Zeitschrift: Bulletin de l'Association Pro Aventico

Herausgeber: Association Pro Aventico (Avenches)

Band: 57 (2016)

Artikel: Eine römische Gussbirne aus Augusta Raurica (Augst, BL) : durchstrahlt und enttarnt

Autor: Furger, Alex R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-737988

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eine römische «Gussbirne» aus *Augusta Raurica* (Augst, BL): durchstrahlt und enttarnt

Alex R. Furger

Der Fund und sein archäologischer Kontext

Objektbeschreibung und Fragestellung

Bei der Gussbirne aus *Augusta Raurica* handelt es sich um einen birnenförmigen Gegenstand aus rotbraun gebranntem Ton (Abb. 1). Er misst 128 x 85 x 60 mm (Abb. 2), wiegt knapp ein halbes Kilo und ist komplett erhalten[1]. Oben am schmalen Ende ist ein kleiner Trichter angebracht, von dem ein relativ dicker Gusskanal ins Innere führt (Abb. 1). Die Gussform enthält im Innern kein Metall, sondern sie ist hohl. Das einst mit Lehm ummantelte (Bienen-)Wachsmodell ist schon in der Antike ausgeschmolzen worden, d.h. man hatte die Form bereits erwärmt und «entwachst». Dies beweist die Tatsache, dass die Lehmform anschliessend (zum Glück für uns) vorgebrannt worden ist. Aus welchen Gründen sie schliesslich in den Boden kam, ohne dass sie mit Metall ausgegossen wurde, ist nicht bekannt und kann nur vermutet werden.

Der nie ausgegossene Hohlraum (er entspricht dem einstigen Wachsmodell) wurde auf zwei Arten dokumentiert:

1 durch Einschütten kleinster Bleikügelchen und Röntgenbildern, angefertigt 2012 durch Maria-Luisa Fernandez in Augusta Raurica (Abb. 3)

2 durch 3D-Röntgen, 2013 durch David Christian Mannes im Paul Scherrer Institut PSI durchgeführt (Abb. 4; 5; 6)[2].

Solche Gussbirnen sind äusserst selten im archäologischen Fundgut, denn sie waren ja zum Giessen und anschliessendem Aufschlagen bestimmt – ganz in der Technik des «Wachsausschmelzverfahrens in der verlorenen Form»! Dass ein solches «Halbfabrikat» aus Ton unfertig in den Boden gelangte, ist für uns Forscher das erste Glück. Dass unser Stück in römischer Zeit als Vorbereitung für den Guss zu Keramik vorgebrannt worden ist und sich dadurch im Boden überhaupt erhalten konnte, ist der zweite Glücksfall.

Ziel der Untersuchungen am Paul-Scherrer-Institut PSI in Villingen AG war es daher, durch hochauflösendes Schichtröntgen die Hohlform im Innern plastisch darzustellen und vielleicht auch Erkenntnisse zum Aufbau des Tones zu gewinnen. Die grosse Frage war: «Was hätte in dieser Form gegossen werden sollen? Welches Objekt hatte man einst in Wachs modelliert und mit dem Ton ummantelt?».

Zur Deutung des – nie ausgegossenen! – Hohlraumes resp. des mit dieser Form vorgesehenen Bronzeobjekts siehe unten (Abb. 4, 5, 6 und 7).

Abb. 1
Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Gussbirne in drei fotografischen Ansichten. M. 1:2.*

1 Museum Augusta Raurica, Inv.-Nr. 1966.2797.

2 Zur Methode Meinel/Willer 2016 sowie konkret E. Lehmann/D. Mannes auf Seiten 171-180 in diesem Band.

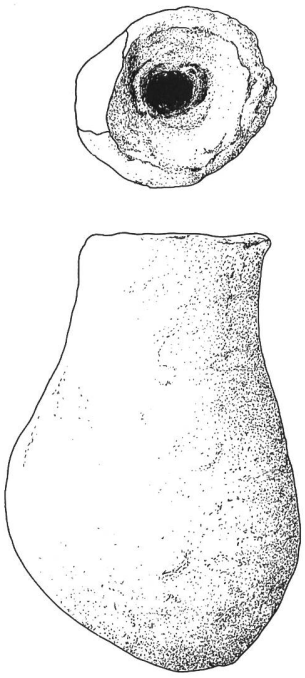


Abb. 2
Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Gussbirne. Zeichnung der Seiten-Oberansicht. M. 1:2.*

Fundsituation und Datierung

Die Gussbirne stammt aus Augst (BL) (*Augusta Raurica*) und wurde im römischen Stadtzentrum in der Insula 31 gefunden, aus der viele Zeugnisse der Bronzeverarbeitung beobachtet und geborgen worden sind[3]. Der Fundkomplex FK X06161 umfasst die Schichten 4–7 hinter dem Profil A (Grabungsdokumentation: Detail 329), ein Sedimentpaket von etwa 30 cm Mächtigkeit (294.58–294.85 m ü. M.). Datierende Begleitfunde weisen alle ins 1. Jahrhundert n. Chr., sie sind jedoch uneinheitlich und offensichtlich vermischt.

Technologische Beobachtungen an der Gussbirne

Das Lehmmaterial

Der Ton der Gussform ist rotbraun gebrannt. Unten zeigt sie stellenweise die originale(?) braungraue Oberfläche. An der Oberfläche sind viele feine Magerungskörner zu erkennen, stellenweise sogar Splitter von zwei und mehr Millimetern Grösse. Der Ton ist relativ weich und daher nicht allzu hoch gebrannt.

Er zeigt auch feine Poren, die in Ausnahmefällen bis 2 mm Durchmesser erreichen. Diese sind beim Verbrennen zugemischter organischer Magerung entstanden. Ein möglichst poröser und dennoch stabil gebrannter Formlehm war wichtig, damit die heissen Gase beim Giessen entweichen konnten und nicht zum Bersten der Formen führten. Organische Magerungspartikel wie grobes Holzkohlepulver, Getreidespelzen, Häcksel, Stroh usw. wurden und werden oft zum Magern von Gussformlehm verwendet[4], weil sie auf einfachstem Weg zu der gewünschten Porosität führen.

Der Innenaufbau der Gussbirne geht aus den Schichtröntgen-Bildern hervor: In der Tonmasse zeigen sich einerseits grössere Magerungssteinchen (helle Punkte) und andererseits Hohlräume der verbrannten organischen Magerung (schwarze Flecken und Linien). Grössere hohle Kluften (schwarz) scheinen Hohlräume zwischen einzelnen Lehmschichten zu sein (Abb. 5). Was im dreidimensionalen Röntgenbild jedoch nicht zu finden ist, sind Hinweise auf einen Schichtaufbau mehrerer unterschiedlicher Tonmischungen. Es scheint, dass die Giesser in *Augusta Raurica* diese Gussform mit einer einzigen Tonmischung ummantelt haben in der Überzeugung, auch die feineren Partien des Wachsmodells würden präzise genug im Ton abgeformt. Dies widerspricht der bisweilen gemachten Beobachtung an archäologischen Funden[5] und neuzeitlichen Beispielen[6], wo zuerst eine besonders feine Mischung in dünner Schicht direkt auf das Wachsmodell aufgebracht wird (mit guten Abformungseigenschaften) und erst darüber eine viel grober gemagerte, dicke Schicht (mit besonders hoher Porosität).

Der Einguss

Am Oberende der Gussform ist der 34–40 mm weite Eingusstrichter «angeknetet». Er mündet in einen Gusskanal, der sich 21 mm unter dem Trichter in zwei Kanäle verzweigt. Der relativ weite Hauptgusskanal führt senkrecht nach unten (Durchmesser 8–12 mm), ein Nebenkanal zeigt seitlich nach unten. Letzterer ist gleichzeitig

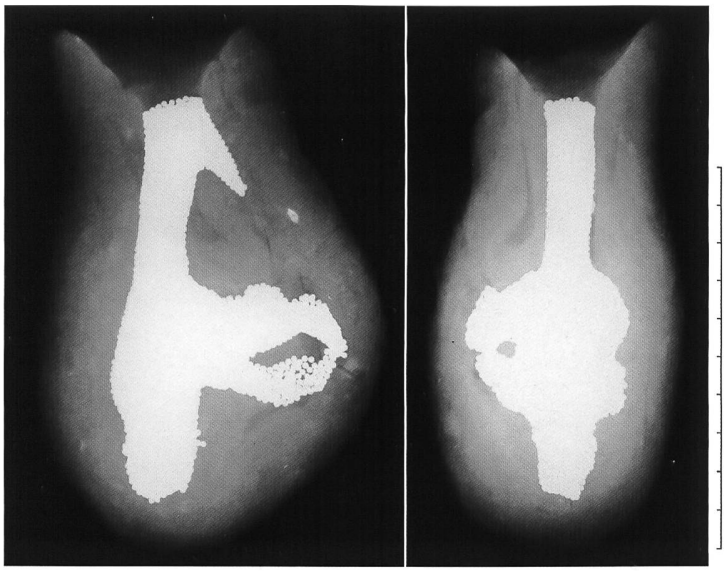


Abb. 3
Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Gussbirne, mit kleinen Bleikügelchen im Hohlraum, im Röntgenbild. M. 1:2.*

3 Martin 1978, Abb. 1; Furger 1995, 139 ff. Abb. 6–8; Furger 2017b, Abb. 30–35.

4 Siehe die unten aufgeführten Lehmformen von Abb. 8–10 sowie: Katona *et al.* 2007, 162 (mittelalterlich: *«vegetal impressions of a abundant organic temper ... can be observed, generating a very porous body»*); Modarressi-Tehrani 2009, Abb. 213; 345; 349 (eisenzeitlich: Pflanzenfasern, Hammerschlag); Furger 2017a, 143 f. (altindische Sanskritquellen: Kuhdung, Reisspelzen, Baumwollhäcksel, Schamotte, Salz usw.). – Neuzeitliche Beispiele: Johannsen 1925 (= Biringuccio 1540), 270 (Schurwolle, Laugenasche, Hammelhornasche, Hammerschlag); Kunkel 1732, 442 (Schurwolle, Barchent, zerstampfte Baumwolle, Sand); Woodward 1795, 235 (Kuhdung und Haare); Knöpfli 1997, 33 (Kamerun: Pferde- und Eselsdung); Furger 2017a, 48 ff. Abb. 36; 62; 63; 68; 293 ff. Abb. 523 (Burma, Nepal, Himalayaländer: fein gesiebter Kuhdung innen, Reisspelzen aussen).

5 Zum Beispiel Auenmüller *et al.* 2014, Abb. 16 und 22 (Ägypten, 7.–3. Jh. v. Chr.).

6 Zum Beispiel Knöpfli 1997, 33 (Kamerun: innen gesiebter Pferdedung, aussen normaler Pferdedung); Furger 2017a, 48 ff. Abb. 62 und 63 (Nepal).

ein «Steiger» (Durchmesser 6 mm) und Verbindung zu den Füssen der zu giessenden Figur. Je nach Fliessrichtung der Gussspeise schoss das flüssige Metall gleichzeitig in Rumpf und Füsse, oder es erreichte durch den weiten Hauptkanal den Rumpf und stieg kurz später – zusammen mit flüchtigen Gasen – via Steiger wieder hoch (Abb. 4; 5; 6).

Ergebnisse der 3D-Durchstrahlung

Figürliches Objekt

In den Schichtröntgenbildern ist der Hohlraum, in welchen die Bronze hätte eingegossen werden sollen, gut erkennbar (Abb. 5). Aus diesem Negativ konnte am PSI in Villigen der Hohlraum in ein positives 3D-Modell umgerechnet und aus beliebigen Blickwinkeln dargestellt werden (Abb. 6).

Ein nicht alltägliches Produkt lässt sich in dieser leicht gebrannten Gussbirne nachweisen: Es ist ein bärtiger Mann in kauernder Stellung mit angewinkelten Beinen zu erkennen, dessen vorgestreckte Arme etwas zu halten scheinen (Abb. 6). Die Figur ist mangels Parallelen nur schwer einzuordnen[7]. Die ungewöhnliche Haltung erinnert spontan an die Gorgo von Baden, eine singuläre italisch-archaische Bronzefigur, die vermutlich in der Kaiserzeit mit einem Phallus zu einem Tintinnabulum umgearbeitet wurde (Abb. 7a,1)[8], jedoch haben die beiden Objekte im Einzelnen nichts sonst gemeinsam. Auch bucklige Zwerge, wie sich ein Exemplar aus Augst erhalten hat (Abb. 7a,2)[9], stimmen nur im Motiv des übergrossen Phallus überein – der sich zudem im Hohlraum der Gussbirne nicht erhalten hat. Die vorgestreckten Hände könnten allenfalls Zügel gehalten haben, wobei unklar ist, welche Art Reittier man sich dazu ergänzen müsste. Die Augster «Negativ-Figur» ist auch schon als trunkener Silen bezeichnet worden (Abb. 7a,3)[10]. Wahrscheinlich war die Figur Teil eines grösseren Ganzen (etwa wie Abb. 7b,4.5). Die einzigen motivisch vergleichbaren Parallelen

Abb. 4
Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Gussbirne in zwei konventionellen Röntgen- und drei Schichtröntgen-Schnitten. M. 1:2.*

Abb. 5
Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Gussbirne in einem 3D-Röntgen-Strukturschnitt mit innerer Oberfläche des Hohlraums. M. 1:2.*

7 Die folgenden Hinweise verdanke ich Annemarie Kaufmann-Heinimann, Basel (Informationen aus E-Mails vom 7.11.2012 und 11.2.2013 sowie Ergänzungen vom 06.06.2017).

8 M. Guggisberg, *in:* Deschler-Erb *et al.* 2005, 7–16 Abb. 3–9.

9 Kaufmann-Heinimann 1977, 81 f. Taf. 88 Kat.-Nr. 84.

10 Élisabeth Rabeisen in einem E-Mail vom 10.09.2013: «*... cette extraordinaire statuette virtuelle qui, si je me trompe, représente un Silène ivre...*». – Der als Beispiel abgebildete Silen (Abb. 7a,3) stammt aus Avenches VD (Leibundgut 1976, 37 f. Taf. 20 und 21 Kat.-Nr. 20).

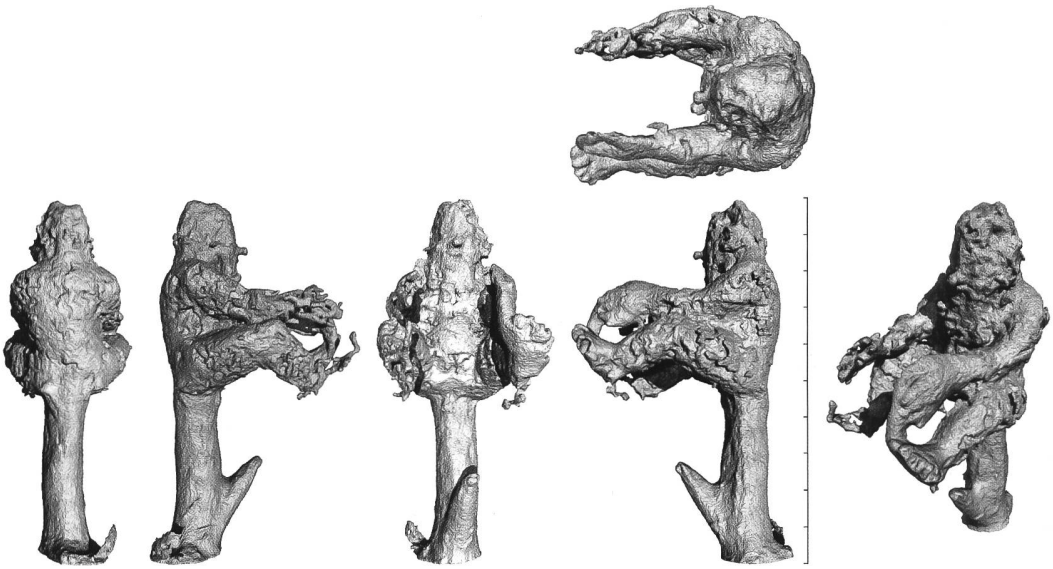


Abb. 6

Augusta Raurica, *Insula 31, Fundkomplex X06161, Inv. 1966.2797. Der Hohlraum in der Gussbirne in sechs verschiedenen digital generierten Ansichten (ermittelt aus 3D-Röntgenaufnahmen). M. 1:2.*

1

2

3

Abb. 7a

Beispiele figürlicher Bronzen mit ähnlichen Darstellungen wie der Guss-Hohlraum in der Lehmform von Abb. 6.

1 Gorgo von Baden (AG)

2 buckliger Zwerg aus Augst (BL)

3 Silen aus Avenches (VD)

Unterschiedliche Massstäbe.

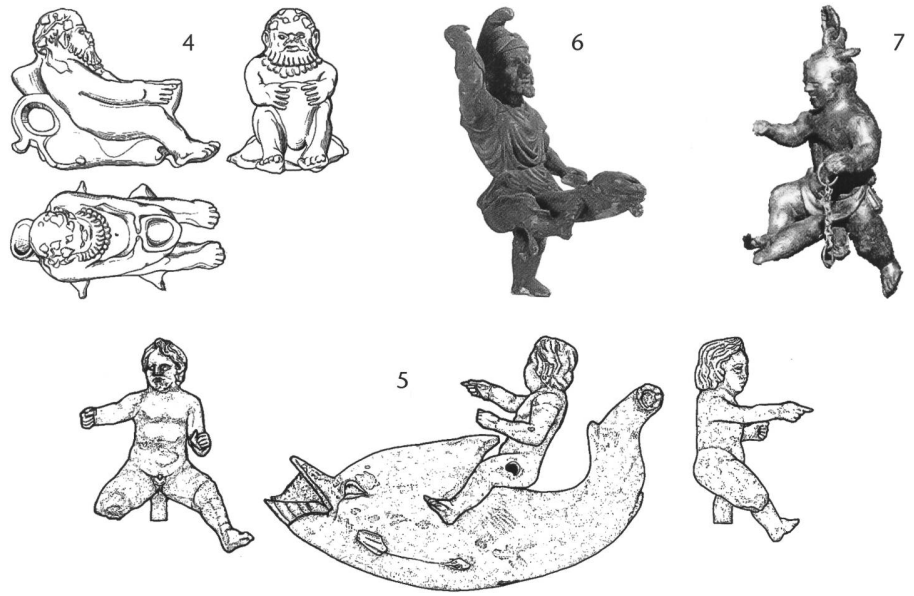


Abb. 7b

Beispiele figürlicher Bronzen mit ähnlichen Darstellungen wie der Guss-Hohlraum in der Lehmform von Abb. 6.

4 figürliche Lampe in Form eines Silens aus London-Fenchurch Street (GB)

*5 Delfin mit reitendem Eros, Grabfund aus Izmir-*Smyrna *(TR)*

6 Bronzelampe aus den Vesuvstädten (I)

7 Oberteil einer unten aufgehängten Bronzelampe aus den Vesuvstädten (I)

Unterschiedliche Massstäbe.

sind figürliche Lampen in Form eines Silens, der die (phallische) Lampenöffnung umklammert hält (Beispiele Abb. 7b,6.7)[11].

Dieses eine, durch grossen Zufall erhaltene, aber nie ausgegossene und zerschlagene Formenbeispiel zeigt, wie gering die Chance ist, im archäologischen Fundgut die Herstellung konkreter Produkte nachzuweisen. Nur wenn bei Ausgrabungen grosse Mengen der Abfälle von Giessereien gefunden werden, lassen sich anhand von Fragmenten zerschlagener Gussformen Rückschlüsse auf die darin gegossenen Produkte ziehen, wie dies etwa auf dem Auerberg D, in *Alesia* F, Mâlain F, Castleford GB, Gussage All Saints GB, Demetrias GR oder Lefkandi GR der Fall war[12]. Die «Augster Produktepalette» der verschiedensten Buntmetall verarbeitenden Werkstätten bleibt daher vorerst in weiten Teilen unbekannt![13].

Gusskanäle

Die Eintrittsöffnung der beiden Gusskanäle und der Eingusstrichter zuoberst auf der Gussform sind bereits oben unter «Der Einguss» beschrieben worden. Aus den Schichtröntgenbildern (Abb. 4 und 5) sowie aus dem digitalen Negativ des Hohlraums (Abb. 6) ist ablesbar, dass der Hauptgusskanal sehr dick konzipiert war («auf Nummer sicher?») und der dünnere Kanal (oder Steiger?) vom Trichter direkt zu den Füssen der Figur führte. Was am Original heute nicht erkennbar ist, zeigt das virtuelle 3D-Bild dieses Nebenkanals: Er ist unterbrochen! Falls die römischen Modelleure, Formenbauer oder Giesser dies bemerkt hätten, wäre für uns einsichtig, dass unsere Form nicht mit Buntmetall gefüllt wurde, weil dieser Vorgang mit aller Wahrscheinlichkeit zu einem Fehlguss – ohne ausgefüllte Arme und Beine – geführt hätte.

Sehr deutlich ist ein weiterer Verbindungskanal erkennbar zwischen den Füssen und den Händen (Abb. 6). Andere, sehr dünne Hohlräume stellen vermutlich Porositäten dar, die mit der Formgebung der «Bronze» nichts zu tun haben.

Seltene Zufallsobjekte: antike Gussbirnen

Intakte Funde von «Gussbirnen», d. h. Zwischenprodukte des Wachsausschmelzverfahrens, sind selten. Das liegt in der Natur ihrer Zweckbestimmung: eine temporäre, über das Wachsmodell geformte Lehmhülle, die getrocknet und vorgebrannt werden musste, um schliesslich mit flüssigem Metall gefüllt und alsdann mit dem Hammer wieder zerschlagen zu werden, um an das Gussstück zu gelangen («in der verlorenen Form»). Ich stelle im Folgenden als Vergleiche zum Fundstück aus *Augusta Raurica* einige dieser nicht alltäglichen Formen zusammen (Abb. 8–10), die – aus welchen Gründen auch immer – entweder nie mit Metall gefüllt oder nach dem Eingiessen der Bronze nicht weiterverarbeitet worden sind.

11 De Caro 2000, Abb. 66, oben, und 70, oben.

12 Drescher 1994; Rabeisen 1990; Roussel 1975, Abb. 1, Taf. 1 und 2; Bayley/Budd 1998; Spratling 1979, Abb. 100–195; Zimmer 2003, Taf. 6–10; Popham *et al.* 1980, Taf. 12.

13 Wenige Beispiele bei Martin 1978, Abb. 2–11; 16, und Furger 1995, Abb. 1.

Gussbirnen im Zustand vor dem Guss (Hohlraum)

Analog der Gussbirne aus Augst BL (Abb. 1–6) sind im Folgenden analoge Beispiele chronologisch sortiert. Sie sind in Abb. 8–10 meist in verkleinertem Massstab 1:4 abgebildet:

1 Bagdad, Tell edh-Dhiba'i, Irak

Zylinderförmige, fast intakte (d. h. nicht aufgeschlagene) Gussform des Wachsausschmelzverfahrens aus einem Ensemble altbabylonischer Zeit in Verbindung mit der Zerstörung der Stadt vor 1750 v. Chr. Die Form scheint für den Guss einer Nadel – *«similar to those found on Mesopotamian sites from 3000 B. C.»* – bestimmt gewesen zu sein[14].

2 Hisarlık, Troja, Türkei

Aus den alten Troja-Grabungen Heinrich Schliemanns im 19. Jahrhundert stammt – aus Schicht VII – eine noch immer geschlossene Lehmform von 11 cm Länge, ähnlich der noch älteren aus Bagdad-Tell edh-Dhiba'i, aber grösser. Schicht VII, aus der das Troja-Objekt stammt, wird ins 12./11. Jahrhundert v. Chr. datiert. Alfred Götze beschreibt sie als *«eine sehr wichtige verlorene Form für eine Axt»* und ergänzt: *«Der unförmige Klumpen ... hat ungefähr die Gestalt einer Ocarina und befindet sich schon lange unerkannt in der Schliemann-Sammlung. Seine wahre Natur kam erst zu Tage, nachdem ich ihn kürzlich auseinander sägen liess.»* (gut erkennbar auf Abb. 8)[15].

3.4 Qubbet el-Hawa, Ägypten

Eine äusserst interessante, ja singuläre Serie von Zeugnissen der Metallverarbeitung kam 1969 sekundär deponiert in einem Felsengrab am Nil gegenüber von Assuan zum Vorschein. Sie stammt aus der ägyptischen Spätzeit um 664–332 v. Chr. Nebst Wachsmodellen, Holzmodeln usw. interessieren uns hier die verschiedenen Gussformen, die alle das Wachsausschmelzverfahren belegen, intakt, d. h. unaufgeschlagen und ohne eingegossene Bronze erhalten geblieben sind. Wie die modernen 3D-Durchstrahlungsbilder zeigen, handelt es sich meist um Formen für kleine Götterfiguren. Bei vielen Formen lassen sich die 2–4 Lehmschichten dank unterschiedlicher Körnung und Zusammensetzung in der Computertomographie sehr deutlich unterscheiden. Auch längliche Faser-Hohlräume von pflanzlicher Magerung sind wiederholt zu erkennen. Selten zeichnen sich sogar kleine Reste und Tröpfchen von Bronze an den Innenwänden der Gussformen ab. Sie zeigen, dass immerhin versucht wurde, einige der Formen mit flüssigem Metall auszugiessen[16]. Zwei Beispiele, datiert um 550–400 v. Chr., sind hier abgebildet: eine für eine nur 9 cm grosse Isis mit Kind (Abb. 8,3) und eine für ein noch kleineres Herzamulett (Abb. 8,4)[17].

5 Olympia, Südostbezirk, Griechenland

Die 20 cm hohe Gussbirne aus *«rötlich sandigem Ton»* mit *«kleinen Gipseinsprengseln, die für das schnelle Trocknen des Mantels beim Umformen des Wachsmodells zu sorgen hatten»*, ist *«recht grob geformt»*. Die Form ist *«nie gebraucht»* worden und *«erst im Laufe der Zeit zerbrochen»*. *«Vier schaufel- oder blattartige, flach geformte Gebilde, die nach dem Guss vermutlich noch hätten bearbeitet und montiert werden müssen, sind ineinander verschachtelt und im beutelförmigen Gussmantel unter dem gemeinsamen Einguss vereinigt, heute freilich nur schwer als bereits ausgeschmolzene Hohlformen, fertig für den Bronzeeinguss, negativ in der zerbrochenen Form zu erkennen»*[18]. Vermutlich 5./4. Jh. v. Chr.

6.7 Petra, Ez Zantur, Jordanien

In den Wohnbezirken von Petra ist in den 1990er-Jahren eine nabatäisch-römische Bronzewerkstatt entdeckt und vorbildlich ausgegraben worden. Sie stammt aus dem 1. Jahrhundert n. Chr. und hat zahlreiche Gips- und Lehmformen geliefert. Aus ersteren wurden Wachspositive gewonnen, die dann mit Lehm ummantelt wurden. Mehrere noch intakte, seltsamerweise nie mit Buntmetall ausgegossene Gussformen zeugen von der Produktion von Bronzelampen, Glocken, Zimbeln, Räuchergefässen und Götterstatuetten. Je ein Beispiel – Formen für einen Eros resp. eine Lampe – werden hier abgebildet[19].

8 Silistra-*Durostorum*, Bulgarien

Mehrere Gussformfragmente aus gebranntem Lehm von diesem Fundort bestehen aus zwei deutlich getrennten Hälften. Sie zeugen demzufolge von einem Zweischalenguss mit festen Positivmodellen und nicht vom Wachsausschmelzverfahren. Ein besonders gut erhaltenes Beispiel ist hier abgebildet, obschon es sich nicht um eine «Gussbirne» im engeren Sinne handelt. Es stammt aus dem 2. Jahrhundert n. Chr. Der Ton ist fein und sandig, von kaffeebraun bis dunkelgrau variierend. Die beiden 8,5 cm hohen erhaltenen Formteile sind flach und von tropfenförmigem Umriss. Die Form diente zum Guss eines massiven Ringes, wurde aber nie gebraucht[20].

9.10 Trento-*Tridentum*, Italien

Drei komplette Gussbirnen und ein fragmentiertes Stück[21]. Die Röntgenuntersuchungen belegen, dass eine Lampe (Abb. 9,9), ein Scharnier (Abb. 9,10), ein weiteres mögliches Scharnier oder ein Schlüssel mit grobem Bart sowie ein unbestimmbares Objekt mit Tülle in ihnen hätten gegossen werden sollen. 2. Jahrhundert n. Chr. – Zwei Dinge sind interessant an den Funden aus Trento: Einerseits wurden in die Gussform 1 (Abb. 9,9) offensichtlich zwei Nägel integriert, analog zu jener aus Lyon (Abb. 10,12; dazu unten)! Andererseits sind in Trento einfache Bronzescharniere im Wachsausschmelzverfahren hergestellt worden. Solche massiven Türen- und Kastenscharniere sind aber auch im weniger aufwändigen Zweischalenguss hergestellt worden. Davon zeugen sowohl eine zweischalige Lehmform aus Obernburg D[22] als auch ein Halbfabrikat mit nicht versäuberten Brauen aus Augst[23].

14 Davey 1988, 65 Abb. 6.7.

15 Götze 1902, 368 f.; 408 mit Abb. zu S. 384 (VIIIa).

16 Meinel/Willer 2016, Abb. 7.8 bis 7.15.

17 Fitzenreiter/Auenmüller 2014, Abb. 6, links; Fitzenreiter *et al.* 2014, 116–126 Abb. 8 resp. 14; 232 f. Kat.-Nr. I.13 resp. 237 Kat.-Nr. I.17 (jeweils mit Abb.).

18 Heilmeyer 1969, 20 Abb. 24–26.

19 Grawehr 2010, 190–196 Abb. 197; 198; Taf. 18–21.

20 Iacob *et al.* 2000, 139 (mit Abb.); Elefterescu 2013, Taf. 4.

21 Bassi *et al.* 2002, 583 ff. Abb. 2–8 Taf. 1; Fruet *et al.* 2003, Abb. 1–6.

22 Steidl 2008, 107 Abb. 97.

23 Martin 1978, 113 Abb. 4; Furger 1995, 118 Abb. 1,5.

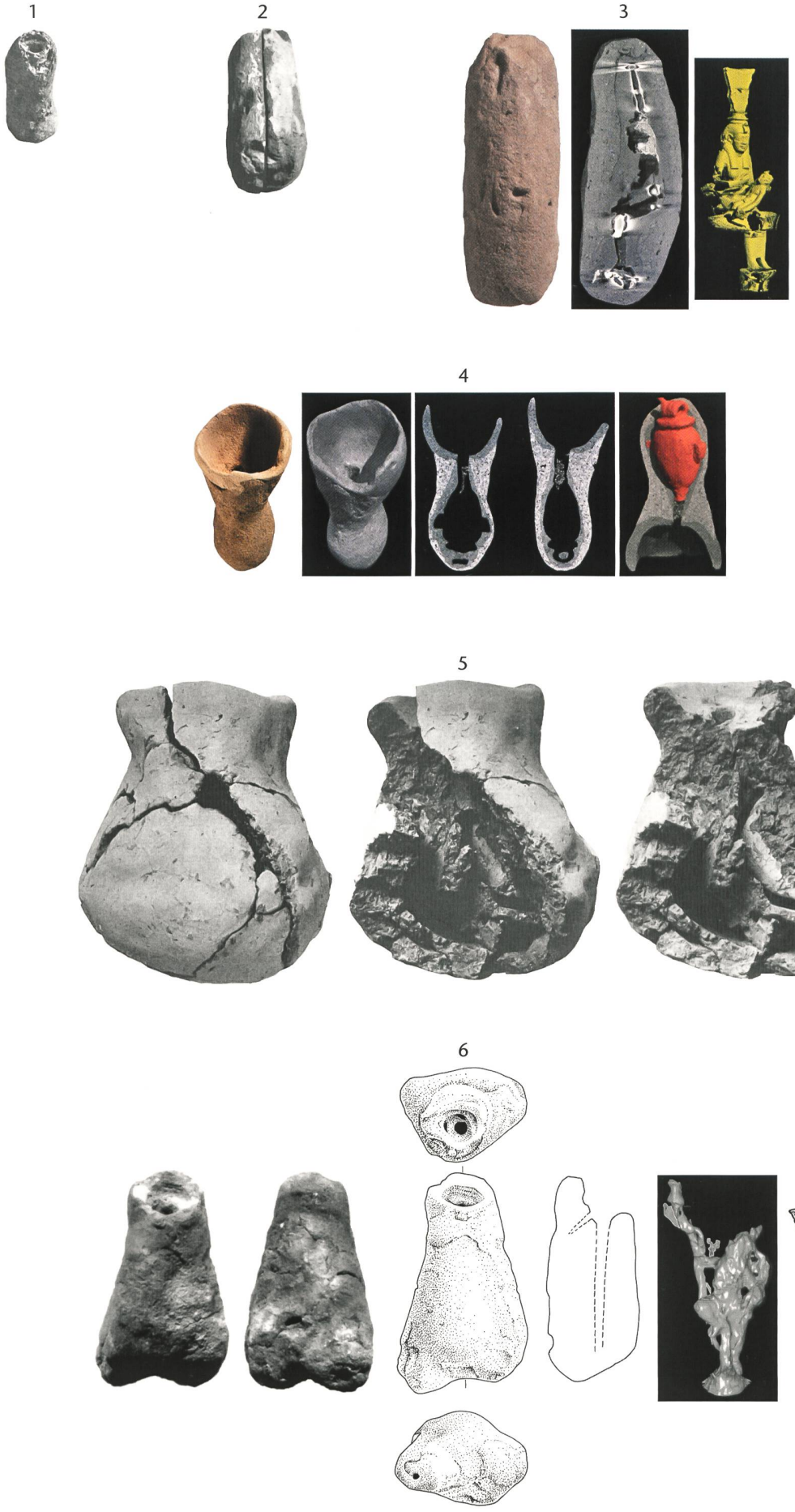


Abb. 8

Vergleichsbeispiele antiker erhaltener Gussbirnen.

1–6 *hohl und nie mit Bronze gefüllt.*

1 *Bagdad, Tell edh-Dhiba'i, Irak*

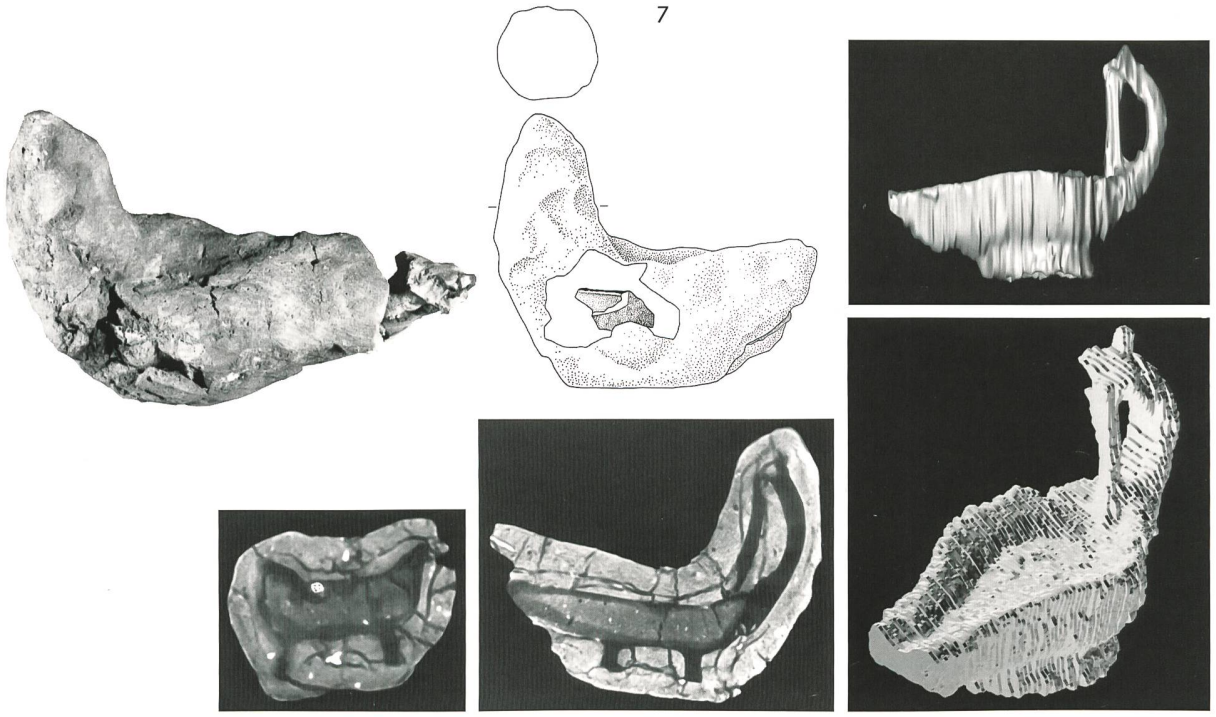
2 *Hisarlık, Troja, Türkei*

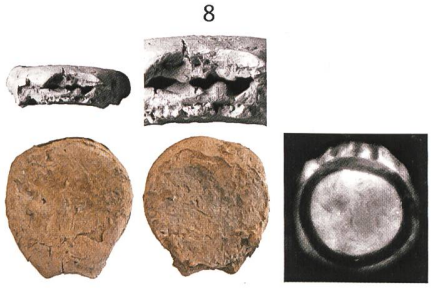
3-4 *Qubbet el-Hawa, Ägypten*

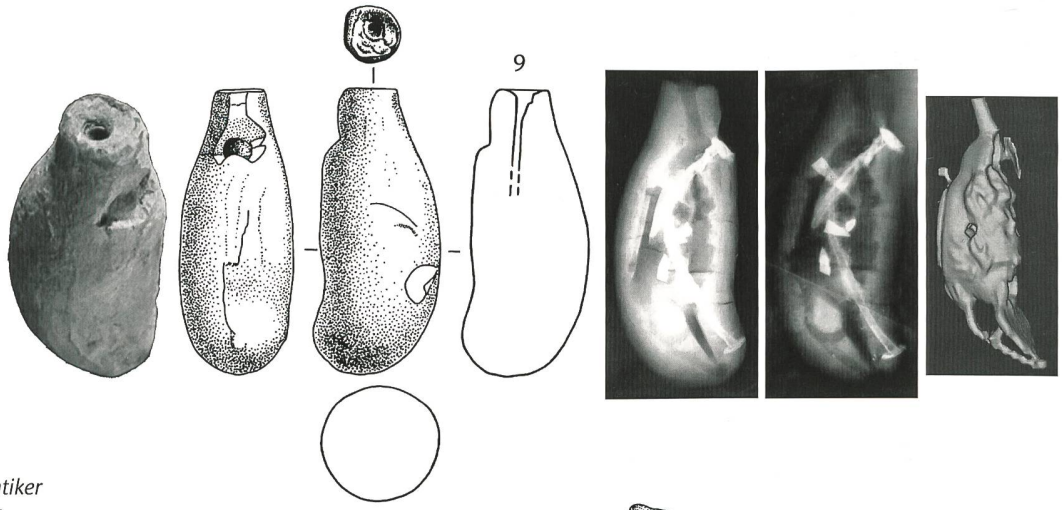
5 *Olympia, Südostbezirk, Griechenland*

6 *Petra, Ez Zantur, Jordanien*

M. 1:4 (Nr. 1-2, 5);
M. 1:3 (Nr. 3-4, 6).







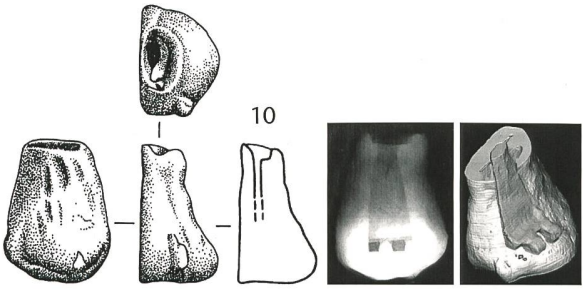


Abb. 9

Vergleichsbeispiele antiker erhaltener Gussbirnen.

7–10 *hohl und nie mit Bronze gefüllt*

7 *Petra, Ez Zantur, Jordanien*

8 *Silistra*-Durostorum, *Bulgarien*

9-10 *Trento*-Tridentum, *Italien*

M. 1:4.

11.12 Lyon-*Lugdunum*, Frankreich

Aus einer schon früh ausgegrabenen Bronzegiesserwerkstätte stammen mehrere Gussformen und Schmelztiegel. Mit Röntgen-Tomographie konnten kürzlich die Hohlräume in den zwei intakten Lehmformen («Gussbirnen») sichtbar gemacht werden. Sie stammen aus dem 1. Jahrhundert n. Chr. In ihrem Innern liessen sich nicht nur zwei äusserst ähnliche Büsten erkennen, sondern auch unterschiedlich feine Lehmschichten sowie Mikro-Hohlräume von einer organischen Magerung des Formlehms. Die Hohlräume hätten im Laufe des Arbeitsprozesses als Büsten des Amor resp. Bacchusknaben ausgegossen werden sollen, wie sie z. B. als Möbelbeschläge beliebt waren. Auffallend sind grobe dicke Nägel, die offensichtlich als Distanzhalter[24] den Tonkern im Kopf der Büsten fixierten und mit den grossen Nagelköpfen neben dem Eingusstrichter im Formlehm verankert waren. Solche Nägel als Distanzhalter scheinen in der römischen Gussformentechnik üblich gewesen zu sein, wie das Beispiel aus Trento, das ebenfalls quer durch die Form geht, zeigt (s. oben). Die beiden Gussformen aus Lyon weisen keine Eingusstrichter auf (ähnlich Abb. 8–9,4–6.9.10), weshalb vermutet wurde, sie hätten mit Lehm zu einer Mehrfachform für den Serienguss zusammengefügt werden sollen[25].

13.14 Autun, Lycée militaire, Frankreich

Im Entferntesten den «Gussbirnen» zuzuschreiben sind komplette Formen für mehrere Objekte in einem Guss, die zwar ebenfalls gebrannt, aber nicht mit Bronze ausgefüllt und daher auch nicht aufgeschlagen sind. Meist enthalten sie einen horizontalen kreisförmigen Hauptgusskanal, von dem drei und mehr Objekthohlräume sich nach unten fortsetzen (zum viel älteren, aber analog konzipierten Stück aus Qubbet el-Hawa (Ägypten), s. unten, Abb. 10,15). Diese Technik scheint sich vor allem in Gallien ausgebreitet zu haben und ist an mehreren Fundstellen nachgewiesen[26]. Als gut erhaltene Beispiele sind hier – stellvertretend für die ganze Gattung – zwei Mehrfachformen aus dem 2./3. Jahrhundert aus Autun abgebildet, eine für fünfzehn Fibeln, die andere für fünf zylindrische Tüllen (Abb. 10,13.14)[27].

24 Zur Funktion von Distanzhaltern im Bronzeguss Furger 2017a, 37 f. Abb. 38; 40; 110.

25 Rabeisen 2015. – Ich danke an dieser Stelle Élisabeth Rabeisen für ihre Beurteilung des Stückes aus Augst und Angaben zu den Formen aus Lyon (E-Mail vom 10.09.2013).

26 Solche Seriengussformen für mehrere identische Objekte wurden in römischer Zeit Standard. Man kennt Beispiele für Ringe, Kugeln, Knöpfe, Tüllen, Fibeln, Riemendurchzüge, Löffel, Messergriffe und Zügelringe.

27 Chardron-Picault/Pernot 1999, 160 ff. Abb. 130 und 131; 166 f. Abb. 135.

28 Rabeisen/Menu 1985, 151 f. Abb. 4.

29 F. Willer: *«... könnte es sich bei den beiden Tiegeln aus Kaarst tatsächlich um latènzeitliche Tiegel handeln. ... eine mehrfache Nutzung aufgrund längerer Hitzeeinwirkung (deutliche Verglasung) wahrscheinlich macht. Hierauf deuten auch die Metalle hin, die wir im Bereich der äusseren Verglasung nachweisen konnten. Die Öffnung zeigt nach der Restaurierung einen passablen Durchmesser, der ein Einfüllen kleinteilig zugerichteten Schmelzgutes ermöglicht»* (E-Mail vom 10.07.2017).

Gussbirnen im Zustand nach dem Guss (mit Metallfüllung, nicht aufgeschlagen)

Trümmerteile von aufgebrochenen Lehmgussformen gibt es unzählige. Oft lassen sich an den Negativabdrücken nicht einmal die Form der Wachsmodelle resp. der Gusstücke erkennen. In einigen Fällen gelang es, in minutiöser Arbeit aus mehreren Formfragmenten das Ganze immerhin soweit zusammenzusetzen, dass die Gesamtform erkennbar und das Gussobjekt bestimmbar wurde. Nicht in die Kategorie dieser zahlreichen Werkstattabfälle gehören die seltenen Halbfabrikate, nämlich Gussformen, die nicht aufgeschlagen sind, in denen aber noch die eingegossene, erstarrte Bronze steckt. Wieso solche Halbfabrikate überhaupt in den Boden gelangten, bleibt in vielen Fällen unbekannt. In einigen Fällen zeigt sich jedoch, dass entweder die Gussform Fehler aufwies oder die Gussspeise die Form nur unvollständig füllte. Dies kann entweder durch zu frühes Erstarren infolge zu niedriger Schmelztemperatur verursacht sein oder ganz einfach, weil der Giesser zu wenig Metall im Tiegel hatte.

15 Qubbet el-Hawa, Ägypten

Aus demselben Ensemble des 6./5. Jahrhunderts v. Chr. wie mehrere Gussbirnen (s. oben, mit Abb. 8,3.4) stammt auch eine sehr komplexe Seriengussform, in der 34 kleine, flache Wachsmodelle von Osirisstatuetten an einem Wachs-«Baum» arrangiert waren. Ein Grossteil der Form ist mit Bronze gefüllt. Vom vertikalen Einguss führt ein 6,3 cm langer Hauptgusskanal horizontal durch die ganze Form und verzweigt sich beidseitig in insgesamt zwölf Querarme. An diesen «hängen» kopfüber je zwei oder drei Statuetten von je etwa 4,5 cm Höhe. Sie sind von einer feinen hellen Tonmasse umgeben; weiter aussen besteht die Form aus gröberem Lehm und ganz aussen aus Formlehm mit viel Sandmagerung. Mit Ausnahme von sechs Figuren am hintersten, vom Eingusstrichter am weitesten entfernten Querkanal, sind alle Gusskanäle und Figurennegative mit Bronze ausgefüllt. Wieso dennoch die Form nicht aufgeschlagen und die Osirisfigürchen nicht versäubert wurden, bleibt unklar.

16 Alise-Sainte-Reine, *Alesia*, Frankreich

Im reichen Fundgut von *Alesia* tritt auch eine 2,8 cm kleine Lehmgussform auf, in der noch das Messing – wohl ein Harnisch-Beschlagteil – steckt. Sie gehört ins 1./2. Jahrhundert n. Chr. Ob es sich um eine Form des Wachsausschmelzverfahrens handelt, ist anhand der Abbildungen nicht eindeutig zu erschliessen[28].

17 Kaarst, Deutschland

Die erst knapp publizierte Gussbirne ist intakt wie das etwas grössere Stück aus *Augusta Raurica* und stammt aus einem unklaren Fundzusammenhang mit Strukturen der Bronze-, Eisen- und Römerzeit. Frank Willer schreibt mir dazu: «*Der Innerraum* [des Objekts] *zeigt noch Reste vom Schmelze, die sich beim Ablegen des Tiegels* [der Autor vermutet, es handle sich um eine Gussform[29]] *nach der Nutzung an einer Seite gesammelt haben. Teile sind auch in die poröse Wandung ... eingedrungen* (Abb. 10,17 rechts). *(...)*

Abb. 10

Vergleichsbeispiele antiker erhaltener Gussbirnen.

11–14 hohl und nie mit Bronze gefüllt;

15–17 nach dem Guss, nicht aufgebrochen;

18 Gipsform nach dem Guss.

*11-12 Lyon-*Lugdunum, *Frankreich*

13-14 Autun, Lycée militaire, Frankreich

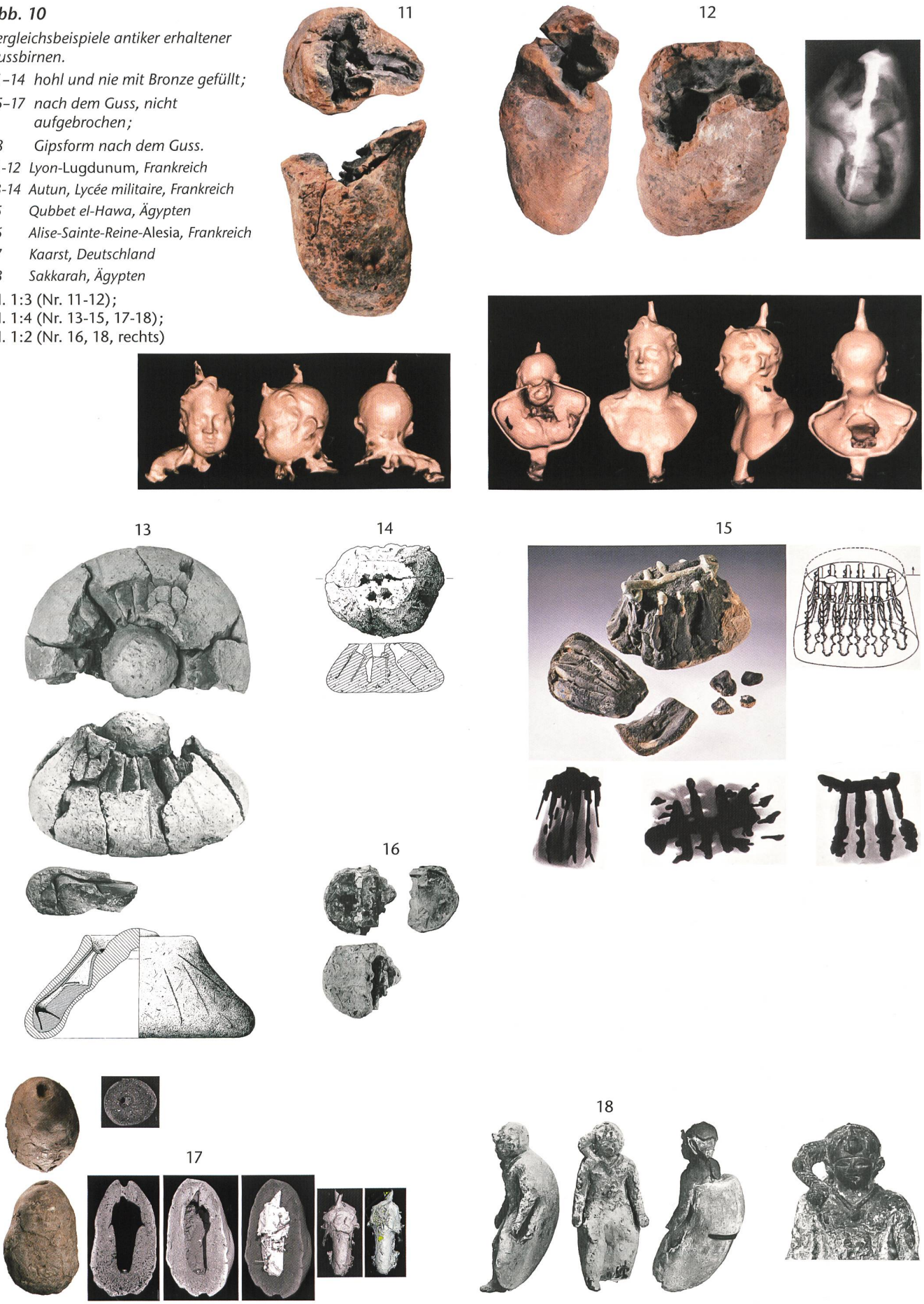
15 Qubbet el-Hawa, Ägypten

*16 Alise-Sainte-Reine-*Alesia, *Frankreich*

17 Kaarst, Deutschland

18 Sakkarah, Ägypten

M. 1:3 (Nr. 11-12);
M. 1:4 (Nr. 13-15, 17-18);
M. 1:2 (Nr. 16, 18, rechts)



Zudem liessen sich Zuschläge organischer Bestandteile anhand der ausgebrannten Hohlkanäle nachweisen, die im Ct-Bild [Computertomographie-Bild] *ja noch sehr gut zu erkennen sind. Die Höhe des Tiegels beträgt 85 mm*». Die feinen Hohlkanäle stammen von verkohlten Pflanzenfasern, die «*zwecks besserer Gasableitung*» im Formlehm eingearbeitet worden sind. Die rechts aussen in der Abb. 10,17 gelb markierten Schmelzreste sollen sich «*nach dem Guss gesammelt haben*»[30]. – Ob der Fund von Kaarst eine Gussform oder ein geschlossener Schmelztiegel ist, muss letztlich offenbleiben. Für einen Tiegel sprechen die Gussreste im Innern, für eine Gussform die äussere Gestalt der «Birne». Gegen einen Tiegel spricht die amorphe, sehr unebene Form des Hohlraums, gegen eine Gussform sprechen die geringen Metallreste im Innern, deren Präsenz kaum zu erklären sind.

Gussform aus Gips, teilweise aufgeschlagen nach dem Guss

Gipsformen aus Fundkontexten des Giesserhandwerks sind in der Regel Matrizen zum Ausgiessen oder Abformen mit flüssigem resp. weichem (Bienen-)Wachs. Die Gipsnegative erlauben es, relativ rationell mehrere Wachsmodelle für den Serienguss identischer Formen zu erzeugen[31]. Erhaltungsbedingt sind solche Funde relativ selten. Noch seltener sind Gipsformen, in welche die heisse Gussspeise direkt gegossen wurde. Das Verfahren ist auch heute noch sehr aktuell, so bei Zahntechnikern und Goldschmieden. Der dabei verwendete, hitzebeständige, passgenaue und Schwund-arme Spezialgips wird Einbettmasse genannt und besteht aus einem Gemisch von Gips und fein gemahlener Schamotte (resp. chemischen Substanzen in modernen Produkten)[32]. Damit Gipsformen, die immer vorgeheizt werden, beim Guss nicht bersten, werden sie heutzutage in eine Küvette gegossen – einen Zylinder aus Edelstahl. Eine analoge Stützfunktion gegen das Auseinanderbrechen der Gussform muss auch bei antiken Gipsformen wie beim unten angeführten Beispiel (Abb. 10,18) angenommen werden. Denkbar ist es, dass man die getrocknete und vorgeheizte Gipsform in einen Kasten gestellt und ringsum mit Sand festgestopft hat, um direkt danach zu giessen.

18 Sakkarah, Ägypten
Ein 13,5 cm hoher, in Bronze gegossener Horus steckt noch in einer Gipsform. Der Altfund aus Sakkarah stammt vermutlich aus dem 2.–1. Jahrhundert v. Chr. und ist schon früh nach seiner Entdeckung partiell verändert worden: Um zu erkennen, was sich im Gipsmantel versteckt, hatte man Teile des Gipses um die Kopfpartie sehr sorgfältig entfernt (Abb. 10,18, vergrösserter Ausschnitt 1:2 rechts). Der Gips ist «*mixed with a certain amount of sand*» und hatte dieselbe Funktion wie normalerweise der Formlehm, ebenfalls im Wachsausschmelzverfahren. Details am freigelegten Bronzeguss zeigen, dass es sich wohl um einen Fehlguss handelt, der deshalb auch nicht sogleich aus der Form präpariert wurde: «*The cheek shows an imperfection, a thread of bronze in relief, where a flaw in the mold permitted the metal to trickle down; this might have been removed, but the ancient workman went far enough to discover serious weakness in the walls of the casting and abandoned it. That the piece was not broken up and the metal melted and used again is due to some fortuitous circumstance which escapes our guess.*» Erst nachdem der Gips von der ganzen Kopf- und Brustpartie entfernt war «*did it appear what complete disaster had befallen the casting. Some force when the bronze was cooling had caused it to burst, a part the walls of the head had fallen into the interior, revealing, interestingly for us, the gray, sandy core and the thinness of the bronze walls. Thus it is evident that the figure was hollow and the metal used with great economy*»[33].

Schlussbemerkungen

Wir dürfen dankbar sein, dass uns Archäologen heute die Physik millimetergenaue Methoden zur Verfügung stellt, die es erlauben, in das verborgene Innere unserer Fundobjekte zu «schauen». Damit geben sich einerseits Materialstrukturen und verborgene Schichten zu erkennen, die konventionell nur mit objektzerstörenden Schnitten sichtbar gemacht werden könnten. Andererseits lassen sich digital errechnete plastische Körper von Hohlräumen darstellen, die nur durch Ausgiessen und Zerstören des Fundgegenstandes zu erlangen wären. Computertomographisches Schichtröntgen und «Neutron Scattering and Imaging» erlauben es erfreulicherweise, ohne Beeinträchtigung oder gar Zerstörung der Originale deren Strukturen zu erforschen[34].

30 Meinel/Willer 2016, 84 Abb. 7.4. – Inventar OV 2008/1050. Fundstelle 1185-44. – Den Hinweis auf das Stück verdanke ich Frank Willer. Von ihm und Michael Schmauder erhielt ich die Bildvorlagen für Abb. 10,17 und Auskünfte zum Objekt und seinem Fundort (E-Mails vom Dezember 2013 und Juli 2017 [u. a. mit unpubliziertem Grabungs-Abschlussbericht von I. M. Grohmann, 2010]).

31 Beispiele etwa bei Grawehr 2010, 113; 129 ff.; 167 ff. (mit älterer Lit.). – Zur Methode: Furger 2017a, 43–47 Abb. 48–58 (Negativformen aus Hartwachs); 47 Anm. 142–143 (Negativformen aus Gips).

32 Ich danke dem Goldschmied Christoph Jäggy für diesbezügliche Hinweise.

33 Williams 1919, Abb. 1–5.

34 Mein grosser Dank geht an Eberhard Lehmann und David Mannes vom Paul Scherrer Institut in Villigen (AG). Sie haben es ermöglicht, mit beiden Methoden römische Gussformen und Schmelztiegel aus *Augusta Raurica* (Augst, BL) zu «durchleuchten» und deren inneren Aufbau zu erkennen (Beispiele abgebildet in Furger 2017b, Abb. 22 und 49–52).

Bibliographie

Monographien und Artikel

Auenmüller *et al.* 2014
J. Auenmüller *et al.*, Werkstattfunde eines ägyptischen Bronzegiessers der Spätzeit – Ein einzigartiges Konvolut im Kontext aktueller Forschung, *Restaurierung und Archäologie* 7, 2014, 1–25.

Bailey 1996
D. M. Bailey, *Catalogue of the Lamps in the British Museum 4. Lamps of Metal and Stone, and Lampstands*, London, 1996.

Bassi *et al.* 2002
C. Bassi *et al.*, Nuove testimonianze dell'attività di bronzisti dall'antica Tridentum, *in:* A. Giumlia-Mair (Hrsg.), *I bronzi antichi. Produzione e tecnologia*. Atti del XV Congresso Internazionale sui Bronzi Antichi (Grado-Aquileia 22–26 maggio 2001) (*Monographies Instrumentum* 21), Montagnac, 2002, 581–590.

Bayley/Budd 1998
J. Bayley, P. Budd, The Clay Moulds, *in:* H. E. M. Cool, C. Philo (Hrsg.), *Roman Castleford. Excavations 1974–85, Vol. I. The Small Finds* (*Yorkshire Arch.* 4), Wakefield, 1998, 195–222.

Chardron-Picault/Pernot 1999
P. Chardron-Picault, M. Pernot (Hrsg.), *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun. Le site du Lycée militaire* (*Documents d'archéologie française* 76), Paris, 1999.

Davey 1988
C. J. Davey, Tell edh-Dhiba'i and the Southern Near Eastern Metalworking Tradition, *in:* R. Maddin (Hrsg.), *The Beginning of the Use of Metals and Alloys*. Papers from the Second International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (Zhengzhou, China, 21-26 October 1986), Cambridge, 1988, 63–68.

De Caro 2000
S. De Caro (Hrsg.), *Il Gabinetto segreto del Museo Archeologico nazionale di Napoli. Guida alla collezione*, Napoli, 2000.

Deschler-Erb *et al.* 2005
E. Deschler-Erb, M. Guggisberg, K. Hunger, A. Kaufmann-Heinimann, E. Lehmann, Eine Gorgo im Lararium? Zu einem Ensemble von Bronzestatuetten aus dem römischen Baden, *Jahresbericht der Gesellschaft Pro Vindonissa*, 2005, 3–32.

Drescher 1994
H. Drescher, Römische Giessereifunde vom Auerberg, *in:* G. Ulbert, *Der Auerberg I. Topographie, Forschungsgeschichte und Wallgrabungen* (*Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte* 45), München, 1994, 113–171.

Elefterescu 2013
D. Elefterescu, Evidence of Bronze Working at Durostorum, *Acta Musei Napocensis* 50/1, 2013, 181–222.

Feugère 1977
M. Feugère, Le mobilier métallique et les petits objets, *in:* M. Genin, M.-O. Lavendhomme, *Rodumna (Roanne, Loire), le village gallo-romain. Évolution des mobiliers domestiques* (*Documents d'archéologie française* 66), Paris, 1997), 59–65.

Fitzenreiter/Auenmüller 2014
M. Fitzenreiter, J. Auenmüller, Cast Away. Gussformen von der Qubbet e-Hawa / Ägypten, *Antike Welt* 6, 2014, 58–64.

Fitzenreiter *et al.* 2014
M. Fitzenreiter *et al.* (Hrsg.), *Gegossene Götter. Metallhandwerk und Massenproduktion im Alten Ägypten*, Rahden, 2014.

Fruet *et al.* 2003
S. Fruet, M. Gramola, S. Zamboni, Analisi radiologiche per lo studio della tecnica di produzione di una lucerna in bronzo di età Romana, *in:* P. Bellintani, L. Mser (Hrsg.), *Archeologie sperimentali. Metodologie ed esperenze fra verifica, riproduzione, comunicazione e simulazione*. Atti del convegno Comano Terme – Fiavè (Trento, Italy; 13–15 settembre 2001), Trento 2003, 447–449.

Furger 1995
A. R. Furger, J. Riederer, *Aes* und *aurichalcum*. Empirische Beurteilungskriterien für Kupferlegierungen und metallanalytische Untersuchungen an Halbfabrikaten und Abfällen aus metallverarbeitenden Werkstätten in Augusta Raurica, *Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst* 16, 1995, 115–180.

Furger 2017a
A. R. Furger, *Der vergoldete Buddha. Traditionelles Kunsthandwerk der Newar-Giesser in Nepal*, Basel, 2017. [auch: *The Gilded Buddha. The Traditional Art of the Newar Metal Casters in Nepal*, Basel, 2017].

Furger 2017b
A. R. Furger, mit Beitr. von M. Helfert, *Antike Schmelztiegel. Archäologie und Archäometrie der Funde aus Augusta Raurica. Beiträge zur Technikgeschichte 1*, Basel 2017.

Götze 1902
A. Götze, Die Kleingeräte aus Metall, Stein, Knochen, Thon und ähnlichen Stoffen, *in:* W. Dörpfeld, *Troja und Ilion. Ergebnisse der Ausgrabungen in den vorhistorischen und historischen Schichten von Ilion 1870–1894*, Athen 1902, 320–423.

Grawehr 2010
M. Grawehr, *Eine Bronzewerkstatt des 1. Jhs. n.Chr. von ez Zantur in Petra/Jordanien. Petra ez Zantur 4. Ergebnisse der Schweizerisch-Liechtensteinischen Ausgrabungen* (*Terra Archeologica* 6; *Monographien der Schweizerisch-Liechtensteinischen Stiftung für Archäologische Forschungen im Ausland, SLSA*), Mainz, 2010.

Heilmeyer 1969
W.-D. Heilmeyer, Giessereibetriebe in Olympia, *Jahrbuch des Deutschen Archäologischen Instituts* 84, 1969, 1–28.

Iacob *et al.* 2000
M. Iacob, D. Paraschiv, G. Nuþu, M. Mocanu (Hrsg.), *Romanii în Pontul stâng în timpul Principatului. The Romans in the Left Pontus during the Principate*, Tulcea, 2000.

Johannsen 1925
O. Johannsen, *Biringuccios Pirotechnia. Ein Lehrbuch der chemisch-metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens aus dem 16. Jahrhundert*, Braunschweig, 1925.

Katona *et al.* 2007
I. Katona *et al.*, From Furnace to Casting Moulds: an Exceptional 14th Century Copper-Metallurgy Workshop Studied in the Light of Refractory Ceramic Materials, *in:* Y. Waksman (Hrsg.), *Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics*. Papers presented at EMAS'05, 8th European Meeting on Ancient Ceramics (Lyon 2005), Oxford, 2007, 161–167.

Kaufmann-Heinimann 1977
A. Kaufmann-Heinimann, *Die römischen Bronzen der Schweiz 1. Augst und das Gebiet der Colonia Augusta Raurica*, Mainz, 1977.

Knöpfli 1997
H. Knöpfli, Lost-Wax Casting, *in:* H. Knöpfli, *Crafts and Technologies: Some Traditional Craftsmen of the Western Grasslands of Cameroon* (*British Museum Occasional Papers* 107), London, 1997, 31–52.

Kunkel 1732
J. Kunkel, *Der curieusen Kunst- und Werck-Schul. Erster Theil*, Nürnberg, 1732.

Leibundgut 1976
A. Leibundgut, *Die römischen Bronzen der Schweiz 2. Avenches*, Mainz, 1976.

Martin 1978
M. Martin, Römische Bronzegiesser in Augst BL, *Archäologie der Schweiz* 1, 1978, 112–120.

Meinel/Willer 2016
D. Meinel, F. Willer, Röntgen-Mikro-Computertomographie (µCT) – Virtuelle Freilegung innenliegender Strukturen, *in:* M. Fitzenreiter, F. Willer, J. Auenmüller (Hrsg.), *Materialien einer Gusswerkstatt von der Qubbet el-Hawa*, Berlin, 2016, 82–117.

Modarressi-Tehrani 2009
D. Modarressi-Tehrani, *Untersuchungen zum früheisenzeitlichen Metallhandwerk im westlichen Hallstatt- und Frühlatènegebiet* (*Bochumer Forschungen zur ur- und frühgeschichtlichen Archäologie* 2), Rahden, 2009.

Popham *et al.* 1980
M. R. Popham *et al.*, *Lefkandi I. The Iron Age. Text. The Settlement* (*The Annual of the British School at Athens, Suppl. Vol.* 11), Oxford, 1980.

Rabeisen 1990
E. Rabeisen, L'art du bronzier: maîtrise d'une tradition, *in:* M. Jannet-Vallat (Hrsg.), *Il était une fois la Côte-d'Or... 20 ans de recherches archéologiques*, Dijon, 1990, 126–131.

Rabeisen 2015
E. Rabeisen, Bronzes figurés de Lyon. Les secrets d'un moule de bronzier intact, *in:* S. Raux, I. Bertrand, M. Feugère (Hrsg.), *Actualité de la recherche sur les mobiliers non céramiques de l'Antiquité et du haut Moyen Âge*, Actes de la table ronde européenne Instrumentum (Lyon (F, Rhône), 18–20 octobre 2012) (*Monographies Instrumentum* 51; *Mémoire* XLIX), Montagnac/Chauvigny, 2015, 625–638.

Rabeisen/Menu 1985
E. Rabeisen, M. Menu, *Métaux et alliages des bronziers d'Alésia* (*Recherches gallo-romaines* 1; *Notes et documents des Musées de France* 9), Paris, 1985, p. 141–182.

Roussel 1975
L. Roussel, Mâlain – Mediolanum. Un dépotoir de bronzier, *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est* 26, 1975, 293–300.

Spratling 1979
M. G. Spratling, The Debris of Metal Working, *in:* G. J Wainwright, *Gussage All Saints. An Iron Age Settlement in Dorset* (*Arch. Reports* 10), London, 1979, 125–149.

Steidl 2008
B. Steidl, *Welterbe Limes. Roms Grenzen am Main* (*Ausstellungskataloge der Archäologischen Staatssammlung* 36), München, 2008.

Williams 1919
C. R. Williams, A Bronze Figure of Horus in its Original Mold, *The New-York Historical Society Quarterly Bulletin* 3/1, 1919, 3–7.

Woodward 1795
W. W. Woodward, *One Thousand Valuable Secrets, in the Elegant and Useful Arts, Collected from the Practise of the Best Artists*, Philadelphia, 1795[1].

Zimmer 2003
G. Zimmer, Hellenistische Bronzegusswerkstätten in Demetrias, *in:* A. Furtwängler (Hrsg.), *Demetrias 6*, Würzburg, 2003, 9–82.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–6
Fotos Alex R. Furger; Zeichnungen Felicitas Prescher, Augusta Raurica; Röntgenbilder Maria-Luisa Fernandez, Augusta Raurica; CT-Schichtröntgenbilder und digitale Hohlraumrekonstruktion David Mannes, Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen (AG).

Abb. 7
Reproduziert nach der in den Anmerkungen 8-11 zitierten Literatur.

Abb. 8-10
Reproduziert nach der in den Anmerkungen 14-33 zitierten Literatur.