6

KuBA

Kölner und Bonner Archaeologica

2016

Habelt-Verlag · Bonn

K ölner

u nd

B onner

A rchaeologica

KuBA 6/2016

Habelt-Verlag · Bonn

Kölner und Bonner Archaeologica
KuBA 6/2016

Herausgeber
Martin Bentz – Dietrich Boschung – Eckhard Deschler-Erb –
Michael Heinzelmann – Eleftheria Paliou – Frank Rumscheid

Redaktion, Satz und Gestaltung
Jan Marius Müller

Umschlaggestaltung
Jan Marius Müller

Fotonachweis Umschlag
Jutta Schubert (Akademisches Kunstmuseum der Universität Bonn)

Alle Rechte sind dem Archäologischen Institut der Unversität zu Köln und der
Abteilung für Klassische Archäologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
vorbehalten. Wiedergaben nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

Hinweise für Autoren sind unter <http://www.kuba.uni-bonn.de/de/autoren> einsehbar.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detailliertere bibliografische Daten sind im Internet über ‹http://dnb.dnb.de› abrufbar.

© 2017 by Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

ISBN 978-3-7749-4105-2

Für die anteilige Übernahme der Druckkosten dieses Bandes danken wir der HypZert GmbH,
der Sparkasse KölnBonn sowie dem Förderverein des Akademischen Kunstmuseums Bonn e. V.

Beiträge

Frank Hulek – Dirk Kirchner, Nachstellung der Verwitterung an Marmorplatten aus dem hocharchaischen Tempel am Çatallar Tepe (Türkei) 5

Fabian Richter, Zur Prägung von Alexander-Tetradrachmen in Pamphylien und der Datierung des Gegenstempels ‚Anker' auf pamphylischen Münzen 15

Uta Schröder, Die Wassermühle des Rimburger *vicus* 35

Michael Drechsler – Eckhard Deschler-Erb, Provinzialrömische Archäologie in Köln und Deutschland in den letzten 20 Jahren (1995–2015) 45

Projektberichte

Martin Bentz – Linda Adorno – Jon Albers – Annkatrin Benz –Axel Miss – Jan Marius Müller, Das Handwerkerviertel von Selinunt – Vorbericht zu den archaischen Strukturen der Kampagnen 2010–2016 59

Jon Albers – Martin Bentz – Christian Briesack – Alessandra Coen – Fernando Gilotta – Robinson P. Krämer – Marina Micozzi, Grabkontexte aus der Nekropole von Monte Abatone in Cerveteri. Eine Summerschool der Universität Bonn und der Seconda Università degli Studi di Napoli 75

Lars Heinze – Markus Helfert, CeramEgypt: Towards a broader application of the portable ED-XRF on Egyptian pottery of Greek and Roman times 85

Matthias Nieberle – Manuela Broisch – Sabrina Geiermann – Jost Broser, Neue Forschungen zum antiken Baiae – Teil I 91

Karl Oberhofer, Brigantium/Bregenz (A) – Vorbericht zu den Grabungen im Forum 2016 117

Stefan Pircher, INTRA MUROS – Vorbericht zur ersten Grabungskampagne des Archäologischen Instituts der Universität Köln in der Insula 22 in der Colonia Ulpia Traiana 131

Sabine Deschler-Erb – Örni Akeret – Simone Häberle, Gemeinsam stark – Der archäobiologische Feldkurs in Xanten 2016 139

Sebastian Ristow – Daniel Steiniger, Forschungen an den Bronzen des Aachener Domes 143

Sammlungen

Bernhard Schmaltz, Der Thron in Bildern attischer Grabmäler klassischer Zeit 169

Peter Noelke mit Norbert Hanel, Die Antikensammlung der Grafen von Manderscheid-Blankenheim in der Eifel 201

Karolina Kaderka – Paul Scheding, Die Skulpturensammlung des Paul Marguerite de La Charlonie im Museum von Laon 221

Katharina Lorenz – Caterina Parigi – Philipp Gross, Die römischen Marmorfunde aus dem Heiligtum der Diana Nemorensis in Nottingham. Ein Bericht zur Fotokampagne von 2016 225

Erika Zwierlein-Diehl, The Snake-legged god on the Magical Gems: Reflections on Nature, Greek, Egyptian and Jewish Influences, and the Afterlife 235

ArchäoInformatik

Caterina Parigi – Michael Remmy, Hannestad@ARACHNE. Ein privates Fotoarchiv im Wissensnetz 259

Forschungen an den Bronzen des Aachener Domes

Sebastian Ristow – Daniel Steiniger

In many aspects, analysis with portable XRF on the bronzes of the Aachen cathedral confirm previous archaeological and art-historical assumptions. Most important is that the Carolingian bronze lattices and doors have strong similarities in the composition of their alloys. It can be assumed, that they were produced in Aachen in the workshop of non-ferrous metals, which has been excavated in 1911 on the Katschhof. It is also highly probable that the bronze castings were produced between 793 and 813, which is the maximum length of the period for construction of the Church of the Virgin Mary.

In addition, it can be concluded, that according to the main and trace elements, the use of larger amounts of scrap metal can be excluded, because very specific types of ore were used. This suggests a well-organized Carolingian infrastructure in mining and metallurgy, which supplied the large-scale building project in Aachen with the necessary raw materials.

While the monumental bronze of the bear can be traced to antiquity, the pine tree is likely to be assigned to the beginning of the high middle age period. In the western entrance room of the cathedral fragments of metalworking debris were excavated, which seem to belong to later activities. The results obtained with the pXRF confirm the results of previous analysis by Hans Drescher and Josef Buchkremer and extend them considerably. For the future it would be desirable to enlarge the database by a wider application of this non-destructive method, since it protects the monuments and to support and verify the considerations presented here, by the aid of further measurements with other analytical methods.

Einleitung

Forschungsprogramm am Aachener Dom

Seit 2010 ist in Aachen zur Erforschung der Kernpfalz Karls des Großen von Seiten der Stadt und der RWTH sowie vom LVR-Amt für Bodendenkmalpflege und dem LVR-Amt für Denkmalpflege und schlussendlich auch unter Beteiligung der Universität zu Köln ein breit angelegtes Programm mit zahlreichen Forschungsfeldern umgesetzt worden. Neben den historischen und bauforscherischen Aktivitäten nimmt dabei die Archäologie besonderen Raum und Bedeutung ein. Ein Großteil der Kernpfalz zwischen dem Dom und dem heutigen Rathaus am Katschhof im Zentrum von Aachen wurde bereits 1910–1914 durch den Architekten Erich Schmidt, zum Teil großflächig, ergraben. Seine Methodik war damals durchaus modern. Es gab eine Dokumentation in Tagebuchform, mittels Fotos, Profil- und Planazeichnungen, Fundbergung und Verwahrung sowie Probenentnahmen. Allerdings wurde ein Großteil dieser Gegenstände und Daten im zweiten Weltkrieg und danach vernichtet. Aus den Resten der Dokumentation konnte aber immerhin das Bild der inneren Pfalzbauten in seiner relativen und absoluten Chronologie neu gezeichnet werden[1]. Dazu wurden auch kleinräumige Aktivitäten der Nachkriegszeit herangezogen und – soweit bereits bewertungsfähiges dokumentiertes Material vorgelegt worden ist – die in den letzten Jahren durch die Stadtarchäologie Aachen, vorzugsweise die Grabungen von Andreas Schaub, erbrachten Funde und Befunde. Nachdem nunmehr erstmals ein relativchronologisch differenzierter Befundplan vorliegt, widmet sich ein letzter Arbeitsschritt den Spuren am heutigen Dom, wie z. B. den als Erdbebenschäden zu bewertenden Abrissen des Daches vom Gebäude des Oktogons[2] und seiner Ausstattung, etwa mit einem aufwändigen Kuppelmosaik[3]. Inhalt ist aber auch die Bewertung der mobilen Denkmäler, wie des Thrones, für den ein mögliches Szenario der ersten Aufstellung entwickelt worden ist (**Abb. 1**), der Altarplatten

1 Zusammenfassend: Ristow 2016.

2 Konnegen/Maintz 2017, 39–43.

3 Giertz/Ristow 2013.

Abb. 1: Aachener Dom, Rekonstruktion zur Stellung des Thrones im 9. Jahrhundert näher am Brüstungsgitter und ohne Sockel.

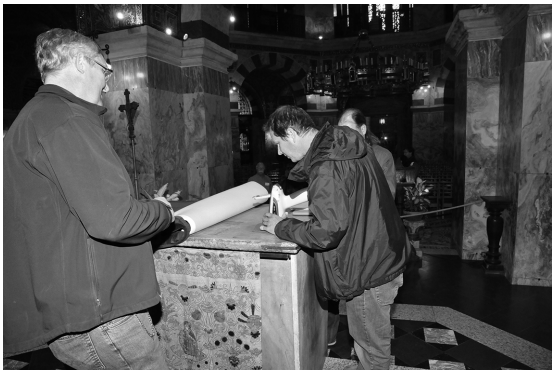


Abb. 2: Aachener Dom, Hauptaltar, Team bei der Untersuchung der Altarplatte, die aus der Marienkirche Karls des Großen stammen dürfte.

(**Abb. 2**), der Brüstungsgitter auf der Empore, der Türen und von den Bronzegüssen des Pinienzapfens und der Bärin, die seit der Nachkriegszeit des vergangenen Jahrhunderts in der Westvorhalle ihren Platz gefunden haben. Um diese Großbronzen geht es im folgenden Forschungsbericht.

Fragestellung und Methodik der Bronzeanalytik

Die Fragestellung, die die Arbeitsgruppe „Bronzeanalytik Aachen“[4] verfolgte, hatte zum Ziel, die chemische Zusammensetzung der genannten Großbronzen in der Aachener Marienkirche zu bestimmen, um damit gießereispezifische Arbeitsabläufe und herstellungstechnische Prozesse sowie Art und Herkunft der verwendeten Metalle näher festlegen zu können. Durch den Vergleich von Legierungsbestandteilen und Spurenelementen in den Bronzen können Datierungshinweise gewonnen sowie herstellungstechnische Traditionslinien herausgearbeitet werden, die sich durch Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Aachener Bronzen mit anderen Großbronzen früherer und späterer Zeitstellung ergeben[5].

Schon vor mehr als hundert Jahren wurden chemische Analysen an der „Wolfstür“, dem monumentalen Haupteingangsportal des Aachener Doms und an einzelnen Gittern auf der Empore des Oktogons durchgeführt (**Tab. 1**)[6]. Auch vorher

4 Helmut Maintz, Sebastian Ristow, Daniel Steiniger. – Erster Bericht: Ristow/Steiniger 2017a.

5 Willer/Willer 2010; Gebrochener Glanz 2014; Willer u. a. 2016.

6 1908 untersuchte Geheimrat Prof. A. Classen (auch Claßen) die Bronzegitter: Peltzer 1908, 251. – Mehr Analysen fertigten Dr. Krings und Dr. Wesly 1924 an: Buchkremer 1924, 12; vgl. auch Goldschmidt 1926.

Aachen	Cu	Sn	Pb	Ag	Zn	Fe	Sum Gew%
Wolfstür, Nordflügel,oben	85,30	9,60	3,50	Spur	0,30		98,70
Wolfstür, Nordflügel,unten	85,90	9,50	3,60			0,60	99,60
Wolfstür, Südflügel	85,60	8,97	4,50			0,40	99,47
Wolfstür, Löwenkopf	86,20	7,40	3,60		*	*	99,00
Wolfstür, sog. Teufelsdaumen	86,20	9,00	3,30		Spur		98,50
Brüstungsgitter, südliches (Gitter 3)	87,80	9,30	2,50		0,30	0,10	100,00
Brüstungsgitter, südwestliches (Gitter 2)	87,50	9,00	2,50		0,50	0,10	99,60

Tab. 1: Aachen, Marienkirche. Metallanalysen nach Buchkremer 1924, 12 in Gew%. Zur Analysemethode liegen keine Angaben vor. * bedeutet Fe + Zn: 1,8 Gew%.

Abb. 3: Aachen, Katschhof, Rekonstruktionsvariante für die karolingerzeitliche Buntmetallschmelz- und -gussanlage.

hatte man vielfach über die Herstellungstechnik, Zusammensetzung und die Herkunft des Metalls spekuliert. Im Wesentlichen gab es dazu zwei Ansichten:

1. Es handele sich um Importe, die Karl der Große – so nahm man nach den Schriftquellen an, die von der Überführung steinerner Spolien aus Italien und konkret aus Ravenna berichten[7] – nach Aachen bringen und dort einbauen ließ. Diese Ansicht hat aber seit der Entdeckung einer vermutlich karolingerzeitlichen Buntmetallwerkstatt auf dem Gelände der Aachener Pfalz an Tragfähigkeit verloren[8].

2. Auf dem Katschhof sind wohl zur Bauzeit der Marienkirche, also um 800, Metalle geschmolzen und große Bronzegegenstände hergestellt worden, wahrscheinlich u. a. die Türflügel und Gitter für den Dom.

Die Theorie, dass die Großbronzen in Aachen von einer so genannten Palastschule oder Werkstatt im Zuge des Baus von hochqualifizierten Spezialisten hergestellt worden sind, lässt aber noch viele Fragen hinsichtlich technischer Details beim Guss und der Zusammensetzung der Bronzematerialien offen. Durch den 1911 von Schmidt freigelegten archäologischen Befund sind ein Raffinations-

7 Aus Aachener Sicht: Einhard, Vita Karoli Magni 26 und parallel aus ravennatischer Perspektive: Agnellus, Lib. pont. eccl. Ravennatis 338, 17–21.

8 Bei den Ausgrabungen 1911 durch Erich Schmidt aufgefunden: Ristow 2013.

Abb. 4: Fragment einer Form für ein Wachsmodel aus dem Bereich der Gussanlage.

ofen sowie Teile einer Schmelz- und Gießanlage sicher festgestellt, die von der Länge der erfassten Züge her interpoliert für die großen Türen gedient haben könnte (**Abb. 3**). Der Aufbau des Gussofens enthielt Teile verlorener „Gussformen". Wie ein nur in Form eines Fotos überlieferter im zweiten Weltkrieg verlorener Fund zeigt (**Abb. 4**), wären auch Fragmente von Formen zur Herstellung von Wachsmodeln, die mehrfach replizierten Mustern der eigentlichen Gussform zu Grunde liegen, zu erwarten, wenn man an dieser Stelle erneut ausgraben würde. Mindestens ein Drittel des Werkplatzes liegt noch heute unter dem Pflaster des Katschhofes verborgen. Herkunft und Zusammensetzung des mehrere Tonnen umfassenden Metalls der am Bau auf uns gekommenen Türen wird seit langem kontrovers diskutiert. Noch bis vor kurzem sprachen einige Kunstwissenschaftler dem Frühmittelalter – und damit auch der karolingischen Epoche – aufgrund fehlender archäologischer und schriftlicher Belege ein gut organisiertes Montanwesen und somit die Möglichkeit einer eigenen rohstoffbasierten Metallproduktion gänzlich ab[9]. Man nahm ersatzweise an, dass in großem Umfang Raubgut, Kriegsbeute oder Altmetall – wie z. B. römerzeitlicher oder frühmittelalterlicher Bronze- oder Messingschrott – gezielt gehortet und eingeschmolzen worden sei. Inzwischen mehren sich aber Funde und Befunde von in die Karolingerzeit zu datierenden Bergwerken[10], Verhüttungsanlagen[11] und metallverarbeitenden Werkstätten, wie z. B. Gießereien und Buntmetallschmieden[12]. Nicht zuletzt könnte etwa auch die so genannte Aachener Eisenmasse in die Karolingerzeit gehören[13]. Damit wird auch die gezielte und eigenständige Produktion von Metall, das für die karolingerzeitlichen Großbronzen in Aachen verwendet wurde, immer wahrscheinlicher. Die im Folgenden besprochenen Metallanalysen stützen diese Hypothese und liefern Beiträge zur Diskussion um die Rohstoffquellen[14].

Seit einigen Jahren erlaubt es die nicht invasive portable Röntgenfluoreszenzanalyse, materielle Zusammensetzungen von Gegenständen zu ermitteln, ohne – wie sonst oft notwendig – die

9 Zusammenfassend: Baumeister 2004.

10 Beachtliche karolingerzeitliche Befunde von Ag-Erzabbau, Verhüttung und anschließender Münzproduktion liegen in Melle (Frankreich) vor. Bislang noch geringfügig jünger einzuordnen sind Ag- und Cu-Abbaue im Harz, Odenwald, Schwarzwald und den Vogesen: Bartels/Klappauf 2012.

11 Grothe 2002.

12 Stephan 1994; Jentgens/Peine 2015; neue Befunde im bayrischen Hirschaid: www.hirschaid.de/seite/de/markt/2266/Hirschaider_Geschichte_muss_neugeschrieben_werden.html (Zugriff 02.01.2017). – Generell: Höltken 2006, bes. 477; Krabath u. a. 1999; Lammers 2009 sowie ein Bronzewerkplatz westlich des Domes, vermutlich aus dem beginnenden Hochmittelalter: K. B. Kruse, Baugeschichte des Hildesheimer Domes, erscheint 2017 bei Schnell und Steiner.

13 Kronz u. a. 2016.

14 Auf die detaillierte Baugeschichte der Aachener Marienkirche, neuere Erkenntnisse zur Datierung des Baus und die Problematik der Aus- und Wiedereinbauaktionen der Gitter infolge der Französischen Revolution, wird hier nicht im Detail eingegangen, eine Zusammenfassung der Forschungsgeschichte bei: Pohle 2015; zu den archäologischen Forschungen zusammenfassend: Ristow 2016; zur Baugeschichte: Pufke 2012.

Untersuchungsobjekte zu beschädigen oder zu zerstören. Mit der so genannten pRFA wird an der Oberfläche die elementare Zusammensetzung gemessen, und dabei werden – vereinfacht gesagt – die Atome in der zu untersuchenden Probe mittels Röntgenstrahlung angeregt, wodurch sie eine für jedes Element charakteristische Strahlung an den Detektor zurücksenden. Hieraus lassen sich Art und Menge der in der Probe vorhandenen Elemente berechnen. Am besten eignen sich abgenutzte oder gesäuberte Stellen, die keine Patina, Auflagerungen von Schmutz oder anderen Materialien zeigen, um die Messwerte nicht zu verfälschen. So lassen sich z. B. Artefakte aus Metall, Fayence, Glas, Keramik, Erze und Legierungen untersuchen sowie deren Korrosionsschichten, auch verschiedenste Gesteine, Lockersediment- und Bodenproben sowie darin befindliche Schwermetalle bzw. Phosphatgehalte, Wandmalereien, Fresken, Mosaiken und alle Arten von anorganischen Baustoffen. Weil das Gerät einfach zu handhaben und direkt auf die zu messenden Stellen gehalten werden kann, sind die Untersuchungen mit der pRFA nicht nur sehr flexibel und schnell durchzuführen – sie sind, da an der Oberfläche gemessen werden kann, auch vollkommen zerstörungsfrei. Dennoch können bei Bedarf oder unter günstigen Umständen, auch Proben aus dem Kern des Materials, wie z. B. Bohrspäne, analysiert werden und so halten die Messergebnisse dieser Methode dem Vergleich mit anderen Analysetechniken durchaus stand[15]. So ist es mit der pRFA inzwischen möglich, eine größere Serie von Analysen zeitsparend und also auch kostengünstig auszuführen, wobei der Verzicht auf die Probenentnahme unter konservatorischen Aspekten als verantwortungsbewusster Pluspunkt und schonender Umgang mit Kulturgütern verstanden werden kann. Vereinzelte Abstriche, die material- und methodenbedingt bei der Bestimmung einzelner Elemente auftreten können, lassen sich durch eine methodisch saubere Auswertung erkennen und fallen letztlich beim Gros der neu gewonnenen Erkenntnisse kaum ins Gewicht. Darüber hinaus spricht nichts dagegen, die pRFA-Ergebnisse mithilfe invasiver Analysemethoden abzusichern oder zu erweitern, besonders bei Problemfällen oder bei Fragestellungen, die über die Möglichkeiten der Methode hinausführen.

Abb. 5: Aachener Dom, Messungen an der Wolfstür.

Bei den verwendeten Messgeräten sind besonders bei der Untersuchung alter Bronzegegenstände zwei Aspekte zu beachten. Bei der Auswertung der Röntgenspektren können z. B. Linienüberlagerungen von Arsen und Blei auftreten, was dazu führen kann, dass bei besonders hohen Blei- und geringen Arsengehalten, die Arsensignatur nicht mehr erkannt werden kann. Dasselbe Phänomen kann bei hohen Arsengehalten die Bleisignatur verdecken. Zum Anderen ist zu bedenken, dass aufgrund der in der Röntgenröhre verbauten Silberanode als Röntgenquelle, die Nachweisgrenze für Silber höher als für andere Elemente ist. Deshalb kann ein sehr geringer Silberanteil in manchen Proben nicht immer bestimmt werden. Die beiden Sonderfälle treten bei den Messungen aber nur gelegentlich auf[16].

15 Jüngst zur pRFA im Rahmen archäologischer Metallanalysen mit weiterführender Lit.: Prange/Modarressi-Tehrani/Demant 2016; Potts/West 2008, hier bes.: Cesareo u. a. 2008, auch: Lutz/Pernicka 1996.

16 z. B. bei der Tür zur Karlskapelle und der Aachener Bärin, s. u.

Abb. 6: Aachener Dom, Blanke Metalloberfläche am Löwenkopf der Wolfstür.

Auch gibt es unterschiedlich entwickelte Patina. Generell reichern sich die dem Kupfer legierten Bestanteile der Bronze, wie Zinn und Blei in der Patina oberflächlich an, ebenso Spurenelemente wie z. B. Arsen oder Antimon. Während das Kupfer oft sehr leicht zu Oxiden, Karbonaten, Sulfaten und Chloriden – je nach Mikroklima, Feuchtigkeit und vorhandenem Stoffbestand – korrodiert und durch wässrige Lösungen abtransportiert wird, sind die anderen Elemente resistenter und bleiben an Ort und Stelle in stabileren Korrosionsschichten erhalten. Dadurch erhöht sich deren relativer Anteil. Es gibt jedoch auch Schichten in denen sich einzelne Spurenelemente scheinbar abreichern. Für Arsen sind solche Phänomene häufiger belegt. Wir konnten z. B. an der Innenseite der Wolfstür und der kleinen Tür zur Karlskapelle verschiedene Ausbildungsformen der Patina dokumentieren, wobei in einer der Arsenanteil bis unter die Nachweisgrenze gesunken war bzw. von den erhöhten Bleigehalten überdeckt wurde.

Die Zusammensetzung der Patina ist aber nicht lediglich als Störfaktor bei pRFA-Messungen anzusehen, sie ist hingegen eine bedeutende Informationsquelle für die Rekonstruktion der Überlieferungsbedingungen, nicht nur bei Bodenfunden, und Grundlage für zukünftige Konservierungsmaßnahmen. Eine Patina ist fast immer aus mehreren Schichten ganz bestimmter Minerale aufgebaut, wobei charakteristische Abfolgen auch mehrfach wiederholt an einem Stück auftreten können[17].

Bei der Wolfstür und den Gittern im Oktogon war es möglich an frischen Metalloberflächen zu messen, denn durch die andauernde Nutzung sind blank polierte Bereiche erhalten geblieben, auf denen sich keine Patina ausbilden konnte[18].

Im Folgenden kann das Erwähnte zur Patinabildung an den Aachener Großbronzen genügen, denn die hier verfolgte Fragestellung bezog sich zunächst auf die Ermittlung der Zusammensetzung der zum Guss verwendeten Bronzen und daraus abzuleitenden Informationen zu herstellungstechnischen Prozessen und Aussagen zur möglichen Rohmaterialherkunft.

Analysetechnische Parameter

Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Großbronzen wurde vor Ort mittels zweier portabler ED-RFA-Geräte nahezu gleicher Bauart (Silberanode, 50 kV Spannung, SDD-Detektor) und desselben Herstellers (Thermo Scientific) gemessen: Mit einem Niton-XL3t Hybrid (Serien-Nr.83822) des Archäologischen Instituts der Universität zu Köln sowie einem Niton XL3t 950-HE GOLDD+ (Serien-Nr. 89086) der Eurasien-Abteilung des Deutschen Archäologischen Instituts Berlin[19]. Soweit nicht anders angegeben kam bei den Messungen der so genannte Legierungsmodus zum

17 Vgl. Born 1985, bes. 85–104; Riederer 1992. – In Aachen wird die Wolfstür als Konservierungsmaßnahme regelmäßig mit einer Schicht Bienenwachs überzogen, wie uns freundlicherweise Dombaumeister Maintz mitteilte. Besonders auf der Außenseite hat sich diese uralte Technik als optimal für den Erhalt der seit gut 1200 Jahren allen Witterungseinflüssen ausgesetzten Tür erwiesen. Die von uns gemessenen Stellen wurden zuvor mit Spiritus und einem Baumwolltuch gereinigt.

18 Am Pinienzapfen und der Bärin lagen dagegen ausschließlich korrodierte Oberflächen vor. Ältere Analysen von Hans Drescher an Bohrproben aus dem Inneren des Pinienzapfens dienten uns zum Vergleich (s. u.).

19 Beiden Institutionen danken wir an dieser Stelle sehr für die Unterstützung des Aachen-Projekts, wie auch F. Wiesenberg und C. Schöne.

Einsatz, eine Fensteröffnung von 8 mm und Messzeiten von 90 Sekunden[20]. Es sind immer mindestens drei Einzelmessungen an unterschiedlichen Stellen der zu untersuchenden Oberfläche vorgenommen und die Werte gemittelt worden.

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit und Richtigkeit der Messwerte beider Geräte wurden international gebräuchliche und zertifizierte Bronzestandardlegierungen[21] mit gemessen, wodurch die Verwertbarkeit der Messungen bei den uns interessierenden Elementen und im zu erwartenden Konzentrationsbereich gewährleistet werden konnte.

Die in der Tabelle angegebenen Messwerte wurden nicht auf 100 Gew% normiert, der jeweilige Rest besteht aus verschiedenen Anteilen von mehrheitlich Oxidkomponenten.

Karolingerzeitliche Bronzen

Wolfstür

An der Wolfstür[22] (**Abb. 5**) sind, neben weiten Bereichen die durch eine dicke Patina überzogen sind, besonders drei Stellen auszumachen gewesen, an denen das blanke Metall sichtbar und für die Messung zugänglich war. Außen sind an den beiden Löwenköpfen im Bereich der Münder durch häufige Berührungen der Besucher vollkommen blanke und saubere Metalloberflächen herauspräpariert worden (**Abb. 6**), die eine Messung der Bronzezusammensetzung ohne Einflüsse durch Patina o. ä. ermöglichen (**Tab. 1, Z. 2. 3**). Als Hauptlegierungsbestandteile der Löwen treten Zinn, Blei und Antimon auf. Die Gehalte liegen beim Zinn zwischen ca. 3 und 5 Gew%, Blei um 2,5 % und Antimon um 2,6 %. Hinzu treten Gehalte von Arsen und Silber, jeweils um 0,4 Gew%. Geringere Spuren von Zink, Eisen, Nickel, Quecksilber und Wismut runden das Gesamtbild ab.

Auf der Innenseite, am nördlichen Türflügel, ist entlang einer Schleifspur des Verschlussriegels halbkreisförmig die Patina so stark abgetragen, dass hier eine brauchbare Messfläche vorliegt. Jedoch ist das Metall an dieser Stelle, wie auch auf der Außenseite, an den stark abgegriffenen Bereichen in der Mitte der Tür, mikroskopisch mit Korrosionsprodukten durchsetzt, obwohl die Oberflächen makroskopisch den Eindruck blanken Metalls erwecken. Die Messungen an diesen Stellen (**Tab. 2; Diagr. 1**)[23] weisen deshalb im Vergleich zum wirklich frischen Metall an den Löwen leicht erhöhte Gehalte an Zinn, Blei, Antimon, Zink, Silber und Quecksilber auf. Eisen ist stark erhöht, Arsen dagegen geringfügig abgereichert. Aufgrund der relativen Verteilung der Spurenelemente kann angenommen werden, dass die Zusammensetzung der beiden Löwen, die sich sehr ähnelt, auch mit derjenigen der beiden Türflügel ungefähr identisch ist[24].

20 Zu Vergleichszwecken wurden auch stellenweise Messungen im so genannten Edelmetallmodus für Archäometrie mit 180 Sekunden Messzeit durchgeführt. In der Literatur finden sich immer wieder Messzeiten von 10 bis 30 Sekunden beim archäometrischen Einsatz baugleicher Geräte. Solch kurze Messzeiten führen aber, wie eigene Versuchsreihen gezeigt haben, bei der Untersuchung alter Metallsorten zu Einbußen bei der Messgenauigkeit leichter Elemente und der Nicht- und Halbmetalle, die u. U. durchaus wichtige Bestandteile alter Metalle sind, so z. B. S, P, As, Sb.

21 Zertifizierte Standards CT 1 bis 5 des Institute of nonferrous metals, Gliwice, Polen.

22 Mende 1994, 21–24.

23 Der besseren Übersichtlichkeit halber wurden Diagramme erstellt, die die Verteilung möglichst vieler Neben- und Spurenelemente auf einfache und überschaubare Weise darstellen und zugleich technologisch und geochemisch relevante Hinweise liefern können. Kupfer bildet in den Bronzen den Hauptbestandteil, das Herausgreifen einiger weniger Neben- und Spurenelemente suggeriert dagegen erfahrungsgemäß oft Zusammenhänge, die zu falschen Schlüssen verleiten. Weil aber in unterschiedlichen Publikationen nicht immer alle relevanten Elemente angegeben, bzw. je nach Messmethode auch nicht erfasst werden konnten, musste eine Auswahl getroffen werden: Sn, Pb, As, Sb, Zn, Fe, Bi. Die Ordinate mit den Gew% der entsprechenden Elemente ist logarithmisch skaliert. Zur Darstellungsweise: Steiniger 2007, 135.

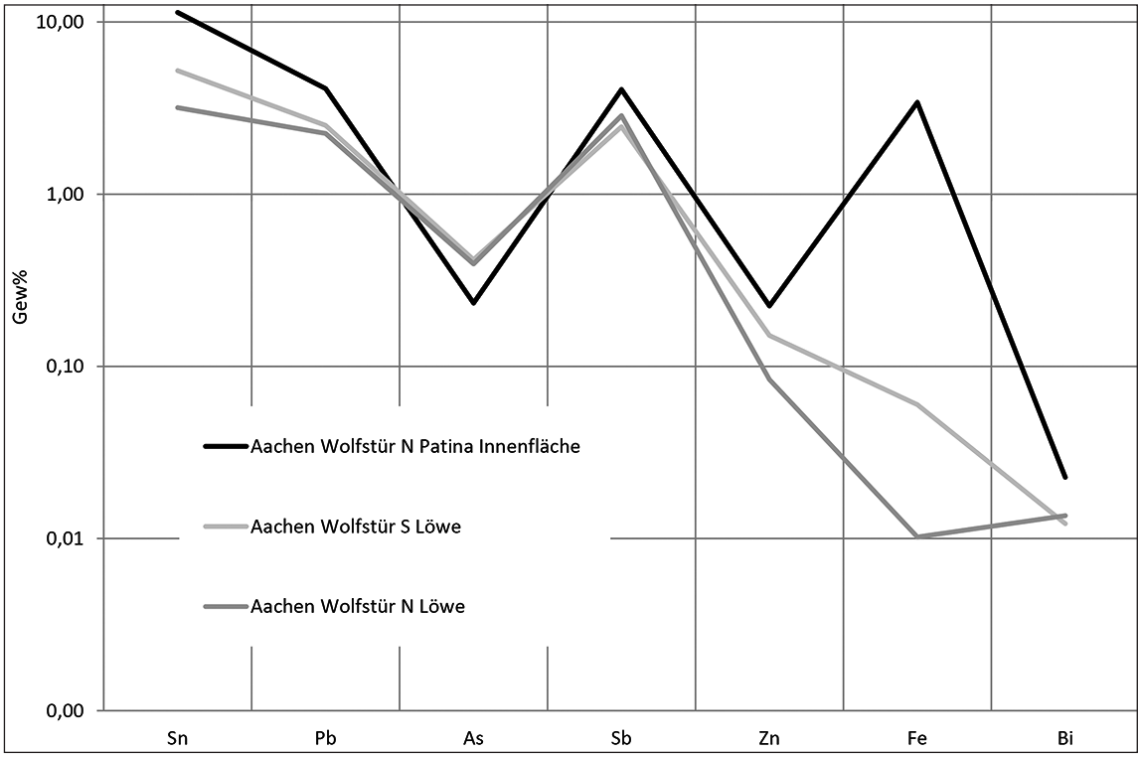
24 Dies untermauert eine größere Anzahl weiterer pRFA-Messungen an den Innen- und Außenflächen beider Türflügel, wo gleichartige Zusammensetzungen angetroffen wurden. Im Vergleich mit den älteren Analysen von 1924 passen die dort genannten Sn- und Pb-Gehalte (vgl. **Tab. 1**) gut zu unseren von der leicht patinierten Innenseite der Tür (**Tab. 2**). Vermutlich wurden damals ähnlich oberflächennahe Proben untersucht, laut Buchkremer stammten die Proben vom „Anbohren an vielen Stellen". Er bemerkt auch Härteunterschiede und gibt eine detaillierte Beschreibung des damaligen Zustandes und der Gussfehler, wie z. B. Lunker, im Inneren der Türflügel: Buchkremer 1924, 12. 14. – Im Hochschularchiv der RWTH Aachen sind keine Protokolle der damaligen Messungen erhalten (freundliche Mitt. C. Krütgen), anscheinend wurden Sb und As nicht bestimmt.

Aachen pRFA 2014-2016		Anzahl	Cu	Sn	Pb	As	Sb	Ag	Zn	Fe	Ni	Hg	Bi	Au	Sum Gew%
Wolfstür, innen, Nordflügel, wenig Patina	MW	15	68,93	11,36	4,10	0,23	4,05	0,58	0,22	3,41		0,469	0,023		93,40
Wolfstür, Löwe, Südflügel	MW	6	84,76	5,22	2,51	0,42	2,47	0,39	0,15	0,06	0,021	0,173	0,012		96,18
Wolfstür, Löwe, Nordflügel	MW	3	87,98	3,18	2,25	0,39	2,86	0,42	0,08	0,01	0,025	0,173	0,014		97,39
Karlskapelle, Tür, Südostflügel, Patina	MW	3	79,03	8,73	8,21		0,71		0,39	0,14	0,028	0,316	0,009		97,55
Karlskapelle, Tür, Sudostflügel, Löwe, Patina	MW	3	82,27	8,02	5,34		2,17	0,29	0,19	0,09	0,024	0,369		0,016	98,78
Bärin, hintere rechte Pranke, Patina	MW	3	48,07	10,76	33,33		0,17		0,67	1,35		0,937	0,112		95,39
Zapfen, Sockel, Patina	MW	3	48,35	33,90	9,19	1,89	0,40	0,22	0,20	1,42		0,241	0,064		95,88
Zapfen, Schuppe, Patina	MW	3	49,37	37,56	9,68	0,69	0,38	0,20	0,09	0,54		0,461	0,073		99,03
Gitter 1	MW	3	86,42	5,55	0,65	0,65	0,07		2,48	0,08	0,012		0,012		95,93
Gitter 2	MW	3	79,76	9,67	2,15	0,99	0,61		0,36	0,34	0,017	0,103	0,031		94,03
Gitter 3	MW	3	84,42	9,78	1,05	0,55	0,46		0,29	0,06		0,074	0,013		96,71
Gitter 4	MW	3	81,45	10,12	1,56	0,58	1,01	0,33	0,87	0,14	0,014	0,126	0,017		96,23
Gitter 5	MW	3	84,77	4,83	1,01	0,81	0,09		3,02	0,09	0,011		0,015		94,64
Gitter 6	MW	3	79,64	8,19	3,39	0,95	0,52		1,21	0,31	0,037		0,019		94,26
Gitter 7	MW	3	84,73	10,40	0,89	0,50	0,20		0,27	0,02		0,070	0,008		97,08
Gitter 8	MW	3	82,54	9,28	1,80	0,52	1,37	0,43	0,60	0,16		0,091	0,012	0,054	96,86

Tab. 2: Aachen, Marienkirche. Metallanalysen der pRFA in Gew%.

	Cu	Sn	Pb	As	Sb	Zn	Fe	Ni	Sum Gew%
Pferd	93,9	1,5	0,33	0,68	0,5	2,8	0,18	0,043	99,933
Reiter Körper	91,8	4,3	0,64	0,26	0,69	2,8	0,78	0,052	101,322
Reiter Kopf min	87	5				4			96
Reiter Kopf max	91	8				5			104

Tab. 3: Paris, Louvre, Reiterstatue aus Metz. Metallanalysen nach Gaborit-Chopin 1999 in Gew%. Pferd und Reiter-Körper mittels Elektronenabsorptionsspektroskopie.



Diagr. 1: Aachen, Marienkirche. Metallanalysen mittels pRFA: Wolfstür Nordflügel, Patina der Innenfläche; Wolfstür Südflügel, Löwe; Wolfstür Nordflügel, Löwe (Gew% in logarithmischer Skalierung).

Ausgehend von der Zusammensetzung der Löwenköpfe handelt es sich bei der Wolfstür um einen bemerkenswerten Bronzeguss, denn neben den durchaus im normalen (aber unteren) Bereich liegenden Zinn und Bleigehalten sind 2,6 Gew% Antimon, ca. 0,4 % Arsen und Silber sowie markante Spuren von Quecksilber und Wismut deutliche Hinweise auf ein sogenanntes Fahlerzmetall. Während Zinn und Blei als gezielt eingebrachte Zuschläge zum Kupfer bei der Herstellung von Großbronzen angesehen werden können, stellen die restlichen typische Spurenelemente dar, wie sie in Rohkupfer (auch Schwarzkupfer genannt) vorkommen, das aus komplexen sulfidischen Kupfererzen gewonnen wurde, den ‚Fahlerzen'. Diese finden sich in der Natur in ganz unterschiedlichen Zusammensetzungen, die aber für jeweils ein bestimmtes Bergbaurevier typisch sein können[25]. Die in der Literatur immer wieder geäußerte Vermutung, dass Altmetall für die Aachener Großbronzen eingeschmolzen wurde, kann aufgrund der sehr charakteristischen Zusammensetzung der Tür klar verworfen werden. Römerzeitliche und frühmittelalterliche Bronzen weisen deutliche Unterschiede bei den Haupt- und Spurenelementen auf[26].

Ab dem Hochmittelalter ist der Abbau von Fahlerzen vorwiegend für die Silbergewinnung belegt, während man für die frühen Metallzeiten in ihnen den Hauptrohstoff für das damals verwendete Kupfer sieht, das ganz ähnliche Arsen- und Antimon-

25 Sie bestehen mineralogisch aus einer Mischkristallreihe mit stark wechselnden Anteilen an As, Sb, Ag, Hg, und Bi, oft können noch andere Elemente hinzutreten, auch größere Mengen an Zn, Hauptkomponenten sind Cu und S: Klockmann 1978, 433–435.

26 Gale/Parisi Presicce/Giardino 2007; Roxburgh 2013. – Unter den weit über 4000 Analysen römerzeitlicher Bronzen, die Riederer zusammengestellt hat, finden sich lediglich 32 Stück mit As- oder Sb-Gehalten über 0,5 Gew%: Riederer 2001. Die im Vergleich zu zeitgleichen Bronzen auffällig hohen Sb- und Ag-Gehalte in den römischen Bronzen aus Waldgirmes, Tawern und Aalen werden z. B. als möglicher Hinweis auf die Wiederverwendung vorrömischen Kupfers interpretiert, vgl.: Ulbrich/Willer 2014, 42; bzw. auf die Nutzung von Fahlerzen aus dem Alpen- oder Mittelgebirgsraum zurückgeführt: Schwab/Willer 2014, 182; Willer/Mijers 2014, 172.

gehalte ausweist[27]. In den jüngeren Metallzeiten, der Römerzeit und dem Frühmittelalter fehlen solche Legierungen, die ähnlich viel Arsen und vor allem Antimon enthalten dagegen nahezu vollständig[28].

Die Zusammensetzung der Bronze der Aachener Wolfstür erweckt metallurgisch betrachtet und aufgrund ihrer singulären Position innerhalb der Gießereigeschichte geradezu den Eindruck, dass hier in einem bestimmten Bergbaurevier absichtlich ein arsen- und antimonreiches Kupfererz abgebaut und mit einer speziellen Verhüttungstechnik gezielt so weiterverarbeitet worden ist, dass die Arsen- und Antimongehalte im Rohkupfer erhalten blieben[29]. Mit den weiteren Zuschlägen von Zinn und Blei ergibt sich eine besonders widerstandsfähige und harte Bronze[30]. Dass fahlerztypische Kupfersorten während der Karolingerzeit vielleicht sogar häufiger vorkommen als bislang angenommen wurde, zeigt z. B. auch die jüngste Untersuchung des Adelhauser Tragaltars, an dem Einzelteile aus einer mehrprozentigen Arsenbronze bestehen. Die Möglichkeiten der zerstörungsfreien pRFA werden in Zukunft in dieser Hinsicht sicher

27 Die Legierung der Wolfstür (von Sn und Pb abgesehen) kann im Vergleich mit prähistorischen Kupfersorten als ‚Fahlerzmetall', das dem ‚Ösenringkupfer' sehr ähnlich ist, bezeichnet werden: Krause 2003, bes. Abb. 40–41, 90–91. – Zusammenfassend zur Fahlerzmetallurgie durch die Zeiten: Bachmann 2003; Goldenberg 1996 gibt eine detaillierte Darstellung der Verhüttungsschritte von Fahlerz und anderen Erzen für die Cu- und Ag-Produktion. – Klappauf 2003, 227–235 nennt Grubenreviere und Schmelzanlagen aus dem Harz die ins 10. Jh. datiert werden können; Veränderungen in der Waldnutzung, die auf das Montanwesen hindeuten, sind dort schon ab dem 8. Jh. nachweisbar: Bartels/Klappauf 2012, 122. – Für den Südschwarzwald kann ein ähnliches Alter sehr wahrscheinlich gemacht werden, aus dem Schindlergang im Untermünstertal liegt eine ^{14}C-Analyse an Holzkohle aus Feuersetzarbeit vor, die ca. aus der Mitte des 10. Jhs. und aus 70 m Teufe unter Talniveau stammt, d. h. hier muss schon einige Zeit früher organisierter Bergbau vorhanden gewesen sein: Bliedtner/Martin 1986, 25. – Keramik und ^{14}C-Analysen aus dem Zeitraum vom späten 8. bis zum frühen 10. Jh. stammen aus der Pb- und Ag-Produktion um Heidelberg: Hildebrand 1993, und aus den Vogesen sind Schachtpingen, Halden und Gruben auf dem Hohen Altenberg (Sainte-Marie-Aux-Mines) nach ^{14}C-Analysen bereits ins 9. Jh. zu datieren, im 10. Jh. nimmt deren Zahl stark zu: Fluck 1993 sowie: Fluck/Gauthier/Bohly 2013, bes. 23–28. – Viele der genannten Abbaue zielten jedoch v. a. auf Ag-Erze. Einen Überblick zum Forschungsstand des (früh-)mittelalterlichen Bergbaus in Deutschland geben: Bartels/Klappauf 2012, 111–248.

28 Sb und seine Legierungen wurden stellenweise gezielt zur Schmuckherstellung verwendet, nachweislich jedoch nur vorkarolingerzeitlich: Giumlia-Mair 2008. Sb-Erze waren bereits im Alten Ägypten bekannt, verschiedene Bezeichnungen haben sich durch die gesamte Antike hindurch bis heute erhalten: Lüschen 1968, 175 f.; Agricola 1546, 367, nach: Krafft 2006. In diesem Zusammenhang sind die stark Sb-haltigen Bleierze (Galenit) aus Wiesloch erwähnenswert: Hildebrand 1993, 26.

29 Hierbei ist zu bemerken, dass sich die Verhüttungstechniken für Fahlerze in Urgeschichte und Hochmittelalter (noch) so ähnlich waren, dass die mittelalterlichen Schlacken des Harzes anfangs für bronzezeitlich gehalten worden sind: Bartels/Klappauf 2012, 122. – Für die Urgeschichte werden stellenweise nicht nur Fahlerze, sondern auch z. T. der gezielte Zuschlag anderer, As- und Sb-haltiger Erze bei der Cu-Produktion diskutiert: Rapp 2009, 158–164. Bereits antik bekannt waren verschiedene As-Sulfide: Lüschen 1968, 178 f. 302 f.; Agricola 1546, 225 f., nach: Krafft 2006.

30 Möglicherweise sollte der vergleichsweise geringe Sn-Anteil der Wolfstür (und einiger Gitter) durch die Beimischung (bzw. den Restanteil im Rohkupfer) einiger Prozent Sb kompensiert werden. Sn ist in Mitteleuropa (außer im tschechischen Erzgebirge) vergleichsweise selten und damit teuer. Waren die gewünschten Eigenschaften bereits erreicht, musste weniger Sn beigegeben werden. Zuviel Sb führt zu unerwünscht harten Sn-Bronzen: Schwab/Willer 2014, 180–182. As und Sb haben ähnlichen Einfluss auf die Eigenschaften von Cu-Legierungen wie Sn. Neben einer Erhöhung der Härte und veränderten Farbe führen Zunahmen zu einer korrosionsbeständigeren Legierung, wie aus vielen Bodenfunden bekannt ist, wo z. B. As-haltige Dolchklingen der frühen Bronzezeit noch ihre silberweiße blanke Oberfläche zeigten während solche ohne As-Gehalt viel stärker angegriffen worden sind: Meeks 1993, bes. 269. – Albertus Magnus kennt neben dem Goldgehalt auch „*arsenico rubeo*" (dt. Rauschrot bzw. Realgar) explizit als Bestandteil des Goslarer Kupfers, das er neben Schwefel als dessen Bestandteil hervorhebt, d. h. er beschreibt eigentlich eine As-Komponente im dortigen Kupfererz, vielleicht den dort stellenweise häufigen Arsenopyrit oder andere As-Sekundärminerale. Realgar kommt am Rammelsberg als Mineral nicht vor. Dass er As zweifelsfrei analytisch nachweisen konnte, belegen seine detaillierten Ausführungen zu dessen Sublimationsverhalten, die noch heute den Standardnachweis für As darstellen (De mineralibus 4, 5): Wyckoff 1967, 223 f.; Borgnet 1890, 90; zum modernen As-Nachweis: Henglein 1910, 17; zu den Rammelberger Erzlagern: Hannak 1978, 132.

noch zu neuen Erkenntnissen über die Verbreitung dieser Legierungen beitragen können[31].

In einigen Großbronzen des beginnenden Hochmittelalters, wie der Bernwardstür und -säule in Hildesheim sowie der Mainzer Domtür, finden sich ebenfalls Spuren von Arsen und Antimon, die auch auf Fahlerze als Rohstoffquelle hinweisen könnten[32], aber ein Antimongehalt von 2,6 % ist einmalig[33]. Fahlerze mit hohen Antimongehalten treten zwar im Harz auf, aber selten gepaart mit hohem Arsenanteil. Auch die Vererzungen um den Marsberg, wo im nahegelegenen Twesine eine karolingerzeitlich zu datierende Kupferverhüttung nachgewiesen werden konnte, haben kaum arsen- und antimonhaltige Minerale[34]. Die sehr geringen Zinkgehalte in der Wolfstür sprechen außerdem gegen die bereits römerzeitlich genutzten Galmeilagerstätten um Aachen als Quelle[35]. Weitere mögliche Rohstoffquellen mit entsprechenden Erzen und bislang zumeist erst ins 10. Jh. datierbaren Befunden können im Odenwald, im Schwarzwald und in den Vogesen liegen, auch der Ostalpenraum lieferte reiche Fahlerze. Der uns interessierende Zeitraum stellt in vielerlei Hinsicht noch eine *terra incognita* dar, so eben auch in der Metallurgie[36]. Hinzu kommt, dass sich die Herkunftsfrage des Kupfers in absehbarer Zeit, ohne neuere archäologische Befunde, auch durch modernste Analytik, nicht einfach wird beantworten lassen[37]. Sofern die hohen Bleigehalte in alten Bronzen gezielt in der Gießerei dem Kupfer bzw. der Kupfer-Zinn-Legierung, zur Verbesserung ihrer Gießeigenschaften beigegeben wurden, werden sie in den allerwenigsten Fällen aus derselben Lagerstättenregion wie das Kupfer stammen, dasselbe gilt für Zinn. Relativ reines Blei, das vorwiegend als Nebenprodukt der Silbergewinnung angefallen ist, dürfte am wahrscheinlichsten als Legierungszuschlag für die Aachener Großbronzen in Frage kommen. Damit brächte es auch eine Bleiisotopensignatur mit sich, die eine ganz andere, als diejenige der Kupfererze wäre[38]. Zusammenfassend und die Aachener Pfalz-

31 Dass es sich bei den hohen As- und Sb-Messwerten der Wolfstür lediglich um eine dünne, oberflächlich angereicherte Schicht der beiden Elemente handelt, eine so genannte inverse Segregation, ist nicht sehr wahrscheinlich. Solche Schichten sind bislang nur in Stärken von höchstens 200 Mikrometern nachgewiesen worden. Sn, Sb und As verhalten sich hierbei sehr ähnlich, auch Pb: Meeks 1993, bes. 263. 267–269 u. Fig. 21. 27. – Die Stellen, an denen die Aachener Bronzen gemessen worden sind, haben durch die jahrhundertelange Abnutzung deutlich mehr Material verloren, stellen also die Zusammensetzung des Kerns dar. Dass es sich auch nicht um Korrosions- oder Patinaeffekte handeln kann, wurde bereits oben erläutert.

32 Wie auch Drescher 1994 bereits zu den Goslarer Bronzen bemerkt hat, sah er v. a. den Rammelsberg als Rohstoffquelle der Hildesheimer Bronzen, weil die Spurenelemente, besonders As und Sb auch in dortigen Cu-Erzen vorkommen. Dagegen sprechen aber Pb-Isotopenuntersuchungen, der Harz weist in dieser Hinsicht ganz andere Signaturen auf: Brockner u. a. 1996. – Hier tritt aber genau der für Aachen auch zutreffende Umstand auf, dass der Pb-Anteil in der Bronze aus ganz anderen Erzen stammen wird als das Cu, dasselbe gilt für Sn. Zum Goslarer Cu und höchstwahrscheinlich daraus hergestellten mittelalterlichen Bronzen: Laub 1993; Drescher 1993.

33 Lediglich in verschiedenen Kleinbronzen (Rauchfässer, Mörser u. a.) und erst wieder ab dem 14. Jh. treten vergleichbare Sb-Werte auf: Mende 2013, Analysetabelle 242–245, bes. Kat. 48. 50. 111. 119. 127. 128. 133 sowie Bronzen aus der St. Marienkirche Prenzlau, dem Dom zu Schwerin, ein Leuchter aus einem Schiffsfund im Landesmuseum Bremen und mittelalterliche Grapen: Riederer 2000; Riederer 1999.

34 Neben Clausthal sind Sb-reiche Fahlerze z. B. aus Dillenburg und Siegen bekannt: Klockmann 1978; auch im Schwarzwald ist Sb-Fahlerz nicht selten: Walenta 1992. – Zu Twesine: Grothe 2000, 3–16; Erze vom Marsberg: Schnorrer-Köhler 1991, bes. 2. Teil, 13; Schaeffer/Hein 1985. – Kritisch zur Cu-Erzgewinnung karolingischer Zeitstellung im Siegerland: Zeller u. a. 2015.

35 Sie könnten aber bei einigen der Gitter eine Rolle als Messinglieferant gespielt haben. Zur Lagerstätte: Graf 1990. – Kritisch zu römischer Messingproduktion im Rheinland: Hanel/Bode 2016, bes. 171.

36 Zusammenfassend: Bartels/Klappauf 2012, 111–248.

37 Möglichkeiten zur Herkunftsbestimmung von Sn mittels Sn-Isotopen werden derzeit erarbeitet: Haustein/Gillis/Pernicka 2010; Nessel/Brügmann/Pernicka 2015. – Zu Cu-Isotopen: Klein u. a. 2010. – Generell zur Herkunftsbestimmung von archäologischen Metallartefakten mittels Pb-Isotopen: Klein 2007; Schwab/Pernicka/Furger 2011; Pernicka 2014.

38 Zur Technik der Ag-Gewinnung mit der Hilfe von Pb: Goldenberg 1996. – Die erstaunlichen Ergebnisse der Pb-Isotopenuntersuchungen der Hildesheimer Bronzen bestätigen indirekt die genannten Überlegungen, zeigen die Bronzen doch Spurenelemente, die auf den Harz als Rohstoffquelle für die Cu-Erze verweisen, die Pb-Isotopen passen aber überhaupt nicht dorthin. Höchstwahrscheinlich weil das Pb anderswoher stammt und damit die Isotopensignaturen des Cu-Erzes überlagert, vgl. o. Anm. 32.

kirche mit ihrer Gießereiwerkstatt als Ganzes in Betracht ziehend, lässt sich hypothetisch vermuten, dass das hier verwendete Blei aus den karolingerzeitlichen Silbergruben von Melle in Frankreich stammen könnte[39]. Dort fielen Unmengen an Blei bei der Silbermünzenproduktion an und die bereits untersuchten Bleiplomben am unteren Ringanker des Aachener Domes sind nicht nur bemerkenswert rein, sie weisen auch Bleiisotopensignaturen auf, die durchaus zu den Bleierzen von Melle passen könnten[40]. Außer dem Blei stellt sich für Aachen ja auch die Frage nach der Herkunft des Zinns. Hierfür waren in Vorgeschichte und Antike besonders die Iberische Halbinsel und der Südwesten Englands Hauptlieferanten[41].

Weitere Argumente aus dem europäischen Nordwesten können die These einer eigenständigen karolingerzeitlichen gezielten Kupferproduktion aus komplexen Sulfiden stützen, auch wenn mitteleuropäische Befunde bislang nur viel älter oder etwas jünger als die Aachener Gießerei zu datieren sind. Im Bereich der chalkolithischen und bronzezeitlichen Kupfermine von Ross Island in Irland sind auch frühmittelalterliche Abbaue und mehrere Verhüttungsanlagen mit Öfen und Schlackehalden entdeckt worden, die sich anhand von Radiokarbondaten in den Zeitraum des 7.–8. Jhs. n. Chr. datieren lassen. Das verhüttete Erz war Chalkopyrit, wie die Fahlerze ein sulfidisches Kupfererz, das auch eine den Fahlerzen vergleichbare Verfahrenstechnik bei der Verhüttung benötigt[42]. Spätestens ab der Mitte des 10. Jhs. n. Chr. lassen sich solche Verhüttungstechniken auch in den Mittelgebirgen Kontinentaleuropas nachweisen[43]. Möglicherweise ist sogar eine Kontinuität der Sulfiderzverhüttung anzunehmen, die aufgrund der dürftigen Befundüberlieferung bisher noch nicht deutlich herausgearbeitet werden konnte[44]. Beim Bergbau sind die großen Lücken, die für das ältere Frühmittelalter und die Karolingerzeit oft angeführt wurden, immer mehr auf dem Weg geschlossen zu werden[45].

Im Land der Franken grub man jedenfalls, so Otfrid von Weißenburg in seinem Evangelienbuch aus der Zeit um 870, Erz und Kupfer („ …grébit man ouh thár ér inti kúphar“), Eisen und Steine oder Eisenstein („ísina steina“), Silber („sílabar“) und Gold in ihren Sanden, d. h. Flussgold („góld in iro sante“)[46].

39 Téreygeol 2002; Téreygeol 2013. – Anhand der Gesta Dagobertis regis aus dem 9. Jh. kann nicht nur genaueres zur Ag-Münzstätte von Melle gesagt werden, auch über die Transportwege und -mechanismen des angefallenen Pb wird detailliert berichtet. Es wurde z. B. nur alle zwei Jahre an den König Zins dafür gezahlt und nur an Könighöfen bzw. ehemaligen, inzwischen unter geistlicher Verwaltung stehenden Höfen, bis zum Gebrauch zwischengelagert: Zotz 1993, 183–199.

40 Yalcin/Bode 2012. – Die bemerkenswerte Reinheit des im Aachener Ringanker verwendeten Pb legt die Vermutung nahe, dass es sich um bereits vom Ag befreites, ehemaliges Werkblei handelt. Der geringe Ag-Anteil der in der Wolfstür noch vorhanden ist, dürfte dagegen aus dem Fahlerz stammen, ist also zusammen mit dem Cu in die Bronze gelangt. Yalcin und Bode haben lediglich rheinländische und weiter östlich liegende Mittelgebirgsvererzungen in Betracht gezogen, eine Diskussion weiter südlicher oder im Westen liegender Pb-Ag-Erze, fand nicht statt. In Melle ist aber umfangreicher karolingerzeitlicher Bergbau auf Ag-haltige Erze (Galenit) gut dokumentiert und die Isotopensignaturen von dort passen sehr gut zum Pb des Aachener Ringankers. Hier hätte man also für ein Großbauprojekt wie Aachen eine zuverlässige Rohstoffquelle vor Augen: Téreygeol u. a. 2010; Téreygeol 2007; Gratuze u. a. 2003; auch in: Schwab/Pernicka/Furger 2011, 227 Abb. 2, kommen die Pb-Signaturen aus Aachen in einem mit „Frankreich“ bezeichneten Feld zu liegen. – Zu Bleiisotopen aus den deutschen und mitteleuropäischen Mittelgebirgen: Bielicki/Tischendorf 1991. – Besonders in den folgenden Arbeiten kämen die Aachener Isotopensignaturen in Bereichen von Erzen des Harzes zu liegen, jedoch in Randbereichen, genau dort streuen aber die Erze von Melle. Weil Melle und Aachen bislang nicht in die Untersuchungen einbezogen worden sind, konnte sich der Zusammenhang nicht abzeichnen: Wedepohl/Baumann 1997; Krabath u. a. 1999, Abb. 5a; Lehmann 2011, bes. Abb. 5.3.5; Mecking 2013, Abb. 7.

41 Solange keine weiteren Analysen in Aachen angefertigt werden, lässt sich darüber nicht spekulieren. Umfangreich aufbereitetes Vergleichsmaterial in Form der Rohstoffquellen liegt vor: Haustein 2013.

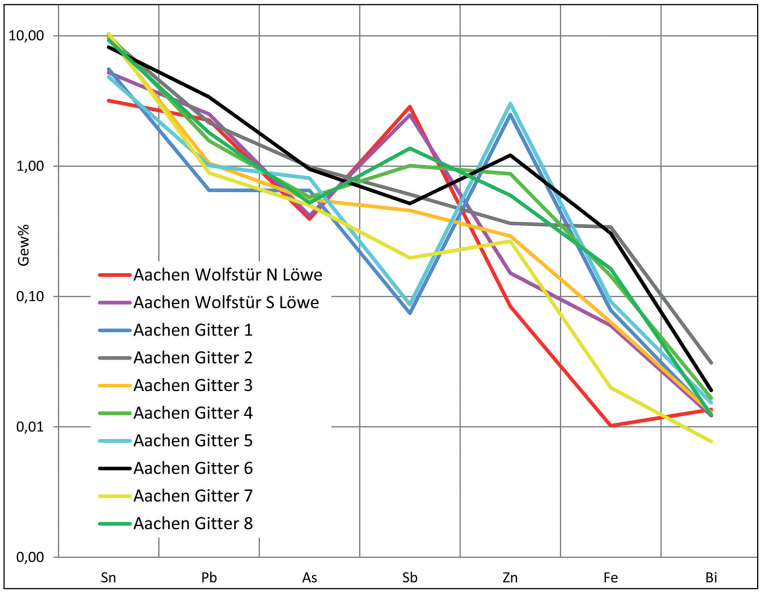
42 Außerdem sind für den Zeitraum viele Buntmetallgießereien aus der Gegend um Ross Island in SW-Irland bekannt: O'Brian 2004, bes. 405–437, z. T. mit M. Comber; weiterhin: Meyerdirks/Rehren/Harvey 2004. Darüber hinaus ist eine reich ausgestattete Werkstatt vom Dunadd, Schottland, bemerkenswert: Lane/Campbell 2000; des Weiteren: Drescher 1983.

43 s. o.

44 z. B. Hinweise auf weitere größere Bronzearbeiten vor 800: Gramaccini 1995, bes. 132; zu Eligius, dem Goldschmiedehandwerk und Bronzegießern zusammenfassend: Vierck 1974; Roth 1986, bes. 40–79.

45 Bartels/Klappauf 2012.

46 Cod. Pal. lat. 52, p. 10v, Universitätsbibliothek Heidelberg: http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/cpl52/0056 (Zugriff 10.1.2017).



Diagr. 2: Aachen, Marienkirche. Metallanalysen mittels pRFA: Wolfstür Nordflügel, Löwe; Wolfstür Südflügel, Löwe; Gitter 1–8 (Gew% in logarithmischer Skalierung).

Tür zur Karlskapelle

Auch eine der Wolfstür stilistisch ähnliche, jedoch kleinere Bronzetür, die sich heute am Eingang zur Karlskapelle befindet und einer der daran angebrachten Löwenköpfe konnten mittels pRFA untersucht werden. Hier waren aber ausschließlich patinierte Bereiche zugänglich. Die Werte für einzelne Elemente streuen daher stärker und besonders der Bleigehalt erscheint außergewöhnlich hoch, während Arsen und z. T. Wismut unter der Nachweisgrenze liegen bzw. aufgrund von Linienüberlagerungen im Röntgenspektrum nicht erkannt werden konnten (**Tab. 2**). Außer bei Blei, das aufgrund der Patinabildung erhöht sein dürfte, liegen aber alle Messwerte innerhalb eines Streubereichs, der von der Wolfstür und den Gittern abgedeckt wird (s. u.). Deshalb kann angenommen werden, dass auch die Tür zur Karlskapelle aus einer vergleichbar zusammengesetzten Bronze besteht.

Gitter

An allen acht Gittern im Oktogon der Marienkirche waren im unteren Bereich blanke Stellen vorhanden, wo sich durch die dauerhafte Nutzung keine Patina bilden konnte und die Bronze in sauberem frischem Zustand für die Messung vorlag **(Abb. 7)**.

Die Messwerte (**Tab. 2; Diagr. 2**) lassen interessante Schlüsse zu den Gittern selbst, aber auch in Bezug zur Wolfstür zu. Die Gitter zeigen teilweise eine mit der Tür vergleichbare Zusammensetzung, im Bereich der Neben- und Spurenelemente weisen sie aber größere Variationsbreiten auf, allerdings nach einem ganz bestimmten Schema. Interessant ist, dass Gitterpaare, die von der Ornamentik her ähnlich sind und im Oktogon jeweils gegenüberliegend angeordnet sind, auch bei bestimmten Spurenelementen Gemeinsamkeiten besitzen. Dies kann als Hinweis auf einen paarweise angefertigten Guss mit jeweils derselben Charge für je zwei gleichartige Gitter verstanden werden[47]. Zunächst können bereits anhand des Zinngehalts zwei Gruppen herausgearbeitet werden. Die Gitter 1 und 5 unterscheiden sich von allen anderen durch einen deutlich niedrigeren Zinngehalt zwischen ca. 4,8 und 5,6 Gew%. Die restlichen Gitter haben durchweg höhere Gehalte zwischen 8,2 und 10,4 %. Dafür sind die Zinkgehalte bei den Gittern 1 und 5 mit Werten zwischen 2,5 und 3 Gew% am höchsten, die restlichen Gitter zeigen deutlich niedrigere Werte. Gitter 1 ist direkt vor dem Thron angebracht, Gitter 5 gegenüber vor dem ehemaligen Altar. Die Gitter 2 und 6 weisen die höchsten

47 Die Nummerierung der Gitter Nr. 1–8 folgt Braunfels 1965. – Gitter 1 ist dasjenige vor dem Thron, die Zählung geht dann gegen den Uhrzeigersinn mit 2 im SW weiter, Gitter 3 steht im S usw.

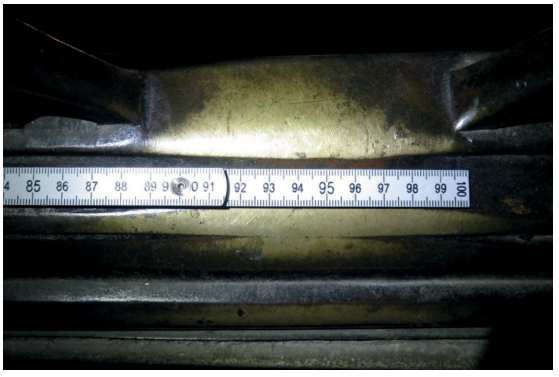


Abb. 7: Aachener Dom, blanke Stellen an einem Gitter auf der Empore des Oktogons.

Abb. 8: Aachener Dom, ‚Lunker' an Gitter 1 auf der Empore.

Blei-, Arsen- und Eisengehalte auf. Bei den beiden Gittern 3 und 7 finden sich die geringsten Zinkwerte (um 0,3–0,4 Gew%) und 4 und 8 zeigen mit 1–1,4 Gew% die höchsten Antimonwerte. Blendet man das dominante, aber starken Schwankungen unterworfene Antimon einmal aus, erscheinen alle Gitter mitsamt der Wolfstür recht einheitlich. Die Neben- und Spurenelemente, besonders Arsen und Antimon, sind bei den Gittern – wie bei der Wolfstür – als Hinweis auf ein Fahlerzmetall zu interpretieren[48].

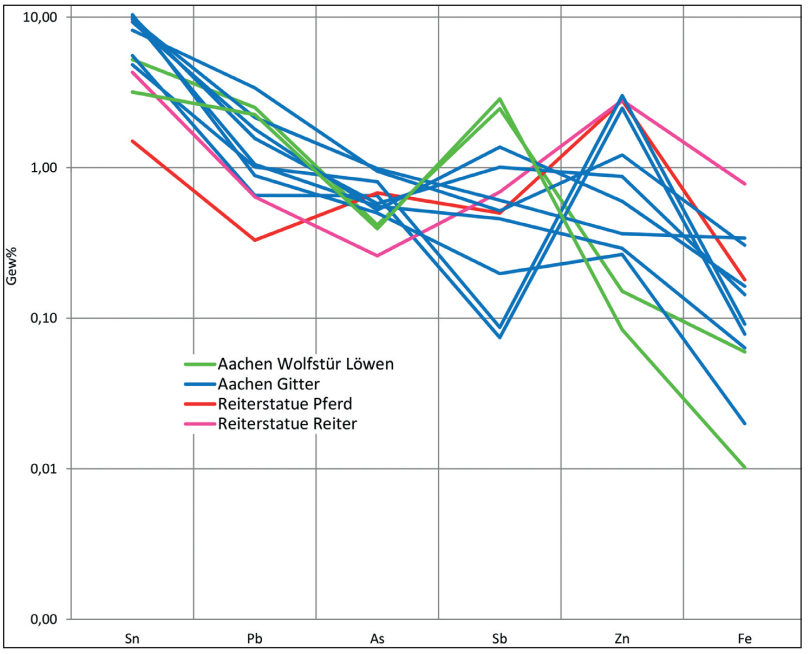
Unter gießereitechnischen Gesichtspunkten kann man die Neben- und Spurenelemente der Gitter auch gesamthaft betrachten. So ergibt sich eine paarweise Reihung von den Gittern 1 und 5 mit den höchsten Kupferwerten und niedrigsten Zuschlagsstoffen (knapp 10 Gew%) über die beiden Gitter 3 und 7, die Gitter 2 und 6 und die beiden Gitter 4 und 8 (mit um 14,6 %). Die Wolfstür reiht sich mit ca. 9,4 bis 11,4 Gew% zwischen die Paare 1 & 5 und 3 & 7.

Ein Vergleich von Wolfstür und Gittern ergibt, dass die Zinngehalte bei den Gittern fast durchweg höher sind als bei der Tür, stellenweise sogar um ein Vielfaches. Auch Zink ist deutlich stärker vertreten. Die Bleiwerte liegen teilweise bei den Gittern über, teilweise unter denen der Tür. Betrachtet man Arsen und Antimon, so weisen die Gitter insgesamt weniger Antimon auf als die Wolfstür, jedoch mehr Arsen. Die Silbergehalte liegen bei vielen Gittern unterhalb der Nachweisgrenze, dürften jedoch nicht, wie einzelne niedrige Werte andeuten, bei Null liegen[49]. Die Neben- und Spurenelemente deuten, wie bereits angesprochen, auch bei den Gittern auf ein Fahlerz als Kupferquelle, es muss sich aber nicht um dieselben Chargen wie bei der Tür handeln. Dies könnte schon in den zur Gießerei gelieferten Rohkupferbarren eine Ursache haben. Eventuell kamen bei den Gittern mit erhöhten Zinkwerten Zuschläge aus anderen Erzquellen oder Bronzeschrott bzw. Altmetall zusätzlich zum Einsatz, denn auffälligerweise enthalten gerade die Gitter 1 und 5 mit dem höchsten Zinkanteil sehr wenig Zinn, Blei und Antimon. Dies kann auf den Zuschlag von Messing zur Schmelze hinweisen[50]. Braunfels gibt außerdem an, dass die Gitter 1 und

48 Die beiden Gitter eines Paares unterschieden sich jeweils bei bestimmten Elementen leicht voneinander, jedes Gitterpaar dann aber bei vielen Elementen von den anderen Paaren. Dies kann als neuer Aspekt zur Diskussion vor dem Hintergrund der von Braunfels 1965 angestellten Überlegungen zu Reihenfolge und Ablauf der einzelnen Güsse in Aachen beitragen.

49 Für Ag ist die Nachweisgrenze bei den hier eingesetzten pRFA-Geräten höher als für andere Elemente, daher erscheinen einige Male keine Werte. Die wahren Ag-Gehalte dürften aber nur unwesentlich unter den niedrigsten angegebenen Ag-Werten liegen. Stellenweise unterhalb der Nachweisgrenze liegen auch Au und Hg.

50 Womit dann auch wieder die Galmeilagerstätten unweit Aachen in die Diskussion treten. Weil Zn lange Zeit nicht als eigenständiges Metall gewonnen werden konnte, kann für die Gitter auch nur der Zuschlag Zn-haltiger Legierungen infrage kommen. Es muss sich hierbei aber nicht zwingend um Altmetall gehandelt haben, Messing kann durchaus gezielt hergestellt und als Zuschlag beigegeben worden sein: Craddock/Eckstein 2003. Hinzuweisen ist aber auch auf Zn-haltige Fahlerze, die für das Rohkupfer verwendet worden sein könnten – womit der Zuschlag Zn-haltiger Metalle hinfällig wäre: Klockmann 1978, 435.

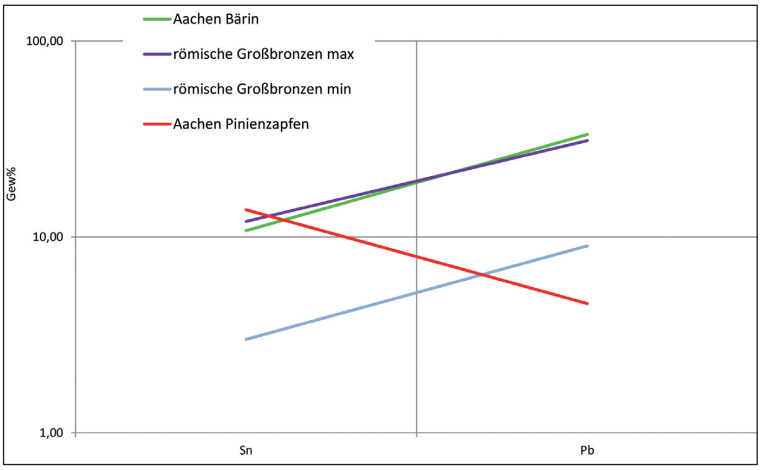


Diagr. 3: Metallanalysen. Vergleich der Löwen auf der Wolfstür sowie der Gitter aus der Aachener Marienkirche (pRFA) mit der Reiterstatue aus Metz, heute im Louvre, nach Gaborit-Chopin 1999, Analyse mittels Elektronenabsorptionsspektroskopie (Gew% in logarithmischer Skalierung).

5 hohl gegossen worden seien, die restlichen massiv[51]. Man kann noch heute sehr deutlich die großen Löcher (‚Lunker') an Gitter 1, neben vielen eingebrachten Flickungen erkennen (**Abb. 8**). Dieser technische Unterschied kann auch unterschiedliche Eigenschaften bei den zu gießenden Metallmischungen gefordert haben oder vielleicht sind Hohlguss und Messingzuschlag, bei gleichzeitiger Zinnarmut, als Sparmaßnahme zu interpretieren[52]. Gießereitechnisch und metallurgisch stehen sich trotz im Detail unterschiedlicher Gehalte, sowohl die Wolfstür als auch die Tür zur Karlskapelle und alle Gitter sehr nahe. Dies kann als klarer Hinweis auf eine gemeinsame Herstellung in derselben Werkstatt verstanden werden. Besonders die bereits weiter oben angeführten Unterschiede zu sowohl jüngeren als auch älteren Vergleichen, lassen die karolingischen Großbronzen aus Aachen, vielleicht noch in Verbindung mit dem Adelhauser Tragaltar und der Reiterstatuette aus Metz, unter metallurgischen Gesichtspunkten deutlich aus den bislang bekannten Zusammensetzungen römerzeitlich-frühmittelalterlicher als auch hochmittelalterlicher Bronzegüsse heraustreten. Bemerkenswerter Weise zeigen Analysen der Reiterstatue aus Metz, die aus mehreren Bauteilen besteht, dass der Körper des Reiters bezüglich der Zinn-, Blei- und Zinkgehalte eine nahezu gleichartige Zusammensetzung wie die Gitter 1 und 5 aus Aachen aufweist. Das Pferd ist etwas abweichend zusammengesetzt

51 Braunfels 1965, 170. – Die Unterschiede der Materialzusammensetzung, in Kombination mit gießereitechnischen Merkmalen und stilistisch-kunstgeschichtlichen Überlegungen differenziert auszudiskutieren, könnte durchaus lohnend sein: Pawelec 1990.

52 Man könnte entgegen Braunfels 1965, 191 argumentieren und diese beiden Gitter als die zuletzt gegossenen ansprechen, als die Rohstoffe bereits knapp wurden, oder als Restverwertung des vom Guss der Tür übrig gebliebenen Metalls. Derzeit verbleibt dies auf der Ebene von Spekulationen. Es ist aber angebracht, den Blick für sachgerechte Interpretationsmöglichkeiten offen zu halten, wozu auch die Frage nach der Reihenfolge der Güsse gehört, vgl. die von Pawelec 1990, 144–153 angeführten Kritikpunkte und weiterführenden Vergleiche zur Ornamentik.



Diagr. 4: Metallanalysen. Vergleich der Bärin (pRFA der Patina) sowie des Pinienzapfens (nach Drescher 1993 mittels AAS) aus der Aachener Marienkirche mit den maximalen und minimalen Gehalten von Zinn und Blei römischer Großbronzen, nach Gale/Parisi Presicce/Giardino 2007, versch. Analysemethoden (Gew% in logarithmischer Skalierung).

(**Tab. 3; Diagr. 3**)[53]. Die Gehalte beider liegen aber in Größenordnungen, die sich nicht nur an einigen Gittern, sondern teilweise auch an der Wolfstür finden. Höchstwahrscheinlich wurde ein ähnliches Rohkupfer verwendet wie bei den Aachener Bronzen, ein Fahlerzmetall, dem dann unterschiedliche Anteile von Zinn, Blei und evtl. Zink hinzulegiert worden sind. Dieser Befund könnte als Hinweis auf die Herstellung der Reiterstatue in einer, der Aachener Gießerei technologisch nahestehenden Werkstätte gedeutet werden, die Kupfer aus einer ähnlichen Rohstoffquelle bezog. Die Legierung der Reiterstatue unterscheidet sich jedenfalls viel stärker von den hochmittelalterlichen Großbronzen (s. u.) als von den karolingerzeitlichen aus Aachen.

Bronzegüsse aus anderen Epochen

Bärin

Die Großbronze einer Bärin ist in der Westvorhalle des Domes aufgestellt (**Abb. 9**). Nach Vergleichen dürfte sie ursprünglich zu einer antiken Jagdgruppe gehört haben und später, nach dem runden Loch in ihrer Brust zu urteilen, einer Brunneninstallation zuzuweisen sein[54].

Aufgrund der sehr hohen Bleigehalte um 33 Gew%, mit Zinnwerten um 11 %, stellt sich dieser Bronzeguss ganz klar in die Reihe römischer Großbronzen (**Tab. 2; Diagr. 4**), die sich besonders durch vergleichsweise hohe Bleigehalte zwischen ca. 10 und 30 Gew% auszeichnen[55]. Bisher konnte an der Bärin aber nur auf patinierten Bereichen

53 Analysen zur Reiterstatue aus Metz im Louvre: Gaborit-Chopin 1999. Pferd und Körper des Reiters wurden mittels Elektronenabsorptionsspektroskopie ermittelt, die Werte für den Kopf des Reiters (dieser mit 4–5 % Zink, 5–8 % Zinn) jedoch bereits früher, sie seien nicht so genau: ebd. 14 u. Anm. 28 f. Das mögliche Fehlen von Pb im Kopf des Reiters unterscheidet den vergleichsweise kleinen Guss desselben deutlich von den Aachener Bronzen, jedoch handelt es sich beim Reiter auch nicht um eine Großbronze, hier spielten also ganz andere technische Bedingungen einer Rolle.

54 Dazu Künzl 2003, Künzl 2007; zusammenfassend: S. Ristow, Neue Untersuchungen zum Bronzeguss der Bärin in der Vorhalle des Aachener Domes, Vortrag Deutsches Studienzentrum Venedig bei „Löwe, Wolf und Greif. Monumentale Tierbronzen im Mittelalter“ am 7.2.2017.

55 Gale/Parisi Presicce/Giardino 2007, 129–141. Eine ganze Reihe Großbronzen römischer Zeitstellung von Fundorten nördlich der Alpen weist ganz ähnliche, hohe Pb – und niedrige Sn-Gehalte auf, vgl.: Gebrochener Glanz 2014, bes. 171. Auch aus Aalen sind, (ebd. 134) wie auch aus Augusta Raurica, mehrere Legierungstypen von Bronzen, jeweils spezifisch für verschiedene Funktionsgruppen, bekannt, wobei Fragmente von Großbronzen durchweg sehr hohe Pb-Gehalte zeigen: Furger/Riederer 1995, bes. 151 Tab. 9; 162.

Abb. 9: Aachener Dom, Bronzeguss einer Bärin in der Vorhalle.

gemessen werden[56]. Die blank polierte linke Vorderpfote ist gut sichtbar später ersetzt worden und zeigt eine andere Zusammensetzung[57].

Wann die Bärin, die älteste erhaltene Großbronze im Dom- und Pfalzbereich, nach Aachen gekommen ist, lässt sich nicht angeben. Die Publikationen der letzten Jahre ziehen einen hypothetischen Schluss aus der Erwähnung der Wolfstür im Jahr 1350, die damit in Zusammenhang gebracht wird, dass die Bärin, mittlerweile als römische Wölfin, als *lupa*, angesehen worden sei[58] und der Tür den Namen gegeben habe, weil sie dem Standort der Bärin nahe gewesen sei. Schließlich habe die Gestalt der Bärin stilistisch Einfluss auf die Ausführung der Löwenkopftürzieher der Wolfstür genommen. Hier reihen sich viele Hypothesen und subjektive Beschreibungen aneinander, die höchstens eine Tendenz aufzeigen können und es wird mit weichen Kriterien eine letztlich nicht belastbare Hypothesenkette aufgebaut. Ob die Bärin schon in der Antike in Aachen war, wo es zweifelsfrei viele Brunnen gegeben hat, kann ebenso wenig bestätigt werden, wie eine durchaus wahrscheinliche Überführung in karolingischer, ottonischer oder noch späterer Zeit.

Pinienzapfen

Der 278 kg schwere und 91 cm hohe Pinienzapfen[59] mit 129 feinen Löchern für den Austritt von Wasser und Spuren einer Nutzung als Brunnenaufsatz ist seit dem 15. Jahrhundert im Bereich des Westportals des Aachener Domes überliefert. Vielleicht stand dort im Atrium der zugehörige Brunnen.

Ältere Analysen berichten von einer Zinnbronze mit ca. 14 % Zinn und ca. 5 % Bleigehalt. Unsere neuen Messungen ergaben vergleichbare Werte für beide Bestandteile, die jedoch aufgrund der Patinabildung deutlich erhöht sind. Dennoch folgt das oberflächliche Verteilungsmuster demselben Trend wie die Kernprobe (**Tab. 2; Tab. 4; Diagr. 5**)[60]. Darüber hinaus konnten am Pinien-

56 Aufgrund des extrem hohen Pb-Gehalts können wir annehmen, dass ein geringer As-Gehalt zwar vorhanden, aber aufgrund der Linienüberlagerungen im Röntgenspektrum nicht nachweisbar ist. Da dies aber bei unserer Fragestellung nach den Hauptcharakteristika der Bronze und einer möglichen chronologischen Zuweisung anhand von Vergleichsanalysen kaum ins Gewicht fällt – die Legierung ist ganz typisch für römerzeitliche Bronzen mit sehr hohem Pb-Anteil – ist das Problem in diesem Fall auch weniger schwierig. Stellenweise nicht detektierbare Ag-Anteile sind an der Bärin sowie einigen Gittern festzustellen, hier gilt dieselbe Annahme. Die stark ausgeprägte Patinabildung auf der Bärin trägt ein Übriges zur Verzerrung der Messwerte bei, weshalb auf eine ausführliche Diskussion und grafische Darstellung der Spurenelemente verzichtet wird.

57 Sie besteht aus Messing. Auch wenn stellenweise als Wölfin angesprochen, handelt es sich nach mehrheitlichen Indizien um die Darstellung einer Bärin. Anatomisch hat eine Bärin ein Paar Zitzen an der Brust und ein weiteres Paar am Bauch, wie die Bronzeskulptur in der Vorhalle. Weibliche Wölfe, sogenannte Fähen, haben fünf Paar Zitzen. Wenn auch die langen Beine eher gegen eine Bärin sprechen, so stehen Kopfform, kurze Schnauze und Ohren einer solchen doch deutlich näher als einer Wölfin.

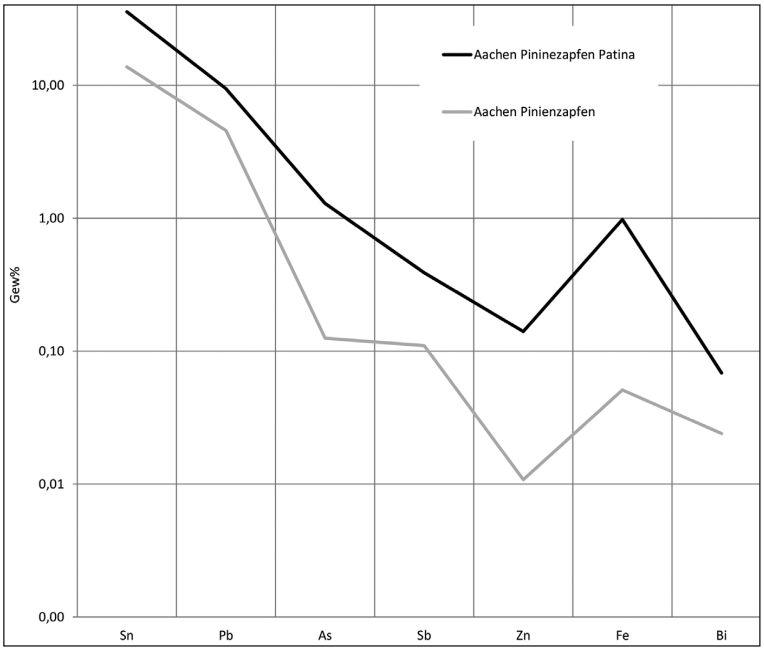
58 Künzl 2003, 3; Bredekamp 2014, 64–68.

59 Ristow 2017; Ristow/Steiniger 2017b.

60 Wir konnten zwar nur auf der Patina messen, halbiert man die pRFA-Werte für Pb, Sn und Sb ergeben sich in etwa die von Drescher an einem Bohrkern aus dem Inneren gewonnenen Werte: Akten des Dombauarchivs und aus dem Helms-Museum Hamburg; mit freundlichem Dank an Hans Drescher, Helmut Maintz, Ursula Mende und Rainer-Maria Weiss. – Selbstverständlich sind damit, wie bei der patinierten Bärin, nur Näherungswerte zu erzielen, aber die Daten reichen erfahrungsgemäß aus, um eine sichere Ansprache der Metallsorte zu gewährleisten.

	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	Ag	Sb	As	Bi	Co	Au	Cd	Sum Gew%
Aachen Pininzapfen	81,21	13,775	4,57	0,0108	0,051	0,0369	0,1268	0,11	0,125	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,02
Mainz Tür, li. Flügel, 1l	86,790	8,152	4,065	0,0193	0,1930	0,1145	0,0973	0,0200	0,5450	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, li. Flügel, 2r	79,950	11,413	7,565	0,0416	0,0430	0,1067	0,1457	0,0290	0,7080	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, li. Flügel, 3l	90,110	7,115	1,829	0,0233	0,2690	0,1045	0,0803	0,0260	0,4430	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, li. Flügel, 4r	82,760	10,885	5,444	0,0034	0,0120	0,1027	0,1510	0,0300	0,6070	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, li. Flügel, 5l	89,090	6,186	3,515	0,1559	0,2450	0,0766	0,0899	0,0200	0,5130	<0,025	<0,0115	<0,01	<0,001	99,89
Mainz Tür, li. Flügel, 6r	83,130	9,914	5,937	0,0040	0,0110	0,1081	0,1430	0,0290	0,7200	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, re. Flügel, 1l	82,65	10,115	6,361	0,0036	0,0160	0,0028	0,1734	0,0310	0,5610	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	99,91
Mainz Tür, re. Flügel, 2r	79,86	11,801	7,69	0,0043	0,0100	0,0664	0,1472	<0,02	0,4250	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, re. Flügel, 3l	86,79	7,134	5,319	0,0048	0,0200	0,0883	0,1523	0,0250	0,4640	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, re. Flügel, 4r	85,82	9,714	3,903	0,0085	0,0260	0,0640	0,1247	<0,02	0,3420	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, re. Flügel, 5l	86,25	6,189	6,81	0,0043	0,0260	0,0876	0,1086	<0,02	0,5220	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Mainz Tür, re. Flügel, 6r	88,33	5,626	5,46	0,0032	0,0160	0,0751	0,1252	<0,02	0,3610	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Hildesheim Tür 93/1N+2,2	83,08	4,822	6,255	5,3364	0,085	0,485	0,0604	<0,02	0,315	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,44
Hildesheim Tür 9313A+2,85	83,73	5,835	5,407	5,3074	0,077	0,29	0,075	0,022	0,196	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,94
Hildesheim Tür 93/2 N+1,2	80,73	5,824	7,382	5,5366	0,1	0,0402	0,0865	<0,02	0,314	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,01
Hildesheim Tür 92/27 A,ÜG	80,65	3,656	8,689	6,5779	0,076	0,0286	0,0865	0,021	0,219	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Hildesheim Säule S1 oben	75,45	16,959	7,027	0,1198	0,125	0,0478	0,0783	<0,02	0,139	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	99,95
Hildesheim Säule S3 unten	74,23	17,349	7,87	0,0217	0,063	0,0674	0,0738	<0,02	0,329	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Hildesheim Säule S4 unten	69,47	23,78	6,08	0,0065	0,221	0,0704	0,0639	0,022	0,287	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00
Hildesheim Säule Plinthe S2	70,72	6,531	22,233	0,0031	0,015	0,0497	0,1149	<0,02	0,334	<0,025	<0,005	<0,01	<0,001	100,00

Tab. 4: Metallanalysen aus Aachen, Marienkirche: Pinienzapfen nach Drescher 1993, Drescher 2002 und Akten des Dombauarchivs; Mainz und Hildesheim nach Drescher 2002 Tab. 3, 108 f. Alle Analysen in Gew% mittels AAS.



Diagr. 5: Metallanalysen. Aachen, Marienkirche, Pinienzapfen: Vergleich der pRFA-Werte der Patina mit einer Kernprobe von Drescher 1993 mittels AAS (Gew% in logarithmischer Skalierung).

zapfen eine ganze Reihe von Spurenelementen nachgewiesen werden, die nur in geringen Mengen vorhanden, aber wichtig für den Vergleich mit anderen Metallsorten sind, so z. B. Arsen, Antimon, Silber, Zink, Quecksilber und Wismut. Die pRFA-Messungen an verschiedenen Stellen zeigen klar, dass Sockel und Aufbau des Zapfens aus derselben Legierung bestehen. Gusstechnische Merkmale im Innern legen nahe, dass das gesamte Ensemble von 91 cm Höhe und 59,9 cm Breite aus einem Stück gegossen wurde. Die neuen Analysen bestätigen damit etwas, das bereits seit längerem vermutet wurde[61].

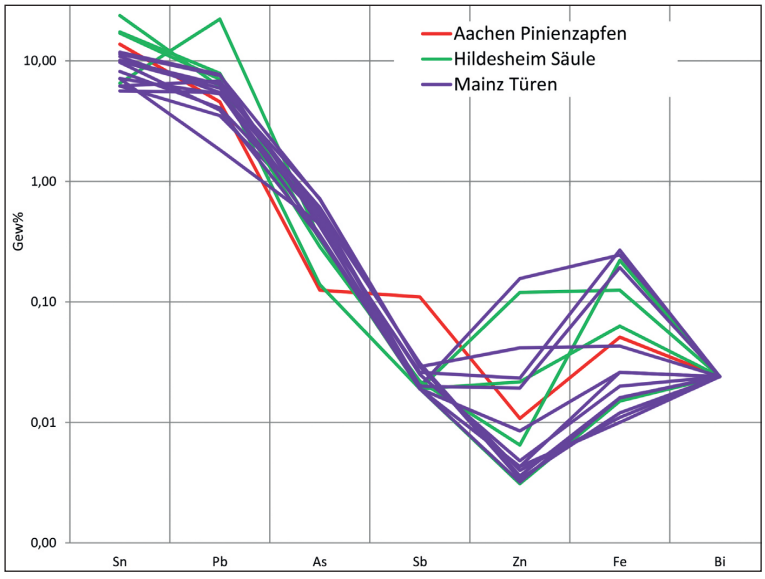
Ein Vergleich der Bronze des Pinienzapfens (nach den AAS-Werten von Drescher 1993) mit der Säule aus Hildesheim sowie der Mainzer Domtür zeigt außerdem, dass der Pinienzapfen aus einer recht ähnlichen Metallsorte zu bestehen scheint (**Tab. 4; Diagr. 6**). Die Türen aus Hildesheim treten aber aufgrund ihres stark erhöhten Zinkgehalts aus dieser Gruppierung heraus (**Diagr. 7**). Alle genannten hochmittelalterlichen Türen und die Bernwardsäule weisen, jeweils für sich betrachtet, bei Zinn, Blei, Arsen und Antimon sehr scharf begrenzte, prägnante Muster auf[62], denen der Pinienzapfen auffallend nahesteht, besonders wenn man die Kurven der karolingischen Großbronzen aus Aachen gegenüberstellt (**Diagr. 2**)[63].

Die Legierung des Pinienzapfens unterscheidet sich also deutlich von den karolingerzeitlichen Großbronzen, wie z. B. den Bronzetüren oder den Gittern im Oktogon des Aachener Doms und auch von der Bärin (**Diagr. 4**). Damit wird die Wahrscheinlichkeit größer, dass der Pinienzapfen zu einem anderen Zeitpunkt dem Ausstattungsensemble hinzugefügt wurde, z. B. in der ottonischen Zeit.

61 Drescher 1994, 43–47.

62 Nur die stark Pb-haltige – und dafür Sn-ärmere – Plinthe der Bernwardsäule weicht stärker von Schema ab.

63 Es handelt sich also um andere Metallsorten, bzw. ganz anders zusammengestellte Chargen, auch wenn für einige der mittelalterlichen Vergleiche ebenfalls Fahlerze als Rohstoffquelle infrage kommen können. – Zuletzt Drescher 2002, bes. 18–21; wir verwenden in der vorliegenden Arbeit die von Drescher 2002 zusammengestellten Analysen zu Hildesheim und Mainz; Brockner u. a. 1996 haben teilweise andere Spurenelementgehalte als Drescher in den Hildesheimer Bronzen nachgewiesen und konnten mittels REM-Aufnahmen zwischen bleifreier Cu-Zn-Sn-Legierungsmatrix und Pb-Ausscheidungen unterscheiden.



Diagr. 6: Metallanalysen. Vergleich des Pinienzapfens aus Aachen mit der Bernwardsäule aus Hildesheim und den Domtüren aus Mainz, nach den AAS-Werten von Drescher 1993 und Drescher 2002 (Gew% in logarithmischer Skalierung).

Nach den hier kurz vorgestellten Ergebnissen ist es, wie schon zuvor von Hans Drescher vermutet worden war, gänzlich unwahrscheinlich, dass der Zapfen schon zu Zeiten Karls des Großen in Aachen hergestellt oder dorthin verbracht worden ist. Vielmehr lässt sich nach historischen Erwägungen eine gewisse Wahrscheinlichkeit formulieren, dass im Zuge der Aachener Aktivitäten des Kaisers Otto III.[64], jedenfalls spätestens mit den Umbaumaßnahmen an der Pfalz im 11. Jahrhundert mit der Fertigung oder der Ankunft des Zapfens gerechnet werden sollte.

Gusstropfen und Bleiruten

Aus jüngsten Grabungen der Stadtarchäologie im Auftrag der Dombauleitung sind aus der Vorhalle des Domes eine ganze Menge kleiner Bronzetropfen und Schlackestücke geborgen worden sowie Fragmente von Bleiruten der Fensterverglasung[65]. Als vorläufige Interpretation können die bisher mittels pRFA untersuchten Stücke keine Gussreste oder Gusstropfen von einer der von uns untersuchten Großbronzen aus der Marienkirche sein. Aufgrund der Vermischung der Befunde in der Vorhalle könnten allerdings durchaus auch deutlich spätere Werkstattreste aus viel jüngeren Bauphasen vorliegen.

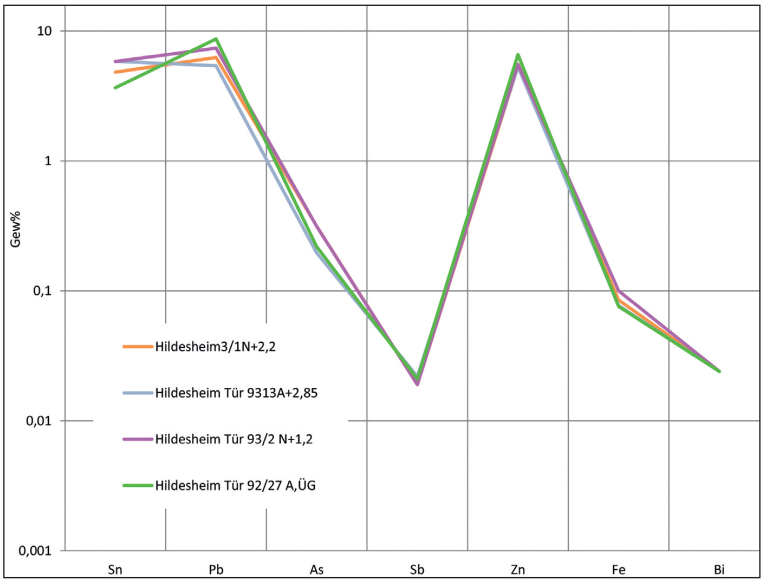
Fazit

Die naturwissenschaftlichen Analysen bestätigen in mancher Hinsicht die kunstwissenschaftlichen Vermutungen. Am bedeutendsten ist die Erkenntnis, dass Gitter und Türen im Chemismus starke Gemeinsamkeiten aufweisen. Es ist deshalb anzunehmen, dass sie in Aachen in der im archäologischen Befund nachgewiesenen Buntmetallwerkstatt auf dem Katschhof hergestellt worden sind. Höchstwahrscheinlich ist die Herstellung der Bronzegüsse also in der Zeit zwischen 793 und 813, der maximalen Bauzeit der Marienkirche[66], erfolgt. Über Aachen hinaus von Bedeutung sind aber auch die neuen Hinweise auf die damaligen Rohstoffquellen. Aufgrund der Neben- und Spurenelemente der karolingerzeitlichen Bronzen kann die Verwendung von größeren Mengen Altmetall ausgeschlossen werden. Dagegen kamen ganz bestimmte Erztypen zum Einsatz, die auf

64 Falkenstein 1998.

65 Wir danken Andreas Schaub von der Stadtarchäologie Aachen, dass er die Funde für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat.

66 Maintz 2011, 96 f.



Diagr. 7: Metallanalysen. Hildesheim, Domtüren, nach den AAS-Werten von Drescher 2002 (Gew% in logarithmischer Skalierung).

eine funktionierende und gut organisierte montanwirtschaftliche und metallurgische Infrastruktur schließen lassen. Diese versorgte das Großbauprojekt in Aachen zuverlässig mit den erforderlichen Rohmaterialien. Während sich die Bärin von ihrer Charakteristik her in der Antike verorten lässt[67], dürfte der Pinienzapfen dem beginnenden Hochmittelalter zuzuweisen sein. In der Vorhalle des Domes als Bodenfunde geborgene Werkreste aus Metall gehören möglicherweise zu zeitlich späteren Aktivitäten. Die mit der pRFA erbrachten Messwerte bestätigen die Ergebnisse der invasiven Untersuchungen von Hans Drescher und zuvor von Josef Buchkremer und erweitern sie beträchtlich. Für die Zukunft ist es naheliegend mehr Messwerte mit dieser denkmalschützenden Methode zu erheben sowie die hier angestellten Überlegungen mithilfe anderer Analysemethoden zu untermauern.

67 Künzl 2007 vermutet einen griechischen Ursprung für die Bärin.

Abgekürzt zitierte Literatur

Bachmann 2013
H.-G. Bachmann, Bunt- und Edelmetalle aus mitteleuropäischen Komplexerz-Lagerstätten: Fahlerz-Verhüttung von der Bronzezeit bis zur Renaissance. In: Stöllner 2003, 25–35.

Bartels/Klappauf 2012
C. Bartels/L. Klappauf, Das Mittelalter. In: C. Bartels/R. Slotta. (Hrsg.), Geschichte des deutschen Bergbaus 1. Der alteuropäische Bergbau (Münster 2012) 111–248.

Baumeister 2004
M. Baumeister, Metallrecycling in der Frühgeschichte (Rahden/Westf. 2004).

Bielicki/Tischendorf 1991
K.-H. Bielicki/G. Tischendorf, Lead isotope and Pb-Pb model age determinations of ores from Central Europe and their metallogenetic interpretation. Contributions to Mineralogy and Petrology, Feb. 1991, Vol. 106, Iss. 4, 440–461.

Bliedtner/Martin 1986
M. Bliedtner/M. Martin, Erz- und Minerallagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes (Freiburg i.Br. 1986).

Borgnet 1890
A. Borgnet, Alberti Magni opera omnia, 5 (Paris 1890).

Born 1985
H. Born, Archäologische Bronzen: Antike Kunst – Moderne Technik (Berlin 1985).

Braunfels 1965
W. Braunfels, Karls des Grossen Bronzewerkstatt. In: W. Braunfels/H. Schnitzler (Hrsg.), Karl der Grosse. Lebenswerk und Nachleben 3, Karolingische Kunst (Düsseldorf 1965) 168–202.

Bredekamp 2014
H. Bredekamp, Der schwimmende Souverän. Karl der Große und die Bildpolitik des Körpers. Eine Studie zum schematischen Bildakt (Berlin 2014).

Brockner u. a. 1996
W. Brockner/U. Haack/J. Lévêque/D. Klemens, Archäometrische Untersuchungen und Blei-Isotopenverhältnismessungen an Bernwardtür und Bernwardsäule von Hildesheim. Arch. Korrbl. 26,3, 1996, 347–356.

Buchkremer 1924
J. Buchkremer, Die Wolfstür der Aachener Münsterkirche (Aachen 1924).

Cesareo u. a. 2008
R. Cesareo u. a., Portable systems for energy-dispersive X-ray fluorescence analysis of works of art. In: Potts/West 2008, 206–246.

Craddock/Eckstein 2003
P. T. Craddock/K. Eckstein, Production of Brass in Antiquity by Direct Reduction (London 2003) 216–230.

Drescher 1983
H. Drescher, Metallhandwerk des 8.–11. Jahrhunderts in Haithabu auf Grund der Werkstattabfälle. In: H. Jankuhn, (Hrsg.), Das Handwerk in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. Bericht über die Kolloquien der Kommission für die Altertumskunde Mittel- u. Nordeuropas in den Jahren 1977–1980 Bd. 2 (Göttingen 1983) 174–192.

Drescher 1993
H. Drescher, Ein Kommentar zu Gerhard Laub. In: Steigerwald 1993, 313–316.

Drescher 1994
H. Drescher, Exkurs 1: zur Legierung einer Pfeilnocke sowie einer Schnalle und einer Knebelstange der Trense aus dem Bootkammergrab von Haidaby. Acta Archaeologica 65, 1994, 43–47.

Drescher 2002
H. Drescher, Untersuchungen und Versuche zur Technik besonderer Metallarbeiten des 10. bis 12. Jahrhunderts. Unveröff. Manuskript, Helms-Museum Hamburg ca. 2002.

Falkenstein 1998
L. Falkenstein, Otto III. und Aachen. MGH Stud. u. Texte 22 (Hannover 1998).

Fluck 2013
P. Fluck, Montanarchäologische Forschungen in den Vogesen. In: Steuer/Zimmermann 1993, 267–289.

Fluck/Gauthier/Bohly 2013
P. Fluck/J. Gauthier/B. Bohly, Mines et métallurgie des non-ferreux en Alsace, du haut Moyen Âge au XVIe siècle (Altenberg/Sainte-Marie-aux-Mines Steinbach), Université de Haute-Alsace, Mulhouse (2013).

Furger/Riederer 1995
A. R. Furger/J. Riederer, Aes und aurichalcum, Jahresber. aus Augst und Kaiseraugst 16, 1995, 115–180.

Gaborit-Chopin 1999
D. Gaborit-Chopin, La statuette équestre de Charlemagne (Paris 1999).

Gale/Parisi Presicce/Giardino 2007
N. Gale/C. Parisi Presicce/C. Giardino, La provenienza del metallo adoperato nella fabbricazione della Lupa Capitolina, Studi Etruschi 71, 2007, 129–141.

Gebrochener Glanz 2014
Gebrochener Glanz. Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes. Ausstellungskat. Bonn (Mainz 2014).

Giertz/Ristow 2013
W. Giertz/S. Ristow, Goldtessellae und Fensterglas. Neue Untersuchungen zur Herstellung und Nutzung von Glas im Bereich der karolingerzeitlichen Pfalz Aachen. Ant. Welt 44, 2013, H. 5, 59–66.

Giumlia-Mair 2008
A. Giumlia-Mair, The metal of the moon goddess. Surface Engineering 24,2, March 2008, 110–117.

Goldenberg 1996
G. Goldenberg, Archäometallurgische Untersuchungen zum Metallhüttenwesen im Schwarzwald (Sigmaringen 1996).

Goldschmidt 1926
A. Goldschmidt, Die deutschen Bronzetüren des frühen Mittelalters (Marburg a. d. Lahn 1926).

Graf 1990
H.-W. Graf, Blei- und Zinkerzbergbau um Stolberg bei Aachen. Der Aufschluss 41,2, 1990, 111–130.

Gramaccini 1995
N. Gramaccini, Die karolingischen Großbronzen. Brüche und Kontinuitäten in der Werkstoffikonographie. Anz. Germ. Nationalmus. 1995, 130–140.

Gratuze u. a. 2003
B. Gratuze u. a., Les «lissoirs» carolingiens en verre au plomb: mise en évidence de la valorisation des scories issues du traitement des galènes argentifères de Melle (Deux-Sèvres). In: M. Foy (Hrsg.), Échanges et commerce du verre dans le monde antique: actes du colloque de l'Association Française pour l'Archéologie du Verre Aix-en-Provence et Marseille, 7–9 juin 2001 (Montagnac 2003) 101–108.

Grothe 2002
A. Grothe, Die villa Twesine – Neue Erkenntnisse zu einem früh- und hochmittelalterlichen Kupferverhüttungs- und Siedlungsplatz bei Marsberg. Westfalen 78, 2002, 3–16.

Hanel/Bode 2016
N. Hanel/M. Bode, Messingbarren aus einem römischen Schiffswrack bei Aléria (Korsika). In: Körlin u. a. 2016, 167–181.

Hannak 1978
W. Hannak, Die Rammelsberger Erzlager. Der Aufschluss, Sonderband 28 (Heidelberg 1978), 127–140.

Haustein 2013
M. Haustein, Isotopengeochemische Untersuchungen zu möglichen Zinnquellen der Bronzezeit Mitteleuropas. Forschungsber. Landesmus. für Vorgesch. Halle 3 (Halle/Saale 2013).

Haustein/Gillis/Pernicka 2010
M. Haustein/C. Gillis/E. Pernicka, Tin isotopy – A new method for solving old questions. Archaeometry 52,5, 2010, 816–832.

Henglein 1910
M. Henglein, Lötrohrprobierkunde – Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohres (Leipzig 1910).

Hildebrand 1993
L. H. Hildebrand, Zum mittelalterlichen Blei-Zink-Silber-Bergbau südlich von Heidelberg. In: Steuer/Zimmermann 1993, 255–265.

Höltken 2006
Th. Höltken, Heumarkt V. Karolingisch-ottonische Hausbefunde vom Heumarkt in Köln. Kölner Jahrb. 39, 2006, 457–520.

Jentgens/Peine 2015
G. Jentgens/H.-W. Peine, Wem die Glocke schlägt – 1200 Jahre Kirche und Siedlung in Dülmen. Kreis Coesfeld, Regierungsbezirk Münster. Arch. in Westfalen-Lippe 2015, 79–83.

Klappauf 2013
L. Klappauf, 10 Jahre Montanarchäologie im Harz – Resümee und Ausblick. In: Stöllner 2003, 227–235.

Klein 2007
S. Klein, Dem Euro der Römer auf der Spur – Bleiisotopenanalysen zur Bestimmung der Metallherkunft römischer Münzen. In: G. A. Wagner (Hrsg.): Einführung in die Archäometrie (Berlin 2007) 139–152.

Klein u. a. 2010
S. Klein/G. P. Brey/S. Durali-Müller/Y. Lahaye, Characterisation of the raw metal sources used for the production of copper and copper-based objects with copper isotopes. Arch. and Anthropological Science 2, 2010, 45–56.

Klockmann 1978
F. Klockmann, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, hrsg. v. P. Ramdohr/H. Strunz. 16. Aufl. (Stuttgart 1978).

Körlin u. a. 2016
G. Körlin u. a. (Hrsg.), From bright ores to shiny metals – Festschrift for Andreas Hauptmann (Bochum 2016).

Konnegen/Maintz
L. Konnegen/H. Maintz, Sechzehneck – Erneuerung der Bleieindeckung. Schriftenr. Karlsverein-Dombauverein 19, 2017, 9–58.

Krabath u. a. 1999
St. Krabath/D. Lammers/T. Rehren/J. Schneider, Die Herstellung und Verbreitung von Buntmetall im karolingerzeitlichen Westfalen. In: M. Wemhoff/Ch. Stiegemann

(Hrsg.), 799 – Kunst und Kultur der Karolingerzeit 3. Ausstellungskat. Paderborn (Mainz 1999) 430–437.

Krafft 2006
F. Krafft, G. Agricola, De natura fossilium, Basel 1546, (Wiesbaden 2006).

Krause 2003
R. Krause, Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee (Rahden/Westf. 2003).

Kronz u. a. 2016
A. Kronz u. a., Die Aachener Eisenmasse. Neues zu einem alten Fund. Archäometrie und Denkmalpflege. Metalla, Sonderh. 8, 2016, 182–185.

Künzl 2003
E. Künzl, Die antike Bärin im Dom zu Aachen. Sonderdr. aus Jahrb. RGZM 49, 2002 (Mainz 2003).

Künzl 2007
E. Künzl, Die Bärin im Dom zu Aachen. Hellenistische Skulptur, römischer Brunnen, karolingisches Romzeichen. In: R. Bedon/M. Polfer (Hrsg.), Etre romain. Hommages in memoriam Charles Marie Ternes (Remshalden 2007) 413–431.

Lammers 2009
D. Lammers, Das karolingisch-ottonische Buntmetallhandwerker-Quartier auf dem Plettenberg in Soest. Soester Beitr. Arch. 10 (Soest 2009).

Lane/Campbell 2000
A. Lane/E. Campbell, Dunadd: an early Dalriadic capital (Oxford 2000).

Laub 1993
G. Laub, Zum Nachweis von Rammelsberger Kupfer in Kunstgegenständen aus Goslar und in anderen Metallarbeiten des Mittelalters. In: Steigerwald 1993, 303–311.

Lehmann 2011
R. Lehmann, Archäometallurgie von mittelalterlichen deutschen Silberbarren und Münzen (Hannover 2011).

Lüschen 1968
H. Lüschen, Die Namen der Steine (Thun 1968).

Lutz/Pernicka 1996
J. Lutz/E. Pernicka, Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy. Archaeometry 38,2, 1996, 313–323.

Maintz 2011
H. Maintz, Dendrochronologische Datierung Holzringanker. Oktogonkuppel und Fundamentholz Oktogonpfeiler Nr. 7. Schriftenreihe Karlsverein-Dombauverein 13, 2011, 93–100.

Mecking 2013
O. Mecking, Medieval lead glass in Central Europe. Archaeometry 55, 4, 2013, 640–662.

Meeks 1993
N. Meeks, Surface characterization of tinned bronze, high-tin bronze, tinned iron and arsenical bronze. In: S. La-Niece/P. Craddock (Hrsg.), Metal plating and patination: Cultural, technical and historical developments (Oxford 1993) 247–275.

Mende 1994
U. Mende, Die Bronzetüren des Mittelalters 800–1200² (München 1994).

Mende 2013
U. Mende, Die mittelalterlichen Bronzen im Germanischen Nationalmuseum (Nürnberg 2013).

Meyerdirks/Rehren/Harvey 2004
U. Meyerdirks/T. Rehren/A. Harvey, Appendix 8: Reconstructing the Early Medieval Copper Smelting at Ross Island. In: O'Brian 2004, 651–664.

Nessel/Brügmann/Pernicka 2015
B. Nessel/G. Brügmann/E. Pernicka, Tin isotopes and the sources of tin in the Early Bronze Age Úněti ce Culture. In: J. M. Mata Perelló (Hrsg.), Libro de resúmenes del XV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero y de la XIX Sesión Científica de la SEDPGYM, Logrosán (Cáceres), 25–28 Sept. 2014 (Logrosán 2015) 1–20.

O'Brian 2004
W. O'Brian (Hrsg.), Ross Island: Mining, Metal and Society in Early Ireland (Galway 2004).

Pawelec 1990
K. Pawelec, Aachener Bronzegitter. Studien zur karolingischen Ornamentik um 800. Bonner Beitr. Kunstwiss. 12 (Köln 1990).

Peltzer 1908
R. A. Peltzer, Geschichte der Messingindustrie und der künstlerischen Arbeiten in Messing (Dinanderies) in Aachen und den Ländern zwischen Maas und Rhein von der Römerzeit bis zur Gegenwart (Aachen 1908).

Pernicka 2014
E. Pernicka, Provenance Determination of Archaeological Metal Objects. In: B. W. Roberts/C. P. Thornton (Hrsg.), Archaeometallurgy in Global Perspective (New York 2014) 239–268.

Pohle 2015
F. Pohle, Die Erforschung der karolingischen Pfalz Aachen. 200 Jahre archäologische und bauhistorische Untersuchungen. Rheinische Ausgrabungen 70 (Darmstadt 2015).

Potts/West 2008
P. J. Potts/M. West (Hrsg.), Portable X-ray Fluorescence Spectrometry – Capabilities for In Situ Analysis (Cambridge 2008).

Prange/Modarressi-Tehrani/Demant 2016
M. Prange/D. Modarressi-Tehrani/D. Demant, Some Thoughts on the Benefits and Challenges of Working with pXRF. In: Körlin u. a. 2016, 247–256.

Pufke 2012
A. Pufke (Hrsg.), Die karolingische Pfalzkapelle in Aachen. Material, Bautechnik, Restaurierung. Arbeitsh. d. rheinischen Denkmalpflege 78 (Worms 2012).

Rapp 2009
G. Rapp, Archaeomineralogy (Berlin 2009).

Riederer 1992
J. Riederer, Zur historischen Entwicklung der Kenntnis von Korrosionsprodukten auf kulturgeschichtlichen Objekten aus Kupferlegierungen. Berliner Beitr. zur Archäometrie 11, 1992, 93–111.

Riederer 1999
J. Riederer, Die Aussagekraft der Spurenelementkonzentrationen in mittelalterlichen Kupferlegierungen. Berliner Beitr. zur Archäometrie 16, 1999, 21–41.

Riederer 2000
J. Riederer, Die Berliner Datenbank von Metallanalysen kulturgeschichtlicher Objekte, 2. Objekte aus Kupferlegierungen des 17./18. Jahrhunderts, der Renaissance und des Mittelalters. Berliner Beitr. zur Archäometrie 17, 2000, 143–216.

Riederer 2001
J. Riederer, Die Berliner Datenbank von Metallanalysen kulturgeschichtlicher Objekte, 3. Römische Objekte. Berliner Beitr. zur Archäometrie, 18, 2001, 139–259.

Ristow 2013
S. Ristow, Buntmetallherstellung für die Marienkirche. In: Th. R. Kraus (Hrsg.), Aachen. Von den Anfängen bis zur Gegenwart 2, Karolinger – Ottonen – Salier, 765–1137. Veröff. des Stadtarchivs Aachen 14 = Beih. Zeitschr. Aachener Geschver. 8 (Aachen 2013) 188–193.

Ristow 2016
S. Ristow, Alte Grabungen, neue Erkenntnisse – Zur Aufarbeitung der Archäologie der Aachener Pfalz. In: E. Wamers (Hrsg.), Karl der Große. Fünf Beiträge zu Herrschaft und Hof Karls des Großen. Schr. Arch. Mus. Frankfurt 27 (Regensburg 2016) 23–45.

Ristow 2017
S. Ristow, Pinienzapfen aus der Vorhalle des Aachener Domes. In: Stiegemann 2017, 331 f.

Ristow/Steiniger 2017a
S. Ristow/D. Steiniger, Untersuchung zu Bronzearbeiten aus dem Aachener Dom. Schriftenr. Karlsverein-Dombauverein 19, 2017, 91–105.

Ristow/Steiniger 2017b
S. Ristow/D. Steiniger, Naturwissenschaft und Archäologie im Aachener Dom Karls des Großen. In: Stiegemann 2017, 180–187.

Roth 1986
H. Roth, Kunst und Kunsthandwerk im frühen Mittelalter: archäologische Zeugnisse von Childerich I. bis zu Karl d. Großen (Stuttgart 1986).

Roxburgh 2013
M. A. Roxburgh, Castaways: New Insights from the Metal Detected Brooches of Early Medieval Frisia (Leiden 2013).

Schaeffer/Hein 1985
R. Schaeffer/P. Hein, Der Kupfererzbergbau bei Marsberg im Sauerland. Der Aufschluss 36, 4, 1985, 105–116.

Schnorrer-Köhler 1991
G. Schnorrer-Köhler, Die Minerale der ehemaligen Kupfererzlagerstätte Nieder-Marsberg 1.Teil. Lapis, Jg. 16, Nr. 11, 1991, 13–18; ders. 2. Teil, Ebd. Nr. 12, 13–21.

Schwab/Pernicka/Furger 2011
R. Schwab/E. Pernicka/A. R. Furger, Bleiisotopenuntersuchungen am „Schrottfund“ von Augusta Raurica. Jahresber. aus Augst und Kaiseraugst 32, 2011, 223–234.

Schwab/Willer 2014
R. Schwab/F. Willer, Metallkundliche Untersuchungen an den Grossbronzen vom Limes, in: Gebrochener Glanz 2014, 180–182.

Steigerwald 1993
F. N. Steigerwald (Hrsg.), Goslar: Bergstadt, Kaiserstadt in Geschichte und Kunst (Göttingen 1993).

Steiniger 2007
D. Steiniger, Untersuchungen zum Chalkolithikum der Apenninhalbinsel (Freiburg i.Br. 2007).

Stephan 1994
H.-G. Stephan, Archäologische Erkenntnisse zu karolingischen Klosterwerkstätten in der Reichsabtei Corvey. Arch. Korrbl. 24, 1994, 207–216.

Steuer/Zimmermann 1993
H. Steuer/U. Zimmermann (Hrsg.), Montanarchäologie in Europa: Berichte zum Internationalen Kolloquium „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“, Freiburg i. Br. 4.–7. Oktober 1990 (Sigmaringen 1993).

Stiegemann 2017
Ch. Stiegemann (Hrsg,), Wunder Roms: Im Blick des Nor-

dens – Von der Antike bis zur Gegenwart. Ausstellungskat. Paderborn (Petersberg 2017).

Stöllner 2003
T. Stöllner (Hrsg.), Man and Mining – Mensch und Bergbau. Studies in Honour of Gerd Weisgerber on Occasion of his 65th Birthday (Bochum 2003).

Téreygeol 2002
F. Téreygeol, Frühmittelalterlicher Bergbau und Silberproduktion von Melle in Frankreich. Der Anschnitt 54, 2002, 253–266.

Téreygeol 2007
F. Téreygeol, Production and circulation of silver and secondary products (lead and glass) from frankish royal silver mines at Melle (7th–10th century). In: J. Henning (Hrsg.), Postroman towns and trade in Europe and Byzantium. Millenium Stud. 5,1 (Berlin 2007) 123–134.

Téreygeol 2010
F. Téreygeol/ E. Foy/J.-F. Mariotti/A. Dumont, Les objets en plomb découverts sur le site portuaire médiéval de Taillebourg. ArcheoSciences 34, 2010 ,http://archeosciences.revues.org/2818 (Zugriff 15.9.2015).

Téreygeol 2013
F. Téreygeol, How quantify medieval silver production at Melle? Metalla 18,1, 2013, 5–15.

Ulbrich/Willer 2014
A. Ulbrich/F. Willer, in: Gebrochener Glanz 2014, 42.

Vierck 1974
H. Vierck, Werke des Eligius. In: Studien zur vor- und frühgeschichtlichen Archäologie. Festschrift J. Werner. Münchner Beitr. Vor- u. Frühgesch., Ergbd. 1 (München 1974) 309–380.

Walenta 1992
K. Walenta, Die Mineralien des Schwarzwaldes und ihre Fundstellen (München 1992).

Wedepohl/Baumann 1997
K. H. Wedepohl/A. Baumann, Isotope composition of Medieval lead glasses reflecting early silver production in Central Europe. Mineralium Deposita May 1997, Vol. 32, Iss. 3, 292–295.

Willer/Willer 2010
F. Willer/S. Willer, Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes. Ber. aus d. LVR-Landesmus. Bonn 1, 2010, 19–21.

Willer/Mijers 2014
F. Willer/R. Mijers, in: Gebrochener Glanz 2014, 172.

Willer u. a. 2016
F. Willer/R. Schwab/M. Mirschenz mit Beitr. von G. Schneider/F. Willer, Römische Bronzestatuen am Limes, Archäometrische Untersuchungen zur Herstellungstechnik. Bonner Jahrb. 216, 2016, im Druck.

Wyckoff 1967
D. Wyckoff, Albertus Magnus / Book of minerals (Oxford 1967).

Yalcin/Bode 2015
Ü. Yalcin/M. Bode, Untersuchung der eisernen Ringanker aus dem karolinigschen Mauerwerk des Doms zu Aachen. In: Pufke 2012, 311–316.

Zeller u. a. 2015
M. Zeller/J. Garner/R. Golze/G. Steffens/P. Thomas, Neue Erkenntnisse zum spätmittelalterlichen Bergbau im Siegerland anhand der Grube Victoria bei Kreuztal-Burgholdinghausen. Der Anschnitt 67 H. 2-3, 2015, 54-73.

Zotz 1993
T. Zotz, Schriftquellen zum Bergbau im frühen Mittelalter. In: Steuer/Zimmermann 1993, 183–199.

Abbildungsnachweis: Abb. 1: ArchaeoPlanRistow (S. Ristow)/ Narmer Architecture (Zs. Vasáros/G. Nagy). – Abb. 2: Foto S. Ristow. – Abb. 3: ArchaeoPlanRistow (S. Ristow)/Narmer Architecture (Zs. Vasáros/G. Nagy). – Abb. 4: nach Goldschmidt 1926, Abb. 2. – Abb. 5: Foto S. Ristow. – Abb. 6. 7. 8: Foto D. Steiniger. – Abb. 9: Foto S. Ristow.

Anschriften: PD Dr. Sebastian Ristow, Archäologisches Institut der Universität zu Köln, Albertus Magnus Platz, 50923 Köln.
eMail: sristow@uni-koeln.de

Dr. Daniel Steiniger, Deutsches Archäologisches Institut, Eurasien Abteilung, Im Dol 2-6, Haus II, D-14195 Berlin.
eMail: Daniel.Steiniger@dainst.de