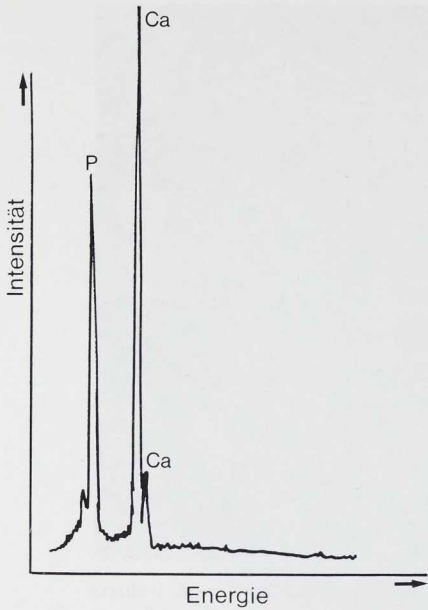


Abb. 4 Energiedispersives Röntgenspektrum (EDX) des Einschlusses von Abb. 3.

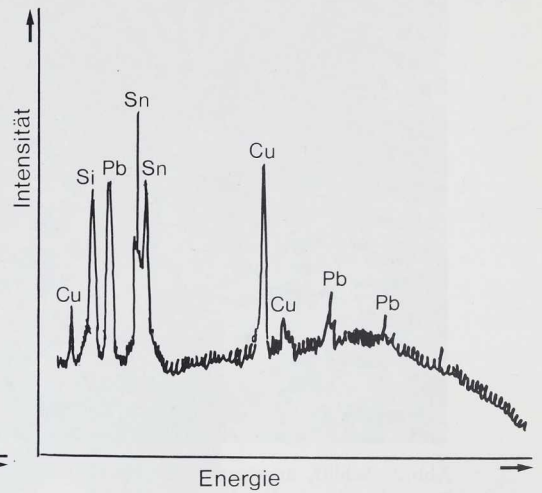


Abb. 5 Energiedispersives Röntgenspektrum der Bronzekerle von Abb. 2.

Aus der äußeren Tiegelwandung wurde ein helles Teilchen von etwa 10 mm^3 Größe zur Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop isoliert. Seine Oberflächenstruktur zeigt Abb. 3. Die energiedispersive Röntgenanalyse im Rasterelektronenmikroskop ergab praktisch reines Calciumphosphat – Knochenasche – und war somit der erste direkte Nachweis der Verwendung von Knochenasche bereits in keltischer Zeit zur Magerung und damit Verbesserung der Temperaturfestigkeit von Ton für Tiegel.

Die Spektren der energiedispersiven Röntgenanalyse (EDX) von Bronzeperle bzw. Tiegelrest zeigen Abb. 4 und Abb. 5.

Aus der Untersuchung des Tiegelbruchstückes können somit Aussagen über:

1. die Zusammensetzung von Tiegel, Schlacke und Metallschmelze,
2. die Verwendung von Eisenschlacke zum „Abdecken“ von Bronzeschmelzen,
3. die möglichen mit der Schmelze hergestellten Objekte (nur gegossene, nicht durch Schmieden verformbare Gegenstände) und
4. die Gießtechnik (Kontrolle über Gießzunge) erhalten werden.

Möglicherweise lassen sich aus vorhandenen Spurenelementen noch Hinweise auf die Herkunft der Ausgangsstoffe gewinnen (Lagerstätte des Erzes), doch muß dieses Verfahren noch weiter ausgearbeitet werden.

Interessant sind Vergleiche mit anderen untersuchten keltischen Tiegeln. An erster Stelle ist hier der hallstattzeitliche Tiegel von Schmidn zu erwähnen⁸. Tiegel, Schlacke und Schmelze sind in beiden Fällen praktisch identisch, doch hat der Schmidener Tiegel eine stärker ausgeprägte

⁸ U. ZWICKER, Fundber. aus Bad.-Württ. 4, 1979, 118.

Schnauze, bei gleicher Wandstärke, aber geringerem Fassungsvermögen. Ein Charakteristikum derartiger keltischer Tiegel – im Vergleich zu den bisher untersuchten aus römischer Zeit – scheint der halbrunde eigentliche Tiegel mit einer lang ausgeprägten spitzen Gießschnauze zu sein.

Interessante Objekte keltischer Schmelztechnik sind die Formen zur Erzeugung der verformbaren keltischen Münzen auf der Basis Silber- und Goldlegierungen, die sog. „Schrötlingsformen“. Diese finden sich in Bruchstücken in zahlreichen „Oppida“ (Münzstätten?) und bestehen aus gemagerten, niedrig gebrannten, wenig festen Tonplatten, die zahlreiche Näpfcchen besitzen und häufig an ihrer Oberfläche glasig-verkieselt sind⁹. In diesen Näpfcchen werden dann die genau eingewogenen Legierungsmetalle mit einer Stichflamme zu „Münzrohlingen“, die später zu Münzen geschlagen werden, erschmolzen.

Daß die Münzmeister von Breisach-Hochstetten für ihre Goldmünzen u. a. auch „Rheingold“ verwendeten, ergibt die vergrößerte Röntgenaufnahme des Bruchstückes einer solchen Form aus Breisach-Hochstetten (Abb. 6). Durch den Druck der von oben auf die im Näpfcchen befindlichen Metallteilchen gerichteten Stichflamme („Lötrohr“, „Gebläse“) wurde feinstes Goldstaub, bevor er zusammensinterte, aus dem Näpfcchen geblasen, vom Näpfcchenrand festgehalten und schmolz dort zu Kügelchen von weniger als 0,1 mm Ø zusammen. Das Volumen dieser Goldkügelchen entspricht etwa dem Volumen der Goldfitter des Rheingoldes.

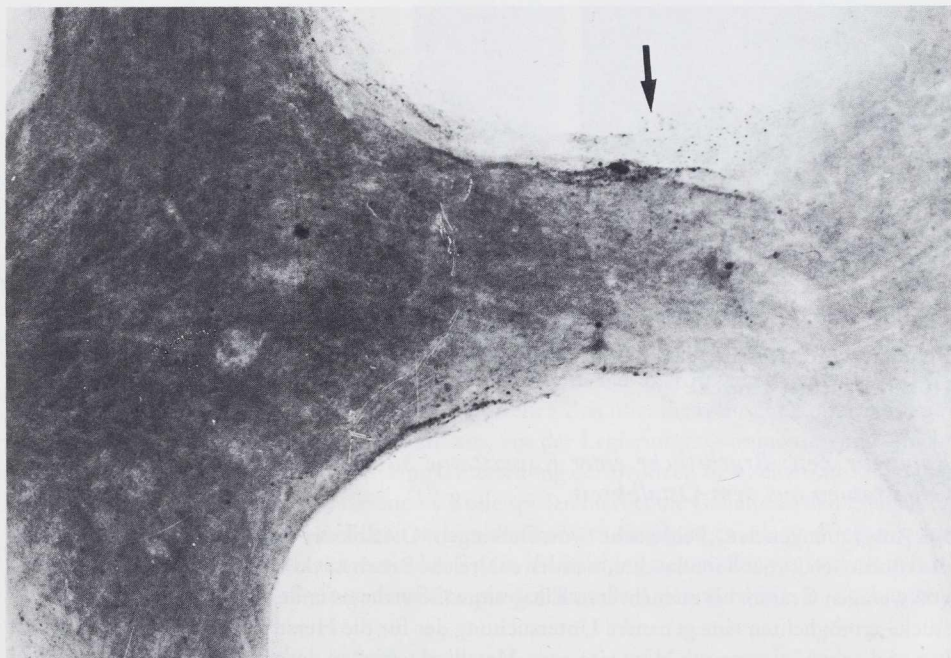


Abb. 6 Röntgenaufnahme eines Schrötlingbruchstückes von Breisach-Hochstetten (Positiv) mit Goldkügelchen (Gold-Silber-Kupfer). Der Pfeil bezeichnet die dunkel erscheinenden Kügelchen. Vergrößerung 1:6.

⁹ CH. J. RAUB, Proc. 2. Internat. Meeting Hist. of Precious Metals Technology (Ed. E.-L. RICHTER) April 1983 Meersburg. – R. F. TYLECOTE, Numismatic Chronicle 2, 1962, 101.



Abb.7 Teil des Panzers der Kaiserstatue von Dalkingen. Verkleinerung 1:0,25.

Bis heute wurden derartige Beobachtungen von feinsten Goldkügelchen nur an Formen aus dem Hochrheingebiet gemacht.

Römische Zeit: Bruchstücke einer Kaiserstatue aus Rainau-Dalkingen und anderer Großstatuen aus dem Ostalbkreis

Bei Ausgrabungen der „Feldwache“ von Dalkingen, Ostalbkreis¹⁰, die sich als ein „Prunktor“ des römischen Limes herausstellte, wurden zahlreiche Bruchstücke einer römischen Großstatue von wenigen Gramm bis zu mehreren Kilogramm Gewicht gefunden (Abb. 7. 8). Diese Bruchstücke ermöglichten eine genauere Untersuchung der für die Herstellung verwandten Techniken und gaben interessante Hinweise zur „Metallindustrie“ in der römischen Zeit – die sich in ihrer Methodik nur wenig von der heutigen Industrie im Streben nach Rationalisierung einer möglichst preisgünstigen Fertigung unterschied.

¹⁰ D. PLANCK, Neue Forschungen zum obergermanischen und rätischen Limes. In: Aufstieg und Niedergang der römischen Welt II 5, 1 (1976) 404ff. – Ders., Studien zu den Militärgrenzen Roms II (1977) 231ff.

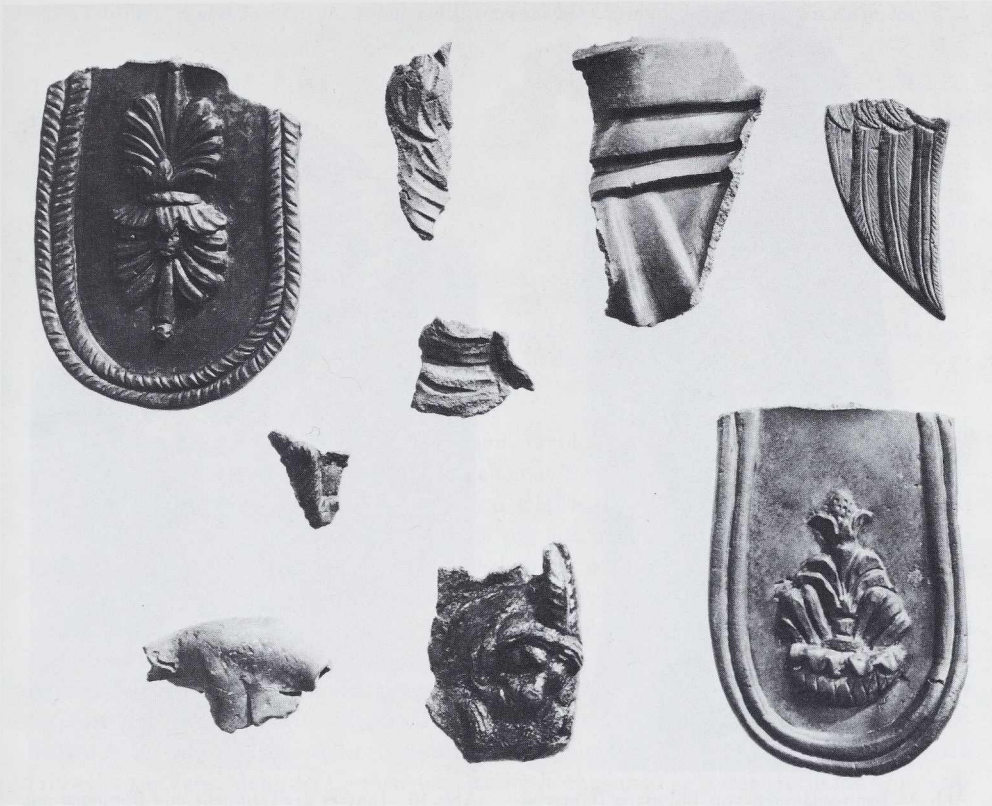


Abb. 8 Bruchstücke der Kaiserstatue von Dalkingen. Verkleinerung 1:0,48.

Über die Herstellungstechniken römischer Großbronzen gibt es Veröffentlichungen, die sich mit Einzelaspekten der Gießtechnik, der Montage, der Bearbeitung des Gusses und der Untersuchung einzelner Objekte befassen¹¹. Mehrere Arbeiten sind über Fragen der Zusammensetzung von Großbronzen von der archaisch-griechischen Zeit über die römische Epoche bis zum Mittelalter bekannt. Es scheint möglich zu sein, aus der Legierungszusammensetzung – nicht aus den einzelnen Spurenelementen – eine Unterteilung der Bronzen bzw. eine Zuordnung zu Zeitepochen vorzunehmen. Eine besondere Rolle spielen hierbei die Gehalte an den Elementen Blei, Zinn und Zink. Auf diese Arbeiten sei hier nur insofern eingegangen, als sie direkt mit den Objekten aus dem Ostalbkreis aus römischer Zeit in Verbindung stehen. Die vor kurzem gefundenen Bruchstücke von Statuen aus den Principia des Kastells Aalen werden z. Z. noch untersucht.

¹¹ K. KLUGE, *Die antike Erzgestaltung* (1926). – M. PICON/J. CONDAMIN/S. BOUCHER, *Gallia* 25, 1967, 153 ff. – Dies., ebd. 24, 1966, 189 ff. – A. J. B. WAGE, *Journ. of Hist. Soc.* 58, 1938, 90. – A. STEINBERG, in *Appl. of Science in Examination of Works of Art* (Ed. W. H. YOUNG) (1973) 103 ff. – P. T. CRADDOCK, *The Composition of Copper Alloys used in the Classical World* (Diss. London 1975). – B. BEARZI, *La Fonderia Italiana* 2 (1965) 65 ff. – M. LEONI, in: *Die Pferde von San Marco* (Ed. OLIVETTI) (1982) 101.



Abb. 9 Bronzedaumen von Böbingen (Unterböbingen); Aufsicht. Vergrößerung 1:1,3.

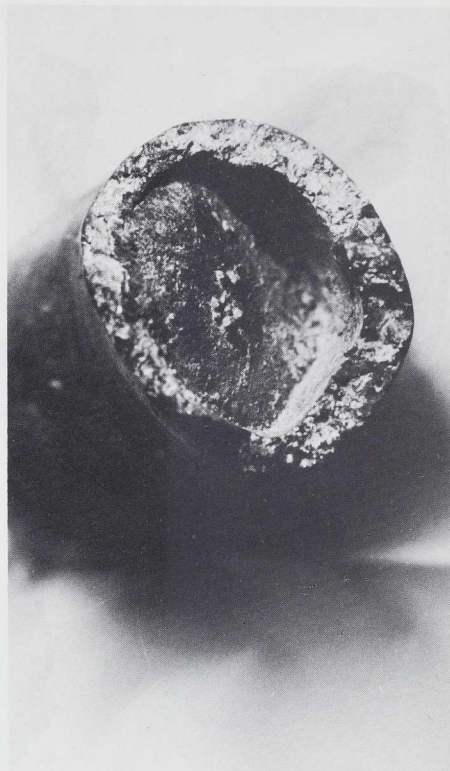


Abb. 10 Inneres des Daumens von Böbingen mit ausgegossener Luftblase. Vergrößerung 1:1,3.

Übersichtsaufnahmen einiger untersuchter Bruchstücke von Objekten aus Dalkingen, Böbingen an der Rems (Unterböbingen) und von Schwäbisch Gmünd (Schirenhof) zeigen die Abb. 7 bis 11.

Besonders interessant ist das Teil vom Schirenhof, da es als Kleinobjekt in seiner Zusammensetzung einer Großstatue entspricht und vermutlich aus Schrott oder Abfall einer Statue gegossen wurde (Abb. 11). Interessante Hinweise auf die Zusammensetzung erhält man bereits bei der Probenahme: Die hoch bleihaltigen Bronzen sind wegen der Schmierwirkung des Bleis relativ schlecht zu bohren, die erhaltenen Späne sind kurz und krümelig und von hell- bis silbergrauer Färbung, während Legierungen niedriger in Blei je nach Zinngehalt rötliche bis goldgelbe Bohrspäne ergeben. Die Härte HV der hochbleihaltigen Legierungen schwankt zwischen etwa HV 40 und 80. Wegen der Heterogenität der Legierung kann sie nicht zu einer weiteren Auswertung herangezogen werden. Die Gehalte einiger Bronzen an Kupfer, Zinn und Blei zeigt Tabelle 1. In allen Proben ergaben sich spektralanalytisch nachweisbar noch Verunreinigungen von Silber ($\sim 0,1\%$), Nickel ($\sim 0,02\%$), Antimon ($\sim 0,04\%$) und Wismut ($\sim 0,01\%$). Teilweise waren noch sehr geringe Spuren Arsen ($\sim 0,005\%$) vorhanden. In keinem der in Tabelle 1 angegebenen Objekte war spektralanalytisch Gold oder Quecksilber, die Hinweise auf eine Vergoldung bzw. Feuervergoldung gegeben hätten, zu erkennen.

Tabelle 1 Zusammensetzung römischer Bronzeobjekte (vermutlich Teile von Großstatuen).

Fundort	Gehalte %*		
	Kupfer	Zinn	Blei
Dalkingen I	75	3	22
Dalkingen II	75	5	20
Schirenhof I	65	6	27
Schirenhof (B)	70	7	23
Unterböbingen	72	5	21

* Differenzen zu 100 % können sich durch Verunreinigungen der Probe durch Korrosionsprodukte ergeben. Es handelt sich bei den Angaben um auf volle % abgerundete Werte.

Inzwischen haben Untersuchungen in England, Frankreich und Italien zweifelsfrei ergeben, daß derartige Legierungen mit mittleren Gehalten an Zinn um 6 % und an Blei um 25 % römischen Großbronzen des 1. bis 3. Jahrhunderts n. Chr. entsprechen. Im Mittel haben ältere und jüngere Objekte drastisch kleinere Bleigehalte von nur wenigen %. P. T. CRADDOCK gibt als charakteristischen Bereich für das 1. bis 3. Jahrhundert n. Chr. an: Kupfer 60 %, Zinn 5–10 % und Blei 10–30 %¹². Interessant ist noch die Betrachtung des Kupfer/Zinn-Verhältnisses bei den bisher untersuchten römischen Großstatuen. Eine statistische Auswertung zeigt, daß dieses Verhältnis zwischen 8 und 14 eine Normalverteilung zeigt, wie diese bei einer kontrollierten Serienfertigung zu erwarten ist. Das angestrebte Kupfer/Zinn-Verhältnis der antiken Schmelzer lag daher nahe bei 10. Daß der Bleianteil von Gießcharge zu Gießcharge stärker schwankte, erklärt sich aus schmelztechnischen Gründen. Interessant sind in diesem Zusammenhang noch Hinweise zur Vergoldung der Großstatuen, da sich hochbleihaltige Statuen nicht mit Quecksilber-Goldpaste feuervergoldet lassen, weil Blei „durchschlägt“. Sie wurden daher „blattvergoldet“. Feuervergoldete Objekte besitzen aus diesem Grund einen Bleigehalt von unter 4 %¹³. So wurde die Reiterstatue des Marc Aurel auf dem Kapitol in Rom „blattvergoldet“, da es sich um eine Legierung mit etwa 80 % Kupfer, 9 % Zinn und etwa 13 % Blei handelt. Die Pferde von San Marco bestehen aus einer Legierung mit nur 1 % Zinn und 1 % Blei. Dementsprechend konnte auch die erste dünne Goldschicht mittels Feuervergoldung aufgebracht werden¹⁴.

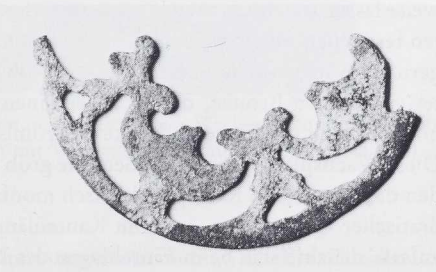


Abb. 11 Beschlag von Schwäbisch Gmünd (Schirenhof). Maßstab 1 : 1.

¹² CRADDOCK, Composition¹¹.

¹³ W. A. ODDY, Journ. of Royal Soc. of Arts, Oct. 1982, 1 ff.

¹⁴ W. A. ODDY/L. B. VLAD/N. D. MEEKS, in: Die Pferde von San Marco¹¹ 107.

Untersuchungen an vergoldeten Objekten aus dem Städtischen Museum Augsburg bestätigen diese Ergebnisse. Gerade das Beispiel der Abstimmung der Vergoldungsmethode und der verwendeten Legierung lassen die bewundernswerten Kenntnisse der römischen Metallwerkstätten erkennen.

An einem Bruchstück war es möglich, noch angebackene Reste der Form, die beim Guß bzw. beim Verschweißen der Einzelteile durch Vergießen verwendet wurde, zu analysieren. Diese Masse ist grau-schwarz und porig gesintert. Das Röntgenfeinstrukturdiagramm ist sehr linienreich und entspricht etwa einem gebrannten Ton-Sand-Gemisch. Die Spektralanalyse zeigt als Hauptbestandteil Silizium. Nebenbestandteile sind Aluminium, Magnesium, Calcium, Eisen, Natrium und Phosphor. Außerdem wurden analytisch noch 4 % Kohlenstoff nachgewiesen. Versuche, mittels IR-Spektroskopie Reste von Kohlenwasserstoffen zu finden, ergaben keine Hinweise auf noch vorhandene Wachsreste. Es handelt sich bei der Kernmasse danach um mit organischem Material, Sand und Kalk bzw. Dolomit gemagerten Ton. Der Phosphorgehalt spricht für die Zugabe von tierischem Material, wie dies bis in die Neuzeit üblich war. Ob es sich dabei um Knochenmehl oder Blut bzw. Haare handelte, wurde nicht weiter überprüft. Die naß-chemische Bestimmung ergab für diese Kernmasse die Anteile: SiO_2 50 %, Al_2O_3 12 %, PO_4^{-3} 1,2–2,5 %.

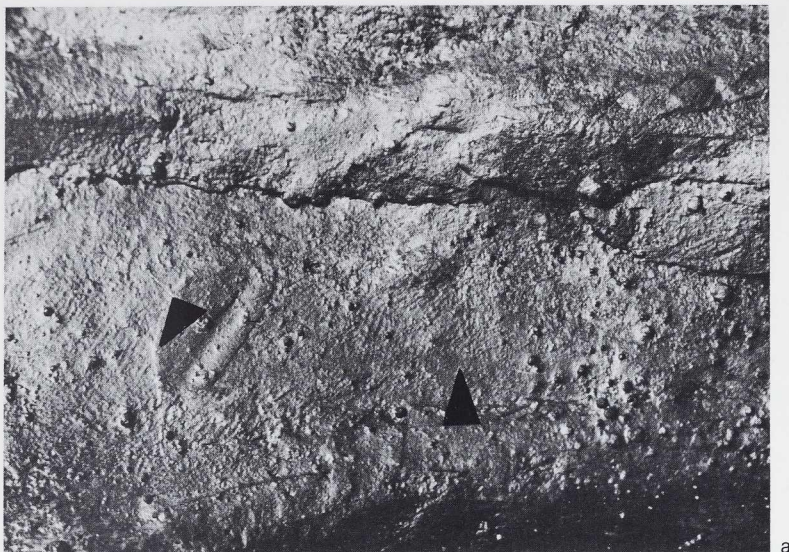
An den Bruchstücken der Dalkinger Statue zeigt sich, daß diese absichtlich zerstört wurde, wie aus groben Oberflächenbeschädigungen oder an Verformungsspuren an relativ dünnen Teilen, z. B. einigen Pteryges, die durch Hin- und Herbiegen abgebrochen wurden, nachgewiesen werden kann.

Die Fertigung von Großstatuen geschah, wie seit längerem bekannt, nach dem Wachsaußschmelzverfahren, dessen Entwicklung für den Edelmetallguß ausführlich von L. B. HUNT beschrieben wurde¹⁵. Die für Großstatuen möglichen Variationen des Verfahrens wurden von K. KLUGE und A. STEINBERG¹⁶ diskutiert. Aus zahlreichen Beobachtungen muß geschlossen werden, daß die Produktion in einer bewundernswert rationalisierten Großanfertigung geschah, welche nur in wenigen – entsprechendes Können und Einrichtung besitzenden – Werkstätten durchgeführt werden konnte.

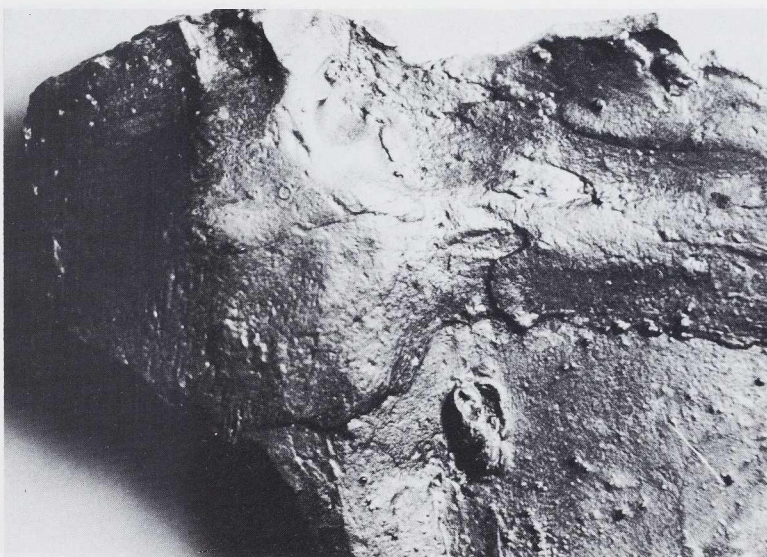
Aus der rein äußerlichen Untersuchung der Bruchstücke ergibt sich: Die Herstellung geschah nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren. Dabei wurde von einem vorhandenen Modell (Holz oder Ton, evtl. auch Metall) eine Negativform abgenommen, die aus vielen Teilen bestand. Von dieser Negativform wurden positive Wachsabdrücke genommen bzw. durch Aufschmelzen einer Wachsschicht mit einer Dicke, die dem späteren Guß entsprach, erzeugt. Teilweise lassen sich noch auf der Innenseite der Teile Verbindungsstellen der einzelnen Wachsplatten feststellen, die mit einem Wachsstreifen, dessen Kanten durch Verschmieren mit den Fingern geglättet wurden, überlegt (Abb. 12 a. b). An anderen Stellen der Innenseite der später gegossenen Bronze, die im allgemeinen der Oberseite des erstarrten Waxes entspricht, können noch die Fingerabdrücke des römischen Wachsarbeiters erkannt werden (Abb. 12 a). Diese Wachsplatten, deren Außenseite grob dem späteren Aussehen der Statue entsprach, wurden dann auf einen Kern provisorisch montiert. Dieses geschah vorwiegend mit Nägeln (quadratischer Querschnitt, 3–6 mm Kantenlänge). Da die Wachsplatte nur locker auf dem Kern aufsaß, drückte sich beim Einschlagen des Nagels die Innenseite der Wachsplatte in Richtung Kern aus (Abb. 13 a. b). Nach Aufbau eines Bauteiles wurde der Zwischenraum zwischen Kern

¹⁵ L. B. HUNT, Gold Bulletin 13, 1980, 63 ff.

¹⁶ KLUGE, Erzgestaltung¹¹. – STEINBERG, Science in Examination¹¹.



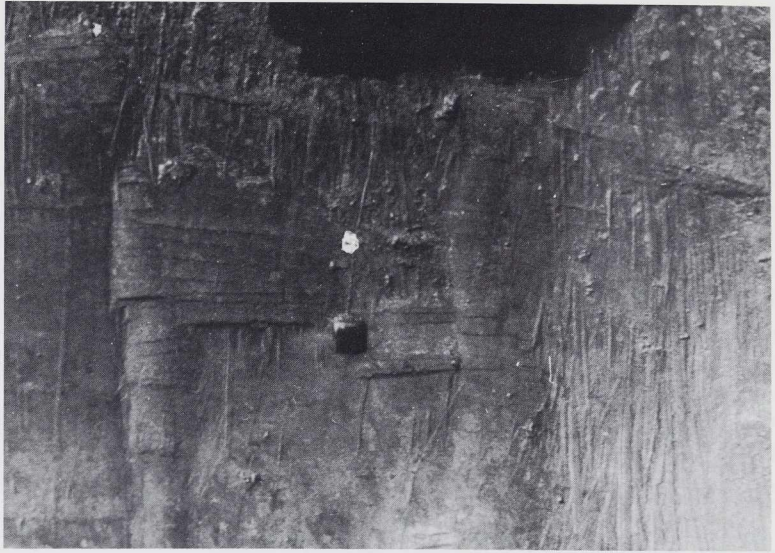
a



b

Abb. 12 Innenseite der Statue von Dalkingen. a) Verbindungsstelle zweier Wachsplatten mit Fingerabdrücken (Pfeil); b) Verschmierung zweier Wachsplatten mit Wachsstreifen (Innenseite). Maßstab 1:1.

und Wachsplatte mit einer sehr feinen Tonaufschlämmung, die beim Guß alle Einzelheiten der Wachsplatteninnenseite wiedergab, verfüllt. Die Außenseite der Wachszone konnte jetzt fein nachbearbeitet werden. Von dieser Feinnachbearbeitung des Wachses sind auf der Gußoberseite zahlreiche Spuren, z. B. an den Verzierungen der Gorgonenhäupter oder den Fischgrätmustern bzw. Borten der Pteryges, festzustellen (Abb. 14. 15 a. b). Diese reichen von Glättstrichen an flachen Oberflächen (Abb. 14) bis zu kleinen Eindrücken des Modellierwerkzeuges beim Her-



a



b

Abb. 13 a) Abdruck eines Nagels zur Kernbefestigung (Außenseite der Statue); b) Abdruck des Nagels zur Kernbefestigung (Innenseite der Statue). Vergrößerung 1 : 1,5.

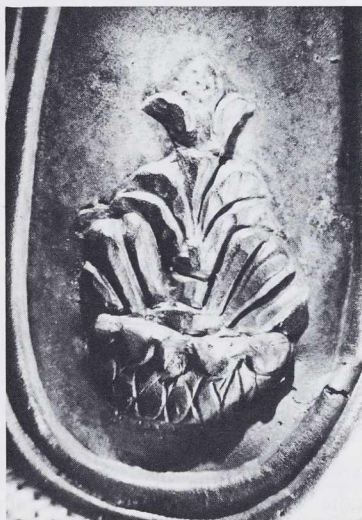
stellen der Verzierungen. Außerdem wurden offenbar größere Wachsbrocken mit groben Meißeln entfernt, und es ist teilweise – mit Sicherheit nur im Querschliff, aber auch da nur unter bestimmten günstigen Umständen – sehr schwierig zu entscheiden, ob diese Meißelspuren bereits im Wachs vorhanden waren oder erst bei der späteren Nacharbeit des fertigen Gusses entstanden.



Abb. 14 Glättstriche auf der Wachsform und Werkzeugabdrücke beim Eindrücken des Fischgrätmusters auf der Borte der Pteryges. Vergrößerung 1:1,6.



a



b

Abb. 15 Pterygesfragmente aus gleicher Form für den Wachsrohling, aber mit verschiedener manueller Nacharbeit. a) Glättspuren; b) Werkzeugabdrücke am Korb. Verkleinerung 1:0,8.

Das Verfahren der Herstellung eines groben Kerns mit locker aufsitzender Wachshaut und Ausgießen der Zwischenzone mit flüssiger Formmasse zeigt sehr schön der Daumen von Böbingen (Abb. 9). Offensichtlich war zwischen dem Kern und der Spitze des Daumens eine Luftblase eingeschlossen worden, die sich auch beim Nachgießen nicht mit Kernmasse füllte. Das geschah erst nach Ausschmelzen des Waxes, wobei die Luftblase abgebildet wurde (Abb. 10).

Diese Technik war Voraussetzung für die Herstellung einer größeren Anzahl von Statuen auf rationelle Art. Diese besaßen, da von der gleichen ursprünglichen Negativform bzw. dem Positivmodell stammend, prinzipiell den gleichen Aufbau, konnten aber bei der individuellen Nacharbeit am Wachs modifiziert werden, ja es bestand prinzipiell die Möglichkeit, auf Wünsche des Kunden einzugehen. Gewisse Vergleiche mit den Terra-sigillata-Manufakturen und deren Betriebsablauf oder dem Baukastensystem in der modernen Automobilfertigung drängen sich hier auf, und es wäre eine technikgeschichtlich reizvolle Aufgabe nachzuweisen, ob – wie bei Terra sigillata – bestimmte Charakteristika der Grobausführung bzw. der Feinnacharbeit an Großbronzen einzelnen Herstellerwerkstätten oder Zeitepochen zugeordnet werden können.

Es ist bei einer solchen Fertigung beinahe selbstverständlich, daß häufiger benutzte „Bauteile“, Wachsmodele für z. B. Pteryges, in größerer Stückzahl aus Holz-, Ton- oder Metallnegativformen hergestellt wurden. Die Abmessungen dieser Formen müssen dann an der späteren Statue wiederzufinden sein und lassen – mit Vorsicht – auf Herstellung in der gleichen Werkstatt schließen. So weist G. GAMER¹⁷ bereits auf die Identität zweier Laschenfragmente von der Saalburg und von Koblenz-Niederberg hin. Das Pterygesfragment von Weißenburg¹⁸ ist im Umfang deckungsgleich mit gleich zwei Stücken aus Dalkingen (Abb. 15 a, b), wobei im einen Fall das Fischgrätmuster seine Richtung änderte bzw. im anderen überhaupt nicht verwendet wurde (verschiedene Nacharbeit in Wachs am gleichen Urmodell). Auf die große Gleichheit der Schwerter von Weißenburg und Murrhardt, die vom gleichen Urmodell stammen könnten, wurde bereits hingewiesen¹⁹. Das Dalkinger Schwert scheint aus einer anderen Form zu stammen. Die unterschiedlichen Schwerter von Weißenburg und Dalkingen – aber identischen Pteryges – lassen erkennen, daß die Fertigungsstätten eine große Anzahl von Mustern liefern konnten, und es wäre interessant, den Musterkatalog eines Verkäufers von Kaiserstatuen zu kennen und zu wissen, nach welchem Gesichtspunkt die Auswahl geschah, oder ob der Besteller sogar noch Eigenwünsche bei der Endausführung berücksichtigen lassen konnte – ähnlich wie heute beim Kauf eines Automobils.

Eine derart aufgebaute „Baugruppe“ aus einem Kern mit Wachsmantel wurde dann mit einer mechanisch verstärkten äußeren Tonform ummauert, der Abstand Wachs Oberfläche – äußerer Tonmantel vergossen, die Form getrocknet, das Wachs ausgeschmolzen, und der eigentliche Guß in die entstandenen Hohlräume konnte beginnen. Daß auch dies nur in größeren Werkstätten geschehen konnte, zeigt allein schon die benötigte Bronzemenge.

Nach dem Gießen wurden die Einzelstücke ausgedehnt, z. B. durch Meißeln, Gravieren, Ziselieren oder Polieren kalt nachbearbeitet. Diese Bearbeitungen sind, wie erwähnt, metallographisch im Schliff nachweisbar, doch wurden im vorliegenden Fall die beeinflussten dünnen Oberflächenbereiche durch Korrosion zerstört.

Eine berühmte Darstellung der Herstellung einer Großstatue in griechischer Zeit, u. a. auch mit den für die Nacharbeit benutzten Werkzeugen, stammt von der sog. „Erzgießerschale“ aus dem Antikenmuseum in Berlin aus dem Jahre 480 v. Chr.²⁰

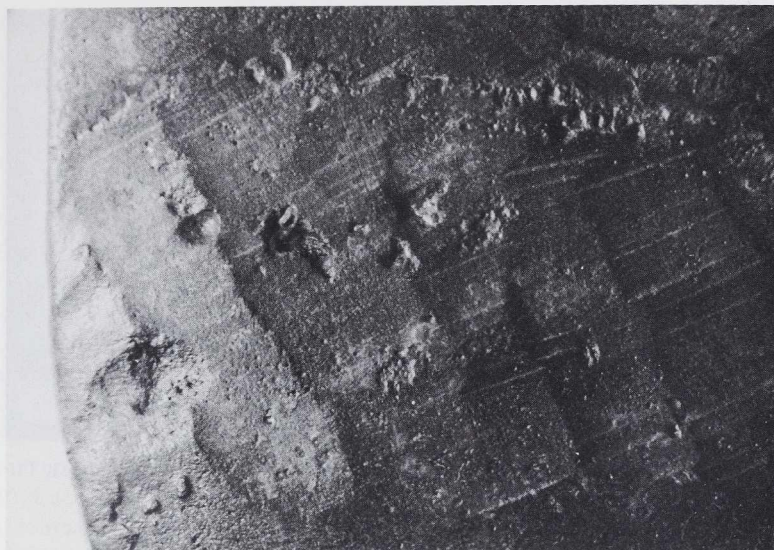
Die einzelnen Bauteile wurden dann zu größeren Baugruppen verbunden. Im wesentlichen geschah dies durch „Überfangguß“ mit der gleichen Legierung, die sehr stark über ihren Schmelzpunkt erhitzt wurde, deren Zinngehalt (und damit Schmelzpunkt) aber nur unwesentlich verändert wurde. Die Variationen dieses Verfahrens wurden eingehender von A. STEINBERG

¹⁷ G. GAMER, *Germania* 46, 1968, 53 ff.

¹⁸ GAMER, *Germania*¹⁷ Taf. 15, 3.

¹⁹ GAMER, *Germania*¹⁷.

²⁰ G. ZIMMER, in: *Die Pferde von San Marco*¹¹ 103 ff.



a



b

Abb. 16 Durch Überganguß erzeugte Verbindung. a) Nachgemeißelte Außenseite; b) unbearbeitete Innenseite. Vergrößerung 1:2.

und D. HAYNES²¹ diskutiert. Sie sind alle an Bruchstücken der Dalkinger Statue erkennbar. Die vorgegossenen Elemente wurden hierfür aneinander gefügt, in ihrer Lage, z. B. durch Draht, fixiert, die Verbindungsstelle mit einem Wachsstreifen grob überbaut, dieser mit einer dickeren

²¹ STEINBERG, Science in Examination¹¹. – D. HAYNES, Rev. Arch. 1, 1968, 101 ff.

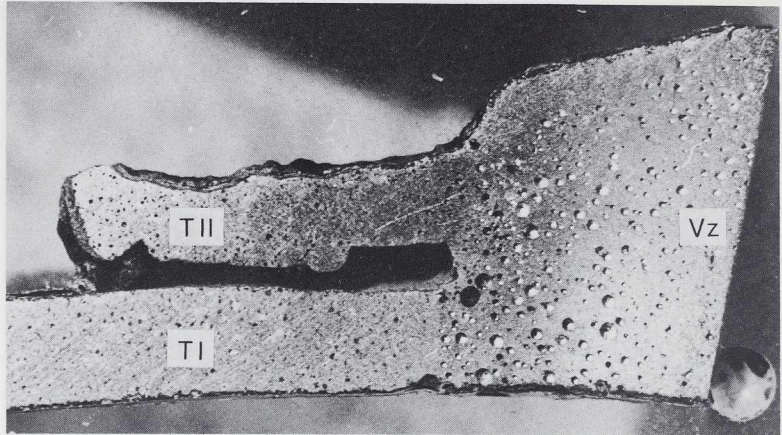


Abb. 17 Schliff durch mit Überganguß verbundene Bauteile. Vz = Verbindungszone; T I, T II = zu verbindende Teile. Außenbereich kalt nachgearbeitet. Vergrößerung 1 : 8.

Tonlage auf beiden Seiten abgedeckt, das Wachs ausgeschmolzen und in die entstandene Höhlung die überhitzte Schmelze etwa der gleichen Kupfer-Zinn-Blei-Legierung wie die der Statue vergossen. Dabei findet ein Anschmelzen bzw. Anlegieren der zu verbindenden Teile statt, und im Idealfall ergibt sich eine beidseitige wulstige Naht, deren Außenseite „kalt“ nachgearbeitet wurde (Abb. 16 a). Die Innenseite dagegen behielt das rauhe Aussehen (Abb. 16 b).

Wegen der stark überhöhten Temperatur der zum Verbinden benutzten Schmelze kam es bei deren Erstarrung zu starker Gasporenbildung (Abb. 17), an der sich die „Verbindungszone“ (Vz) von den zu verbindenden Teilen (T I, T II), deren Gefüge wegen anderer Gieß- und Erstarrungsbedingungen nur wenige kleine Gasporen besitzt, unterscheidet.

Vermutlich wurde das Verbinden kleiner Bauteile zu größeren Gruppen bereits in der Gießhütte vorgenommen, wobei nicht zuletzt die Transportmöglichkeiten deren Größe bestimmten. Der eigentliche Zusammenbau geschah sicher am Ort der Aufstellung – durch Montagetrupps der Gießerei? –, wobei interessant wäre zu wissen, ob auch hier – auf Montage in teilweise abgelegenen Gebieten – der Überganguß verwendet wurde oder die Teile nur mechanisch durch Stecken, Vernieten oder mit Hilfe von Draht befestigt wurden. Einzelne Bauglieder werden immer wieder gefunden, z. B. der getrennt gegossene Arm einer Großstatue im Städtischen Museum in Augsburg. Die Köpfe der Kaiserstatuen waren von vorneherein auswechselbar – es war rationaler, bei einer „damnatio memoriae“ den Kopf und nicht die ganze Statue auszuwechseln²².

Die Untersuchung der Bruchstücke von Kaiserstatuen gibt somit einen faszinierenden Einblick in die durchorganisierten, rationellen Fertigungs- und wohl auch Vertriebsmethoden zur römischen Kaiserzeit. Gerade hier sind auch Bruchstücke der Großstatuen von unschätzbarem Wert, zumal deren Untersuchung durch Metallurgen und Gießereifachleute erst am Anfang steht und nur wenige Einzelheiten bekannt sind.

²² GAMER, Germania¹⁷.

Merowingerzeit: Fibel von Hüfingen

Von G. FINGERLIN, LDA Freiburg i. Br., wurden aus dem Gräberfeld Hüfingen mehrere Fibeln in stark variierendem Erhaltungszustand vorgelegt. Unter diesen befand sich, noch im Lehm-
bett, auch eine völlig vergangene Fibel. Die photographische Übersichtsaufnahme zeigt
Abb. 18, die Röntgenaufnahme (Positiv) Abb. 19 und den Fibelkasten Abb. 20. Äußerlich sicht-
bar sind nur die durch Silbersulfid dunkel gefärbten Flitter der Vergoldungsschicht. Die Spek-
tralanalyse einer Probe ergab, neben Bodenbestandteilen, Hauptbestandteile: Silber, Kupfer,
Zinn; starke Spur: Blei, Gold, Eisen; Spur: Quecksilber, Phosphor; geringe Spur: Zink; sehr ge-
ringe Spur: Nickel.

Es handelt sich danach um eine feuervergoldete Fibel aus einer Silber-Kupfer-Zinn-Legierung.
Da Silber und Zinn in den Korrosionsprodukten angereichert sein können, Kupfer aber ausge-
waschen wird, ist eine quantitative Bestimmung der Zusammensetzung der Legierung nicht
mehr möglich. Aus der Untersuchung anderer metallischer Fibeln aus Hüfingen sind aber als
typische Zusammensetzungen bekannt: Silber 95 %, Kupfer 4–5 %, Zinn nur Spuren (die Zu-
sammensetzung entspricht römischem Großsilber!); oder ein zweiter Typ: Silber 85–90 %,
Kupfer 10 % und Zinn 0,1 bis 4 %. In allen Legierungen sind außerdem Spuren Zink vorhanden.
Zink wurde in zunehmendem Maße erst im 3. und 4. Jahrhundert verwendet. Es ist naheliegend,
daß die alamannischen Goldschmiede zum Legieren des Silbers nicht nur Kupfer, sondern auch
Bronze bzw. römisches Messing (Kupfer-Zinn-Zink) nahmen. Das metallographische Gefüge
(Guß) einer derartigen Fibel zeigt Abb. 21.

Beim Feuervergoldeten wird eine flüssige Paste aus Gold und Quecksilber (Amalgam) auf das me-
tallische Objekt aufgebracht, das Quecksilber durch Erhitzen verdampft und die zurückblei-



Abb. 18 Übersichtsaufnahme der korrodierten
Bügelfibel von Hüfingen im Lehm-
bett. Verklei-
nerung 1:0,6.



Abb. 19 Röntgenaufnahme (Positiv) der in
Abb. 18 dargestellten Bügelfibel. Verkleinerung
1:0,7.



Abb. 20 Detail der Bügelfibel von Hüfingen mit Resten der Feuervergoldung. Vergrößerung 1:1,7.

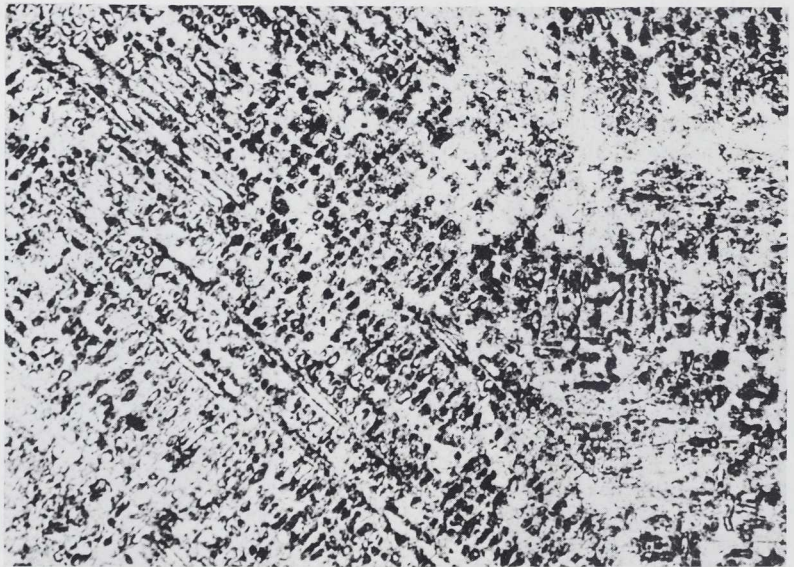


Abb. 21 Querschliff durch eine unkorrodierte Fibel, Silber-Kupfer-Zinn-Gußstruktur (5 % Cu, 3 % Sn). Vergrößerung 1:500.

bende poröse Goldschicht häufig noch mechanisch durch Reiben „verdichtet“ (Polierstein). Die im Material verbleibenden Quecksilberspuren können später als Nachweis der Feuervergoldung dienen. Der Querschliff durch einen isolierten Flitter der Goldhaut zeigt die beim Ver-



Abb. 22 Porige Feuervergoldungszone, ungeätzter Querschliff. Vergrößerung 1:500.

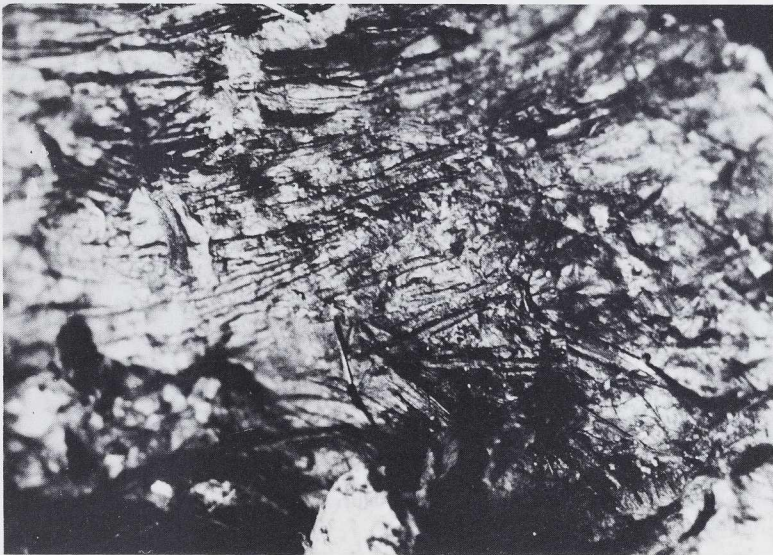
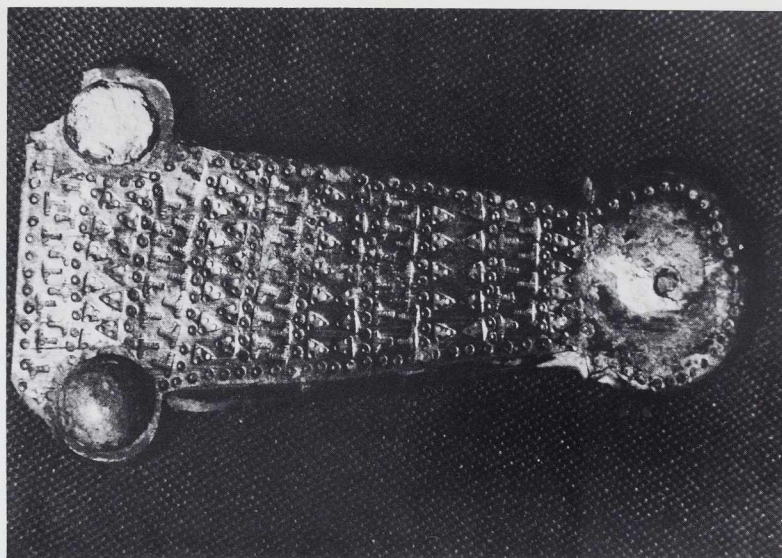
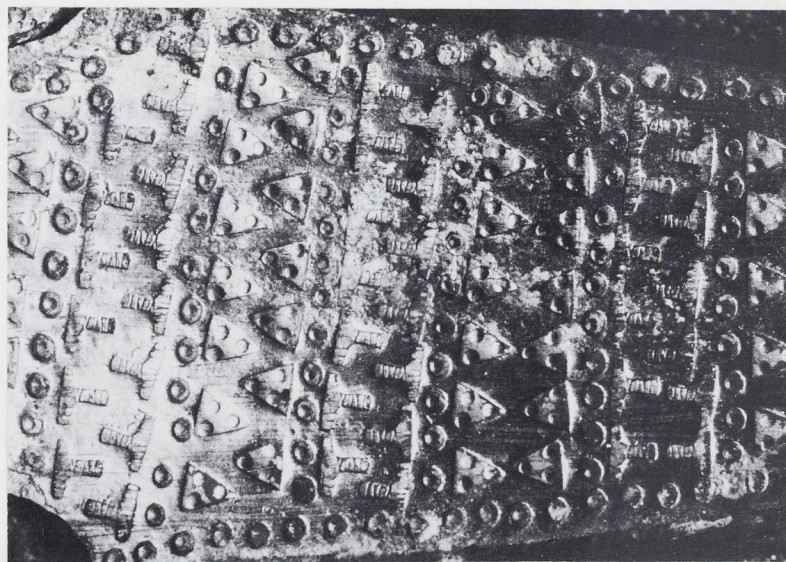


Abb. 23 Pelzreste unter der Bügelfibel von Hüfingen. Vergrößerung 1:7.

dampfen des Quecksilbers – ohne mechanische Nachverdichtung – entstandene poröse Goldschicht (Abb. 22). Charakteristisch für die Feuervergoldung ist ferner deren geringe Dicke an Erhöhungen der Unterlage bzw. eine dicke Schicht in Vertiefungen (Verteilung des flüssigen Amalgams).



a



b

Abb. 24 Gürtelbeschlag aus Bronze mit „Speculum“-Überzug von Hüfingen. a) Gesamtansicht; Vergrößerung 1:2; b) Detail; Vergrößerung 1:5.

Unter der Fibel ergab eine sorgfältige Präparation des Fundes Pelzreste (Abb. 23), welche den Phosphorgehalt der Analyse erklärten, sowie durch Rost bzw. Kupfer- und Silbersalze konservierte Gewebeteile.

Ein aus dem gleichen Gräberfeld untersuchter Beschlag (Abb. 24 a. b) bestand aus einer Kupfer-Zinn-Legierung mit etwa 6 % Zinn und einer Beschichtung aus einer „Speculum“- oder

„Weißmetall“-Auflage mit einem Zinngehalt von 30–40 %. Diese Auflagen fanden wegen ihrer hohen Korrosionsbeständigkeit, silberähnlichen Farbe und hohen Reflexion bereits in vorrömischer und römischer Zeit, aber auch in der chinesischen Antike für Spiegel und als Beschichtung von Kupfer und Bronze Verwendung. Sie wurden schmelzmetallurgisch hergestellt, Einzelheiten der Aufbringmethoden sind aber noch unsicher²³.

Die beschriebenen Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen auf archäologische Objekte aus drei Zeitepochen aus Baden-Württemberg zeigen, zu welchen Aussagen die Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen führen kann. Gerade die Entwicklung der für uns heute so wichtigen Metalltechnik ist nur bruchstückhaft bekannt. Daß in Europa eine höchst entwickelte Metallindustrie mit Großserienfertigung bestand, sollten die Beispiele zeigen. Sie hatte einen gewissen Höhepunkt zur römischen Kaiserzeit, manche Fertigungsverfahren wurden später vergessen und sind uns bis heute unbekannt geblieben. China, das Land mit einer der ältesten Metalltechniken der Welt, wo Bronzeguß und Feuervergoldung mindestens gleichzeitig mit den Europäern bzw. den Völkern des Nahen Ostens entwickelt wurden, bezeichnete mit „Jinshi-xue“ (Studium von Metall [Bronzen] und Steinen) ein Gebiet der Wissenschaft, welches wir heute Archäologie nennen²⁴. Sollten wir uns nicht auch „Jinshi-xue“ etwas mehr widmen²⁵?

Anschrift des Verfassers:

Dr. CHRISTOPH J. RAUB, Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie
Katharinenstraße 17
7070 Schwäbisch Gmünd

²³ W. GEILMANN, Die Naturwissenschaften 37, 1950, 125.

²⁴ Kunstschatze aus China (Ed. H. BRINKER/R. GOEPPER). Staatl. Museen Preußischer Kulturbesitz, Febr. 1981 – April 1982, 21.

²⁵ Vorstehende Untersuchungen und Überlegungen wären ohne die langjährige vorbildliche kollegiale Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg, Abt. Archäologische Denkmalpflege, insbesondere den Herren Dr. D. PLANCK, Dr. G. FINGERLIN, Dr. A. RÜSCH und Dr. I. STORK, aber auch anderen Archäologen, Museumsleitern und Restauratoren nicht möglich gewesen. Ihnen und meinen Mitarbeitern, den Herren A. KNÖDLER, O. LOEBICH, D. OTT, H. SCHILS und H. WEISS, gebührt mein Dank.