

*Frank Willer, Roland Schwab und Manuela Mirschenz*

# Römische Bronzestatuen am Limes

Archäometrische Untersuchungen zur Herstellungstechnik

mit einem Beitrag von Gerwulf Schneider

Das Forschungsprojekt ›Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes‹ startete im Sommer 2010 mit dem Ziel, die Fragmente römischer Bronzestatuen aus Ober- und Untergermanien, der Gallia Belgica und Rätien zu erfassen und interdisziplinär zu untersuchen. Dieser Untersuchungsgegenstand wird im Folgenden vereinfachend als ›Limesbronzen‹ bezeichnet.

Das Projekt fußt auf der Kooperation zwischen dem Archäologischen Landesmuseum Baden-Württemberg, dem Institut für Archäologische Wissenschaften (Abteilung II) an der Goethe-Universität Frankfurt am Main sowie dem Landesmuseum Bonn und wurde dankenswerterweise finanziert von der Volkswagenstiftung im Rahmen der Förderinitiative ›Forschung in Museen‹. Ein paralleler Forschungsstrang widmete sich von 2010 bis August 2015 dem römischen Statuenguss und der spezifischen Arbeitsweise im Limesgebiet, deren Erforschung auf einer Kombination von naturwissenschaftlichen und restauratorischen Untersuchungen basiert. Darum geht es im folgenden Bericht.

## Organisatorisches

Zu Beginn des Forschungsprojektes lagen nur wenige Erkenntnisse zur Statuenproduktion im Untersuchungsgebiet vor. Daher standen Fragen zu Bildnisrepertoire, Anzahl und Größe der Stücke sowie zu den angewandten Produktionstechniken zunächst im Vordergrund. Es war noch unklar, ob die Statuen mehrheitlich aus Italien importiert oder vor Ort entstanden sind. Diese Fragen wurden auf den beiden ersten Arbeitskolloquien intensiv diskutiert (s. u.).

Die Untersuchungen hierzu erfolgten im Bonner Landesmuseum in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungseinrichtungen<sup>1</sup>. In Hinblick auf den geographischen Rahmen wie auch in der Breite der Fragestellungen geht der Forschungsansatz des Projektes deutlich über die bisher bekannten Untersuchungen zu Großbronzen am Limes hinaus. Ausgangspunkt des Vorhabens

Die Daten zu zahlreichen hier behandelten Stücken sind zugänglich, s. [www.großbronzenamlimes.de/datenbank.html](http://www.großbronzenamlimes.de/datenbank.html). Die beprobten Stücke werden im Folgenden vornehmlich anhand der Probennummern angeführt (›GBL‹ für ›Großbronzen am Limes‹). Die zugehörigen Nummern der Datenbank sowie die Referenzierung der

Aufbewahrungsorte sind durch die Konkordanzliste am Schluss dieses Aufsatzes erschlossen; Datierungen beziehen sich auf die nachchristliche Ära, sofern nichts anderes vermerkt ist.

<sup>1</sup> Vgl. die Danksagungen am Schluss dieses Aufsatzes.

bildete die systematische Materialaufnahme der in zahlreichen Sammlungen und Museumsdepots verwahrten Altfunde entlang des Obergermanisch-Rätischen Limes (ORL) und des Niedergermanischen Limes (NGL) sowie in den angrenzenden zivil geprägten Regionen. Die größtenteils bis zur Unkenntlichkeit zerstörten Statuen sind oft nicht oder nur teilweise als solche inventarisiert (Abb. 1). Durch das Projekt erhöhte sich schließlich die Zahl der identifizierten einschlägigen Objekte, vor allem auch im jüngeren Grabungsmaterial. Dafür bilden zahlreiche Statuenteile aus dem Bonner Legionslager von den Ausgrabungen 2010 und 2011 ein gutes Beispiel.

Während der fünfjährigen Laufzeit des Projektes wurden vier interne Arbeitskolloquien in Bonn, Rastatt und Aalen sowie ein öffentliches Symposium in Nimwegen veranstaltet. Die im Zuge des Projekts gewonnenen Ergebnisse wurden der breiten Öffentlichkeit seit 2014 im Rahmen der Ausstellung ›Gebrochener Glanz. Römische Großbronzen am UNESCO-Weltkulturerbe Limes‹ im Landesmuseum Bonn, im Limesmuseum Aalen und im Museum Het Valkhof in Nimwegen vorgestellt und im gleichnamigen Katalog publiziert<sup>2</sup>.

Insbesondere das dritte Kolloquium in Bonn widmete sich 2013 den bis dahin gewonnenen archäometrischen und herstellungstechnischen Untersuchungsergebnissen. Schon zu dieser Zeit deuteten viele Beobachtungen, welche die Herstellungstechnik betrafen, auf die regionale Produktion der meisten Statuen hin. Diese Erkenntnisse wurden nun auch anhand der bis dahin zu drei Viertel ausgewerteten Metall- und Tonkernanalysen untermauert. In der Folgezeit ließen sich die bei dem Kolloquium eingebrachten Anregungen zur Klärung noch offener Fragen durch weiterführende Untersuchungen sowie Experimente umsetzen. So wurden die Vorteile der Verwendung von Bleibronzen gegenüber herkömmlichen Zinnbronzen aus klassischer Zeit in den Blick genommen und neue Erkenntnisse zur praktischen Anwendung der vermuteten Diffusionsvergoldung gewonnen. Zahlreiche Versuchsreihen zu Reparaturtechniken, Schweiß- und Lötverfahren sowie Kaltarbeit und Veredelungen durch polychrome Einlegetechniken oder Zinnanreicherung an der Oberfläche vervollständigten das Bild.

Seit 2010 wurden weit über fünftausend Einzelfragmente römischer Großbronzen aus rund einhundert Museen und Sammlungen und von über einhundertdreißig Fundplätzen in einer eigens für das Projekt konfigurierten Datenbank erfasst<sup>3</sup>. Rund fünfhundertfünfzig Röntgenfluoreszenzanalysen, einhundertzwanzig Bleiisotopenuntersuchungen sowie vierzehn Tonkernbestimmungen wurden bis zum März 2015 durchgeführt.

Claudia Sarge und Sascha Heckmann haben im Rahmen ihrer Dissertationsprojekte an der Goethe-Universität Frankfurt über die archäologisch-historische Analyse der Aufstellungs- und Zerstörungskontexte gearbeitet<sup>4</sup>. Beide trugen zudem dankenswerterweise detaillierte Daten in der Forschungsdatenbank zusammen und haben sie inhaltlich recherchierbar gemacht. Die im Rahmen des Projektes am Landesmuseum Bonn betreute Diplomarbeit von Kati Bott widmet sich den unterschiedlichen Vergoldungstechniken der Limesbronzen<sup>5</sup>.

<sup>2</sup> Gebrochener Glanz; Van hun voetstuk Romeinse beelden opnieuw ontdekt, Ausst. Nimwegen (Mainz 2015); R. Schwab / F. Willer in: Gebrochener Glanz 180–182; F. Willer / M. Mirschenz in: E. Deschler-Erb / Ph. Della Casa (Hrsg.), *New Research on Ancient Bronzes*. Zurich Stud. Arch. 10 (Zürich 2015) 267–274; F. Willer / R. Schwab / K. Bott in: A. Hauptmann / D. Modarressi-Tehrani (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Europe III. Der Anschnitt* Beih. 26 (Bochum 2015) 239–245.

<sup>3</sup> Konzeption und Programmierung der Datenbank durch Lena Kühne und Werner Lappessen, Redaktion und Administration: Manuela Mirschenz.

<sup>4</sup> C. Sarge, *Römische Großbronzen am UNESCO-Weltkulturerbe Limes. Nördlicher Teil* (Diss. Frankfurt a. M. in Vorb.); S. Heckmann, *Römische Großbronzen am UNESCO-Weltkulturerbe Limes. Südlicher Teil* (Diss. Frankfurt a. M. in Vorb.).

<sup>5</sup> K. Bott, *Vergoldungstechniken an römischen Großbronzen des UNESCO-Weltkulturerbe Limes. Untersuchungen zur Diffusionsvergoldung an Bronzestatuen* (unpubl. Diplomarbeit Stuttgart, Akademie der Bildenden Künste 2011).

<sup>6</sup> H. Becker / F. Willer in: Gebrochener Glanz 192 f.



Abb. 1 Auswahl von Statuenfragmenten aus dem Kastell Aalen. Viele der Stücke zeigen eine homogene schwarze Patina mit geringen Spuren von Korrosion. Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg.

## Methodik

Durch die übergreifende Auswertung der Materialanalysen (Röntgenfluoreszenzanalysen, Bleiisotopenanalysen und Metallographie) sowie die Erkenntnisse zu den Herstellungstechniken, eröffnen sich neue detaillierte Forschungsfragen. So war ein Hauptziel der archäometrischen Auswertungen die Klärung von fundortbezogenen Fragestellungen, zum Beispiel nach der Anzahl der möglichen Statuen, den verwendeten Legierungstypen und wiederverwendeten Altstatuen im kontextuellen und räumlichen Umfeld der Fundorte. Dadurch sollten auch Fragen zu möglichen Werkstattkreisen erörtert werden. Auch galt es zu klären, ob sich Unterschiede zwischen militärischen und zivilen Kontexten ergeben. Dies betraf auch lokale Fundorte, die sowohl zivile als auch militärische Fundareale aufwiesen.

Wesentlich für die Auswahl der zu beprobenden Statuenfragmente waren neben den archäologischen Fragestellungen auch restauratorische Detailbeobachtungen zur Herstellungstechnik.

*Röntgenuntersuchung.* Röntgenuntersuchungen wurden seit Projektbeginn an über eintausend ausgewählten Statuenfragmenten im Landesmuseum Bonn durchgeführt<sup>6</sup>. Aufgrund der besseren Wiedergabequalität wurden diese nicht digital, sondern mit herkömmlichem Röntgenfilm durchgeführt. Zur Steigerung des Bildkontrastes und zur Minimierung von Streustrahlung diente ein Kupferfilter und ein Zinnfilter. Unterschiede in der Materialstärke der einzelnen Stücke wie auch Variationen in der Legierungszusammensetzung der Fragmente erforderten eine Anpassung der Röntgenspannung zwischen 75 und 190 Kilovolt. Die Belichtungszeit betrug zwischen sieben und zehn Minuten. Nach der Entwicklung und Zuordnung der Röntgen-

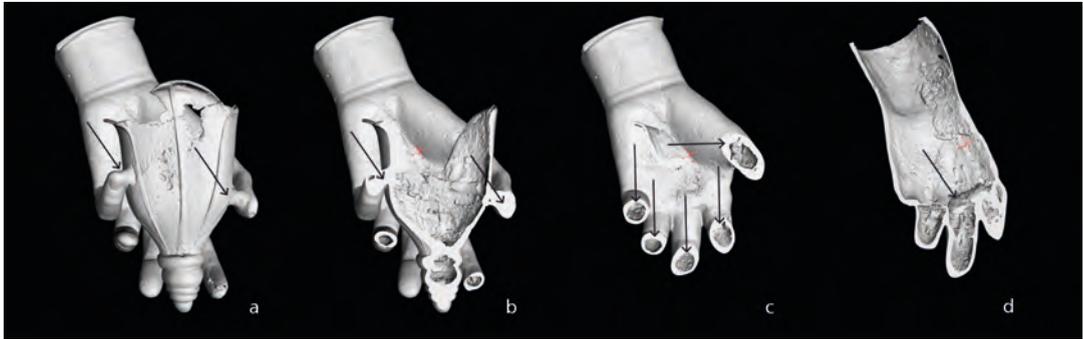


Abb. 2 Computertomographie-Schnittbilder der vergoldeten Hand einer Monumentalstatue aus Bregenz (GBL 392–394). (a) Schweißpunkte zur Befestigung des Blütenkelchs; (b) Massiv angelegte Fingerpartien und Schweißpunkte sind aufeinander abgestimmt; (c) hohl gegessene Finger; (d) Sichtbare Wachsfügenäht und Wachsverlaufspuren der Fingermontage. Voralbergmuseum Bregenz.

filme wurden diese für den Import in die Datenbank und zur langfristigen Dokumentation mit Unterstützung des Amtes für Bodendenkmalpflege im Rheinland digitalisiert.

Einzelaufnahmen dienen dazu, größere Statuenteile zu durchleuchten und Merkmale der Herstellung, antike Reparaturen, moderne Restaurierungsmaßnahmen oder Zerstörungen kenntlich zu machen. Besonders gut zu dokumentieren waren Arbeitsspuren wie Montagenähte vom Wachsauflötlverfahren, Verbindungsnahte separat gegessener Teilstücke oder von Reparaturen durch Lötten oder Schweißen, wie am Arm aus Augsburg (GBL 462, Rö Nr. 7659). Gleiches gilt für die Position von Versorgungskanälen etwa am Gewandfragment aus Groß-Gerau (GBL 3, Rö Nr. 7539) oder einem Stück aus dem Bonner Legionslager (GBL 137, Rö Nr. 7554). Am Beispiel der Haarkalotte aus Womrath (GBL 504, Rö Nr. 7573) wurden so erstmals die Positionen zahlreicher kleiner Kernhalterlöcher dokumentiert, die ehemals mit kleinen Bronzeperlen geschlossen wurden. Auch aufwendige Reparaturen von Gussfehlern durch in-tarsienartige Blecheinlagen, wie an einem vergoldeten Reliefkopf aus Mittelstrimmig (Ifd. Nr. 2045, Rö Nr. 7672, Abb. 24 und 58) oder einem vergoldeten Gewandfragment aus Groß-Gerau (GBL 6–13, Rö Nr. 7538, Abb. 46) sind auf den Röntgenbildern gut zu erkennen.

Mit Hilfe von einhundertachtzig Sammelaufnahmen wurden große Stückzahlen kleiner Fragmente innerhalb einzelner Fundkomplexe erfasst. Besonders bei großen Stückzahlen erlauben sie neben der Dokumentation der genannten Merkmale eine bessere Differenzierung bei Teilen unterschiedlicher Statuen. Dies wäre durch rein optische Untersuchung nicht immer zweifelsfrei möglich gewesen. All diese Informationen dienen zudem bei der späteren Auswahl der zu beprobenden Stücke und helfen, Doppelungen zu vermeiden. Zur späteren Identifizierung der einzelnen Stücke erfolgte eine fotografische Dokumentation ihrer Position auf den jeweiligen Röntgenplatten.

*Computertomographie.* Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin demonstrierte während des Projektes an zehn Statuenteilen weitere Möglichkeiten der zerstörungsfreien Untersuchung: Ähnlich wie im medizinischen Einsatz lässt sich das im Computertomographen erstellte dreidimensionale Modell aus unzähligen Perspektiven und Schnitten betrachten sowie

<sup>7</sup> Software: ›VG Studio MAX‹ und ›my VGL viewer‹, s. F. Willer / D. Meinel in: Gebrochener Glanz 189–191. – Eine ausführliche Publikation ist in Vorbereitung.

<sup>8</sup> Vgl. O. J. M. Straub in: Gebrochener Glanz 187 f.; F. Willer ebd. 194 f.

<sup>9</sup> H.-A. Kuhn / F. Willer in: Gebrochener Glanz 185 f. – Eine ausführliche Publikation ist in Vorbereitung.

durchfahren und ermöglicht Einblicke in den für die Herstellung relevanten inneren Bereich (Abb. 2). Die Daten wurden am Landesmuseum Bonn bearbeitet und ausgewertet<sup>7</sup>. Mit Unterstützung des Medienzentrums des Landschaftsverbandes Rheinland wurden aus den zuvor am Museum erstellten Einzelbildern der Computertomographie-Datensätze von vieren der Untersuchungsobjekte dreidimensionale Visualisierungen zu Bildsequenzen zusammengefügt und die jeweiligen Untersuchungsergebnisse als kommentierte Kurzfilme erstellt, und zwar vom Kopf Gordians III. aus Niederbieber (GBL 366), demjenigen der sogenannten Göttin Rosmerta aus Mainz (GBL 397–399), dem Pferdekopf aus Augsburg (GBL 29–31) und der monumentalen Hand aus Bregenz (GBL 392–394). Weitere optische Untersuchungsmethoden wie etwa das 3D-Scanverfahren oder die HDR-Mikroskopie begleiteten die Materialaufnahme<sup>8</sup>. Ergänzend zu den Materialanalysen wurden in Bonn und den Laboren der Wieland-Werke in Ulm experimentelle Nachgüsse einer durchschnittlichen bleihaltigen Limeslegierung sowie einer klassischen bleifreien Zinnbronze erstellt (GBL 541 und 542). Dies dient der Klärung bis dahin nur vermuteter Unterschiede der Materialeigenschaften. Die Auswertung und Dokumentation dieser Versuche erfolgte in den werkseigenen Laboreinrichtungen in Ulm mittels Materialprüfverfahren.

Diese Forschungen ergeben wichtige Einblicke in die Möglichkeiten der Metallverarbeitung in der Antike und die Eigenschaften der beiden antiken Legierungstypen. Je nach Zeit und Ort kann sich die Zusammensetzung der Bronze für den Statuenguss deutlich unterscheiden. Insbesondere die Zugabe an Blei und Zinn kann deutlich variieren. Im Untersuchungsgebiet wurde hingegen recht häufig Bleibronze ähnlicher Zusammensetzung festgestellt. Dies deutet auf einen Wissens- oder Erfahrungsaustausch zwischen den dort tätigen Gießereien hin. Mit Hilfe der begleitenden und anschließenden Materialprüfung wurden die unterschiedlichen Eigenschaften antiker Gusslegierungen genau dokumentiert. Die Resultate machen deutlich, mit welchem hochentwickeltem technischen Knowhow man vor zwei Jahrtausenden in der Lage war, einen auch aus heutiger Sicht extrem dünnwandigen Statuenguss herzustellen. Ein treffendes Beispiel dafür ist der Augsburger Pferdekopf mit einer Wandstärke von teilweise nur zwei Millimetern (Abb. 3). Darüber hinaus liefern die modernen Methoden der Materialprüfung wichtige Hinweise auf physikalische und mechanische Eigenschaften der antiken Metallzusammensetzung. Diese wiederum ermöglichen einen Vergleich zu den Eigenschaften moderner Legierungen ähnlicher Zusammensetzung für industrielle Zwecke<sup>9</sup>.



Abb. 3 a–b Originaler und in der Computertomographie geöffneter Pferdekopf aus Augsburg (GBL 29–30). Schnittbilder ermöglichen Messungen der Materialstärke auch in unzugänglichen Bereichen. Augsburg, Römisches Museum.

Viele der beobachteten Techniken für Guss, Montage, Kaltarbeit, Tauschierung, Niellierung, Vergoldung oder Reparatur wurden im Rahmen des Projektes experimentell auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Ergänzend zur Materialanalyse ermöglichten diese Versuche ein besseres Verständnis antiker Verfahren<sup>10</sup>.

*Beprobung.* Seit 2010 wurde die chemische Zusammensetzung von etwa fünfhundertfünfzig Bohrproben analysiert, dreiunddreißig Anschliffe ausgewertet sowie einhundertzwanzig Bleiisotopenbestimmungen durchgeführt und damit etwa ein Zehntel aller im Projekt erfassten Statuenfragmente archäometrisch untersucht. Bei der Auswahl der Fragmente zur Beprobung wurde das Hauptaugenmerk auf signifikante Statuentteile gelegt, die nach Möglichkeit anhand ikonographischer Merkmale bestimmten Figurentypen zuzuweisen sind, wie etwa Panzerstatuen, Reiterstandbilder oder Gottheiten. Vermutete man an einem Fundort Teile von mehreren Skulpturen, so wurden bei der Probenentnahme die verschiedenen Skulpturen berücksichtigt. Im Idealfall sollten sich diese anhand der unterschiedlichen Zusammensetzung oder des abweichenden Bleiisotopenverhältnisses identifizieren lassen. Gleiches galt für die Verifizierung identischer Gusslegierungen im Fall von einander ähnelnden Fragmenten, die jedoch von unterschiedlichen Fundorten stammen.

Die Bohrproben wurden jeweils mit einem Einmillimeter-HSS-Bohrer entnommen, wobei die Bohrfläche zunächst mit einem anderthalb Millimeter starken, mit Diamant beschichteten Kugelkopfräser punktuell etwa einen Millimeter tief gereinigt wurde, bis metallisch glänzendes Material erkennbar war. Hierdurch sollte die Kontamination der Probe durch Korrosionsprodukte oder oberflächennahe Seigerungen vermieden werden. Die Beprobung selbst wurde jeweils in der Mitte der Wandung an einer gut zugänglichen Bruchstelle durchgeführt. Proben, die sich beim Ausbohren ohne erkennbaren Bohrspan nur schlecht entnehmen ließen<sup>11</sup>, wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt, da hier möglicherweise Korrosion bereits weit ins Innere des Metallgefüges vorgedrungen ist.

Ferner wurden an dreiunddreißig Fragmenten kleine Abschnittproben entnommen, um Fragen zur Vergoldungstechnik, Patinierung und Seigerungseffekten an der Bronzoberfläche sowie zur Bildung der Metallgefüge nachzugehen. In diesem Beitrag wird eine Auswahl der Anschliffproben vorgestellt (s. Farbtafeln 3 und 4).

Die Messdaten der beprobten und analysierten Statuenfragmente wurden zunächst in zweijähriger Arbeit nach Fundkontexten zusammengefasst und einer ersten Auswertung unterzogen. Die bei der restauratorischen sowie herstellungstechnischen Autopsie gewonnenen Erkenntnisse wurden für diese erste Vorauswertung der Messdaten berücksichtigt. So ergaben sich einerseits lokale Gruppierungen zu einzelnen Statuen. Andererseits erbrachte der überregionale Vergleich Erkenntnisse zu Legierungstypen, Kontexten sowie nach regionalen und chronologischen Kriterien, welche mittels der Analysenergebnisse überprüft werden konnten.

*Metallanalysen* wurden zumeist am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäologie in Mannheim durchgeführt. Einige der am Museum Het Valkhof in Nimwegen entnommenen Metallproben wurden mit Unterstützung des Collectie Nederland in Amsterdam analysiert (GBL 251–305). Zum Abgleich wurden einige dieser Proben in Mannheim einer zweiten Messung unterzogen (GBL 296–301). Die teils recht komplexen Auswertungen der Metallproben erfolgten dann gemeinsam mit dem Landesmuseum Bonn unter Berücksichtigung herstellungstechnisch relevanter Beobachtungen und archäologischer Kontexte. Teilaspekte dieser Auswertungen wurden bereits auf

<sup>10</sup> F. Willer / R. Meijers in: Gebrochener Glanz 174–179.

<sup>11</sup> So ein vergoldeter Greifenaufsatz aus Xanten (Abb. 80a, keine GBL, lfd. Nr. 966).

internationalen Tagungen sowie in einem Schwerpunktbereich in der Ausstellung ›Gebrochener Glanz‹ und im gleichnamigen Ausstellungskatalog einem breiten Publikum vorgestellt.

Ergänzend wurden etwa fünfhundert Fragmente mittels zerstörungsfreier Wirbelstrommessung untersucht, deren Funktionsweise auf der Leitfähigkeit von Metallen basiert<sup>12</sup>. Die hierbei gewonnenen Messdaten (in Mega-Siemens pro Meter = MS/m) dienen einer ersten groben qualitativen Klassifizierung der Stücke, zunächst jeweils im Rahmen der einzelnen Fundstellen, später im Zusammenhang der Gesamtauswertung. Sie lieferten wertvolle Hinweise auf mögliche Unterschiede in der Legierung sowie hinsichtlich Reparaturen, Montage oder Gussfehlern, die bei der Auswahl der zu beprobenden Stücke weitestgehend berücksichtigt wurden. Der Abgleich mit den quantitativen Daten der Röntgenfluoreszenzanalyse ermöglichte für die Großbronzen die Gegenüberstellung mit den qualitativen Ergebnissen der Wirbelstrommessungen<sup>13</sup>. Aus konservatorischen Gründen und wegen des begrenzten Finanzrahmens wurden nicht alle mit Wirbelstrom gemessenen Stücke beprobt. Dennoch werden im Folgenden auch nicht beprobte Objekte (ohne GBL-Nummer) angeführt, sofern sie für die Klärung herstellungstechnischer Fragen relevant sind. Die Messdaten zu den jeweiligen Stücken sind in der Datenbank einzusehen (s. Fußnotenvorspann).

*Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)*. Um die chemische Zusammensetzung von Metallen zu bestimmen, bietet die moderne Analytik eine Reihe von verschiedenen Multielementmethoden. Bei Kunst- und Kulturgut erfreuen sich Festkörperanalysen besonderer Beliebtheit, wobei zerstörungsfreie Untersuchungen der Metalloberflächen erheblich abweichende Ergebnisse von der tatsächlichen Zusammensetzung liefern können, da herstellungsbedingte Inhomogenität, Korrosionsvorgänge oder auch einzelne Restaurierungsmaßnahmen eine wesentliche Veränderung der Metallzusammensetzung an der Oberfläche der Fundstücke bewirkt haben können<sup>14</sup>.

Bei binären Zinnbronzen (Kupfer-Zinn-Legierung) oder ternären Bleibronzen (Kupfer-Zinn-Blei-Legierung) führen sogenannte Blockseigerungen zur lokalen Anreicherung von Blei und Zinn sowie einiger Nebenelemente. Durch die Korrosion während der Bodenlagerung kommt es in der Bronze meist zur selektiven Auflösung des kupferreichen  $\alpha_{\text{Cu}}$ -Mischkristalls. Zwar werden bevorzugt die zinnreichen Phasen zuerst angegriffen, es bilden sich aber schwerlösliches Zinnoxid,  $\text{SnO}_2$ , oder hydratisierte Zinnoxidverbindungen,  $\text{Sn}_3\text{O}_2(\text{OH})_2$ , die in der Korrosionsschicht angereichert werden, weil Kupferverbindungen wie Oxide oder Karbonate in Lösung gehen und abtransportiert werden<sup>15</sup>, also etwa  $\text{Cu}_2\text{O}$  oder  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ . Als Resultat ist der Zinnanteil in der Korrosionsschicht um ein Vielfaches höher als im Metallkern, und in Abhängigkeit des Abbaugrades kommt es zur Verschiebung der Anteile, die bei reinen Oberflächenanalysen an korrodiertem Metall eine andere Legierung vortäuschen.

Wie zu erwarten war, haben die im Rahmen des Projektes im Jahr 2012 durchgeführten Analysen der Oberflächen einiger Fragmente aus dem Bonner Legionslager mittels tragbarer RFA-Messeinheit (p-RFA) im Vergleich zu konventionellen RFA-Messungen von Bohrspänen gravierend unterschiedliche Ergebnisse geliefert. Daher wurden zur Bestimmung der Legierung ausschließlich Bohrproben vom metallischen Kern entnommen, wobei versucht wurde, wegen des zu erwartenden hohen Bleigehalts eine korrosionsfreie Menge von mindestens fünfzig Mil-

<sup>12</sup> Gemessen mit Einheit Sigmatest 2.069 des Herstellers Forster.

<sup>13</sup> F. Willer in: Gebrochener Glanz 183 f.; ders. / R. Schwab / M. Mirschenz in: M. Kemkes (Hrsg.), Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes. Abschlusskolloquium des Forschungsprojektes. Beitr. Welterbe Limes 9. Kongr. Aalen 2015 (Stuttgart 2017) 78–105.

<sup>14</sup> E. T. Hall, *Archaeometry* 4, 1961, H. 1, 62–66; H.-U. Voß / P. Hammer / J. Lutz, *Ber. RGK* 79, 1998, 107–382, hier 170.

<sup>15</sup> L. Robbiola / J.-M. Blengino / C. Fiaud, *Corrosion Scien.* 40, 1998, H. 12, 2083–2111.

ligramm zu beproben<sup>16</sup>. Da viele Fragmente jedoch im Inneren stark interkristallin korrodiert sind (s. Farbtafel 4, 6), können dennoch kleinere Mengen Korrosion in die Probe gelangen, was sich meist durch höhere Eisenwerte offenbart. Eisenverbindungen sind sehr mobil und reaktionsfreudig, so dass sie aus dem Erdreich in das korrodierte Metallgefüge der Bronzen einwandern. Der Eisengehalt unkorrodiertes Proben resultiert aus dem Volumenanteil der nichtmetallischen Einschlüsse, die in der Regel aus Kupfer-Eisen-Sulfid bestehen (s. Tabelle 1).

Die chemische Zusammensetzung der analysierten Proben wurde durch energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) entsprechend der von Joachim Lutz und Ernst Pernicka

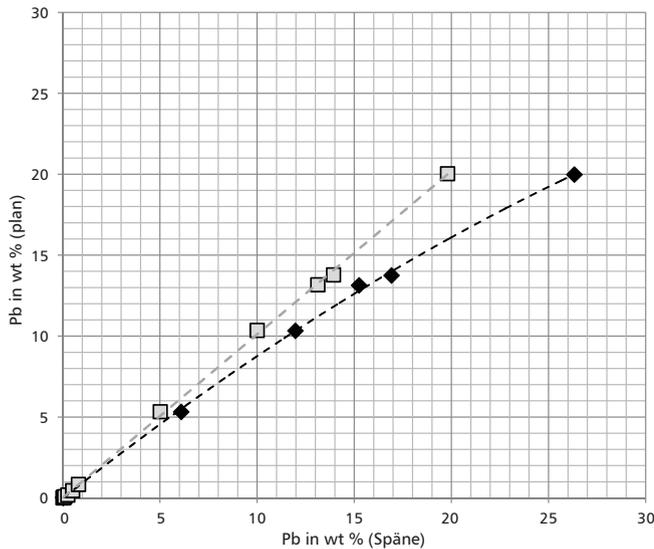


Abb. 4 Diagramm zur Korrektur des Bleigehalts in Bohrproben bleihaltiger Bronzen. Diagramm mit gemessenem Bleigehalt planer und gebohrter Proben von Referenzmaterial (Rauten) sowie die korrigierten und zertifizierten Werte (Quadrate).

beschriebenen Korrekturverfahren bestimmt<sup>17</sup>. Obwohl andere Methoden wie Massenspektrometrie (MS) oder optische Atomemissionsspektalanalyse (OES) mit induktiv gekoppelter Plasmaanregung (ICP) in der Regel um mindestens eine Größenordnung bessere Nachweisgrenzen zeigen, bietet die RFA den Vorteil, schnell und kostengünstig die chemischen Zusammensetzungen einer großen Menge an Proben zu bestimmen. Die Proben stehen zudem hinterher für weitere Untersuchungen am Bonner Landesmuseum zur Verfügung, weil die Analyse mit Röntgenstrahlung zerstörungsfrei ist. Die Röntgenfluoreszenzintensität wird aber erheblich durch die Oberflächenbeschaffenheit der Probe beeinflusst, weil Abschattungs- und Streueffekte eintreten. Deshalb sollten möglichst plane und glatte Probenpräparate verwendet werden. Bei rauen Oberflächen wie bei Bohrproben müssen daher die ermittelten Werte korrigiert werden. Es wird unter anderem systematisch ein zu hoher Bleiwert ermittelt, der im Wesentlichen auf das Verschmieren der Bleipartikel zurückzuführen ist<sup>18</sup>.

Vergleichsmessungen mit anderen Methoden haben gezeigt, dass der mit RFA bestimmte Bleiwert von Bohrproben mit hohem Bleigehalt nahezu doppelt so hoch sein kann und entsprechend korrigiert werden muss<sup>19</sup>. In Abbildung 4 sind die gemessenen Bleiwerte von Bohr-

proben mit hohem Bleigehalt nahezu doppelt so hoch sein kann und entsprechend korrigiert werden muss<sup>19</sup>. In Abbildung 4 sind die gemessenen Bleiwerte von Bohr-

<sup>16</sup> R. Schwab / E. Pernicka / A. R. Furger, Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 32, 2011, 223–234, hier 226.

<sup>17</sup> J. Lutz / E. Pernicka, *Archaeometry* 38, 1996, H. 2, 313–323.

<sup>18</sup> V. J. Manners / J. V. Craig / F. H. Scott, *Journal Inst. Metals* 95, 1967, H. 6, 173–176; Lutz / Pernicka (vorige Anm.) 318.

<sup>19</sup> Ebd.

<sup>20</sup> E. Pernicka / G. Eggert in: *Das Wrack 1041–1061*, hier 1043.

<sup>21</sup> Die Versuchsreihen erfolgten unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Materialstärke einer Großbronze

(ca. 3 mm) und der Dicke des römischen Blattgoldes (4 µm). Der Goldgehalt der eingeschmolzenen Probestücke (GBL 472) wurde anschließend anhand einer Bohrprobe der Bronze vor der Vergoldung (GBL 473) mittels RFA abgeglichen.

<sup>22</sup> Die Messungen wurden mit einem Thermo Scientific Neptune Plus durchgeführt. Zur Anwendung dieser Methode in der Archäologie s. N. H. Gale / Z. A. Stos-Gale in: E. Ciliberto / G. Spoto (Hrsg.), *Modern analytical methods in art and archaeology*. *Chemical Analysis* 155 (New York 2000) 503–584.

proben und planen Proben von Referenzmaterialien gegeneinander aufgetragen. Es zeigt sich, dass bei niedrigem Bleigehalt die Abweichung noch nahezu linear verläuft, während sie bei hohem eine Hyperbel beschreibt. Eine Korrektur mit einem konstanten Faktor führt deshalb zu relativen Abweichungen zwischen drei und zehn Prozent. Der Korrekturfaktor ist geräteabhängig und muss individuell ermittelt werden, üblicherweise werden Werte zwischen 0,6 und 0,8 festgestellt<sup>20</sup>. Bei den Analysen der niederländischen Proben, die in Amsterdam gemessen wurden, wurden die Bleiwerte offenbar nicht korrigiert, weshalb die Nimwegener Funde systematisch zu hohe Bleiwerte aufweisen.

Bei Kupferlegierungen verschlechtern sich zudem die Nachweisgrenzen für Arsen mit zunehmendem Bleigehalt durch die Linienkoinzidenz zwischen der As-K $\alpha$ -Linie und der Pb-L $\alpha$ -Linie. Da das analysierte Material in der Regel spurenelementarm ist, liegt der Arsenwert meist unterhalb der Nachweisgrenzen. Auch die Messung des Goldgehalts wird durch die Linienkoinzidenz mit Blei gestört. Da zum Abgleich der tatsächlichen Messwerte derzeit keine kommerziellen Referenzmaterialien mit Goldanteil angeboten werden, wurde als Vergleichsstück zu blattvergoldeten antiken Statuen eine vierhundertfünfzig Gramm schwere Bleibronzeplatte mit einem Viertel Gramm Blattgold vergoldet und die vergoldete Bronze danach oxidierend aufgeschmolzen. Der Goldgehalt einer Bohrprobe von dieser zusammenschmolzenen Probe wurde mit einem knappen Promille (0,08 Prozent  $\pm$  0,01) bestimmt, so dass die relative Abweichung des gemessenen Wertes vom eingewogenen Wert dreiunddreißig Prozent beträgt<sup>21</sup>.

Soweit konservatorisch vertretbar, wurden von vergoldeten oder möglicherweise verzinneten Fragmenten kleine Proben abgetrennt und als Anschliff präpariert (Farbtafel 3 und 4). Die Auswertung der Anschliffe erfolgte im Lichtmikroskop (LM) und im Rasterelektronenmikroskop (REM) mit angeschlossener energiedispersiver Röntgenspektrometrie (EDX). Der Volumenanteil  $V_v$  der nichtmetallischen Einschlüsse wurde durch digitale Bildanalyse ermittelt. Der Erhaltungszustand vieler Proben erlaubte keine Quantifizierung, weil der hohe Anteil der nichtmetallischen Phasen der interkristallin korrodierten Gefüge die Bildsegmentierung nahezu unmöglich macht. Mikrohärtmessungen wurden mit dem Prüfverfahren nach Vickers mit einer Last von 100 p (HV 0,1) durchgeführt. Die Härte ist definiert als der Widerstand eines Werkstoffes gegen das Eindringen eines härteren Prüfkörpers. Die Härteprüfung liefert einen Kennwert für die statische Festigkeit. Von vergoldeten Fragmenten, die nicht beprobt werden konnten, wurden zerstörungsfreie Oberflächenanalysen an den Vergoldungen durchgeführt.

*Bleisotopenanalyse.* Das Verhältnis der stabilen Isotope wurde zur Herkunftsbestimmung von Blei mit einem hochauflösenden Multikollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppelter Plasmaionisation (HR-MC-ICP-MS) bestimmt<sup>22</sup> (s. Analysentabelle). Es handelt sich um ein Ausschlussverfahren, in dem die Nichtübereinstimmung zwischen Artefakt und möglicher Lagerstätte des Bleis eine klare negative Aussage erlaubt. Übereinstimmungen bei den Isotopenverhältnissen erlauben hingegen noch keine eindeutige Zuordnung, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass andere Lagerstätten die gleiche isotopische Zusammensetzung aufweisen.

Bei Gusslegierungen für römische Großbronzen muss man mit drei bis vier Komponenten rechnen, die Blei und damit verschiedene Isotopenverhältnisse in die Legierungen einbringen können. Abgesehen von der Zugabe von reinem Blei könnte auch Zinn eine Rolle gespielt

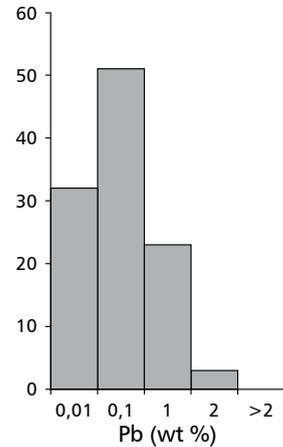


Abb. 5 Bleigehalt römischer Kupferbarren unterschiedlicher Herkunft und Datierung. Zu den Daten s. Anm. 24.

haben. Gewöhnliche römische Zinnbarren sind angesichts ihres geringen Bleigehalts als Quelle zu vernachlässigen. Zwar bestehen einige Barren fast zur Hälfte aus Blei<sup>23</sup> (Abb. 6), bei diesen

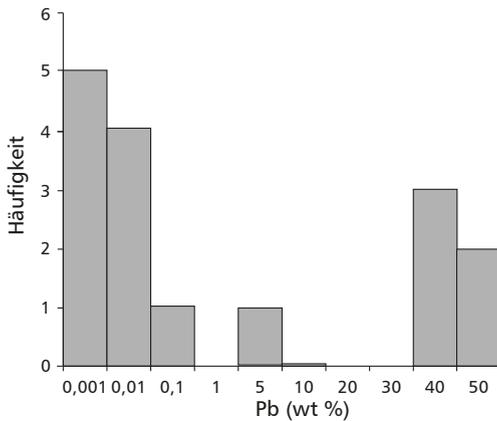


Abb. 6 Bleigehalt römischer Zinnbarren unterschiedlicher Herkunft und Datierung. Zu den Daten s. Anm. 23.

handelt es sich jedoch wahrscheinlich um sekundär verwendetes Material oder um bereits fertige Lotlegierungen, die primär für Weichlötlösungen gedacht waren. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass auch solche Zinnbarren für Großbronzen verwendet wurden. Auch in römischen Kupferbarren finden sich gelegentlich einige Prozent Blei<sup>24</sup> (Abb. 5). Hinzu kommt das bereits vermischte Blei aus eingeschmolzenem Altmetall. Es wurden deshalb vorwiegend die Bleilote und Bleibronzen mit mindestens einem Zehntel Bleigehalt für die Isotopenanalysen ausgewählt, so dass sich alle Aussagen über die mögliche Provenienz ausschließlich auf das beim Legieren zugeschlagene Blei beziehen<sup>25</sup>.

*Tonkernanalysen anhand von Dünnschliffen*<sup>26</sup>. Reste des antiken Tonkerns können wichtige Hinweise auf Produktionsstätten liefern. Sie ließen sich jedoch nur noch an wenigen Stücken dokumentieren, welche an der Freien Universität Berlin anhand von Dünnschliffen ausgewertet wurden. Demnach zeigen alle entnommenen Tonproben von den verschiedenen Fundorten unterschiedliche Zusammensetzungen, was auf eine dezentrale Produktion durch Werkstätten im räumlichen Umfeld der jeweiligen Aufstellungsorte hinweist<sup>27</sup> (s. u., Farbtafeln 1 und 2).

Zur näheren Bestimmung wurden im Landesmuseum Bonn die Proben T 1 bis T 15 entnommen und einer mikroskopischen Voruntersuchung (HDR-Mikroskopie) unterzogen. Wesentliche Beobachtungen, wie das Vorkommen von Pflanzenfasern oder Holzkohlepartikeln, wurden dabei dreidimensional fotografisch dokumentiert und flossen später in die Auswertung ein. Bei der Beprobung sind die Tonkernreste oftmals in kleine Bröckchen zerbrochen, wodurch die Probenpräparation erschwert wurde. Für die Analyse wurden die Proben zunächst unter dem Mikroskop zur weiteren Präparation vorbereitet. Dazu wurden signifikante Brocken zunächst in Kunstharz eingebettet. Dann wurden davon dünne Schnitte erzeugt, die schließlich im Durchlicht unter dem Polarisationsmikroskop betrachtet und ausgewertet wurden. Von den Dünnschliffbildern kann hier jeweils nur eine charakteristische Illustration vorgestellt werden (s. Farbtafeln 1 und 2). Zur deutlicheren Darstellung der mineralischen Einschlüsse wurden die meisten Dünnschliffe bei leicht gekreuzten Polarisationsfiltern betrachtet und dokumentiert. Dadurch erscheinen leere Stellen (Luft beziehungsweise Hohlräume) nicht schwarz, sondern grau. Kohlepartikel sind im Bild schwarz, wogegen mineralische beziehungsweise kristalline Substanzen weiß, farbig oder dunkelgrau erscheinen. Die hier gezeigten Abbildungen haben untere Bildbreiten von 2,8 Millimetern (bei Zweieinhalbfachobjektiv, T 14) beziehungsweise 1,8 Millimetern (bei Vierfachobjektiv, T 7, T 9, T 11 und T 12) und 0,7 Millimetern (bei Zehnfachobjektiv, T 1 bis T 6, T 8, T 10, T 13 und T 15).

Vier Proben aus Isny im Allgäu stammen von einem oder mehreren Reiterstandbildern (T 1 = GBL 74; T 2 = GBL 76; T 3 = GBL 78; T 13 keine GBL, lfd. Nr. 532). In T 1 und T 3 sind Bröckchen des originalen Gusskerns erhalten. Bei T 2 und T 13 handelt es sich weitestgehend um aus dem Tonkern ausgelöste Pflanzenfaserpartikel, die teilweise mit Kupferkorrosionsprodukten durchzogen sind. Typische Bestandteile in den Tonkernproben T 1 und T 3 sind Einschlüsse von Radiolarit.

Probe T 4 aus Künzing (GBL 204) besteht bedingt durch Probenentnahme aus pulverisiertem Material, welches viele Holzkohlepartikel enthält. Kleine Bröckchen des originalen Gusskerns sind aus Ton mit viel Calcit (nicht zersetzt) bis zu Korngrößen von einem Zehntelmillimeter. Quarze sind meist von derselben Korngröße, es gibt aber auch wenige größere Einschlüsse von Quarz oder Chert mit bis zu vier Zehntelmillimetern Größe<sup>28</sup> (kein Radiolarit). Die Probe enthält zudem auch einen Einschluss von Muskovit, einem hellen Glimmer.

Probe T 5 aus Trier (GBL 152) besteht wie T 4 weitgehend nur noch aus Pulver. Typisch im Dünnschliffbild sind große gerundete Quarze in einer Tonmatrix. Ein gerundetes Korn besteht aus einem plutonischen oder metamorphen Gesteinsfragment mit Quarz, Plagioklas und K-Feldspat. Andere bestehen neben Quarz aus Plagioklas und Chert, einem sedimentär verfestigten Kieselgestein. Teilweise sind grüne Korrosionsprodukte enthalten, die beim Kontakt mit der Bronze die Probe kontaminiert haben. In der Probe ließen sich neben Chert und Quarz auch ein (dreieckiges) Korn von Kalkstein und ein auffälliges Tonfragment mit rotem Einschluss erkennen. Letzteres kann optisch nicht näher bestimmt werden. Zudem ist ein organisches Fragment erkennbar.

Proben T 6 (GBL 222) und T 7 (GBL 229) von der Saalburg sind im Dünnschliffbild sehr ähnlich. Sie bestehen mehrheitlich aus kleinen Bröckchen des originalen Gusskerns, in T 6 bis zwei Millimeter, in T 7 bis sieben Millimeter Größe. Sie sind aus Ton mit Quarzschluff und Calcit (ähnlich T 4) sowie großen Quarzeinschlüssen und Holzkohlepartikeln. Weitere charakteristische Einschlüsse sind wegen der größeren Bröckchen in T 7 zu beobachten. Dies ist ein typisch sedimentärer Quarz mit charakteristischen Anwachsstreifen, Bruchstücken von schieferigem (metamorphen) Quarz mit Glimmer, Tonaggregaten sowie Partikeln von Sandstein.

Proben T 8 und T 10 lieferte der Augsburgsburger Pferdekopf (GBL 29–31). Probe T 8 vom Bereich der Nüstern besteht aus etwa sieben Bröckchen bis maximal vier Millimeter Größe, T 10 vom linken Ohr. Es handelt sich um zu Pulver zerbrochene Proben mit wenigen etwas größeren Bröckchen von etwa zwei Millimeter Dicke. Der originale Gusskern besteht aus sehr kalkreichem Ton mit wenigen größeren Quarzeinschlüssen. Kohlepartikel beweisen, dass es sich um in der Gießwerkstatt aufbereiteten Ton handelt. Ob auch der viele Quarz des Pulvers von einem mit wenig Ton verbundenen Kernmaterial stammt, wie mögliche Reste von Klümpchen zeigen, oder ob der kalkreiche Ton der originale Kern war, ist nicht klar zu definieren. Andere Einschlüsse des Kerns enthalten Plagioklas, Radiolarit oder bestehen aus Kalk verschiedener Körnung (fein und grob).

Probe T 9 stammt aus der Bregenzer Monumentalhand (GBL 392–394). Sie besteht aus neun großen Bröckchen von bis zu sechs Millimetern Größe. Bei näherer Betrachtung handelt es sich bei dreien um Kalkmergel, wogegen die fünf anderen aus mit ungebrannten Tonbröckchen gemagertem quarzreichen Ton bestehen. Beide Materialien sind auch in den Dünnschliffbildern zu finden. Wie diese beiden sehr verschiedenen Substanzen in einem Gusskern zu interpretieren

<sup>23</sup> D. Colls u. a., *Gallia* 33, 1975, H. 1, 61–94; M. J. Hughes in: W. A. Oddy (Hrsg.), *Aspects of Early Metallurgy*. British Mus. Occasional Paper 17 (London 1980) 41–50; R. F. Tylecote, *The Prehistory of Metallurgy in the British Isles* (London 1986) 50.

<sup>24</sup> H.-P. Kuhnen / W. G. J. Bunk in: *Archaeometallurgy in Europe*. Proceedings of the International Conference, Kongr. Mailand 2003, Bd. 2 (Mailand 2003) 393–401; C. Rico u. a., *Rev. Arch. Narbonnaise* 38, 2005, H. 1, 459–472; S. Klein u. a., *Journal Roman Arch.* 20, 2007, 202–221; ders. u. a., *Aquitania* 25, 2009, 313–342.

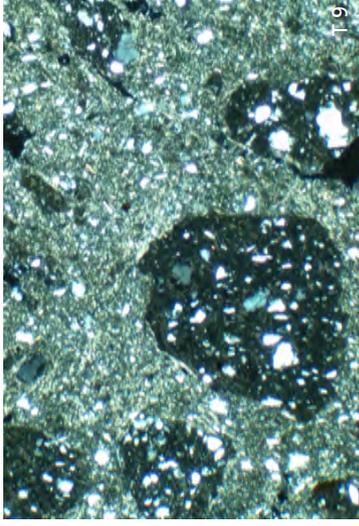
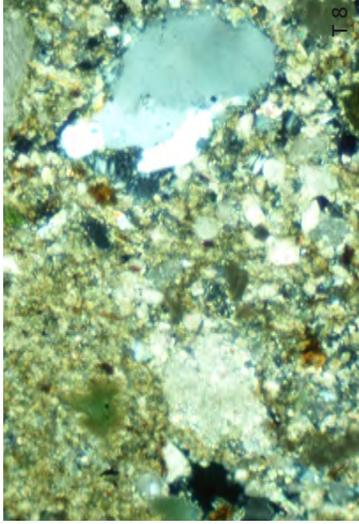
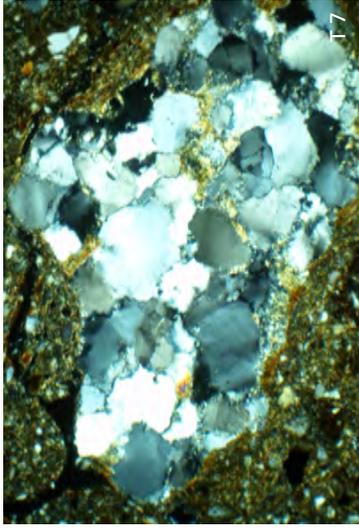
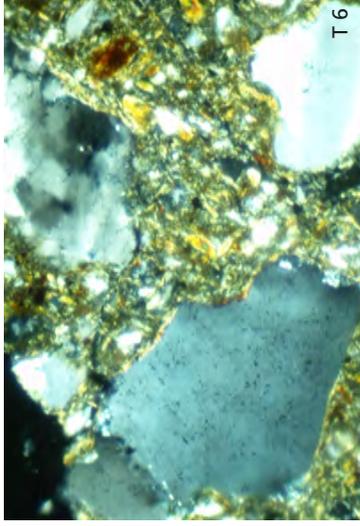
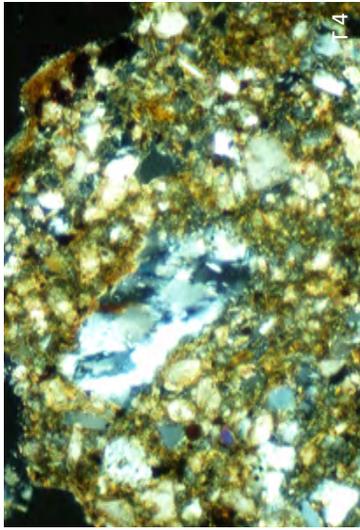
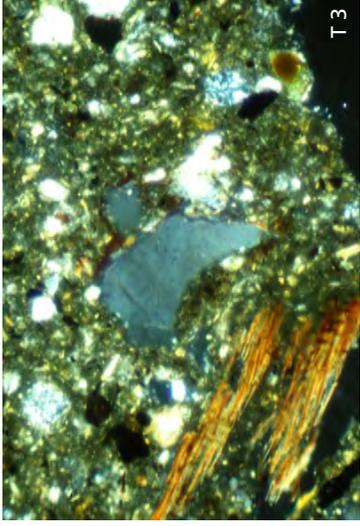
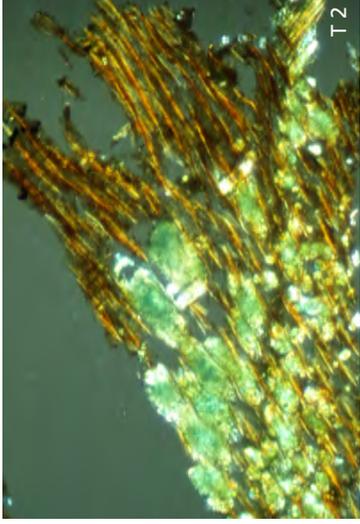
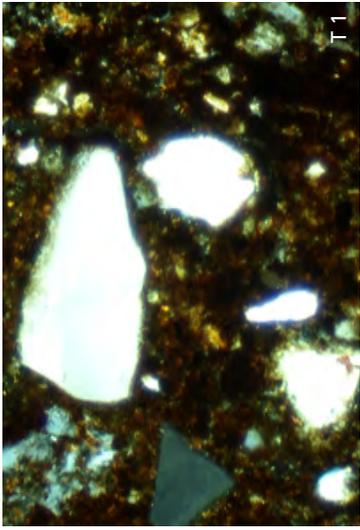
<sup>25</sup> Gale/Stos-Gale (Anm. 22) 538.

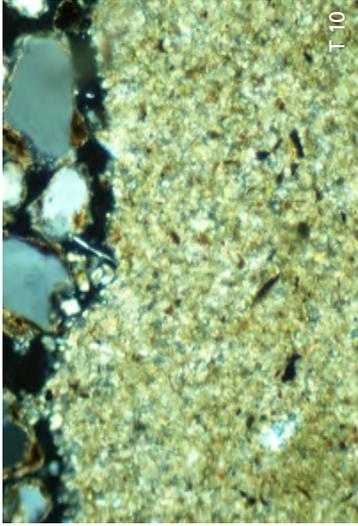
<sup>26</sup> Diesen Abschnitt verfasste Gerwulf Schneider (Berlin) zusammen mit Frank Willer.

<sup>27</sup> G. Schneider / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 204–206.

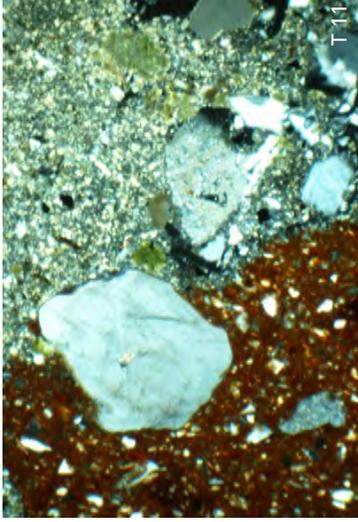
<sup>28</sup> Zur einfacheren Beschreibung werden alle grobkristallinen Quarze, auch polykristalline Aggregate, als Quarz beschrieben und alle fein- oder kryptokristallinen Quarzvarietäten als Chert (Chalcedon, Hornstein, Flint), Radiolarit ist Chert, der deutlich sichtbare Mikrofossilien (Radiolarien) enthält. Daneben gibt es Sandstein und metamorphe Quarzite.

Farbtafel 1

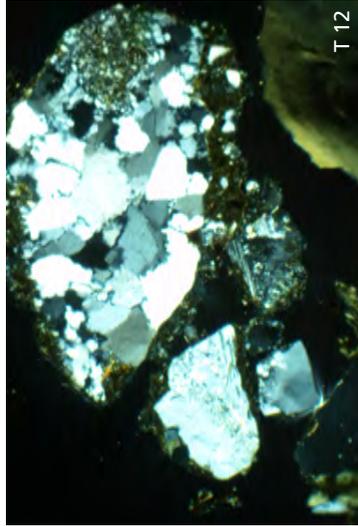




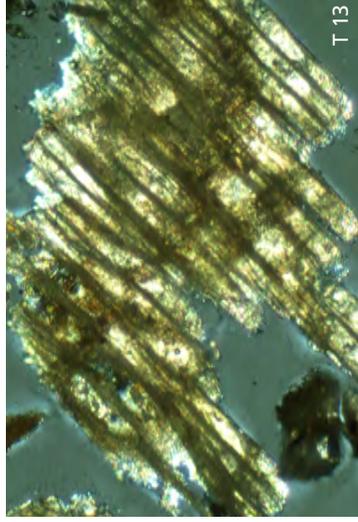
T 10



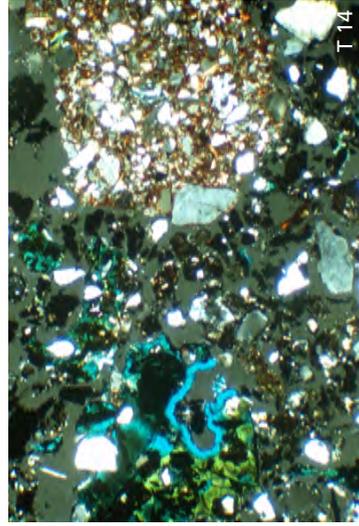
T 11



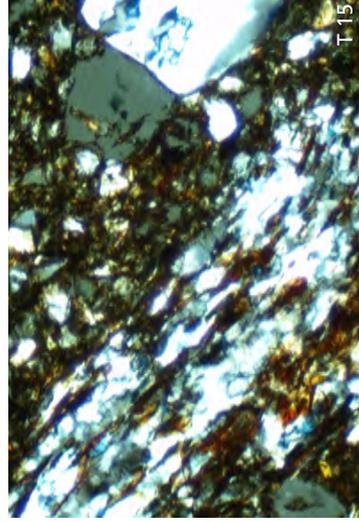
T 12



T 13



T 14



T 15

Dünnschliffuntersuchungen der Tonkerne T 1 bis T 15.

(T 1) GBL 74. Schluffiger Ton mit Anteilen an Quarz und verkohnten Partikeln innerhalb der Tonmatrix. – (T 2) GBL 76 und 77. Nicht verkohlte organische Pflanzenfaser mit Anteilen an hellem Quarz und grünen Korrosionsprodukten der Bronze. – (T 3) GBL 78. Schluffiger Ton mit Anteilen an Quarz und nicht verkohitem, faserigem organischen Material links sowie kleinen schwarzen, verkohlenen Partikeln ebenfalls innerhalb der Tonmatrix. – (T 4) GBL 204. Feine Bestandteile im Tonkern, bestehend aus kalkreichem Ton mit Anteilen an metamorphem Quarz und Chert. – (T 5) GBL 150–152 und 500. Probe bei der Entnahme zerbrochen; daher lose Tonpartikel sowie Quarz und Chert (vergleichbar Probe T 10, z. T. mit dem Ton verbacken); ferner typische Bestandteile wie Plagioklas (oben links) sowie metamorphe beziehungsweise plutonische Gesteinsfragmente. – (T 6) GBL 222. Kalkreicher Ton mit Anteilen an grobem Quarz. – (T 7) GBL 229. Schluffiger, kalkhaltiger Ton mit Anteilen an grobem Quarz, hier ein Fragment von Sandstein. – (T 8) GBL 29–31. Schluffiger, kalkreicher Ton mit Quarzanteilen. – (T 9) GBL 392–394. Ton mit typischer Schamotte mit Holzkohlepartikeln (wiederverwendetes Gusformmaterial), welche als Magerungszuschlag für den Tonkern diente.

(T 10) GBL 29–31, vom Ohr des Pferdekopfes. Kalkreicher Ton mit Holzkohlesplittern und (oben im Bild) mit Ton verbackener Quarzsand (oben). – (T 11) Lfd. Nr. 712. Rotbraune Bereiche eines kalkarmen Tones (Schamotte?) (links) sowie helle Bereiche mit kalkreichem Ton; darin eingebettet größere Quarzkörner; in anderen Bereichen der Probe sind wenige Hohlkanäle nachweisbar, die vielleicht durch verbrannte Tierhaare entstanden sind, die dem Ton beigemischt wurden. – (T 12) Lfd. Nr. 966. Mit Ton verbackenes Bröckchen, darin grobe Partikel aus polykristallinem Quarz, Feldspat sowie Gesteinsfragmenten. – (T 13) Lfd. Nr. 532. Nicht verkohltes, faseriges, organisches Material (wie in T 1 bis T 3). – (T 14) GBL 147. Rechts im Bild hellbraunes Bröckchen eines kalkarmen Tones mit hohem Quarzanteil; im übrigen Bereich sekundäre, blaue und grüne Korrosionsprodukte sowie Metallspäne und Holzkohle, zum Teil stark mit dem Ton verbacken. – (T 15) GBL 491. Kalkreicher Ton, darin neben Quarz ein Fragment von Schieferquarz (diagonal verlaufendes, gebändertes Muster).

sind, ist nicht klar. In beiden ist Holzkohle vorhanden, ebenso wie in den aus demselben Material bestehenden, wohl als Magerung zugesetzten Tonbröckchen. Diese sind vor allem auf Grund ihrer gegenüber der Grundmasse anderen Orientierung im Schliff zu erkennen. Das mergelige Material enthält nur sehr vereinzelte Quarze, die zusammen mit Holzkohle dafür sprechen, dass es sich nicht um einen natürlichen Mergel, sondern um eine in der Gießerei aus einem solchen Rohmaterial hergestellte formbare Masse handelt. Wie hoch der Tonanteil ist, lässt sich anhand des Dünnschliffbildes nicht genau bestimmen.

Probe T 11 kommt von einem Handfragment einer Statue aus Leiden (keine GBL, lfd. Nr. 712). Das Entnommene setzt sich aus vielen in Farbe und Größe sehr unterschiedlichen Bröckchen zusammen. Nur in einem davon sind drei Poren von ausgebranntem organischen Material zu beobachten, die für Stroh zu dünn und für Haar zu dick sind. Es bleibt also fraglich, ob diese ein absichtlich zugesetztes Material darstellen. Die Tonkernbröckchen zeigen eine sehr gemischte tonige Substanz. In einem Bröckchen wurden Anteile aus fünf Varietäten beobachtet. In einem Dünnschliffabschnitt ist ein kleiner dreieckiger Knochensplitter, vermutlich von einem Tier. Daneben sind auch grobe Quarze vorhanden, die zum Teil Anwachsstreifen zeigen, wie sie die Probe von der Saalburg (T 7) zeigt. Ferner ist auch eine spätere Porenfüllung durch Calcit zu erkennen. Eines der anderen Bröckchen besteht aus einem solchen Calcit, der jedoch sehr wahrscheinlich kein Bestandteil des originalen Gusskerns war. Die beiden gemischten Tonsorten bestehen aus Mergelton sowie kalkarmem, eisenreichen rötlichen Ton mit Quarz, Chert und einzelnen Glimmerstückchen.

Probe T 12 wurde aus dem Inneren einer Greifenfigur aus Xanten geborgen (keine GBL, lfd. Nr. 966), die ehemals wohl zum Helmaufsatz einer Statue gehörte. Die Probe ist durch die Entnahme bedingt zu Pulver zerbrochen. Sie enthält ein einzelnes Korn von drei Millimetern Durchmesser, das allerdings eine sekundäre Bildung wie in T 12 darstellt. Bei den gelben isotropen Fragmenten in den Dünnschliffen wird es sich wohl um eine Kontaminierung durch Korrosionsprodukte handeln. Das Pulver besteht ansonsten vorwiegend aus Quarz. Einzelne Körner enthalten zudem Chert. Auch wurde ein größerer Quarzpartikel, ein schiefriges Quarz-Glimmer-Gesteinsfragment oder ein Bruchstück von Mikroklin beobachtet. Das charakteristisch gerundete Gesteinsfragment einer Quarz-Kalifeldspat-Verwachsung ist wohl von weit her transportiert und als Indiz für die Herkunft wenig geeignet. Daneben zeigen die Proben einen großen Partikel eines nicht näher definierbaren organischen Materials, der den organischen Anteilen in den Proben aus Isny ähnelt.

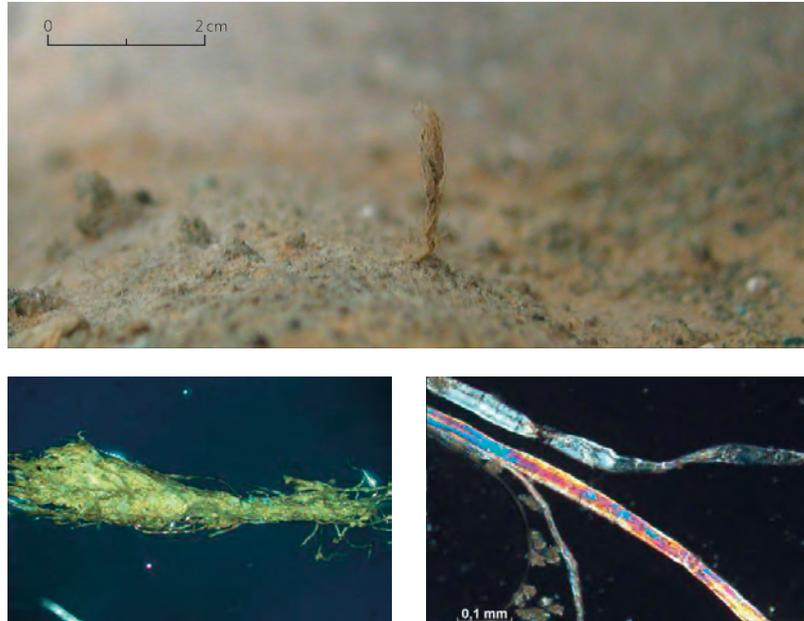
Probe T 14 stammt von einer rechten Hand aus Trier (GBL 147). Hierbei wurde eine größere Materialmenge geborgen, die jedoch ebenfalls bei der Entnahme größtenteils zu Pulver mit Bröckchen von höchstens zwei Millimetern Stärke zerbrach. Neben Korrosionsprodukten gibt es auch Holzkohlestückchen sowie Partikel metallischer Bronze. Neben den wohl sekundären Bestandteilen sind aber Bröckchen des originalen Gusskerns vorhanden. Dabei handelt es sich um einen eisenreichen (kalkarmen) Ton mit hohem Quarzanteil. Neben Quarz ist auch Chert, Feldspat und schiefriger Quarz vertreten. Die Holzkohlestückchen sind zum Teil stark mit sekundärem Calcit verbacken. Grüner Malachit und blauer Azurit bilden die typischen Korrosionsprodukte, die aus dem Kontakt mit der Bronze entstanden sind.

Probe T 15 wurde von einem Fußfragment aus Mainz genommen (GBL 491). Sie enthält wenige maximal sieben Millimeter große Bröckchen des originalen Gusskerns. Dieser besteht aus stark mit runden Quarzsandkörnern versetztem, schluffigem, kalkarmem Ton. Eine lange

<sup>29</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden E. Formigli / G. Schneider in: E. Formigli (Hrsg.), *Antiche officine del bronzo. Materiali, strumenti, tecniche*. Kongr. Murlo 1991 (Siena

1993) 69–102; G. Schneider in: G. Zimmer / N. Hackländer (Hrsg.), *Der Betende Knabe. Original und Experiment* (Bern und Frankfurt a. M. 1997) 141–144.

Abb. 7 a–c Textilrest im bronzenen Pferdekopf aus Augsburg (GBL 29 und 30). Fotografische Nahaufnahme und Mikroskopaufnahmen. – (a) Der Faden vor der Entnahme im Inneren des Pferdekopfes. – (b) Der Faden nach der Präparierung. – (c) Ansicht einer einzelnen präparierten Faser im polarisierten Durchlicht.



Pore deutet auf den verbrannten Bestandteil einer organischen Faser von etwa zwei Zehntelmillimetern Dicke hin. Neben den Quarzkörnern gibt es auch runde Sandkörner aus Quarz-Feldspat-Verwachsungen, auch MyrmeKIT. Zudem ist ein Stück schiefrigen Quarzes mit Glimmer vorhanden.

Organische Zuschläge in antiken Gussformen lassen sich mehrfach nachweisen. Während des Brennens der Form können diese verkohlen beziehungsweise verbrennen und bilden Hohlkanäle, welche während des Eingusses der besseren Ableitung heißer Schmelzgase dienen (siehe auch Tonkernanalysen). Intentionelle Zugaben oder unbewusste Verunreinigungen durch organische Bestandteile wie Holzkohle, Pflanzenfasern oder mögliche Tierhaare sind bei allen Dünnschliffabbildungen nur vereinzelt zu beobachten. Teilweise lassen sich diese jedoch nur bei der Probenentnahme während der Präparation unter dem Mikroskop erkennen (s. den Katalogtext zum Pferdekopf aus Augsburg, GBL 29–31, Abb. 7). Diese sind oftmals jedoch, wie oben beschrieben, nur noch in Form von Hohlkanälen zu erkennen, da die meisten Fasern, die sich im Bereich zur Schmelze befanden, rückstandslos verbrannten. Beispiele hierfür sind die Tonkernproben aus Leiden (T 11) mit einem Faserdurchmesser von etwa einem Fünftel Millimeter sowie aus Mainz (T 15) mit einem etwaigen Faserdurchmesser von einem Viertel Millimeter. Weiterhin wurden Partikel von Knochensplintern (T 11) sowie Holzkohlepartikel (T 6, T 14) beobachtet. Nicht verbrannte und nicht verkohlte Pflanzenfasern enthielten die Dünnschliffproben T 12, T 13 und T 15.

Die fünfzehn untersuchten Proben lassen demnach nicht alle zweifelsfrei Gusskernreste erkennen<sup>29</sup>. Ein großer Teil des Materials besteht aus Korrosionsprodukten oder nachträglich auskristallisiertem Kalk. Zum Teil sind die Proben durch die Entnahme bedingt zu feinem Pulver zerfallen. Trotzdem erlauben die makroskopischen Untersuchungen des Probenmaterials in Zusammenhang mit den Dünnschliffanalysen einige wichtige Schlussfolgerungen.

In keiner Probe, wenn man von drei fraglichen Poren in T 11 absieht, lässt sich ein Zusatz von faserigem Material wie Haaren oder Stroh nachweisen. Bei römischen Großbronzen vor allem in Italien ist ein solcher hingegen meist erkennbar. Andererseits trifft dies nicht für alle untersuchten Gusskerne zu. Insbesondere solche aus Statuetten sind einigen der hier untersuchten Proben ähnlich. In allen Fällen wurden schwindungsarme, wenig plastische Massen verwendet

mit entweder hohem Calcitanteil (Mergel?) oder mit viel Quarz. Dazu wurden auch verschiedene Materialien grob gemischt.

Sofern verschiedene Proben von demselben Ort zur Verfügung standen (Isny, Saalburg, Augsburg), waren die verwendeten Materialien ähnlich, was ein deutlicher Hinweis darauf ist, dass die Bronzen am Ort gegossen sind. Für die Herkunft typische Gesteinsfragmente fehlen weitgehend, was auch der nicht sehr variablen Geologie in der Untersuchungsregion verdankt ist. Ein Versuch, die Materialien mit der jeweils lokalen Geologie zu vergleichen, wurde nicht unternommen. Hierfür könnte das lokale Vorkommen von Kalkmergel geprüft werden. Mikrofossilien im Kalk wurden nicht beobachtet. Bis zu einem gewissen Grad könnten für die Herkunftsbestimmung die manchmal vorkommenden Radiolarite, plutonische oder metamorphe Gesteinsfragmente (Mikroclin, Quarz-Plagioklas-Alkalifeldspat-Verwachsungen, Myrmekit), metamorpher schiefriger Quarz oder Sandstein dienen, die allerdings in allen Proben in sehr kleinen Mengen und vereinzelt vorkommen sowie auch wenig charakteristisch sind.

*Virtuelle und experimentelle Nachgüsse.* Wie sich Gussformen mit Bronze verfüllen lassen und welche Probleme dabei entstehen können, lässt sich heute dank moderner Verfahren am Computer simulieren, wenn, wie hier geschehen, das Volumen des zu simulierenden Stückes zuvor mittels Computertomographie räumlich in Form einer STL-Datei erfasst wurde. Im Gießerei-Institut der RWTH Aachen wurden Gussimulationen des Bronzeporträts von Kaiser Gordian III. aus dem Kastell Niederbieber erstellt (GBL 366, Abb. 9 und 64). Mittels einer speziellen Software (Magmasoft) errechnete man die virtuelle Füllung mit der für das Untersuchungsgebiet typischen Bronzelegierung bei unterschiedlichen Schmelztemperaturen (Abb. 8). Es wurden zwei in der Antike bekannte Eingussverfahren simuliert. Physikalisch vorteilhaft ist für beide Vorgehensweisen, wenn der Kopf beim Verfüllen mit dem Scheitel nach unten zeigt. Die Festlegung der Parameter für die Gießtemperatur erfolgte anhand technischer Daten der originalen Legierung. Die Temperatur wurde zwischen 1080 und 1100 Grad Celsius variiert, um die Auswirkung auf das Gießverhalten zu beurteilen.

Bei der einfachen Variante, bei der die Bronze durch einen Einguss am Halsansatz erfolgt, ergeben die Berechnungen aufgrund ungleichmäßiger Verfüllung oftmals einen fehlerhaften Ausguss oder eine zu frühe Erstarrung. Deutlich bessere Ergebnisse zeigt hingegen die zweite Variante, bei der die Bronze zunächst in einem seitlichen Formkanal nach unten zum Scheitel geleitet wird, von wo aus sie dann gleichmäßig aufsteigend die Form verfüllt<sup>30</sup>. Ergänzend zu diesen Simulationen wurden reale Gussversuche durchgeführt, die im Wesentlichen die vorangegangenen Erkenntnisse bestätigten (Abb. 9). Gezielt wurde hier das ungünstigere Verfahren gewählt, bei dem der Einguss am Halsansatz erfolgte. Um bei der Reproduktion möglichst au-

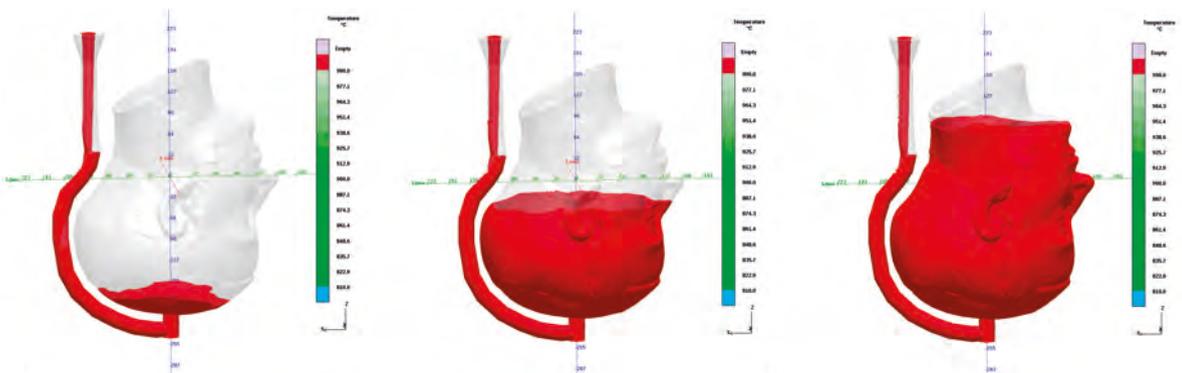


Abb. 8 (gegenüber) Drei ausgewählte Abbildungen aus einem fließenden Prozess der computergesteuerten Guss-simulation. Durch Variation der Schmelztemperatur und Position des Eingusstrichers (fallender oder der hier gezeigte aufsteigende Guss) lassen sich die entsprechenden Auswirkungen auf die Verfüllung der Gussform in Echtzeit simulieren.

Abb. 9 a–b (rechts) Bronze-bildnis Gordians III. (GBL 366). Bonn, Landes-museum. – (a) Das Original. – (b) Der experimentelle Nachguss mit Kaltarbeit und Vergoldungsversuchen.



thentische Bedingungen zu simulieren, wurde bewusst auf die Zugabe moderner Schmelzzusätze wie beispielsweise Phosphorkupfer verzichtet, da dies die Gießbarkeit deutlich beeinflusst und in irreführender Weise verbessert hätte. Im Vergleich zum modernen Bronzeguss war das Metall in der Tat recht zähflüssig. Besonders auffallend war hier nach dem Verfüllen der Gussform ein extremes Nachspeiseverhalten, das sich nach dem Einfüllen der Bronze in die Form durch ein mehrfaches Absinken des Eingusstrichers bemerkbar machte. Der Effekt ist möglicherweise durch die relativ niedrige Erstarrungs- beziehungsweise Durchstarrungstemperatur der im Untersuchungsgebiet verbreiteten stark bleihaltigen Legierung zu erklären. Ferner ließen sich Gussfehler durch Überhitzung im Bereich des Eingusses beobachten<sup>31</sup>.

## Ergebnisse

Der Erkenntnisstand zum Technologietransfer im Statuenguss, der vor etwa zweitausend Jahren nördlich der Alpen einsetzte, hat sich durch die beschriebenen Untersuchungen im Rahmen des Großbronzenprojektes in den letzten Jahren maßgeblich gewandelt. Inzwischen ist deutlich geworden, dass man die Grundzüge der römischen Technik zwar aus dem italischen Raum übernahm, aber für hiesige Verhältnisse offensichtlich anpasste beziehungsweise optimierte und anschließend weiter tradierte<sup>32</sup>.

Für die zukünftige Erforschung provinziäl-römischer Bronzetechnik ist es wichtig, den großräumigen Vergleich weiter auszubauen. Im Rahmen des abgeschlossenen Projektes wurden solche über das ohnehin schon große Untersuchungsgebiet hinausreichende Gegenüberstellungen nur im Vergleich zu vorangegangenen Forschungen an italischen Bronzen und an wenigen neuen Objekten aus entfernteren Limesgebieten vorgenommen. Dazu zählen die umfassend analysierten und hier im Katalog näher beschriebenen großformatigen Objekte aus der römischen Provinz Pannonien, der Porträtkopf des Severus Alexander aus Carnuntum und das Kaiserbein aus Lussonium.

<sup>30</sup> A. Bühring-Polaczek / M. Wirth in: Gebrochener Glanz 197 f.

<sup>31</sup> R. Ellerbrok in: Gebrochener Glanz 199 f.

<sup>32</sup> Salcuni/Formigli, Grandi bronzi passim.

*Legierung.* Alle untersuchten Fragmente von Limesbronzen bestehen wie auch andere römische Großbronzen nahezu durchgehend aus Bronze beziehungsweise Bleibronze<sup>33</sup>. Die Entwicklung einer gießbaren Legierung aus Kupfer und Zinn geht bereits auf die frühe Bronzezeit zurück<sup>34</sup>. Die wichtigsten Vorteile der Bronze gegenüber unlegiertem Kupfer sind höhere Festigkeit, hohe Beständigkeit gegenüber chemischen Angriffen und bessere Gießigenschaften, denn Zinn erniedrigt nicht nur den Schmelzpunkt des Kupfers, es wirkt auch desoxidierend und verringert die Wasserstofflöslichkeit, so dass die Gasbildung in der Schmelze reduziert wird. In Abhängigkeit von der Menge der Zinnzugabe verändert sich die Farbe von rötlich über golden bis hin zu silbrigem Farbton, so dass vermutlich auch ästhetische und inhaltliche Aspekte bei der Wahl der Metallmischung eine Rolle spielten<sup>35</sup> (Abb. 10). Darauf weisen auch die Schriftquellen<sup>36</sup>.



Abb. 10 Zinnbronzen und deren variierende Farbtöne. Experimentelle Güsse ohne moderne Zuschlagstoffe aus reinem Kupfer und Zinn mit steigendem Zinnanteil von einem bis zwanzig Prozent.

In den Anfängen der Gusstechnik des vierten und dritten vorchristlichen Jahrtausends in Mesopotamien wurde vielfach hoch kupferhaltige Bronze gegossen<sup>37</sup>. Diese im Vergleich zu Zinnbronzen schwieriger zu verarbeitende Legierung wurde auch in nachfolgenden Epochen noch häufig gewählt, vielleicht wenn wenig Zinn zur Verfügung stand. Dass auch ästhetische Gründe eine Rolle spielten, zeigt das Beispiel einer leicht unterlebensgroßen Statue der Königin Narpir-Asu im Louvre aus der späten Bronzezeit,

die zu den größten und schwersten (1.750 Kilogramm) gegossenen Figuren ihrer Zeit zählt. Sie besteht aus einer nach dem Wachs ausschmelzverfahren hohl gegossenen, hoch kupferhaltigen Bronze (Sn 1 %). Das Innere wurde wohl sekundär mit Zinnbronze (Sn 11 %) ausgegossen<sup>38</sup>.

<sup>33</sup> Caley, *Chemical Composition*; A. D. Scott / J. Podany in: True/Podany, *Small Sculpture* 31–60; W. A. Oddy u. a. in: ebd. 103–124; W.-D. Heilmeyer, *Der Jüngling von Salamis. Technische Untersuchungen zu römischen Großbronzen* (Mainz 1996); B. Janietz / D. Rouiller, *Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der beiden Pferdestatuen und Untersuchungen zur Herstellungstechnik*. *Forsch. Augst* 20 (Augst 1996); B. Janietz, *Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der Gewandfiguren*. *Forsch. Augst* 30 (Augst 2000); Lahusen/Formigli, *Bildnisse*; A. Giunlia-Mair in: Mattusch/Bramer/Knudsen, *From the Parts* 93–97; G. Lahusen / E. Formigli, *Großbronzen aus Herculaneum und Pompeji* (Worms 2007); Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi*; Peltz/Schalles, *Xantener Knabe*; A. Azéma u. a., *Revue d'archéométrie* 36, 2012, 153–172.

<sup>34</sup> E. Pernicka in: B. Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas* (Kiel 1998) 135–147.

<sup>35</sup> Experimentelle Nachgüsse reiner Zinnbronzen mit Anteilen von einem bis zwanzig Prozent Zinn erfolgten ohne farberändernde moderne Zuschläge, s. R. Schwab / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 182 Abb. 3.

<sup>36</sup> Plin. nat. 34, 94–99.

<sup>37</sup> M. Müller-Karpe in: Ü. Yalçın (Hrsg.), *Anatolian Metal II. Der Anschnitt Beih.* 15 (Bochum 2002) 137–148, hier 142–148.

<sup>38</sup> P. Meyers in: Mattusch/Bramer/Knudsen, *From the Parts* 11–18 Abb. 1–8.

<sup>39</sup> C. Mattusch, *Classical Bronzes. The Art and Craft of Greek and Roman Statuary* (Ithaca 1996) 10–38.

<sup>40</sup> P. T. Craddock / B. Pichler / J. Riederer, *Wiener Ber. Naturwiss. i. d. Kunst* 4/5, 1988, 262–295, hier 266–273 Tab. 2–6; D. Haynes, *The Technique of Greek Bronze Statuary* (Mainz 1992) 87 Tab. 2; R. Schwab u. a., *Bonner Jahrb.* 208, 2008, 5–28, hier 9.

<sup>41</sup> Caley, *Chemical Composition*; A. D. Scott / J. Podany in: True/Podany, *Small Sculpture* 31–60; Oddy, *History*; Janietz/Rouiller, *Pferdestatuen* (Anm. 33); Janietz, *Gewandfiguren* (Anm. 33); Lahusen/Formigli, *Bildnisse*; Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi*; Azéma (Anm. 33).

<sup>42</sup> Plin. nat. 34, 161–162.

<sup>43</sup> K. Dies, *Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik* (Berlin 1967) 508–510; 610–622.

<sup>44</sup> Lahusen/Formigli, *Bildnisse* 472; Lahusen/Formigli, *Pompeji* (Anm. 33) 168.

<sup>45</sup> Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi* 107.

Etwa seit dem sechsten vorchristlichen Jahrhundert entwickelte sich in Griechenland die Herstellung von Statuen im Hohl-gussverfahren, das dann bis in römische Zeit tradiert und technisch weiterentwickelt wurde<sup>39</sup>. Die hierfür benötigte Bronze bestand in der frühen Phase oftmals aus einer binären Legierung aus Kupfer und Zinn, wobei zunehmend Blei hinzulegiert wurde<sup>40</sup>. Insbesondere hellenistische und römische Werkstätten entwickelten für die Serienproduktion von Statuen einen hohen Materialbedarf und fügten größere Mengen Blei hinzu<sup>41</sup>. Dies senkte die Kosten, da es das bereits in der Antike teurere Zinn einsparen half. Plinius berichtet, dass ein Pfund Zinn (*plumbum album*) für siebzig Denare verkauft wurde, während das Pfund Blei (*plumbum nigrum*) nur sieben Denare kostete<sup>42</sup>. Experimente im Rahmen des Projektes ergaben: Bleizusätze sparen nicht nur Zinn und Kupfer ein, sondern verbessern auch die Gießeigenschaften der Bronze, da das Blei die Viskosität der Schmelze sowie die Temperatur für die vollständige Erstarrung merkbar verringert und zugleich die Abbildungsgenauigkeit erhöht. Dieser Effekt erlaubt es, Bronzen recht dünnwandig zu gießen, wodurch das Gesamtvolumen gegenüber herkömmlicher Zinnbronze deutlich reduziert wird. Die Kaltarbeit mittels spanabhebenden Verfahren wie Drehen, Meißeln oder Ziselieren wird zudem durch Blei vereinfacht<sup>43</sup> (Abb. 11).

Bei den im Rahmen des Projektes erfolgten Materialanalysen war deshalb zu erwarten, nur sehr selten die klassische Gusslegierung von neun Teilen Kupfer und einem Teil Zinn anzutreffen, sondern überwiegend bleihaltige Legierungen ähnlich wie bei römischen Bronzestatuen aus Norditalien<sup>44</sup>. Der Anteil an Zinn und Blei in den Limesbronzen unterscheidet sich jedoch überraschend deutlich von norditalischen Legierungen. Im Gegensatz zu den dortigen Statuen, die meist einen Zinngehalt zwischen einem und drei Prozent aufweisen, besitzen die Limesbronzen trotz hohen Bleigehalts einen relativ hohen Zinnanteil von durchschnittlich sechs bis neun Prozent<sup>45</sup>. Dies ist möglicherweise ein Hinweis auf eine abgewandelte Rezeptur, die den klimatischen Verhältnissen angepasst war.

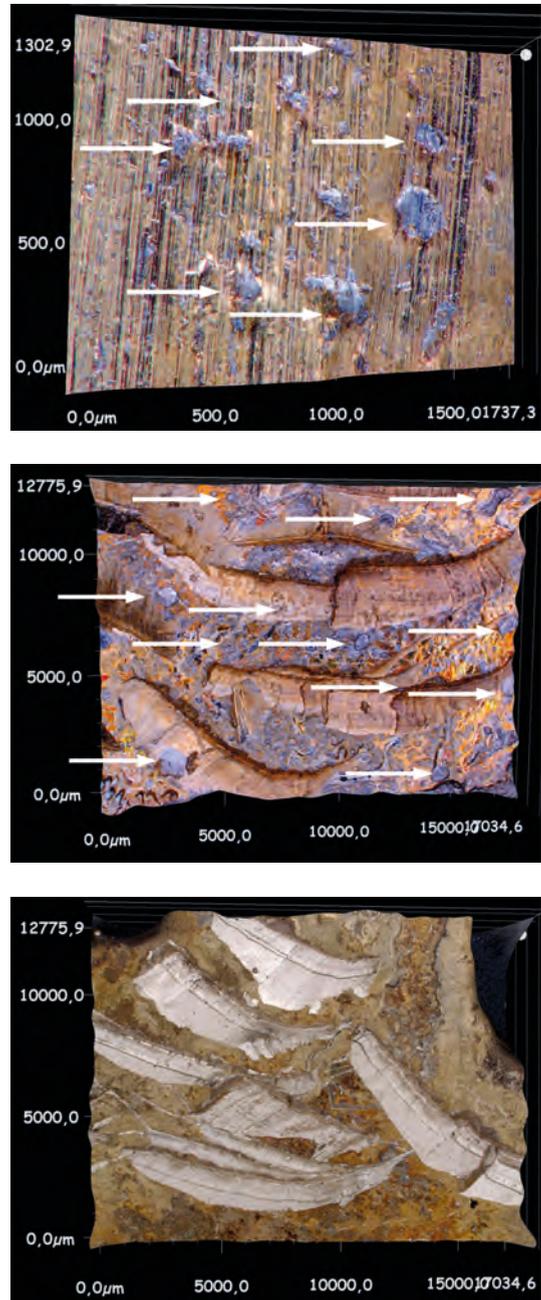


Abb. 11 a–c HDR-Mikroskopie bei zweihundertfacher Vergrößerung. – (a) Abschnittprobe (GBL 526) aus dem Legionslager Bonn mit erkennbaren Bleieinschlüssen (Pfeile) in der Sägeschnittfläche. – (b) Im Experiment mechanisch gut zu bearbeitender Nachguss einer Limesbronze (Cu 75 %, Pb 20 % [Pfeile], Sn 7 %). – (c) Mechanisch schwierig zu bearbeitende, sehr zähe Bronze ohne Bleizusatz (Cu 90 %, Sn 10 %).

Da Statuen aus zivilen Kontexten sehr viel häufiger vergoldet waren als solche in militärischen, ließe sich mutmaßen, dass auch in der Legierung qualitative Unterschiede gemacht wurden. Dies ist jedoch nicht der Fall: Der durchschnittliche Anteil an kostensparendem Blei in Statuenbronze aus zivilen Kontexten liegt geringfügig niedriger (Cu 79,3 %, Sn 6,1 %, Pb 13,2 %) als bei derjenigen aus militärischen Zusammenhängen (Cu 76 %, Sn 6,4 %, Pb 16,7 %), aber entscheidende Unterschiede zeigen sich nicht. Gleiches gilt für die Zugaben von teurem Zinn. Ebenso keine kontextuellen Unterschiede gibt es beim Recycling beziehungsweise bei den Zugaben an Messing, das bei einem Zinkanteil von über 0,2 Prozent nachweisbar ist. So ließ sich Zink in einundzwanzig Prozent der Fragmente in zivilen und in neunzehn Prozent derjenigen aus militärischen Kontexten nachweisen. Vom zweiten zum dritten Jahrhundert ist in beiden Bereichen ein leichter Rückgang der Zinkanteile zu verzeichnen.

Blei wird in Kupfer-Zinn-Legierungen nicht gelöst, sondern liegt in Form fein verteilter Tröpfchen vor (Abb. 11), die mitunter auch im Röntgenbild sichtbar sind. Im binären System aus Kupfer und Blei besteht eine Mischungslücke im flüssigen Zustand, die durch den Zinnanteil noch erweitert wird. Dadurch kann sich eine Bleibronze in eine Kupfer-Blei-(Zinn)-Legierung und eine Blei-(Zinn)-Kupfer-Legierung entmischen. Die Folge sind sogenannte Blockseigerungen, wobei sich Blei entsprechend der Wärmegradienten im Gussstück lokal ansammelt<sup>46</sup>. Das Gefüge der Großbronzen weist entsprechend deren hohem Bleigehalt unregelmäßig geformte Partikel dieses Metalls von unterschiedlicher Größe auf (Farbtafel 3, 1). In Abbildung 12 sind Blei- und Zinngehalt aller untersuchten Fragmente dargestellt. Der Gehalt an Zinn ist normal verteilt, so dass etwa siebzig Prozent der Stücke eine Konzentration zwischen fünf und zehn Prozent haben, während der Gehalt an Blei bei über der Hälfte der analysierten Fragmente zwischen fünfzehn und fünfundzwanzig Prozent liegt. Im Durchschnitt enthalten römische Gussbronzen aus dem Untersuchungsgebiet etwa sechs Prozent Zinn, ein geringerer Teil der Statuen zehn bis höchstens fünfzehn Prozent.

Das Verhältnis von Blei und Zinn in Großbronzen ist so aufeinander abgestimmt, dass es in der Regel außerhalb der Mischungslücke des ternären Systems von Kupfer-Zinn-Blei liegt. ›Mischungslücke‹ bedeutet, dass sich die Komponenten in einem bestimmten Konzentrationsbereich trennen und als Phasengemenge vorliegen. Bei der Erstarrung führt dies zu erheblichen Seigerungen. Das Metallgefüge besteht dann entsprechend dem hohen Anteil an Blei und dem niedrigeren an Zinn aus heterogenen Bleipartikeln in einer inhomogenen Matrix aus  $\alpha_{\text{Cu}}$ -Mischkristallen, also einer festen Lösung aus Kupfer und Zinn (s. Farbtafel 3, 1). Gelegentlich tritt noch das  $\alpha+\delta$ -Eutektoid auf, ein fein verteiltes regelmäßiges Gemenge zweier Kupfer-Zinn-Phasen (Farbtafel 3, 2). Die Mikrohärtigkeit liegt üblicherweise zwischen 70 und 110 HV 0,1 (s. Analysentabelle), was der Härte moderner weicher und halbharter Mehrstoffbronzen entspricht<sup>47</sup>. Einzig eine vergoldete Statue aus Groß-Gerau (GBL 543) erreicht eine mittlere Härte von 140 HV 0,1, weil das Gefüge durch Erhitzen vollständig rekristallisiert und teilweise verformt ist (Farbtafel 3, 3), was sehr wahrscheinlich auf die Zerstörung der Statue zurückzuführen ist. Dadurch werden lokal Mikrohärtigkeiten bis 160 HV 0,1 erreicht.

Es gibt auch Statuen aus nahezu unlegiertem Kupfer mit sehr geringem Zinn- und Bleianteil von weniger als einem bis zwei Prozent, so aus Hambach (GBL 115), Kalkar (GBL 106) und Saint-Mard (GBL 358 und 359). Die entsprechende deutlich rote Legierung ist nach antikem Verfahren gerade noch gießbar, da sie wie unlegiertes Kupfer einen höheren Schmelzpunkt besitzt und durch die Aufnahme von Sauerstoff und Wasserstoff zum Spratzen neigt. Legierungen

<sup>46</sup> R. Schwab u. a., *Bonner Jahrb.* 208, 2008, 5–28, hier 10 f.

<sup>47</sup> Dies, Kupfer (Anm. 43) 530.

<sup>48</sup> K. Karmarsch, *Handbuch der mechanischen Technologie* (2. Aufl., Hannover 1851) 465; K. Bott / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 207–209.

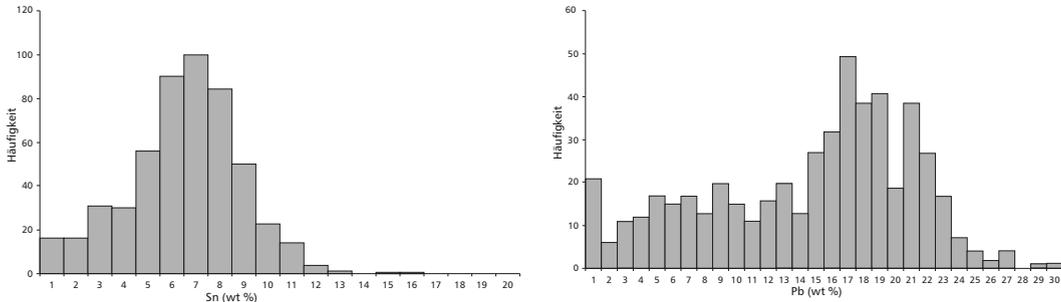


Abb. 12 a–b Zinn-Bleidiagramm der GBL-Proben. – (a) Häufigkeit des gemessenen Zinngehalts in den Limesbronzen. – (b) Häufigkeit des gemessenen Bleigehalts dort.

mit geringen Blei- und Zinnanteilen besitzen ein schlechteres Fließvermögen und damit eine schlechtere Abbildungsgenauigkeit als Bronze. Zudem erstarren sie bei gleicher Materialstärke deutlich früher als eine typische Blei-Zinn-Bronze mit einem sehr kurzen Intervall, weshalb diese Legierungen im Untersuchungsgebiet wohl oftmals recht dickwandig gegossen wurden, nämlich mit einer Wandstärke von maximal etwa acht bis zehn Millimetern. Bemerkenswerterweise waren einige Werkstätten in der Lage, solche Legierungen zu Statuen zu gießen. Es fällt auf, dass Statuen mit geringen Blei- und Zinnanteilen oftmals vergoldet sind, so bei Fragmenten aus dem Bonner Legionslager (GBL 119 und 514), Bregenz (GBL 393–394, 447–449, 455 und 457), Groß-Gerau (GBL 15), Mainz (GBL 490, 493, 495 und 497), Mittelstrimmig (GBL 123) oder Trier (GBL 176). Jeweils wurde mit Zinn gespart, wobei die ebenfalls geringen Bleizugaben den verhältnismäßig hohen Kupfergehalt der Legierung mit einer deutlichen Rotfärbung hervortreten ließen, die aber später unter der Vergoldung nicht sichtbar war. Zudem kann der Farbton des Untergrundes die Farbwirkung des dünnen Blattgoldes positiv beeinflussen. Handbüchern des neunzehnten Jahrhunderts ist zu entnehmen, dass der durch den hohen Kupferanteil der Bronze erzeugte rote Farbton als vorteilhaft für eine wärmere Farbwirkung der leicht transluzenten Vergoldung betrachtet wurde<sup>48</sup>. Es ist daher zu vermuten, dass hier ein technischer Zusammenhang besteht, der bislang noch nicht genau geklärt wurde. Sehr bleiarmer Legierungen eignen sich besonders in Verbindung mit Gold-Quecksilber-Amalgam für Feuervergoldung, die unter Hitze einwirkung erfolgt. Dennoch ist lediglich bei zwei Fragmenten dieser Art von Legierung – der Oberarm einer männlichen Statue (GBL 234 und 235) und ein Haarfragment (GBL 174) – eine solche Vergoldung anhand einer metallographischen Untersuchung (s. Farbtafeln 3 und 4) nachgewiesen. Wie Versuche im Rahmen des Projektes zeigten, kann das auch an der Oberfläche der Statuen befindliche Blei bei Temperaturerhöhung (zum Beispiel auch bei Lötungen oder Applikationen) mit der Vergoldung reagieren und graue Stellen hervorrufen. Einige untersuchte Fragmente zeigen solche Stellen, wie zum Beispiel das diffusionsvergoldete Rückenfragment aus Groß-Gerau (GBL 1 und 2).

Nietstifte zur Fixierung von Reparaturblechen bestehen aus nahezu unlegiertem Kupfer. Dies hat technische Gründe, da Kupfer gegenüber Bronze sehr viel weicher ist und sich die Niete beim Einhämmern ohne Beschädigung der Bronze verstiften ließen. Diese Arbeitsweise war, anders als in Italien, im gesamten Untersuchungsgebiet nördlich der Alpen offenbar bekannt und verbreitet.

Das Spurenelementmuster der analysierten Legierungen ist bei Limesbronzen allgemein durch geringe Verunreinigung geprägt, so dass man weitgehend spurenelementarmes Erz wie Kupferkies als primäre Rohstoffquelle annehmen kann. Einige Proben weisen auffällig viel Antimon im Prozentbereich auf, begleitet von einem erhöhten Silberanteil im Promillebereich, während die Menge an Arsen wegen des hohen Bleigehalts nicht bestimmt werden kann. Diese höhere Konzentration an Spurenelementen kann zwei unterschiedliche Ursachen haben.

Nördlich der Alpen war die Verwendung von polymetallischen Erzen, den sogenannten Fahlerzen, von der frühen Bronzezeit bis in die jüngere vorrömische Eisenzeit weit verbreitet, und Fahlerzkupfer ist vor allem in zahlreichen keltischen Objekten in der Spätlatènezeit nachzuweisen<sup>49</sup>. Römische Kupferbarren spanischer Provenienz zum Beispiel enthalten hingegen nur geringe Spuren von Antimon, Silber oder Arsen<sup>50</sup>. Die wenigen gesicherten römischen Kupferminen im Untersuchungsgebiet dienten der Pigmentgewinnung<sup>51</sup>, während römische Bergbauaktivitäten zum Erzabbau dort bisher nicht nachgewiesen sind<sup>52</sup>. Im Gebiet des Limes taucht der genannte, noch relativ hoch konzentrierte Fahlerzanteil bislang nur in früh datierbaren Skulpturen auf, wie Waldgirmes (GBL 529), Tawern-Metzenberg (GBL 173) und in einem Fragment aus Aalen (GBL 47). In der frühen Phase der Okkupation um die Zeitenwende bis in das erste Jahrhundert hinein wurde vermutlich entweder lokal verfügbares Altmaterial wie die nun zur Zahlung ungültigen Potinmünzen zur Herstellung von Statuen wiederverwendet oder aber noch Kupfer aus den nahegelegenen regionalen Kupferlagerstätten des Alpenraums, der Pfalz oder des Eifel-Mosel-Gebietes eingesetzt. So zeigen einige im Untersuchungsgebiet analysierte Fragmente wie diejenigen von einem Reiterstandbild aus Isny noch leicht erhöhte Konzentrationen typischer Fahlerzindikatoren (GBL 73–80, 92, 93 und 179–182) wie einen erhöhten Antimongehalt.

Eine andere Erklärung für Spuren von Silber kann der hohe Bleigehalt liefern. Plinius gibt Rezepturen für Statuen an, denen zufolge neben Plumbum nigrum auch Plumbum argentarium zugefügt werden soll<sup>53</sup>. Das Blei, das bei der Silbergewinnung anfällt, enthält immer dieses Edelmetall, wobei der Gehalt daran bei früheren griechischen Bleifunden durchweg mehrere hundert Milligramm Silber pro Kilogramm Blei aufweist<sup>54</sup>, während bei jüngeren Objekten der Silbergehalt anscheinend immer weniger wird<sup>55</sup>. Barren und andere Objekte aus Blei von britanischen und germanischen Fundorten, die nicht bei der Silbergewinnung angefallen waren, enthalten in der Regel weniger als einhundert Milligramm Silber pro Kilogramm Blei<sup>56</sup>. Das Zulegieren einheimischen oder britischen Bleis sollte also im Allgemeinen nur einen geringen Einfluss auf den Silberanteil in den Bronzen haben. Je nach dem Ausgangsgehalt im Kupfer und der Menge an Bleizusatz kann es jedoch zu einer signifikanten Beeinflussung kommen.

Der Antimongehalt der Barren und Bleiobjekte ist etwas höher, bleibt aber in der Regel unterhalb der Promillegrenze<sup>57</sup>. Ein Tierrohr aus Blei mit unklarer Zeitstellung aus der germanischen Siedlung von Castrop-Rauxel weist jedoch einen Antimongehalt von 6,3 Prozent auf<sup>58</sup>. Die Sekundärverwendung solcher Figuren würde eine signifikante Veränderung der Antimonwerte bewirken. Ein Argument gegen die drastische Veränderung des Antimongehalts durch den Bleizuschlag liefert jedoch der Pferdekopf von Waldgirmes mit Antimonkonzentration im Prozentbereich (so GBL 529 sowie Abb. 13). Das Blei weist einerseits die unveränderte Isotopensignatur

<sup>49</sup> R. Schwab, *Ber. Arch. Mittelrhein und Mosel* 17, 2011, 267–285; ders. in: ders. / E. Pernicka (Hrsg.), *Under the volcano. Proceedings of the International Symposium on Metallurgy of the European Iron Age*. *Forsch. Archäometrie u. Altertumswiss.* 5 (Rahden 2014) 175–188.

<sup>50</sup> Rico u. a. (Anm. 24) Tab. 2; Klein u. a. 2009 (Anm. 24) Tab. 2.

<sup>51</sup> K.-J. Gilles, *Funde u. Ausgr. Bez. Trier* 27, 1995, 46–55, hier 51; G. Körlin, *Der Anschnitt* 62, 2010, H. 4, 174–189.

<sup>52</sup> H. Walling, *Mitt. hist. Verein Pfalz* 75, 1977, 15–46.

<sup>53</sup> *Plin. nat.* 34, 98.

<sup>54</sup> H. H. Gale / W. Gentner / G. A. Wagner in: D. M. Metcalf / A. Oddy (Hrsg.), *Metallurgy in numisma-*

*tics*. *I. Royal Num. Soc. Special Publ.* 13 (London 1980) 3–49; 33.

<sup>55</sup> I. Kuleff u. a., *Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 196, 1995, H. 1, 65–76 Tab. 2.

<sup>56</sup> A. Wyttenbach / P. A. Schubiger, *Archaeometry* 15, 1973, H. 2, 199–207, hier 202; Th. Rehren, *Metalla* 5, 1998, H. 2, 63–69, hier 65; C. Bergen, *Technologische und kulturhistorische Studien zu Bleifunden im 1. Jahrtausend* (Bonn 2005) 55–66. – Mitteilung Michael Bode (Bochum).

<sup>57</sup> Siehe die vorige Anm.

<sup>58</sup> Bergen (vorletzte Anm.) 57.

<sup>59</sup> Caley, *Chemical Composition* 47. – *Plin. nat.* 34, 97.



Abb. 13 Bronzener Pferdekopf aus Waldgirmes (GBL 529).

der Bleierze aus der Eifel auf, andererseits ist nicht anzunehmen, dass es in diesem frühen Stadium der Romanisierung bereits zum massenhaften Bleirecycling gekommen ist, zumal in vorrömischen Siedlungen kaum Blei vorhanden war.

Völlig außergewöhnlich sind jedoch sehr hohe Werte von Nickel, Arsen und Antimon in einer Probe aus Duisburg-Serm (GBL 551, Cu 79 %, Sn 2,5 %, Pb 10 %, Ni 1,6 %, As 4,1 %, Sb 2,4 %). Entsprechend der hohen Anteile an Fahlerzmetallen hat sich neben dem  $\alpha_{\text{Cu}}$ -Mischkristall noch eine in der modernen metallkundlichen Literatur nicht dokumentierte intermetallische Phase ausgebildet, die als  $\text{Cu}_{46}\text{Ni}_{25}\text{Sb}_{16}\text{As}_7\text{Sn}_5\text{Co}$  beschrieben werden kann. Man kann nur vermuten, dass sich diese Phase bei der Erstarrung diskontinuierlich aus dem Mischkristall ausgeschieden hat und vermutlich ausgedehnte Homogenitätsbereiche aufweist. Durch den hohen Bleigehalt wirkt sich der Anteil der intermetallischen Phase jedoch kaum auf die Härte des Werkstoffes aus (Tabelle 1). Solch eine Zusammensetzung wurde bisher noch bei keiner anderen römischen Großbronze gemessen. Vergleichbar hohe Werte an Antimon wurden bislang nur bei Statuentteilen aus Waldgirmes, Tawern und Aalen beobachtet. GBL 551 unterscheidet sich aber in der Zusammensetzung durch den hohen Nickelanteil von klassischem Fahlerzkupfer, da das genannte Element eigentlich nicht in den Mineralen der Fahlerzreihe vorkommt. Das verwendete Erz muss also noch mit Nickelarseniden oder Nickelsulfiden vergesellschaftet gewesen sein. Da Fahlerze in der römischen Metallurgie eigentlich keine Rolle spielen, kann man wiederum in Anlehnung an die frühe Datierung der Funde von Waldgirmes vermuten, dass regional verfügbares Fahlerzkupfer oder vorrömisches Altmetall als Zuschlag zugefügt ist.

*Altmetallzuschläge.* Plinius beschreibt eine Rezeptur für die Legierungen von Großbronzen mit einem Drittel Altmetall<sup>59</sup>. Ob solche Mischungsverhältnisse auch nach dem ersten Jahrhundert und speziell im Untersuchungsgebiet immer exakt so angewendet wurden, ist fraglich. Das Gegenteil belegen wenige unvergoldete Skulpturen aus Trier (GBL 314 und 315) sowie Teile mehrerer vergoldeter Statuen aus Mainz (GBL 490, 493, 495 und 497) und Trier (GBL 153, 154, 165, 176, 184, 307, 313, 319 und 320). Recycling lässt sich aber eingeschränkt nachweisen und betrifft

die Anwesenheit von Elementen, die nicht zu einer üblichen Bronzelegierung (Kupfer, Zinn, Blei) zählen. Ein Indikator für die Wiederverwendung von Altmetall in der Statuenlegierung ist Zink. Es ist normalerweise kein Bestandteil der Statuenbronze, sondern resultiert aus der beabsichtigten Zugabe von Messing in Form von Altmetall. Da dieses die am häufigsten verwendete Kupferlegierung in der römischen Kaiserzeit war<sup>60</sup>, sollte man angesichts des großen Metallbedarfs dieser Epoche für Großbronzen regelhaft mit Zinkgehalt rechnen. Fast ein Viertel aller untersuchten Fragmente weist folglich einen messbaren Anteil (über 0,2 Prozent) an diesem Metall auf. Daneben gibt es auch Objekte, vorrangig Appliken, die intentionell aus reinem Messing gefertigt wurden, wie die Medusenhäupter aus Künzing (GBL 201–202) und ein Greif aus Rohr (GBL 129).

Nach chronologischen Kriterien betrachtet wurden Messingobjekte im zweiten Jahrhundert zunehmend als Zugabe für den Stauenguss verwendet. Die Datierung ergibt sich aus der Auswertung der chronologisch bestimmaren Fundkontexte. Vermutlich landeten in dieser Zeit größter Prosperität zahlreiche Statuen erster Generation zusammen mit verfügbarem Altmetall im Schmelztiegel. Hinsichtlich der Verwendung von zinkhaltigem Material ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen militärischen und zivilen Kontexten. Recycling von Objekten aus dieser Legierung war danach gleich stark ausgeprägt, was sich letztlich mit den Ergebnissen

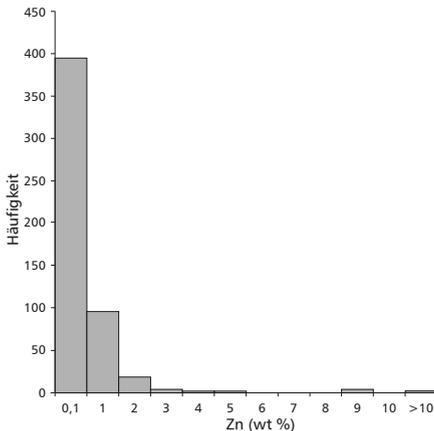


Abb. 14 Häufigkeit der gemessenen Zinkanteile (Zn) in den Limesbronzen.

wirkten, wodurch wiederum der Abbrand von Zinn und Kupfer sowie dank sinkender Wasserstofflöslichkeit des Kupfers die für den Guss negative Gasblasenbildung verringert werden. Daher verwundert es nicht, dass antike Großbronzen in der Regel nur noch einen geringen Zinkanteil enthalten. Im Gegensatz dazu können kleinere Gusschargen, wie sie etwa für Tierdarstellungen erforderlich waren, im geschlossenen System in abgedeckten Schmelztiegeln erschmolzen werden, die einen allzu großen Verlust des Zinkanteils verhinderten<sup>63</sup>. Kleinformatige Bronzen wurden demnach vermutlich mit dieser Methode gegossen, so der Arm von einer unterlebens-

aus Nordengland deckt, wonach Messing quantitativ in zivilen und militärischen Kontexten nicht grundlegend unterschiedlich verwendet wurde<sup>61</sup>.

Im Gegensatz zum modernen Schmelzverfahren erfolgte nach antiker Methode die Herstellung großer Mengen Bronze nur mit Holzkohle unter permanenter Zuführung von Luft in einem offenen System. Fügt man bereits erschmolzener Bronze noch Altmetall aus Messing hinzu, kommt es aufgrund des relativ geringen Siedepunktes von Zink (907 °C) zur Zinkverdampfung, die durch weiße Rauchschwaden erkennbar ist<sup>62</sup>. Weiterhin kommt es bei unzureichender Abdeckung der Schmelze zu einem weiteren Verlust des Zinkanteils durch den selektiven Abbrand. Der Zinkverlust ist willkommen, weil Zinkdampf und Zinkoxid desoxidierend

<sup>60</sup> M. Brüggler u. a., *Bonner Jahrb.* 212, 2012, 121–152, hier 140.

<sup>61</sup> D. Dungworth, *Journal Arch. Scien.* 24, 1997, 901–910, hier 908.

<sup>62</sup> F. Willer in: *Experimental and educational aspects of bronze metallurgy. Proceedings of the 1st International Workshop, Congr. Wilhelminaoord 1999 (Leiden 2001)* 30–38.

<sup>63</sup> M. Schmauder / F. Willer, *Köln Jahrb.* 37, 2004, 137–222 Abb. 26; A. Hauptmann / G. Weisgerber in: K. Kortüm / J. Lauber (Hrsg.), *Walheim I. Das Kastell II und die nachfolgende Besiedlung. Forsch. zur Vor- und Frühgesch. Baden-Württemberg* 95 (Stuttgart 2004) 543–550, hier 548; H. D. Nielsen, *Metalla* 13, 2006, H. 1, 54.

	Objekt	Aufbau der Oberfläche	Metallgefüge	Einschlüsse (Vol. %)	Härte*
GBL 019	Rückenfrg.	Diffusionsvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_{2-x}Fe_xS$ (0,3 %)	70
GBL 028	Frg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb,	$Cu_2S$	70
GBL 029	Pferdekopf	inverse Blockseigerung von Blei	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	80
GBL 031	Pferdekopf	Zinnanreicherung in d. Korrosion	$\alpha_{Cu}$ , Pb	Cu, $Cu_2S$ (0,2 %)	80
GBL 077	Pferdekörper	Zinnanreicherung in d. Korrosion	$\alpha_{Cu}$ , Pb	Cu, $Cu_2S$ (1,2 %)	90
GBL 083	Haarfrg.	Bleilot	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (0,3 %)	110
GBL 087	Pteryges	Zinnanreicherung in d. Korrosion	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_2S$ (0,5 %)	70
GBL 091	Plinthenleiste	Verzinnung (Lot)	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_2S$	80
GBL 092	Frg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (0,9 %)	80
GBL 093	Frg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	90
GBL 101	Reparaturblech	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	100
GBL 102	Gewand	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (0,8 %)	80
GBL 103	Gewand	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	Cu, $Cu_2S$ (1,0 %)	100
GBL 104	Gewand	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	80
GBL 112	Finger	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (0,8 %)	90
GBL 113	Fragment	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	70
GBL 114	Gewand	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$	$Cu_2S$ (1,3 %)	70
GBL 117	Gewand	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Zn(Cu,Fe)_3S$	110
GBL 120	Reiter	Blattvergoldung**	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_{2-x}Fe_xS$ , CuZnS; SnO <sub>2</sub>	80
GBL 122	Tierrohr	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Zn(Cu,Fe)_3S$	110
GBL 173	Frg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (0,5 %)	70
GBL 174	Haarfrg.	Feuer- und Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	70
GBL 175	Panzerbeschlag	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	90
GBL 176	Pferd	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	90
GBL 178	Frg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$	90
GBL 181	Pferdekörperfrg.	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ , Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	70
GBL 235	Oberarm	Feuer- und Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_{2-x}Fe_xSe_xS$ (0,5 %)	70
GBL 438	Faltenfrg.		$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_2S$ (1,0 %)	90
GBL 439	Körperfrg.		$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_2S$ (1,9 %)	70
GBL 440	Pterygesfrg.	Verzinnung (Lot)	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_2S$ (0,9 %)	70
GBL 503	Haarlocke	Entzinnung, Kupfer	$\alpha_{Cu}$ , Pb, $\alpha + \delta$	$Cu_2S$ (2,2 %)	100
GBL 543	Statue	Blattvergoldung	$\alpha_{Cu}$ , Pb	$Cu_{2-x}Fe_xSe_xS$ (0,6 %)	140
GBL 554	Statue		$\alpha_{Cu}$ , Pb***	Cu, $Cu_2S$ (1,6 %)	100

Tabelle 1 Gefügeuntersuchung und Härtemessung. Ergebnisse der metallographischen Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie, Lichtmikroskopie und Härtemessung nach Vickers (HV). – (\*) HV 0,1. – (\*\*) Rückseite Verzinnung, inverse Blockseigerung. – (\*\*\*) außerdem  $Cu_{45}Ni_{25}Sb_{16}As_7Sb_5Co$ . – Zu den Probennummern und laufenden Nummern s. die Konkordanzliste.

großen Statuette aus Naaldwijk (GBL 376) sowie das Tierrohr aus Mittelstrimmig (GBL 123) und der vergoldete Adlerfuß aus Mainz (GBL 492). Hierbei handelt es sich um Mehrstofflegierungen mit geringerem Zinkgehalt von etwa zwei bis fünf Prozent.

Die positiven Eigenschaften von Messing als Zuschlag zur Bronzeschmelze wurden offenbar bereits früh erkannt. Geschieht die Beigabe am Ende des Schmelzvorgangs in einer geringen



Abb. 15 Fragmente aus dem Depotfund von Groß-Gerau (GBL 1–28, 524 und 525). Einige Stücke sind blattvergoldet, das Rückenfragment einer männlichen Statue (links in Bild) zeigt Diffusionsvergoldung. Ein bereits in der Antike fehlgeschlagener Versuch, das wertvolle Gold abzukratzen (siehe Pfeil), belegt die hohe Haftkraft gegenüber leicht abzuschabender Blattvergoldung. Darmstadt, Landesamt für Denkmalpflege Hessen.

Menge vor der Abkühlung der Schmelze, kann das im Messing enthaltene Zink aufgrund seiner reduzierenden Wirkung der Bildung von Gasblasen entgegenwirken. Eine zu große Menge an Messing führt dagegen zur Abkühlung und Verfestigung der Schmelze. Befeuern zum erneuten Schmelzen würde in diesem Fall wiederum einen unnötigen Verlust an Zink durch Abbrand zur Folge haben. Daher verwundert es nicht, dass bei der Legierung der meisten Statuenfragmente (abgesehen von Appliken) – also bei fünfundachtzig Prozent der untersuchten Proben – der Zinkgehalt unterhalb der Nachweisgrenze (unter 0,2 %) liegt. Abgesehen von einem vermutlichen Schuhfragment mit sieben Prozent Zink aus Trier-Tawern (GBL 324) sowie dem Arm eines Stummen Dieners aus Naaldwijk (GBL 376) mit zwei Prozent Zink liegt der Zinkgehalt bei Limesbronzen meist nur im Promillebereich (Abb. 14). Im Zusammenhang mit der Zugabe von Messing könnte man einen Hinweis von Plinius dem Älteren sehen, der Topfbronze (*ollaria*) als geeignete Altware bezeichnet<sup>64</sup>. Die Analyse von *Ollae* des ersten Jahrhunderts zeigt aber, dass die Gefäßkörper in der Regel aus reiner binärer Bronze getrieben wurden, während die

<sup>64</sup> Plin. nat. 34, 97–98.

<sup>65</sup> R. P. J. Jackson / P. T. Craddock in: B. Raftery / V. Megaw / V. Rigby (Hrsg.), *Sites and sights of the Iron Age* (Oxford 1995) 75–102, hier 90; J. Riederer, *Berliner Beitr. Archäometrie* 18, 2001, 139–259; ders., *dass.* 21, 2008, 143–206.

<sup>66</sup> R. Petrovsky, *Studien zu römischen Bronzegefäßen mit Meisterstempeln* (Buch a. Erlbach 1993) 123–125.

<sup>67</sup> Schwab, *Kupferlegierungen* 154.

<sup>68</sup> Schmauder/Willer (Anm. 63) 166–169; Petrovsky (vorletzte Anm.) 124.

<sup>69</sup> Vgl. K. Bott / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 207.

Beschläge meist aus Bleibronze gegossen sind<sup>65</sup>. Erst seit der zweiten Hälfte des zweiten Jahrhunderts wird dann für einige Gefäßformen vermehrt Messing eingesetzt<sup>66</sup>.

Die regelmäßige Verwendung von Messinglegierungen lässt sich seit Beginn des ersten vorchristlichen Jahrhunderts nachweisen. Seit der Mitte und vor allem am Ende dieses Säkulums kommen sie auch nördlich der Alpen in Fibeln, Münzen oder Schwertscheiden vor<sup>67</sup>. Ausgedientes Material landete als Altmetall in der Wertstoffkette und diente offenbar auch nicht selten als Zuschlag für Gussbronze in den Statuenwerkstätten.

Mit Ausnahme des rätischen Fundortes Künzing wurde Messing als Zuschlagstoff vorwiegend im nördlichen Untersuchungsgebiet für den Statuenguss verarbeitet, also nördlich der Höhe des Wetteraulimes. Etwa sechzig Prozent aller nachweisbaren Zinkanteile verteilen sich allein auf die Fundorte Nimwegen (24 %), Saalburg (18 %), Bonn (8 %), Xanten (5 %) und Hambach-Niederzier (5 %). Markant sind Funde aus Xanten (GBL 545 und 546), Kalkar (GBL 104, 110, 111 und 480) und Nimwegen-Hessenberg (GBL 268, 269, 279, 280, 281, 294, 302, 303, 329). Eine Erklärung hierfür könnte die bessere Verfügbarkeit des Materials am Ort sein. Messingproduzierende Werkstätten im niedergermanischen Raum scheinen besonders um Aachen und Stollberg aktiv gewesen zu sein, wo es reiche Zinkvorkommen gab<sup>68</sup>.



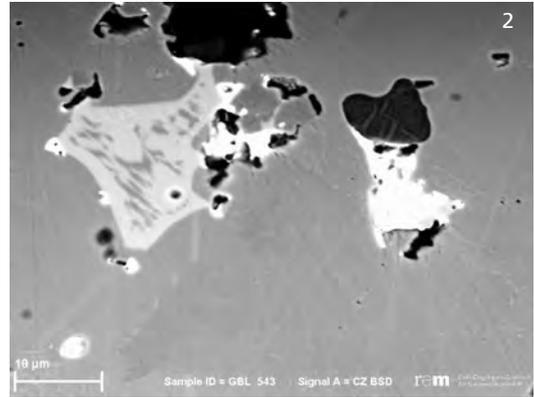
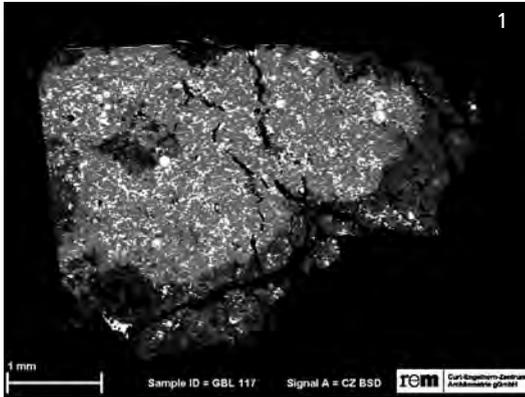
Abb. 16 Haarlocke aus Trier, genauer Fundort unbekannt (GBL 174). Rheinisches Landesmuseum Trier.

*Vergoldung.* Bronzen aus zivilen und militärischen Kontexten unterscheiden sich in der Verzierungsstechnik. So war fast die Hälfte aller Statuen von zivilen Fundstellen vergoldet, dagegen nur jede zwanzigste aus militärischen Zusammenhängen. Das heißt, dass nahezu ausschließlich Statuen aus zivilem Ambiente Vergoldung aufwiesen, also aus urbanen und sakralen Bereichen, wo eine private und zahlungskräftige Klientel Großbronzen errichtete.

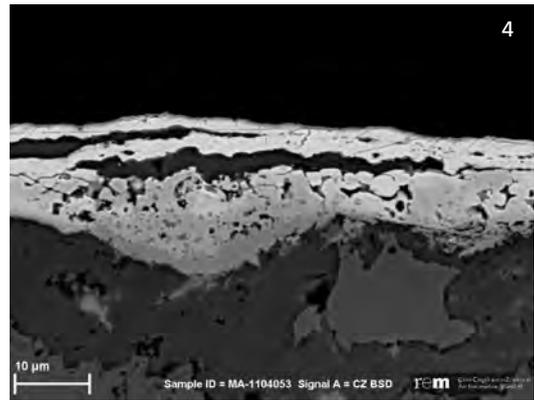
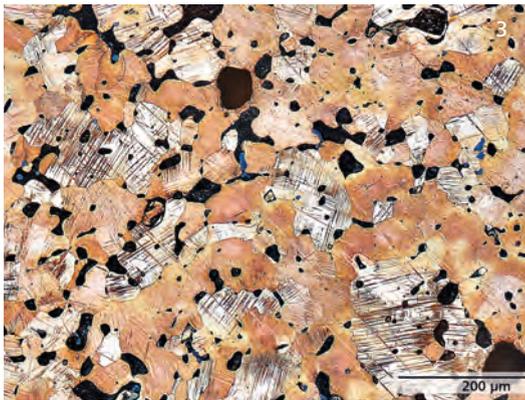
Für die Blattvergoldung einer lebensgroßen Gewandstatue waren bei einer Stärke der Auflage von etwa drei bis vier Mikrometern etwa neunzig bis einhundertzwanzig Gramm Feingold notwendig. Dies glich im zweiten Jahrhundert dem Gewicht von etwa dreizehn bis siebzehn Aurei, was etwa drei Vierteln vom Jahressold eines Auxiliarsoldaten entsprach<sup>69</sup>.

Die vergoldeten Bronzen stammen zu dreißig Prozent von Götterbildern, zu zehn Prozent von Reiterstandbildern und zu einem Prozent von Panzerstatuen, daneben gibt es neunundfünfzig Prozent Fragmente unbestimmter Typenzuweisung. Entsprechend stellt sich die Frage des Wiederverwendens von ausgedienten Statuen als Recyclingmaterial für den Guss neuer Skulpturen. Dass in erster Linie zerschlagene Großbronzen selbst wieder zu Standbildern vergossen wurden, zeigt vor allem der Goldgehalt in der Legierung einiger Stücke (s. Analysentabelle). Zwar kann man an einer Reihe von Fragmenten erkennen, dass versucht wurde, die Vergoldung abzukratzen (s. Abb. 15), aber angesichts des messbaren Edelmetallgehalts ist dennoch einiges von der Oberflächenbeschichtung in den Schmelztiegeln gelandet.

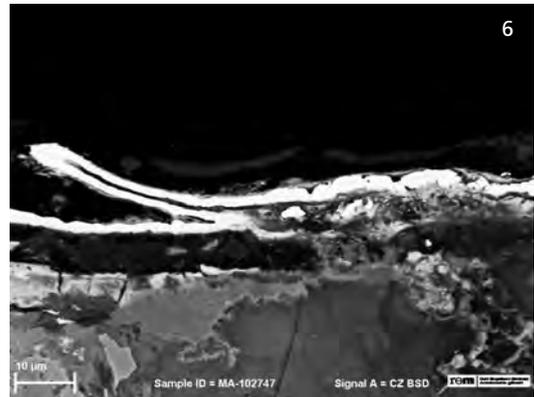
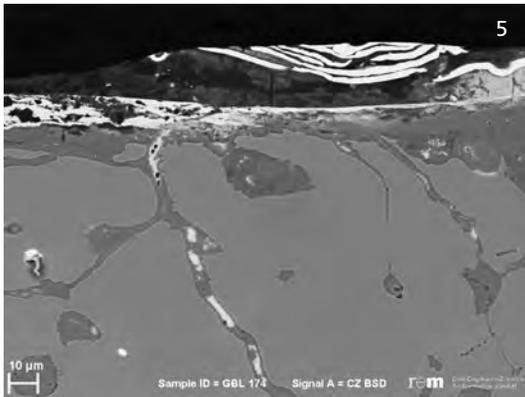
Da vergoldete Bronzebildnisse häufiger mit zivilen Kontexten zu verbinden sind, stellt sich die Frage, ob dieses Material primär für Statuen im zivilen Bereich wiederverwendet wurde oder ob auch Werkstätten, die für militärische Auftraggeber tätig waren, Zugriff auf das vergoldete Altmetall hatten. Tatsächlich zeigt ein Fünftel aller Gusslegierungen (21 Prozent) und etwa ein Drittel aller Statuen aus militärischen Kontexten (35 Prozent) einen Goldanteil von über einem Zehntel Promille. Auch vergoldete Skulpturen aus zivilen Kontexten wurden also als Altmetall



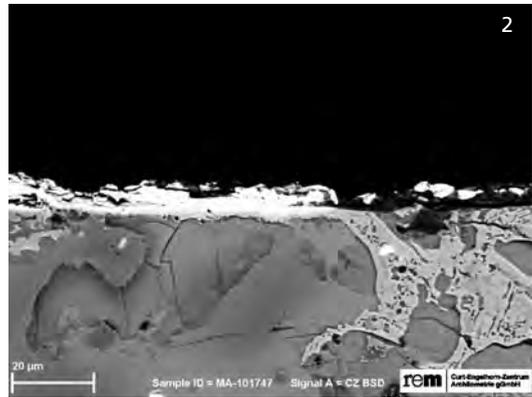
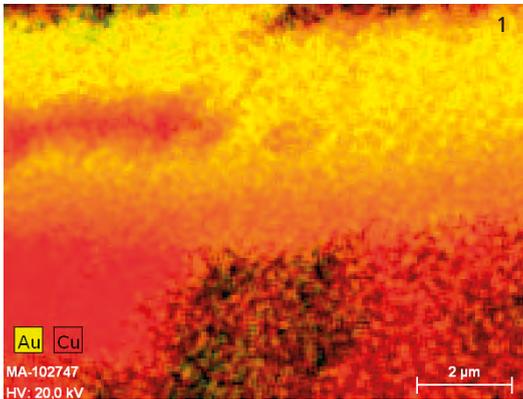
(1) Übersichtsaufnahme (REM/RE) eines vergoldeten Fragmentes aus Hambach-Niederzier (GBL 117). Durch den hohen Rückstreuoeffizienten erscheinen die ungleichmäßig verteilten Bleiglobuli weiß. Der durchschnittliche Bleigehalt liegt bei 14 Prozent, die mittlere Härte bei 110 HV 0,1. – (2) Bleieinschlüsse (weiß), Kupfersulfid (dunkelgrau) und  $\alpha+\delta$  Eutektoid (hell) im Gefüge einer vergoldeten Bronze aus Groß-Gerau (GBL 543).



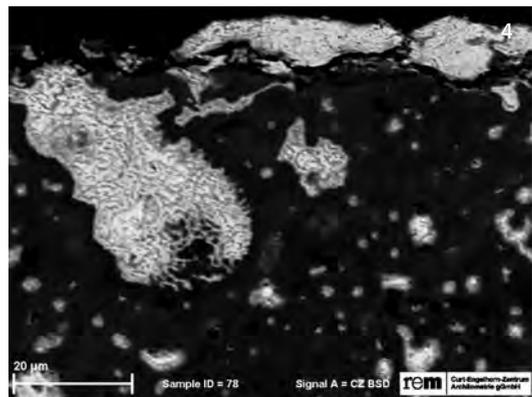
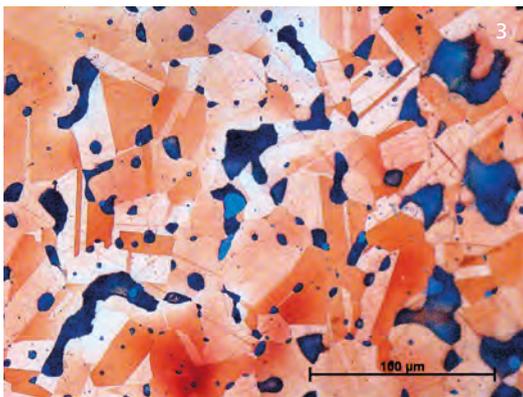
(3) Lichtmikroskopische (LM) Aufnahme des verformten und rekristallisierten Gefüges einer vergoldeten Bronze aus Groß-Gerau (GBL 543). Geätzt mit salzsaurer  $\text{FeCl}_3$ -Lösung (LM). – (4) Feuervergoldung mit darüberliegender Blattvergoldung bei einem Oberarmfragment (GBL 235) unbekannter Herkunft aus dem Akademischen Kunstmuseum der Universität Bonn (REM/RE).



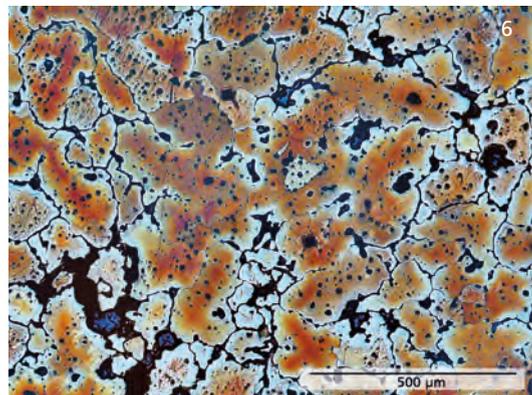
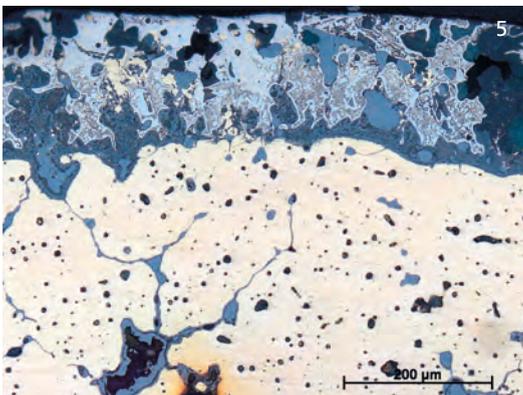
(5) Im Querschliff (REM/RE) eines Haarfragmentes aus Trier (GBL 174) liegen unter einer sechslagigen Blattvergoldung die Reste einer vorrausgegangenen Feuervergoldung. – (6) Abgehobene Blattvergoldung auf korrodierter Oberfläche eines Rückenfragmentes aus Groß-Gerau (GBL 19).



- (1) Im quantitativen EDX-Elementverteilungsbild von Kupfer und Gold kann man den allmählichen Übergang zwischen den beiden Metallen erkennen. Im Lichtmikroskop kann man auch den Farbumschlag sehen (Groß-Gerau GBL 19). – (2) Die aufliegende Blattvergoldung hat mit der  $\delta$ -Phase des  $\alpha+\delta$  Eutektoids reagiert und eine stoffschlüssige Verbindung ausgebildet (REM/RE) (Groß-Gerau GBL 19).



- (3) Rekristallisiertes Gefüge eines Pferdekörperfragmentes aus Isny (GBL 77); Farbätzung nach Klemm (LM). – (4) Ein Vergoldungsversuch einer bleihaltigen Bronze, zeigt das Pb-AuPb<sub>3</sub>-Eutektikum nach dem Erhitzen (REM/RE).



- (5) Verzinnung oder Weichlötung mit  $\alpha+\delta$  Eutektoid an der Oberfläche einer Plinthenleiste (GBL 91) (LM). – (6) Interkristallin korrodiertes Gussgefüge einer Plinthenleiste (GBL 91) aus Aalen. Farbätzung nach Klemm (LM).

Metallgefüge, Anschliffproben.

für die Herstellung neuer Plastiken in militärischen Zusammenhängen verwendet. Von den Bronzen mit Spuren von Gold finden sich mehr als die Hälfte in zivilen Kontexten (58 Prozent). Sieben Prozent der Statuenreste mit Goldanteil in der Legierung können keinem Aufstellungsort zugewiesen werden.

Von den zweiundzwanzig metallographisch untersuchten Fragmenten von vergoldeten Großbronzen zeigen einundzwanzig Stücke Blattgoldauflage und davon wiederum zwei zusätzlich auch Feuervergoldung (Tabelle 1). Da das Edelmetall bei der Blattvergoldung nur mechanisch auf die aufgeraute Oberfläche oder durch ein Bindemittel aufgebracht wird, behält es seinen satten Farbton, weshalb diese Technik sich sichtbar von anderen Vergoldungsarten unterscheidet, die eine stoffschlüssige Verbindung mit dem Trägermetall eingehen. So wurde bei sechs von vierzig analysierten Bronzen mit Goldauflage Feuervergoldung durch zerstörungsfreie Oberflächenanalyse nachgewiesen. Der für Feuervergoldung typische Quecksilbergehalt liegt bei diesen Messungen zwischen zwei und zwölf Prozent. Zu den betreffenden Objekten zählen ein Reparaturstück aus Dorsten-Holsterhausen (GBL 409), Gewandfragmente aus Trier-Hopfengarten (GBL 158 und 159) sowie ein Lockenfragment aus Trier (GBL 313) (s. Analysentabelle), ferner ein Reparaturblech mit Nietstift und ein Tüllenfragment aus Dorsten-Holsterhausen, Kreskenhof (ohne GBL, lfd. Nr. 1184 und 1183, nachbeprob). An zwei Fragmenten konnte diese Technik mittels metallographischem Anschliff eindeutig nachgewiesen werden: Das Oberarmfragment in Bonn (GBL 235) zeigt eine Reparatur, bei der die ursprüngliche Feuervergoldung durch eine zweite Schicht aus zwei Lagen Blattgold ausgebessert ist (Farbtafel 3, 4). Ein gleichartiges Vorgehen zeigt ein feuervergoldetes Haarlockenfragment aus Trier (GBL 174, Abb. 16), bei dem anhand eines Anschliffs sogar sechs Blattgoldauflagen nachzuweisen sind (Farbtafel 3, 5). Hier ist zu vermuten, dass bereits eine erste Reparatur direkt nach der Feuervergoldung ausgeführt wurde. Jedoch scheinen die vielen Blattgoldlagen darauf hinzuweisen, dass die Statue während ihrer Standzeit im Rahmen regelmäßiger Pflege nachvergoldet wurde. Bisher sind nur wenige Beispiele dieser vermutlich weit verbreiteten Technik zur Reparatur defekter Feuervergoldungen belegt<sup>70</sup>. Möglicherweise sind einige Feuervergoldungen bei den rein visuellen Begutachtungen und auch bei den Oberflächenanalysen durch nachträglich aufgebraachte Blattgoldauflage unentdeckt geblieben. Zwölf Prozent der sechsundsechzig untersuchten vergoldeten Bronzestatuenfragmente weisen Feuervergoldung auf.

Bei der Feuervergoldung<sup>71</sup> wird zunächst ein breiiges Gemisch aus Quecksilber mit Gold (Amalgam) bei Raumtemperatur auf die Bronze aufgetragen. Die Bronze wird anschließend erhitzt, wodurch das Goldamalgam in die Bronze diffundiert, bevor dann der größte Teil des Quecksilbers verdampft. Im Ergebnis sind Teile des Kupfers aus der Legierung und Teile des Goldes stoffschlüssig miteinander verbunden. Enthält die Legierung Blei, kann es – wie an dem Oberarmfragment im Akademischen Kunstmuseum Bonn (GBL 234–237) geschehen – zu Reaktionen des Goldes mit dem Blei kommen. Hierbei verbindet sich das oberflächennahe Blei mit dem Gold zu einer unästhetischen grauen Schicht. Je höher der Bleianteil in der Legierung ist, desto stärker ist dieser nachteilige Effekt. In der elektronenmikroskopischen Aufnahme (Abb. 17) der Abschnittprobe vom besagten Oberarmfragment (GBL 235) ist eine solche Stelle

<sup>70</sup> M. Leoni in: G. Perocco (Hrsg.), *The Horses of San Marco, Venice* (Mailand 1979) 192; W. A. Oddy u. a. in: True/Podany, *Small Sculpture 103–124*, hier 120; Oddy, *History* 12 f.

<sup>71</sup> Bott / Willer (vorletzte Anm.) Abb. 2c; 3.

<sup>72</sup> K. Anheuser, *Im Feuer vergoldet. Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung* (Stuttgart 1999) 15 f.; Oddy, *History* 5 f.; B. Scho-

rer / R. Schwab, *Restaurierung u. Arch.* 6, 2013, 57–69, hier 58.

<sup>73</sup> W. A. Oddy u. a. in: True/Podany, *Small Sculpture 103–124*, hier 111; Anheuser (vorige Anm.) 16; Oddy, *History* 6.

<sup>74</sup> Plin. nat. 33, 125.

<sup>75</sup> Anheuser, *Im Feuer* (Anm. 72) 40–43; Oddy, *History* 9–14.

zu erkennen, bei der nachträglich Blattgold zur Kaschierung aufgetragen wurde, ähnlich wie bei einem vergoldeten Haarfragment aus Trier (GBL 174).

Einige vergoldete Bronzen weisen einen hohen Kupferanteil auf. Experimente ergaben, dass nach antiker Schmelz- und Gusstechnik Güsse von solchen Großbronzen mit zwei bis drei Prozent Zinnanteil gerade noch durchführbar sind, da mit zunehmendem Kupferanteil die Neigung der Gasblasenbildung deutlich steigt. Der geringe Zinnanteil in der Legierung dürfte ökonomischen Überlegungen geschuldet sein, da Zinn aufgrund der wenigen Lagerstätten im Imperium Romanum im Vergleich zu Kupfer und Blei verhältnismäßig teuer war. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass hier zudem auch ein technischer Zusammenhang zur Vergoldung existiert. Vorstellbar ist, dass es bei zu hohem Zinngehalt zu einer inversen Blockseigerung kommt, bei der das Amalgam aufgelöst wird und sich die Stellen dann an der Oberfläche schwarzgrau verfärben.

Die frühesten bisher bekannten Feuervergoldungen in Mitteleuropa tauchen auf keltischen Artefakten der Spätlatènezeit auf<sup>72</sup>. Für die römische Kaiserzeit setzt diese Technik im zweiten bis dritten Jahrhundert ein<sup>73</sup>, obwohl schon Plinius schreibt, dass bereits zu seiner Zeit vorwiegend Silber mit Goldamalgam überzogen wurde<sup>74</sup>. Für Großbronzen ist diese Oberflächenbeschichtung bislang deutlich seltener nachgewiesen als die Blattgoldauflage. Wegen des hohen Bleigehalts von Großbronzen liegt Feuervergoldung auch nicht nahe, da sich das Goldamalgam mit den häufig an der Oberfläche befindlichen Bleitropfen schon während der Vergoldung zu dem unschönen grauen Blei-Gold-Amalgam verbindet<sup>75</sup>. Vergoldete Bronzen aus dem Untersuchungsgebiet weisen daher tendenziell auffallend geringe Bleiwerte auf. Dies gilt besonders für feuervergoldete Bronzen, bei denen sich die beschriebenen grauen Flecken bilden könnten, aber ebenso für zahlreiche im kalten Zustand blattvergoldete Bronzen, etwa aus Mainz und Trier. Ob hier ein technischer Zusammenhang mit der Blattgoldauflage besteht, ist derzeit nicht zu klären.

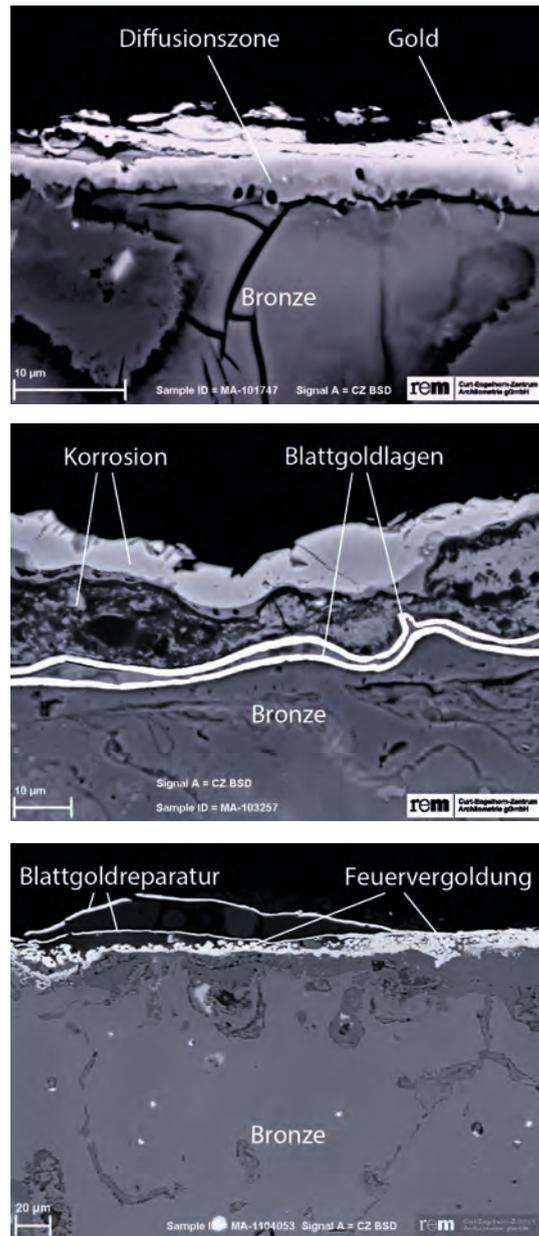
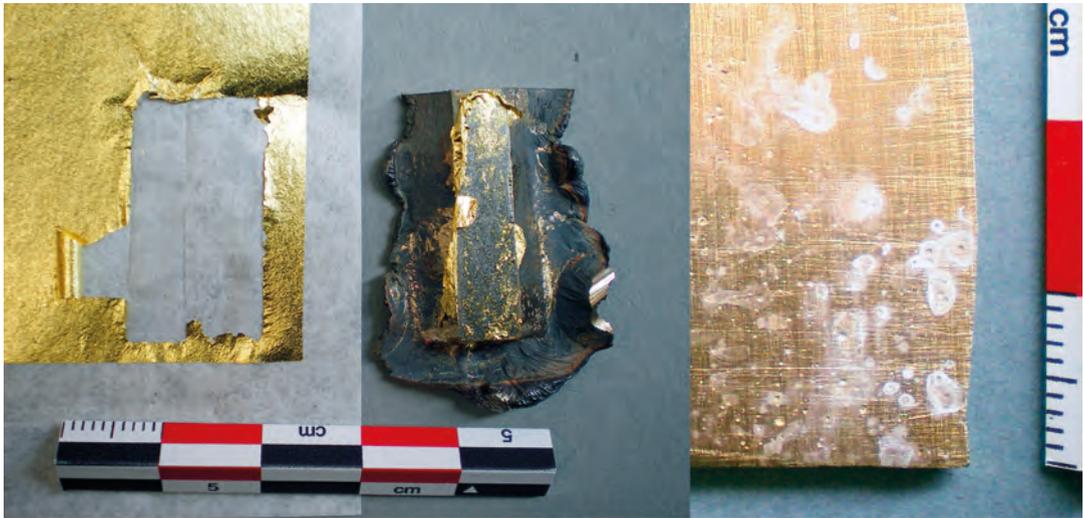


Abb. 17 a–c Anschliffe zur Untersuchung verschiedener Vergoldungstechniken. Darmstadt, Landesamt für Denkmalpflege Hessen, und Bonn, Akademisches Kunstmuseum. – (a) Diffusionsvergoldung an einem Rückenfragment aus Groß-Gerau (GBL 19). – (b) Charakteristische Merkmale einer in einzelnen Lagen aufliegenden Blattvergoldung an einem Gewandfragment aus Groß-Gerau (GBL 2). – (c) Körnig wirkende Feuervergoldung mit Ausbesserung durch Blattgold an einem Armfragment (GBL 235).

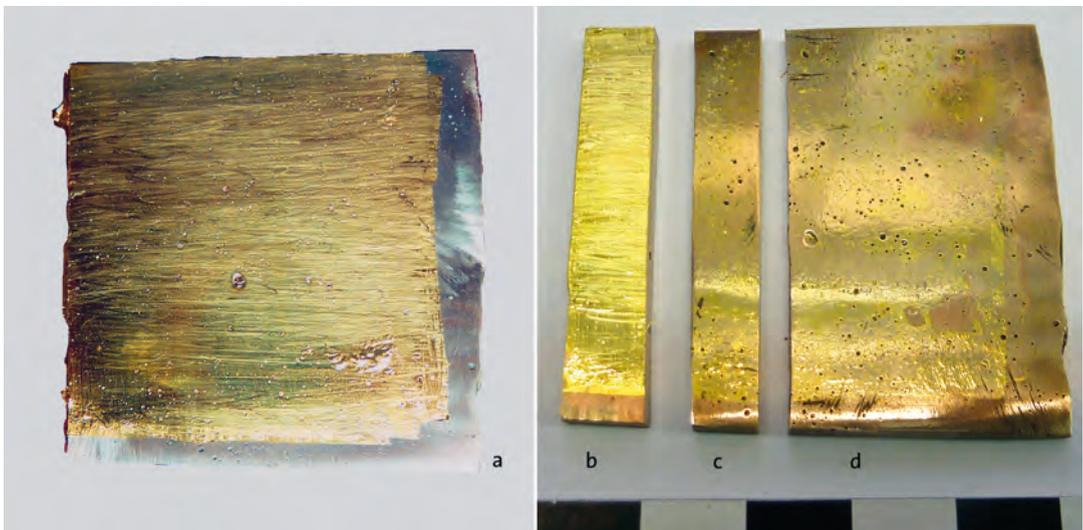
Die Reaktion des Bleis mit dem Gold tritt bei entsprechend hoher Bleikonzentration der Gussbronze (ohne eine vorherige chemisch-mechanische Reduktion des oberflächennahen Bleis) auch bei einer weiteren Vergoldungstechnik, der sogenannten Diffusionsvergoldung auf, bei der ebenfalls eine Temperaturerhöhung zum Ablauf der Reaktion benötigt wird. Diese Art der Oberflächenbehandlung wurde in der Antike nahezu ausschließlich für Silberobjekte verwendet, während Belege für römische Großbronzen bisher fehlten<sup>76</sup>. Es ist deshalb gegebenenfalls frag-



Versuche zur Diffusionsvergoldung, oben ohne, unten mit Alaun.

Abb. 18 (oben) Zwei Lagen 4  $\mu\text{m}$  starkes Blattgold wurden auf eine bleihaltige Bronze ( $\text{Pb}_{20}\text{Sn}_{7}$ ) mechanisch aufgerieben und danach auf etwa  $300^\circ\text{C}$  erhitzt. Deutlich ist die graue Verfärbung der Oberfläche durch die Verbindung des Goldes mit dem Blei zu erkennen (links und Mitte). – Durch Ablösen einer zuvor erhitzten bleihaltigen Bronze in Essigwasser wird das Blei an der Oberfläche zu Bleiweiß umgewandelt und kann somit entfernt werden (rechts).

Abb. 19 (unten) Mit Alaun. (a) Vor dem Versuch: Bronze gegossen, geschliffen, von Blei gereinigt und mit Blattgold versehen und aufpoliert, vor dem Erhitzen Alaun aufgetragen. (b) Zustand nach dem Erhitzen (etwa  $200^\circ\text{C}$ ) und anschließendem Reinigen. (c) Nach dem Erhitzen (etwa  $400^\circ\text{C}$ ) und anschließendem Reinigen. (d) Nach dem Erhitzen (etwa  $500^\circ\text{C}$ ) und anschließendem Reinigen.



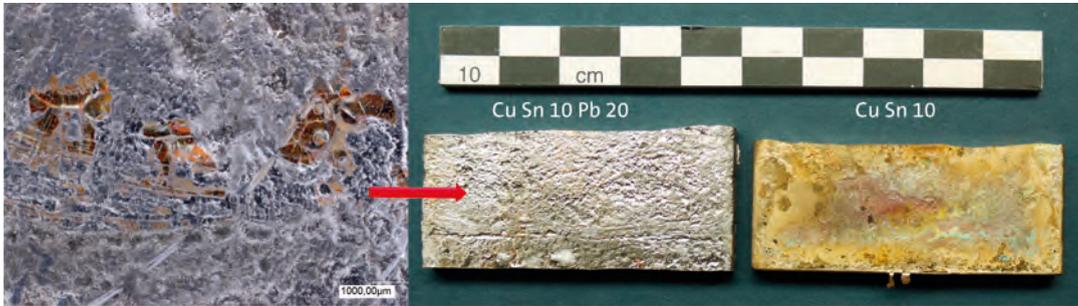


Abb. 20 Versuche zur Zinnseigerung. – (links) Makroskopische Ansicht der Zinnseigerung. – (Mitte) Experimenteller Nachguss mit Zinnseigerung einer bleihaltigen Limesbronze. – (rechts) Bleifreier Nachguss einer klassischen Zinnbronze ohne diesen Effekt.

lich, ob es sich hierbei um intentionelle Diffusion handelt oder ob ein zufälliges Schadensfeuer zur Diffusion geführt hat.

Die Diffusionsvergoldung ist bisher nur an einem Rückenfragment aus Groß-Gerau (GBL 19, s. Abb. 15) zweifelsfrei nachgewiesen. Im Anschliff der Probe kann man in den meisten Bereichen die lose Auflage von Blattgold auf der weitgehend korrodierten Bronzeoberfläche erkennen (Farbtafel 3, 6). Partiiell ist es jedoch zu einer stoffschlüssigen Verbindung zwischen der Goldfolie und dem Trägermetall gekommen (Farbtafel 4, 1). Vor allem an Stellen, an welchen das  $\alpha+\delta$ -Eutektoid an der Oberfläche auftritt, hat sich durch die Interdiffusion eine ternäre Phase ausgebildet (Farbtafel 4, 2)<sup>77</sup>. Diese Statue muss also zu irgendeinem Zeitpunkt höheren Temperaturen ausgesetzt gewesen sein.

An einigen Anschliffen wurden unterschiedliche Auswirkungen nachträglicher Erhitzung beobachtet, wie die Bildung von Zinndioxidkristallen oder häufiger die Rekristallisation des Gussgefüges<sup>78</sup> (Farbtafel 4, 3). Versuche mit bleihaltigen Kupferlegierungen haben gezeigt, dass Goldfolien auf bleihaltigen Bronzeoberflächen nach dem Erhitzen auf etwa zweihundert Grad aufschmelzen und das Edelmetall eine schwarzgraue Farbe annimmt<sup>79</sup> (Abb. 18). Es bildet sich nämlich im binären System Au-Pb bei 212 Grad Celsius ein Eutektikum Pb-AuPb<sub>3</sub>, so dass Gold und Blei weit unterhalb der Schmelzpunkte beider Komponenten aufschmelzen und sich darin das unschöne schwarzgraue Eutektikum bildet<sup>80</sup> (Farbtafel 4, 4).

Eine typische Großbronze aus Bleibronze müsste deshalb chemisch vorbehandelt werden, um das Blei aus der Oberfläche zu lösen. Hier ergaben Experimente, bei denen Bronze erhitzt und dann in Essigwasser abgelöscht und anschließend mechanisch vom entstandenen Bleiweiß gereinigt wurde, sehr gute Ergebnisse (Abb. 18 rechts). Im Vergleich zur Blattvergoldung stellt dieses Verfahren aber einen deutlich höheren Aufwand dar. Der Vorteil der Diffusionsmethode liegt in einer dauerhaften Haltbarkeit mit geringen Folgekosten für die Pflege. Zudem erscheint die Oberfläche deutlich detailreicher, weil hier im Gegensatz zum Blattgold direkter mechanischer Kontakt zur Bronze besteht.

<sup>76</sup> Schoret/Schwab (Anm. 72) 59–66; Oddy, History 5.

<sup>77</sup> O. B. Karlsen u. a., Acta Chemica Scandinavica 46, 1992, 147–156.

<sup>78</sup> G. Rasbach / A. Ulbrich, Restaurierung und Arch. 6, 2013, 1–18, hier 16.

<sup>79</sup> Bott, Vergoldungstechniken (Anm. 5).

<sup>80</sup> H. Okamoto, Journal Phase Equilibria 14, 1993, H. 5 648 f.

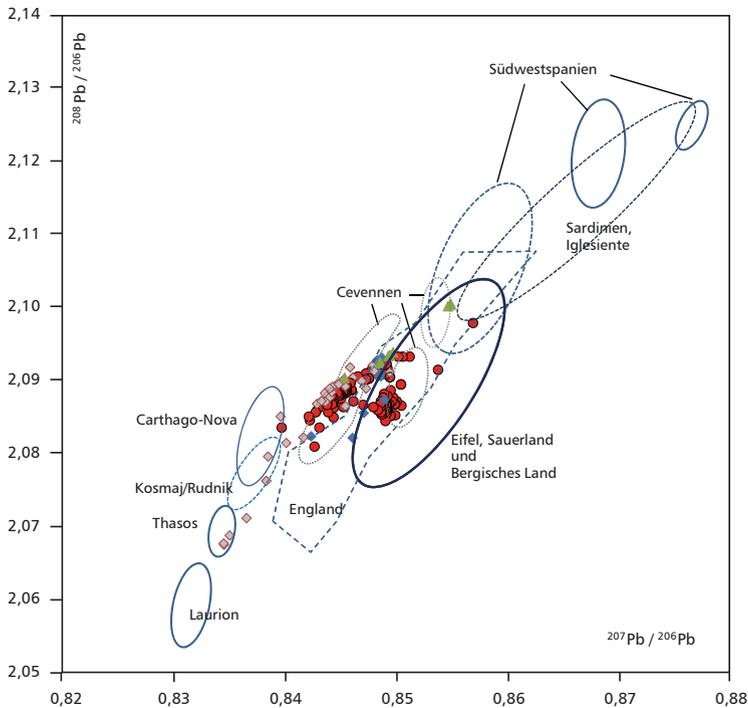


Abb. 21 Bleiisotopenverhältnis  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Radiogene Bleiisotopenverhältnisse römischer Großbronzen im Vergleich mit Bleilagerstätten, die nachweislich in römischer Zeit ausgebeutet wurden. Erzdaten nach Anm. 86. Rot gefüllte Kreise = GBL-Werte, blaue Rauten = Augst, grau gefüllte Rauten mit rotem Umriss = Pompeji, grünes Dreieck = Xantener Knabe.

Im Vergleich dazu ist dennoch die einfache Blattvergoldung angesichts des mit einigen Ausnahmen (s. o. zu Altmetallzuschlägen) meist hohen Bleigehalts der Limesbronzen die praktikablere und deshalb weit verbreitete Technik der Vergoldung.

Darüber hinaus ergab die metallographische Untersuchung vergoldeter Statuenteile, dass das antike Blattgold mit etwa vier Mikrometern Dicke gut drei bis vier Mal so stark wie modernes ist. Versuche mit Material in römischer Stärke zeigen, dass dieses – im Gegensatz zu modernem Blattgold – anscheinend auch ein Anlegen an der Bronze ohne organische Anlegemittel erlaubte<sup>81</sup>. Hierzu musste die Oberfläche lediglich mit einem feinen Bimsstein leicht angeschliffen und dadurch aufgeraut werden. Trägt man hier nun modernes Blattgold auf, welches nur mit einem Polierstein (Achat) angerieben wird, reißt dieses oftmals aufgrund der geringeren Materialstärke ein. Das stärkere römische Blattgold hingegen reißt nicht und verzahnt sich mit der rauhen Oberfläche regelrecht, so dass sogar eine Politur erreicht werden kann. Auch eine zweite Lage, wie sie beispielsweise an Überlappungen zwangsweise entsteht, haftet mechanisch noch gut an.

Will man zudem durch Erhitzen eine stoffschlüssige Diffusion des Goldes mit dem Untergrund erreichen, wird dies im Experiment oftmals durch die rasche Oxidation der Bronze verhindert. Schon Plinius (nat. 33, 64) erwähnt den Einsatz von Alaun im Zusammenhang mit der Feuervergoldung. Trägt man gelöstes Alaun (Kaliumaluminiumsulfat) vor dem Erhitzen auf der vergoldeten Oberfläche auf, verhindert dies – ähnlich der Wirkung eines modernen Fluss-

<sup>81</sup> Aktuelle Studien an gefassten mittelalterlichen Skulpturen deuten darauf hin, dass hier ebenfalls stärkere Blattgoldauflagen verwendet wurden, die wohl auch direkt ohne Verwendung organischer Bindemittel aufgetragen werden konnten. Vgl. H. Theiss in: St. Roller (Hrsg.), Die große Illusion. Veristische Skulpturen und ihre Techniken (Frankfurt a. M. 2014) 88–119.

<sup>82</sup> Lahusen/Formigli, Bildnisse; Salcuni/Formigli, Grandi bronzi.

<sup>83</sup> R. Schwab / F. Willer in: Gebrochener Glanz 180–182.

<sup>84</sup> Peltz/Schalles, Xantener Knabe.

mittels – die allzu rasche Oxidation der unter der Vergoldung befindlichen Bronze. Versuchsreihen nach dieser Methode gegen Ende des Projektes ergaben sehr gute Resultate und machten deutlich, wie eine mit dem vergoldeten Rückenfragment aus Groß-Gerau vergleichbar kratzfeste Goldauflage erzielt werden kann. Es werden weitere Versuchsreihen nötig sein, um diese Funktionsweise genauer zu klären (Abb. 19).

*Schwarz-silbrige Oberfläche.* Statt einer korrodierten oder vergoldeten Oberfläche zeigen Fragmente, oftmals aus militärischen Kontexten, etwa aus Aalen (GBL 40, 42, 47, 83, 85–87, 91, 438 und 439, s. Abb. 1 und 29), Künzing (GBL 186–188, 190, 193–198 und 205) und Bonn (GBL 130, 138, 140, 142, 145) sowie von der Saalburg (GBL 222–226, 228 und 232), eine schwarze oder schwarz-silbrige Oberflächenpatina. Besonders gut erhalten ist sie bei einer Panzerapplik in Form eines Greifen (GBL 341) sowie zwei Fingern aus Nimwegen (GBL 342 und 343) und einem Fußfragment (GBL 361) sowie zwei Fingern (GBL 362 und 363) aus Tongern. Dieses Phänomen wird nach den Ergebnissen der metallographischen Untersuchung in einzelnen Fällen durch die Anreicherung des  $\alpha+\delta$ -Eutektoids hervorgerufen (Farbtafel 4, 5). Dabei handelt es sich bei dem Beispiel einer Plinthenleiste (GBL 91) um Lot oder um eine Verzinnung, andernorts wohl eher um eine inverse Blockseigerung (Zinnanreicherung). Ob es sich um eine intentionelle Farbgestaltung handelt, ist derzeit noch unklar, da solche Veränderungen der ehemals silberfarbenen Oberfläche auch nachträglich durch Feuereinwirkung entstehen können, zum Beispiel bei einem Schadfeuer. Unsere Versuche zeigen, dass sich Zinnanreicherung an der Oberfläche von Blei-Zinn-Bronzen im Gegensatz zu reinen Zinnbronzen in Abhängigkeit der Füllmenge und Formtemperatur bereits in der Gussform bilden kann (Abb. 20).

*Das Blei und seine Herkunft.* Vergleichbare Isotopendaten von Bleizugaben in den Legierungen römischer Großbronzen zur Bestimmung der Lagerstätten liegen aus Italien<sup>82</sup> und Augst<sup>83</sup> sowie vom sogenannten Xantener Knaben<sup>84</sup> vor. Bei solchen Skulpturen muss man mit Vermischung der Bleiquellen rechnen und kann maximal etwas über die mögliche Herkunft der Hauptkomponente, also des intentionell zulegierten Bleis aussagen.

In den Abbildungen 21 und 22 sind die Isotopenverhältnisse der Großbronzen vom Limes zusammen mit den bekanntesten während der römischen Kaiserzeit genutzten Bleilagerstätten dargestellt. Sie sind gemäß der in der Archäometrie allgemein gebräuchlichen Normierung auf

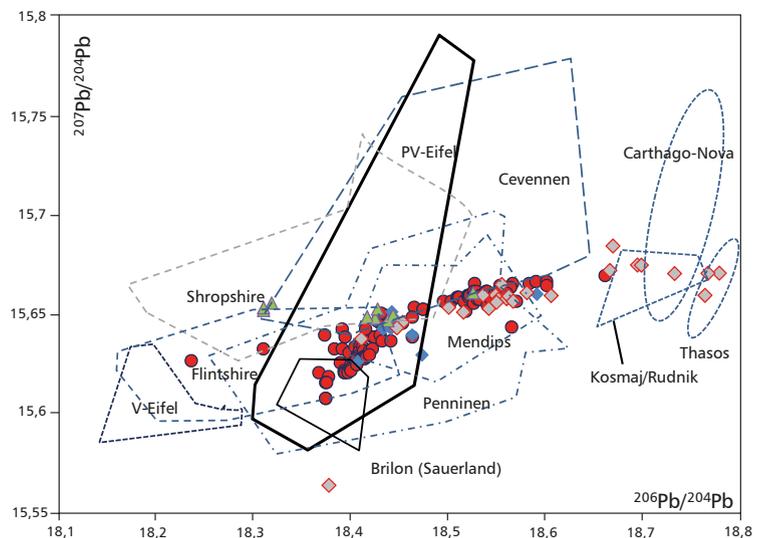


Abb. 22 Bleiisotopenverhältnis  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Auf natürliches Blei genormte Darstellung der Bleiisotopenverhältnisse römischer Großbronzen im Vergleich mit relevanten Bleilagerstätten. Signaturen wie Abb. 21.

$^{206}\text{Pb}$  aufgetragen<sup>85</sup>. Bereits in dieser Darstellung kann man erkennen, dass sich die Isotopenverhältnisse der Bronzen vom Limes in mindestens zwei Gruppen gliedern, und dass griechische, spanische und sardische Lagerstätten nicht in Frage kommen. Eine homogene Gruppe ist mit den Bleierzen der englischen Penninen und der Rheinischen Mittelgebirge kompatibel. Da zu dieser Gruppe unter anderem auch die frühkaiserzeitlichen Funde von Waldgirmes gehören und sich zudem datierbares Hackblei des zweiten Jahrhunderts aus Gressenich (GBL 485) am Rand der Eifel befindet, kann man die englischen Lagerstätten für diese Gruppe ausschließen und die Eifel als wahrscheinlichste Herkunft annehmen, was sich auch mit den Ergebnissen von römischen Bleifunden aus Deutschland und der Schweiz deckt<sup>86</sup>. Die Ausbeutung der britischen Lagerstätten beginnt in den Mendips (Südwestengland) seit der Mitte und in den Penninen am Ende des ersten nachchristlichen Jahrhunderts<sup>87</sup>. Das Metall der britischen Lagerstätten wurde bis nach Rom verhandelt und lässt sich auch im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes nachweisen. Erst im zweiten und dritten Jahrhundert sind die dortigen Bleimineralien die wichtigsten des römischen Reiches<sup>88</sup>. Dies kann Auswirkungen auf die Datierung haben, wie für den Xantener Knaben, der auch englisches Blei enthält und demnach frühestens aus der hohen Kaiserzeit stammt<sup>89</sup>.

Nach Aussage der Bleiisotopendaten setzt der römische Bleibergbau in der Eifel, im Sauerland und im Bergischen Land offenbar nach den Gallischen Kriegen in den beiden letzten Jahrzehnten vor der Zeitwende ein, und das dort gewonnene Plumbum Germanicum wurde überregional im römischen Reich verhandelt<sup>90</sup>. Archäologisch gibt es Hinweise darauf, dass in der Nordeifel bei Gressenich, Stollberg, Mechernich, bei Keldenich, bei Kommern und Nideggen sowie zwischen Plombières-Bleiberg, Eupen, Verviers und Theux Blei abgebaut wurde<sup>91</sup>. Überreste der Bleigewinnung wie Schlacken und Ofenanlagen zeigen, dass dort tatsächlich Blei und Silber gewonnen wurde<sup>92</sup>. Gut belegbar ist die Bleigewinnung im Bergischen Land bei Rösrath-Lüderich, Engelskirchen und Königswinter-Oberpleis in augusteischer Zeit<sup>93</sup>. Für das Sauerland gibt es noch keinen archäologischen Nachweis für den Bleibergbau, aber Barrenfunde bei Brilon mit den Inschriften »plum(bum) Germ(anicum)« und »imp. caes.« verweisen auf die dortige

<sup>85</sup> Die Daten der Bleierze nach St. Graeser / G. Friedrich, *Mineralium Deposita* 5, 1970, H. 4, 365–374; I. G. Swainbank u. a., *Periodico Mineral.* 51, 1982, H. 3, 275–286; D. Large / R. Schaeffer / A. Höhndorf, *Mineralium Deposita* 18, 1983, H. 2, 235–243; M. Boni / V. Koeppl, *Mineralium Deposita* 20, 1985, H. 3, 185–193; E. Marcoux / H. Bril, *Mineral. Deposita* 21, 1986, H. 1, 35–43; K. R. Ludwig u. a., *European Journal Mineral.* 1, 1989, H. 5, 657–666; M. Le Guen / J.-J. Orgeval / J. Lancelot, *Mineralium Deposita* 26, 1991, H. 3, 180–188; U. Zwicker / N. H. Gale / Z. A. Stos-Gale in: G. Hatz u. a. (Hrsg.), *Otto-Adelheid-Pfennige. Commentationes de Nummis Saeculorum IX–XI. The Royal Swedish Academy of Letters, History and Antiquities (Stockholm 1991)* 59–146; J. Lillo, *European Journal Mineral.* 4, 1992, H. 2, 337–343; C. J. N. Fletcher / I. G. Swainbank / T. B. Colman, *Journal Geol. Soc.* 150, 1993, H. 1, 77–82; E. Pernicka u. a., *Prähist. Zeitschr.* 68, 1993, H. 1, 1–54; A. J. Sinclair / J. C. Macquar / H. Rouvier, *Mineralium Deposita* 28, 1993, H. 2, 122–128; A. Arribas / R. M. Tosdal, *Econ. Geol.* 89, 1994, H. 5, 1074–1093; Z. Stos-Gale u. a., *Archaeometry* 37, 1995, H. 2, 407–415; ders. / N. H. Gale / N. Annetts, *Archaeometry* 38, 1996, H. 2, 381–390; R. Haggerty u. a., *Geol. Magazine* 133, 1996, H. 5, 611–617; L. Krahn / A. Baumann, *Mineralium Deposita* 31, 1996, H. 3, 225–237; B. M. Rohl,

*Archaeometry* 38, 1996, H. 1, 165–180; E. Marcoux, *Mineralium Deposita* 33, 1998, H. 1–1, 45–58; C. Pomiès u. a., *Assessment of the precision and accuracy of lead-isotope ratios measured by TIMS for geochemical applications. Example of massive sulphide deposits (Rio Tinto, Spain).* *Chemical Geol.* 144, 1998, H. 1–2, 137–149; R. Gottschalk / A. Baumann, *Europ. Journal Mineral.* 13, 2001, H. 1, 197–205; M. A. Hunt Ortiz, *Pre-historic mining and metallurgy in South West Iberian Peninsula.* *BAR Int. Ser.* 1188 (Oxford 2003); Th. Wagner / J. Schneider, *Mineralium Deposita* 37, 2002, H. 2, 185–197; J. F. Santos Zalduegui u. a., *Archaeometry* 46, 2004, H. 4, 625–634; F. Tornos / M. Chiaradia, *Economic Geol.* 99, 2004, H. 5, 965–985; R. G. und P. G. Valera / A. Rivoldini in: F. Lo Schiavo u. a. (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Sardinia from origins to the beginning of the Early Iron Age.* *Monographies Instrumentum* 30 (Montagnac 2005) 49–105; S. Baron u. a., *Applied Geochemistry* 21, 2006, H. 2, 241–252; S. Durli-Mueller u. a., *Journal Arch. Scien.* 34, 2007, H. 10, 1555–1567; Bode/Hauptmann/Mezger, *Lead Sources; M. Veselinovic-Williams, Characteristics and origin of polymetallic mineralisation in the Kopaonik region of Serbia and Kosovo, with particular reference to the Belo Brdo Pb-Zn (Ag) deposit (Diss. Kingston University 2011); U. Harms u. a., *Zeitschr. Dt. Ges. Geowiss.* 163,*

Bleiproduktion unter Augustus<sup>94</sup>. Das bedeutet, dass die deutschen Lagerstätten den römischen Handwerkern zur Herstellung von Bronzelegierungen für den Stauenguss schon während der römischen Okkupation zur Verfügung standen. Kleinere Vorkommen wie in Wiesloch südlich des Odenwaldes haben, soweit man dies beurteilen kann, vor allem in der späten Kaiserzeit für den lokalen Bedarf gedient<sup>95</sup>.

Die Fundorte der Großbronzen mit deutschem Blei liegen ausschließlich im heutigen Rheinland-Pfalz, in Nordrhein-Westfalen und den Niederlanden, also im Umfeld der Bleilagerstätten in den Provinzen *Germania inferior*, *Gallia Belgica* und *Germania superior*. Das Blei der südlicheren Fundorte des Untersuchungsgebietes lässt sich zum größten Teil nicht zuordnen. Es handelt sich dabei in erster Linie um eine Gruppe mit großer Streubreite, die wegen ihrer Heterogenität im Folgenden als Gruppe H bezeichnet wird. Hierzu gehören auch viele italische Bronzen und einige Bronzen aus Augst sowie einige Ausreißer, die in der fundortbezogenen Auswertung genauer beschrieben werden. Diese Gruppe der derzeit noch nicht zuzuordnenden Isotopenverhältnisse kann sowohl eine einzige Lagerstättenprovinz repräsentieren als auch einer Mischung aus verschiedenen Quellen entstammen. Letzteres erscheint aufgrund der großen geographischen Distanzen zwischen den Fundorten jedoch nicht sehr wahrscheinlich.

Es ist bis heute unklar, welche Bedeutung der relativ gut belegte römische Bergbau in Osteuropa in den römischen Provinzen *Dalmatia*, *Moesia Superior*, *Dacia* und auch im südlichen Pannonien für den Export ins gesamte Reich hatte<sup>96</sup>, weil es sowohl an Erz- wie an Objektmaterialien mangelt. Für einen Teil der italischen Bronzen kommen die Blei-Zink-Lagerstätten in der serbisch-makedonischen Metallprovinz mit Sicherheit in Frage.

Für einige Bronzen vor allem aus dem südlichen Teil des Untersuchungsgebietes würden auch französische Lagerstätten in Frage kommen, vor allem in den Cevennen. Plinius schreibt zwar, dass Blei in ganz Gallien abgebaut würde<sup>97</sup>, aber für den Blei- und Silberbergbau in Gallien gibt es bisher nur lokale Belege in der Auvergne, in den Cevennen und in Languedoc-Roussillon für die Eisenzeit und für die römische Kaiserzeit<sup>98</sup>. Es ist aber bisher nicht bekannt, ob die Bleigewinnung so ergiebig war, dass für den Export produziert wurde. Auf Sardinien ist die Blei- und Silbergewinnung unter Hadrian belegt, während neuere Untersuchungen zeigen, dass dort bereits seit dem vierten vorchristlichen Jahrhundert und in republikanischer Zeit Blei und Silber verhüttet wurde<sup>99</sup>. Für die untersuchten Bronzen spielen diese Lagerstätten jedoch keine Rolle. Ebenso

2012, H. 1, 69–89; G. Raepsaet / D. Demaiffe / M.-T. Raepsaet-Charlier, *Vie arch.* 74, 2015, 65–89.

<sup>86</sup> Bode/Hauptmann/Mezger, *Lead Sources*; Dürali-Mueller u. a. (vorige Anm.); B. Guénette-Beck / I. M. Villa, *Helvetia Arch.* 33, 2002, 151–162; dies. / A. R. Furger, *Jahresber. Augst und Kaiseraugst* 25, 2004, 245–272.

<sup>87</sup> V. Gardiner, *Inst. Archaeo-Metallurgical Stud. News* 21, 2001, 11–13; Hirt, *Imperial Mines* 191; P. Rothenhöfer in: P. Herz / P. Schmid / O. Stoll (Hrsg.), *Ökonomie und Politik. Facetten europäischer Geschichte im Imperium Romanum und dem frühen Mittelalter V. Region im Umbruch* (Berlin 2011) 51–72, hier 57.

<sup>88</sup> Gardiner (vorherige Anm.) 11; Hirt, *Imperial Mines* 191; N. Hanel u. a., *Chiron* 43, 2013, 297–325.

<sup>89</sup> Anders und im Widerspruch dazu die Frühdatierung nach Peltz/Schalles, *Xantener Knabe* 150–154.

<sup>90</sup> Rothenhöfer (Anm. 87) 66; Schwab, *Kupferlegierungen* 156.

<sup>91</sup> O. Davies, *Roman mines in Europe* (Oxford 1935) 171; H. von Petrikovits, *Zeitschr. Erzbergbau u. Metallhüt-*

*tenwesen* 11, 1958, 594–600, hier 595; D. Demaiffe / M.-T. Raepsaet-Charlier, *Vie arch.* 74, 2015, 70–73.

<sup>92</sup> Petrikovits (vorige Anm.) 598; H.-G. Bachmann, *Bonner Jahrb.* 177, 1977, 617–622.

<sup>93</sup> G. Körlin / M. Gechter in: Th. Stöllner u. a. (Hrsg.), *Man and Mining. Mensch und Bergbau. Festschr. Gerd Weisgerber. Der Anschnitt Beih.* 16 (Bochum 2003) 237–248.

<sup>94</sup> Hirt, *Imperial Mines* 104.

<sup>95</sup> F. Ströbele u. a., *Arch. and Anthr. Scien.* 7, 2015, H. 4, 465–472.

<sup>96</sup> Domergue, *mines* 86; Hirt, *Imperial Mines* 56–71.

<sup>97</sup> *Plin. nat.* 34, 164.

<sup>98</sup> Domergue, *mines* 84–86; B. Cauuet in: S. Verger / P. Pernet (Hrsg.), *Une Odyssée gauloise* (Arles 2013) 92; A. Beyrie u. a. in: A. Hauptmann / D. Modarressi-Therani / M. Prange (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Europe III, Abstracts. Metalla Sonderh.* 4 (Bochum 2011) 121 f.

<sup>99</sup> Hirt, *Imperial Mines* 81; T. De Caro u. a., *Applied Physics A* 113, 2013, H. 4, 945–957.

wenig waren die spanischen Lagerstätten von Bedeutung für den Statuenguss, obwohl spanisches Blei in den vorrömischen Siedlungen nachgewiesen ist<sup>100</sup>. Wahrscheinlich liegen jedoch nur ökonomische Gründe vor. Die Lagerstätten bei Carthago Nova waren bereits Ende des ersten vorchristlichen Jahrhunderts erschöpft, und bei den anderen war der Aufwand sicher viel höher als bei den frisch erschlossenen reichhaltigen Bleilagerstätten in der Germania oder in Britannia.

*Gussform und Montage.* Einen Schwerpunkt des Projektes bildete die Untersuchung besonderer Herstellungstechniken<sup>101</sup>. Zahlreiche römische Bronzewarderke aus italischen Werkstätten wurden dahingehend bereits in der Vergangenheit erfolgreich untersucht und dokumentiert<sup>102</sup>.

Die meisten Stücke wurden demnach im Untersuchungsgebiet nördlich der Alpen ebenso wie im Mittelmeerraum im indirekten Wachsaußmelzverfahren gegossen. Lediglich das Fragment eines Jupiter Ammon aus Nimwegen (GBL 295) sowie die Kalotte der überlebensgroße Jupiterstatue aus Womrath (GBL 504) wurden wohl gänzlich nach dem direkten Wachsaußmelzverfahren gefertigt.

Die Montage separat gegossener Einzelteile (Stückguss) erfolgte meist durch Überfang- oder Ringguss<sup>103</sup>, ein besonderes antikes Schweißverfahren, bei dem durch Übergießen der Verbindungsstelle mit flüssiger Bronze eine stoffschlüssige Verbindung erzeugt wurde. Nach Aussage der Analysedaten wurde hierzu meist eine Metallzusammensetzung gewählt, die mit der Gusslegierung der Statuenteile identisch ist, so zu beobachten an Stücken aus dem Bonner Legionslager (GBL 134 und 135), dem Oberarmfragment im Akademischen Kunstmuseum Bonn (GBL 234 und 236), aus Bregenz (GBL 392 und 393), aus dem Amphitheater von Künzing (GBL 188 und 189), aus Neunkirchen-Kasbruch (GBL 389–391) sowie aus Trier (GBL 94–96). Eine Ausnahme bildet ein Arm aus Naaldwijk, der vermutlich von einem Stummen Diener stammt (GBL 339 und 376). Abweichungen liegen im Zufallsbereich und wurden wohl nicht, wie zunächst vermutet, intentionell zur Reduzierung des Schmelzpunktes der Schweißverbindung eingesetzt.

Einige Stücke wie beispielsweise der Torso aus Neunkirchen-Kasbruch (GBL 389–391), die Pferdeköpfe aus Augsburg (GBL 29–31) und Waldgirmes (GBL 592), der Kopf des Severus Alexander aus Carnuntum (GBL 535–539), ein Unterarm (GBL 147) sowie ein Fußfragment (GBL 151) aus Trier, die Finger des Faustkämpferarms aus Blicquy (GBL 486–487), die Montage der Kopfapplikation der Göttin Rosmerta aus Mainz (GBL 399) wie auch eines Gewandes aus



<sup>100</sup> R. Schwab, Ber. Arch. Mittelrhein und Mosel 17, 2011, 267–285, hier 283; Schwab, Kupferlegierungen 155 f.

<sup>101</sup> Formigli, Antiche officine (Anm. 29); E. Formigli (Hrsg.), I grandi bronzi antichi. Le fonderie e le tecniche di lavorazione dall'età arcaica al Rinascimento. Atti dei seminari di studi ed esperimenti Murlo 24–30 Luglio 1993 e 1–7 Luglio 1995 (Siena 1999).

<sup>102</sup> Lahusen/Formigli, Bildnisse 460–521; Salcuni/Formigli, Grandi bronzi.

<sup>103</sup> Rainer Ellerbrok, Gießerei-Institut RWTH Aachen rekonstruierte eine antike Ringschweißung, die in der

Ausst. Gebrochener Glanz gezeigt wurde, s. Newsletter des Gießerei-Institutes der RWTH Aachen 01 / 2010; F. Lehner / S. Rossmann in: Peltz/Schalles, Xantener Knabe 155–165 Abb. 14–25.

<sup>104</sup> F. Willer, Focussing on a special joining technique of separate cast life-size ancient bronze statues, XVIIth International Bronze Congress, Izmir 2011, in Vorb.; A. Dostert / N. Franken / U. Peltz, Jahrb. Berliner Mus. 50, 2008, 9–24.

<sup>105</sup> Salcuni/Formigli, Grandi bronzi Abb. 117; 133–135.

<sup>106</sup> Salcuni/Formigli, Grandi bronzi Abb. 124–125.

Lüttingen (GBL 546) zeigen hingegen eine Lotverbindung, die ähnlich wie heute mit Blei-Zinn-Lot ausgeführt wurde<sup>104</sup>. Solche einfachen, als Weichlotverbindungen bezeichneten Montagen zeigen auch die Schwertscheidenmontage aus Murrhardt (GBL 380) oder verschiedene Sockelleisten aus Weißenthurm (GBL 124 und 125), Aalen (GBL 91) und dem Bonner Legionslager (GBL 141) sowie die Blitzbündel aus Mainz (GBL 400) und Womrath (GBL 501). Das Torsofragment einer vermutlichen Marststatue aus Neunkirchen-Kasbruch (GBL 398–391) stellt hingegen eine Ausnahme dar. Die heute verloren gegangenen Arme waren eingesteckt, vernietet und mit Blei-Zinn-Lot gesichert, der Kopf wurde zusätzlich punktuell am Ansatz des Panzers verschweißt. Die Montage mit runden Kupfernietstiften diente in der Regel zur Sicherung von größeren Reparaturblechen oder zur einfachen Montage von Applikationen, wie die Stücke aus Weissenburg (GBL 404 und 407), der Saalburg (GBL 60, 221 und 227) und Trier (GBL 146) zeigen. In wenigen Fällen dienten runde Nietstifte zur zusätzlichen Sicherung der Bronzen am Sockel, wie man es an einem Fragment mit Schlangenmaul aus Trier (GBL 146) oder dem Pferdehuf aus Durach (GBL 358) beobachten kann. Zudem waren Kupfernietstifte wohl auch für die einfache und reversible Montage von Köpfen geeignet, wie es das Porträt von Gordian III. aus Niederbieber zeigt (GBL 366, Abb. 9 und 64).



Abb. 23 a–b (gegenüber und oben) Eine mit Niello verziertes Teilstück einer Satteldecke aus dem Rheinland (GBL 377) zeigt die typische Vorrichtung zur Montage am Pferdekörper. Bonn, Landesmuseum.

Eine weitere Montagetechnik wurde an Teilen von Reiterstandbildern (Augsburg GBL 32–33, Waldgirmes GBL 529 sowie in Bonn GBL 377) und an einer Reliefbronze aus Maastricht (Inv. 2962) beobachtet. Hier hatte man separat gegossene Applikationen rein mechanisch befestigt, da sie aufgrund ihrer Größe und Temperaturempfindlichkeit nicht durch Lötung oder Schweißung montiert werden konnten. Die Zusammensetzung erfolgte mittels rechteckiger Einschubstege, welche an den anzubringenden Teilgussstücken beziehungsweise Applikationen bereits mitgegossen waren. Diese Einschubstege konnte man dann an dem Standbild in vorgesehene Einschuböffnungen einsetzen, die am Wachsmo-  
dell bereits vor dem Guss angelegt waren (Abb. 23). An der noch zugänglichen Innenseite der Statue fixierte man sie anschließend mittels einer Bohrung durch einen Stift. Diese Technik ermöglichte neben der einfachen Montage die Verwendung andersfarbiger Metalle sowie eine optische Verstärkung der Plastizität. Die Ausführung war bei den untersuchten Stücken trotz unterschiedlicher Datierung gleich und fußt wohl auf einer älteren Tradition, denn sie wurde schon in italischen Werkstätten angewendet<sup>105</sup>. Eine weitere Art der Montage von Applikationen, welche sich ebenfalls an italischen Reiterstandbildern beobachten lässt<sup>106</sup>, wurde mit Nietstiften durchgeführt, so bei Stücken von der Saalburg (GBL 218–222 und 226).

Die massiv gegossene Kultkrone aus Vetera bei Xanten (GBL 506) wurde anscheinend lediglich in eine rillenförmige Einlassung im Kopf der heute verlorenen Statue eingesetzt und w-  
möglich mit einem Stift gesichert. Reste der zunächst vermuteten Lotverbindung konnten nicht nachgewiesen werden.

Eine andere Besonderheit waren mitgegossene halbkreisförmige Bronzelaschen an den Innenseiten von Pferdehufen etwa aus Kempten (GBL 383 und 384), Kempten-Durach (GBL 385) und Bregenz (GBL 453). Nach dem Aufstellen und dem Verguss mit Blei verhinderten diese

Eine andere Besonderheit waren mitgegossene halbkreisförmige Bronzelaschen an den Innenseiten von Pferdehufen etwa aus Kempten (GBL 383 und 384), Kempten-Durach (GBL 385) und Bregenz (GBL 453). Nach dem Aufstellen und dem Verguss mit Blei verhinderten diese

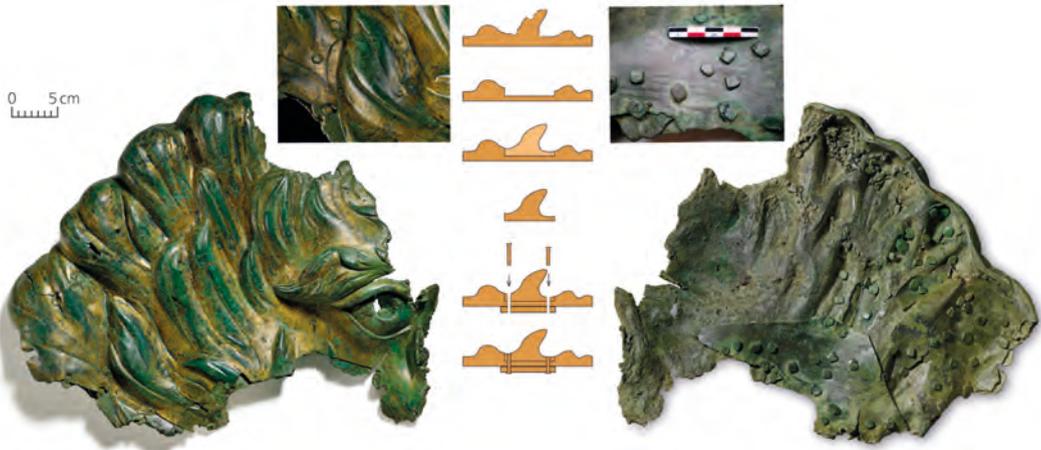


Abb. 24 Ein vergoldetes Relieffragment aus Mittelstrimmig (GBL 477) zeigt eine anspruchsvolle Reparaturtechnik. Gussfehler sind durch passgenau eingefügte Reparaturbleche kaschiert. Senkkopfnietstifte aus Kupfer halten diese in Position. Privatbesitz.

als Widerlager das Ablösen des Standbildes zum Beispiel bei Sturm<sup>107</sup>. Die Haarkalotte aus Weißenthurm (GBL 382) zeigt formal gleiche Laschen, deren genaue Funktion bei der Montage noch nicht geklärt ist (vgl. Abb. 51).

Die Montage der Bildwerke auf ihrem Sockel erfolgte entweder mit massivem Bleiverguss, wie zahlreiche Fußfragmente aus Mainz (GBL 493 und 491), Paks (GBL 547), Köln (GBL 128), Künzing (GBL 204), Dalkingen (GBL 351 und 351), Tongern (GBL 361), Naaldwijk (GBL 370) und Namur (GBL 387) zeigen. Oftmals wurde das Blei im Zuge der Demontage oder Zerstörung entfernt (GBL 128, 204, 351, 352, 361, 370 und 387), oder es ist durch starke Hitze einwirkung eines Schadfeuers ausgeschmolzen (GBL 491). Gemäß der römischen Sockelungstechnik zeigen die Fußunterseiten bis auf zwei Fragmente aus Mainz (GBL 491) und Trier (GBL 500) nur noch eine Rahmenleiste, die häufig an der Basis eine entsprechende rillenförmige Einlassung zur besseren Arretierung erforderte<sup>108</sup>. In eine tiefe Ausnehmung unterhalb der Standfläche wurde dann das Blei durch eine kleine Öffnung im Bein eingegossen. Gleiches Vorgehen gilt für die Reiterstandbilder beziehungsweise Pferdehufe als Reste von solchen Monumenten aus Kempten (GBL 384), Durach (GBL 385) und Bregenz (GBL 453). Das Fußfragment aus Trier (GBL 500) war ehemals lediglich auf einer Metallplinthe verlötet, dasjenige aus Mainz (GBL 491) auf einer Steinbasis vergossen.

*Nacharbeit.* Besonders auffällig sind einige Reparaturtechniken, die sich nach bisherigem Kenntnisstand von denen italischer Bildwerke unterscheiden. Generell kaschierte man durch Gussfehler entstandene Fehlstellen in der Oberfläche mit passgenau eingefügten Reparaturblechen von quadratischer, rechteckiger oder polygonaler Form. Einige Stücke etwa aus Nimwegen (GBL 396), Mittelstrimmig (GBL 518) oder Groß-Gerau (GBL 6–9 und 11–15) zeigen hierzu eine gegenüber italischen Bronzen leicht abweichende Variante<sup>109</sup>. Zur zusätzlichen Sicherung

<sup>107</sup> Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi* Abb. 269; 279. Mitgegossene Bronzelaschen zeigen auch Pferdehufe aus Verona, *Mus. Arch.* Diese Montagetechnik scheint von italischen Werkstätten übernommen zu sein. Zur Verbesserung der Standsicherheit hatte man hier zusätzlich eine massive Eisenarmierung eingesetzt, s. ebd. Abb. 283–286.

<sup>108</sup> F. Willer / R. Meijers in: *Gebrochener Glanz* 178 f. Abb. 9.

<sup>109</sup> Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi* Abb. 408–409. Ein Pferdebein in Verona, *Mus. Arch.*, lässt die in Italien übliche Vorgehensweise mit eingesetzten polygonalen Reparaturblechen ohne Sicherung durch Nietstifte erkennen.

<sup>110</sup> Peltz/Schalles, *Xantener Knabe* 127–129.

der Reparaturbleche wurden bei den Limesbronzen häufig Senkkopfnietstifte mit vier bis fünf Millimetern Durchmesser aus weichem, nahezu reinem Kupfer verwendet, oft von polygonaler Form (GBL 5, 10, 191, 227, 237, 395 und 404). Sie wurden von der Rückseite in die Bohrungen eingeschoben. Viele Fragmente aus dem gesamten Untersuchungsgebiet weisen nur noch Bohrlöcher auf, die auf diese wohl weit verbreitete Methode hindeuten. Eine eckige Verbreiterung an der Rückseite der Nietstifte, die mit einem schweren Hammer fixiert oder einer Zange gehalten wurde, diente beim Vernieten an der noch zugänglichen Innenseite als Gegenlager. An der Oberfläche der Bronze hatte man zuvor die Bohrung für den Nietstift etwas konisch erweitert, um Raum für das Material des zu versenkenden Nietkopfes zu schaffen. Daher waren die Nietköpfe nach dem anschließenden Überfeilen und Glätten in der Oberfläche der Bronze kaum noch zu erkennen. Patina oder Vergoldung halfen zudem, solche Ausbesserungen noch besser zu kaschieren (Abb. 24, vgl. auch Abb. 58).

Entstanden bei der Vorbereitung der Nacharbeiten (ausgemeißelte Gruben) größere Niveauunterschiede, so konnten diese nicht mit einfachen, nur zugeschnittenen Blechen ausgeglichen werden. Ein Beispiel hierfür ist ein herausgefallenes Reparaturstück eines Gewandfaltenfragments aus Duppach in der Eifel (GBL 308). Hier wurde die vorbereitete Reparaturstelle zunächst mit allen Unebenheiten des Untergrundes in Wachs abgeformt, um sie anschließend im Wachs-ausschmelzverfahren in Bronze nachzugießen. Dieses Verfahren ermöglichte den passgenauen Sitz der Einlage und ist mit der modernen Inlaytechnik beim Zahnersatz vergleichbar.

Eine weitere Besonderheit ist die Kaschierung von viereckigen Kernhalterlöchern (etwa zwei mal zwei Millimeter), die im Vergleich zu italischen Statuen (etwa vier mal vier Millimeter) in der Regel deutlich kleiner ausgefallen sind. Kernhalter sind vierkantig geschmiedete Eisennägel, die während des Wachs-ausschmelzens und Gießens den inneren Kern der Gussform mit dem äußeren Formmantel verbanden. Nach dem Guss wurden diese herausgezogen, so dass in der Bronze quadratische Öffnungen (Kernhalterlöcher) zurückblieben, die bei der abschließenden Behandlung geschlossen werden mussten. Die Kaschierung erfolgte bei vielen Stücken des gesamten Untersuchungsgebiets nicht wie bei den Vorbildern in Italien mit quadratischen oder rechteckigen Flickplättcheneinlagen, sondern oftmals lediglich durch kleine eingeschmiedete Bronzeperlen<sup>110</sup>. Dies war aufgrund der kleineren Öffnungen gut möglich (vgl. Abb. 77c).



Abb. 25 Bronzebildnis des Severus Alexander aus Carnuntum mit Bleilot am Hals und Spuren gewaltsamer Zerstörung (GBL 535–538). Bochum, Kunstsammlung der Ruhr-Universität.

*Zerstörung.* Auch Spuren und Ursachen der Zerstörung von Bronzestatuen standen im Fokus der Untersuchungen. An einigen Fragmenten wie den Porträtköpfen Gordians III. aus Niederbieber und des Severus Alexander aus Carnuntum lassen sich deutliche Hinweise auf Bildnisschädigung finden, die in Zeiten gewaltsamer Entmachtung nicht unüblich waren (Abb. 25). In den meisten Fällen jedoch war das vorliegende Material schon auf Tiegelgröße zerkleinert und deponiert, um es zu einem späteren Zeitpunkt der Wiederverwendung zuzuführen (s. Abb. 1). Die rein mate-

Abb. 26 Rekonstruktionsversuch der Arbeitsabläufe in einer römischen Bronze gießerei nördlich der Alpen. (1) Modellierung der Vorlage, (2) Abformung der Vorlage mit Gips, (3) Auskleiden der Gipsabformung mit Wachsplatten, (4) Zusammenfügen der erkalten Wachseinzelteile, (5) Zwischenlagern bereits fertiggestellter Wachstformteile in Wasserbecken zum Schutz vor Deformation, (6) Verfüllen und Ummanteln des Wachstmodells mit Ton zur Herstellung der Gussform, (7) Einbringen der Gussform in die Gießgrube, (8) und (9) Mit Holzkohle und Blasebälgen wird die Bronze in Tiegeln oder schachtförmigen Öfen erschmolzen, (10) Direktes Eingießen der Bronze mittels Schmelztiegel oder durch Anstechen des Schachtofens über einen Gusskanal im Boden, (11) Nach erfolgreichem Guss, Zerschlagen der geborgenen Gussform, (12) Mechanisches Versäubern der rauen Gusshaut, (13) Anpassen von separat gegossenen Statuentteilen, (14) Ausbessern von Gussfehlern durch Anpassen und Einfügen von Reparaturblechen, (15) Verschweißen von Einzelteilen (Ring-Überfangguss).



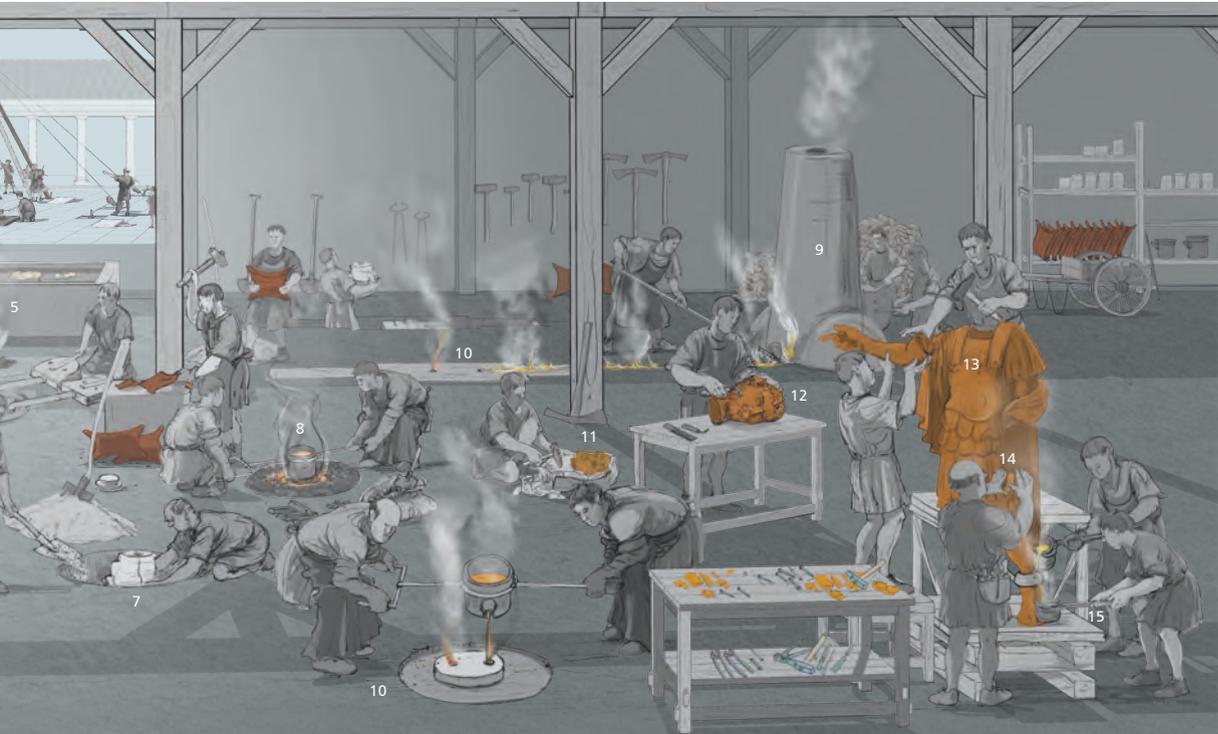
riell intendierten Zerstörungen von Bronzestatuen setzten nicht erst bei Reichskrisen ein oder gar erst in der Zeit, als der Limes gefallen war. Vielmehr erlitten die Limesbronzen schon seit der Frühzeit der römischen Herrschaft einen stetigen Zyklus »zwischen Ruhm und Recycling«<sup>111</sup>. Das belegen nicht zuletzt auch die hier vorzustellenden archäometrischen Untersuchungen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Über fünftausend Fragmente römischer Bronzestatuen aus Ober- und Untergermanien, der Gallia Belgica und Rätien wurden im Rahmen des Projektes interdisziplinär untersucht, darunter auch eine statistisch relevante Anzahl von Fragmenten mit naturwissenschaftlichen Analyseverfahren. Im Zentrum dieser Forschungen stand die Bestimmung der Legierungen und der Provenienz des verwendeten Bleis. Virtuelle Gussimulationen sowie praktische Gießversuche wurden durchgeführt, um die Abläufe der antiken Verfahrensweise beurteilen zu können und um schließlich auch den technisch bedingten Aufbau solcher Großplastiken besser zu verstehen. Chronologische, geographische und kontextuelle Erkenntnisse aus der Archäologie verbinden sich mit den herstellungstechnischen Beobachtungen und archäometrischen Ergebnissen zu wichtigen neuen Aussagen über den provinzialrömischen Statuenguss. Fest datierte Objekte wie der Pferdekopf aus Waldgirmes (augusteisch) oder die Fragmente des Jupiterstandbildes (neronisch) bilden die Grundpfeiler diachroner Untersuchungen zur Entwicklung der römischen Bronze-technik nördlich der Alpen. Synchrone und geographische Übereinstimmungen in den Legierungen stützen

<sup>111</sup> M. Mirschenz in: *Gebrochener Glanz* 143–154; F. Willer, ebd. 210 f.

<sup>112</sup> M. Bergmann / L. Weigel (Red.), *Wieland-Kupferwerkstoffe. Herstellung, Eigenschaften und Verarbeitung* (6. Aufl., Ulm 1999) 269–272 Tabelle GA9 Abb. 14.05.



Überlegungen zu Werkstattkreisen und Rezepturen. Die kontextuelle Differenzierung, beispielsweise zwischen militärischen und zivilen Kontexten oder zwischen den geographischen Räumen, kann zur Klärung vom Umgang mit Wertstoffen (Altmetallverwertung) beitragen.

Bei den analysierten Legierungen handelt es sich wie auch bei ihren mediterranen Vorbildern im Wesentlichen um sehr einheitliche Blei-Zinnbronzen mit relativ hohem Bleianteil und mittlerem Zinngehalt von fünf bis zehn Prozent. Anders als etwa gleichzeitig zu datierende Bronze- statuen aus Norditalien enthalten die untersuchten Fragmente aus den Gebieten nördlich der Alpen verhältnismäßig viel Zinn, manchmal über zehn Prozent, so beim Fragment von einem Pferdeschweif in Trier (GBL 155, rechts oben auf Abb. 73). Auch der durchschnittliche Bleigehalt der Limesbronzen ist bemerkenswert hoch, ohne dass dies immer zwingend mit Einsparung des wertvolleren Legierungsbestandteils Zinn einherginge. Es handelt sich um Legierungen, die in der heutigen Gießereipraxis wegen moderner Verfahren und Inhaltsstoffe unüblich sind, gar vermieden werden, um die Bronze nicht unnötig zu härten und um Seigerungen zu verhindern. Die durchschnittliche Limeslegierung mit etwa fünf bis zehn Prozent Zinn und fünfzehn bis zwanzig Prozent Blei wird heute dennoch in ähnlicher Zusammensetzung für bestimmte technische Lagerwerkstoffe eingesetzt, für moderne Statuen- beziehungsweise Kunstgüsse aber ist sie nicht mehr gebräuchlich<sup>112</sup>. Experimente mit einer durchschnittlichen Legierung haben aber gezeigt, dass die antike Bronze mangels heute üblicher desoxidierender Zusätze wie Phosphor dickflüssiger ist und später erstarrt. Die hohen Bleizusätze dienten also nicht nur der Kostenreduzierung, sondern waren auch für das Fließvermögen der Schmelze notwendig. Der teilweise hohe Zinngehalt deutet auch darauf hin, dass der Metallverlust durch Abbrand nicht nur durch die Zugabe von Altmetall und Blei kompensiert wurde, sondern auch durch Zinn.

Einige der blattvergoldeten wie auch der feuervergoldeten Statuenfragmente weisen einen auffallend hohen Kupferanteil mit nur sehr geringen Blei- und Zinnzusätzen auf. Neben den technischen Erkenntnissen zur Reduzierung des teuren Zinns scheint auch ein ästhetischer Zu-

sammenhang zwischen dem Grundton der Legierung (rot) und der transluziden Goldauflage zu bestehen. Bei der Feuervergoldung sind verfahrensbegründet unter Einwirkung von Hitze negative Reaktionen von Blei mit Gold bekannt. Ob der Bleigehalt in der Bronze sich nun auch bei einer im kalten Zustand auszuführenden Blattgoldauflage negativ auswirken kann oder es andere technische Erklärungen für den geringen Bleigehalt gibt, wird derzeit noch diskutiert und erforscht. Sicherlich ist die im Untersuchungsgebiet verhältnismäßig selten nachzuweisende Feuervergoldung den gusstechnischen Anforderungen der Bleibronze geschuldet. Entsprechende Funde sind zudem leider auch nicht kontextualisiert. Die rein auf der makroskopischen Beobachtung beruhende statistische Verteilung vergoldeter Statuenfragmente zeigt, dass diese vorzugsweise in zivilen Kontexten gefunden wurden und Vergoldung vor allem an den dort aufgestellten Statuen eingesetzt wurde. So wurden an etwa fünfundvierzig Prozent aller Statuentteile, die aus solchen Zusammenhängen stammen, Vergoldungsspuren beobachtet, während dies nur für fünf Prozent aller Fundstücke aus dem militärischen Bereich zutrifft.

Neben dem Verhältnis der Hauptlegierungsbestandteile zueinander wurden auch Nebenelemente untersucht. Etwa ein Drittel der Metallproben enthielt Hinweise auf Zuschlag von Altmetall. Die nicht seltenen Spuren von Zink und Gold in der Legierung bilden Indizien für Altmetallzuschläge von Messing und vergoldeter Bronze, da diese Metalle im Gegensatz zu Kupfer, Zinn und Blei ursprünglich nicht Bestandteil einer antiken Gussbronze sind.

Ein geringer Anteil an Zink lässt auf die Zugabe von Altmessing schließen. Nachweisbarer Goldgehalt ist durch das Wiedereinschmelzen von vergoldetem Statuenmaterial bedingt. Gusslegierungen mit Zinkanteil lassen sich chronologisch und regional differenzieren. Die Auswertung der datierbaren Fundkontexte zeigt für das zweite Jahrhundert eine zunehmende Verwertung von immer besser verfügbarem Messingschrott für den Statuenguss. Geographisch lässt sich Messingrecycling in der Statuenherstellung überwiegend im nördlichen Untersuchungsgebiet feststellen, also nördlich des Wetteraumes.

Eine weitere geographische Trennlinie lässt sich auch beim verwendeten Blei beobachten: Der größte Teil der Großbronzen in den Provinzen Ober- und Niedergermanien, der Gallia Belgica und Rätien enthält solches aus Lagerstätten der deutschen Mittelgebirgszone und somit aus dem näheren Umfeld. Das Blei der südlicheren Fundorte, vor allem aus Rätien, ist dieser Gruppe mehrheitlich nicht zuzuordnen. Diese Beobachtung beantwortet auch eine wichtige Leitfrage des Projektes, ob die Monumente überhaupt in den Provinzen hergestellt wurden, oder ob man sie aus Italien herantransportieren musste<sup>113</sup>. Eine der Begründungen lag bisher in dem mangelnden Nachweis einschlägiger Werkplätze. Doch selbst im italienischen Mutterland sind die Nachweise dafür äußerst spärlich, was wohl in der Natur der Werkstattmaterialien liegt, die entweder wiederverwendet wurden oder unscheinbaren Abfall bildeten. Zu den für die Römerzeit wohl wichtigsten Befunden zählen die provinziellen Gießereiwerkstätten in Bordeaux und Avenches<sup>114</sup>. Letzterer Befund kann dem Untersuchungsraum nördlich der Alpen

<sup>113</sup> In der Vergangenheit wurde in der Forschung die Möglichkeit der Produktion römischer Großbronzen in den Nordwestprovinzen angezweifelt, s. Peltz/Schalles, Xantener Knabe 177.

<sup>114</sup> M.-F. Meylan Krause in: Gebrochener Glanz 52–55; F. Adamski / M. Pernot / C. Sireix in: S. Fontaine / S. Satre / A. Tekki (Hrsg.), *La ville au quotidien* (Aix-en-Provence 2011) 191–202.

<sup>115</sup> P. Rothenhöfer / M. Bode in: E. Olshausen / V. Sauer (Hrsg.), *Die Schätze der Erde. Natürliche Ressourcen in der antiken Welt*. *Geographica Historica* 28 (Stuttgart 2012) 345–360.

<sup>116</sup> U. Peltz in: Peltz/Schalles, Xantener Knabe 128, beobachtet auch an griechischen und einigen römischen Statuen diese Technik. Sie wird dort jedoch primär in Bereichen wie Frisuren angewendet, bei der aufwendige Überarbeitung (Kaltarbeit) schlecht möglich ist. Edilberto Formigli (Murlo) bestätigte 2012 diese Beobachtung mündlich.

<sup>117</sup> Hinweis Edilberto Formigli (Murlo), s. a. ders. in: ders., *Fonderie e tecniche* (Anm. 101) 145–190, bes. 148 Schema 1 b 5; 162–168 Abb. 2; 13–14.

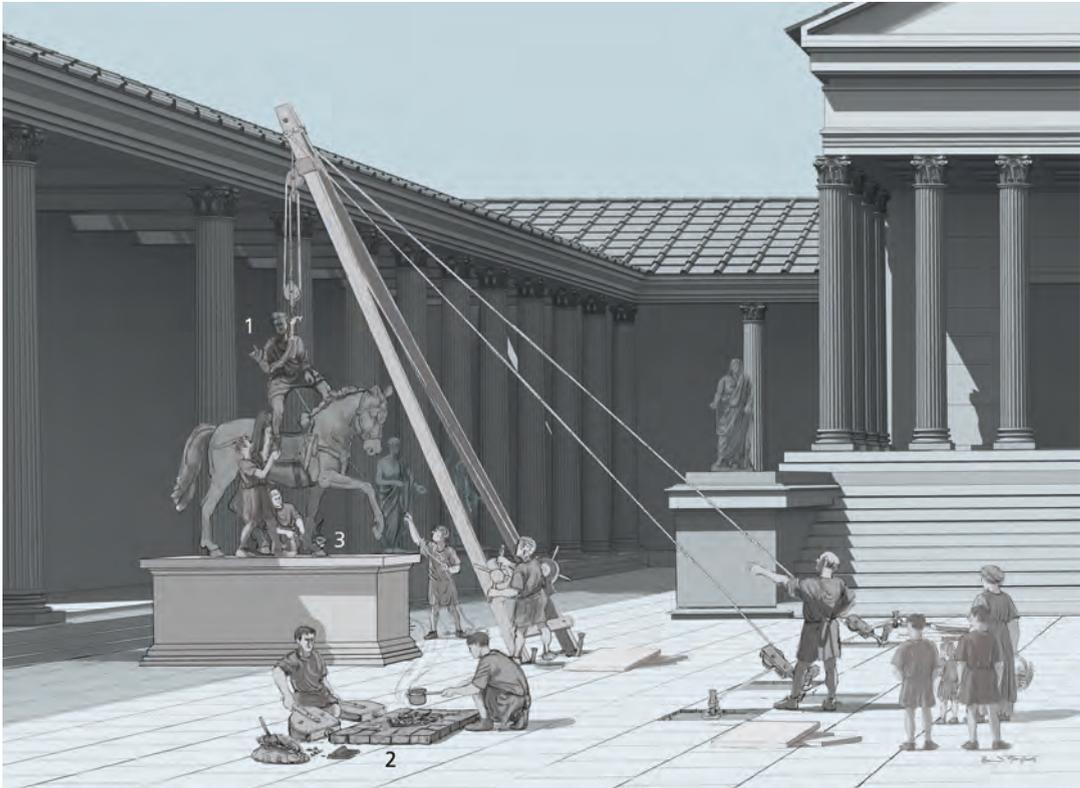


Abb. 27 Rekonstruktion der Aufstellung eines römischen Reiterstandbildes. (1) Absetzen des Reiters mittels eines Flaschenzuges, (2) Schmelzen des Bleis für den Bleiverguss, (3) Eingießen des Bleis zur Versockelung des Bildwerkes mit der Steinbasis.

angegliedert werden. Die Provenienzbestimmung des verwendeten Bleis liefert hier nun weitere wichtige Anhaltspunkte. Denn auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das Plumbum Germanicum im gesamten römischen Reich verhandelt wurde<sup>115</sup>, ist nach Ausweis der Bleiisotopie von einer weitgehend geographischen Korrelation zwischen Produktions- und Lagerstätte auszugehen und ein Re-Import eher unwahrscheinlich. Als weiteres Indiz für lokale Produktion beziehungsweise Verwendung von Kupfer aus regionalen Lagerstätten kann der an einigen Proben zu beobachtende hohe Antimonanteil gesehen werden. Diese hohen Werte kommen in italienischen Bronzen nicht vor, sondern resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der primären oder sekundären Verwendung einheimischer Fahlerze, die schon für vorrömische Buntmetallartefakte das Kupfer lieferten.

Für eine Produktion vor Ort sprechen auch Besonderheiten der Herstellungstechnik. So unterschieden sich zahlreiche Kernhalteröffnungen und deren Ausbesserungen von denen, die man bislang an den meisten italienischen Bildwerken beobachtet hat. Gegenüber der italischen Machart sind sie deutlich kleiner und wurden häufig nicht mit aufwendigen Reparaturblechen, sondern vielfach nur mit eingeschlagenen Bronzeperlen geschlossen<sup>116</sup>. Ein weiterer Hinweis auf den Einfluss regionaler Handwerker sind zusätzliche Sicherungen von eingesetzten Reparaturblechen, die mittels kupferner Senkkopfnietstifte erfolgten. Diese offenbar in Italien wenig gebräuchliche Technik kam insbesondere bei vergoldeten Statuen zur Anwendung. Eines der wenigen bekannten italienischen Bildwerke, bei denen diese Technik Anwendung fand, ist das Reiterstandbild des Mark Aurel auf dem Kapitol in Rom. Reparaturbleche wurden entweder rein mechanisch vernietet oder durch Übergießen mit Bronze am Original fixiert<sup>117</sup>.

Vieles deutet inzwischen darauf hin, dass spätestens seit der augusteischen Okkupationsphase qualifizierte Handwerker in der Lage waren, monumentale Bildnisse aus Bronze vor Ort herzustellen. Dies erforderte neben umfänglichem Fachwissen und Erfahrung auch geeignete Werkplätze sowie uneingeschränkten Zugang zu den benötigten Rohstoffen und Materialien (Abb. 26). In Qualität und Größe waren die Bildwerke mit den Großbronzen aus Italien vergleichbar. Insbesondere die zahlreichen Hinweise auf Reiterstandbilder verdeutlichen die bildhauerischen Fähigkeiten, die Kunstfertigkeit und den hohen Leistungsstandard der Bronzehandwerker in der Provinz (Abb. 27). Importstücke wie der Xantener Knabe, der Faustkämpfer aus Blicquy, von dem nur ein Armfragment erhalten geblieben ist, oder eine als Fußbruchstück überlieferte Skulptur aus Trier bildeten von Beginn an Ausnahmen. Wie die nahezu identische Produktionsweise der beiden unterschiedlich datierten Pferdeköpfe aus Waldgirmes und Augsburg zeigt, wurde dieses Wissen auch an spätere Generationen weitergereicht. In der Abwandlung von Rezepturen und Techniken kann eine Anpassung an die andersartigen klimatischen Verhältnisse in Mitteleuropa gesehen werden. Somit handelte es sich nicht nur um einen Techniktransfer, sondern auch um eine technische Optimierung, die sich in den untersuchten Bronzestatuenfragmenten erkennen lässt.

Das Forschungsprojekt ›Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes‹ hat die Grundlagen für die interdisziplinäre Erforschung dieses Fundmaterials verändert. Es zeigte sich, dass nur die Verzahnung vielfältiger Methoden zu schlüssigen Aussagen führt. So kann ein isoliertes Indiz aus der Materialanalyse ohne die Berücksichtigung herstellungstechnischer Beobachtungen und gezielter Nachuntersuchungen nur schwerlich interpretiert werden. Die Interdisziplinarität des Forschungsprojektes wird auch in der Datenbank abgebildet. Sie ist nicht nur ein Katalog der aufgenommenen Objekte, sondern veranschaulicht das breit angelegte Methodenspektrum. Mit der angestrebten Konsistenz und Vergleichbarkeit einschlägiger Daten bleibt der Blick auf die Zukunft der Erforschung weiterer römischer Bronzestatuen gerichtet<sup>118</sup>.

Frank Willer sowie Dr. Manuela Mirschenz, LVR-Landesmuseum, Bachstraße 9, 53115 Bonn, frank.willer@lvr.de bzw. mmirsche@uni-bonn.de. – Dr. Roland Schwab, Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie, D6,3, 68159 Mannheim, roland.schwab@cez-archaeometrie.de.

<sup>118</sup> M. Mirschenz in: Kemkes, Großbronzen (Anm. 13) 20–25.

Wir danken dem Projektteam: Sascha Heckmann, Dr. Jörg Heiligmann, Prof. Dr. Hans-Marcus von Kaenel, Dr. Martin Kemkes, Lena Kühne, Katharina Nicolai, Claudia Sarge, Dr. Susanne Willer. Die Koordinierung der archäometrischen Aufgaben erfolgte am LMB.

Arbeiten im Zusammenhang mit der archäometrischen Auswertung: Am LMB Röntgenaufnahmen und p-RFA (Holger Becker); Wirbelstrommessung, HDR-Mikroskopie, Sichtung und Probenentnahme, erste Vorauswertung der Messdaten, Tonkernuntersuchung, Versuchsreihen und Experimente (Frank Willer); Erstellung von Datensätzen und deren Auswertung (Dr. Manuela Mirschenz und Frank Willer), 3D-Scanning (Olivia Straub); fotografische Dokumentation (Jürgen Vogel). – Am Museum het Valkhof, Nimwegen, Beprobung und Untersuchung niederländischer Sammlungsbestände (Ronny Meijers). – An der Collectie Nederland, Amsterdam, Röntgenfluoreszenzanalyse niederländischer Sammlungsbestände (Ineke Joosten). – Am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, Mannheim, Röntgenfluoreszenzanalyse, Anschliffuntersuchung, Referenzmessung, Bleiisotopie, Datenauswertung (Dr. Roland Schwab), Faserbestimmung (Sylvia Mitschke), Bleiisotopenmessung (Bernd Höppner), Bleiabtrennung (Sigrid Klaus). – An den Wielandwerken, Ulm, Materialprüfungen an Vergleichslegierungen, Untersuchungen zur Zinnseigerung (Dr. Hans-Achim Kuhn). – Am Gießereiinstitut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, experimentelle Nachgüsse und digitale Gussimulationen (Prof. Dr. Andreas Bühring-Polaczek, Dr. Monika Wirth und Prof. Dr. Rainer Ellerbrock). – An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Dietmar Meinel und Dr. Yener Onel). – An der Kunstgießerei Sander, Bonn, experimentelle Nachgüsse, Erstellen von Referenzmaterial (Friedemann Sander und Harald Mahlberg). – Arbeitsgruppe Archäometrie am Exzellenzcluster TOPOI der Freien Universität Berlin, Tonkernanalysen (Dr. Gerwulf Schneider).

Wir danken neben diesen und den eingangs Genannten auch Dr. Lothar Bakker, Alexander Bauer, Stefanie Becht, Andreas Bethke, Prof. Dr. Martin Bentz, Dr. Dr. Axel von Berg, Dr. Michael Bode,

Steve Bödecker, Kati Bott, Martin Dietrich, Christoph Duntze, Prof. Dr. Gerhard Eggert, Dr. Harry van Enckevort, Dr. Sabine Faust, Ferenc Fazekas, Prof. Dr. Thomas Fischer, Prof. Dr. Edilberto Formigli, Gerd-Martin Forneck, Dr. Norbert Franken, Dr. Alex Furger, Theo Gerhards, Dr. Jürgen Goebels, Martin Greifenberg, Manfred Hahn, Dr. Norbert Hanel, Prof. Dr. Wolf-Dieter Heilmeyer, Prof. Dr. Alexander Heising, Dr. Claudia Klages, Ute Knipprath, Dr. Annelies Koster, Prof. Dr. Jürgen Kunow, Harald Mahlberg, Prof. Dr. Carol Mattusch, Prof. Dr. Eric M. Moormann, Dr. Jennifer Morscheiser, Dr. Martin Müller, Dr. Friederike Naumann-Steckner, Dr. Titus Panhuysen, Dr. Uwe Pelz, Prof. Dr. Ernst Pernicka, Dr. Várady Péterfi, Dr. Richard Petrovsky, Burkard Pfeifroth, Dr. Hans-Hoyer von Prittwitz und Gaffron, Martin Pütz, Dr. Gabriele Rasbach, Marion Riebschläger, Prof. Dr. Frank Rumscheid, Dr. Andrea Salcuni, Antal Szabó, Martin Schaich, Dr. Hans-Joachim Schalles (†), Prof. Dr. Michael Schmauder, Peter Stauffer, Dr. Louis Swinkels, Dr. Andreas Thiel, Dr. Hans-Martin Thomas, Dr. Gabriele Uelsberg, Angelika Ulbrich, Dr. Christel Veen, Maya Wartmann, Dr. Carsten Wenzel, Prof. Dr. Willem Willems und Dr. Gerhard Zimmer.

Verbunden sind wir besonders auch folgenden Institutionen und deren Mitarbeitern: Altenhann, Firma ArcTron 3D; Amsterdam, Instituut Collectie Nederland; Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Berlin, Freie Universität, Exzellenzcluster 264 – Topoi; Bonn, Universität, Klassische Archäologie; Düsseldorf, LVR-Zentrum für Medien und Bildung; Eichstätt, Universität, Klassische Archäologie; Frankfurt a. M., Römisch-Germanische Kommission; ebenda, Institut für archäologische Wissenschaften, Abt. II; Freiburg, Abteilung für Provinzialrömische Archäologie; Köln, Universität, Archäologisches Institut; Konstanz, Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg; Leiden, Universität, Faculteit der Archeologie; Mainz, Direktion Landesarchäologie an der Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz; Nimwegen, Universität, Faculteit der Letteren, Klassieke Archeologie; Stuttgart, Akademie der bildenden Künste, Fachgruppe Wissenschaft und Restaurierung.



## Römische Bronzestatuen am Limes

## Konkordanztabelle (1)

	lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz		lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz
GBL 001	0001	102729	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 043	0145	111648	52	LM Aalen	1975-35-479-94
GBL 002	0001	102730	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 044	0144	111649	52	LMW Stuttgart	R 82, A 476
GBL 003	1446	102731	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 045	0187	111650	52	LM Aalen	1979-35-476-151
GBL 004	1446	102732	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 046	0140	111651	52	LM Aalen	1979-35-356-3
GBL 005	0002	102733	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 047	0188	111652	52	LMW Stuttgart	R 82, A 476
GBL 006	0002	102734	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 048	0040	111653	52	LM Aalen	1979-35-476-39
GBL 007	0002	102735	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 049	0109	111654	52	LM Aalen	1979-35-446-1
GBL 008	0002	102736	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 050	0109	111655	52	LM Aalen	1979-35-446-1
GBL 009	0002	102737	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 051	0123	111656	52	LMW Stuttgart	R 82, A 479
GBL 010	0002	102738	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 052	0105	111657	52	LMW Stuttgart	R 81.1.1.121
GBL 011	0002	102739	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 053	0107	111658	52	LMW Stuttgart	R 1, A 433
GBL 012	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 054	0569	111659	?	LMW Stuttgart	RFU 69.8
GBL 013	0002	102741	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 055	0568	111660	?	LMW Stuttgart	RFU 69.8
GBL 014	1447	102742	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 056	0222	111661	62	ALBW Rastatt	2005-22-815
GBL 015	1447	102743	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 057	0228	111662	50	ALBW Rastatt	1973-123-65-1
GBL 016	0001	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 058	0426	111663	39	RK Saalburg	S.1211
GBL 017	0001	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 059	0303	111664	39	RK Saalburg	S.1235/D.6
GBL 018	0001	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 060	0303	111665	39	RK Saalburg	S.1235/D.6
GBL 019	0001	102747	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 061	0434	111666	39	RK Saalburg	S.1163/D.25
GBL 020	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 062	0407	111667	39	RK Saalburg	S.1182/D.8
GBL 021	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 063	0407	111668	39	RK Saalburg	S.1182/D.8
GBL 022	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 064	0360	111669	39	RK Saalburg	S.1191/D.17
GBL 023	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 065	0356	111670	39	RK Saalburg	S.1197/D.19
GBL 024	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 066	0225	111671	58	AS München	1992.1109 n
GBL 025	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 067	0143	111672	52	LM Aalen	1979-35-476-176
GBL 026	0002	103255	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 068	0437	111673	38	RK Saalburg	FM b 2101
GBL 027	0002	103256	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 069	0438	111674	38	RK Saalburg	FM b 2102
GBL 028	0002	-	44	LfD Darmstadt	EV 1998:1	GBL 070	0436	111675	37	RK Saalburg	Hef 137 a
GBL 029	1346	111634	63	RM Augsburg	VF 164	GBL 071	0226	111676	51	ALBW Rastatt	1997-168-1-1
GBL 030	1346	111635	63	RM Augsburg	VF 164	GBL 072	0227	111677	45	LMW Stuttgart	R 87-88-Ja-83
GBL 031	1346	111636	63	RM Augsburg	VF 164	GBL 073	0507	111678	65	LMW Stuttgart	R 74.455
GBL 032	1341	111637	63	RM Augsburg	VF 696	GBL 074	0555	111679	65	LMW Stuttgart	R 74.677
GBL 033	1341	111638	63	RM Augsburg	VF 696	GBL 075	0487	111680	65	LMW Stuttgart	R 74.548
GBL 034	0217	111639	59	GM Straubing	787	GBL 076	0564	111681	65	LMW Stuttgart	R 74.318
GBL 035	0218	111640	59	GM Straubing	787	GBL 077	0564	111682	65	LMW Stuttgart	R 74.318
GBL 036	0215	111641	59	GM Straubing	Ostenfeld 26.04.1923	GBL 078	0551	111683	65	LMW Stuttgart	R 74.231
GBL 037	0221	111642	59	GM Straubing	1991/139	GBL 079	0563	111684	65	LMW Stuttgart	R 74.470
GBL 038	0108	111643	52	LM Aalen	1979-35-479-126	GBL 080	0488	111685	65	LMW Stuttgart	R 74.575
GBL 039	0189	111644	52	LM Aalen	1979-35-447-1	GBL 081	0185	111686	52	LMW Stuttgart	R 82, A 409
GBL 040	0142	111645	52	LM Aalen	1979-35-407-1	GBL 082	0223	111687	62	DM Rottweil	1847
GBL 041	0058	111646	52	LM Aalen	1979-35-476-57	GBL 083	0185	111704	52	LMW Stuttgart	R 82, A 409
GBL 042	0141	111647	52	LM Aalen	1975-35-476-116	GBL 084	0054	111688	52	LM Aalen	1979-35-476-53

Konkordanztabelle. Fortsetzung nächste Seite.

	Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz		Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz
GBL 085	0151	111689	52	LM Aalen	1979-35-444-1	GBL 127	1451	112355	24	LM Bonn	382
GBL 086	0155	111690	52	LM Aalen	1979-35-437-1	GBL 128	1456	112356	9	LM Bonn	15331,0-1
GBL 087	0156	111691	52	LM Aalen	1979-35-358-1	GBL 129	1116	112357	20	LM Bonn	1956,553,0-1
GBL 088	0157	111692	52	LM Aalen	1979-35-479-11	GBL 130	1299	112358	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 1-28
GBL 089	0157	111693	52	LM Aalen	1979-35-479-11	GBL 131	1288	112359	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 8-7
GBL 090	0207	111694	52	LM Aalen	1979-35-476-158	GBL 132	1282	112360	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 8-7
GBL 091	0124	111695	52	LMW Stuttgart	R 82, A 479	GBL 133	1367	112361	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 274-8
GBL 092	0507	112170	65	LMW Stuttgart	R 74, 455	GBL 134	1377	112362	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 34-5
GBL 093	0546	112169	65	LMW Stuttgart	R 74, 441 etc. (a)	GBL 135	1377	112363	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 34-5
GBL 094	1533	112928	32	RLM Trier	EV 1999,101	GBL 136	1324	112364	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 34-5
GBL 095	1533	112929	32	RLM Trier	EV 1999,101	GBL 137	1423	112365	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 240-5
GBL 096	1533	112930	32	RLM Trier	EV 1999,101	GBL 138	1382	112366	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 34-5
GBL 097	1793	112931	34	RLM Trier	1986, 9 Fnr. 322e	GBL 139	1356	112367	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 098	1792	112932	34	RLM Trier	1986, 9 Fnr. 252	GBL 140	1415	112368	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 34-5
GBL 099	1786	112933	34	RLM Trier	1986, 9 Fnr. 128c4	GBL 141	1348	112369	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 100	1791	112934	34	RLM Trier	1986, 9 Fnr. 580	GBL 142	1310	112370	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 101	0816	112329	5	RM Xanten	2001,35,1511	GBL 143	1347	112371	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 102	0955	112330	5	RM Xanten	2001,35,150 etc. (b)	GBL 144	1358	112372	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 103	0935	112331	5	RM Xanten	2001,35,5060	GBL 145	1369	112373	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 104	0935	112332	5	RM Xanten	2001,35,5060	GBL 146	1530	114015	32	RLM Trier	EV 1979, 69
GBL 105	0955	112333	5	RM Xanten	2001,35,150 etc. (b)	GBL 147	1518	114016	32	RLM Trier	PM 18131
GBL 106	0955	112334	5	RM Xanten	2001,35,150 etc. (b)	GBL 148	1528	114017	32	RLM Trier	1928, 599
GBL 107	0941	112335	5	RM Xanten	2001,35,1508	GBL 149	1519	114018	32	RLM Trier	PM 16120
GBL 108	0940	112336	5	RM Xanten	2001,35,1509	GBL 150	1523	114019	32	RLM Trier	G IO 84
GBL 109	0945	112337	5	RM Xanten	2001,35,0510	GBL 151	1523	114020	32	RLM Trier	G IO 84
GBL 110	0937	112338	5	RM Xanten	2001,35,502	GBL 152	1523	114021	32	RLM Trier	G IO 84
GBL 111	0823	112339	5	RM Xanten	2001,35,0528 etc. (c)	GBL 153	1666	114022	32	RLM Trier	EV 1961,11e
GBL 112	0945	112340	5	RM Xanten	2001,35,0510	GBL 154	1651	114023	32	RLM Trier	EV 1961,11e
GBL 113	1424	112341	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 107-8	GBL 155	1512	114024	32	RLM Trier	G IO 80
GBL 114	-	112342	12	LM Bonn	HA 95/262, 1-1 etc. (d)	GBL 156	1514	114025	32	RLM Trier	G IO 81
GBL 115	-	112343	12	LM Bonn	HA 95/262, 1-1 etc. (d)	GBL 157	1514	114026	32	RLM Trier	G IO 81
GBL 116	-	112344	12	LM Bonn	HA 95/262, 1-1 etc. (d)	GBL 158	1632	114027	32	RLM Trier	EV 2011,56
GBL 117	1475	112345	12	LM Bonn	1978.1727,0-1	GBL 159	1637	114028	31	RLM Trier	EV 2011,56
GBL 118	1475	112346	12	LM Bonn	1978.1727,0-1	GBL 160	1644	114029	32	RLM Trier	EV 2011,56
GBL 119	1424	112347	10	ABR Bonn	OV 10/002, St. 107-8	GBL 161	1643	114030	32	RLM Trier	EV 2011,56
GBL 120	1173	112348	26	GDKE Koblenz	-	GBL 162	1760	114031	32	RLM Trier	2000,2 Nr. 722
GBL 121	1173	112349	26	GDKE Koblenz	-	GBL 163	1734	114032	35	RLM Trier	EV 2004,220
GBL 122	1178	112350	26	GDKE Koblenz	-	GBL 164	1755	114033	35	RLM Trier	EV 2006,98a
GBL 123	1178	112351	26	GDKE Koblenz	-	GBL 165	1768	114034	32	RLM Trier	EV 1985,111
GBL 124	-	112352	24	LM Bonn	A 374 C 13	GBL 166	1766	114035	32	RLM Trier	1965,16
GBL 125	-	112353	24	LM Bonn	A 374	GBL 167	0560	114036	29	RLM Trier	EV 1924,241
GBL 126	-	112354	24	LM Bonn	A 374	GBL 168	1771	114037	31	RLM Trier	EV 2000,138

Ifd.Nr. MA			FO Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz	Ifd.Nr. MA			FO Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz
GBL 169	0515	114038	32 RLM Trier	EV 2007,179	GBL 211	0416	114081	39 RK Saalburg	S
GBL 170	1531	114039	32 RLM Trier	EV 2010,47	GBL 212	0334	114082	39 RK Saalburg	S.1181/D.26
GBL 171	1532	114040	32 RLM Trier	EV 2010,32	GBL 213	0427	114083	39 RK Saalburg	SB 673
GBL 172	1765	114041	32 RLM Trier	1898,123	GBL 214	0428	114084	39 RK Saalburg	S
GBL 173	1796	114042	34 RLM Trier	1986,9 Fnr. 128h3	GBL 215	0271	114085	39 RK Saalburg	S.1238/D.4
GBL 174	1768	114043	32 RLM Trier	EV 1985,111	GBL 216	0420	114086	39 RK Saalburg	S.1212/P.4
GBL 175	1762	114044	32 RLM Trier	EV 2004,52b	GBL 217	0369	114087	39 RK Saalburg	S.1167/D. 29
GBL 176	1651	114045	32 RLM Trier	EV 1961,11e	GBL 218	0307	114088	39 RK Saalburg	S.1234/D. 2
GBL 177	0560	114046	29 RLM Trier	EV 1924,241	GBL 219	0307	114089	39 RK Saalburg	S.1234/D. 2
GBL 178	1713	114047	21 RLM Trier	EV 2002,108 etc. (e)	GBL 220	0307	114090	39 RK Saalburg	S.1234/D. 2
GBL 179	0486	123707	65 LMW Stuttgart	R 74,546	GBL 221	0307	114091	39 RK Saalburg	S.1234/D. 2
GBL 180	0531	123708	65 LMW Stuttgart	R 74,538	GBL 222	0309	114092	39 RK Saalburg	S.1232/D. 3
GBL 181	0486	123709	65 LMW Stuttgart	R 74,546	GBL 223	0327	114093	39 RK Saalburg	D.1
GBL 182	0530	123710	65 LMW Stuttgart	R 74,225 (1963)	GBL 224	0310	114094	39 RK Saalburg	S.1206
GBL 183	1796	112935	34 RLM Trier	1986,9 Fnr. 128h3	GBL 225	0314	114095	39 RK Saalburg	S.1217/D.32
GBL 184	1762	112936	32 RLM Trier	EV 2004,52b	GBL 226	0296	114096	39 RK Saalburg	S.1243/D.44
GBL 185	1713	112937	21 RLM Trier	EV 2002,108 etc. (e)	GBL 227	0296	114097	39 RK Saalburg	S.1243/D.44
GBL 186	0245	114056	60 MQ Künzing	R 2003,3	GBL 228	0328	114098	39 RK Saalburg	S.1142/H.284
GBL 187	0248	114057	60 MQ Künzing	375 E	GBL 229	0294	114099	39 RK Saalburg	S.1210/D.48; S.1223
GBL 188	0261	114058	60 MQ Künzing	375 E	GBL 230	0421	114100	39 RK Saalburg	S.1159/D.31
GBL 189	0261	114059	60 MQ Künzing	375 E	GBL 231	0433	114101	39 RK Saalburg	S.1228/D.24
GBL 190	0292	114060	60 MQ Künzing	375 E	GBL 232	0343	114102	39 RK Saalburg	S
GBL 191	0292	114061	60 MQ Künzing	375 E	GBL 233	0425	114103	39 RK Saalburg	S.1160/D.22
GBL 192	0239	114062	60 MQ Künzing	R 2003,1	GBL 234	–	123711	? AKM Bonn	C 735
GBL 193	0240	114063	60 MQ Künzing	R 2003,2	GBL 235	–	114053	? AKM Bonn	C 735
GBL 194	0321	114064	60 AS München	394 E	GBL 236	–	123712	? AKM Bonn	C 735
GBL 195	0319	114065	60 AS München	394 E	GBL 237	–	123713	? AKM Bonn	C 735
GBL 196	0340	114066	60 AS München	374 E	GBL 238	1358	114104	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 197	0306	114067	60 AS München	397 E	GBL 239	1351	114105	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 198	0264	114068	60 MQ Künzing	375 E	GBL 240	1307	114106	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 199	0354	114069	60 MQ Künzing	1966,1052 a	GBL 241	1407	114107	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 200	0355	114070	60 MQ Künzing	1966,1052 a	GBL 242	1412	114108	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 201	0440	114071	60 AS München	1966,1073 a	GBL 243	1368	114109	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-12
GBL 202	0405	114072	60 AS München	1966,1052 a	GBL 244	1350	114110	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 203	0449	114073	60 AS München	1966,1055 a	GBL 245	1365	114111	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 204	0476	114074	60 AS München	1966,803 a	GBL 246	1293	114112	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 205	0352	114075	60 MQ Künzing	1966,1052 a	GBL 247	1309	114113	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 206	0351	114076	60 MQ Künzing	1966,1052 a	GBL 248	1359	114114	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 4-14
GBL 207	0483	114077	60 AS München	1966,982 a	GBL 249	1354	114115	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 208	0480	114078	60 AS München	1966,982 a	GBL 250	1352	114116	10 ABR Bonn	OV 10/002, St. 35-7
GBL 209	0480	114079	60 AS München	1966,982 a	GBL 251	0733	–	4 BAM Nimwegen	Hb-01
GBL 210	0406	114080	39 RK Saalburg	S.1177/P.3	GBL 252	0736	–	4 BAM Nimwegen	Hb-04

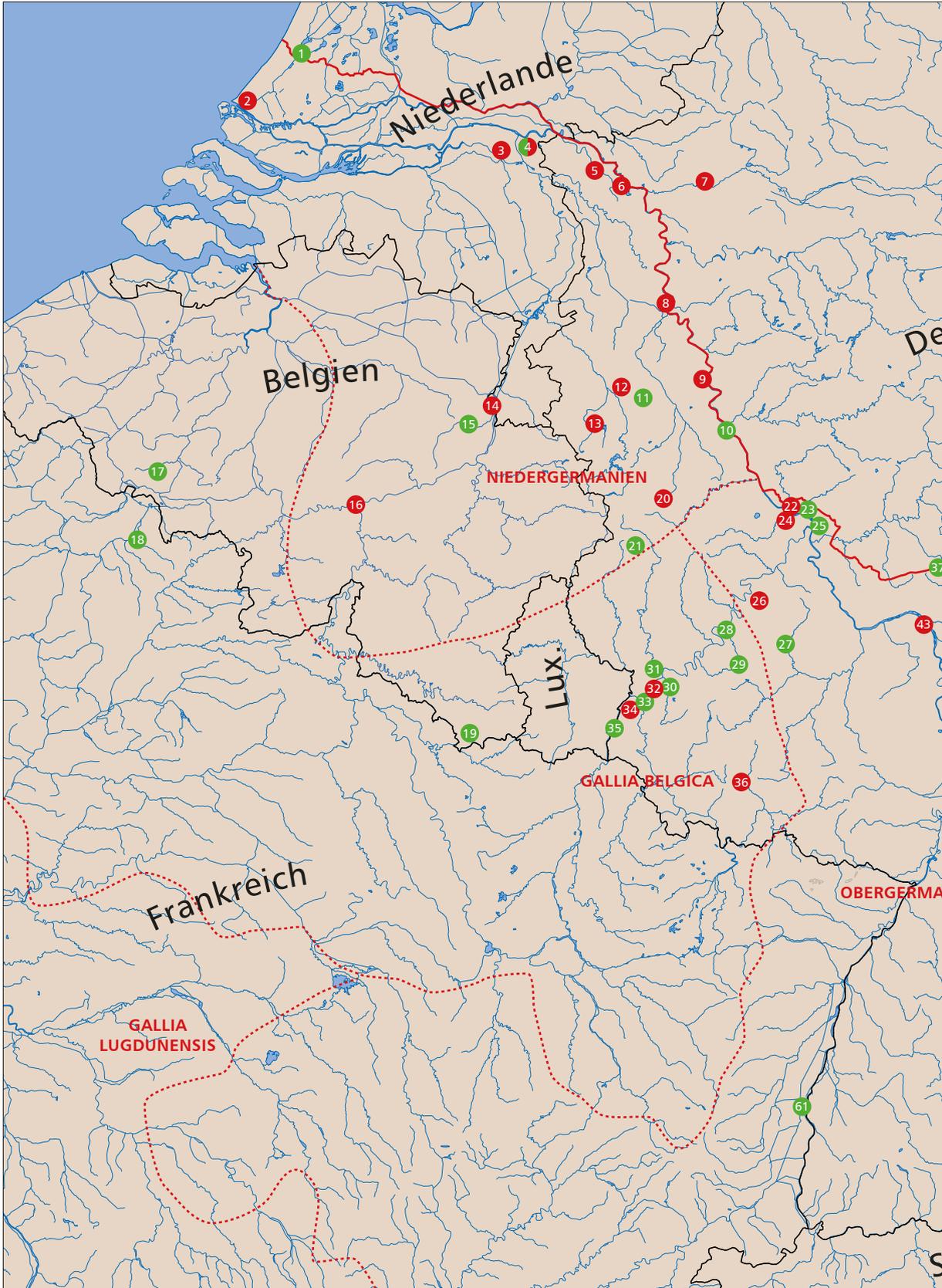
lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz	lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz		
GBL 253	0736	-	4	BAM Nimwegen	Hb-06	GBL 295	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-13
GBL 254	0739	-	4	BAM Nimwegen	Hb-07	GBL 296	0733	123260	4	BAM Nimwegen	Hb-01
GBL 255	0739	-	4	BAM Nimwegen	Hb-07	GBL 297	0749	123262	4	BAM Nimwegen	Hb-51
GBL 256	0756	-	4	BAM Nimwegen	Hb-08	GBL 298	0749	123263	4	BAM Nimwegen	Hb-51
GBL 257	0762	-	4	BAM Nimwegen	Hb-09	GBL 299	0757	123264	4	BAM Nimwegen	Hb-30
GBL 258	0759	-	4	BAM Nimwegen	Hb-10	GBL 300	0772	123265	4	BAM Nimwegen	Hb-14
GBL 259	0741	-	4	BAM Nimwegen	Hb-11	GBL 301	0762	123266	4	BAM Nimwegen	Hb-09
GBL 260	0758	-	4	BAM Nimwegen	Hb-12	GBL 302	-	123267	4	BAM Nimwegen	Hb-39
GBL 261	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-13	GBL 303	-	123268	4	BAM Nimwegen	Hb-36
GBL 262	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-13	GBL 304	0761	123269	4	BAM Nimwegen	Hb-78
GBL 263	0772	-	4	BAM Nimwegen	Hb-14	GBL 305	0760	123270	4	BAM Nimwegen	Hb-31
GBL 264	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-15	GBL 306	1758	123271	32	RLM Trier	EV 2003,142a
GBL 265	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-16	GBL 307	1762	123272	32	RLM Trier	EV 2004,52b
GBL 266	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-17	GBL 308	1717	123273	21	RLM Trier	EV 2002,108 etc. (f)
GBL 267	0766	-	4	BAM Nimwegen	Hb-18	GBL 309	1710	123274	21	RLM Trier	EV 2002,108 Fnr. 3/033
GBL 268	0765	-	4	BAM Nimwegen	Hb-19	GBL 310	1709	123275	21	RLM Trier	EV 2002,108 Fnr. 3/034
GBL 269	0764	-	4	BAM Nimwegen	Hb-20	GBL 311	1700	123276	32	RLM Trier	ST 12343c
GBL 270	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-21	GBL 312	1701	123277	32	RLM Trier	ST 12343a
GBL 271	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-22	GBL 313	1705	123278	32	RLM Trier	ST 6722a
GBL 272	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-23	GBL 314	0561	123279	32	RLM Trier	EV 2011,81
GBL 273	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-24	GBL 315	0562	123280	32	RLM Trier	EV 2011,81
GBL 274	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-25	GBL 316	0554	123281	28	RLM Trier	EV 2007,299a
GBL 275	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-28	GBL 317	0552	123282	30	RLM Trier	EV 2002,134
GBL 276	0763	-	4	BAM Nimwegen	Hb-29	GBL 318	0548	123283	33	RLM Trier	EV 2011,54a
GBL 277	0760	-	4	BAM Nimwegen	Hb-31	GBL 319	1704	123284	32	RLM Trier	ST 11901 F 9326b
GBL 278	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-32	GBL 320	1772	123285	32	RLM Trier	EV 1980,41a etc. (g)
GBL 279	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-36	GBL 321	1756	123286	35	RLM Trier	EV 2006,98c
GBL 280	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-37	GBL 322	1794	123287	34	RLM Trier	1986,9 Fnr. 508
GBL 281	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-38	GBL 323	1807	123288	34	RLM Trier	1986,9 Fnr. 319d
GBL 282	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-40	GBL 324	2047	123289	34	RLM Trier	EV 1994,126 Fnr. 240
GBL 283	0755	-	4	BAM Nimwegen	Hb-44	GBL 325	1767	123290	32	RLM Trier	1965,17
GBL 284	0752	-	4	BAM Nimwegen	Hb-46	GBL 326	0652	123291	4	BAM Nimwegen	Jo 1.04.050
GBL 285	0743	-	4	BAM Nimwegen	Hb-47	GBL 327	0654	123292	4	BAM Nimwegen	Jo 1.06.112
GBL 286	0742	-	4	BAM Nimwegen	Hb-50	GBL 328	0666	123293	4	BAM Nimwegen	La 1.01.071
GBL 287	0749	-	4	BAM Nimwegen	Hb-51	GBL 329	0660	123294	4	BAM Nimwegen	Ke 1.02.309
GBL 288	0754	-	4	BAM Nimwegen	Hb-52	GBL 330	0673	123295	3	BAM Nimwegen	Ti 1.14.008
GBL 289	0746	-	4	BAM Nimwegen	Hb-55	GBL 331	0685	123296	3	BAM Nimwegen	Ti 1.35.033
GBL 290	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-57	GBL 332	0689	123297	3	BAM Nimwegen	Ti 2.04.101
GBL 291	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-74	GBL 333	0640	123298	4	BAM Nimwegen	Mp 1.18.025
GBL 292	0747	-	4	BAM Nimwegen	Hb-75	GBL 334	0639	123299	4	BAM Nimwegen	Mp 1.18.010
GBL 293	0750	-	4	BAM Nimwegen	Hb-76	GBL 335	0647	123300	4	BAM Nimwegen	Mp 1.18.156
GBL 294	-	-	4	BAM Nimwegen	Hb-39	GBL 336	0651	123301	4	BAM Nimwegen	Rb 1.01.005

lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz	lfd.Nr.	MA	FO	Standort	Inv.-Nr. o. ä. Referenz		
GBL 337	0628	123302	4	BAM Nimwegen	Ww 1.15.650	GBL 379	1021	123344	53	ALBW Rastatt	1973-92-107-1
GBL 338	0627	123303	4	BAM Nimwegen	Ww 1.15.163	GBL 380	1022	123345	47	CSM Murrhardt	–
GBL 339	0692	123304	2	Privatbesitz		GBL 381	–	123346	47	CSM Murrhardt	–
GBL 340	0768	123305	4	BAM Nimwegen	Rl 1.02.00044	GBL 382	–	123347	47	CSM Murrhardt	–
GBL 341	0617	123306	4	MHV Nimwegen	Ulp. 1986.812	GBL 383	1176	123348	66	RMZ Kempten	0.316.2
GBL 342	0602	123307	4	MHV Nimwegen	BE.I.24 (GN E I 24)	GBL 384	1171	123349	66	RMZ Kempten	0.316.1
GBL 343	0607	123308	4	MHV Nimwegen	BE.I.25 (GN E I 25)	GBL 385	1167	123350	66	RMZ Kempten	0.316.3
GBL 344	0610	123309	4	MHV Nimwegen	BE.I.87 (GN E I 87)	GBL 386	1186	123351	66	AS München	1981,1483 y
GBL 345	0613	123310	4	MHV Nimwegen	Ulp. 1982.441m	GBL 387	0995	123352	16	MSA Namur	2761
GBL 346	0614	123311	?	MHV Nimwegen	2011.32	GBL 388	1007	123353	41	HGV Echzell	89/8
GBL 347	0634	123312	48	ALBW Rastatt	2005-25-346-6	GBL 389	1079	123354	36	MVFG Saarbrn.	–
GBL 348	0595	123313	48	ALBW Rastatt	2005-25-353-1	GBL 390	1079	123355	36	MVFG Saarbrn.	–
GBL 349	1003	123314	53	ALBW Rastatt	1973-92-32-1	GBL 391	1079	123356	36	MVFG Saarbrn.	–
GBL 350	1004	123315	53	ALBW Rastatt	1973-92-32-2	GBL 392	1279	123357	64	VM Bregenz	–
GBL 351	0990	123316	53	ALBW Rastatt	1973-92-34-1	GBL 393	1279	123358	64	VM Bregenz	–
GBL 352	0989	123317	53	ALBW Rastatt	1973-92-9004-1	GBL 394	1279	123359	64	VM Bregenz	–
GBL 353	0580	123318	61	MGR Biesheim	Fnr. 1830	GBL 395	0756	123360	4	BAM Nimwegen	Hb-08
GBL 354	0672	123319	49	LMW Stuttgart	R 74,813.115	GBL 396	0756	123361	4	BAM Nimwegen	Hb-08
GBL 355	0670	123320	49	LMW Stuttgart	SF I/64 u. R Nu 71	GBL 397	1026	123362	43	LM Mainz	R 631
GBL 356	0682	123321	53	LMW Stuttgart	R 80,279	GBL 398	1026	123363	43	LM Mainz	R 631
GBL 357	0677	123322	53	LM Aalen	R 80,71	GBL 399	1026	123364	43	LM Mainz	R 631
GBL 358	0986	123323	19	MA Arlon	JAR GR/BR 006	GBL 400	1428	123365	43	LM Mainz	0,3019
GBL 359	0985	123324	19	MR Brüssel	B 12-1	GBL 401	1428	123862	43	LM Mainz	0,3019
GBL 360	0984	123325	18	MR Brüssel	B 270	GBL 402	1428	123863	43	LM Mainz	0,3019
GBL 361	0586	123326	15	PGRM Tongern	GRM 2547	GBL 403	1023	123864	56	RM Weißenburg	WUG 61 a
GBL 362	0582	123327	15	PGRM Tongern	73.L.14	GBL 404	1023	123865	56	RM Weißenburg	WUG 61 a
GBL 363	0570	123328	15	PGRM Tongern	73.L.13	GBL 405	1023	123866	56	RM Weißenburg	WUG 61 a
GBL 364	0588	123329	15	PGRM Tongern	GRM 5868	GBL 406	1024	123867	56	RM Weißenburg	WUG 61 b
GBL 365	0589	123330	15	PGRM Tongern	GRM 4461 / C. 130	GBL 407	1022	123868	47	CSM Murrhardt	–
GBL 366	1490	123331	22	LM Bonn	9132	GBL 408	1185	123869	7	MfA Herne	Fz. 13
GBL 367	0678	123332	53	LMW Stuttgart	R 80, 58	GBL 409	1183	123870	7	AfW Münster	Fz. 3699
GBL 368	–	123333	–	LM Bonn	WW 04/0061, St. 70-6	GBL 410	1183	123871	7	AfW Münster	Fz. 3699
GBL 369	0709	123334	2	PAD Alphen	8000	GBL 411	1183	123872	7	AfW Münster	Fz. 3699
GBL 370	0718	123335	2	PAD Alphen	8000	GBL 412	1165	123873	11	Privatbesitz	–
GBL 371	0702	123336	2	PAD Alphen	829001	GBL 413	1166	123847	9	LM Bonn	5071
GBL 372	0729	123337	2	PAD Alphen	8000	GBL 414	1239	123875	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 373	0719	123338	2	PAD Alphen	5144	GBL 415	1240	123876	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 374	0720	123339	2	PAD Alphen	2509	GBL 416	1477	123877	23	LM Bonn	E 2549
GBL 375	0696	123340	2	PAD Alphen	NAAK-04-0801.09	GBL 417	1244	123878	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 376	0692	123341	2	Privatbesitz		GBL 418	1252	123879	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 377	0930	123342	?	LM Bonn	1762	GBL 419	1243	123880	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 378	0991	123343	53	ALBW Rastatt	1973-92-37-1	GBL 420	1219	123881	55	SM Gunzenhs.	1721

	Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz		Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz
GBL 421	1221	123882	55	SM Gunzenhs.	1721	GBL 463	1277	123924	49	Privatbesitz	
GBL 422	1220	123883	55	verschieden	(h)	GBL 464	1426	123925	43	UFG Erlangen	R 309
GBL 423	1223	123884	55	SM Gunzenhs.	1721 u. 1987,2246	GBL 465	1089	123926	54	SM Gunzenhs.	698 a.b
GBL 424	1253	123885	55	AS München	1987,2245	GBL 466	1094	123927	54	AS München	1983,2569
GBL 425	1237	123886	55	AS München	1987,2246 etc. (i)	GBL 467	1084	123928	54	SM Gunzenhs.	698 a.b
GBL 426	1234	123887	55	SM Gunzenhs.	1721	GBL 468	1086	123929	54	SM Gunzenhs.	698 a.b
GBL 427	1209	123888	55	AS München	1987,2327	GBL 469	1247	123930	55	SM Gunzenhs.	1721
GBL 428	1238	123889	55	verschieden	(j)	GBL 470	1149	123931	66	AS München	1981,1483 z
GBL 429	1212	123890	55	AS München	1987,2299	GBL 471	1621	123932	7	AfW Münster	4044
GBL 430	1194	123891	42	Privatbesitz	–	GBL 472	–	123933	–	LM Bonn	–
GBL 431	1195	123892	42	Privatbesitz	–	GBL 473	–	123934	–	LM Bonn	–
GBL 432	1006	123893	42	WM Friedberg	2011/19	GBL 474	1381	123935	66	AS München	NM 11/273
GBL 433	1005	123894	42	Privatbesitz	–	GBL 475	1182	123936	26	GDKE Koblenz	–
GBL 434	1190	123895	51	ALBW Rastatt	–	GBL 476	1182	123937	26	GDKE Koblenz	–
GBL 435	1193	123896	51	ALBW Rastatt	–	GBL 477	1177	123938	26	GDKE Koblenz	–
GBL 436	1191	123897	51	ALBW Rastatt	–	GBL 478	1181	123939	26	GDKE Koblenz	–
GBL 437	1189	123898	51	ALBW Rastatt	–	GBL 479	1118	123940	5	RM Xanten	97-940-33-3242 (l)
GBL 438	1504	123714	52	LM Aalen	1979-35-358-1	GBL 480	1125	123941	5	RM Xanten	97-940-10-1844 (l)
GBL 439	1511	123715	52	verschieden	(k)	GBL 481	1135	123942	5	RM Xanten	97-1-600-2821 (l)
GBL 440	1607	123716	52	LM Aalen	1979-35-476-13	GBL 482	1134	123943	5	RM Xanten	97-1-209-1382 (l)
GBL 441	1323	123902	57	AS München	1993,5413	GBL 483	1137	123944	5	RM Xanten	97-2112-9-3261 (l)
GBL 442	1311	123903	57	AS München	NM 2523	GBL 484	1128	123945	5	RM Xanten	97-1-209-1384 (l)
GBL 443	1332	123904	57	AS München	Pförring 2523	GBL 485	–	131090	13	LM Bonn	1968834
GBL 444	1336	123905	57	AS München	1993,5414	GBL 486	1001	131091	17	Privatbesitz	–
GBL 445	1325	123906	57	AS München	1993,5407	GBL 487	1001	131092	17	Privatbesitz	–
GBL 446	1331	123907	57	AS München	1993,5358	GBL 488	1437	131093	43	LM Mainz	R 5968
GBL 447	1306	123908	64	VM Bregenz	623 u. 626	GBL 489	1438	131094	43	LM Mainz	R 5968
GBL 448	1306	123909	64	VM Bregenz	625 u. 626	GBL 490	1432	131095	43	LM Mainz	0,3020
GBL 449	1306	123910	64	VM Bregenz	623 u. 626	GBL 491	1439	131096	43	LM Mainz	R 5969
GBL 450	1281	123911	64	VM Bregenz	626	GBL 492	1430	131097	43	LM Mainz	0,3018
GBL 451	1283	123912	64	VM Bregenz	635	GBL 493	1429	131098	43	LM Mainz	0,3071
GBL 452	1284	123913	64	VM Bregenz	11.17	GBL 494	1429	131099	43	LM Mainz	0,3071
GBL 453	1291	123914	64	VM Bregenz	633	GBL 495	1428	131100	43	LM Mainz	0,3019
GBL 454	1287	123915	64	VM Bregenz	621	GBL 496	1428	131101	43	LM Mainz	0,3019
GBL 455	1300	123916	64	VM Bregenz	623	GBL 497	1435	131102	43	LM Mainz	R 2119
GBL 456	1301	123917	64	VM Bregenz	625	GBL 498	1429	131103	43	LM Mainz	0,3071
GBL 457	1298	123918	64	VM Bregenz	623,625 u. 626	GBL 499	1432	131104	43	LM Mainz	0,3020
GBL 458	1342	123919	63	RM Augsburg	VF 1382	GBL 500	1523	131105	32	RLM Trier	G IO 84
GBL 459	1296	123920	64	VM Bregenz	626	GBL 501	–	131106	34	RLM Trier	1987,129 FN. 41
GBL 460	1295	123921	64	VM Bregenz	626	GBL 502	0079	131107	32	RLM Trier	1920,61
GBL 461	1343	123922	63	RM Augsburg	VF 665	GBL 503	1299	131108	10	ABR Bonn	OV 10/002,St. 1-28
GBL 462	1344	123923	63	RM Augsburg	VF 428	GBL 504	2043	131109	27	LM Bonn	U.1695,0-1

	Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz		Ifd.Nr. MA		FO Standort		Inv.-Nr. o. ä. Referenz
GBL 505	2044	131110	27	LM Bonn	U.1697,0-2	GBL 535	1821	131137	67	RU Bochum	S 1071
GBL 506	–	131111	6	LM Bonn	32100,0-1	GBL 536	1821	131138	67	RU Bochum	S 1071
GBL 507	1678	131112	46	ALBW Rastatt	2003-61-431-1	GBL 537	1821	131139	67	RU Bochum	S 1071
GBL 508	1679	131113	46	ALBW Rastatt	2003-61-431-1	GBL 538	1821	131140	67	RU Bochum	S 1071
GBL 509	1680	131114	46	ALBW Rastatt	2003-61-431-1	GBL 539	1821	131141	67	RU Bochum	S 1071
GBL 510	1667	131115	46	ALBW Rastatt	2003-61-431-1	GBL 540	–	–	10	ABR Bonn	–
GBL 511	1657	131116	46	LM Aalen	2003-61-431-1	GBL 541	–	–	–	LM Bonn	modern
GBL 512	1649	131117	46	ALBW Rastatt	2003-61-431-1	GBL 542	–	–	–	LM Bonn	modern
GBL 513	1500	131118	22	LM Bonn	32177,0-1	GBL 543	–	132641	44	LfD Darmstadt	EV 2012:19, Fn. 1b
GBL 514	1425	131119	10	LM Bonn	E.1098	GBL 544	–	132642	44	LfD Darmstadt	EV 2011:212
GBL 515	1492	131120	22	LM Bonn	32185,0-1	GBL 545	–	141322	6	LM Bonn	1956.858,0-1
GBL 516	1168	131121	22	LM Bonn	E.1679,3	GBL 546	–	141323	6	LM Bonn	1956.858,0-1
GBL 517	1466	131122	22	LM Bonn	E.2608	GBL 547	–	146254	68	VM Paksch	2011.18.1
GBL 518	2045	131123	26	LM Bonn	–	GBL 548	–	147358	6	RM Xanten	Fnr. C 53291
GBL 519	2045	131124	26	LM Bonn	–	GBL 549	–	–	–	LM Bonn	–
GBL 520	2045	131125	26	LM Bonn	–	GBL 550	–	–	–	LM Bonn	–
GBL 521	1164	131126	12	LM Bonn	1978.1899,0-1	GBL 551	–	161780	8	ABR Bonn	PR 2015/79-2-260-1
GBL 522	1164	131127	12	LM Bonn	1978.1899,0-1	GBL 552	–	161781	8	ABR Bonn	PR 2015/79-2-170-1
GBL 523	–	131128	44	LfD Darmstadt	Paz 197 Fundz. 24452	GBL 553	–	161782	8	ABR Bonn	PR 2015/0079-2-2-96-1
GBL 524	1808	131142	44	LfD Darmstadt	Fundzettel 24472	GBL 554	–	161780	8	ABR Bonn	PR 2015/79-2-260-1
GBL 525	–	131129	44	LfD Darmstadt	Paz 197 Fundz. 24452	–	0276	–	60	MQ Künzing	375 E
GBL 526	1350	131130	10	ABR Bonn	Ov 10/002, St. 4-14	–	0291	–	60	MQ Künzing	375 E
GBL 527	1460	–	25	LM Bonn	E.2607	–	0532	–	65	LMW Stuttgart	R 74, 559
GBL 528	1460	131130	25	LM Bonn	E.2607	–	0712	–	1	RvO Leiden	LEIN-00 1-2-22
GBL 529	–	131131	40	LfD/RGK	2009/40, 61490	–	0966	–	6	RM Xanten	34.0273 etc. (m)
GBL 530	–	131132	40	LfD/RGK	2009/40, 61580	–	0967	–	6	RM Xanten	42,3
GBL 531	–	131133	40	LfD/RGK	2009/40, 61488	–	1184	–	7	AfW Münster	Fz. 1684
GBL 532	–	131134	40	LfD/RGK	2009/40, 61487	–	1711	–	21	RLM Trier	EV 2002,108 etc. (n)
GBL 533	–	131135	40	LfD/RGK	2009/40, 61486	–	1712	–	21	RLM Trier	–
GBL 534	–	131136	40	LfD/RGK	2009/40, 61321	–	1716	–	21	RLM Trier	–

Konkordanz der Probennummern im Projekt ›Großbronzen am Limes‹ (GBL), der laufenden Nummern in der Datenbank zu diesem Projekt (Ifd. Nr.; vgl. den Fußnotenvorspann) sowie der Probennummerierung des Curt-Engelhorn-Zentrums Mannheim (MA), Probenuntersuchungen des Museum Het Valkhof (Hb-Nummern des Projektes ›Hessenberg‹, GBL 251–305) sind in der rechten Spalte vermerkt, weitere fanden in den Wielandwerken Ulm statt (GBL 527 und 540–542). Vermerkt ist jeweils auch der Fundort gemäß Katalog und Abb. 28 (FO) sowie der Standort mit Inventarnummer und ähnlicher Referenz. – (a) R 74, 441 und R 74, 578. – (b) 2002, 35.150 und 2002, 35.1511. – (c) 2002, 35.0528, 0529 und 0531. – (d) HA 95/262, 1-1, 2006,332. – (e) EV 2002, 108 Fnr. 14/008. – (f) EV 2002, 108 Fnr. 14/007. – (g) EV 1980,41a (= EV 1978,57d). – (h) SM Gunzenhs. Inv. 1721; AS München Inv. 1987,2269 und Privatbesitz Kastell Theilenhofen (Klaus Wasmuth); (i) 1987,2246 und 1987,2314. – (j) AS München Inv. 1987,2295, 1968,244 a und 1987,2269 sowie Privatbesitz Kastell Theilenhofen (Klaus Wasmuth); (k) LMW Stuttgart 1979-35-479-21, -23, -35, -49, -55, -116 und -122 sowie LM Aalen R 82, A 479 s. – (l) vorangestelltes ›Ni 2000/‹ (= NI 2000/?). – (m) 34.0273 (ehem. E B Nr. 54/34). – (n) EV 2002,108 St. 14 FNR. 14/006.



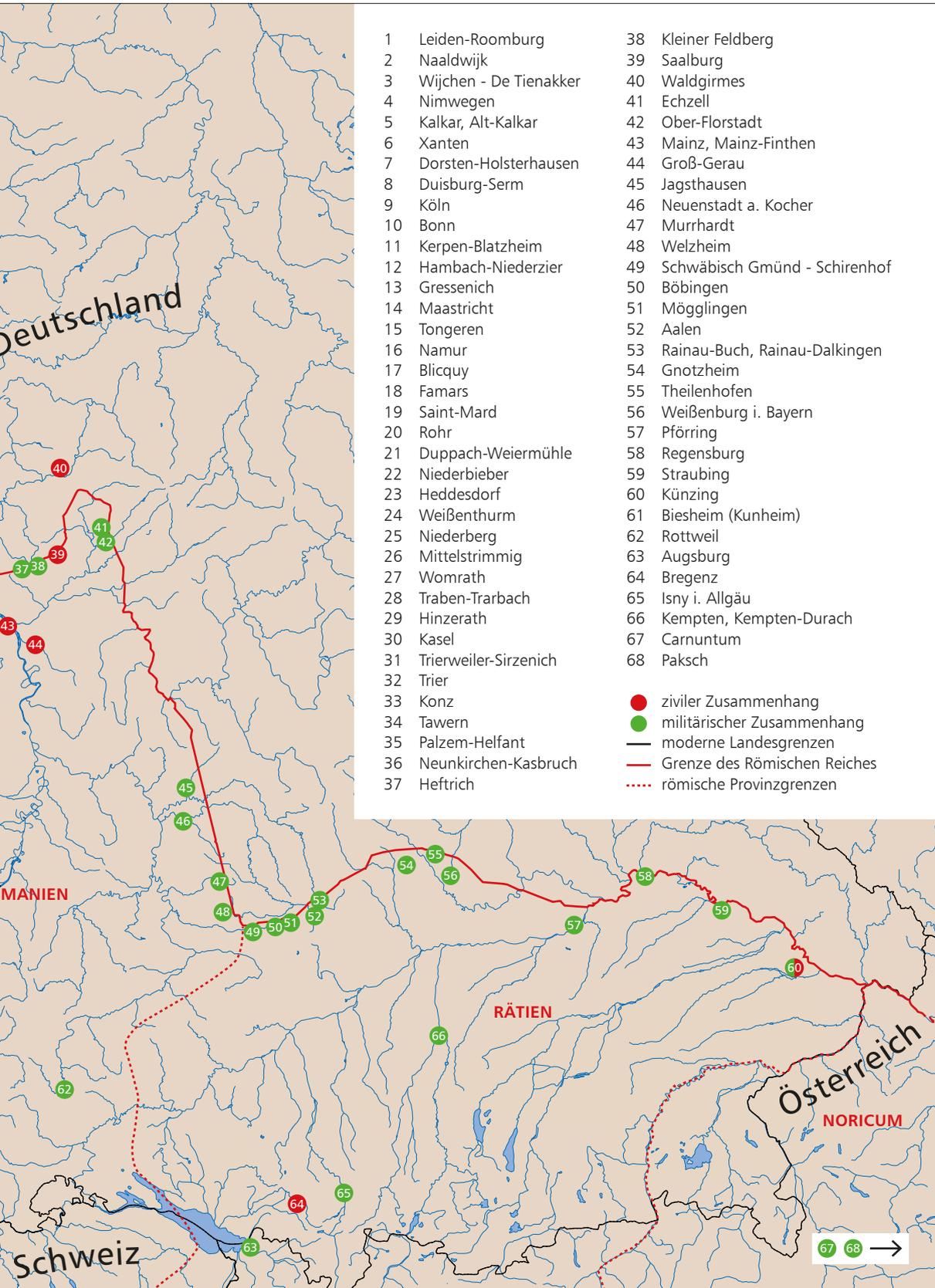


Abb. 28 Die im Katalog angeführten Fundorte von Großbronzen.

## Abkürzungen, Aufbewahrungsorte

(Nur bei nichtdeutschen Orten wird auch das Land genannt.)

ABR Bonn	LVR - Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland, Bonn
AfW Münster	LWL - Archäologie für Westfalen, Außenstelle Münster
AKM Bonn	Akademisches Kunstmuseum Bonn
ALBW Rastatt	Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Außenstelle Rastatt
AS München	Archäologische Staatssammlung, München
BAM Nimwegen	Bureau Archeologie en Monumenten van de Gemeente Nijmegen, Nijmegen, Niederlande
CSM Murrhardt	Carl-Schweizer-Museum, Murrhardt
DM Rottweil	Dominikanermuseum Rottweil
GDKE Koblenz	Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, Koblenz
GM Straubing	Gäubodenmuseum Straubing
HGV Echzell	Heimat- und Geschichtsverein Echzell e. V.
LfD Darmstadt	Landesamt für Denkmalpflege Hessen, Außenstelle Darmstadt
LfD/RGK	Landesamt für Denkmalpflege Hessen und RGK
LM Aalen	Limesmuseum Aalen
LM Bonn	LVR - Landesmuseum Bonn
LM Mainz	Landesmuseum Mainz
LMW Stuttgart	Landesmuseum Württemberg, Stuttgart
MA Arlon	Musée Archéologique, Arlon, Belgien
MfA Herne	LWL - Museum für Archäologie, Herne
MGR Biesheim	Musée Gallo-Romain de Biesheim, Frankreich
MHV Nimwegen	Museum Het Valkhof, Nijmegen
MQ Künzing	Museum Quintana Künzing
MR Brüssel	Musées royaux d'Art et d'Histoire, Brüssel, Belgien
MSA Namur	Musée de la Société archéologique, Namur, Belgien
MVFG Saarbrn.	Stiftung Saarländischer Kulturbesitz. Museum für Vor- und Frühgeschichte Saarbrücken
PAD Alphen	Alphen am Rhein, Prov. Arch. Depot-Provincie Zuid-Holland, Niederlande
PDB Maastricht	Provinciaal Depot voor Bodenvondsten, Maastricht
PGRM Tongern	Provinciaal Gallo-Romeins Museum, Tongern, Belgien
RK Saalburg	Römerkastell Saalburg, Bad Homburg v. d. Höhe
RLM Trier	Rheinisches Landesmuseum Trier
RM Augsburg	Römisches Museum Augsburg
RM Weißenburg	Römermuseum Weißenburg
RM Xanten	LVR - Römermuseum Xanten
RMZ Kempten	Römisches Museum im Zumsteinhaus, Kempten i. Allgäu
RU Bochum	Kunstsammlungen der Ruhr-Universität Bochum
RvO Leiden	Museum van de Oudheiden, Leiden, Niederlande
SM Gunzenhs.	Stadtmuseum Gunzenhausen
UFG Erlangen	Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Ur- und Frühgeschichte
VM Bregenz	Vorarlbergmuseum Bregenz
VM Paksch	Paksi Városi Múzeum, Paksch, Ungarn
WM Friedberg	Wetteraumuseum Friedberg (Hessen)

## Abkürzungen, allgemein

CEZ	Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, Mannheim
FO	Fundorte der Karte Abb. 28
GBL	Probennummern im Projekt ›Großbronzen am Limes‹
Gruppe H	eine heterogene Bleiart nicht genau lokalisierbarer Herkunft, vor allem im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes verbreitet
lfd. Nr.	Nummerierung der Datenbank des Projektes ›Großbronzen am Limes‹, s. den Fußnotenvorspann
ORL	Nummerierung der Militärstandorte am Obergermanisch-Raetischen Limes gemäß Deutsche Limeskommission

## Abkürzungen, Literatur

Bode/Hauptmann/Mezger, Lead Sources	M. Bode / A. Hauptmann / K. Mezger, Tracing Roman lead sources using lead isotope analyses in conjunction with archaeological and epigraphic evidence. A case study from Augustan/Tiberian Germania. <i>Arch. and Anthropol. Scien.</i> 1, 2009, H. 3, 177–194.
Caley, Chemical Composition	E. R. Caley, Chemical Composition of Greek and Roman Statuary Bronzes. In: S. Doeringer / D. G. Mitten / A. Steinberg (Hrsg.), <i>Art and Technology. A symposium on classical bronze</i> (Cambridge 1970) 37–49.
Das Wrack	Das Wrack. Der antike Schiffsfund von Mahdia, Ausst. Bonn (Köln 1994).
Domergue, mines	C. Domergue, <i>Les mines antiques. La production des métaux aux époques grecque et romaine</i> (Paris 2008).
Gebrochener Glanz	Gebrochener Glanz. Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes. Ausst. Bonn, Aalen, und Nimwegen 2014–2015 (Mainz 2014).
Hirt, Imperial Mines	A. M. Hirt, <i>Imperial Mines and Quarries in the Roman World. Organizational Aspects 27 BC–AD 235</i> (Oxford 2010).
Lahusen/Formigli, Bildnisse	G. Lahusen / E. Formigli, <i>Römische Bildnisse aus Bronze. Kunst und Technik</i> (München 2001).
Mattusch/Bramer/Knudsen, From the Parts	C. Mattusch / A. Bramer / S. E. Knudsen (Hrsg.), <i>From the Parts to the Whole. Acta of the 13th International Bronze Congress, Cambridge, Mass. 1996, Bd. II. Journal Roman Arch. Suppl. Ser. 39</i> (Portsmouth und Rhode Island 2002).
Menzel, Bronzen Bonn	H. Menzel, <i>Die römischen Bronzen aus Deutschland III. Bonn</i> (Mainz 1986).
Oddy, History	W. A. Oddy, A history of gilding with particular reference to statuary. In: T. Drayman-Weisser (Hrsg.), <i>Gilded Metals. History, Technology and Conservation</i> (London 2000) 1–19.
Peltz/Schalles, Xantener Knabe	U. Peltz / H.-J. Schalles, <i>Der Xantener Knabe. Technologie, Ikonographie, Funktion und Datierung. Xantener Ber. 22</i> (Darmstadt und Mainz 2011).

Raub, Metallkunde	C. Raub, Was kann der Archäologe von der Metallkunde erwarten? Beispiele aus Baden-Württemberg. <i>Fundber. Baden-Württemberg</i> 10, 1985, 343–365.
Salcuni/Formigli, Grandi bronzi	A. Salcuni / E. Formigli, Grandi bronzi romani dall'Italia settentrionale. Brescia, Cividate Camuno e Verona. <i>Frankfurter Arch. Schr.</i> 17 (Bonn 2011).
Schwab, Kupferlegierungen	R. Schwab, Eisenzeitliche Kupferlegierungen und Kupferverarbeitung zwischen Alpen und Eifel. In: S. Hornung (Hrsg.), <i>Produktion – Distribution – Ökonomie. Siedlungs- und Wirtschaftsmuster der Latènezeit</i> , Kongr. Otzenhausen 2011. <i>Universitätsforsch. Prähist. Arch.</i> 248 (Bonn 2014) 149–162.
Stoll, Skulpturenausstattung	O. Stoll, Die Skulpturenausstattung römischer Militäranlagen an Rhein und Donau. <i>Der Obergermanisch-Rätische Limes. Pharos</i> 1 (Sankt Katharinen 1992).
True/Podany, Small Sculpture	M. True / J. Podany (Hrsg.), <i>Small Bronze Sculpture from the Ancient World</i> (Malibu 1990).
Willer, Sockelung	F. Willer, Beobachtungen zur Sockelung von bronzenen Statuen und Statuetten. <i>Neue Forschungen zum Schiffsfund von Mahdia. Bonner Jahrb.</i> 196, 1996, 337–370.

*Bildrechte.* Abb. 1 Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Manuela Schreiner); Abb. 68 dass. (Sascha Heckmann). – Abb. 2, 3, 31, 57 b, 60, 63 b, 64 und 74 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Dietmar Meinel und Yener Onel) sowie LMB (Frank Willer, bei [3] auch Theo Gerhards). – Abb. 4–6, 12, 14, 17, 21, 22 und 37 b CEZ (Roland Schwab); Abb. 29 dass. (ders.) sowie LMB (Frank Willer); Abb. 7 b und c CEZ (Silvia Mitschke). – Abb. 7 a, 11, 16, 18–20, 25, 32, 33, 36, 37 a, 38, 42–44, 50 b, 51 b, 52, 67 und 69 LMB (Frank Willer); Abb. 41 und 55 dass. (ders. und Christoph Duntze); Abb. 46 dass. (dies. und Holger Becker); Abb. 9, 10, 15, 23, 24, 35, 39, 40, 47, 49, 53, 54, 56, 57 a, 66, 70, 72, 73, 76, 79, 81 und 82 dass. (Jürgen Vogel); Abb. 58 und 77 dass. (ders. und Holger Becker); Abb. 30 dass. (Jürgen Vogel und Theo Gerhards); Abb. 62 dass. (Jürgen Vogel) sowie Sascha Heckmann; Abb. 50 a, 59 und 63 a LMB (Theo Gerhards); Abb. 78b dass. (ders., Frank Willer, Martin Pütz und Christoph Duntze); Abb. 28 dass. (Olaf Dräger, Martin Pütz und Christoph Duntze); Abb. 80 dass. (Manuela Mirschenz). – Abb. 8 Gießerei-Institut RWTH-Aachen (Monika Wirth). – Abb. 13 RGK (Jürgen Bahlo). – Abb. 26 und 27 Kommunikationsdesign Burkard Pfeifroth, Reutlingen, sowie LMB (Frank Willer). – Abb. 34, 71, 75, 51 a Sascha Heckmann. – Abb. 45 Landesamt für Denkmalpflege Hessen (Angelika Ulbrich). – Abb. 48 LMW Stuttgart (Sascha Heckmann). – Abb. 61 und 65 Museum Het Valkhof, Nimwegen (Ronny Meijers).

*Resümee.* Über fünftausend Fragmente römischer Bronzestatuen aus den Provinzen Germania inferior, Germania superior, Gallia Belgica und Raetia wurden in den Jahren 2010 bis 2015 im Rahmen des von der Volkswagenstiftung geförderten Forschungsprojektes ›Römische Großbronzen am UNESCO-Welterbe Limes‹ untersucht. Eine statistisch relevante Anzahl von Fragmenten wurde mit archäometrischen Methoden wie Röntgenfluoreszenzanalyse, Metallographie und Bleiisotopenanalyse näher erforscht. Technische Aspekte wie Legierungszusammensetzung, Bleiprovenienz, Modellage, Gießverfahren und Vergoldung sowie Nachweise von Wiederverwendung standen im Zentrum dieser Untersuchungen, die von zahlreichen experimentellen Forschungen begleitet wurden. Chronologische, geographische und kontextuelle Informationen aus der Funddokumentation wurden mit technischen Beobachtungen und archäometrischen Werten abgeglichen.

*Summary.* More than five thousand fragments of Roman bronze statues from the provinces Germania inferior, Germania superior, Gallia Belgica and Raetia have been examined within the course of the research project ›Roman bronze statues from the UNESCO World Heritage Limes‹ funded by the Volkswagen-Foundation from 2010 to 2015. A statistically relevant number of fragments was selected for a closer analysis using archaeometric methods like X-ray fluorescence analysis (XRF), metallography and lead isotope analysis. Technological features like alloy compositions, provenances of lead, modelling, casting and gilding as well as recycling formed the focus of those investigations which were completed by experimental research. Chronological, geographical and contextual data from the finds documentation were compared with technical observations and archaeometric values.

*Resumé.* Oltre cinquemila frammenti di statuaria romana in bronzo dalle province Germania inferior, Germania superior, Gallia Belgica e Raetia sono stati oggetto dell'ampio progetto di ricerca ›Statue romane in bronzo dal limes, Patrimonio mondiale dell'umanità (UNESCO)‹ cofinanziato dalla Fondazione Volkswagen dal 2010 al 2015. Un numero di frammenti statisticamente rilevante è stato scelto per approfondite indagini archeometriche quali la spettroscopia XRF, la metallografia e l'analisi isotopica del piombo. Caratteristiche tecniche quali la composizione della lega metallica, la provenienza del piombo (indagine delle ›minime tracce‹), la formazione del modello, i processi di fusione e doratura nonché le testimonianze di riuso sono al centro delle ricerche, comprensive anche di indagini sperimentali. Aspetti cronologici, geografici e sociali dei contesti locali sono stati combinati con osservazioni tecniche e valori archeometrici.



## Katalog. Fundortbezogene Auswertung

Analysedaten zu den jeweiligen Probennummern (GBL-Nr.) sind der Analysentabelle zu entnehmen. Weitere Einzelheiten wie zum Beispiel Wirbelstromdaten, Röntgenbilder und Computertomographie-Filme sind anhand der GBL-Nummern und der laufenden Datenbank-Nummern (Lfd. Nr.) unter [www.grossbronzenamlimes.de](http://www.grossbronzenamlimes.de) zu recherchieren. Die Nummerierung der Fundorte (FO) ist in der Karte Abbildung 28 aufgelöst. Die Datierung der Kastelle folgt, wenn nicht anders angegeben, den Angaben unter <http://www.deutscheslimeskommission.de>. Ein Fundort kann mehrere Fundstellen beinhalten. Wegen begrenzter Ressourcen und aus organisatorischen Gründen wurden nicht alle Fundorte archäometrisch analysiert, sie sind jedoch alle in der Datenbank erfasst. Bei Angabe zur Legierungszusammensetzung wird der Kupferanteil nicht immer genannt.

*Aalen* (ORL 66, FO 52, GBL 38–53, 67, 81, 83, 91 und 438–440)

Aus dem Kastell Aalen (etwa 150 bis 259/60 n. Chr.), dem größten Alenstandort am Obergermanisch-Rätischen Limes, stammen über 2035 ausschließlich kleinteilige Statuenfragmente mit einem Gesamtgewicht von 18,71 Kilogramm, von denen die genannten dreißig repräsentativen Stücke zur Beprobung und Analyse ausgewählt wurden (Abb. 1). Sie lagen in einer Fundkonzentration im Bereich des Fahnenheiligtums, dessen Keller offenbar als Wertdepot der von der Mitte des zweiten bis zur Mitte des dritten Jahrhunderts hier stationierten Ala II Flavia Milliaria genutzt wurde (M. Kemkes in: *Gebrochener Glanz* 131–133 Abb. 2; 3 mit Lit.). Schmelzspuren an einigen Fragmenten stammen höchstwahrscheinlich vom Feuer bei der Verwüstung des Lagers um 259/260 n. Chr. (D. Planck, *Aalener Jahrb.* 1984, 13–40), nicht von der intentionellen Einschmelzung der Bronzen.

Die geringe und verhältnismäßig einheitliche Größe der Fragmente legt jedoch nahe, dass diese

bereits zum Wiedereinschmelzen vorbereitet und auf Tiegelgröße zerschlagen worden sind. Unterschiede in der Ausführung der Kaltarbeit können auf verschiedene Handwerker und somit auf mehrere Statuen hinweisen. Reparaturbleche wurden zum Teil mit Weichlot eingesetzt. Es gibt Hinweise auf polychrome eingelegte Verzierungen in Niello und Tauschierungen. Zahlreiche Stücke weisen eine Zinnseigerung an der Oberfläche auf (Abb. 29, GLB 83, s. a. Abb. 1). Es ist nicht auszuschließen, dass die dadurch ehemals vermutlich silbrig wirkende Bronzoberfläche vieler Aalener Stücke bereits durch den Guss bedingt war und dann zur farbigen Gestaltung genutzt wurde (H.-A. Kuhn / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 185 f. Abb. 1–2. – Zur Zinnseigerung s. o., vgl. den Haupttext, Abschnitt ›Schwarz-silbrige Oberfläche‹, s. Abb. 20). Dieses auch in der modernen Buntmetallfabrikation wohlbekannte Phänomen silbriger Zinnausscheidungen an der Oberfläche konnte schon während des Gießens, aber auch durch nachträgliches Tempern der Bronze experimentell erzeugt werden. Eines der drei aus Aalen geborgenen



Abb. 29 a–b Haarfragment aus Aalen (GBL 83) mit schwarzer Oberfläche. Rechts im Bild Anschliffprobe mit hellen Bereichen der Zinnseigerung.



Abb. 30 Fragmente aus Augsburg. Augsburg, Römisches Museum

Fragmente einer Plinthenleiste (GBL 91) zeigt neben einer zinnreichen Oberfläche zudem im metallographischen Anschliffbild Reste von Weichlot, welches zur Montage am Sockel diente (s. a. Farbtafel 3, 2).

Die Bronzelegierungen aus Aalen lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Die erste (GBL 38, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 67, 85 und 86) kennzeichnet ein mittlerer Gehalt an Zinn und ein hoher an Blei (Sn 2–7 %, Pb 17–23 %). Die zweite Gruppe (GBL 45, 88, 89, 90 und 91) zeigt einen hohen Anteil an Zinn und einen geringen an Blei (Sn 9–15 %, Pb 3–5 %). Die dritte Gruppe (GBL 39, 44, 51, 83, 87, 438, 439 und 440) hat ausgewogene Werte (Sn 8–12 %, Pb 8–16 %). Die Spurenelemente lassen keine weitere Differenzierung zu, da sie eine homogene Gruppe bilden, von der lediglich ein geschmolzenes Bruchstück (GBL 88 und 89) und ein Plinthenleistenfragment (GBL 47) abweichen. Unter den zahlreichen kleinteiligen Bruchstücken wurden drei Plinthenleistenfragmente geborgen, es könnte sich also bei den zahlreichen Fragmenten um Reste von mindestens drei unterschiedlichen, zerschlagenen Statuen handeln. Das Plinthenleistenfragment weicht jedoch in seiner Zusammensetzung vollständig von allen anderen ab und enthält zudem den höchsten gemessenen Wert für Antimon in der gesamten Analysenserie aller Fundorte (Sb 2,6 %). Demnach könnte es aus einer früheren

Produktionsphase stammen und wäre sekundär im Aalener Kastell verwendet worden. Auch isotopisch weicht das Blei dieses Fragments von allen anderen Werten ab und findet Entsprechungen in Bleierzen des spanischen Baskenlandes, wo römische Minen nachgewiesen sind (Domergue, mines 86). Weniger eindeutig ist die isotopische Übereinstimmung mit französischen Lagerstätten im Montagne Noir, wo es auch Belege für römischen Bergbau gibt (Cauuet [Anm. 98] 92 f.). Das Pteryxfragment einer Panzerstatue aus Aalen (GBL 40) zeigt Isotopenverhältnisse ähnlich denen einer Statue aus Trier (GBL 149), aber auch italische Bronzen haben nahezu identische Isotopenverhältnisse (Salcuni/Formigli, Grandi bronzi). Die Bergwerke von Shropshire in England könnten dafür das Blei geliefert haben. Erhöhte Zinkwerte und damit Hinweise auf Zugabe von Messing in der Legierung finden sich nur bei einem Aalener Fragment (GBL 51). Das Blei von GBL 47 könnte aus dem spanischen Baskenland stammen.

Die Aalener Stücke zeigen aus konservatorischer Sicht ein recht einheitliches Erscheinungsbild. Es könnte sich demnach um Teile nur weniger Statuen handeln. Dies bestätigen die archäometrischen Auswertungen. Darüber hinaus ließen sich im Limesgebiet der Schwäbischen Alb Statuentteile mit ähnlichen Legierungen feststellen, die einen Werkstattzusammenhang nahelegen.

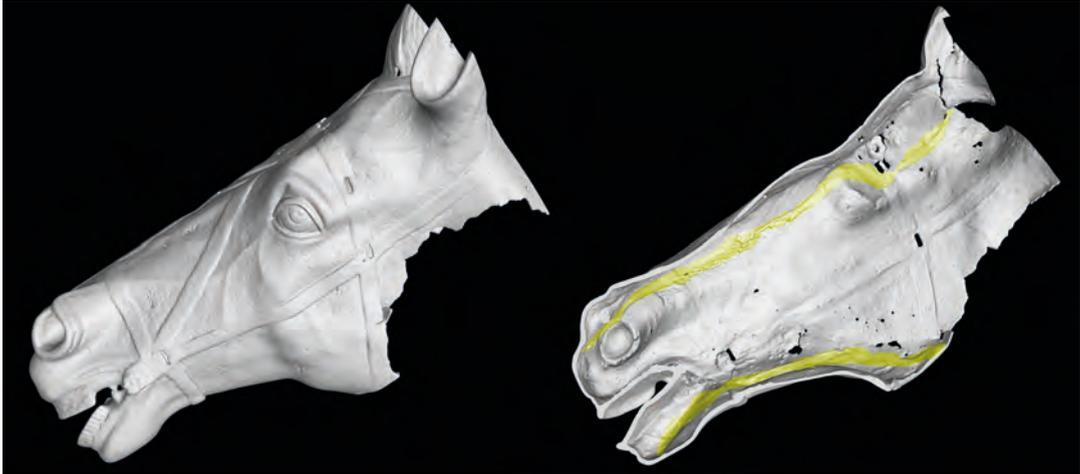


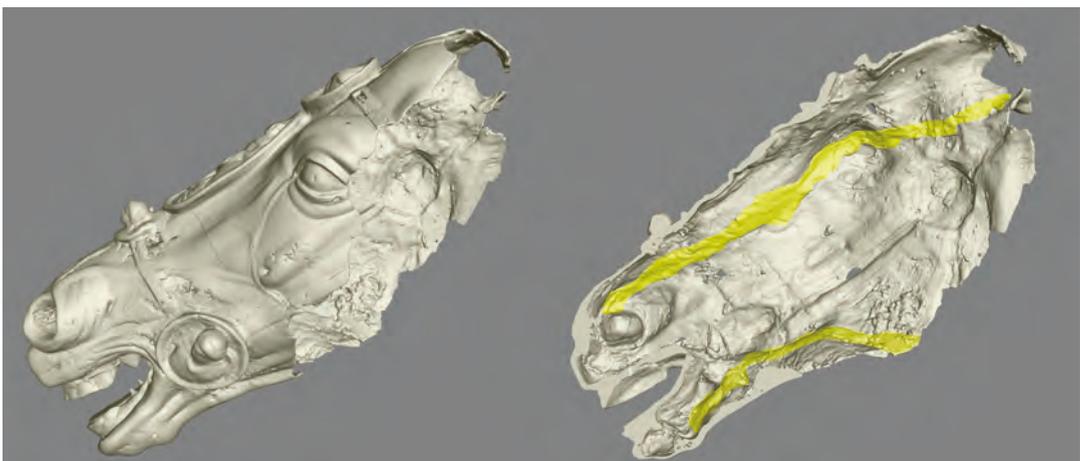
Abb. 31 a–b Bronzene Pferdeköpfe aus Augsburg (a, GBL 29 und 30, oben) und aus Waldgirmes (ohne GBL-Nr., unten) im Vergleich der mittels Computertomographie erzeugten Schnittbilder. Das Innere beider Köpfe belegt eine trotz unterschiedlicher Entstehungszeit identische Vorgehensweise bei der Montage der Wachsmodelle aus mehreren Teilen nach dem indirekten Wachsausschmelzverfahren (Montagenähte gelb markiert).

*Augsburg* (FO 63, GBL 29–33, 458, 461 und 462)

Aus Augusta Vindelicum, dem antiken Augsburg, stammen vier beprobte Statuenteile, darunter der im Jahre 1769 in einem Ufereinschnitt der Wertach gefundene blattvergoldete Pferdekopf (GBL 29–31) und eine 1911 aus dem Lech geborgene, ebenfalls vergoldete figürliche Wagenkastenapplik in Gestalt eines Genius Populi Romani (GBL 32–33). Schon vor den archäometrischen Untersuchungen wurde vermutet, dass diese beiden Objekte zu einem Monument gehörten (M. Hahn in: *Gebrochener Glanz* 49–51; L. Bakker in: D. Richter / L. Wamser [Hrsg.], *Vorbild Herculaneum. Römisches Bayern und Antikenrezeption im Norden* [München 2006] 16–18).

Analysiert wurden ferner ein lebensgroßer rechter Arm eines Reiters (GBL 462), ein unterlebensgroßer Merkurarm mit Geldbeutel (GBL 461) sowie ein Tüllenfragment mit Akanthusblättern (GBL 458) (Abb. 30).

Die Computertomographie des Pferdekopfes belegt die Anwendung des indirekten Wachsausschmelzverfahrens. Wie auch schon an den Tomographien des deutlich älteren Pferdekopfs aus Waldgirmes zu erkennen ist, hatte man das Augsburger Stück nach demselben Schema im Modell aus acht Wachsegmenten zusammengefügt (Abb. 31 und 32; A. Ulbrich / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 42).



Diese Beobachtung lässt vermuten, dass das Produktionsschema wohl bereits in der Zeit der augusteischen Okkupationsphase in der Provinz angewendet und über Generationen tradiert wurde. Die Montage von Applikationen, die womöglich aus einem andersfarbigen Metall bestanden, ist bei beiden Köpfen identisch. Durch eine rechteckige Einschuböffnung am Kopf wurden die Appliken mittels eines entspre-



Bronzener Pferdekopf aus Augsburg (GBL 29 und 30).

Abb. 32 (oben) Rekonstruktion aller zusammengeführten Wachseinzelteile mittels Computertomographie.

Abb. 33 (unten) Rekonstruktionsvorschlag mittels Computertomographie. Grün markiert sind die Ergänzungen der heute fehlenden Applikationen, wie Pferdemaße und Halfter.



chenden Stegs eingesetzt und an der Rückseite mit einem Metallstift gesichert. Am Augsburger Stück gab es diese Montage offenbar an allen neun Appliken, die jedoch heute nicht mehr vorhanden sind. Am Pferdekopf aus Waldgirmes wurde diese Technik lediglich auf zwei ebenfalls verlorene Appliken im Stirnbereich angewendet, wogegen die restlichen sieben bereits in Bronze mitgegossen waren. Die Montage von separat gegossenen Appliken aus vermutlich anderem Material erfolgte entsprechend mit rechteckigen Steckver-

bindungen, die an der Innenseite der Bronzestatue mit Sicherungsstiften fixiert wurden (Abb. 33). Eine andere in römischer Zeit beliebte Montagemethode von Köpfen, die lediglich mit Blei-Zinn-Lot erfolgte, lässt sich anhand entsprechender Lötflächen ebenfalls an dem Augsburger Pferdekopf beobachten. Eine sichere Schweißung wäre bei der extrem dünnen Wandstärke der Bronze kaum möglich gewesen.

Bei dem zu den Augsburger Fundstücken gehörigen rechten Arm eines Reiters wurde eine nicht korrekt geschlossene Wachsmontagenahnt festgestellt. Diese hatte sich während des Gießens der Bronze geöffnet. Zur Reparatur diente eine Verschweißtechnik, die üblicherweise zur Montage von einzelnen Gliedmaßen diente und als Überfangusstechnik bezeichnet wird (so bereits bei einer Statue des späten 1. Jh. v. Chr., s. C. Mattusch in: dies. [Hrsg.], *The Fire of Hephaistos. Large Classical Bronzes from North American Collections* [Cambridge 1996] 234 Abb. 24 j), die vermutlich schon bei klassischen griechischen Statuen angewendet wurde (Haynes, *Technique* [Anm. 40] 92–98). Dabei wurde die Naht mit neun einzelnen Schweißpunkten geschlossen. Die Montage des Armes am Körper hingegen erfolgte ohne Schweißung und wurde wohl lediglich mechanisch durch eine Einschubverbindung erreicht, wie sie bei Gewandstatuen üblicherweise Anwendung fand.

Der Pferdekopf wurde im Vorfeld des Projektes bereits mehrmals naturwissenschaftlich analysiert. Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung erfolgte damals mit AAS am Forschungsinstitut für Edelmetall in Schwäbisch-Gmünd (W. A. Oddy u. a. in: True/Podany, *Small Sculpture* 103–124, hier 114 Tab. 3; Raub, *Metallkunde* 353). Diese Analysen stimmen bis auf den dort etwas höher bestimmten Bleigehalt gut mit den hier vorgelegten Werten überein. Eine weitere mit ICP-OES durchgeführte Analyse weicht dagegen vor allem im Spurenelementbereich ganz erheblich ab (A. Giunlia-Mair in: Mattusch/Bramer/Knudsen, *From the Parts* 92 Tab. 1).

Bei den Statuenfragmenten aus Augsburg handelt es sich um relativ einheitliche Bronzelegierungen mit erhöhtem Bleigehalt und mittlerem Zinnanteil (Sn 6,2–7 %, Pb 17–25 %). Die Objekte entstammen daher möglicherweise einer einzigen Werkstatt. Der Reiterarm (GBL 462) weicht in seiner Zusammensetzung minimal ab und zeigt einen nur etwas gerin-

geren Anteil an Blei und Zinn (Sn 3,9 %, Pb 14 %) als die anderen Augsburgs Stücke. Die Zusammensetzung der Spurenelemente der beiden blattvergoldeten Bronzen des Pferdekopfes (GBL 30) und der Wagenkastenapplik in Gestalt eines Genius (GBL 32–33) sind nahezu identisch. Dies trifft auch auf die Bleiisotopensignaturen zu, die in die Gruppe H gehören und welche vielfach im südlichen Untersuchungsgebiet beobachtet wurden. Das Blei könnte demnach aus den Cevennen stammen.

Die archäometrischen Untersuchungen untermauern, dass es sich beim Pferdekopf und der Wagenkastenapplik um Teile des zusammengehörigen Bildwerks einer Biga oder Quadriga handelt. Die besonderen technischen Eigenschaften der im Untersuchungsgebiet vielfach zu beobachtenden Bleibronze werden besonders am Augsburgs Pferdekopf deutlich. Experimente und Materialprüfungen belegen, dass die hohe Viskosität und die niedrige Erstarrungstemperatur der Legierung es den römischen Bronzegeißern ermöglichte, extrem dünnwandige Güsse von zum Teil zwei Millimetern Wandstärke herzustellen, die materialsparend und leichtgewichtig waren. Selbst unter der Zuhilfenahme moderner Verfahren und Legierungen sind solche dünnwandigen Güsse heute nur schwer durchführbar, was die hochentwickelte Gießkunst der römischen Handwerker nochmals hervorhebt.

Im Inneren des Pferdekopfes befand sich in der Bronze anhaftend ein verzwirnter Faden aus organischen Fasern. Er ist *z/s*-gedreht und hat einen für die Zeitstellung und Region typischen Aufbau. Die unter dem Mikroskop festgestellten Merkmale deuten auf eine bis zur Einzelfaser aufgeschlossene Bastfaser hin, wohl Leinen aus Flachs (Abb. 7; Materialanalyse CEZ). Der Faden ragte aus der Bronzeoberfläche heraus und war fest mit dieser verbunden. Bei der Probenentnahme musste er von der Bronze abgetrennt werden. Wahrscheinlich handelt es sich um den nicht verkohlten Rest eines Magerungszuschlages vom Tonkern, der sich aufgrund der geringen Wandstärke und somit schnellen Erstarrung der Bronze erhalten hat.

Von dem Pferdekopf (GBL 29–31) wurden zwei Tonkernproben entnommen (T 8 und T 10).

#### *Biesheim (Kunheim)* (FO 61, GBL 353)

Die meisten der siebzehn Bronzestatuenfunde aus Argentovaria in der Flur Ödenburg bei Biesheim

(Elsass) wurden in einer Planierschicht der in das zweite bis dritte Jahrhundert zu datierenden zivilen Vorgängersiedlung des spätantiken Kastells gefunden (H. U. Nuber / M. Reddé, *Germania* 80, 2002, H. 1, 169–242). Die zumeist unbestimmbaren Statuen-

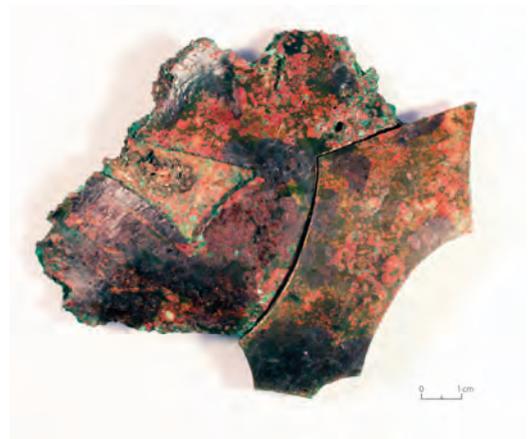


Abb. 34 Eines der Statuenfragmente aus Biesheim (Kunheim) mit polygonal geformten Reparaturblechen (GBL 353). Biesheim, Musée Gallo-Romain.

fragmente, von denen eines für eine Bohrprobe ausgewählt wurde, ähneln einander makroskopisch. Sie sind zum Teil angeschmolzen. Die Stücke erscheinen teils recht massiv gegossen und zeigen vielfach außerordentlich akkurat ausgeführte rechteckige sowie polygonale Reparaturreinlagen (Abb. 34). Diese haben sich vermutlich aufgrund von Gewalteinwirkung herausgelöst. Einige Stücke zeigen Einschlagspuren der Zerstörung. Das beprobte Körperfragment (GBL 353) zeigt im Vergleich zu den meisten anderen Legierungen aus dem Untersuchungsgebiet auffallend wenig Blei (Cu 90 %, Sn 7,7 %, Pb 1,9 %). Daher ist die Zuweisung zu einer bestimmten Bleilagerstätte nicht möglich. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich um eine Mischung aus dem Bleianteil des Kupfers und mehrerer anderer Komponenten. Die Isotopie lässt erkennen, dass Blei aus den britischen Penninen beteiligt ist. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

#### *Blicquy* (FO 19, GBL 486–487)

Aus der Umgebung der antiken Siedlungskammer von Blicquy stammt das etwa dreiundzwanzig Zentimeter lange und im Untersuchungsraum motivisch singuläre Bronzestatuenfragment

eines angewinkelten Faustkämpferarmes (C. Sarge in: Gebrochener Glanz 72 f. [mit Lit.]). Die detailreiche Oberfläche der Hand sowie die naturalistische Gestaltung des Lederhandschuhs deuten auf eine aufwendige Produktionsweise hin, wie man sie von frühen Bronzebildwerken aus klassischer und hellenistischer Zeit kennt. Detailgetreu sind auch die vorderen Fingerpartien wiedergegeben, welche separat gegossen und dann mit einem Weichlot angefügt wurden. Die Finger des recht massiv gegossenen unterlebensgroßen Arms wurden separat gegossen und dann mit Bleilot angefügt. Der Grund hierfür ist technisch bedingt. Gießt man Bronzen in relativ dicker Wandstärke, können sich Endpartien der Gussform, wie sie bei Statuen die Finger oder Zehen darstellen, beim Erkalten des Metalls zusammenziehen. Um dies zu vermeiden und um darüber hinaus eine naturalistische Gestaltung der einzelnen Fingerglieder zu ermöglichen, wählte man den separaten Guss der feinen Gliedmaßen. Diese Technik wurde auch häufig bei Darstellungen von Zehen ohne Schuhwerk angewendet (A. M. Carruba / E. Formigli / M. Micheli in: K. Gschwantler / A. Bernhard-Walcher [Hrsg.], Griechische und römische Statuetten und Großbronzen. Akten der 9. Tagung über antike Bronzen [Wien 1986] 167–171, hier 167–169 Abb. 1; 23).

Die Legierung des Arms ist mit dem relativ hohen Gehalt an Zinn und sehr geringem Anteil an Blei für römische Bronzebildwerke eher ungewöhnlich (Sn 11 %, Pb 0,83 %).

Die Isotopenverhältnisse dürften sich aufgrund des geringen Bleianteils ausschließlich auf das Kupfer beziehen oder aus einer Mischung unterschiedlicher Komponenten resultieren. Im Abgleich sind sie jedoch nicht mit den Bleiisotopenverhältnissen von Lagerstätten in der Ägäis kompatibel (R. Schwab u. a., Bonner Jahrb. 208, 2008, 5–28, hier 14–20). Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Böbingen* (ORL 65, FO 50, GBL 57), *Mögglingen* (FO 51, GBL 71 und 434–437), *Schwäbisch Gmünd - Schirenhof* (ORL 64, FO 49, GBL 354, 355 und 463)

Bei Grabungen im Kohortenkastell Unterböbingen (D. Planck, Denkmalpflege Baden-Württemberg 3, 1974, H. 3, 32–37), das etwa von der Mitte des zweiten bis zur Mitte des dritten Jahrhunderts belegt

war, kam im Bereich der Retentura ein bronzenes Daumenfragment zutage (GBL 57).

Im nahe gelegenen Mögglingen wurde im Jahre 1997 durch Zufall eine Bronzenase gefunden (GBL 148) (M. Kemkes / S. Heckmann / C. Sarge, Arch. Deutschland 2, 2013, 6–11). In dieser Gegend verortete man später ein Kleinkastell derselben Belegungsphase, in dessen Areal über sechsundneunzig Bronzestatuenfragmente geborgen wurden. Von diesen wurden zur Beprobung ein profiliertes Fragment mit Figurintorso (GBL 435), Haarfragmente (GBL 437), Pteryxfragmente mit Scharnieren (GBL 434) sowie weitere Pteryxfragmente (GBL 436) ausgewählt.

Aus dem Kastell Schirenhof, welches ebenfalls von der Mitte des zweiten bis zur Mitte des dritten Jahrhunderts belegt war und die Cohors I Flavia Raetorum beherbergte (H. U. Nuber in: D. Haupt / H. G. Horn [Hrsg.], Studien zu den Militärgrenzen Roms II. Vorträge des 10. Internationalen Limeskongresses in der Germania Inferior. Beih. Bonner Jahrb. 38 [Köln und Bonn 1977] 225–229), stammen bislang zehn Bronzestatuenreste. Aus diesem Konvolut wurden ein unbestimmtes Körperfragment (GBL 354), ein Haarlockenbruchstück (GBL 355) und ein Haarbeziehungsweise Fellstück (GBL 463) beprobt.

Von den Fragmenten der drei Fundorte wurden ausschließlich Bohrproben von Gusslegierungen entnommen. Ihre Zusammensetzung ist eng verwandt. Die Hauptbestandteile entsprechen etwa dem Durchschnitt einer typischen Gusslegierung des Untersuchungsgebietes, so beim Daumen aus Böbingen (Sn 5 %, Pb 22 %). Eine nahezu identische Legierungssorte zeigen die Haar- und Körperfragmente aus Kastell Schirenhof (GBL 354, 355 und 463) sowie die Statuenteile aus Mögglingen (GBL 71 und 434–437). Der Spurenelementgehalt in den Funden aus Mögglingen und Böbingen ist ebenfalls sehr ähnlich, während die Zusammensetzung der Funde aus Schirenhof untereinander stärker streut. Auch das Blei aus Mögglingen und Böbingen ist nahezu identisch. Es kann derzeit nicht mit einer bestimmten Lagerstätte in Verbindung gebracht werden. Alles deutet jedoch auf eine gemeinsame Produktion der Statuen in einer einzigen Gießerei hin, bei der eine Werkstattrezeptur vermutlich gleichzeitig zur Anwendung kam. Dieser Verdacht drängt sich schon angesichts der geographischen und chronologischen Nähe der drei Fundorte auf.



Abb. 35 Restaurierte Statuenfragmente aus dem Bonner Legionslager. Landesmuseum Bonn.

Hinweise auf das Wiedereinschmelzen vergoldeter Statuentile finden sich nur in Möggingen, dort allerdings in mehreren Proben.

Alle beprobten Fragmente aus Möggingen scheinen nach der Art der Oberflächengestaltung und der Patina einer einzigen Statue zugehörig, was sich nun auch durch die Legierungsanalysen bestätigen lässt. Bei den beprobten Fragmenten aus Schirenhof könnte es sich nach der Legierung um Teile mehrerer

Statuen oder um mehrere Gusschargen einer einzigen Skulptur handeln, da hier der Anteil an Antimon und Silber leicht differiert. Lediglich das Haarfragment (GBL 437) enthält Spuren von Gold (Au 0,03 %), was auf die Wiederverwendung vergoldeter Bronze hinweist. Die sehr enge Verwandtschaft der hier untersuchten Legierungen dürfte kein Zufall sein und deutet darauf hin, dass bewährte Rezepturen recht genau reproduziert wurden.

Bonn, *Legionslager* (FO 10, GBL 113, 119, 130–145, 238–250, 503, 514 und 540)

Aus dem Legionslager Bonn (erstes bis viertes Jahrhundert), dem Standort der Legio I Minervia, sind bisher mindestens einhundertelf Fragmente römischer Bronzestatuen bekannt. Davon stammt der Großteil aus dem Prätorium, das 2010 vom Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland systematisch untersucht wurde (Abb. 35; J. Morscheiser-Niebergall, Arch. Rheinland 2010, 108–110; dies. / C. Sarge in: *Gebrochener Glanz* 125–127). Wie häufig in militärischen Kontexten des Untersuchungsgebietes zu beobachten, sind auch diese Fundstücke bis auf wenige Ausnahmen unvergoldet. Bei der Restaurierung der Stücke wurden 2011 an einigen Stücken eindeutige Hinweise auf Brandschäden beobachtet. Zwei sehr massiv gegossene überlebensgroße Statuenfragmente eines Daumens (GBL 132) und eines Zehs (GBL 131) belegen eine ausgereifte Schmelz-, Guss- und Montagetechnik, die es auch in der Provinz erlaubte, monumentale Statuen mit einem Gewicht von etwa drei- bis fünfhundert Kilogramm herzustellen. Die Unterschiede in der Legierung beider Stücke weisen darauf hin, dass es sich um Überreste zweier Statuen handelt. Zahlreiche Fragmente mit Haar- oder Fellstrukturen sind sehr detailliert durch Punzierungen und Ziselierungen nachbearbeitet.

An einem Pferdeschweiffragment (GBL 130) zeigt sich ein sehr feines hexagonales Muster, das nicht – wie zunächst vermutet – intentionell eingearbeitet wurde, sondern durch Korrosion während der langen Bodenlagerung als sichtbare Oberflächenstruktur hervorgetreten ist (A. D. Scott / J. Podany in: True/Podany, *Small Sculpture* 31–60, hier 37 f.). Solche Zell- oder Zellulargefüge entstehen bei der unterkühlten Erstarrung von Metallen, indem es mangels Konzentrationsausgleich zur Keimbildung und damit zur Anreicherung eines Legierungselementes an den Zellgrenzen der Gefügekörner kommt (L. A. Tarshis / J. L. Walker / J. W. Rutter in: T. Lyman [Hrsg.], *Metals Handbook VIII. Metallography, Structures and Phase Diagrams* [Metals Park 1973] 152 f.). Auch auf der computertomographischen Aufnahme eines Adlerkopfschwertes aus Weißenburg wurde ein entsprechendes Muster im Inneren des Metallgefüges beobachtet. Ebenfalls treten solche Strukturen am Ohrfläppchen der Rosmerta aus Mainz (GBL 398) sowie an einem bronzenen Gemächt aus Köln (Abb. 36) auf.

Diese Muster begegnen ausschließlich in den Bereichen, die nicht durch mechanische Nachbehandlung überarbeitet wurden, zum Beispiel durch Ziselierung. Es handelt sich um Teile der Oberfläche, die bei der Überarbeitung nach dem Guss ausgespart wurden.

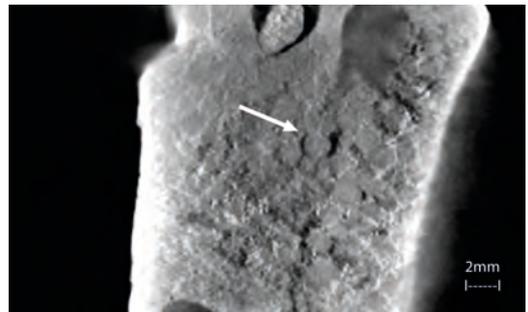
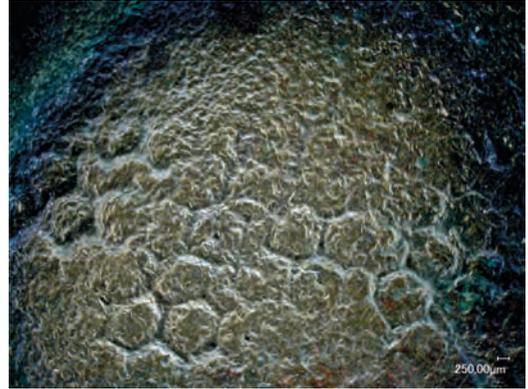


Abb. 36 a–b Ungewöhnliche Struktur in der Bronzeoberfläche (hexagonales Muster). – (a) Bei zwanzigfacher Vergrößerung im Streiflicht sichtbar gemachte hexagonale Struktur in der Oberfläche an einem Fragment in Köln, Römisch-Germanisches Museum (keine GBL). – (b) Computertomographie am Griff eines Adlerkopfschwertes aus Weißenburg (GBL 403–405) mit deutlich erkennbarer hexagonaler Gefügestruktur. Weißenburg, Römermuseum.

Einige der Bonner Stücke sind in einer für das Untersuchungsgebiet typischen Technik repariert, nämlich mittels eingesetzter polygonaler Bleche, welche mit Senkkopfnietstiften zusätzlich gesichert sind. Ebenfalls für das Untersuchungsgebiet typisch sind kleine Kernhalteröffnungen, die mit eingeschmiedeten Bronzekugeln verschlossen wurden. Auch diese Technik lässt sich vereinzelt an Bonner Stücken beobachten. Einige Fragmente wiesen eine dichte schwarze Patinaschicht auf (so GBL 130, 136, 138, 140, 142, 145, vgl. den Haupttext, Abschnitt ›Schwarz-silbrige Oberfläche‹). Eine von den Wieland-Werken vorgenommene Anschliffuntersuchung von einem dieser

Stücke (GBL 540) deutet auf eine Zinnseigerung an der Oberfläche hin. Dies lässt darauf schließen, dass der Farbton der Bronze möglicherweise ursprünglich nicht rötlich, sondern silbrig war.

Die vierunddreißig Materialanalysen ergaben sehr uneinheitliche Legierungen (GBL 113, 119, 130–145, 238–250, 503, 514 und 540, Letzteres gemessen in den Wielandwerken Ulm, die übrigen im Curt-Engelhorn-Zentrum Mannheim, Sn 3,6 bis 8,9 %, Pb 5,4 bis 24 %). Der durchschnittliche Bleiwert der unvergoldeten Proben aus Bonn liegt bei knapp einem Fünftel (Pb 19 %).

Vergoldete Bronzen aus dem Untersuchungsgebiet weisen tendenziell geringe Bleiwerte auf. So enthalten auch die blattvergoldeten Statuenfragmente aus dem Bonner Legionslager (etwa GBL 119 und GBL 514) einen geringen Bleianteil (Pb 6,7–6,8 %), wie bei einem überlebensgroßen Statuenrest in Gestalt eines Zehs (GBL 131, Pb 5,4 %). Wegen des starken Brandeinflusses lässt sich dies jedoch nicht mehr zweifelsfrei nachweisen.

Etwa ein Drittel der beprobten Stücke aus dem Bonner Legionslager enthält Zink aus der Zugabe von Altmetall aus Messing (Zn max. 3 %, s. o.). Das Umschmelzen vergoldeter Statuen lässt sich nicht nachweisen. Die höheren Goldwerte eines vergoldeten Gewandfragments (GBL 113) sind durch die Probenart (Anschliffprobe) bedingt (Abb. 37). Bei kleineren Fragmenten können auch die Randbereiche der Probe vom Röntgenstrahl erfasst werden, so dass im Falle von Vergoldung auch diese angeregt wird. Als Referenzprobe für dieses Stück dient daher die Bohrprobe GBL 119, bei der kein Gold nachgewiesen wurde und somit ein Wiederverwenden vergoldeter Altstatuen zur Herstellung ausgeschlossen werden kann. Das Blei der Legierungen stammt bei zwei der Proben (GBL 132; GBL 246) sehr wahrscheinlich aus der Eifel, beim Haarfragment (GBL 246) kann es sich auch um sauerländisches Blei aus den Lagerstätten bei Brilon handeln. Das Blei eines Oberkörperfragmentes (GBL 238) ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Bonn*, Akademisches Kunstmuseum (GBL 234–237)

Der Fundort eines Oberarmfragmentes ist unbekannt. Es stammt von einer vergoldeten, etwa lebensgroßen, wohl männlichen Idealstatue. Anhand der gut erhaltenen Fugestelle im Bereich der Achsel ist

zu erkennen, dass der Arm leicht nach außen abgewinkelt war. Mit Feilen hatte man hier den Anpass zum Torso millimetergenau eingestellt.

Der Anschliff (GBL 235) belegt, dass das Stück feuervergoldet ist und stellenweise zusätzlich eine Fehlstelle mit unansehnlich grauer Verbindung von Gold und Blei mit Blattgold kaschiert wurde (s. o.

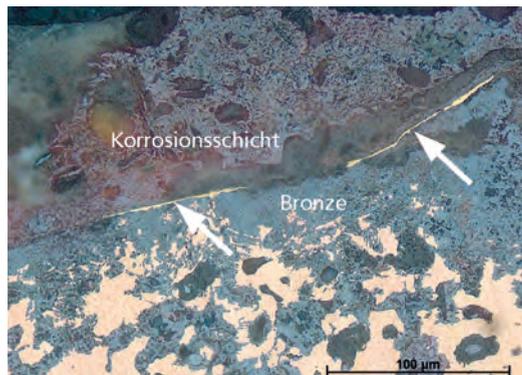


Abb. 37 a–b Vergoldetes Gewandfragment aus dem Bonner Legionslager (GBL 113). Landesmuseum Bonn. – (a) Ansicht. – (b) Anschliffbild mit erkennbarer Blattvergoldung (Pfeile).

zur Feuervergoldung). Hier ist es zu einer Reaktion des Goldamalgam mit dem Blei aus der Legierung gekommen. Die Reparatur eines Gussfehlers wurde mit einem polygonal zugeschnittenen Reparaturblech ausgeführt, das heute verloren ist. Zusätzlich hatte man dieses Blech mit Nietstiften aus Kupfer gesichert. Weitere polygonale sowie rechteckige Reparaturstücke sind durch die bei der Zerstörung der Statuen entstandene Verformung sichtbar geworden. Pinselstriche im Inneren des Armfragmentes stammen vom Wachsmodellbau. Die Materialstärke der relativ dickwandigen Bronze liegt zwischen vier und sieben Millimetern.

Es wurden drei Bohrproben (GBL 234, 236 und 237) entnommen. GBL 234 weist auf eine hochkupferhaltige Gusslegierung hin, bei der man in Hinblick auf die Feuervergoldung nur geringe Zuschläge

an Zinn (2,8 %) und Blei (2,2 %) zugefügt hat. Geringe Bleizuschläge dienten zur Verbesserung der Fließeigenschaften der Schmelze sowie zur Erleichterung der mechanischen Überarbeitung der gegossenen Metalloberfläche (siehe Mainz). Die Bohrprobe an einer Überfangguss-Schweißverbindung besteht aus einem sehr ähnlichen Material (Sn 1,4 %, Pb 3,1 %). Eine Zufügung von Blei zur Schmelzpunktreduzierung liegt nicht vor. Hinweise auf die Verwendung von wiederverwendetem Material findet sich nur am Kupfernietstift (GBL 237, Zn 0,4 %) und könnte auf die Fertigung in der Gießerei hindeuten. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Bonn*, Landesmuseum (GBL 377)

Ein im Bonner Landesmuseum verwahrtes bronzenes Teilstück einer Satteldecke stammt nach Aktenangaben »aus dem Rheinland«, die genaue Herkunft ist jedoch nicht mehr zu ermitteln (s. Abb. 23; E. R. Knauer, *Bonner Jahrb.* 192, 1992, 241–260).

Das Statuenelement wurde nach dem indirekten Wachsauuschmelzverfahren hergestellt (Höhe 48 Zentimeter, Breite 17 Zentimeter). Die florale Dekoration erfolgte mit Einlagen aus tiefschwarzem Niello, das teilweise noch in den Dekorgruben erhalten ist. Diese Technik ist besonders für römische Silberarbeiten bekannt. Niello bestand in römischer Zeit aus einer Verbindung von Silber, Kupfer und Schwefel. Die pastöse Masse wurde (ähnlich wie in der Emailtechnik) in die zuvor exakt ausgearbeiteten Dekorgruben eingebracht und daraufhin eingeschmolzen. Anschließend erfolgte das Abschleifen und Polieren der Oberfläche. Diese Methode eignete sich besonders für ebene Dekorationen. Ein nochmals höheres Maß an Kunstfertigkeit dürfte die Verzierung einer plastisch bewegten Oberfläche – wie der wellige Faltenwurf dieser Satteldecke – erfordern haben (Abb. 38, vgl. Abb. 44).

Zur Montage der Statue wurden üblicherweise die separat gegossenen Einzelteile durch Löt- oder Schweißverbindungen zusammengesetzt. Die Satteldecke repräsentiert eine weitere Montagetechnik, die auch aufgrund der Hitzeempfindlichkeit des Niello nur kalt erfolgte. Die Verbindung wurde hier durch kleine rechteckige Einschuböffnungen am Hauptwerk (Pferd) mit gegossenen Rechteckstegen am Teilstück der Satteldecke erreicht. Die Stege an der

Satteldecke wurden so vorgebohrt, dass sie nach dem Einstecken an der Innenseite des Pferdekörpers jeweils mit einem Metallstift gesichert werden konnten. Dies erforderte den Zugang zum Innenraum des Standbildes und war nur möglich, bevor die Reiterstatue aufgesetzt wurde. Belege für diese Montagetechnik mit Steckverbindung und Innensicherung wurden auch am Pferdekopf aus Waldgirmes sowie am Pferdekopf und am Wagenkastenbeschlag aus Augsburg beobachtet. Auch das Fragment eines Bronzereliefs aus Maastricht (s. u.), das vielleicht eine eilende Diana darstellt, zeigt diese Methode, welche sich offenbar besonders für eine kalte Anstückung von Appliken beziehungsweise aufgesetzten Einzelementen eignete, die möglicherweise aus andersfarbigen Metallen gearbeitet waren. An der Satteldecke im Bonner Landesmuseum (GBL 377) war im halbrunden Feld des Sattelhorns ursprünglich ein Medaillon montiert. Seine Anbringung ist noch heute an der Montagevorrichtung einer rechteckigen Einschuböffnung gut erkennbar. Hierzu gibt es einige Vergleichsstücke, die die Montage solcher Medaillons belegen (Vgl. *Bonner Jahrb.* 192, 1992, 255 Abb. 14–15 [Baltimore]; 256 Abb. 16 [Hamburg]; 257 Abb. 17–18 [aus Aguntum in Lienz].)

Die Zusammensetzung der Bronze entspricht einer durchschnittlichen Legierung des Untersuchungsgebietes (Cu 76 %, Sn 5,7 %, Pb 18 %). Die Spurenelementwerte sind unauffällig. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H), wobei tendenziell auch die Cevennen in Frage kämen. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

*Bregenz* (FO 64, GBL 392–394, 447–457 und 459–460)

Unter den fünfundfünfzig Statuenfragmenten, die bei Aushubarbeiten in der Nähe des Forums im antiken Brigantium gefunden wurden, ragen einige gut identifizierbare Stücke hervor, von denen sechzehn untersucht wurden. Das größte Objekt ist die 53,5 Zentimeter lange und 1,7 Kilogramm schwere blattvergoldete linke Hand einer Monumentalstatue mit dem Blütenkelchansatz eines Füllhorns (GBL 392–394) (Abb. 39, vgl. Abb. 2; G. Grabherr in: *Gebrochener Glanz 98–100* [mit Lit.]). Die Hand kam 1963 bei Bauarbeiten im Forumsbereich in einer Tiefe



Abb. 38 a–d Nielloeinlagen an einer Satteldecke aus dem Rheinland im Original und im Experiment. Landesmuseum Bonn. – (a) Detail des Originals. – (b) In zuvor eingearbeitete Vertiefungen wird mit Wasser gemischtes Niellopulver (verschmolzene Mischung aus Silber, Kupfer, Blei und Schwefel) eingebracht. – (c) Erhitzen und Schmelzen des Niello bei etwa 500 °C. – (d) Abgeschliffene und polierte Oberfläche nach dem Niellieren.

von dreieinhalb Metern unterhalb der Schichten der mittleren Kaiserzeit zutage und gehört damit vielleicht in das erste Jahrhundert. Die Größe der Hand lässt eine ungefähre Statuenhöhe von vier Metern errechnen. Neben der Monumentalhand wurden Fragmente aus dem Bereich des Bregenzer Forums archäometrisch untersucht, um in etwa die Anzahl der Statuen zu ermitteln, die hier fragmentarisch überliefert sind, Pferdehuf (GBL 453), Hand einer etwa lebensgroßen Statue (GBL 450), Falten (GBL 456), Rand eines Statuenpanzers und Körperstücke (GBL 459 und 460), vergoldete Statuenteile (GBL 455 und 457), Reste einer vergoldeten Herkuleskeule (GBL 447 und 448), von Haarkalotten (GBL 451 und 452) und von Gewandfalten (GBL 454).

Computertomographien der monumentalen Hand ergaben, dass der separat gegossene Blütenkelch durch mehrere punktuelle Verschweißungen an der Hand montiert wurde (s. Abb. 2). Aus technischen Gründen hatte man den Teilbereich der Finger, die später zur Montage mit dem Blütenkelch punktuelle verschweißt werden sollten, massiv gegossen, wogegen die übrigen Bereiche der Finger und der Hand hohl angelegt waren. Aufgrund der enormen Dimension

des Bildwerkes war ein passgenaues Probeanfügen der später einzeln in Bronze zu gießenden Wachsteile (Hand mit Kelch und Füllhorn) nicht möglich. Daher kam es später zu einem ungenauen Sitz der beiden erhaltenen Teilstücke, was dann beim nachträglichen Richten des Zeigefingers zu dessen Bruch führte. Aus diesem Grund musste er anschließend nach antiker Methode angeschweißt werden.

Bei der etwa einen Quadratzentimeter großen quadratischen Öffnung an der Schauseite des Kelchs kann es sich um einen Durchlass für die Montagesicherung des vermuteten Füllhorns handeln, an der ein Bronze- oder Kupferstift eingesetzt war. Das Fragment eines Pferdehufes (GBL 453) zeigt eine ähnliche Montagevorrichtung wie die Hufe aus Kempten, bei denen eine innen hervorstehende Lasche den Bleiverguss fest mit der Bronze verbinden sollte (Abb. 51).

Ein Haarfragment (GBL 451) weist ein auffälliges Wellenmuster auf. Die langen Haarsträhnen waren bereits im Wachsmodell angelegt, mussten aber nach dem Guss mit Ziselierreisen aufwendig nachgearbeitet werden. Fingernagelabdrücke an der Rückseite weisen darauf hin, dass Wachsplatten zur Formher-

stellung von Hand in eine Negativform eingedrückt wurden. Bohrungen an einem von drei unvergoldeten Haarfragmenten (GBL 452), die zu einer weiteren Statue gehörten, zeigen eine Reparaturtechnik, bei der Gussfehler durch eingesetzte Reparaturstücke ausgebessert wurden. Mittels Nietstiften aus Kupfer wurde das eingefügte Stück dann in Position gehalten. Ein Fragment (GBL 455) zeigt eine nur teilweise ausgeführte Vergoldung bis zu einem Bereich, der wohl durch ein angefügtes Randstück überlagert und daher nicht sichtbar war. Zudem waren hier größere Reparaturbleche eingesetzt, die heute fehlen. – Hinzu kommen profilierte Stücke, die wohl von Sockelverkleidungen stammen.

Makroskopisch beurteilt handelt es sich bei den Fundstücken aus Bregenz um Teile von unterschiedlichen, teils durch Blattvergoldung verzierten Statuen.

Die Legierungen der besprochenen monumentalen vergoldeten Hand mit dem separat gegossenen Blütenkelch sowie die Schweißverbindung (GBL 392–394) sind in ihrer Zusammensetzung erwartungsgemäß identisch (Cu 74–78 %, Sn 4,3–6,6 %, Pb 17–19 %). Lediglich im Silbergehalt weichen sie voneinander ab, was vermutlich mit dem jeweils verwendeten Bleizusatz der einzelnen Gusschargen zusammenhängt. Bei den Haarfragmenten (GBL 451 und 452) stimmen die Legierungen auch in den Spurenelementen überein (Ag 0,04 %, Sb 0,08–0,09 %), obwohl sich hier herstellungstechnisch und ikonographisch deutlich zwei Statuen unterscheiden lassen. Diese Werte passen auch zur Art der Legierung der monumentalen Hand (GBL 392–394), so dass hier vermutlich eine gemeinsame Werkstattrezeptur greifbar ist. Ebenfalls sehr ähnlich ist die Legierung eines vergoldeten Körperfragments (GBL 457), obwohl hier der Bleigehalt geringer ausfällt (Cu 87 %, Sn 6,9 %, Pb 5,2 %). Aus herstellungstechnischer Sicht dürfte es jedoch zur selben Gruppe gehören wie die Fragmente einer lebensgroßen Hand (GBL 450), eine Körperpartie (GBL 456) und ein unbestimmtes Randfragment (GBL 459). Hinzu kommt der besagte Pferdehuf (GBL 453), der jedoch einen hohen Anteil an Zinn und einen geringen an Blei zeigt (Sn 11 %, Pb 5,3 %). Ob es sich um zusammengehörige Teile eines einzigen Reiterstandbildes oder mehrerer Statuen handelt, lässt sich nicht klären. Die enge Verwandtschaft der oben genannten Legierungsrezepturen macht jedoch zumindest eine Produktion in einer

einigen Werkstatt sehr wahrscheinlich. Die beiden vergoldeten Statuenfragmente (GBL 455 u. 457) unterscheiden sich in ihrem Zinnanteil sehr deutlich, so dass hier eher von zwei Statuen ausgegangen werden muss (Sn 1,5 % und 6,9 %). Die Fragmente der vergoldeten Herkuleskeulen (GBL 447–449) bestehen aus einer Legierung mit geringen Zinn- und Bleianteilen (Sn 2,9–3,8 %, Pb 4,4–7,5 %). Sie könnten daher zum vergoldeten Statuenfragment (GBL 455) gehören. Die Probe GBL 454 stammt von einem singulären, reliefartig gestalteten Gewandfragment, dessen Legierung sehr eng mit derjenigen der monumentalen Hand verwandt ist. Daher ist auch hier der Guss nach einer gemeinsamen Werkstattrezeptur anzunehmen. Hinweise auf wiederverwendetes Altmetall fand sich nur bei wenigen Proben (GBL 394, 452 und 454, Au 0,02 %). Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen



Abb. 39 Hand einer vergoldeten Monumentalstatue aus Bregenz (GBL 392–394). Bregenz, Vorarlbergmuseum.

(Gruppe H).

Das Gesamtgewicht der monumentalen Statue dürfte etwa dreihundert Kilogramm betragen haben. Die Montage eines solch monumentalen Bildwerks, welches aus mehreren Teilgüssen zusammengefügt werden muss, stellt eine besondere Herausforderung dar, weil die Einzelteile zunächst fixiert und dann mittels eines antiken Schweißverfahrens verzugsfrei verbunden werden mussten. Gleiches gilt für die Aufstellung und Montage, die sicher mit massivem Bleiverguss erfolgte. Aus dem Inneren der Monumentalhand (GBL 392–394) wurde eine Tonkernprobe entnommen (T 9).

*Carnuntum* (FO 67, GBL 535–539)

Der auf einem Acker bei Carnuntum (Bad Deutsch-Altenburg) gefundene Bronzekopf des Severus Alexander in der Kunstsammlung der Ruhr-Universität Bochum stellt ein repräsentatives pannonisches Vergleichsstück zu den Statuen im germanisch-rätischen Untersuchungsgebiet dar (s. Abb. 25). Der Kopf ist gut erhalten und zeigt den Kaiser mit Kurzhaarfrisur und Oberlippenbart in seinem letzten Bildnistypus (226–235 n. Chr.) (C. Weber-Lehmann in: *Gebrochener Glanz 152–154* [mit Lit.]).

Zahlreiche Einschlagspuren im linken Gesichtsfeld, an der Kopfpartie und an der Kinnunterseite dokumentieren die Zerstörung der Statue. Bei der gewaltsamen Demontage wurde möglicherweise unbeabsichtigt auch ein Teil des Rückenpanzers vom noch verwendbaren Statuenkörper abgebrochen. Ein zerstörungsfreies Entfernen des Kopfes hätte durch leichtes Erhitzen der aus technischer Sicht sehr einfach ausgeführten Bleilötung erfolgen können.

Auf der Innenseite des Kopfes sind die Montagenähte der Wachsplatten zu erkennen, die auf eine Herstellung im sogenannten indirekten Wachs-ausschmelzverfahren weisen. So zeigt die linke Innenseite im Halsbereich eine etwa drei mal fünf Zentimeter große Ausbesserung. Möglicherweise diente diese Öffnung ehemals zur zusätzlichen Belüftung des feuchten Tonkerns und wurde nach der Trocknung wieder mit Wachs geschlossen. Die Ohren wurden separat in Wachs abgeformt und dann am Wachskopf montiert. Hiervon zeugen sichtbare Montagenähte im Inneren sowie grobe Spatelspuren an der äußeren Rückseite der Ohren. Zahlreiche kleine Gasblasen durchziehen als Gussfehler den Hinterkopf. Dazu kommen Risse und Fehlstellen, vor allem im Bereich des Halses. Sie wurden mit rechteckigen Flickblechen kaschiert, während man die Kernhalterlöcher, wie an anderen Bronzen in den Grenzprovinzen, mit kleinen eingeschlagenen Bronzekugeln verschloss und – nur hier – zusätzlich mit Blei verlötet hat. Die Überarbeitung des Gusses erfolgte mit feinen Meißeln und Punzen. Dabei wurden nur die vom Betrachter gut sichtbaren Bereiche der vorderen Haarpartie, des Bartes und der Augenbrauen detailliert ausgearbeitet. Auffällig ist, dass hier nicht nur die tiefen Bereiche der Haarsträhnen, sondern auch die gesamte Oberfläche mit Meißeln teils recht grob überarbeitet

wurde. Vermutlich war die frisch gegossene Bronze mit einer sehr rauen Gushaut überzogen, die eine Überarbeitung der gesamten Oberfläche erforderte. Die Augen waren bereits im Wachsmo- dell angelegt. Der überlängte Hals ist durch die Art der Montage zu erklären: Der Kopf wurde von oben tief in die Halsaussparung an der Statue eingeführt und dann mit massivem Bleilot fixiert (Abb. 25). Bemerkenswert ist, dass die Lötung nicht am Körper, sondern am Panzer durchgeführt wurde, wodurch ein recht breiter Spalt mit Blei ausgefüllt werden musste. Diese Art der Montage hätte etwa bei einem Herrscherwechsel ein einfaches Austauschen des Porträtkopfes und somit eine materialsparende Umgestaltung der Statue erlaubt (Lahusen/Formigli, *Bildnisse* 459).

Die Legierung des Kopfes (GBL 535) stimmt mit derjenigen der Statue überein, deren Material noch anhand des Panzerfragments (GBL 536) an der Rückseite greifbar ist (Sn 6,0 und 6,4 %, Pb 24 und 17 %). Lediglich der Bleiwert differiert leicht, was jedoch bei bleihaltigen Bronzen zu erwarten ist. Selbst eine eingefügte kleine Reparaturperle aus Bronze, die zur Kaschierung eines Kernhalterloches diente (GBL 539), ist in der Zusammensetzung identisch und somit eindeutig nicht aus alten Werkstatabfällen, sondern aus demselben Material wie die Statue gefertigt worden (Sn 6,5 %, Pb 21 %). Kopf und Körper sind somit gleichzeitig entstanden, eine Zweitverwendung des Körpers auszuschließen. Hinweise auf wiederverwertetes Altmetall liegen nicht vor.

Die Bleiisotopenverhältnisse in den Legierungen des Kopfes (GBL 535), des Panzers (GBL 536) sowie in der zur Montage dienenden Lötung (GBL 537) weichen leicht voneinander ab, was darauf zurückzuführen ist, dass Kopf und Körper separat gegossen wurden und wohl Blei verschiedener Sorten zugefügt wurde. Römische Bleietiketten des zweiten Jahrhunderts aus Carnuntum weisen fallweise ähnliche Werte auf wie ein Bleibarren mit der Aufschrift »MET DARD«, was als »Met[alla] Dard[anica]« interpretiert wird und folglich mit der serbisch-makedonischen Metallprovinz im Umland des Municipium Dardanorum in Verbindung gebracht wird (R. Schwab / E. Pernicka in: B. Petznek u. a., *Handel, Wirtschaft, Kultur und Naturraum in der mittleren Kaiserzeit im Raum Carnuntum. Interdisziplinäre Analysen der römischen Latrine mit Preisschildern in Carnuntum, Schloss Petronell* [in Vorb.], auch zum Folgenden).



Die besagten Bleietiketten liegen auf einer Korrelationsgeraden mit dem Blei der Statue Severus Alexanders, was für eine gemeinsame Herkunft spricht. Eine exakte Eingrenzung ist derzeit noch nicht möglich, weil kaum Bleiisotopendaten dieser Lagerstätten vorliegen, aber eine Herkunft des vorliegenden Materials aus Dalmatien, Dakien, dem südlichen Pannonien oder der Moesia Superior ist aber naheliegend.

#### *Dorsten-Holsterhausen* (FO 7, GBL 408–411 und 471)

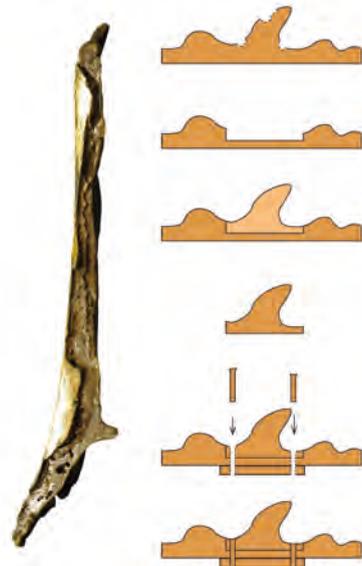
Das 1953 entdeckte Marschlager Dorsten-Holsterhausen gehört zu den römischen Stellungen, die im Zuge der augusteischen Okkupation der rechtsrheinischen Gebiete entlang der Lippe errichtet und nach der Clades Variana aufgelassen wurden. Der Standort wurde nach einem kurzen Hiatus schon in der Mitte des ersten Jahrhunderts von der einheimischen Zivilbevölkerung wiederbesiedelt und kontinuierlich bis in das neunte Jahrhundert bewohnt (W. Ebel-Zepezauer u. a., *Augusteische Marschlager und Siedlungen des 1.–9. Jahrhunderts in Dorsten-Holsterhausen*. Die Ausgrabungen 1999–2002. Bodenaltert. Westfalens 47 [Mainz 2009]).

Von den vorhandenen vier Bronzestatuenresten wurden fünf Materialproben aus drei Fragmenten entnommen. (Ein vergoldetes Flickblechfragment wurde nicht berücksichtigt, lfd. Nr. 1184.) Drei

davon stammen von einem einzigen vergoldeten Bruchstück, und zwar von der Gusslegierung selbst (GBL 409), von einem Reparaturblech (GBL 410) und von einem Kupferriet (GBL 411). Ferner wurde ein Schuppenpanzerfragment (GBL 408) und ein profiliertes Fragment (GBL 471) beprobt. Alle drei Gusslegierungen (GBL 409, 408 und 471) zeigen eine sehr ähnliche Verteilung der Haupt- und Spurenelemente. Allerdings enthalten die beiden von einem einzigen Fragment stammenden Proben GBL 409 und 410 Hinweise auf die Zugabe von wiederverwendetem Messing in der Legierung (Zn 0,3 %). Die von dem profilierten Stück stammende Probe GBL 471 weist vergleichsweise hohe Zinnwerte und einen im Rahmen des Untersuchungsgebietes relativ geringen Bleigehalt auf (Sn 10 %, Pb 14 %). Ein hoher Zinnanteil, das Vorhandensein von Antimon und fehlende Spuren von Recycling sind bei diesem Stück als Indiz für eine frühe Datierung zu werten (Sn 10 %, Sb 0,43 %). Die Isotopensignatur des Bleis bei der Probe aus dem Schuppenpanzer (GBL 408) weist auf Plumbum Germanicum aus der Eifel hin.

#### *Duisburg-Serm* (FO 8, GBL 551–554)

Der Fundplatz liegt am rechten Rheinufer zwischen den Duisburger Stadtteilen Serm und Mündelheim; in der Nähe lag linksrheinisch das Limeskastell Krefeld-Gellep. Keramikfunde weisen auf kontinuierliche Nutzung von der älteren römischen Kaiserzeit bis ins zehnte Jahrhundert. Eine Konzentration

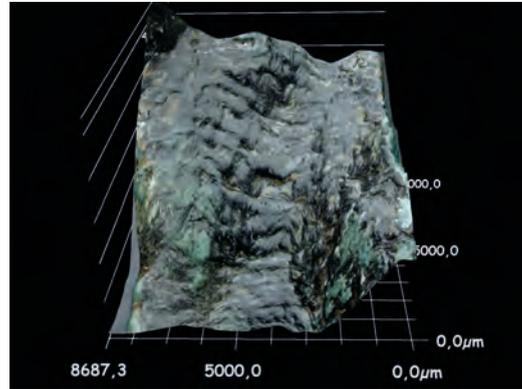


von römischen Kleinfunden und Schmelzresten aus Kupferlegierungen könnte auf die Verarbeitung von Buntmetall vor Ort hindeuten. Eventuell handelt es sich um einen Warenumschatzplatz (K. Drewniak in: J. Bemmann / M. Mirschenz, *Der Rhein als europäische Verkehrsachse II* [Bonn 2016] 285–334).

Systematische Geländebegehungen, Untersuchungen mit Metalldetektoren und eine Sondage ergaben Fragmente von römischen Bronzebecken und weitere Kleinfunde sowie drei Reste von römischen Großbronzen. Das größte Stück weist Blattvergoldung auf der Schauseite auf. Im Frühjahr 2016 wurden Buntmetallfunde von dort, die im Zusammenhang mit der Zerstörung von römischen Bronzestatuen sowie des Metallrecyclings zu sehen sind, im Landesmuseum Bonn restauriert und eine Auswahl davon beprobt.

Hierzu zählen zunächst drei Fragmente von Statuen (Bohrproben GBL 551–553, Anschliffprobe 554 von demselben Stück wie GBL 551), die anhand von eindeutigen Arbeitsspuren des Wachsmo- dellbaus als solche identifiziert werden konnten. Probe GBL 552 stammt vom Gewand, welches auf der Vorderseite blattvergoldet war. Zudem ist hier ein sehr kleines Kernhalterloch (etwa ein Quadratmillimeter) erkennbar. Die Legierungen der drei Proben unterscheiden sich deutlich, so dass es sich wohl um Teile unterschiedlicher Statuen handelt. Die Legierungen der beiden Proben GBL 552 und 553 entsprechen den im Untersuchungsgebiet üblichen Zusammensetzungen. Insbesondere GBL 552 entspricht einer durchschnittlichen Limesbronze (Cu 76 %, Sn 7,3 %, Pb 16 %). GBL 553 enthält lediglich etwas geringere Bleizuschläge (Cu 85 %, Sn 6 %, Pb 8,3 %). Völlig außergewöhnlich ist jedoch GBL 551 mit hohen Nickel-, Arsen- und Antimonwerten (Cu 79 %, Sn 2,4 %, Pb 10 %, Ni 1,6 %, As 4,1 %, Sb 2,4%). Der hohe Anteil an Fehlerzelementen weist auf eine frühe Datierung, s. o. im Abschnitt über Legierungen. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Im Nachgang zum Forschungsprojekt wurden sechs Schmelzreste aus dem genannten Areal restauriert und analysiert (Probennummern RLMB 61–65, nicht in Datenbank oder Tabelle). Dazu zählt auch die erkaltete Restschmelze von 260 Gramm am Boden eines nur teilweise erhaltenen Schmelzriegels mit einem geschätzten damaligen Fassungsvermögen von etwa einem bis anderthalb Kilogramm Bronze



Reste von Bronzestatuen aus Duppach-Weiermühle. Rheinisches Landesmuseum Trier.

Abb. 40 (gegenüber, oben) Vergoldete Reparaturbleche. Abb. 41 (gegenüber, unten) Das Prinzip der Inlaytechnik, nachgewiesen am Reparaturstück eines Gewandfragments (GBL 308).

Abb. 42 (oben) Mikroskopaufnahme eines Gewandfragments (GBL 308) bei zwanzigfacher Vergrößerung mit einer Detailansicht der Gewebestruktur, welche sich in Bronze übertragen hat.

(RLMB 60). Zahlreiche Fragmente von römischen Tierglocken, die teils verschmolzen waren, dienten wohl wegen ihres hohen Zinngehalts (RLMB 63) als wertvolle Zugabe beim Legieren (Sn 20 %). Die Schmelzriegelfüllung (RLMB 60) besteht aus Bleibronze mit niedrigem Zinngehalt (Sn 2,2 %, Pb 22 %), wie sie in einigen Fällen auch für Großbronzen verwendet wurde (so Trier-Helfant GBL 164 oder Tawern GBL 324). Die gemessenen Wirbelstromwerte lagen hier wegen des hohen Kupfergehaltes bei neun MS/m. Ein weiterer Schmelzrest (RLMB 64) besteht aus bleihaltiger Bronze, die auch für Großbronzen geeignet wäre, jedoch nicht einer typischen Limesbronze entspricht (Sn 10,6 %, Pb 9,3 %). Zwei Schmelzreste (RLMB 62 und 65) bestehen aus klassischen Rotgusslegierungen, wie sie etwa für Hemmorer Eimer verwendet wurden (Cu 76 %, Sn 3,6–5,7 %, Pb 2,4–5,1 %, Zn 13,8–14,9 %).

*Duppach-Weiermühle* (FO 21, GBL 178, 185 und 308–310)

Die römische Nekropole von Duppach-Weiermühle befindet sich in der Umgebung einer römischen Ansiedlung mit *Villa rustica*, nahe der Agrippastrasse und nur knapp acht Kilometer südlich vom Vicus und spätantiken Kastell Icorigium (Jünkerath) entfernt. Bei Ausgrabungen wurden zwei zeitlich aufeinander folgende Grabdenkmäler dokumentiert

(P. Henrich in: D. Boschung [Hrsg.], *Grabbauten des 2. und 3. Jahrhunderts nach Christus in den gallischen und germanischen Provinzen*. Kongr. Köln 2007 [Wiesbaden 2009] 13–37; P. Henrich, *Die römische Nekropole und die Villenanlage von Duppach-Weiermühle, Vulkaneifel*. *Trierer Zeitschr. Beih.* 33 [Trier 2010] 161 f.). Die dabei entdeckten Statuenteile ließen sich nicht genau referenzieren. Der Fundplatz brachte zehn vergoldete Bronzestatuenreste zutage, bei denen es sich größtenteils um gegossene und herausgefallene Reparaturstücke handelt (Abb. 40).



Ein Reparaturstück (GBL 308) zeigt eine Art Reparaturtechnik, die mehrfach im Untersuchungsgebiet beobachtet und als Besonderheit erkannt wurde (Abb. 41). Die Ausführung der Reparatur ist vergleichbar mit der modernen Zahn-Inlaytechnik. Man hat damit eine wohl durch Gussfehler verursachte Fehlstelle an einer Gewandfalte ausgebessert. Mit einem scharfen Ziseliermeißel wurde hierzu die fehlerhafte Stelle grubenartig vertieft oder ausgeschnitten und an den Kanten begradigt. Sodann wurde ein mit Wachs getränktes Gewebe in die Fehlstelle eingedrückt und somit diese als Positiv abgeformt. Das Textil diente hier als innere Verstärkung. Der Abdruck des Gewebes ist noch heute auf der Rückseite des Fragments gut zu erkennen (Abb. 42). Es handelt sich wohl um Reststücke zweier unterschiedlicher Leinwandgewebearten (grob und fein). Die gleiche Technik der Gewebeverstärkung zeigt die Rückseite eines weiteren vergoldeten Reparaturbleches, welches ebenso wie das Fragment mit der Probennummer GBL 308 an einer Faltenkante eingefügt war. Die Wachsabformung wurde in Bronze nachgegossen und dann passgenau

in die Fehlstelle eingefügt sowie durch wenige Schläge mit Hammer und Treibeisen in der Bronze befestigt. An drei vergoldeten Reparaturblechen sind Ansätze runder Bohrungen erkennbar, die zur Befestigung der Reparaturstücke mittels Nietstiften dienten.

Zwei der flächigen Reparaturbleche (GBL 309 und 310) wurden analysiert. Sie stimmen trotz ihres separaten Gusses in ihrer Zusammensetzung überein. Sie ähneln sich in der Materialdicke sowie in der Vergoldung und gehören auch nach Ausweis der Legierung zu einer einzigen Statue. Zink- und Goldgehalt weisen auf die Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung hin. Zudem liegt der Bleianteil gegenüber den anderen Proben aus Duppach deutlich höher (Pb 15–17 %) und somit im Bereich einer durchschnittlichen Limesbronze. Ferner ist der Silbergehalt leicht erhöht, womöglich bedingt durch Silberanteile im Blei. Bei den drei anderen Proben (GBL 178, 185 und 308) handelt es sich um zwei vergoldete Statuenteile und das oben beschriebene Reparaturstück mit Inlaytechnik. Sie geben jeweils keine Hinweise auf Metallrecycling. Ihr gemessener Bleianteil (Pb 8,4 %, 7,9 % und 8,1 %) liegt bemerkenswerterweise jeweils deutlich unter dem durchschnittlichen Wert der Limesbronzen.

Das Blei von GBL 308 ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H). Der Anschlag (GBL 178) zeigt Blattvergoldung. Anhand der Proben aus Duppach lassen sich zwei Gruppen isolieren, die von zwei vergoldeten Statuen stammen. Die dreieckigen Reparaturbleche (GBL 309 und 310) wurden vielleicht in der mittleren bis späten Kaiserzeit gearbeitet, wofür die nachweislichen Altmetallbeimengungen und der vergleichsweise hohe Bleigehalt sprechen. Die zweite Legierung ist gekennzeichnet durch den niedrigen Gehalt an Blei, das nach Ausweis der Bleiisotopenanalyse nicht aus regionalen Lagerstätten stammt.

*Echzell* (FO 41) s. Obergermanischer Limes

*Famars* (FO 18, GBL 360)

Die Bohrprobe (GBL 360) stammt von einem Finger, der im Vollguss gearbeitet ist und dessen Legierung einer typischen Limesbronze entspricht (Cu 76 %, Sn 5,3 %, Pb 18 %). Die Bleiisotopenverhältnisse der Legierung liegen wie diejenigen eines Fragmentes von der Saalburg (GBL 212) und eines

weiteren aus Trier (GBL 155) außerhalb der Gruppe H und den Werten des Plumbum Germanicum. Das Blei in der Legierung kann entweder aus der Eifel oder aus den Penninen in England stammen. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

*Gnotzheim* (ORL 70, FO 54, GBL 465–468) und *Theilenhofen* (ORL 71a, FO 55, GBL 414, 415, 417–429 und 469)

Auf dem Areal des am rätischen Limes gelegenen Kohortenkastells Gnotzheim (81/96 n. Chr. bis spätestens um 260 n. Chr.) wurden vierzig Bronze­statuenfragmente aufgelesen, vermutlich zusammengehörige Teile eines einzigen Kaiserbildnisses (Abb. 43). Die Zusammensetzung entspricht in etwa einer durchschnittlichen Limesbronze, wobei der Zinngehalt geringer ausfällt (Sn 3,5–4,9 %).

Im nur wenige Kilometer entfernten Kohortenkastell Icinicum (Theilenhofen, um 100 n. Chr. bzw. nach 100/101 n. Chr. bis spätestens um 260 n. Chr.) wurden bei Grabungen in den Principia 165 Bronze­statuenfragmente gefunden (Abb. 44).

Reste von Statuenbasen ließen erkennen, dass im Bereich der Querhalle einst mindestens zwei Bildnisse standen (ORL B 71a, 5.7.12 Bronze Nr. 2.3; Gamer, Bronzestatuen 102–104 Nr. 55–59; 61; 63–65; Stoll, Skulpturenausstattung 540–543). Von diesem Fund-

komplex wurden für die Be­probung folgende Objekte ausgewählt: ein Gewand­fragment mit schwarzer Oberfläche (GBL 420), Pteryx­fragmente, davon eines mit heller Korrosion (GBL 422, eine von insgesamt zwölf zusammengehörigen Pteryges mit unterschiedlichen Verfahrorten), eines mit Akanthus und schwarzer Oberfläche (GBL 421) sowie ein drittes (GBL 423), ferner ein Fransensaum (GBL 426), der Daumen einer leicht überlebensgroßen rechten Hand (GBL 414), ein Schuhriemenbruchstück (GBL 415), ein Körper­fragment (GBL 419), ein Gewand­abschnitt (GBL 417), ein Stück mit breitem Profil­steg und aufwendigen floralen sowie ornamentalen Ein­lassungen für Niello (GBL 469), welches zum Teil erhalten ist (vgl. in Bonn GBL 377), sowie ein weiteres mit Spuren von Nielloeinlagen (GBL 418).

Aus dem Vicus des Kastells stammen zusätzlich 142 Lesefunde, aus denen exemplarisch ein Körper­fragment (GBL 427), ein unbestimmtes Stück mit schwarzer Oberfläche (GBL 429), eines mit Tauschierungsgruben (GBL 425) und ein weiteres mit Schuppendekor (punziert) (GBL 428) sowie ein verziertes, punziertes Stück, ebenfalls mit schwarzer Oberfläche (GBL 424), untersucht wurden. Das Fragment, dem Probe GBL 428 entnommen wurde, passt makroskopisch zu drei weiteren, von denen zwei auch Tauschierungsgruben aufweisen. Dieses Merkmal legt wiederum einen Vergleich der Legierung mit



Fragmente. München, Archäologische Staatssammlung.

Abb. 43 (gegenüber) Aus Gnotzheim.

Abb. 44 (oben) Aus Theilenhofen, zum Teil mit Resten polychromer Einlegearbeiten, Niello oder Gravuren.

dem tauschierten Fragment GBL 425 nahe. Der eng beieinanderliegende Zinngehalt sowie die ähnliche Zusammensetzung der Spurenelemente bestätigt schließlich die Zusammengehörigkeit (GBL 425: Sn 6,3 %, GBL 428: Sn 5,9 %).

Die Proben aus Theilenhofen (GBL 414–415, 417–429 und 469) sind in ihrer Zusammensetzung mit denen aus Gnotzheim identisch. Lediglich GBL 424, das von einem punzierten Fragment stammt, enthält Spuren von Gold, die auf eine Wiederverwendung ehemals vergoldeter Statuen hinweisen (Au 0,16 %). Die Werte entsprechen der durchschnittlichen Legierung des Untersuchungsgebietes (Sn 5,5 %, Pb 19,5 %).

Da die Fundorte der Fragmente nicht sehr weit auseinanderliegen und die Legierungen nahezu identisch sind, kann mit einiger Bestimmtheit behauptet werden, dass es sich um zusammengehörige Teile einer einzigen Statue handelt, die nach ihrer Zerstörung aufgeteilt und in beiden Kastellen zur späteren Wiederverwendung aufbewahrt wurden. Die leichten Unterschiede im Erhaltungszustand können jeweils durch verschiedenes Bodenmilieu bedingt sein. Da beide Kastelle beim Fall des Obergermanisch-Rätischen Limes 259/260 n. Chr. zerstört wurden, war die Statue schon vor diesem Zeitpunkt zerschlagen worden (ORL B 71a, 12 Bronze Nr. 1 Taf. 4, 1; Gamer, Bronzestatuen 102 Nr. D 55; Stoll, Skulpturenausstattung 541). Lediglich das Stück der Probe (GBL 424) kann aufgrund des Goldanteils (Au 0,16 %) von einer anderen Gusscharge mit wiederverwendetem Material vergoldeter Statuen stammen und den Nachweis einer zweiten Statue oder einer anderen Gusscharge liefern (vgl. GBL 437 aus Mögglingen). Die erhaltenen Fragmente mit Tauschierung, Punzierung sowie Nielloeinlagen deuten auf eine sehr reiche polychrome Ausgestaltung der Plastik hin.

Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Groß-Gerau* (FO 44, GBL 1–28, 523–525, 543 und 544)

Im hessischen Groß-Gerau befand sich zwischen 75 und 115 n. Chr. ein römisches Kastell, dessen Vicus auch nach dem Abzug der dort stationierten Militäreinheit bis in die Mitte des dritten Jahrhunderts besiedelt blieb (C. Wenzel, Groß-Gerau I. Der römische Vicus von Groß-Gerau, ›Auf Esch‹. Die Baubefunde des Kastellvicus und der Siedlung des 2.–3. Jahrhunderts. Frankfurter Arch. Schr. 9 [Bonn

2009]). Nach dem Limesfall ließen sich auf dem Areal der Vorgängersiedlung zu Beginn des vierten Jahrhunderts alamannische Einwanderer nieder. Zerschlagene Teile mehrerer zum Teil vergoldeter römischer Bronzestatuen fanden sich in einem vergrabenen Metalldepot (C. Wenzel in: Gebrochener Glanz 163–165 [mit Lit]). Die grabungsfrischen Fragmente wurden im Rahmen des Forschungsprojektes in Bonn restauriert und konserviert. Das lebensgroße Rückenfragment einer vergoldeten männlichen Idealstatue ist das mit Abstand größte Objekt des Fundplatzes (GBL 1, 2 sowie 16–19), gefolgt von einem am Gewandsaum ehemals polychrom verzierten unvergoldeten Gewandfaltenendstück (GBL 3 und 4). Von dort stammen weitere lebensgroße vergoldete Körperfragmente, ein Beinfragment mit polygonaler Reparaturstelle (GBL 14 und 15), ein vergoldetes Gewandfragment mit aufwendiger Reparatur (GBL 5–13 und 20–28) sowie ein weiteres, unvergoldetes, recht dickwandig gegossenes Gewand- oder Körperfragment (GBL 524). Weitere kleine Statuenstücke mit Schmelzspuren wurden in der näheren Umgebung des Fundplatzes geborgen (so GBL 523 und 525, s. Abb. 15).

Aus dem in Bonn zur Restaurierung vorgelegten Fundmaterial wurden dreiunddreißig Materialproben von neun Objekten entnommen. Elf davon waren durch interkristalline Korrosion verändert und konnten daher für die Auswertung nicht herangezogen werden (GBL 12, 16–18, 20–25 und 28). Es wurden sowohl die Gusslegierungen als auch die Zusammensetzung von Reparaturnietstiften aus Kupfer sowie die eingesetzten Reparaturstellen und eine Überfangguss-Stelle analysiert. Neben achtzehn aussagekräftigen Bohrproben dienten auch kleine Abschnittproben für Anschliffe zur Bestimmung der Vergoldungstechnik (GBL 19 und 28). Dazu kamen kleine Schabproben (GBL 12, 20–25), die unter dem Mikroskop untersucht wurden.

Abgesehen von den Proben der beiden Reparaturnietstifte aus Kupfer (GBL 5 und 10) und den Schabproben zur Vergoldungstechnik handelt es sich bei den Statuenlegierungen wie auch bei den eingesetzten Gusslegierungen um hoch bleihaltige Blei-Zinn-Bronzen, die für das Untersuchungsgebiet typisch sind.

In Kombination mit den Beobachtungen zur Herstellung können folgende Fragmente jeweils

einer separaten Statue zugewiesen werden: Ein diffusionsvergoldetes Rückenfragment (GBL 1 und 2), ein unvergoldetes Gewandfragment mit ehemals durch Bleilot angefügtem Saum aus andersfarbigem Metall (GBL 3) sowie ein hier zugehöriges Reparaturblech (GBL 4), ein blattvergoldetes Beinfragment (?) (GBL 14 und 15), ein blattvergoldetes Gewandfragment (GBL 7 und 8), ein unvergoldetes Statuenfragment (GBL 523), ein unvergoldetes Gewandfragment (GBL 524), ein vergoldetes Statuenfragment



Abb. 45 a–b Statuenteile. Darmstadt, Landesamt für Denkmalpflege Hessen. – (a) GBL 543 aus Rüsselsheim-Bauschheim. – (b) GBL 544 Büttelborn.

(GBL 543) sowie ein unvergoldetes Statuenfragment (GBL 544). GBL 543 und 544 stammen von Material einer späteren Grabungskampagne in den benachbarten Ortsteilen Bauschheim und Büttelborn und wurden zur Beprobung nachgereicht (Abb. 45). Somit lassen sich anhand der technischen Beobachtungen und Metallanalysen Teile von insgesamt acht Statuen feststellen. Es wurden anhand der Anschliffe sowie der mikroskopischen Untersuchungen sowohl Diffusionsvergoldung (Rückenfragment GBL 19) als auch Blattgoldauflage (Gewandfragment GBL 21, 22 und 24) nachgewiesen.

Beim Rückenfragment hatte man nach der Zerstörung versucht, die Vergoldung zwecks Wiederverwendung abzukratzen. Dies scheiterte jedoch an der festen Verbindung, die bei der Diffusionsvergoldung mit der Bronze entstanden war (Abb. 15; K. Bott / F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 207–209).

Ein Fragment aus der Gruppe eingeschmolzener Statuenteile (GBL 525, Abb. 15) weist, ähnlich wie einige Fragmente aus Mainz, eine hoch kupferhaltige

Legierung auf (Cu 97 %, Sn 0,25 %, Pb 2,1 %), so dass die Zugehörigkeit zu einer Statue dieser Gruppe ausgeschlossen ist.

Die Probe des unvergoldeten dickwandigen Gewandfragments (GBL 524) stimmt in der Legierung mit einem als vergoldetes Beinfragment gedeuteten Objekt überein (GBL 14 und 15). Besonders gut zu erkennen ist dies am niedrigen Zinnanteil (Sn 1,5–1,7 %) sowie an den Werten der Spurenelemente Silber und Antimon, die sich vom Probenspektrum der restlichen Funde aus Groß-Gerau unterscheiden. Insbesondere ist aufgrund der erhöhten Antimonwerte ein Anteil von Fahlerzkupfer aus in vorrömischer Zeit genutzten Lagerstätten nicht auszuschließen (vgl. auch die Stücke in Aalen = GBL 47; Duisburg-Mindelheim = GBL 551, Waldgirmes = GBL 529; Tawern = GBL 173). Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich jedoch um zwei verschiedene Statuen (vergoldet und unvergoldet), die nach gleicher Rezeptur und vermutlich zeitnah in einer gemeinsamen Werkstatt gegossen wurden. Zudem weisen die Analysedaten am Beinfragment auf eine abweichende Zusammensetzung des Überfanggusses hin, da die Gusslegierung viel Blei enthält, die Schweißnaht hingegen sehr wenig (Pb 4,7 % statt 22 %).

Die Analysen zu dem vergoldeten und aufwendig reparierten Gewandfragment belegen, dass die Legierung des Gussstückes selbst (Proben GBL 7 und 8) mit der Legierung zahlreicher eingesetzter Reparaturbleche (GBL 9 und 13) übereinstimmt (GBL 3–13 und 20–28). Sogar die aus zerschlagenen alten Statuenteilen stammenden Fragmente (GBL 6 und 11), welche zur Stabilisierung mit Nieten an der Rückseite des Stückes befestigt worden sind, stimmen in ihrer Zusammensetzung mit der Gusslegierung überein. Dies deutet auf die Verwendung einer Werkstattrezeptur hin, bei der werkstatteigenes Altmetall zur Reparatur oder Instandsetzung vorrätig gehalten wurde (F. Willer in: *Gebrochener Glanz* 210 f. Abb. 1). Die beiden hier zugehörigen analysierten Nietstifte (GBL 5 und 10) bestehen wie die übrigen beprobten Niete aus höchst kupferhaltigen Legierungen (Sn 0,85–1,0 %, Pb 1,1–3,1 %). Die Spurenelemente der Nietstifte weisen auf eine andere Herkunft hin als die Spurenelemente des Kupfers aus der Legierung der Statuen. Der geringe Anteil von etwa einem Prozent an Blei und Zinn in den Kupfernieten ist auf die Vermischung mit Altmetallzusätzen zurückzuführen. Sie

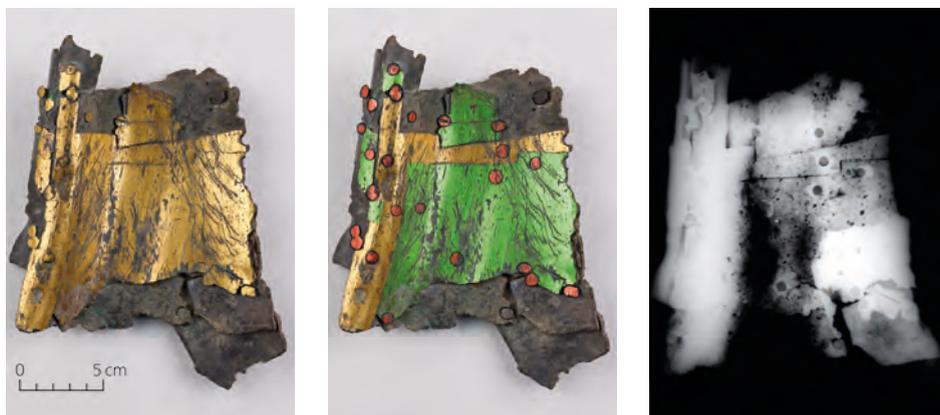


Abb. 46 a–c Gewandfragment aus Groß-Gerau (GBL 7–13 und 20–25). Darmstadt, Landesamt für Denkmalpflege Hessen. (a–b) Passgenau eingelegte Reparaturbleche (grün markiert) werden mit Senkkopfnietstiften aus Kupfer (rot markiert) in Position gehalten. (c) Röntgenbild mit sichtbaren Arbeitsspuren.

enthielten höchstwahrscheinlich sardisches oder spanisches Blei, dessen Signaturen sich hier auf die Probe des Kupfernietstiftes (GBL 5) übertragen haben. Dies weist darauf hin, dass die Nietstifte nicht in der Gießerei gefertigt wurden. Die Zusammensetzung der Gusslegierung und des eingesetzten Reparaturbleches am unvergoldeten Gewandfragment ist identisch (GBL 3 und 4).

Das Fragment einer unvergoldeten Statue aus Groß-Gerau - Büttelborn (GBL 544) weicht in seiner Zusammensetzung deutlich von den typischen Limesbronzen ab. Der Zinnanteil ist relativ hoch, der Bleiwert relativ gering (Sn 11 %, Pb 4,8 %). Das vergoldete Fragment aus Rüsselsheim-Bauschheim (GBL 543) entspricht hingegen eher einer typischen Limesbronze (Sn 8,3, Pb 11 %). Diese Probe enthält zudem eindeutige Hinweise auf wiederverwendetes Messing sowie vergoldete Bronze in der Legierung (Zn 0,34 %, Au 0,05 %).

Ähnlich wie ein Reparaturfragment aus Duppach zeigt auch das vergoldete Gewandfragment (Proben GBL 7 und 8) eine Reparatur nach der Inlaytechnik (Abb. 46). Die in Bronze nachgegossenen und passgenau eingefügten Reparaturstücke (GBL 9) entsprechen in ihrer Zusammensetzung sehr genau der Gusslegierung der Statue. Eine zufällige Materialauswahl ist somit auszuschließen. Hinweise auf Zugabe von Messing finden sich in den Funden aus Bauschheim und Büttelborn, im Reparaturblech sowie beim unvergoldeten Gewandfragment (GBL 3 und 4) und beim Rückenfragment (GBL 2 und 19). Hinweise auf

Wiederverwendung vergoldeter Statuen liegen nur bei zwei Proben vor (GBL 525 und 543).

Die Isotopenverhältnisse deuten auf die Verwendung von drei unterschiedlichen Bleisorten zum Statuenguss hin. Drei Proben von zwei Fragmenten (GBL 6, 7 und 543) sind mit Plumbum Germanicum aus der Eifel versetzt, wohingegen das unvergoldete Gewandfragment (GBL 3) vermutlich britisches Blei enthält. Das Blei des Rückenfragments (GBL 2) ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Hambach-Niederzier* (FO 12, GBL 114–118, 521 und 522)

Im Keller einer Villa rustica im Hambacher Forst wurden 1979 bei Ausgrabungen zahlreiche Metallstücke, Bronzebarren, Bronzezylinder, flach gehämmerte Scheiben, Schrötlinge und Münzen sowie zwei große Klumpen geschmolzenen Metalls entdeckt (C. Klages in: Gebrochener Glanz 158 f. Abb. 1 [mit. Lit.]). Die rund einhundertsechzig Objekte mit einem Gesamtgewicht von über zweieinhalb Kilogramm werden als Überreste einer Münzfälscherwerkstatt gedeutet (Abb. 47). Die Datierung in die Zeit des Gallischen Sonderreiches basiert auf achtundneunzig fertig geprägten Falschmünzen, Antoniniane mit dem Porträt des gallischen Sonderkaisers Tetricus (270–274 n. Chr.). Die dort gefundenen vergoldeten Statuenreste dienten vielleicht als Ausgangsmaterial für die Münzherstellung, darunter ein noch nicht eingeschmolzenes Stirnfragment mit gescheiteltem Haar (GBL 117 und 118), ein Daumen mit Daumenballen

von einer Hand, welche vermutlich ein Attribut hielt (GBL 521), sowie ein Gewandfragment (GBL 114 und 115). Die Verwendung von Gussbronze für die Münzherstellung ist – wie die Tatsache der Falschmünzerei an sich – auf die wirtschaftliche Not in der zweiten Hälfte des dritten Jahrhunderts zurückzuführen. Durch eine Gegenprobe im Münzmaterial sollte die Verwendung der Statuenreste als Münzmaterial verifiziert werden. Ferner galt es zu klären, ob die Statuenterteile von einer oder möglicherweise mehreren Statuen stammten. An allen Fragmenten fanden sich Reste von Vergoldung, die auf eine Herkunft von einer Statue deuteten.

Es wurden sieben Proben von vier Objekten entnommen. GBL 114–118 und 521 stammen von zerschlagenen vergoldeten Bronzestatuen. GBL 114–116 wurden einem Fragment entnommen, um neben der Zusammensetzung der Gusslegierung (GBL 116) auch ein vermutetes Kupferlot zu bestimmen (GBL 115), welches auch metallographisch untersucht wurde (GBL 114). Die Probe GBL 522 wurde von einem aus dem Konvolut stammenden Münzschrotling entnommen, um zu prüfen, ob hier dasselbe Metall vorliegt. Die Analysen der drei vergoldeten Statuenterteile (GBL 116, 117 und 521) eines Gewand-, Haar- und Handfragments sind in ihrer Zusammensetzung sehr ähnlich und können von einer einzigen zerschlagenen Statue stammen. Zudem ist auffällig,

dass die Legierung aller drei Fragmente wiederverwendetes Messing enthält. Möglicherweise stammen sie von unterschiedlichen Körperpartien, wodurch die leichten Abweichungen im Bleigehalt (14–20 %) zu erklären wären. Der Zinnanteil ist recht einheitlich (Sn 5,8–7 %). Wie bereits Axel Hartmann feststellt (A. Hartmann / V. Zedelius in: Ausgrabungen im Rheinland '79 [Bonn 1980] 204), findet sich auch Gold in dem analysierten Münzschrotling (GBL 522) wieder. Neben vergoldeten Statuenterteilen wurden offenbar auch andere Altwaren mit eingeschmolzen, wie der hohe Zinkgehalt zeigt (Zn 1,5 %).

Der hohe Kupferanteil in den Proben GBL 114 und 115 (Cu 98–99 %) bestätigt die Vermutung, dass es sich an dieser Stelle um Reste einer hochkupferhaltigen Lotverbindung handelt (U. Sobottka-Braun / F. Willer in: Das Wrack 1017–1021, hier 1018 f.). Dieses auch als Hartlot bezeichnete Verbindungsmaterial wurde bislang an antiken Bronzen nur selten beobachtet, denn im Vergleich zur Weichlotverbindung aus Zinn und Blei besitzt Hartlot einen höheren Schmelzpunkt und kann höhere Kräfte binden.

Die metallographischen Daten der Anschliffprobe GBL 117 weist auf Blattvergoldung hin (s. Farbtafel 3, 1; Tabelle 1).

Die Analysen legen nahe, dass alle Gusslegierungen nach einer einzigen Werkstattrezeptur hergestellt



Abb. 47 Zerschlagene Statuenterteile, Schmelzreste sowie Münzschrotlinge einer römischen Münzfälscherwerkstatt aus Hambach-Niederzier. Landesmuseum Bonn.

wurden und dann mit anderem Altmetall zu Münzschrotlingen umgeschmolzen wurden. Die Bleiisotopenanalyse der Probe GBL 118 deutet auf die Zugabe von Blei aus deutschen Lagerstätten in der Eifel hin.

*Heddendorf* (FO 23) s. Obergermanischer Limes

*Heftrich* (FO 37) s. Obergermanischer Limes

*Hinzerath* (FO 29) s. Moselraum

*Isny i. Allgäu* (FO 65, GBL 73–80, 92, 93 und 179–182)

Im Alenkastell Vemania bei Isny (260 n. Chr. bis



Abb. 48 Im spätantiken Kastell Isny gefundenes vergoldetes Mantelfragment eines zerschlagenen und verschleppten Reiterstandbildes (GBL 180). Stuttgart, Landesmuseum Württemberg.

frühes 5. Jh.) wurden sechundsiebzig Fragmente vergoldeter Reiterstatuen gefunden. Das 45 mal 80 Meter kleine und dicht bebaute Kastellplateau dürfte kaum Platz für die Aufstellung derartiger Skulpturengruppen geboten haben. Zudem sprechen die spätantike Datierung und Positionierung des Alenkastells am Donau-Iller-Rhein-Limes gegen eine Gleichsetzung von Fund- und Aufstellungskontext (Gamer, Bronze-*statuen* 40; J. Garbsch, *Fundber. Schwaben* 19, 1971,

207–229; ders., *Allgäuer Geschichtsfreund* 73, 1973, 43–57). Dieser dürfte eher im Umfeld eines urbanen Statuenprogramms, beispielsweise auf dem Forum des nahegelegenen Cambodunum (Kempten) zu verorten sein. Die vermutete Herkunft sollte durch den Vergleich mit den RFA-Daten der Reiterstandbilder aus Kempten überprüft werden. In das Kastell Vemania wurden die Reste der Reiterstandbilder mit großer Wahrscheinlichkeit erst in der Spätantike verschleppt. Für diese Zeit gibt es im Untersuchungsgebiet so gut wie keine Hinweise auf Statuenherstellung. Eine Chronologie des Statuengusses von der römischen Okkupation bis zur Mitte des dritten Jahrhunderts lässt sich nur mit Einschränkung entwickeln. Jedoch weist der höhere Anteil von Antimon in der Legierung auf einen möglicherweise frühen Herstellungszeitpunkt des Reiterstandbildes hin.

Zwölf Bohrproben (GBL 73–80 und 179–182) sowie zwei Anschliffproben (GBL 92–93) wurden den vergoldeten Fragmenten entnommen, die nach konservatorischer Beurteilung allesamt Teile eines einzigen Reiterstandbildes darstellen (Abb. 48). Die Analysen bestätigen dies. Es handelt sich demnach um eine einheitliche Legierungsrezeptur mit nur geringfügigen Abweichungen, die durch das Teilgussverfahren und große Gusschargen bei einem monumentalen Bildwerk zu erklären sind. Neben den durchschnittlichen Hauptbestandteilen der Legierung (Cu 78 %, Sn 5,6 %, Pb 15 %) finden sich in allen Proben erhöhte und nahezu identische Anteile an Nickel, Silber und Antimon. Ähnlich wie in Kempten weisen die Bleiisotopenmessungen auf Zugabe unterschiedlicher Bleisorten hin. Berechnungen ergaben, dass große Bildwerke wie Reiterstandbilder je nach Wandstärke der Bronze etwa fünfhundert bis siebenhundert Kilogramm wiegen. Aufgrund des gemessenen durchschnittlichen Bleianteils und der recht ausgeprägten Dickwandigkeit der hier vorliegenden Fragmente lässt sich der Bedarf an Blei auf etwa einhundert Kilogramm schätzen. Da solche Bildnisse nur im Stückguss in mehreren aufeinander folgenden Gusschargen gefertigt werden konnten, ist die Zugabe unterschiedlicher Bleisorten durch die benötigten hohen Mengen zu erklären. Es scheint sich um eine Mischung aus den beiden Hauptgruppen zu handeln, also aus Blei aus der Eifel und demjenigen von isotopisch nicht klar zuweisbarer Herkunft (Gruppe H), wogegen das Blei in

den Kemptener Bronzen eher aus dem französischen Alpenraum und britischen Lagerstätten stammt. Eindeutig lässt sich die Isotopensignatur der Eifel an dem Fragment mit dem höchsten Bleigehalt beobachten (GBL 74, Pb 23 %). Die Legierungen der analysierten Stücke sind in ihrer Zusammensetzung recht einheitlich. Sie enthalten für römisches Material einen hohen Anteil an Spurenelementen (Antimon und Silber) im Promillebereich, weshalb sie sich deutlich von den Befunden aus Kempten abheben (Sb 0,52–0,72 %, Ag 0,11–0,19 %). Vergleichbar hohe Werte finden sich nur in wenigen frühen römischen Statuen, wie etwa aus Waldgirmes.

Die Vermutung, es handle sich um verschleppte Teile der ebenfalls im Rahmen des Projekts analysierten Pferdebildnisse aus Kempten, lässt sich nicht bestätigen, da die dortigen Haupt- und Nebenbestandteile der Legierungen deutlich anders zusammengesetzt sind (siehe Kempten).

Metallographische Untersuchungen an den Statuenteilchen aus Isny zeigen, dass Blattvergoldung vor-

liegt. Trotz der Oberflächenveredelung weist die Legierung einen relativ hohen Anteil an kostspieligem Zinn auf. Wie schon mehrfach erwähnt, zeigen später zu datierende Statuen aus dem Untersuchungsgebiet oftmals aus Ersparnisgründen weniger Zinn und deshalb eine deutlich rötliche Legierung, die wegen der Vergoldung unsichtbar blieb, sich aber besonders bei großformatigen und dickwandigen Bildnissen wie Reiterstandbildern rechnete. Beim Reiterstandbild aus Isny musste in der vermuteten frühen Herstellungsphase wohl noch nicht am Material gespart werden. Die frühe Entstehung würde in Verbindung mit einer spätantiken Verschleppung für eine lange Verweildauer des Reiterstandbildes am intendierten Aufstellungsort sprechen.

An einigen Statuenteilchen wurden Reste des Tonkernes zur Analyse beprobt (T 1 = GBL 74, T 2 = GBL 76, T 3 = GBL 78, T 13 = lfd. Nr. 532), zu diesen Tonkernanalysen s. den Haupttext.

*Kalkar, Alt-Kalkar* (FO 5, GBL 101–112 und 479–484)



Abb. 49 Statuentteile aus Kalkar, Alt-Kalkar. Römermuseum und Außenstelle des ABR, Xanten.

Auf dem sogenannten Kalkarberg, einer Strauchmoräne über der Rheinaue im niederrheinischen Kalkar, wurden seit der Jahrtausendwende durch Prospektionen und Ausgrabungen des Bodendenkmalpflegeamtes große Teile eines Kultbezirkes aufgefunden gemacht. Aus dem Umfeld der zentralen Kultbauten – einem gallorömischen Umgangstempel und einem weiteren Gebäude – stammen über einhundertzehn Fragmente vergoldeter Statuen (Abb. 49). Überdies wurden zahlreiche Militaria gefunden. Sowohl die Statuen als auch die metallenen Weihegaben wurden in der Spätantike zusammen mit dem Tempelinventar an Ort und Stelle zerteilt und kleingehackt. Die Münz- und Fibelreihen des Heiligtums erstrecken sich von der mittelaugusteischen Zeit an bis an das Ende des vierten Jahrhunderts (St. Bödecker / C. Sarge in: *Gebrochener Glanz* 92–94 [mit Lit.]).

Eine von dieser Fundstelle seit 1830 bekannte Weihetafel der Ala Noricorum für die Göttin *Vagdavercustis* sowie der 2003 getätigte Fund einer weiteren *Vagdavercustis*-Inschrift im nahegelegenen Kastell Burginatum machen eine Zuweisung des Heiligtums an diese Göttin sehr wahrscheinlich (CIL XIII, 8662; AE 2003, 01227). Auch das beprobte Sockelfragment (GBL 110) mit den noch sichtbaren jeweils oberen Hälften der Majuskeln ›S‹ und ›T‹ könnte diesen Götternamen getragen haben. Eine von einem Gewand bedeckte weibliche Brust (GBL 102, 105 und 106) und Finger unterschiedlicher Größe (GBL 107, 108, 109, 112, 481 und 482) können nach Auswertung der Analysen von drei unterschiedlichen Standbildern stammen.

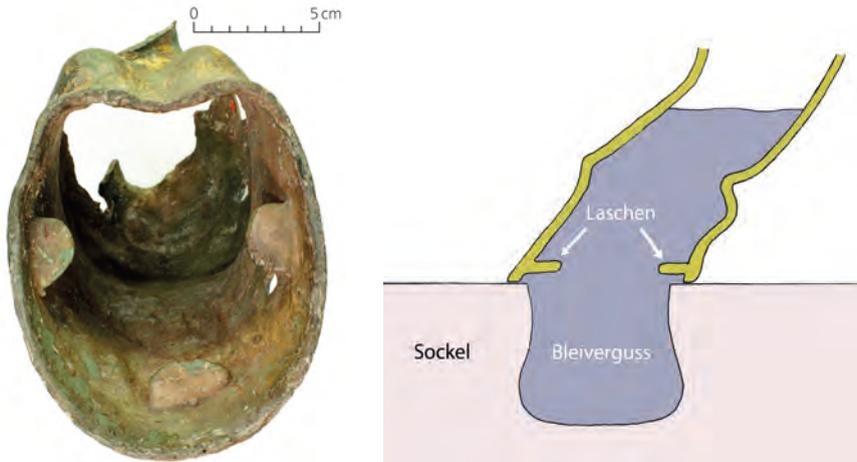
Herstellungstechnisch zeigen die Objekte Gemeinsamkeiten. Größere Reparaturstellen wurden teils mit polygonalen Reparaturblechen geschlossen, die zusätzlich mit Kupfernietstiften in Position gehalten wurden. Diese Technik zeigt beispiels-

weise das dünnwandige, vergoldete Fragment einer weiblichen Brust. Zur zusätzlichen Stabilisierung ist an der Innenseite ein altes Bronzeblech hinterlegt. Der Nietstift (GBL 106) besteht – wie im Untersuchungsgebiet häufig zu beobachten – aus nahezu reinem Kupfer mit sehr geringem Anteil an Zinn und Blei (Sn 1 %, Pb 0,93 %). In allen Anschliffproben (GBL 101–104 und 112) ist Blattgoldauflage nachgewiesen.

Zur Bestimmung der Legierungen und zur Gefügeuntersuchung wurden von ausgewählten Funden aus Kalkar achtzehn Proben entnommen (GBL 101–112 und 480–484). Bei den Objekten, von denen die Proben GBL 101–103 stammen, handelt es sich um korrodierte Fragmente, an denen lediglich die Zusammensetzung der Hauptkomponenten mit Elektronenstrahlmikroanalyse (EDX) gemessen wurde.

Alle analysierten Gusslegierungen, die zu Statuen gehören, haben eine sehr ähnliche Zusammensetzung mit mittlerem Zinngehalt und erhöhten Bleiwerten (Sn 6,7 %, Pb 17 %). Sie entsprechen somit dem durchschnittlichen Legierungstypus im Untersuchungsgebiet. Lediglich die Proben GBL 101, 103, 104 und 112 (Anschliffproben) sowie GBL 482 (Bohrprobe) enthalten einen etwas geringeren Bleianteil (Pb 8,2–12 %). Auffällig sind die Proben GBL 104 (Anschliffprobe) und 480, die einen erhöhten Zinkwert aufweisen, welcher auf Zugabe von Messing deutet (Zn 0,7 %). Bei GBL 110 und 111 sowie GBL 545 fallen die Zinkwerte geringer aus (Nachweisgrenze Zn 0,2 %). Hinweise auf Wiederverwendung von vergoldeter Bronze enthält lediglich Probe GBL 480 (Au 0,04 %). Das Fragment einer Locke (GBL 479) und ein Körperbruchstück (GBL 484) können nach der Zusammensetzung durchaus von einer einzigen Statue stammen. Eine klare Aussage über die Anzahl der Skulpturen ist allein anhand der Legierungen nicht möglich. Alle Bleiisotopen-





Funde aus Kempton und Kempton-Durach. Kempton i. Allgäu, Römisches Museum im Zumsteinhaus.

Abb. 50 a–b (gegenüber) Fragmente von bronzenen Pferdehufen und ein Armfragment.

Abb. 51 a–b (oben) Verankerung von Reiterstandbildern. – (a) Unterseite des Pferdehufs aus Kempton-Durach. Erkennbar sind die in Bronze mitgegossenen Laschen zur Sicherung des Bildwerkes nach dem Bleiverguss. – (b) Schema der Verankerung der Bronze mittels Laschen und Bleiverguss.

verhältnisse der Funde aus Kalkar passen zu denen deutscher Lagerstätten (GBL 545 und 546). Speziell das Blei aus GBL 546 scheint aus dem Sauerland zu stammen.

Auffällig ist die Gestaltung einiger Fragmente, die die Struktur geschnittenen Leders oder eines groben Textils darstellen. Eine sehr ähnliche Gestaltung zeigt ein Fragment aus dem Theater in Künzig (GBL 186). Auch dort könnte es sich um die Darstellung von geschnittenem oder geprägtem Leder handeln. Bohrkanalreste lassen an einigen Stücken vermuten, dass es sich um herausgelöste Reparaturbleche handelt (St. Bödecker / C. Sarge in: Gebrochener Glanz Abb. 3). Einige der Statuenfragmente (GBL 102) sind recht dünnwandig gegossen und weisen auf eine ausgereifte Gusstechnik hin.

*Kasel* (FO 30) siehe Moselraum

*Kempton i. Allgäu* (FO 66, GBL 383, 384, 386, 470 und 474) und *Kempton-Durach* (GBL 385)

Zur Ausstattung der Forumsanlage von Cambodunum (Kempton) zählten nach Ausweis zahlreicher, teils vergoldeter Statuenfragmente auch ein oder mehrere Reiterstandbilder (s. Abb. 27; S. Heckmann in: Gebrochener Glanz 44 f. [mit Lit.]). Einschlägige Objekte sind zwei Pferdehufe (GBL 383 und 384) und die Hand eines Reiters (GBL 474), worunter Letztere

jedoch nicht auf dem Forum, sondern etwa achthundert Meter westlich der Iller gefunden wurde. Belegt ist, dass das Forum in den Wirren um die Nachfolge Neros um das Jahr 69 zerstört und die erste Generation der urbanen Statuenausstattung niedergerissen wurde. Aus den Schuttschichten der Zerstörung des claudischen Forums stammen die beiden Pferdehufe. Mit dem Wiederaufbau wurden neue Statuen aufgestellt, darunter auch im neu errichteten Forumstempel, aus dessen Bereich einige vergoldete Fragmente stammen. Die Metallanalysen sollten klären, ob erstens die Fragmente von Reiterstandbildern zu einem oder mehreren Bildnissen gehörten, ob zweitens ein weiterer vergoldeter Pferdehuf aus Kempton-Durach ebenso den Statuengruppen zuzuordnen ist und ob sich drittens im Material Analogien zu den Funden eines weiteren Reiterstandbildes aus dem spätantiken Kastell Isny finden lassen (Abb. 50).

An den vergoldeten Fragmenten war eine Entnahme einer Abschnittsprobe zur Bestimmung der Vergoldungstechnik aus konservatorischen Gründen nicht möglich. Dennoch scheint es sich, nach Untersuchungen mit dem Mikroskop zu urteilen, sowohl an einem Pferdehuf als auch an der Hand um Blattvergoldung zu handeln. Die Versockelung der Pferde auf ihrer Steinbasis erfolgte mittels eines massiven Bleivergusses durch kleine Aussparungen in den Beinen der Pferde (Willer, Sockelung Abb. 11). Das Blei

floss dann durch die Öffnung in der Unterseite des Hufes in eine sich nach unten weitende Aushöhlung im Stein, so dass beim Erkalten des Metalls eine feste Verzapfung entstand. Die Aussparungen in den Beinen wurden anschließend mit Reparaturblechen verschlossen (Willer, Sockelung Abb. 5–6). Das Blei ist vermutlich bei der Demontage der Bronzen verloren gegangen. Zusätzlich hatte man bei beiden Standbildern die Hufe innen mit halbrunden, in Bronze mitgegossenen Laschen versehen. Diese dienten beim späteren Bleiverguss als Anker (Salcuni/Formigli, Grandi bronzi Abb. 269; 279). Hierdurch sollte eine Bewegung des Standbildes oder gar sein Anheben vermieden werden, etwa bei einem Sturm (Abb. 51).

Von den Kemptener Funden wurden sechs Materialproben von fünf Objekten entnommen. GBL 383 stammt von dem unvergoldeten hinteren Pferdehuf. Hier sind in der Legierung Spuren von Gold enthalten, was auf das Wiedereinschmelzen vergoldeter Bronze zurückzuführen ist (Sn 7,1 %, PB 17 %, Au 0,02 %). Beim vorderen Huf (GBL 384), der vom Werkprozess her einer anderen Gusscharge angehört, liegt der Goldgehalt unterhalb der Nachweisgrenze (Sn 6,8 %, Pb 20 %). In beiden Fällen finden sich Hinweise auf Zugabe von Messing in der Legierung (Zn 0,2 und 0,4 %).

Der vergoldete Vorderhuf eines zweiten Reiterstandbildes stammt aus Kempten-Durach (GBL 385). Er enthält ebenfalls Zink, was auf Zugabe von Messingaltmetall hindeutet (Sn 5,6 %, PB 16 %, Zn 0,2 %). Die Legierungen der beiden Reiterstandbilder sind in ihrer Zusammensetzung nahezu identisch, was auf ein standardisiertes Mischungsverhältnis und einen engen Produktionszeitraum innerhalb einer einzigen Werkstatt schließen lässt. Die Legierung der vergoldeten Hand (GBL 474) stimmt ebenfalls mit den vorgenannten Proben weitestgehend überein. Hier fällt lediglich der Bleianteil etwas geringer aus (Pb 12 %). Ferner sind keine Zuschläge an Messing zu beobachten. Aufgrund dieser Übereinstimmungen ist es durchaus möglich, dass die Hand zum Reiterstandbild mit dem vergoldeten Huf (GBL 385) gehört. Auch das unvergoldete Mantelfragment (GBL 470) sowie das Stück mit Haarstruktur im Überfangguss (GBL 386) wurden mit einiger Wahrscheinlichkeit in dieser Werkstatt hergestellt. Die Metallrezeptur der zum Verbindungsgießen verwendeten Bronze scheint mit der Gusslegierung nahezu identisch zu sein.

Erhöhte Bleizugaben zur Reduzierung des Schmelzpunktes fehlen. Dies deckt sich mit anderen Befunden des Untersuchungsgebietes.

Die Bleiisotopenverhältnisse der Proben des unvergoldeten Pferdehufes (GBL 384) und des unvergoldeten Mantelfragments (GBL 470) unterscheiden sich deutlich voneinander, so dass man hier die Zugabe unterschiedlicher Bleisorten annehmen kann. Für die Herkunft des Bleies kommen jedoch in beiden Fällen Lagerstätten in den Cevennen oder in den



britischen Penninen in Betracht.

Die Messungen an der Fundauswahl aus Kempten und Kempten-Durach zeigen relativ einheitliche Legierungen. Die Metallrezeptur der Reiterstandbilder aus Kempten und Isny unterscheiden sich hingegen in den Spurenelementen so deutlich, dass eine Verschleppung von Teilen des vergoldeten Reiterstandbildes, welches in Kempten-Durach gefunden wurde, ausgeschlossen werden kann (siehe hierzu Isny). Trotz des Nachweises unterschiedlicher Bildnisse und mehrerer durch den Teilguss bedingter Gusschargen lässt sich bei allen analysierten Proben aus dem Kemptener Raum ein relativ einheitlicher Standard bei den Legierungen beobachten. Die bis ins Detail naturalistisch ausgearbeiteten Hufe (Hinweis Ute Knipprath [Bonn]) weisen auf ein exzeptionell gestaltetes Bildwerk hin, welches bereits im Wachsmo- dell so angelegt war. Feinste Ziselierungen der gegossenen Bronze haben diese Details nochmals betont.

*Kleiner Feldberg* (FO 38) s. Obergermanischer Limes

*Köln* (FO 9, GBL 128 und 413)

Vereinzel überlieferte Reste bronzener Statuen, von denen jedoch meist eine exakte Fundortangabe fehlt, bezeugen die Statuenausrüstung der niedergermanischen Provinzhauptstadt Colonia Claudia Ara Agrippinensium (N. Franken, Kölner Jahrb. 29, 1996, 7–203). Appliken von Reiterstandbildern oder

Gespannmonumenten, die man in Köln gefunden hat, gehörten zum Repertoire urbaner Kaiserehrungen (Abb. 53). Die Schuhspitze einer überlebensgroßen Frauenstatue (GBL 128), deren errechnetes Gewicht etwa fünf Zentner betragen haben dürfte, war eventuell Bestandteil eines Bildnisses einer Kaisergemahlin (Abb. 52; H. Menzel, *Römische Bronzen aus Bayern* [Augsburg 1969] 74 Nr. 54). Eine bronzene Applike der Victoria aus dem Rhein (GBL 413) dürfte aufgrund ihrer Vergoldung ebenfalls Teil einer großen Statue gewesen sein (H. Lehner, *Führer durch das Provinzialmuseum in Bonn I. Die antike Abteilung* [2. Aufl., Bonn 1924] 58; Menzel, *Bronzen Bonn* 40 f. Taf. 48–49). Aus konservatorischen Gründen wurden nur von den letztgenannten beiden Kölner Fragmenten Proben entnommen. Die Legierung der Viktoriastatue (GBL 413) wurde nicht bestimmt, da die Bohrprobe aufgrund interkristalliner Korrosion keine aussagekräftigen Messergebnisse erlaubte. Die Legierung des Schuhfragments (GBL 128) weist relativ geringe Zinnanteile und einen im Vergleich zum übrigen Untersuchungsgebiet überdurchschnittlich hohen Bleianteil auf (Sn 2,6 %, Pb 25 %). Eine ähnliche Legierung zeigt der Daumen einer monumentalen Bronze- statue aus dem Bonner Legionslager (GBL 132). Da die Herstellung von überlebensgroßen Bildwerken nach antiker Methode recht anspruchsvoll war, ist zu

überlegen, ob hier möglicherweise eine spezialisierte Werkstatt für den Köln-Bonner Raum tätig war. Die Bleisotopenverhältnisse weisen auf Zugaben von Blei aus der Eifel hin. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

*Konz* (FO 33) siehe Moselraum

*Künzing* (FO 60, GBL 186–209)

Aus dem Kastell Quintana und seiner Umgebung wurden 222 Teile römischer Bronzestatuen mit einem Gesamtgewicht von über dreizehn Kilogramm geborgen (Gamer, *Bronzestatuen* 39 f.; Stoll, *Skulpturenausstattung* 365 ff.; Th. Fischer in: *Spurensuche. Festschr. Hans-Jörg Kellner* [Kallmünz 1991] 125–175). Die meisten Fragmente stammen aus den ergrabenen Bereichen der Principia und des dortigen Zerstörungshorizontes aus der Mitte des dritten Jahrhunderts (H. Schönberger, *Kastell Künzing-Quintana. Die Grabungen von 1958 bis 1966. Limesforsch. 13* [Berlin 1975]; K. Schmotz in: A. Thiel [Hrsg.], *Forschungen zur Funktion des Limes 3. Fachkolloquium der Deutschen Limeskommission, Weißenburg 2005. Beitr. Welterbe Limes 2* [Stuttgart 2007] 132–149). Im östlichen Teil des lagerumschließenden Vicus befand sich auch ein Amphitheater (K. Schmotz in: *Vorträge des 24. Niederbayerischen Archäologentages* [Rha-

Abb. 52 (gegenüber) Schuhspitze einer überlebensgroßen weiblichen Bronze- statue aus Köln. Landesmuseum Bonn (GBL 128).



Abb. 53 (rechts) Fragmente von Bronze- statuen und -appliken. Köln, Römisch-Germanisches Museum.

den 2006] 95–118), auf dessen Terrain allein sieben- und siebenzig Statuenfragmente gefunden wurden. Die Fragen an die Materialproben bezogen sich auf die ungefähre Anzahl der im Amphitheater aufgestellten Statuen sowie auf Vergleichswerte mit dem Kastellmaterial. Daraus sollten Hinweise auf die lokalen Werkstätten und Recycling gewonnen werden.

Einige Künzinger Fragmente aus dem Areal des Theaters weisen auffällig eine homogene schwarze Patina auf, bei der es sich um eine zinnreiche Oberflächenseigerungsschicht handeln kann (so GBL 188, 193 und 199). Ähnliche Befunde erbrachten auch Proben an Fragmenten aus Aalen und dem Bonner Legionslager oder der Saalburg (vgl. den Haupttext, Abschnitt ›Schwarz-silbrige Oberfläche‹). Ob hier ein Zusammenhang mit einer möglichen Behandlung der Oberfläche für intentionelle Farbgestaltung (Silbereffekt) besteht, lässt sich derzeit nicht genau feststellen. Jedoch weisen zwei stark zinkhaltige Medusenappliken auf eine intentionelle Farbkontrastierung hin, die sicher erst durch eine entsprechende farbliche Gestaltung der Statuen selbst zur Geltung kam (GBL 201 und 202). Gleiches gilt für einzelne Einlassungen in der Oberfläche, in denen zum Teil noch Einlegearbeiten aus rötlichem, heute korrodiertem Kupfer enthalten sind. Diese waren jedoch nicht Gegenstand der Analysen (Lfd. Nr. 276 und 291). Einige Stücke einer Panzerstatue werden durch qualitativvolle Oberflächenausarbeitung mit Ziselierung und Punzierung gekennzeichnet (GBL 190, 192 und 193). Ein Statuenfragment zeigt die im Untersuchungsgebiet oft beobachtete Reparaturtechnik, bei der eingesetzte Bleche zusätzlich mit Senkkopfnietstiften aus Kupfer fixiert wurden (GBL 190 und Senkkopfnietstift GBL 191).

Von den Fundobjekten aus dem Kastell sowie aus dem Amphitheater von Künzing wurden vierundzwanzig Bohrproben (GBL 186–209) entnommen. Neben zweiundzwanzig Gusslegierungen wurden eine Montageverbindung (Überfangguss, aus dem Amphitheater, GBL 189), eine Reparatur (Kupfer-nietstift, aus dem Amphitheater, GBL 191) sowie zwei separat gegossene und an der Statue montierte Panzerappliken (Kastell, GBL 201 und 202) analysiert.

Nach der Zinn-Blei-Verteilung lassen sich für Künzing vier Gruppen bilden.

Für den Fundkomplex Amphitheater lassen sich zwei Gusslegierungen unterscheiden. Die erste

Gruppe wird von zwei Fragmenten repräsentiert, deren Legierungen (GBL 188/Guss, GBL 189/Überfangguss sowie GBL 198/Guss) aus einer nahezu bleifreien Bronze bestehen (Pb 0,18 %). Ihre Zinnwerte fallen für das Untersuchungsgebiet relativ hoch aus (Sn 9–11 %). Hierbei handelt es sich um eine verhältnismäßig teure Legierung, die aufgrund ihrer vom Durchschnitt des Untersuchungsgebietes stark abweichenden Zusammensetzung eher einer klassischen Sorte entspricht. Auch die Zusammensetzung der Verschweißung entspricht der Metallrezeptur der Bronzestatue. Lediglich Spuren von Zink deuten darauf hin, dass hier beim Überfangguss dem Tiegel etwas Messing hinzugegeben wurde. Möglicherweise gehörten die beiden Fragmente ehemals zu einer Statue, welche durch Import in die Provinz gelangte.

Die zweite Gruppe aus dem Amphitheater (GBL 186, 187, 190, 192–197) entspricht der typischen Art der Legierungen des Untersuchungsgebietes und weist im Durchschnitt einen hohen Gehalt an Blei (17 %) und einen mittleren an Zinn (7,5 %) auf.

Für den Fundkomplex aus dem Kastell lassen sich ebenfalls zwei Gruppen ähnlicher Zusammensetzung bilden. Die erste davon kennzeichnet eine Legierung mit hohem Zinkanteil, die für Applikationen verwendet wurde (GBL 201 und 202). Zu ihnen gehören die beiden Panzerappliken in Gestalt einer Medusa (GBL 201 und 202) mit einem hohen Zinkanteil von etwa neun Prozent (Cu 86 und 88 %, Zn 8,8 und 9 %, Sn 2 und 3,9 %, Pb 0,6 und 1,2 %). Diese heute als ›Sondermessing‹ zu bezeichnende Mehrstofflegierung sollte vermutlich den Farbkontrast zwischen Applikation und Panzer steigern. Dies deckt sich mit den vorangegangenen Beobachtungen zur polychromen Oberflächengestaltung mittels Tauschierung (GBL 276 und 291). Wahrscheinlich wurde hierfür gezielt Sondermessing hergestellt. Geringere Zinkanteile sind zwar auch in den besagten Proben aus dem Fundareal des Amphitheaters [GBL 189–193] enthalten, sie deuten jedoch, anders als bei den Appliken aus Sondermessing, lediglich auf das Zufügen von Messing zur Verbesserung der Schmelz- und Gusseigenschaft hin und dienen nicht der farbigen Gestaltung. Da Blei in dieser Legierung nahezu fehlt, kann die Verwendung von Altbronze aus der Werkstatt ausgeschlossen werden. Stattdessen wurde hier mit den Rohstoffen legiert. Als Hauptbestand-



Abb. 54 Fragmente der vergoldeten Jupiterstatue von der Großen Mainzer Jupitersäule. Am Fuß der massive Bleiverguss und Reste der Eisenarmierung. Mainz, Landesmuseum.

teil wurde zunächst Kupfer aufgeschmolzen, erst danach kam das Zinn hinzu. Wohl zuletzt wurde zur Verbesserung der Schmelz- und Guseigenschaften etwas Messing hinzugefügt. Hohe Sauerstoffaffinität und der hohe Dampfdruck des Zinks führt hier zur Verringerung des Zinkanteils.

Die zweite Gruppe (GBL 199–200; 203–209) aus dem Fundareal des Kastells entspricht in ihrer Zusammensetzung etwa der zweiten Gruppe der Funde aus dem Amphitheater. Sie weist denselben durchschnittlichen Bleigehalt auf, wogegen der durchschnittliche Zinnanteil etwas geringer ausfällt (Sn 5,9 %, Pb 17 %). Wiederverwendung von Messing lässt sich in den Funden aus dem Kastellareal nicht feststellen. GBL 208 und 209 stammen von mehreren zu einem Fragment verschmolzenen Statuenteilen. Die Bohrproben wurden daher von

unterschiedlichen Stellen entnommen. Es scheint sich aufgrund der sehr ähnlichen Legierungen um Teile einer einzigen Statue zu handeln (Sn 4,5 % und 5,8 %, Pb 17 % und 18 %).

Die Analysen aus Künzinger Funden zeigen drei verschiedene Isotopenverhältnisse, wobei zwei Befunde auf die Gruppe H aus keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten verweisen, während ein Schuhfragment aus dem Kastell (GBL 476) nach bisherigem Kenntnisstand entweder aus den Cevennen oder aus den britischen Penninen stammen kann. Bei den anderen Proben ist derzeit eine genaue Zuweisung nicht möglich, jedoch scheinen das Blei der Legierung des Statuenfragments (GBL 190) sowie das Kupfer bei dem daran befindlichen Kupfernietstift (GBL 191) aus demselben geographischen Raum zu stammen. Einige teils sehr detailreich ausgearbeitete

Stücke sowie die Reste von polychromen Metalleinlagen lassen auf aufwendig gestaltete Bronzen für das Amphitheater schließen. Von einem Schuhfragment aus dem Kastell (GBL 204) wurde eine Tonkernprobe entnommen (T 4).

#### *Maastricht* (FO 14)

Drei Fragmente von figürlichen Bronzereliefs wurden 1969 und 1970 bei Ausgrabungen im Vorfeld einer Baumaßnahme auf dem Vrijthof in Maastricht gefunden (Inv. 2962; T. A. S. M. Panhuysen in: *Gebrochener Glanz* 58–61 mit Lit.), zwei Gewandteile sowie ein Beinfragment. Vermutlich befanden sich die Stücke nicht am Ort ihrer ursprünglichen Verwendung, sondern waren zu einem Verwahrfund zusammengetragen. Der Befund könnte nach der Fundkeramik aus der zweiten Hälfte des zweiten Jahrhunderts stammen.

Bei den quasi vollplastisch gearbeiteten Skulpturen handelt es sich um besonders hochwertige Arbeiten. Die hervorragende Gestaltung der Wachsmodele und der sehr qualitätvolle Guss mit wenigen Fehlern erforderte nur eine geringfügige Überarbeitung der gegossenen Oberflächen.

Diese ist besonders gut anhand der detailreichen Schuhverzierung des Beinfragments zu erkennen, bei denen die ornamentalen Lederarbeiten ähnlich der Schuhgestaltung des Beins aus Paksch (GBL 547) bis ins Detail wiedergegeben sind. An der Rückseite dieses Stückes befinden sich zwei Anschnittkanäle, die darauf hinweisen, dass hier, wie bei Großbronzen oft beobachtet, die Bronze nach dem aufsteigenden Guss über ein Kanalsystem in die Form eingegossen wurde. Die Bronze dürfte eine Höhe von etwa sechzig bis siebenzig Zentimetern besessen haben.

Zur Montage an einer vermutlich ebenfalls aus Bronze bestehenden, etwa vier Millimeter starken Metallplatte diente ein mittels Blei verlöteter bronzenener Rechtecksteg. Dieser wurde an einer in der Platte ausgesparten Rechtecköffnung eingeschoben und dann von der Rückseite her mittels Nietstift gesichert. Diese Art der kalten Montage mittels rechteckiger Einschubstifte lässt sich beispielsweise auch an lebensgroßen Reiterstandbildern aus Waldgirmes (GBL 529), Augsburg (GBL 29–33) oder der Satteldede in Bonn (GBL 377) beobachten. Die Anwendung dieser sonst für Großbronzen typischen, nach der Montage nicht mehr sichtbaren Technik spricht für

eine Werkstatt, die nicht nur Reliefbronzen, sondern eben auch freiplastische Bildwerke herstellte. Sie hat ihren Ursprung bei italischen Bronzeießern.

Interessanterweise verwendete man zur Montage an der Rückseite des Fußes vom Maastrichter Stück ein rechteckig zugeschnittenes wiederverwendetes Bronze-fragment, welches noch heute Reste einer recht aufwendigen floralen Einlegearbeit (Tauschierung) aus Silber und Kupfer zeigt, wie man sie beispielsweise von italischen Klinenbeschlägen her kennt (T. A. S. U. Panhuysen in: *Gebrochener Glanz* 60 Abb. 2 a–b). Die Bronze wirkt äußerlich sehr hell und lässt vermuten, dass die Oberfläche möglicherweise durch Anreicherung von Zinn einen eher silbrigen Farbton aufwies. Materialproben konnten nicht entnommen werden. Wirbelstrommessungen aller Fragmente sind recht einheitlich (4,5–5,6 M/sm). Nach J. A. Mosk (Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschappen Amsterdam, Bericht ›De analyse van romeinse bronzen‹) handelt es sich um Fragmente mindestens zweier Reliefstatuen (brieflich an Titus Panhuysen, Maastricht, mitgeteilt von diesem). Referenzmessungen zufolge könnte es sich um Bronze mit Zinngehalt um sechs bis acht Prozent handeln.

#### *Mainz* (FO 43, GBL 400–402, 464 und 488–499)

Unter den Zeugnissen römischer Statuenrepräsentation in der obergermanischen Provinzhauptstadt Mogontiacum (Mainz) nehmen die Reste einer überlebensgroßen vergoldeten Jupiterstatue einen besonderen Stellenwert ein. Sie stammen von derselben Fundstelle wie die rund zweitausend Trümmer der Großen Mainzer Jupitersäule im Bereich der Canabae legionis (E. Riemer in: *Gebrochener Glanz* 87–89 [mit Lit.]). Nach Ausweis der Inschrift gehören die Säule und somit auch das darauf installierte Jupiterstandbild in die Zeit Neros (CIL XIII, 11806; 20). Von den überlieferten Resten der vergoldeten Jupiterstatue stammt sicher der Fuß (GBL 493, 494 und 498), der auf eine ponderiert stehende Figur von etwa 2,40 Metern Größe schließen lässt, ferner Attribute wie das Blitzbündel (GBL 495–496 und 400–402) einschließlich der ursprünglich daran befestigten Blitze sowie die Krallen eines Adlers (GBL 492), der in der Ikonographie als ständiger Begleiter dieses Gottes anzutreffen ist, ferner ein weiteres Körperfragment mit Vergoldung (GBL 490 und 499).

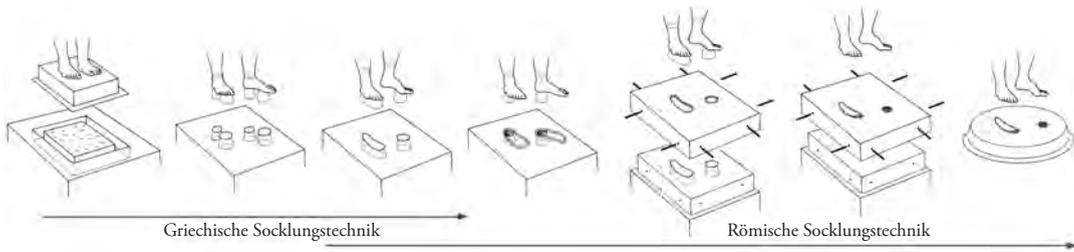


Abb. 55 Antike Techniken zur Sockelung von Bronzestatuen.

Herstellungstechnische Untersuchungen und Metallanalysen bestätigen, dass es sich bei allen vergoldeten Fragmenten um zusammengehörige Teile einer Jupiterstatue gehandelt hat, die nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren gegossen wurde. Neben dem Fuß (GBL 493) und dem Blitzbündel (GBL 401 und 495) sind auch das Gewandfragment (GBL 490) sowie die Adlerkrallen (GBL 492) analytisch dieser Legierungsgruppe zuzuweisen. Aufgrund ähnlicher Werte gehörte eventuell auch ein Fingerfragment (GBL 497) aus dem etwas entfernten Legionslager zu diesem Monument (Abb. 54)

Die Bronze ist stark kupferhaltig und verfügt über relativ wenig Zinn und Blei (Cu 93–94 %, Sn 1,4–2,3 %, Pb 4,3–4,95 %). Diese besondere Rezeptur tritt, wie bereits beobachtet und erwähnt, fast ausschließlich bei vergoldeten Statuen auf, wo die zinnarme und anscheinend kostengünstige Bronze mit ihrem rötlichen Farbton weniger ins Auge fiel (s. GBL 15, 119, 123, 198, 514 und 623). Schwer zu deuten ist der sehr geringe Anteil an Blei, da dies durch höhere Zuschläge an Kupfer ausgeglichen werden musste. Möglicherweise befürchtete man Reaktionen des Bleis mit der Goldauflage, etwa während des Versockelns mit massivem Bleiverguss, wobei Bereiche der Füße und Beine größerer Hitze ausgesetzt waren. Dass man dennoch nicht ganz auf das Blei verzichtete, weist auf seine Zweckdienlichkeit zur Verbesserung der Gießbarkeit und zur mechanischen Überarbeitung der gegossenen Bronze in der Kaltarbeit hin.

Die Probe eines am Blitzbündel befestigten Stückes, welches eine einzelne Flamme darstellt (GBL 401), weist einen erhöhten Bleianteil auf (Pb 8,3 %). Die Probenentnahmestelle liegt neben einem massiven Bleiverguss, welcher zur Montage der Einzelteile des Blitzbündels diente. Daher ist nicht auszuschließen, dass hier eine Kontamination

der Bronze erfolgte. Bei dem Niet des Blitzbündels (GBL 402) handelt es sich um eine moderne Ergänzung aus Messing, die vermutlich bei der Restaurierung zur Montage eingesetzt worden war. Spuren von Gold könnten darauf hindeuten, dass dieses Stück bei einer Restaurierung übervergoldet wurde. Die Probe GBL 400 stammt aus dem inneren Bereich des Blitzbündels (Lötung). Hierbei handelt es sich um ein Zinn-Blei-Gemisch (Sn 61 %, Pb 38 %) nahe dem eutektischen Punkt ( $T = 183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

GBL 496, 498 und 499 sind Schabproben, welche zur Kontrolle der Vergoldungstechnik dienen. Da bei der Analyse dieser Proben keine Spuren von Quecksilber nachgewiesen wurden, ist eine zunächst wegen des geringen Bleianteils vermutete Feuervergoldung auszuschließen. Vielmehr belegen hochauflösende mikroskopische Aufnahmen eine Blattgoldauflage, bei der die Oberfläche der Bronze zuvor leicht mechanisch aufgeraut wurde, um eine bessere mechanische Haftung beim Anpolieren des im Vergleich zu modernen Blattgoldauflagen etwa drei- bis viermal stärkeren römischen Blattgoldes zu erreichen. Versuche im Rahmen des Projektes ergaben, dass an solchen vorbehandelten Flächen eine Blattvergoldung ohne organische Anlegemittel durchgeführt wurde (K. Bott / F. Willer in: Gebrochener Glanz 207–209). Die Versockelung des entlasteten Spielbeinfußes mit einem über die gesamte Fläche reichenden und somit dem Betrachter sichtbaren Bleiverguss erscheint zunächst für römische Statuen ungewöhnlich, da in der Regel hierfür nur die Fläche des Fußballens genutzt wurde (Abb. 55). Zudem weisen im Inneren an Bruchstellen sichtbare eiserne Vierkantstangen auf eine zusätzliche Armierung hin. Diese aufwendigere Technik war offenbar der Notwendigkeit einer besonders sicheren Montage geschuldet, da die Statue auf einer neun Meter hohen Säule mit relativ kleiner Standfläche aufgestellt war.

Starke physikalische Kräfte, wie sie beispielsweise bei Sturmböen entstehen können, erfordern besonders bei erhöht im Freien positionierten Standbildern einen sicheren Stand (Willer, Sockelung 366–369 Abb. 31). Die Isotopenanalysen des Sockelbeils weisen auf deutsche Lagerstätten (Eifel) hin, wobei das Blei aus der Legierung des Fußes (GBL 494) auch aus Brilon im Sauerland stammen kann.

Neben den Fragmenten des Jupiterstandbildes der großen Mainzer Jupitersäule sind noch weitere, jedoch unvergoldete Statuenfragmente aus Mainz bekannt, die mit anderen bronzenen Bildwerken in Verbindung zu bringen sind. Die teils stark erodierte Oberfläche einiger Stücke ist durch eine Flusslagerung zu erklären (Abb. 56).

Eine bronzene linke Statuenhand mit Fingerring (GBL 488) und ein sehr massiv gegossenes bronzenes Gewandfragment (GBL 489) können nach Ausweis der Spurenelemente sowie der ähnlich verteilten Legierungshauptbestandteile Kupfer, Zinn und Blei von einer einzigen Statue stammen (Cu 71–72 %, Sn 6,6–7 %, Pb 21 %). Dagegen weicht das Fußfragment eines linken Spielbeins (GBL 491) in seiner Zusammensetzung deutlich ab und muss somit einer weiteren Figur zugewiesen werden (Cu 84 %, Sn 4,8 %, Pb 10 %). Ebenso verhält es sich bei einem einzelnen Finger (GBL 464). Neben einem hohen Bleianteil (Cu 68 %, Sn 4,7 %, Pb 26 %) fallen hier die erhöhten Antimonwerte auf, die auf eine frühe Datierung hindeuten. Vermutlich durch Brandeinwirkung, die an der Oberfläche zu erkennen ist, ging das Sockelblei des Fußes verloren. Nach der korrigierten Messung scheint es sich bei der Adlerkralle (GBL 492) um eine Mehrstofflegierung zu handeln, welcher Messing hinzugefügt wurde (Cu 88 %, Sn 1,6 %, Pb 4,8 %, Zn 4,7 %). Eine ähnliche Zusammensetzung zeigt das vergoldete Tierrohr aus Mittelstrimmig (GBL 123).

Sämtliche Bleiprobe aus Mainz gehören in die homogene Hauptgruppe mit Provenienz aus der Eifel. Lediglich das Blei des Gewandfragments (GBL 489) zählt nicht zu dieser Gruppe und wurde vielleicht in den britischen Penninen gewonnen.

Dem Fußfragment (GBL 491) wurde die Tonkernprobe T 15 entnommen.

#### *Mainz-Finthen* (FO 43, GBL 397–399)

Aus dem Umfeld eines nördlich von Mainz an der Straße nach Bingen gelegenen Merkurheiligtums stammt der Kopf einer etwa lebensgroßen weiblichen Idealstatue, vielleicht der einheimischen Göttin Rosmerta, welche in dieser Region oft zusammen mit Merkur verehrt wurde (Abb. 57; E. Riemer in: Gebrochener Glanz 84–86 [mit Lit.]). Auf der Kalotte sind die Reste zweier recht grob anmutender Bleilötungen und ein anhaftendes Bronzeblechstück erhalten. Dort war mit Sicherheit ein Kopfschmuck befestigt. Sollte es sich um die Darstellung der Rosmerta handeln, könnten hier die für ihren Begleiter Merkur charakteristischen Flügelattribute angebracht gewesen sein.

Die computertomographischen Untersuchungen belegen, dass im Inneren der Bronze zahlreiche Gasblasen eingeschlossen sind, die sich besonders in der linken Gesichtspartie stark ausgebildet haben (s. Abb. 57). Diese sind auf Feuchtigkeitsprobleme beim Schmelz- und Gießvorgang zurückzuführen. Auch Gussfehler in Form von Rissen, sogenannte Kaltschweißnähte, sind zu beobachten. Sie wurden zum Teil mit kleinen Reparaturblechen kaschiert.

Weitere Computertomographie-Aufnahmen zeigen im Inneren der Statue Wachsmontagenähte im Bereich der seitlichen Haarpartien. Vermutlich wurden diese separat in Wachs ausgeformt und dann montiert. Nach dem Guss erfolgte eine aufwendige Überarbeitung der vorderen und seitlichen Strähnen und Locken. Hiervon zeugen auch recht scharfkanti-

Abb. 56 Bronzestatuenfragmente aus Mainz, einige aus dem Main geborgen (GBL 488, 489 und 491). Mainz, Landesmuseum.



Abb. 57 a–b Bronze-  
kopf einer weiblichen  
Gottheit aus Mainz,  
sogenannte Rosmerta  
(GBL 397–399).  
Mainz, Landes-  
museum. (a) An-  
sicht. – (b) Mit Hilfe  
der Computertomo-  
graphie lassen sich  
zahlreiche Gussfehler  
im Bereich der linken  
Kopfseite darstellen.



ge Werkzeugspuren kleiner Meißel und Ziselierereisen, die nur in den vorderen Partien zu finden sind, wogegen die Rückseite vernachlässigt wirkt. Alle Details der Frisur – auch der rückseitigen und weniger plastisch ausgearbeiteten Bereiche – waren bereits im Wachmodell angelegt. Dies indiziert, dass die weniger ausgeformten Partien der Rückseite schon zu einem frühen Zeitpunkt konzeptionell festgelegt waren. Es ist somit anzunehmen, dass der rückwärtige Bereich für den Betrachter nicht sichtbar war. Beim Anlegen der Iris des linken Auges verrutschte der Bohrer zweimal und beschädigte dabei das Augenlid. Dieser Fehler wurde offensichtlich nicht ausgebessert und war daher wohl aus der Warte des Betrachters nicht zu erkennen.

Der nicht mehr vorhandene Kopfschmuck war mit massiven Bleilötungen angebracht. Ähnlich massive Montagelötungen, die in jenem Falle zur Befestigung des Kopfes am Halsansatz des Panzers dienen, zeigt der Kopf des Severus Alexander aus Carnuntum (Abb. 25). Reste dieser Lötungen befinden sich am Bildnis der Göttin hinter den beiden vorderen volumenartigen Haarlocken auf der Kalotte.

Der Schmuck bestand offenbar aus zwei Teilen. Als Basis diente eine Unterlage aus einem andert-halb Millimeter starken und fünf Zentimeter breiten Bronzeblech, welches quer zur Blickrichtung verlief. Das Blech ist unmittelbar hinter der Bleilötung abgebrochen. Es ist zu vermuten, dass es sich um die Darstellung eines längeren Bandes gehandelt hat.

Darauf war der eigentliche Kopfschmuck montiert und mittels zweier massiver Bleilötungen verbunden. Muldenförmige Vertiefungen (Abdrücke) an der noch vorhandenen linken Lötfläche und an den beiden vorgelagerten Haarlocken weisen auf eine entsprechende Lagerung des Kopfschmuckes hin. Diese Vertiefungen zeigen auch, dass die Verzierung bereits am Wachmodell des Kopfes angepasst wurde. Die zwei Millimeter im Quadrat messenden kleinen Kernhalterlöcher ohne Flickblechkaschierung sind im Limesgebiet recht häufig zu beobachten und deuten auf eine provinzielle Arbeit hin. Es ist anzunehmen, dass die Öffnungen ehemals mit eingeschmiedeten Bronzeperlen verschlossen waren, die sich im Zuge der Zerstörung herausgelöst haben.

An beiden Ohrfläppchen ist ein sehr feines Wabenmuster zu erkennen, welches auch an einem Haarfragment aus Bonn (keine GBL, lfd. Nr. 1299) und Köln (keine GBL, lfd. Nr. 997, Abb. 36a) beobachtet wurde. Nach bisherigen Beobachtungen sind derartige Muster nur an solchen Oberflächen erhalten, die nicht durch Kaltarbeit mechanisch verändert wurden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um eine regelhaft ausgebildete Oberflächenstruktur, die durch Korrosion sichtbar wurde (vgl. oben zu Bonn, Legionslager, GBL 130).

Die einheimische Provenienz des Werkes wird auch durch die Bleiisotopenanalyse von GBL 399 bestätigt, eine Probe aus den Lötungen auf der Kalotte.

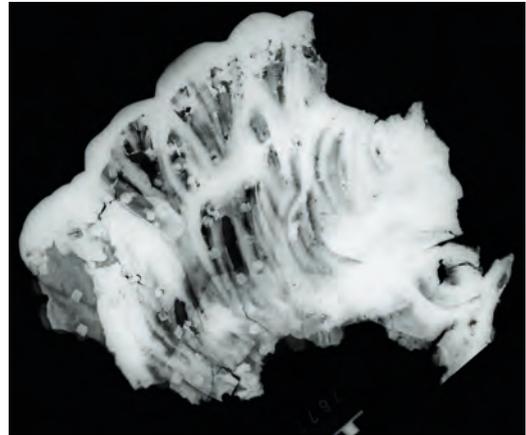


Abb. 58 Vergoldetes Bronzerelief aus Mittelstrimmig (GBL 518–520). Im Röntgenbild (Rö. Nr. 7672) werden zahlreiche Gussfehler und Reparaturstellen sichtbar. Landesmuseum Bonn.

Demnach stammt das Blei – wie bei den meisten anderen Proben aus der Region Mainz – aus den regionalen Lagerstätten der Eifel.

Die Metallzusammensetzung der Statue (GBL 398) entspricht einer durchschnittlichen Bronzelegierung des Untersuchungsgebietes (Cu 75 %, Sn 6,8 %, Pb 18 %). Das dem Kopf zugehörige ausgeschmiedete Bronzeblech von GBL 397 weicht nur geringfügig ab (Cu 81 %, Sn 9,1 %, Pb 10 %). Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

*Mittelstrimmig* (FO 26, GBL 120–123, 475–478 und 518–520)

An einer wichtigen römischen Verkehrsachse, die südlich der Mosel über die Höhenzüge des Hunsrück führte, wurden nahe der heutigen Ortschaft Mittelstrimmig Teile eines Vicus, mehrere gallorömische Tempelanlagen sowie ein spätantiker Burgus verortet. Aus dem Umfeld stammen verschiedene Fragmente von Bronzestatuen (A. von Berg / M. Mirschenz in: *Gebrochener Glanz 101–104* [mit Lit.]). Zu den auffälligsten Stücken gehört das Fragment eines vergoldeten Monumentalreliefs mit dem Gesichtsausschnitt eines zoomorphen Mischwesens (GBL 518–520, s. Abb. 24 und 58).

Der Guss dieses Bronzereliefs erfolgte nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren. Pinselspuren an der Rückseite deuten auf das Ausformen der Hilfsnegativform mit flüssigem Wachs hin. Starke Unterschneidungen in der Gestaltung der Mähne wurden vermieden, was auf die Verwendung einer einteiligen

Hilfsnegativform zur Herstellung des Wachsmodells hindeutet. Beim Auspinseln der Form mit flüssigem Wachs ist unbeabsichtigt eine uneinheitliche Materialdicke von drei bis sieben Millimetern entstanden. Die Bereiche der Augenpartie (Augenbraue, Augenlid, Augapfel mit Pupille ohne Iris) wurden wohl bereits am Wachsmodell nach dem Ausformen plastisch überarbeitet. Reste von abgebrochenen und korrodierten eisernen Kernhaltern beziehungsweise Nägeln lassen vermuten, dass diese zur Montage an einer hölzernen Unterlage dienten. Röntgenbilder sowie zahlreiche ausgebeßerte Gussfehler, die durch Gasblasen entstanden sind, deuten auf Feuchtigkeitsprobleme beim Gießen hin (Abb. 24 und 58). Diese recht aufwendigen Reparaturen wurden zum Teil in der Inlaytechnik ausgeführt. Nach dem Einsetzen der einzelnen Reparaturstücke wurden diese mit Senkkopfnietstiften aus Kupfer sowie rückseitigen Stabilisierungsblechen und Bleilot befestigt. An dem etwa 29 mal 35 Zentimeter großen Fragment wurden dreiundsiebzig solcher Nietstiftsicherungen gezählt, was auf die sehr aufwendige Überarbeitung des Werkstückes hinweist. Sämtliche Reparaturarbeiten kaschierte eine flächig ausgeführte Blattvergoldung der Vorderseite.

Aus dem Fundmaterial von Mittelstrimmig wurden neun Bohrproben (GBL 121, 123, 475–478 und 518–520) sowie zwei Anschliffproben des vergoldeten Monumentalreliefs (GBL 120) und des vergoldeten Tierohrs (GBL 122) entnommen. GBL 477 und 519 sind Bohrproben von Kupfer-nietstiften an Reparaturblechen.

Die Legierung des Monumentalreliefs (GBL 518) entspricht in etwa einer durchschnittlichen Limesbronze, wobei der Bleianteil leicht unter dem Durchschnitt liegt (Cu 78 %, Sn 6,6 %, Pb 15 %). Bei einem weiteren Fragment dieses Bildwerkes handelt es sich wohl um ein auf der Vorderseite eingefügtes Reparaturstück (GBL 121). Hier ist die Legierung nahezu identisch (Cu 80 %, Sn 6,4 %, Pb 13 %). Gleiches gilt für die Spurenelemente. Das belegt das Nachgießen von einzufügenden Reparaturstücken mit Metall der gleichen Rezeptur. Dasselbe zeigt die Zusammensetzung eines an der Rückseite des Reliefs montierten Reparaturblechs (GBL 520), welche nahezu der Gusslegierung des Reliefs entspricht, jedoch gibt es Hinweise auf Zugabe von Messing und vergoldeter Bronze in der Legierung. Der Vergleich zwischen dem Kupfer des Nietes (GBL 519) und den übrigen Fragmenten des Reliefs zeigt, dass im Verhältnis zum steigenden Bleigehalt auch der Silbergehalt zunimmt, während sich die übrige Zusammensetzung kaum verändert. Dies könnte bedeuten, dass die Werkstatt für die Bronze Silberhüttenblei (Plumbum argentarium) verwendete, welches bei der Silbergewinnung abfällt.

Die Legierung des vergoldeten Reliefs (GBL 121 und 518) ähnelt derjenigen eines unvergoldeten Haarfragments aus Mittelstrimmig (GBL 478), welches zu einem weiteren Bildnis gehörte. Dies ist auch an dem leicht erhöhten Anteil an Antimon zu erkennen, der möglicherweise auf Zugabe von Fahlerzkupfer hinweist (Sb 0,24 % und 0,21 %).

Zwei unvergoldete Fragmente – eine Augenbraue (GBL 475) und ein als Medusaapplik von einem Panzer gedeutetes Fragment (GBL 476) – schienen makroskopisch beurteilt aufgrund ihrer Oberfläche und schwarzen Patina zu einer Statue zu gehören. Dies bestätigen die einheitlichen Legierungen (jeweils Cu 77 %, Sn 8,5 %, Pb 13 %). Beide Fragmente enthalten zudem Spuren von Gold, was auf die Zugabe wiederverwendeter vergoldeter Bronze beim Gießen hinweist, sowie erhöhte Silberwerte (Au 0,03–0,04 %, Ag 0,21–0,23). Ein beidseitig vergoldetes Stück von dreieinhalb Zentimetern Länge und anderthalb Zentimetern Breite (GBL 123) könnte ein Tierohr darstellen. Dass es sich wohl nicht um das Fragment einer Großbronze, sondern um das Teilstück einer größeren Statuette handelt, belegt auch die für großformatige Statuen uncharakteristische Mehrstofflegierung. Sie

ähnelt in ihrer Zusammensetzung (Cu 87 %, Zn 2,6 %, Sn 4,6 %, Pb 5 %) der Klaue des Adlers von der Jupiterstatue in Mainz (vgl. GBL 492). Mehrstofflegierungen sind beim antiken Schmelzverfahren eher für den Guss kleiner Bildwerke geeignet. Die Analyseergebnisse sowie die restauratorischen Untersuchungen deuten somit auf Fragmente von mindestens vier Bronzebildwerken in Mittelstrimmig hin, wobei angesichts ähnlicher Zusammensetzung die Produktion in einer einzigen Werkstatt möglich ist.

Bei den beiden Legierungen der Reparaturniete eines unbestimmten Fragments (GBL 477) und des beschriebenen Monumentalreliefs (GBL 519) handelt es sich um hoch kupferhaltiges Material, das in seiner Zusammensetzung und Form dem Material des übrigen Limesgebietes entspricht.

Die Bleiisotopenverhältnisse zweier Proben aus den Mittelstrimmiger Funden (GBL 475 und 518) gehören zur Hauptgruppe des Bleis aus der Eifel.

*Mögglingen* (FO 51) siehe Böbingen

*Moselraum*: Hinzerath (FO 29, GBL 167 und 177), Kasel (FO 30, GBL 317) und Konz (FO 33, GBL 318)

Von einem blattvergoldeten Finger aus Hinzerath wurden eine Bohrprobe (GBL 167) sowie eine Anschliffprobe (GBL 177) zur Bestimmung der Vergoldungstechnik entnommen. Der Bleianteil liegt deutlich unter dem Durchschnittswert typischer Limesbronzen (Cu 86 %, Sn 6,2 %, Pb 6,9 %). Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Die Legierung eines Körperfragments aus Kasel (GBL 317) entspricht den Durchschnittswerten im Untersuchungsgebiet weitgehend (Cu 76 %, Sn 8,1 %, Pb 15 %). Der Anteil an Zink weist auf Zugabe von Messing in der Legierung hin. Die Einlagen rechteckiger Reparaturbleche wurden wohl aus einer weniger korrosionsbeständigen Legierung gefertigt, denn diese sind gegenüber der Bronze stärker von Korrosion betroffen. Unter einem herausgefallenen Reparaturblech ist ein Kernhalterloch zu erkennen, das eher auf die Verwendung eines mehreckigen statt eines in der Regel quadratisch geschmiedeten Kernhalternagels hindeutet. Das Maß entspricht mit etwa zwei Millimetern im Quadrat jedoch der Größe, die im gesamten Untersuchungsgebiet häufig zu beobachten ist.



Abb. 59 Fragmente dreier nahezu formgleicher Adlerkopfschwerter von bronzenen Kaiserbildnissen aus Murrhardt (oben) und Weißenburg (Bildmitte und unten). Murrhardt, Carl-Schweizer-Museum, und Weißenburg, Römermuseum.

Bei einem kleineren rundplastischen Fragment aus Konz handelt es sich um ein längliches, freiplastisch gestaltetes Haarsträhnenfragment, vielleicht von einer Pferdemähne. Die Ausarbeitung der Strähnen ist verhältnismäßig grob ausgeführt. An einem kleinen Bereich schienen Reste einer Vergoldung vorzuliegen, die jedoch nicht genauer untersucht beziehungsweise bestätigt wurden. Von dem Haarfragment wurde eine Bohrprobe (GBL 318) entnommen. Auch hierbei handelt es sich um eine typische Limesbronze (Cu 77 %, Sn 4,3 %, Pb 18 %). Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung. Nahezu identische Zusammensetzung zeigen zwei Fundstücke aus der Mosel, ein Stück einer Haarlocke (GBL 171) sowie ein Körperfragment mit dem Halsansatz (GBL 95). Ob es sich hierbei um Reste eines einzigen Standbildes gehandelt hat, lässt sich angesichts der sehr unterschiedlichen Erhaltung anhand der Objekte selbst nicht mehr klären.

#### *Murrhardt* (ORL 44, FO 47, GBL 380)

Bei Bauarbeiten im Jahr 1954 stieß man im Bereich des Vicus unweit der Porta decumana des antiken Kohorten- und Numeruskastells Murrhardt (etwa 150 bis 259/260 n. Chr.) auf die gut erhaltene bronzene Darstellung eines Adlerkopfschwertes (GBL 380, O. Paret, Fundber. Schwaben 13, 1955, 64–66). Sehr ähnliche Fragmente sind auch aus Weißenburg (GBL 403 und 406) und Rainau-Dalkingen

(GBL 379) bekannt (Abb. 59). Die Gleichartigkeit der Stücke, besonders des Schwertgriffs aus Murrhardt zu dem aus Weißenburg legt die Vermutung nahe, dass sie in einer gemeinsamen Werkstatt und in einer chronologisch eng begrenzten Herstellungsphase als Teile von Kaiserbildnissen gefertigt wurden (Vgl. S. Heckmann in: Gebrochener Glanz 135; 138). Anhand der Legierungsdaten erwartete man nähere Aufschlüsse dazu.

Die Scheide des Schwertes aus Murrhardt ist wie bei den anderen Adlerkopfschwertern lediglich durch ein separates dünnes Bronzeblech dargestellt. Wie die computertomographischen Auswertungen ergaben, hatte man es durch einen Einschub in eine entsprechende Öffnung im Griff eingelassen und diese dann mit Bleilot sowie mit zwei zusätzlichen Punzschlägen gesichert (Abb. 60). Die Montage bei den genannten Vergleichsstücken geschah hier durch Sicherungen mittels zweier Nietstifte. Auf eine rundplastische Ausarbeitung der Schwertscheide wurde verzichtet, ähnlich wie bei dem Stück aus Dalkingen. Der Grund könnte in der Art der Darstellung und Montage liegen, bei der die Schwertscheide an einem engen Spalt unter dem Mantel der Statue verdeckt eingeschoben werden musste.

Die Metallanalyse des Schwertes zeigt eine Bronzelegierung mit nahezu identischen Zuschlägen (GBL 380, Sn 2,9 %, Pb 14 %) wie die beiden Gegenstücke aus Weißenburg und dasjenige aus Dalkingen. Die Werte des zugehörigen Scheidenbleches

(GBL 407, Sn 11 %, Pb 4,6 %) weichen allerdings deutlich ab. Die Anteile der Spurenelemente passen jedoch gut zur Gusslegierung, so dass die Herstellung des Bleches aus demselben Ausgangsmaterial wahrscheinlich ist. Die Abweichungen im Verhältnis der Hauptlegierungsbestandteile Kupfer, Zinn und Blei sind damit zu erklären, dass für das Schwertscheidenblech eine schmiedbare Legierung hergestellt werden musste. Die augenfällige Formgleichheit des Schwerteres aus Murrhardt und der beiden Parallelen aus Weißenburg setzt sich in der Metallanalyse fort. Hier ist lediglich der Zinnanteil geringfügig höher (vgl. GBL 403 und 406. – Raub, Metallkunde 358). Die Bleiisotopenmessungen zeigen, dass die Herkunft des Bleis in dem Schwert aus Murrhardt mit demjenigen aus Weißenburg identisch ist und auch sehr nahe bei den Werten der Funde aus Rainau-Dalkingen liegen. Vermutlich handelt es sich bei dem Blei aus dem Dalkinger Fundmaterial um Rohstoff identischer Provenienz mit einigen Zuschlägen aus anderen Herkunftsgebieten.

#### *Naaldwijk* (FO 2, GBL 339 und 369–376)

Mindestens vierzig Fragmente bronzener Statuen sowie Bruchstücke von Bronzetafeln mit Inschriften, Möbelbeschlägen, Münzen und Fibeln wurden auf dem Areal einer kleinen römischen Siedlungsstelle im niederländischen Naaldwijk gefunden. Die späte Siedlungsphase von 260 bis 300 n. Chr. weist Brunnen, Gräben und eine Schmelzgrube mit vielen Metallschlacken sowie keramisches Material von regionaler Prägung auf. In der Schmelzgrube kann daher Recycling römischer Altmetallgegenstände stattgefunden haben, welche vielleicht aus dem verlassenen Forum Hadriani oder einem ehemaligen Flottenstützpunkt der *Classis Germanica* herangeschafft worden waren (J. de Bruin in: *Gebrochener Glanz 120–122* [mit Lit.]).

Von den Naaldwijker Fundstücken wurden acht Bohrproben entnommen (GBL 339 und 369–376). GBL 376 und 339 stammen von einem Arm einer etwa einen Meter hohen Bronzestatue, deren Gusslegierung einer typischen Limesbronze entspricht (Abb. 61). Der relativ hohe Zinkanteil bei GBL 376 lässt auf deutliche Zugabe von Messing schließen (Cu 74 %, Sn 7,5 %, Pb 16 %, Zn 2 %). Die Schweißnaht der Armmontage (GBL 339) wurde mit einer leicht abweichenden Legierung ausgeführt (Cu 73 %,

Sn 4,7 %, Pb 21 %, Zn 0,2 %, Sb 0,64 %). Der höhere Bleigehalt diente in diesem Fall vielleicht zur Verbesserung der Fließeigenschaften der Bronze während der Verschweißung. Der Wert für das Spurenelement Antimon ist erhöht, der Zinnanteil fällt deutlich geringer aus. Das Blei stammt aus der Eifel. Beide Legierungen enthalten Spuren von Gold (Au 0,01–0,04 %).

Zwei Fragmente (GBL 370 und 372) von der Fersenpartie einer lebensgroßen Statue passen anhand der Legierungsdaten (Cu 73 %, Sn 4,7 %, Pb 21 %, Zn 0,2 %, Sb 0,64 %) zu zwei Körperfragmenten

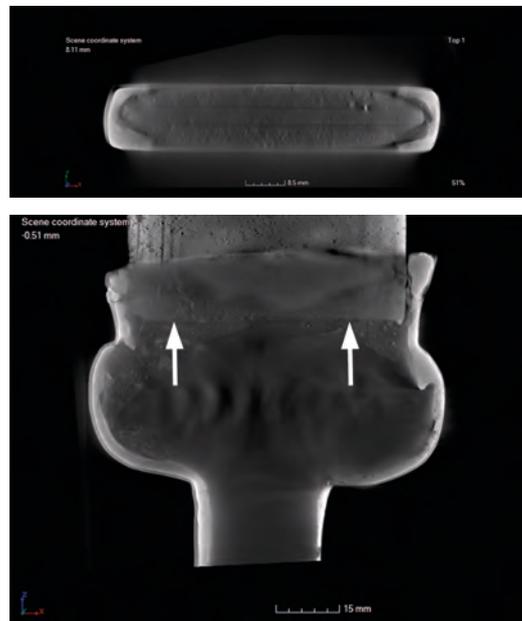


Abb. 60 a–b Computertomographische Schnittbilder durch das Adlerkopfschwert aus Murrhardt. Erkennbar ist die am Griff mit Lot eingesetzte Schwertscheide. – (a) Querschnitt. – (b) Längsschnitt.

(GBL 369 und 375). Jedoch enthalten diese (anders als bei GBL 370 und 372) keine Hinweise auf Zugabe vergoldeter Bronze (Au 0,02 %). Sie könnten daher von anderen Gusschargen stammen. Das Blei von GBL 369 wurde hinsichtlich der Isotopie untersucht und könnte demnach aus den englischen Minen von Shropshire stammen. Die Fersenpartien (GBL 370 und 372) stammen vom unbedeckten Standbein einer Figur. Gut sichtbar sind der Fußknöchel und die Adern. An der Innenseite ist der Ansatz einer Öffnung im Sohlenbereich mit einer schmalen Auflagefläche für den Sockel vorhanden. Mittels dieses Durchlasses erfolgte der massive Bleiverguss, mit

dem Statue und Sockel verbunden wurden. Wohl aufgrund von Hitzeeinwirkung, etwa ein Schmelzfeuer, haben sich keine Reste des Bleis erhalten. Zur besseren Auflage der bronzenen Fußsohle auf der Steinbasis wurde bereits im Wachsmodell der untere Rand des Fußstückes etwa fünf bis zehn Millimeter nach innen eingeschlagen. Bei römischen Statuen wurde auf diese Auflagefläche häufig verzichtet und die



Abb. 61 Fragment eines linken Armes mit angefügten, aber noch nicht restaurierten Fingern von einer unterlebensgroßen Statue aus Naaldwijk (GBL 339 und 376). Privatbesitz.

Sohle hatte unten eine Öffnung, die von einem Rand in der Wandstärke der Bronze gerahmt wurde. Dieser Rand wurde dann in eine entsprechend rillenförmige Vertiefung in die Steinbasis eingelassen (vgl. ähnlichen Befund in Namur. – Vgl. F. Willer, *Kölner Jahrb.* 33, 2000, 565–573.)

GBL 371 wurde dem Arm einer größeren Statue entnommen. Auch diese Legierung ist den anderen aus Naaldwijk sehr ähnlich (Cu 80 %, Sn 7,2 %, Pb 12 %).

GBL 373 stammt von einem Statuenfragment mit einer facettierten Kante und könnte trotz der Ähnlichkeit zu den Legierungen der Proben GBL 369, 370, 372 und 375 zu einer weiteren Statue gehören. Der Zinngehalt ist hier jedoch leicht erhöht (Cu 71 %, Sn 9,9 %, Pb 19 %).

GBL 374 ist einer vermuteten Sockelplattenverzierung entnommen, der Zinngehalt ist recht hoch, der Bleianteil etwas unter dem Durchschnittswert der Limesbronzen (Sn 12 %, Pb 13 %).

Die facettierte Kante an dem Stück der Probe GBL 373 deutet auf eine mechanische Montage ohne Lötung oder Schweißung hin.

Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

#### *Namur* (FO 16, GBL 387)

Aus dem Fluss Sambre bei Namur wurde im Jahr 1875 das 24,5 Zentimeter lange und 650 Gramm schwere Fragment vom rechten Schuh einer etwa lebensgroßen Bronzestatue geborgen. Eine Kontextualisierung des Fundes ist nicht möglich. Die gesamte Sohle ist geöffnet, eingefasst von einem schmalen Rahmen in der Wandstärke der Bronze. Eine Umbörtlung oder Verstärkung im Bereich der Zehen, die zur Auflage auf dem Sockel diente und noch an vielen hellenistischen Statuen zu beobachten ist, fehlt an diesem Stück (vgl. Fußfragment aus Naaldwijk, GBL 369 und 371). Das vollständige Aussparen der Fuß- oder Schuhsohle wurde erst seit römischer Zeit zunehmend praktiziert. Erhaltene Steinbasen solcher Bildwerke zeigen neben dem Vergussloch für das Blei auch eine schmale, rillenförmige Einlassung im Stein, die der Sohlenöffnung des Statuenfußes entsprach (s. Abb. 55). Der Vorteil dieser Methode bestand darin, dass die Füße beim Aufstellen in ihrer Standfläche regelrecht einrasten und nach dem Verguss mit Blei gegen ein Verdrehen gesichert sind. Der Anteil an Zinn weist auf Zugabe von Messing in der Legierung, die Werte für Zinn und Blei sind im Verhältnis zum Durchschnitt der Limesbronzen leicht erhöht (GBL 387: Cu 68 %, Sn 8 %, Pb 23 %). Das Blei stammt aus der Eifel.

#### *Neuenstadt a. Kocher* (FO 46, GBL 507–512)

Hier entdeckte man 2003 eine römische Siedlung in der Gemarkung Bürg, die offenbar unter Mark Aurel im Zuge einer Grenzverschiebung um 160 n. Chr. gegründet worden war (C.-M. Hüssen, *Die römische Besiedlung im Umland von Heilbronn* [Stuttgart 2000] 263–265; K. Kortüm, *Arch. Ausgr. Baden-Württemberg* 2003, 118–122; S. Willer in: *Gebrochener Glanz* 38). Im Umfeld eines großen Peristylbaus, der sogenannten Villa A am höchsten Punkt der Sied-

lung, wurden schon in den Jahren zuvor immer wieder Bronzeobjekte aufgelesen, von denen über vierhundert zu römischen Bronzestatuen gehört haben. Es fanden sich auch Fragmente figürlicher Appliken vom Brustschmuck einer Panzerstatue (Abb. 62).

Herstellungstechnische Unterschiede etwa in der Bearbeitungstechnik der Haarlocken legen nahe, dass es sich um die Überreste mehrerer Statuen handelt. Neben Fragmenten mit Inkarnatpartien finden sich auch zahlreiche Stücke mit fein ausgearbeiteten Haarlocken. Einige hatte man nicht – wie sonst üblich – mit feinem Meißel und Ziselierereisen nach dem Guss plastisch ausgearbeitet, sondern man gestaltete die Oberfläche bereits am Wachsmo-  
 del.

del, man sogenannte Rändelrädchen ein, mit denen eine naturalistisch wirkende Binnenstruktur der Haare erzeugt wurde. Es ließen sich zwei leicht variierende Muster dokumentieren. Durch diese Vorarbeit am Wachsmo-  
 del war eine spätere Kaltarbeit mit Punzen und Ziselierereisen nicht mehr erforderlich. Die Vorbereitung derartiger Details im Wachsmo-  
 del setzte aber voraus, dass man den Guss ohne Entstehung einer rauen Gushaut beherrschte. Flach gegossene Fragmente von Schnäbeln und Federn lassen Applikationen vermuten, wie sie etwa an Panzerstatuen üblich waren. Geschwungene, aber auch teils eckig angelegte Rillenverzierungen deuten auf ornamentale Dekorationen hin, die ebenso bereits im Wachs-



Abb. 62 Zerschlagene Statuenfragmente aus Neuenstadt am Kocher. Rastatt, Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg.

modell angelegt waren. An den Rückseiten einiger Stücke sind Montagenähte von Wachsplatten sowie Wachsspritzer zu erkennen, die zweifelsfrei den Guss nach dem indirekten Wachsausschmelzverfahren belegen. Einige Fragmente zeigen die im Untersuchungsgebiet häufig zu beobachtende Reparaturtechnik, bei der Gussfehler durch eingesetzte Reparaturbleche zusätzlich mit Nietstiften aus Kupfer fixiert wurden. Gleiches gilt für kleine Kernhalteröffnungen von zwei Millimetern im Quadrat, die ehemals mit kleinen Bronzeperlen verschlossen wurden. Zahlreiche Stücke weisen eine schwarzglänzende Patina auf. Möglicherweise handelt es sich um eine Zinnseigerung an der Bronzeoberfläche, wie sie auch bei anderen Fundkomplexen beobachtet wurde, zum Beispiel aus Aalen, Bonn, Künzig und von der Saalburg (vgl. den Haupttext, Abschnitt ›Schwarz-silbrige Oberfläche‹). Die Statuenteile wurden ähnlich wie die Aalener Stücke kleinteilig zerschlagen, was darauf hindeuten kann, dass sie tiegelgerecht zum Wiedereinschmelzen vorbereitet wurden.

Von den etwa vierhundert recht kleinteilig zerschlagenen Fragmenten wurden sechs Stücke zur Beprobung ausgewählt. Darunter drei Haarlockenfragmente (GBL 507–509) und zwei Körperbruchstücke (GBL 510–511), GBL 512 stammt von einem eingesetzten Reparaturblech. Die Metallanalysen deuten auch aufgrund der Spurenelementverteilung auf eine einheitliche Zusammensetzung hin, während die Legierungselemente noch im Bereich der üblichen Abweichungen liegen (Pb 17–23 %, Sn 4–7,7 %). Zwei Proben (GBL 508 und 512) enthalten Spuren von Zink und Gold. Diese Indizien deuten darauf hin, dass es sich um Teile mehrerer Statuen handelt oder durch Zugaben von Altmetall einzelne Gusschargen geringe Abweichungen bei den Anteilen der Spurenelemente aufweisen. In Anbetracht der Zusammensetzung der Hauptelemente wurden sie jedoch nach einer einheitlichen Rezeptur hergestellt. Die Herkunft des Bleis könnte, wie an mehreren Funden aus dem südlichen Teil des Untersuchungsgebietes festgestellt und damit auf die Anbindung an andere Wirtschaftskreiseweisend, in den Penninen oder in den Cevennen zu verorten sein.

#### *Neunkirchen-Kasbruch* (FO 36, GBL 389–391)

Aus Kasbruch stammt ein unterlebensgroßer Torso mit Muskelpanzer, möglicherweise von einer Dar-

stellung des in der Region verehrten Mars Cnabetius, eines keltischen Kriegsgottes, welchem man hier die Gestalt des gepanzerten Mars Ultor verlieh und den man mit einem gallorömischen Quellheiligtum in der Nähe der Fundstelle verbinden kann (C. Sarge in: Gebrochener Glanz 95–97 [mit Lit.]).

Computertomographien belegen, dass das Wachsmo- dell des Torsos aus mindestens vier Einzel- formteilen bestand, welche nach dem indirekten Wachsausschmelzverfahren zusammengefügt und dann in Bronze gegossen wurden (Abb. 63). Der Kopf wurde lediglich mittels einer punktuellen Verschweißung im Nackenbereich montiert. Der Hals wurde hier nicht, wie an Panzerstatuen oftmals festzustellen, in den Panzer eingeschoben, sondern auf andere Weise montiert. Etwa im unteren Drittel des Halses befindet sich die Naht. Diese zeigt eine stumpfe Montagefuge, die vermutlich mit Weichlot geschlossen war. Die Montage der nicht mehr erhaltenen Arme erfolgte ohne Schweißung. Sie wurden in den Panzer eingeschoben und mit runden Nietstiften sowie Weichlot gesichert. Teile des Weichlotes sind dabei nach innen eingeflossen. Diese für das Untersuchungsgebiet außergewöhnliche Montageart erlaubt eine naturalistische und plastischere Darstellung der Schulterlaschen am Übergang zum Arman- satz, da dieser nicht, wie beim Verschweißen üblich, mechanisch überarbeitet werden musste, wobei oftmals Details der Oberflächenstruktur verloren gehen.

Auf der Brust war ehemals ein separat gegos- senes, wahrscheinlich aus einer anderen Legierung bestehendes Medaillon ebenfalls durch Weichlot (wohl Blei oder Blei-Zinn-Lot) befestigt, das heute nicht mehr erhalten ist. Seine Montage hatte man bereits am Wachsmo- dell mit einer entsprechenden Lotfläche angelegt. Teile der Panzerdekoration, wie etwa die Lederriemen, wurden wohl nachträglich von Hand am Wachsmo- dell angebracht beziehungs- weise nachgearbeitet. Dies erklärt sich auch durch die antike Abformtechnik, welche ein Ausformen von Unterschneidungen nicht gestattet. Die hohe Qua- lität der Ausarbeitung des Wachsmo- dells steht im Gegensatz zur fehlerhaften Gusstechnik. Vermutlich haben Restfeuchte der Form oder feuchte Witterung zur Gasblasenbildung geführt, die sich in der Com- putertomographie erkennen lassen. Die Gussfehler wurden wiederum äußerst sorgfältig durch kleine Einlagen von rechteckigen Reparaturen ausgebessert,



Abb. 63 a–b Torso einer unterlebensgroßen Panzerstatue aus Neunkirchen-Kasbruch mit Schweißstelle im Nackenbereich. Mittels Computertomographie werden in der Unteransicht die Montagefugen der einzelnen Wachsforniteile sichtbar (gelbe Markierung), welche nach dem Zusammenfügen nochmals mit Wachs verstärkt wurden. Saarbrücken, Stiftung Saarländischer Kulturbesitz.

von denen allein am erhaltenen Fragment rund einhundert Stück nachweisbar sind.

Ungewöhnlich ist die nur auf der Außenseite erhaltene bräunliche Patina, die etwa zwei Millimeter in die originale Oberfläche hineinreicht. Teile dieser Außenhaut sind durch Korrosion und Erosion heute verloren. Aus konservatorischer Sicht ist nicht auszuschließen, dass die besondere Färbung durch intentionelle Oberflächenbehandlung erzeugt wurde. Die Darstellung zeigt einen Panzer aus Leder, insofern wäre eine entsprechende Färbung der Bronze gut vorstellbar. Eine Analyse der Patinaschicht war aus konservatorischen Gründen nicht möglich (F. Willer in: *Das Wrack 1023–1031*; A. R. Giumlia-Mair / P. T. Craddock in: *S. La Niece / P. Craddock, Metal Plating [and] Patination* [Oxford 1993] 101–127; H. Born in: ebd. 19–29). Die Metallanalyse zeigt, dass alle drei Gusschargen inklusive der Schweißnaht nach einer einheitlichen Rezeptur erfolgten. Auch der Anteil an Altmetall wurde wohl im gleichen Verhältnis zugegeben.

Für die Materialanalyse wurden drei Bohrproben entnommen (Kopfansatz/Hals GBL 389, Schweißverbindung des Kopfes zum Torso, GBL 390, Torso/Panzer GBL 391). Alle drei Legierungen sind nahezu identisch (Cu 76–77 %, Sn 7,7–9,1 %, Pb 13–15 %, Zn 0,4–0,6 %, Au 0,03–0,04 %). Eine kleine, aber bedeutsame Ausnahme bildet der verhältnismäßig hohe Silbergehalt in Probe GBL 391 (Ag 0,1 %). Er dürfte auf die Zugabe von silberhaltigem Blei zurückzuführen sein (s. a. Mittelstrimmig, GBL 475 und 476). Dieses Blei stammt nach Ausweis der Bleiisotopie aus der Eifel. Der Anteil an Zink und Gold in allen Proben deutet auf Zugabe von Messing und vergoldeten Statuenteilchen in der Legierung hin.

*Niederberg* (FO 25) s. Obergermanischer Limes

*Niederbieber* (ORL 1a, FO 22, GBL 366, 513, 515 und 516)

Aus dem Numeruskastell Niederbieber (185/190 bis 259/260 n. Chr.) und dessen Umgebung werden mehrere bronzene Statuentteile im Landesmuseum Bonn aufbewahrt. Neben dem Porträtkopf des Kaisers Gordian III. handelt es sich um mehrere Finger unterschiedlicher Größe, ein Handfragment, einen Zeh und ein Flügelfragment, welches – für militärische Fundkontexte ungewöhnlich – vergoldet war (außer den genannten beprobten Stücken s. vermutl. rechter Flügel einer Victoria, vergoldet, Inv. 32108; Zehe, Inv. E 32179; Finger, Inv. E 32192). Bei Ausgrabungen im Bereich des Lagerdorfes im Jahre 1893 fand man den Bronzekopf des Kaisers Gordian III. (GBL 366, s. Abb. 9 und 64). Die zugehörige Statue war wahrscheinlich ursprünglich im zentralen Stabsgebäude des Kastells aufgestellt (S. Willer in: *Gebrochener Glanz 128–130* [mit Lit.]). Das Porträt entspricht schon in seiner stilistischen und technischen Ausgestaltung nicht den stadtrömischen Vorbildern, sondern ist das Werk einer lokalen Bronzwerkstatt, die sich an der zweidimensionalen Münzdarstellung des Kaisers orientierte.

Computertomographische Untersuchungen am Porträtkopf belegen, dass dieser nach dem indirekten Wachsauflösvorgang gegossen wurde (Abb. 64). Montagenähte sowie Wachstropfen an der Innenseite belegen dies. Die verwendete Kupferlegierung erlaubte, ähnlich wie am Pferdekopf in Augsburg, einen materialsparenden und sehr dünnwandigen Guss. Vermutlich durch unzureichende Schmelz- und Formtemperatur hervorgerufene

Trennlinien im Metall (Kaltschweißstellen) hat man nachträglich zum Teil durch kleine Reparaturbleche zu kaschieren versucht. Diese befanden sich im linken Bereich des Kopfes sowie an der Stirn-Nasen-Partie. Haare sowie andere Details der Oberflächenausarbeitung wurden recht einfach mit feinen Meißeln und Punzen überarbeitet (Vgl. Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi* Abb. 202; 206; 208; 210). Im Gesicht und vor allem im Bereich der Stirn fallen rechteckige Ausparungen auf, die von herausgelösten Reparaturen ehemaliger Gussfehler stammen. Zur Kaschierung der quadratischen Kernhalteröffnungen verwendete man – wie im Untersuchungsgebiet häufig belegt – kleine eingeschmiedete Bronzeperlen.

Wahrscheinlich sind durch die gewaltsame Zerstörung der Statue einige eingesetzte Reparaturbleche sowie Bronzekugeln herausgefallen. Große Fehlstellen am Kopf, die in Röntgen- und Computertomographie-Aufnahmen sichtbar werden, resultieren vermutlich ebenfalls aus der antiken Zerstörung. Diese Partien wurden in den siebziger Jahren mit Gips und Kunstharz ergänzt. Zu den Spuren gewaltsamer Zerstörung zählen auch eine Deformation an der linken oberen Kopfpattie sowie eine quadratische Öffnung unterhalb des linken Ohrläppchens. Bei dieser Öffnung handelt es sich nicht um ein herausgelöstes Reparaturblech, da die hierfür typischen Einlassungen fehlen. Wahrscheinlicher ist die Deutung als Einschlagstelle, die dem Statuenkopf durch einen Bolzen oder ein spitzes Gerät (etwa einen Pickel) zugefügt wurde.

Vorne und hinten am unteren Halsansatz befinden sich jeweils etwa vier Millimeter große Bohrungen zur Montage des Kopfes mit Nietstiften. Diese mechanische Montagetechnik kam ohne Schweißung oder Lötung aus und war im Vergleich zu den bekannten römischen Verbindungstechniken, Überfangguss oder Ringguss, eine sehr einfache Anbringung, die bei Bedarf leicht demontiert werden konnte (vgl. *Porträtkopf des Severus Alexander aus Carnuntum*. – Salcuni/Formigli, *Grandi bronzi* Abb. 170).

Am Gießerei-Institut der RWTH Aachen wurden anhand der Legierungsauswertung Nachgüsse des Gordianporträts sowie computergesteuerte Gussimulationen durchgeführt. Hierbei war festzustellen, dass die Gießereigenschaften von denen heutiger Bronzelegierungen deutlich abweichen, da moderne

Zusatzstoffe fehlen. So ist etwa der Gussstrahl deutlich breiter als bei einer vergleichbaren modernen Bronzelegierung. Auch das Nachspeiseverhalten der Bronze war ungewöhnlich stark, was am deutlichen Nachsacken der eingegossenen Bronze im Einguss-trichter (Reservat) erkennbar war. Dieser musste mehrfach mit flüssiger Bronze aufgefüllt werden, bevor das Metall in der Gussform völlig erstarrt war (R. Ellerbrok in: *Gebrochener Glanz* 199 f.; A. Büh-ring-Polaczek / M. Wirth, ebd. 197 f.). Hier ist ein Zusammenhang mit der im Vergleich zu modernen



Bronzelegierungen längeren Phase des völligen Durchstarrens beim Abkühlen der Schmelze zu vermuten.

Die Materialproben an den Funden aus Niederbieber sollten Aufschluss über die lokalen Werkstattrezepturen und die ungefähre Anzahl der im Kastell aufgestellten Statuen geben. An vier Fragmenten wurden Bohrproben entnommen (GBL 366, 513, 515 und 516).

GBL 366 stammt vom Gordianporträt (Abb. 9 und 64). Der Bleianteil entspricht etwa dem Durchschnittswert des Untersuchungsgebietes, und das Blei entstammt der Eifel. Der Zinngehalt von fast zehn Prozent steht demjenigen einer klassischen Bronze

nahe. Die Metallzusammensetzung ähnelt den meisten anderen Legierungen aus Niederbieber (Cu 74 %, Sn 9,2, Pb 16 %), und es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Anders verhält es sich bei einem Daumenfragment (GBL 515) mit nachweislichem Zink- und Goldgehalt. Zudem ist der Silbergehalt erhöht, was auf die Zugabe von Silberhüttenblei (Plumbum argentarium) hindeutet (vgl. Mittelstrimmig (FO 26, GBL 475).

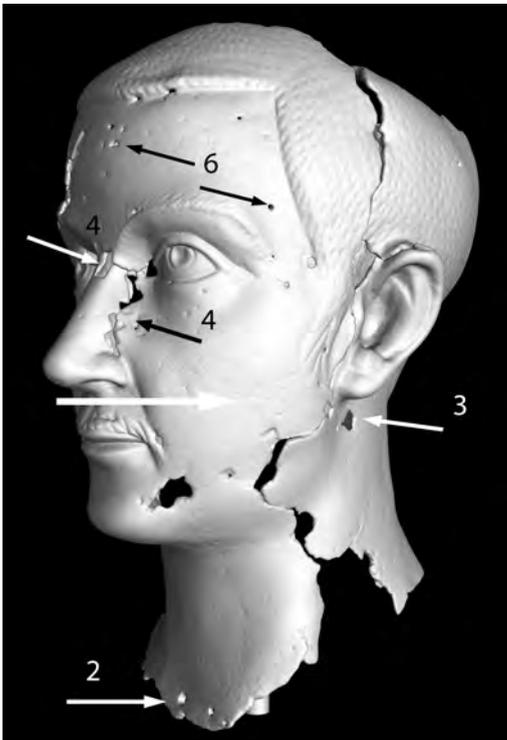


Abb. 64 a–b (gegenüber und oben) Bronzoporträt Gordians III. (GBL 366). Die Computertomographie zeigt das ursprüngliche Schadensbild nach der Auffindung und vor der umfassenden Restaurierung und Ergänzung. (1) Modernes Gewinde mit Befestigungsschraube. (2) Originale Bohrung zur Montage des Kopfes am Körper. (3) Mögliches Einschlagloch eines römischen Bolzenschosses. (4) Durch die Zerstörung verloren gegangene Reparaturbleche. (5) Innen sichtbare Wachstropfen und Verlaufspur. (6) Kleine Kernhalteröffnungen. Landesmuseum Bonn.

Die Probe von einem Finger einer unterlebensgroßen Statue (GBL 513) weicht in der Zusammensetzung durch einen recht hohen Bleigehalt sowie einen geringeren Zinnwert von dem Porträt Gordians III. ab (Sn 5,8 %, Pb 24 %). Der Legierung jenes

Fingers nahezu gleich ist die Zusammensetzung eines Körperfragments (GBL 516). Wie der niedrige Silberanteil zeigt, wurde wohl lediglich eine andere Sorte Blei verwendet. Es ist daher nicht auszuschließen, dass beide Stücke von einer einzigen Statue, jedoch von unterschiedlichen Gusschargen stammen.

#### *Nimwegen-Hessenberg* (FO 4, GBL 251–305)

Zwischen Gräbern der römischen Nekropole von Nimwegen-Hessenberg wurde ein Hort von rund achtzig Bronzestatuenfragmenten mit einem Gesamtgewicht von rund achtzehn Kilogramm gefunden (Abb. 65). Viele Stücke waren stark angeschmolzen deponiert worden. Der Niederlegungszustand des Materials ist nach Ansicht von Christel Veen auf einen Brand zurückzuführen, der große Teile von Ulpia Noviomagus in der zweiten Hälfte des zweiten Jahrhunderts verwüstet hatte (Ch. Veen in: *Gebrochener Glanz 155–157* [mit Lit.]).

Beobachtungen zur Herstellungstechnik weisen auf Material mehrerer Bronzestatuen hin, die generell nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren gegossen waren. Außergewöhnlich ist daher das Kopffragment eines bronzenen Jupiter-Ammon (GBL 295, Abb. 65 oben links), welcher nach dem direkten Wachsaußschmelzverfahren hergestellt wurde (vgl. Haarkalotte aus Womrath). Bemerkenswert sind auch einige Objekte mit eingelegten Reparaturblechen, die zusätzlich mit Kupfernietstiften gesichert wurden. Diese Ausbesserungsmethode, die sich mit großer Wahrscheinlichkeit speziell in den Nordwestprovinzen entwickelt hat, lässt sich auch an zahlreichen weiteren Reparaturblechen im gesamten Limesgebiet feststellen.

An fünfundfünfzig von achtzig Fragmenten des Depotfundes wurden Bohrproben entnommen (GBL 251–305). Diese wurden mittels Röntgenfluoreszenzspektrometrie am Collectie Nederland in Amsterdam sowie am Curt-Engelhorn-Zentrum Mannheim analysiert. Vierunddreißig davon wurden in den Niederlanden gemessen (GBL 262–295). Dabei wurden einige Spurenelemente nicht bestimmt. (Die Nimwegener Daten entsprechen anderen Standards. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde der Bleigehalt mit dem im Curt-Engelhorn-Zentrum Mannheim bestimmten Faktor korrigiert.) Dennoch bestätigen alle analysierten Proben aus Nimwegen-Hessenberg den typologischen und konservatorischen Eindruck,

dass es sich um Fragmente von mehreren Statuen handelt, die unter Einwirkung eines Brandes zerstört, anschließend eingesammelt und vergraben wurden. Mindestens fünf verschiedene Skulpturen lassen sich isolieren.

Die Legierungsverhältnisse, insbesondere der jeweilige Anteil an Zinn und Blei ist bei den Objekten aus dem Depotfund sehr heterogen verteilt, was auf unterschiedliche Rezepturen hinweist. Zudem wurde bei einem Drittel aller Proben ein erhöhter Zinkanteil nachgewiesen, der auf Zugabe von Messing in der Legierung schließen lässt (Sn 0,1–7,5 %, Pb 1,5–26 %, Zn 0,2 % [Nachweisgrenze] – 1,5 %). Bei neun Proben (GBL 268, 269, 279, 280, 281, 294, 302, 303 und 329) liegt der Zinkwert überdurchschnittlich hoch (Zn 1 %). Fünf Proben (GBL 296, 298, 302, 303 und 305) weisen Goldspuren auf, was auf Zugabe von vergoldeten Statuenteilchen in der Legierung hindeutet. GBL 302 und 303 sind nahezu identisch und können daher von einer einzigen Statue stammen. (Der höhere Bleigehalt korreliert hier wiederum mit einem höheren Silbergehalt.)

Da nur wenige Spurenelemente bei den in Amsterdam analysierten Proben gemessen wurden, kann man aufgrund der vorliegenden Legierungen nur vorbehaltlich konstatieren, dass die Proben GBL 260, 268, 269, 279, 280 und 281 zusammengehören. Sie können aufgrund der sehr ähnlichen Verteilung der Hauptbestandteile mit mittlerem Zinnanteil sowie erhöhten Zink- und Bleiwerten einem einzigen Legierungsstandard zugewiesen werden. Ebenfalls höheren Zinkgehalt zeigen GBL 305 und 329, jedoch sind sie anhand des geringeren Bleianteils als separate Statuenlegierung erkennbar. Eine weitere Gruppe bilden vermutlich GBL 254, 255, 283, 286, 292, 293, 297 und 395. Sie weisen geringe bis mittlere Anteile an Zinn und Blei auf (Sn 2,7–5,3 %, Pb 3,2–5,5 %). Auffallend ist der recht hohe Kupferanteil sowie der geringe Zinn- und Bleigehalt eines polygonalen Reparaturbleches (GBL 256, Cu 98 %, Sn 0,1 %, Pb 1,6 %), das mit Kupfernietstiften eingesetzt wurde. Um welche Anzahl an Statuen es sich bei den Funden aus Hessenberg tatsächlich gehandelt hat, lässt sich aufgrund der uneinheitlichen Legierungen nicht mehr feststellen.

Der nachweisliche Anteil von Statuen mit Messingzusätzen in der Legierung ist in Nimwegen-Hessenberg im Vergleich zum Untersuchungsgebiet überdurchschnittlich hoch und lässt auf entspre-

chend verfügbares Altmetall in den Nimwegener Werkstätten schließen.

Die Bleiisotopenverhältnisse dreier Objekte (GBL 253, 295 und 296) gehören in die homogene Hauptgruppe mit Blei aus deutschen Lagerstätten. Das Blei eines Reparaturbleches (GBL 304) dürfte hingegen aus britischen Lagerstätten stammen. Das Blei anderer Funde aus Nimwegen, wie das eines vergoldeten Fingers (GBL 344) und einer Greifenapplik (GBL 341) sind hingegen klar der Eifel zuzuordnen.

#### *Nimwegen-Lent* (FO 4, GBL 328)

Auf einem Gelände an der Laauwikstraat wurden bei Grabungen Spuren eines siebenundzwanzig auf sieben Meter großen Holzgebäudes freigelegt, das wahrscheinlich zu einer größeren Siedlung gehörte (P. van den Broeke, Vindplaatsen in vogelvlucht. Beknopt overzicht van het archeologisch onderzoek in de Waalsprong 1996–2001 [Nimwegen 2002] 22). Im Oberboden – und damit nicht zweifelsfrei zu diesem Kontext gehörend – wurde das bronzene Körperfragment einer Statue gefunden. Die Rückseite zeigt eindeutige Arbeitsspuren wie eine Fügestelle und Wachsverlaufspuren, die durch den Einsatz des indirekten Wachsauflösvorgangs entstanden sind.

Die Auswertung von GBL 328 ergab, dass es sich um eine Bronzelegierung mit relativ hohen Zinnwerten handelt (Cu 72 %, Sn 9,4 %, Pb 18 %). Der Bleianteil entspricht den durchschnittlichen Werten im Untersuchungsgebiet. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

#### *Ober-Florstadt* (ORL 19, FO 42, GBL 430–433)

Auf dem Areal des Kohortenkastells Ober-Florstadt (etwa 90 bis vermutlich 259/260 n. Chr.) wurden bei privaten Begehungen bisher mindestens neun Bronzestatuenfragmente aufgelesen (Vgl. D. Baatz / F.-R. Herrmann [Hrsg.], Die Römer in Hessen [2. Aufl. Hamburg 2002] 274 f.), und zwar neben den unten beschriebenen und beprobten vier Teilen noch Bruchstücke mit Haar, ein zweites Pteryxfragment und ein unbestimmtes profiliertes Stück.

Herstellungstechnisch bemerkenswert sind die Tauschierungsgruben an einem Gewandfragment (GBL 432), die ehemals aufwendig durch Einlagen andersfarbiger Metalle aufgefüllt waren. Diese Technik wie auch die Verzierung durch Nielloeinlagen



Abb. 65 Fragmente mit Brandspuren aus dem Depotfund von Nimwegen-Hessenberg. Nimwegen, Bureau Archeologie en Monumenten van de Gemeente Nijmegen.

ist für das Limesgebiet recht selten und scheint fast ausschließlich im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes vorzukommen. Diese Methode diente vorwiegend zur Erhöhung des Farbkontrastes ornamenter Flächenverzierungen, etwa an Gewändern (so GBL 42 aus Aalen, GBL 37 aus Straubing, GBL 377 im Landesmuseum Bonn, GBL 418 und 425 aus Theilenhofen) oder bei Applikationen (GBL 201 und 202 von der Saalburg).

Es wurden vier Bohrproben entnommen: GBL 430 stammt von dem Pteryxfragment einer Panzerstatue, GBL 431 von einem Sockelleistenfragment, GBL 432 von dem besagten Gewandfragment mit



Abb. 66 Fragmente aus dem Kastell Neuwied-Heddendorf. Beprobte wurde das profilierte Randfragment (GBL 416) oben links im Bild. Landesmuseum Bonn.

Tauschierungsgruben und GBL 433 von einem Haarfragment. Die Statuenfragmente weisen geringfügige Unterschiede in der Legierung auf, welche jedoch im statistischen Toleranzbereich liegen (GBL 431: Sn 7 %, die übrigen Sn 4,3–4,8 %, Pb 18–21 %). Das Haarfragment (GBL 433) zeigt im Verhältnis einen etwas höheren Kupferanteil und niedrigere Bleiwerte (Cu 82 %, Pb 13 %). Geringe Goldspuren sind in zwei Proben nachgewiesen (GBL 430 und 431, Au 0,03 %). Sie geben Hinweise auf das Wiedereinschmelzen vergoldeter Statuenteile.

Trotz geringer Unterschiede in der Zusammensetzung der Proben kann es sich bei den Funden aus Ober-Florstadt um Teile einer einzigen Statue handeln, was sich auch mit den konservatorischen Beobachtungen decken würde.

*Obergermanischer Limes*, Auswahl: Kastelle Heddesdorf (ORL 1, FO 23, GBL 416), Niederberg (ORL 2a, FO 25, GBL 517 und 528), Heftrich (ORL 9, FO 37,

GBL 70), Kleiner Feldberg (ORL 10, FO 38, GBL 68–69) und Echzell (ORL 18, FO 41, GBL 388)

Aus dem Kohortenkastell Heddesdorf (Ende erstes bis Ende zweites Jahrhundert) stammen mehrere Fragmente einer Panzerstatue, darunter ein Panzerfragment mit Victoriadarstellung und ein Laschenstück (Subarmalis; Abb. 66. – Außer dem genannten und beprobten Stück: Applik mit einer geflügelten Victoria Inv. E 2548 [verschollen]; dreieckiges Randstück mit erhöhter Leiste, Inv. E 2550; schwach gewölbttes Fragment, Inv. E 2552). Für die Beprobung wurde ein profiliertes Randfragment (GBL 416) ausgewählt. Seine Legierung entspricht in etwa der durchschnittlichen Limesbronze (Cu 79 %, Sn 5,1 %, Pb 15 %). Die Spurenelemente sind unauffällig und geben keine Hinweise auf die Wiederverwendung von Altmetall.

Zwei Objekte aus Kastell Niederberg (Ende erstes Jahrhundert bis 259/260 n. Chr.) wurden beprobt: GBL 517 stammt von einem 28 Zentimeter langen, reich floral verzierten Panzerlaschenstück (Subarmalis), GBL 528 von einem Pferdebeinfragment. Beide sind in ihrer Zusammensetzung nahezu identisch (Cu 71 und 71 %, Sn 6,1 und 6,3 %, Pb 23 und 22 %). Technisch ist davon auszugehen, dass beide Bruchstücke von unterschiedlichen Teilgussstücken stammen. Umso bemerkenswerter ist die nahezu identische Zusammensetzung der Legierung, die prozentgenau nach einheitlichen Standards legiert, geschmolzen und gegossen wurde. Die Bleiisotopenverhältnisse der beiden Proben sind dagegen unterschiedlich, wobei das Blei der Lasche eventuell aus den Penninen in England stammt und das Armfragment in die keiner isotopisch klar definierten Lagerstätte zuzuordnende Gruppe H fällt. Das Panzerlaschenfragment wurde im Laufe seiner Forschungsgeschichte bereits in Verbindung mit einem Laschenstück von der Saalburg (vgl. GBL 224) gebracht (Raub, Metallkunde 358). Dies erscheint nun nach den Legierungsdaten durchaus möglich.

Im Numeruskastell Heftrich (etwa 150 bis 260 n. Chr.) wurde neben einem unbestimmten Bronze- statuenfragment auch eine Gewand- oder Flügelapplikation gefunden, welcher die Probe GBL 70 entnommen wurde. Die Legierung enthält einen verhältnismäßig geringen Bleianteil (Cu 84 %, Sn 7,9 %, Pb 7,9 %). Hinweise auf wiederverwendetes Altmetall liegen nicht vor.

Das Areal des Numeruskastells Kleiner Feldberg aus derselben Belegungsphase (bis 260 n. Chr.) barg ein Haarfragment (GBL 68), ein unbestimmtes Körperbruchstück (GBL 69) sowie ein nicht beprobtes unbestimmbares Bronzestück. Die Zusammensetzung der Proben ist nicht nur in den Hauptlegierungsbestandteilen, sondern auch in den Spurenelementen recht ähnlich (Cu 71 und 76 %, Sn 7,6 und 6,7 %, Pb 21 und 17 %). Hinweise auf wiederverwendetes Altmetall liegen nicht vor. Ob es sich um Fragmente von verschiedenen Teilgüssen einer einzigen Statue handelt, lässt sich nicht zweifelsfrei beantworten.

Zahlreiche Bronzestatuenfragmente traten im Alen- und Kohortenkastell Echzell (um 90 bis um 260 n. Chr.) zutage, darunter Körperfragmente und verschiedene Flick- und Reparaturbleche. Beprobte wurde das Fragment einer Subarmalis (GBL 388). Das Objekt ist in seiner Zusammensetzung und seinen Isotopenverhältnissen den Werten der Subarmalis aus Niederberg sehr ähnlich (Cu 67 %, Sn 6,0 %, Pb 26 %, Zn 0,4 %, Au 0,03 %). In dem Stück aus Echzell lassen sich allerdings Spuren von Altmetallzuschlägen aus Messing und vergoldeter Bronze finden, die in dem Stück aus Niederberg fehlen. Das Blei stammt vermutlich aus den Penninen.

#### *Palzem-Helfant* (FO 35, GBL 163, 164 und 321)

Mindestens fünfzehn Bronzefragmente wurden in Palzem-Helfant nahe der luxemburgischen Grenze geborgen, darunter eines mit Fellstruktur (GBL 163) und ein Körperfragment (GBL 164), beide vergoldet, sowie ein unbestimmtes Fragment (GBL 321). Jedoch ist bislang zu wenig über die aus Privatbesitz in das Landesmuseum Trier gelangten Funde und den genauen Kontext bekannt. GBL 163 und 164 stammen makroskopisch beurteilt von einer einzigen Statue.

Dies bestätigt die Legierungsanalyse. Die Bronze enthält verhältnismäßig wenig Zinn und Blei und hat einen leicht erhöhten Spurenelementanteil an Antimon (Sn 3,4 % und 2,3 %, Pb 9,0 % und 5,8 %, Sb 0,16 % und 0,20 %). Insbesondere der niedrige Zinngehalt ermöglichte eine wirtschaftliche Produktion, bedingte aber auch eine deutliche Rotfärbung der Bronze, die durch die Goldauflage kaschiert wurde. Es ist wohl kein Zufall, dass im Trierer Raum vermehrt vergoldete Statuen mit dieser rötlichen Legierung gefertigt wurden (vgl. GBL 153, 154, 164, 175,

176, 184, 306, 307 und 320). Die Zusammensetzung von GBL 163 und 164 weist große Ähnlichkeiten mit GBL 321 auf. Aufgrund des starken Korrosionsinflusses lässt sich jedoch nicht erkennen, ob das Stück ehemals auch vergoldet war. Aufgrund der einheitlichen Legierung ist davon auszugehen, dass die beprobten Fragmente aus Palzem nach einheitlicher Rezeptur in einer gemeinsamen Werkstatt gefertigt wurden. Die Bleiisotopenanalyse einer Probe (GBL 164) weist auf regionale Herkunft entweder aus der Eifel oder aus den britischen Penninen hin.

#### *Paksch* (Paks) (FO 68, GBL 547)

Bei Ausgrabungen im Auxiliarkastell Lussonium in der kleinen Ortschaft Dunakömlöd bei Paksch in Ungarn fand man 2009 ein sehr gut erhaltenes Beinfragment von 70,1 Zentimetern Länge (GBL 547) (A. Szabó [Hrsg.], *A császárláb nyomában. The emperor's legacy*. Ausst. Paksch 2011 [Paksch 2011]



Abb. 67 Unterseite des Beines einer Panzerstatue aus Paksch (Lussonium) mit Resten von Bleiverguss (1) und Eisenarmierung (2). Paksch, Paksi Városi Múzeum.

26–30; 70; F. Fazekas u. a. in: Zs. Visy [Hrsg.], *The Danube Limes Project Archaeological Research between 2008–2011* [Fünfkirchen 2011] 170 f.; dies. in: *Gebrochener Glanz* 140 f.; dies., *Bronz császárszobor-töredék a lussoniumi táborból*. Fragment einer bronzenen Panzerstatue aus dem Kastell Lussonium [in Vorb.]. Es stammt von einer überlebensgroßen Kaiserdarstellung im Panzer (vgl. H.-R. Goette, *Jahrb. DAI* 103, 1988, 401–464). Im Rahmen einer Kooperation mit dem Museum Paksch bot sich die Möglichkeit, das Stück genauer zu untersuchen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zu den Herstellungsverfahren mit den Ergebnissen aus dem zentralen Untersuchungsgebiet zu vergleichen.

Das Bein wurde nach dem indirekten Wachsauflaufverfahren hergestellt und gegossen. Bemerkenswert ist die Ausgestaltung der Schuhverzierung, die einen sehr aufwendigen Lederschnitt mit starken

Unterschneidungen (Kerbschnitt) darstellt. Der Schuh ist sehr naturalistisch gestaltet und zeigt umlaufend zahlreiche florale Ornamente. Nach antikem Verfahren ist ein Kopieren beziehungsweise Übertragen solch komplexer dreidimensionaler Formvorlagen von einer Modellvorlage auf ein Wachsmodell ohne Verlust der Qualität nicht möglich. Daher ist davon auszugehen, dass hier (ähnlich wie beim Torso aus Neunkirchen-Kasbruch, GBL 389, oder einem Schuh in Maastricht, Inv. 2965, ohne GBL) das Wachsmodell der Schuhverzierung von Hand nachträglich überarbeitet beziehungsweise nachmodelliert werden musste. Regelmäßige, etwa drei Millimeter große Bohrungen im Obermaterial des Schuhs deuten darauf hin, dass dieser ehemals eine Schnürung besaß, welche vermutlich aus einem andersfarbigen Metall angefügt wurde.

Das Bein enthält im Fußbereich Reste des ehemaligen Bleivergusses sowie Teile einer drei Zentimeter starken Eisenarmierung, durch welche das Standbild mit dem Steinsockel verbunden war. Auf die Ausarbeitung der Schuhsohle wurde daher verzichtet. Es ist lediglich eine umlaufende, etwa sieben Millimeter breite Rahmung angelegt, mit der das Bein auf der Basis stand (Abb. 67, s. a. Abb. 55 sowie Stücke aus Köln GBL 128, Künzing GBL 204, Jupiter aus Mainz GBL 493, Naaldwijk GBL 370 und 371, Namur GBL 387, Pförring GBL 444, Rainau-Dalkingen GBL 352 sowie Tongern GBL 361).

Die Zusammensetzung der Legierung (Cu 85 %, Sn 8,1 %, Pb 6,6 %) weicht von Bronzelegierungen aus dem Untersuchungsgebiet deutlich ab. Der erhöhte Zinkanteil weist auf Zugabe von Messing. Gold wurde nicht nachgewiesen. Besonders auffällig ist der vergleichsweise sehr geringe Bleianteil, welcher für eine Bleiisotopenanalyse mit Herkunftsbestimmung nicht ausreichend gewesen wäre. Die Beprobung des Bleivergusses war nicht möglich, weil das Blei zu stark korrodiert war.

#### *Pförring* (ORL 75, FO 57, GBL 441–446)

Bei Grabungen und Begehungen auf dem Areal des Alenkastells Celeusum (frühestens etwa 100 n. Chr.) wurden bisher mindestens dreiundfünfzig Bruchstücke von Bronzestatuen gefunden (Hinweis Sascha Heckmann). Fragmente mit Haar und Fell (GBL 442) sowie Gewandfalten (GBL 443) kamen bei Grabungen im westlichen Teil der Prin-

cipia zutage. Bei den restlichen Objekten handelt es sich um Lesefunde aus dem Bereich des Lagers. Von diesen wurden ein weiteres Stück mit Gewandfalten (GBL 446), eines von einer Pteryx mit Kalathos (GBL 441), eines mit einem Schuh (GBL 444) und eine Griffatlasche (GBL 445) zur Beprobung ausgewählt.

GBL 441 und 442 sind durch sorgfältige Nachbearbeitung (Kaltarbeit) der gegossenen Bronze gekennzeichnet.

Trotz leichter Unterschiede bei den Hauptlegierungsbestandteilen aller sechs Bohrproben handelt es sich um eine einheitliche Metallrezeptur, deren Zusammensetzung einer durchschnittlichen Limesbronze entspricht (Cu 70–80 %, Sn 3,8–6 %, Pb 16–24 %). Die Abweichungen bei den Hauptbestandteilen betreffen in erster Linie die Bleiwerte. Es kann sich daher bei den Pförringer Funden auch um die Standardlegierung einer einzigen Werkstatt handeln. Dafür sprechen unter anderem die Anteile der Spurenelemente, welche auf die Verwendung einer relativ einheitlichen Kupfersorte hinweisen. Die Anzahl der Statuen lässt sich nicht ermitteln. Lediglich GBL 442 sticht durch einen geringen Goldanteil hervor, was wiederum auf Zugaben von Altmetall in Form von Teilen vergoldeter Bronzen hindeutet.

Die verhältnismäßig ähnlichen Isotopenwerte von GBL 441 und 446 sind keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

#### *Rainau-Buch* (ORL 67, FO 53, GBL 356, 357 und 367)

Von den acht Statuenresten aus Bereichen des mittelkaiserzeitlichen Kohortenkastells (seit etwa 160 n. Chr.) und des Vicus von Rainau-Buch wurden drei Stücke zur Beprobung ausgewählt (B. A. Greiner in: D. Planck [Hrsg.], *Die Römer in Baden-Württemberg* [Stuttgart 2005] 258–265; ders., *Rainau-Buch II. Der römische Kastellvicus von Rainau-Buch* [Ostalbkreis]. Die archäologischen Ausgrabungen von 1976 bis 1979. Forsch. u. Ber. Vor- und Frühgesch. in Baden-Württemberg 106 [Stuttgart 2010]), ein unbestimmtes Körperfragment (GBL 356), ein Stück von einer Hand (GBL 357) und ein Schmelzrest (GBL 367). Das Körperfragment zeigt ein Kernhalterloch, welches auf der Vorderseite offenbar nicht durch ein Reparaturblech verschlossen war, da hierfür die entsprechende Einlassung fehlt. Insofern

dürfte es sich um die vielfach im Untersuchungsgebiet nachgewiesene Reparaturtechnik handeln, bei der die Kernhalterlöcher lediglich mit eingeschlagenen Bronzeperlen verschlossen wurden.

Bei GBL 356 handelt es sich um eine typische Gusslegierung für Statuen (Cu 73 %, Sn 6,1, Pb 21 %). GBL 357 weicht davon kaum ab, weist allerdings zusätzlich Zink- und Goldanteile auf, was auf Zugabe von Messing und vergoldeter Bronze hindeutet. Beide Fragmente können zu einer einzigen Figur gehören oder zumindest in einer gemeinsamen Werkstatt produziert worden sein. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H), mit einer leichten Tendenz zur Gruppe aus den Cevennen.

Bei GBL 367 scheint es sich nicht um ein Statuenfragment zu handeln. Allerdings geben Materialanalysen von Schmelzresten in der Regel nicht mehr die ursprüngliche Legierung wieder, da sich ihre Zusammensetzung entsprechend der Sauerstoffaffinitäten zugunsten der stabileren Elemente hin verschoben hat (R. Schwab in: S. Sievers / M. Leicht / B. Ziegeus, Ergebnisse der Ausgrabungen 1996–1999 in Manching-Altenfeld. Ausgr. Manching 18 [Wiesbaden 2013] 247–249). Nach den Analysedaten zu urteilen handelt es sich um eine nahezu bleifreie Zinnbronze, also eine charakteristische Schmiedebronze, wie man sie für Treiarbeiten benötigte, etwa für Gefäße (Cu 96 %, Sn 3,4 %, Pb 0,14 %).

*Rainau-Dalkingen*, Limestor (FO 53, GBL 349–352, 378 und 379)

Im Bereich des Limestores bei Dalkingen wurden über einhundertvierzig Bronzestatuenfragmente in der Südostecke des Torbaus und in der Gebäudemitte gefunden (S. Heckmann in: Gebrochener Glanz 135–137 mit Lit.). Der räumliche Bezug und stilistische Details an den Fragmenten, zu denen vorrangig Panzerteile und der vollständig erhaltene hohlgegossene Griff mit Ansatz der Schwertscheide eines Adlerkopfschwertes gehören, lassen auch aus konservatorischer Sicht nur wenig Zweifel an der Deutung aufkommen, dass es sich um die zusammengehörigen Teile einer vor Ort zerschlagenen Kaiserstatue handelt (Ebd. 135: Caracalla). Beobachtungen zur Herstellungstechnik weisen auf einen sehr sorgfältig ausgeführten Guss hin, bei dem eine Nachbearbeitung der Oberflächen nur im geringen Umfang erforderlich war. Teile des

Wachsmodells wurden im Bereich der plastisch ausgearbeiteten Panzerlaschen von Hand zusammengefügt (Abb. 68). Die feingliedrige Gestaltung lässt sich auch an den Rückseiten der Stücke erkennen. Sie ist nur durch eine sehr fein gemagerte erste Tonschicht zu erklären, mit der das Wachsmodell zur Herstellung der Gussform überzogen wurde und die mit Bronze verfüllt einen sehr präzisen Abdruck der Wachsvorlage erlaubte. Wie bei dem Adlerkopfschwert aus Weißenburg (GBL 403–405) wurde die in Form eines Blechs stilisierte Schwertscheide – auch in Dalkingen ist ein Stück davon erhalten – mit zwei Nietstiften am Griff befestigt.

Es wurden Fragmente zur Beprobung ausgewählt, die an einer Statue sicher verortet werden können: der Schwertgriff (GBL 379), ein Pteryxfragment mit Doppelpalmettenmotiv und Randverzierung im Fischgrätmuster (GBL 349), ferner ein weiteres solches mit Kalathos-Akanthus-Motiv ohne Randverzierung (GBL 350) sowie Schuhbruchstücke (GBL 351, 352 und 378). Die Zinnwerte aller beprobten Stücke liegen im niedrigen bis mittleren Bereich, der Bleianteil ist im Vergleich zum Durchschnitt der Limesbronzen minimal erhöht (Sn 2,9–6,3 %, Pb 19–21 %; vgl. Raub, Metallkunde 353 Tab. 1). Auch der Gehalt an Spurenelementen weist auf eine einheitliche Legierung hin. Zudem sind die Isotopenverhältnisse des Bleis identisch. Folglich handelt es sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit um Teile einer einzigen Statue.

Die drei Adlerkopfschwerter aus Weißenburg und Murrhardt enthalten nach Ausweis der Isotopenanalyse identisches Blei und weichen auch in der Legierung nur geringfügig voneinander ab. Die Metallzusammensetzung des Dalkinger Schwertes ist mit diesen Stücken verwandt. Die Bleiisotopenverhältnisse sind hingegen ähnlich, aber nicht identisch. Trotz stilistischer Unterschiede in der Griffgestaltung können diese Merkmale die Herstellung aller vier Skulpturen in einer einzigen Werkstatt indizieren (siehe hierzu GBL 380, 403 und 406). Einige italienische Statuen weisen ähnliche Bleisignaturen auf. Aufgrund fehlender Referenzdaten ist derzeit jedoch keine konkrete Übereinstimmung mit potentiellen Lagerstätten zu erkennen. Es gibt für keines dieser vier Standbilder Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

*Regensburg* (FO 58, GBL 66)

Der untere Abschluss eines Pteryx mit floralem Dekor in Gestalt eines Kalathos mit Akanthus und Randverzierung stammt von einer Panzerstatue, die vermutlich im ehemaligen Legionslager *Castra Regina* oder in dem älteren Kohortenlager Kumpfmühl aufgestellt war (M. Konrad, Die Ausgrabungen unter dem Niedermünster zu Regensburg II. Bauten und Funde der römischen Zeit. Münchner Beitr. Vor- u. Frühgesch. 57 [München 2005] 151.). Für eine stilistische Einordnung reicht das Erhaltene nicht aus. Für das Untersuchungsgebiet ungewöhnlich ist der relativ geringe Bleianteil. Die vorliegende verhältnismäßig hochwertige und kostenintensivere Legierung könnte auf frühere Produktion hinweisen (Cu 84 %, Sn 7 %, Pb 8,5 %). Spuren von Gold weisen auf Wiederverwendung von vergoldeten Statuen in der Legierung hin. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Rohr* (FO 20, GBL 129)

In Rohr wurde 1956 eine Statuenapplik in Form eines Greifen gefunden (22,8 mal 15 Zentimeter) (A. Bruckner, Bonner Jahrb. 159, 1959, 167–176 Taf. 31–32; Menzel, Bronzen Bonn 86 Nr. 208 Taf. 99). Die Applik war ursprünglich mit Blei-Zinn-Lot auf einer gewölbten Bronzeoberfläche angebracht, zum Beispiel als Brustzier eines Panzers. Dies belegen die Lötflächen an der Rückseite des Stückes. Zusätzlich verstärkten wohl Nietstifte die Verbindung, wie an einer Bohrung des Greifenflügels erkennbar ist. Kleine Kernhalteröffnungen (2 × 2 mm) wurden mit Bronzeperlen geschlossen. Teilweise sind noch korrodierte Reste der eisernen Kernhalter an der Rückseite vorhanden. Die Art der Gestaltung der Oberfläche, Wachspinselspuren auf der Rückseite und der Übergang zur seitlichen Verbreiterung der Lotfläche deuten darauf hin, dass das Wachsmodell in einem Stück aus einer Negativform ausgeformt und ohne eine weitere Überarbeitung gegossen wurde. Eindeutige Spuren einer mechanischen Nachbearbeitung fehlen, was für die Qualität des Gusses spricht.

Die materialanalytische Auswertung von GBL 129 identifizierte eine Messinglegierung (Cu 69 %, Zn 26 %, Pb 3,8 %). Es ist zu vermuten, dass Messing für den Farbkontrast zwischen Applik und Statue gewählt wurde, wie es ja auch die Appliken aus Künzing zeigen (vgl. GBL 201 und 202).

*Rottweil* (FO 62, GBL 56 und 82)

Bei Grabungen Ende des neunzehnten Jahrhunderts kam auf dem vermuteten Forumsgelände der Stadt *Arae Flaviae* ein bronzenes Fingerfragment zutage (GBL 82, F. von Alberti, Die Alterthümer in der Umgegend von Rottweil am Neckar. Dritter Jahresbericht des Rottweiler archäolog. Vereins. Württembergische Jahrb. 1, 1836, 211–232, hier 215 Nr. 5; F. Haug / G. Sixt, Die römischen Inschriften und



Bildwerke Württembergs [Stuttgart 1914] 172 Nr. 95).

Bei 2008 erfolgten Grabungen im Bereich des Rottweiler Kastells wurde zwischen zwei Baracken ein unbestimmtes Bronzestatuenfragment gefunden (GBL 56), welches sicher in den Kontext der begrenzten militärischen Präsenz vor 101 n. Chr. gehört. Die Legierungsdaten dieses Objektes versprachen demnach Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Rezepturen aus dem ersten Jahrhundert.

GBL 56 zeigt verhältnismäßig viel Zinn und sehr wenig Blei. Ähnliche Legierungsverhältnisse sind zwar in der Antike belegt, sie stellen jedoch für den Statuenguss eher eine Ausnahme dar und sprechen für eine frühe Datierung der Legierung, was auch die erhöhten Antimonwerte untermauern (Cu 80 %, Sn 16 %, Pb 2,9 %; Sb 0,25 %). Sehr ungewöhnlich ist die silbrige Farbe des Fingers, die durch den hohen Zinnanteil bedingt ist. Nach antikem Verfahren lassen sich



Abb. 68a und b Panzerlaschenfragment vom Limestor in Rainau-Dalkingen (GBL 349 und 350). Vorder- und Rückseite mit gut sichtbaren Herstellungsspuren des Wachmodellbaus an der Rückseite.

großformatige Güsse mit solch hohem Zinnanteil und so geringem Bleigehalt schlecht herstellen.

Das Blei ist in seiner Isotopie singulär unter den analysierten Bronzen. Auch einige Bleiobjekte aus dem Legionärlager von Haltern plotten in diesen Bereich (Bode/Hauptmann/Mezger, Lead Sources), für

den es aber keine Daten von Erzen gibt, so dass man angesichts des geringen Bleigehaltes von einer Mischung verschiedener Lagerstätten ausgehen muss.

GBL 82 unterscheidet sich von GBL 56 in der Zusammensetzung deutlich und entspricht einer typischen Limeslegierung (Cu 72 %, Sn 8,9, Pb 18 %). Beide Legierungen geben keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze.

*Saalburg* (ORL 11, FO 39, GBL 58–65 und 210–233)

Aus dem Kohortenkastell Saalburg (Ende erstes Jahrhundert bis 259/260 n. Chr.; Gamer, *Bronzestatuen* 24 f.; Stoll, *Skulpturenausstattung* 487; L. Jacobi, *Das Römerkastell Saalburg bei Homburg v. d. H.* [Bad Homburg 1897] 64; 95) liegen rund einhundertfünfzig Fragmente von Bronzestatuen vor, von denen zahlreiche eindeutig zu Panzerstatuen gehören. Neben den Bruchstücken von Pteryges und Panzerlaschen gilt dies auch für kleinteilige Statuenappliken, zum Beispiel in Gestalt einer antithetischen Greifendarstellung (GBL 226), eines Reiters mit Pferd (GBL 223), von Akanthusblüten (GBL 60), Flügeln (GBL 228) oder Acheloosköpfen (GBL 219 und 222).

Allein 103 Fragmente stammen aus einer Fundstelle vor dem Fahnenheiligtum der Principia in der Nähe zweier Postamentspuren und können daher am Ort der ursprünglichen Aufstellung erhaltene Teile der betreffenden Statuen sein.

Von den Bronzestatuenfragmenten wurden zweiunddreißig Proben entnommen (GBL 58–65, 210–233) (Abb. 69). Es handelt sich ausschließlich um Bohrproben zur Legierungsbestimmung, von denen eine (GBL 63) zur Analyse einer Schweißverbindung diente. GBL 210, 211 und 216 stammen von Reparaturblechen, GBL 221 und 227 von Kupfernietstiften, die zur Montage von Panzerappliken dienten. Vergoldete Statuenfragmente fehlen hier wie an vielen anderen militärischen Fundorten.

Bei den Gussstücken zahlreicher Körperpartien (GBL 58–65, 210, 212–215, 217, 218, 225, 231 und 232) ist die vorherrschende Legierung relativ einheitlich (Cu 71–78 %, Sn 6,2–8,6 %, Pb 16–21 %). In zwölf von diesen achtzehn Proben wurde jedoch bis zu ein Prozent Zink nachgewiesen, was auf Zugabe von Messing in der Legierung deutet (GBL 58–62, 64, 210, 213, 215, 217, 231 und 232).

Auffällig ist der hohe Anteil an wiederverwendetem Material. Über zwei Drittel der analysierten

Bronzefunde von der Saalburg enthalten Goldspuren und mehr als die Hälfte davon Zink. Vergleicht man die Legierungen der Appliken mit den Körperpartien, so ergibt sich ein ähnliches Bild (Cu 69–77 %, Sn 5,3–8,8 %, Pb 13–25 %). Vier von sechs Proben enthalten ebenfalls Hinweise auf wiederverwendetes Messing (GBL 60, 219, 222 und 228). Aufgrund der identischen Legierungen bei Statue und Applik wurde mit den Appliken im Gegensatz zu Stücken aus Künzing (GBL 201 und 201) oder Rohr (GBL 129) kein Farbkontrast erzielt.

Die nachträgliche Applikation an der Statue diente hier lediglich dem stärkeren plastischen Kontrast. Die Montage erfolgte unter Verwendung von Kupferstiften (GBL 221 und 227), indem sie vor dem Ausschmelzen des Wachses in die Wachstform eingesteckt wurden. Die Kupferstifte enthalten Spuren von Zinn und Blei (Sn 0,77–0,88 %, Pb 5,4–6,1 %). Auffallend ist der relativ hohe Antimon Gehalt der Flügelapplikation (GBL 228). Eine Applik (GBL 222) zeigt eine Reparatur, bei der ein Nietstift durch die Mundöffnung nachträglich eingesetzt wurde. Die Probe der Überfanggussstelle eines Körperfragments (GBL 63), die zur Montage von separat gegossenen Einzelteilen diente, weicht ebenfalls nur leicht von der Grundlegierung ab. Gegenüber der Schweißnaht enthält die Gusslegierung (GBL 62) der Statue jedoch Zink, was auf Zugabe von Messing deutet (Zn 0,3 %). Die Legierung der beprobten Reparaturbleche (GBL 210, 211 und 216) ist nahezu identisch (Cu 72–73 %, Sn 6,9–10 %, Pb 17–19 %). Bohrungen in den Reparaturblechen und Einlassungen für ein solches (GBL 217) weisen auf eine im Untersuchungsgebiet oft zu beobachtende zusätzliche Sicherung mit Nietstiften hin.

Wie der Spurenelementgehalt zeigt, handelt es sich wohl um Fragmente von mindestens zwei Statuen. Die Bleiisotopenverhältnisse sind uneinheitlich. Das Blei einer Panzerlasche (GBL 58) kommt aus der Eifel. Die Bleiisotopenwerte eines Schulterfragmentes (GBL 212) liegen außerhalb der Hauptgruppen der Großbronzen. Das Blei kann entweder aus der Eifel oder aus den Penninen in England stammen. Eine Applik (GBL 223) enthält ebenfalls vermutlich britisches Blei. An einer anderen Applik (GBL 222) sowie an einem Fragment mit einem Zopf (GBL 229) wurde jeweils eine Tonkernprobe entnommen (T 6 und T 7).

*Saint-Mard* (FO 19, GBL 358 und 359)

Zwei Bronzestatuenfragmente wurden laut Fundakten in der Umgebung von Saint-Mard aus verschiedenen Zusammenhängen geborgen. Das Fingerfragment (GBL 359) fand man auf dem Plateau de Majerou im Bereich eines Vicus, der im fünften Jahrhundert zerstört wurde, das Gesichtsfragment mit Bart in unterlebensgroßem Format (GBL 358) 1896 im Ort Le Verine (Abb. 70).

Die Ausarbeitung des Bartes wirkt wenig plastisch und wurde reliefartig durch Gravur beziehungsweise Ziselierung erzeugt (GBL 358). Vermutlich war die Struktur schon am Wachstmodell angelegt und wurde nach dem Guss nur leicht überarbeitet. Die Unterseite des Bartes ist nur grob ausgearbeitet und lässt daher eine niedrige Aufstellungshöhe ohne Untersicht vermuten, wie zum Beispiel bei einer Herme. Die starke Abwinkelung des Halsansatzes sowie eine mögliche runde, vier Millimeter große Montagebohrung im Bart deuten darauf hin, dass der Kopf an einer Bronzeplatte montiert war. Auffällig ist die schwarze Patina des Stücks. Sie ist vergleichbar mit der Korrosionsschicht, die auch an Fragmenten aus Aalen, Bonn oder Künzing festgestellt wurde (vgl. den Haupttext, Abschnitt ›Schwarz-silbrige Oberfläche‹). Möglicherweise handelt es sich (wie an dem Bonner Stück nachgewiesen) um eine korrodierte Zinn-beziehungsweise Zinn-Blei-Seigerungsschicht, die hier womöglich durch Hitzeeinwirkung entstanden ist. Wachstropfen an der Rückseite deuten auf die Herstellung nach dem indirekten Wachs-ausschmelzverfahren hin. Reparatureinlassungen in der linken Gesichtshälfte sind durch Ausbesserung von Gussfehlern entstanden.

Die Legierung des Gesichtsfragments GBL 358 besteht aus Bleibronze (Cu 68 %, Sn 4,7 %, Pb 27 %, Zn 0,2 %). Der Bleianteil ist im Vergleich zu den Werten des Untersuchungsgebietes überdurchschnittlich hoch. Die Gussbronze enthält zudem Zink, was auf die Zugabe von Messing in der Legierung hindeutet. Aufgrund des relativ geringen Kupfergehalts ist von einem Strecken der Legierung mit kostengünstigerem Blei auszugehen.

Die Probe vom Finger (GBL 359) hingegen enthält deutlich mehr Zinn (Cu 73 %, Sn 11 %, Pb 16 %). Dies weist auf die bewusste Zugabe von Zinn hin, wodurch eine hochwertige Gusslegierung erzeugt werden sollte. Der Bleigehalt des Fingerfragmentes



Abb. 69 Eine Auswahl von Statuenfragmenten und Statuenappliken aus dem Kastell Saalburg. Bad Homburg, Museum Saalburg.

entspricht dem Durchschnittswert einer Limesbronze. Zugaben an Altmetall sind nicht nachweisbar. Die Bleiwerte der Isotopenmessung liegen in der zuweisbaren Hauptgruppe und passen zu den Lagerstätten der Eifel.

*Sirzenich* siehe Trierweiler-Sirzenich

*Straubing* (FO 59, GBL 34–37)

In Straubing wurden von vespasianischer Zeit bis in die Spätantike mehrere aufeinanderfolgende Kastelle errichtet. Von den Lesefunden aus dem Bereich des früh- bis mittelkaiserzeitlichen Kastell- und Vicusareals wurden elf Bronzestatuenreste beprobt, darunter ein Fragment mit Gewandfalten (GBL 35), eines von einem Panzer (GBL 36), eines mit Tauschierungen in floralem Dekor (GBL 37) und ein unbestimmbares Körperstück (GBL 34).

Florale Silbertauschierungen (GBL 37) kennzeichnen eine hohe Qualität der betreffenden Statue. Reste einer schwarzen Patina sind an einigen Fragmenten noch erhalten. Möglicherweise handelt es sich um eine intentionelle Schwarzfärbung, die einen Farbkontrast zu den mit Silber tauscherten Einlegearbeiten in der Oberfläche erzeugt hätte (Abb. 71; F. Willer in: *Das Wrack 1023–1031* Abb. 2–4).

Bei den beprobten Fragmenten handelt es sich wohl um Teile eines zusammengehörigen Bildwerkes. Die Legierungen, die Spurenelemente und auch die Bleiisotopenverhältnisse sind im Rahmen der Standardabweichung identisch (Cu 72–76 %, Sn 4,5–6,2 %, Pb 19–22 %). Leichte prozentuale Unterschiede bei den Hauptlegierungsanteilen können durch die inhomogene Verteilung der Zinn- und Bleiwerte einzelner Teilgussstücke entstanden sein.



Abb. 70 Fragment eines bärtigen Bronzebildnisses aus Saint Mard (GBL 358). Arlon, Musée Archéologique.

Im Vergleich zum durchschnittlichen Bleigehalt des Untersuchungsgebietes ist der Bleiwert recht hoch. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).

*Tawern* (FO 34, GBL 97–100, 173, 183 und 322–324)

Das Heiligtum von Tawern liegt etwa sechzehn Kilometer südwestlich von Trier an einem wichtigen Fernweg, der von Süden über Lugdunum (Lyon) nach Augusta Treverorum (Trier) führte. Zahlreiche im Tempelbezirk gefundene Bronze­fragmente sind Überbleibsel von im Heiligtum aufgestellten, teils mit Blattgold verzierten Kultbildern oder Weihegaben (S. Faust in: Gebrochener Glanz 105–107 [mit Lit.]). In der Spätantike, nach der Aufgabe des Heiligtums, wurden die Bronzen zerkleinert und die Reste wahrscheinlich zumeist verschleppt. Die Materialproben sollten klären, mit welcher Mindestzahl an großformatigen Bronzebildnissen in Tawern zu rechnen ist.

Sehr ungewöhnlich für das Untersuchungsgebiet sind die an einigen Stücken erkennbaren sehr feinen, flächendeckend ausgeführten Punzierungen, die auch an Reparaturblechen vorhanden sind. Sie können Gewebestrukturen oder kurzes Tierfell charakterisieren. Weitere (nicht beprobte) Fragmente aus Tawern mit dieser auffälligen Punzverzierung lassen sich mit großer Wahrscheinlichkeit derselben

Statue beziehungsweise demselben Monument zuweisen.

Für ein vermutliches Schuhfragment (GBL 324) wurde eine Messinglegierung gewählt (s. u.). Großformatige Statuentile aus diesem Werkstoff lassen sich nach antiker Methode nur sehr schlecht gießen. Den Aufwand scheinen Bronzegießer dennoch auf sich genommen zu haben, um einen besonderen Farbkontrast zwischen Schuhwerk und Rest zu bewirken (siehe auch Rohr GBL 129). Das separate Gussstück dürfte dann entweder mechanisch oder durch eine Blei-Zinn-Lötung angefügt worden sein, da eine Verschweißung von Messing mit Bronze nach antiker Methode kaum möglich war.

Die Zusammensetzung der neun Materialproben weist darauf hin, dass es sich bei den betreffenden Stücken möglicherweise um Fragmente von drei unterschiedlichen Statuen handelt (GBL 97, 98, 100, 173, 183, 322 und 323).

Das als Schuhfragment gedeutete, vermutlich verschleppte Stück aus dem Vicus im Tal (GBL 324) besteht aus einer für Statuen sehr ungewöhnlichen Rotgusslegierung, zudem ist der Goldgehalt auffällig hoch (Cu 75 %, Sn 2,5 %, Pb 4,4 %, Zn 17 %, Au 0,11 %). Zwei Proben von flächig punzierten Statuen­fragmenten aus dem Tempelbezirk (GBL 97 und 322), weitere von einem entsprechend punzierten Reparaturblech (GBL 98) sowie eine Probe von einem Haarlockenfragment (GBL 323) sind in ihrer chemischen Zusammensetzung identisch und können daher wohl einer einzigen Statue oder Statuengruppe zugewiesen werden. Ein Merkurstab mit Inschrift (GBL 501) würde – dem Verhältnis der Hauptlegierungsbestandteile nach zu urteilen – zu einem Körperfragment (GBL 99) passen. Allerdings weichen die Spurenelemente signifikant ab.

Ein vergoldetes Bruchstück aus dem Tempelbezirk (GBL 183), von dem auch die Anschliffprobe der Blattvergoldung genommen wurde (GBL 173), besitzt einen relativ hohen Anteil an Antimon und Silber (Sb 1,0 % und 0,78 %, Ag 0,69 % und 0,34). Aufgrund dieser Fehleranteile dürfte es sich um Teile eines zerstörten Götterbildes der frühen Kaiserzeit handeln. Hinsichtlich des Silber- und Antimonanteils könnte ein ebenfalls vergoldetes Blech (GBL 100) zugehörig sein (Ag 0,3 %, Sb 0,60 %). Das Blei der einzigen bezüglich Bleiisotopie analysierten vergoldeten Statue (GBL 100) kommt aus der Eifel.

*Theilenhofen* (FO 55) siehe Gnotzheim

*Tongern* (FO 15, GBL 361–365)

Im römischen Aduatuca Tungrorum kamen an Bronzestatuenresten ein Fingerfragment (GBL 363), ein rechter Daumen (GBL 362) und ein vergoldetes Gewandstück (GBL 365) sowie ein Teil eines Fußes (GBL 361) zutage. Die jeweiligen Fundumstände sind unbekannt oder tragen nicht zur Datierung des Materials bei (G. Faider-Feytmans, *Les bronzes Romains de Belgique* [Mainz 1979] Kat. 128 Taf. 62 [Fußfragment] und Kat. 129 Taf. 62 [Gewandfragment]).

Wie schon bei der vorbereitenden Autopsie der Fragmente vermutet, gehören zwei einzelne Finger zu einer einzigen leicht unterlebensgroßen Statue (GBL 362 und 363). Dies bestätigen die Analysedaten, nach denen die Zusammensetzung identisch ist (Cu 75 %, Sn 5,8 %, Pb 19 %, Zn 0,2 %). Der Anteil an Zink weist auf die Zugabe von Messing in der Legierung hin. Die Bleisotopendaten in GBL 363 liegen außerhalb des für die übrigen Großbronzen bekannten Bereichs und sind mit keiner bekannten Bleilagerstätte

kompatibel. Die Bleifüllung im Daumenfragment (GBL 362) stellt offenbar eine Reparaturtechnik dar, mit der brüchig oder sehr dünnwandig gegossene Fingerglieder nicht durch Schweißung (vgl. Bregenz), sondern lediglich durch Ausgießen mit Blei fixiert werden konnten. Aus technischen Gründen muss diese Methode vor der Montage des Arms erfolgen. Bleivergüsse in Händen von Bronzestatuen konnten jedoch auch der Stabilisierung dienen (F. Willer in: *Das Wrack 971–984*, hier Abb. 7).

Ein vergoldetes Gewandfragment kann einer weiteren Statue zugewiesen werden (GBL 365) Cu 72 %, Sn 8,5 %, Pb 19 %). Auch hier sind keine Altmetallzuschläge nachweisbar. Die Bleisotopenverhältnisse liegen ebenfalls außerhalb der im Limesgebiet üblichen Bereiche und finden (wie das Plinthenleistenfragment aus Aalen, GBL 47) Entsprechungen in Bleierzen des spanischen Baskenlandes. Nach optischer Untersuchung des Gewandfragments besteht die Vergoldung aus einer Blattgoldauflage. Da in einem Teilbereich die Edelmetallvergütung ausgespart ist, lässt sich vermuten, dass hier mechanisch ein

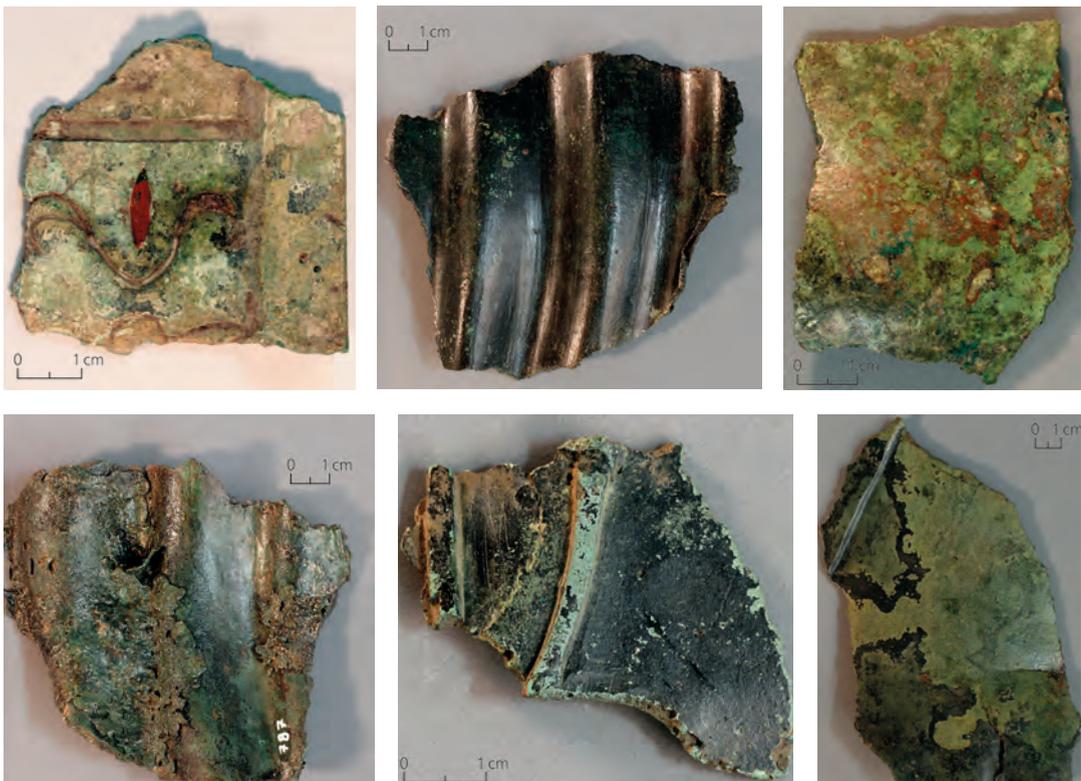


Abb. 71 Auswahl bronzenener Statuenfragmente aus Straubing, zum Teil mit polychromen Einlagen und schwarzer Patina. Straubing, Gäubodenmuseum.



Abb. 72 a–b Blattvergoldetes Gewandfragment (GBL 365) mit Ausparung des verlorengegangenen Reparaturblechs, innen und außen. Auf der Innenseite sind Arbeitsspuren des indirekten Wachsmodellbaus sichtbar. Tongern, Provinciaal Gallo-Romeins Museum.

weiteres Teilgussstück mit Überlappung mechanisch angebracht beziehungsweise verbunden war. Da die entsprechende Bearbeitung erst nach Zusammenfügung aller Teile der Statue erfolgte, blieb der überdeckte Bereich unvergoldet. Die Rückseite zeigt Pinselfröhen sowie Wachsbearbeitungsspuren, die das indirekte Wachsauflöschverfahren belegen. Auffällig sind recht scharfkantig ausgemeißelte Reparaturgruben, aus denen sich die Flickbleche herausgelöst haben (Abb. 72).

Das Fußfragment einer unterlebensgroßen Statue (GBL 361) ist an der Sohle gänzlich geöffnet und wurde in eine entsprechende rillenförmige Einlassung in der Steinbasis eingesetzt und zudem mittels eines massiven Bleivergusses mit dieser verbunden (s. Abb. 55; Willer, Sockelung 362–364 Abb. 27–28). Die Oberfläche des Fußes zeigt eine recht homogene schwarze Oberflächenpatina, bei der es sich möglicherweise (wie bei den Fragmenten aus Aalen, dem Bonner Legionslager oder Künzing) um eine oxidierte Seigerungsschicht aus Zinn beziehungsweise Zinn und Blei handelt. Die Legierung des Fußfragments entspricht der Limesbronze (Cu 74 %, Sn 7,3 %, Pb 16 %, Zn 1,4 %, Au 0,08 %). Auffällig sind die relativ hohen Anteile an Zinn und Gold, die durch Zugabe von Messing und vergoldeter Bronze in der Legierung bedingt sind.

GBL 364 stammt vom Reparaturstück einer Gewandstatue (Cu 82 %, Sn 4,3 %, Pb 13 %). Hier sind keine Altmetallzuschläge nachweisbar.

Nach Auswertung der Analysedaten handelt es sich um Teile von drei Statuen.

#### *Traben-Trarbach* (FO 28, GBL 316)

Ein bronzenes Haarfragment aus der Umgebung um Traben-Trarbach gelangte als Schenkung in das Rheinische Landesmuseum Trier. Der Ortsangabe zufolge kann es sich nur um ein Objekt aus einem zivilen Kontext handeln.

Die Bohrprobe GBL 316 kann von einer Haarlocke aus dem Stirnbereich eines menschlichen Kopfes oder vom Haaransatz oberhalb eines Pferdehufes stammen, wohl von einem Reiterstandbild (Cu 84 %, Sn 7,1 %, Pb 8,4 %, Au 0,34 %). Die Bleiwerte fallen im Rahmen des Untersuchungsgebiets gering aus. Der relativ hohe Goldanteil weist auf Zugabe von vergoldeter Bronze in der Legierung hin. Zinn wurde hingegen nicht festgestellt, es gibt also keinen Hinweis auf Wiederverwendung von Messing.

*Trier* (FO 32, GBL 94–96, 146–166, 169–172, 174–176, 184, 306, 307, 311–315, 319, 320, 325 und 500–502)

Aus dem antiken Trier stammen zahlreiche Überreste bronzener Standbilder unterschiedlichster Zeitstellungen von der augusteischen Zeit bis in die Spätantike. Eine große Reihe materialanalytischer Untersuchungen sollte klären, ob sich innerhalb der einzelnen Fundplätze die Legierungen ähneln und wie weit sich Datierungsansätze finden lassen (Abb. 73; S. Willer in: *Gebrochener Glanz* 36–38 Abb. 12).

Aus den Funden der im späten zweiten Jahrhundert errichteten Barbarathermen wählte man zur Beprobung unter anderem den Arm einer unterlebensgroßen Statue (GBL 149). Er hat einen für das Untersuchungsgebiet überdurchschnittlich hohen Gehalt an Zinn und einen mäßig hohen an Blei (Cu 74 %, Sn 9,8 %, Pb 16 %). Bei der Abschnittprobe von einem überlebensgroßen, massiv gegossenen vergoldeten Daumenfragment (GBL 172) desselben Fundorts ist von Blattvergoldung auszugehen, da Quecksilber fehlt. Ebenfalls aus den Barbarathermen stammt ein blattvergoldetes Handfragment (GBL 502), dessen Legierung geringe Bleiwerte zeigt und damit von den im Untersuchungsgebiet üblichen Legierungsverhältnissen abweicht (Cu 87 %, Sn 5,2 %, Pb 7,6 %). Die beiden erhaltenen Finger sind hohl gegossen und etwas überlängert dargestellt. Zur



Abb. 73 Statuenfragmente. Rheinisches Landesmuseum Trier.

Handwurzel hin zeigt sich eine auffällige Struktur, möglicherweise ist hier Bekleidung gemeint. Die vermutete Zugehörigkeit eines mitgefundenen Merkurstabs (GBL 501) ist aufgrund seiner Zusammensetzung unwahrscheinlich (Cu 75 %, Sn 7,8 %, Pb 17 %).

Im Areal der Kaiserthermen wurde eine unterlebensgroße rechte Hand mit Unterarm (GBL 147) sowie ein Finger (GBL 169) gefunden. Der Unterarm zeigt ein für seine Größe verhältnismäßig hohes Gewicht und wurde daher mittels Computertomographie untersucht (Abb. 74). Im Zuge dieser Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Herstellung des Wachsmodells wohl im Schwenkverfahren erfolgt war. Dabei wird die Negativform mit flüssigem Wachs ausgeschwenkt, damit sich das Wachs gleichmäßig in der Form verteilen kann. Offensichtlich verpasste man bei diesem Stück den richtigen Zeitpunkt zum Ausgießen des überschüssigen Wachses. Dadurch entstand eine sehr dickwandige Wachstform, bei der auch die Finger massiv ausgegossen wurden. Bemerkenswert ist auch die Art der Montage des Armes am Ärmelansatz der Kleidung. Ein Fragment des Gewandes haftet noch an. Ob hier eine punktuelle Lötung oder Schweißung vorliegt, ist nicht zu bestimmen. Aufgrund des hohen Gewichtes ist zu vermuten, dass man den Arm zusätzlich mit einer inneren Metallarmierung an der Statue sichern musste. Die Fragmente der Statuen aus den Kaiserthermen (GBL 147 und 169) gehören aufgrund ihrer Zusammensetzung wie auch aus konservatorischer Sicht zweifelsfrei zu zwei unterschiedlichen Bildwerken. Spekulierte man aufgrund des Fundkontextes auf eine Produktion in der Spätantike, so wäre die gemessene Zusammensetzung mit hohem Zinnanteil und geringem Bleigehalt bemerkenswert (Sn 8,9 % und 11 %, Pb 3,4 % und 7,7 %. – Diese eher als »klassisch-hellenistisch« zu bezeichnende Legierung wurde in Trier auch an einem Fußfragment aus der Mosel [GBL 150], einem Pferdeschweif aus Trier oder Umgebung [GBL 155] sowie an einer Haarlocke aus Trier-Sirzenich [GBL 168] festgestellt.). In diesem Zusammenhang sind auch die leicht erhöhten Antimonwerte in der Legierung des Armes auffällig (GBL 147, Sb 0,32 %).

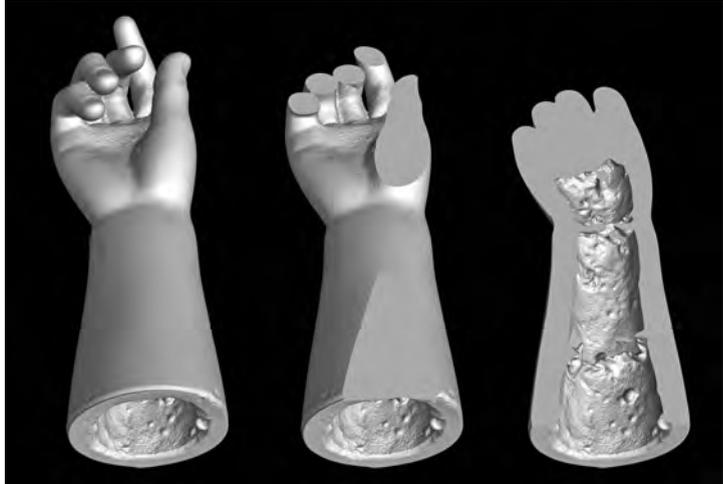
Ausgrabungen im Jahre 1961 in der Jesuitenstraße brachten neun nicht stratifizierte Fragmente römischer Bronzestatuen zutage, von denen zwei Stücke (GBL 153 und 154) materialanalytisch untersucht wurden. Beide sind vergoldet und recht massiv

gegossen. Ihre Legierung weicht deutlich von der im Untersuchungsgebiet durchschnittlichen Zusammensetzung ab. Die kostengünstige Bronze enthält nur wenig Zinn und Blei (Sn 3 und 1,8 %, Pb 3,4 und 4 %). Diese nach antiker Methode zwar preiswertere, aber nicht unproblematisch zu gießende Legierung besaß einen roten Farbton, der unter der Vergoldung nicht sichtbar war (vgl. Jupiterstatue aus Mainz, GBL 492). Bei GBL 176 handelt es sich um eine Abschnittprobe (zur Bohrprobe GBL 153), bei der Blattgoldauflage nachgewiesen ist. Dies konnte auch durch Oberflächenanalyse mit RFA bestätigt werden, die keine Hinweise auf Feuervergoldung (Quecksilber) ergab. Es gibt zudem keine Anhaltspunkte für Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Die Fundstelle Trier-Feldstraße-Mutterhaus lieferte einzelne Bronzestatuenfragmente, aus denen zwei zusammengehörige vergoldete Schuhfragmente (GBL 175, 184 und 307) und ein vergoldetes Körperfragment (GBL 306) zur Beprobung ausgewählt wurden. (Wie sich erst zu einem späteren Zeitpunkt nach der Probenentnahme herausstellte, lassen sich zwei Fragmente [GBL 184 und 307] eines Schuhs mit Riemenverzierung zusammenfügen. Anhand einer Abschnittprobe [GBL 175] wurde metallographisch eine Blattgoldauflage identifiziert.) GBL 175 ist eine Abschnittprobe von einem Schuh (GBL 184). Alle drei Stücke stammen nach Ausweis der Legierungen von einer einzigen Statue, deren hoch kupferhaltige Rezeptur ohne Anteile an Zink und Gold der Metallrezeptur der Statuenteile aus der Jesuitenstraße ähnelt (Cu 90–94 %, Sn 2,7–2,9 %, Pb 2,2–6,9 %). Vermutlich handelt es sich bei den Statuen beider Fundorte um Bronzen, die innerhalb eines kurzen Zeitraums in einer gemeinsamen Werkstatt gefertigt wurden. Dass diese Art von Legierung die nachteilige Bildung von Gasblasen begünstigt, zeigen die originalen Stücke, welche entsprechende Reparaturen aufweisen.

Die Fragmente vom Fundort Trier-Hopfengarten (GBL 158–162) stammen nach makroskopischer Beurteilung sowie nach Ausweis der Materialanalyse-daten von mehreren Statuen. Zwei der Fragmente (GBL 158 und 159) sind anscheinend mit Quecksilber-Gold-Amalgam feuervergoldet. Hierauf deuten RFA-Messungen an der Oberfläche der Stücke hin, die einen Quecksilbergehalt von 3,6 beziehungsweise 4,7 Prozent aufweist. Auffällig ist in diesem Zu-

Abb. 74 Unterlebensgroßes Unterarmfragment aus Trier (GBL 147), in der Computertomographie virtuell geöffnet. Die Wandstärke in den hohl gegossenen Bereichen beträgt bis zu elf Millimeter. Der vordere Bereich der Hand ist massiv gegossen. Trier, Rheinisches Landesmuseum.



sammenhang der Bleianteil, der bei Feuervergoldung bekanntermaßen zur Bildung von grauen Stellen führen kann (Pb 8,7 und 16 %). Die deutlichen Abweichungen im Bleigehalt beider Stücke deuten auf zwei unterschiedliche Gusschargen oder Bildwerke hin.

Bei drei unvergoldeten Bruchstücken handelt es sich um ein Haarfragment (GBL 160), eine einzelne freiplastisch gearbeitete Haarlocke (GBL 161) sowie möglicherweise um ein Stück einer Panzerverzierung mit Akanthus (GBL 162). Bei diesen drei Proben ist der Zinnanteil recht ähnlich, hingegen weichen die Bleiwerte deutlich voneinander ab (Sn 6,7–7,1 %, Pb 8,7–23 %). Zwar sind Abweichungen im Bleigehalt bei unterschiedlichen Gusschargen (Teilguss) möglich, dennoch erlauben die Analyseergebnisse in Kombination mit den konservatorischen Untersuchungen keine klare Aussage darüber, ob es sich hier um Teile eines einzigen Bildwerkes handelt. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Die analysierten Funde aus der Mosel umfassen das Ohr eines Maultiers (GBL 148), den Unterkiefer einer überlebensgroßen Schlange (GBL 146), ein Halsfragment (GBL 94 und 95) mit Schweißnaht (GBL 96) und ein Fußfragment (GBL 150–152) sowie Bleilot von der Fußmontage (GBL 500, Abb. 73 oben). Bei einigen dieser Funde gibt es zufällig ähnliche Zusammensetzungen (vgl. GBL 94, 95, 146, 148 und 171). Hierbei handelt es sich um typische Limesbronzen mit hohem Blei- und mittlerem Zinngehalt (Sn 5,5–7,2 %, Pb 16–22 %), wobei GBL 96

lediglich von der Schweißnaht der Kopfmontage mittels Ringguss herrührt. Der höhere Bleianteil (Pb 22 %) diente hierbei vermutlich zur Reduzierung des Schmelzpunktes und führte zudem zu einem besseren Schmelzfluss (F. Willer / R. Meijers in: Gebrochener Glanz 175 Abb. 6; 7) Der Kopfbereich der Statue (GBL 94) enthält deutlich weniger Blei als der Statuenkörper (GBL 95; Pb 7,9 % und 16 %). Im Übrigen ist die Zusammensetzung der beiden Gussstücke (Kopf und Körper) sowie der Schweißlegierung nahezu identisch.

Dies zeigen auch die Proben von einem in der Mosel gefundenen unterlebensgroßen Statuettenfuß, genauer dem Rest eines Spielbeins (GBL 150–152, Abb. 73 links oben), dessen Vorderpartie sehr aufwendig separat gegossen und dann mittels Überfanggusspunkten angefügt wurde. Die gleichsam antiquierte Herstellungstechnik und Legierung mit geringem Anteil an Blei und hohem an Zinn (GBL 15, Pb 2,4 %, Sn 9,3 %) findet auch Parallelen im relativ geringen Bleigehalt der Schweißnaht (GBL 152, Pb 0,46 %) sowie der Reparatur eines Kernhalterloches (Pb 0,81 %), was auf eine Gießtechnik griechischer Tradition hinweist. Hierauf deutet auch die sehr plastische Gestaltung der Zehen und der geschlossenen Fußsohle hin (F. Willer, Kölner Jahrb. 33, 2000, 565–573). Die Statue war ehemals auf einer Metallbasis mittels Weichlötung (Blei-Zinn-Lot) befestigt, wie man es von antiken Statuen her kennt, die für die Ausstattung von Innenräumen dienten (s. Abb. 55; F. Willer / R. Meijers in: Gebrochener Glanz 178 f. Abb. 9). Reste der Lotmasse (GBL 500)

befinden sich in einer Vertiefung zwischen Zehen und Fußballen. Dies deutet darauf hin, dass ein kurzer Metallzapfen, der an der Metallbasis befestigt war, zur besseren Fixierung des Fußes eingefügt war. Die Analyse der Lotmasse war wegen starker Korrosion nicht möglich. Hinweise auf Wiederverwendung von Metall liegen bei Funden aus der Mosel nicht vor.

Aus dem Stadtgebiet stammt das Bruchstück eines Pferdeschweifs (GBL 155), von einem unterlebensgroßen Reiterstandbild (rechts oben auf Abb. 73). Ebenfalls auffällig sind hier die hohen Anteile an Zinn und die sehr geringen an Blei (Sn 11 %, Pb 0,51 %), was einer klassischen Legierung entspricht.

Aus einem Heiligtum im Altbachtal (augusteisch bis viertes Jahrhundert) sind einige Fragmente römischer Bronzestatuen bekannt: Die beiden Bruchstücke von Haarlocken (GBL 311 und 312) können aufgrund ihrer Zusammensetzung (Cu 83–87 %, Sn 8,1–8,3 %, Pb 5–8,3 %) und der einheitlich außergewöhnlich plastischen Gestaltung von einer einzigen Statue stammen. Bei einem unbestimmten Körperfragment (GBL 319) liegt nachweislich Feuervergoldung vor. Auffällig ist jedoch, dass die Legierung trotz der Problematik beim Vergolden relativ viel Blei enthält (Sn 1,1 %, Pb 9,5 %).

An Funden aus dem Trierer Raum wurden vierundvierzig Bohrproben sowie fünf Proben für Anschliffe entnommen. Sie lassen sich grob in drei Hauptgruppen unterteilen: Eine Gruppe (etwa GBL 96, 146, 148, 160, 162, 166, 171, 318 und 325) weist die für die Limesbronzen typische Zusammensetzung mit hohen Blei- und mittleren Zinnwerten auf. Bei einer zweiten (etwa GBL 147, 150, 152 und 155), die sich durch geringe Blei- und hohe Zinnwerte auszeichnet, kann es sich um Importe aus frühen italischen Werkstätten handeln. Die dritte Gruppe (etwa GBL 153, 154, 165, 174, 176, 184, 307, 313–315 und 320), vielfach vergoldete Statuenfragmente mit ungewöhnlich hohem Kupfergehalt (Cu 93 % bis 97 %), wurde möglicherweise im gallischen Raum produziert.

Auffällig ist trotz der relativ hohen Zahl an Proben der geringe Anteil an wiederverwendetem Altmetall. Gold wurde lediglich bei einer Probe gemessen (GB 314, Au 0,03 %), Zink in drei Proben (GB 146, 314 und 317).

An elf Proben wurden Bleiisotopenanalysen durchgeführt. Mit der Einschränkung, dass sich bei

vielen Analysen die Signaturen verschiedener Lagerstätten überlagern, gehören ein Kinderarm (GBL 147) und ein Panzerstatuenfragment (GBL 162) sowie ein vergoldetes Bruchstück (GBL 153) in die homogene Hauptgruppe mit Blei aus der Eifel. Das Blei im Fragment von einem Pferdeschweif (GBL 155) kann aus der Eifel oder aus den britischen Penninen stammen. Das Blei zweier Statuenarme (GBL 149 und 156) und des Maultierohres (GBL 148) kann aus den Cevennen kommen, wobei für GBL 156 auch die Minen von Shropshire ein mögliches Herkunftsgebiet sind. Für ein Fußfragment aus der Mosel (GBL 150) gibt es bislang keine Entsprechung bekannter Erzdaten, wobei es sich auch hier möglicherweise um Blei aus dem Balkangebiet handelt (s. Carnuntum). Interessanterweise zeigen auch einzelne italische Bronzen ähnliche Isotopenverhältnisse (Salcuni/Formigli, Grandi bronzi). Alle übrigen Isotopenverhältnisse gehören zur Gruppe H aus keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten.

Die Anschliffproben der vergoldeten Trierer Funde bestätigen die Anwendung von Blattgoldauflage (GBL 172, 175, 176 und 177), auch bei einem bereits zuvor feuervergoldeten Stück (GBL 174). Bemerkenswert ist der Nachweis mehrerer feuervergoldeter Statuen anhand der Proben GBL 158, 159, 174 und 313, wobei ein Stück (GBL 174) noch nachträglich mit Blattgold überarbeitet beziehungsweise ausgebessert wurde. Die betreffende Anschliffprobe zeigt sechs Blattgoldlagen in einem Bereich, der eine unvollständige Feuervergoldung aufweist. Bedeutsam ist auch der geringe Anteil an wiederverwertetem Altmetall in den Trierer Bronzen. An einem Armfragment (GBL 147, T 14) und einem Fußfragment (GBL 150–152 und 500, T 5) wurden Tonkernproben entnommen.

#### *Trierweiler-Sirzenich* (FO 31, GBL 168)

Aus Sirzenich im Trierer Umland stammt ein kleines bronzenes Haarfragment (GBL 168). Die sehr feine und präzise Ausarbeitung der Haarstrukturen deutet auf eine sehr qualitativ gearbeitete Skulptur hin. Im Einklang damit besteht die Legierung nahezu ausschließlich aus Kupfer und Zinn, der verschwindend geringe Bleianteil ist als Verunreinigung zu werten (Cu 89 %, Sn 11 %, Pb 0,23 %). Dieses Mischungsverhältnis entspricht der in römischer Zeit nördlich der Alpen kaum anzutreffenden klassischen



Abb. 75 Fragmente aus Weißenburg. Teilweise gibt es polychrome Tauschierungen sowie Tauschierungsgruben in den Fragmenten. Weißenburg, Römermuseum.

antiken Bronze mit hohem Anteil an Zinn und sehr geringem an Blei. Es dürfte sich daher wohl eher um ein Importstück handeln. Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

#### Waldgirmes (FO 40, GBL 529–534)

In den von 1993 bis 2003 erfolgten Grabungskampagnen auf dem Areal der augusteischen Siedlung in Lahнау-Waldgirmes kamen über einhundertsechzig Fragmente zutage, die auf eine entsprechend frühe Statuenrepräsentation nördlich der Alpen schließen lassen. Ein Großteil der Funde konzentrierte sich im Forumsbereich um fünf Befunde, die als Reste von Steinpostamenten für Statuen gedeutet werden (G. Rasbach in: Gebrochener Glanz 40–43 [mit Lit.]). Neben einigen bronzenen Statuenfragmenten wurde aus einem Brunnen auch ein sehr gut erhaltener vergoldeter Pferdeköpfe (GBL 529) geborgen (s.

Abb. 13). Die Funde liefern mit dem Zerstörungsbeziehungswise Auffassungshorizont von 16 n. Chr. einen wertvollen Terminus ante quem, der auch für die Chronologie technischer Aspekte, insbesondere der frühen Statuenproduktion, wichtige Hinweise liefert.

Es wurden sechs Bohrproben entnommen, vom Pferdeköpfe (GBL 529), von einer Pferdemañne (GBL 530), einer Satteldecke (GBL 531), einem Pferdehals (GBL 532), einem Gewand (GBL 533) und vom Schuh eines Reiters (GBL 534). Mit Ausnahme von GBL 534 handelt es sich wohl um Fragmente von Pferdeköpfen. Die Legierung des Pferdeköpfes entspricht trotz der frühen Datierung der typischen Limesbronze (Cu 75 %, Sn 8,5 %, Pb 14 %). Die Zusammensetzungen der anderen Stücke weisen einen etwas geringeren Zinnanteil auf, wogegen die Bleiwerte in etwa vergleichbar sind (Sn 1,8–5,7 %, Pb 12–19 %).

Anhand der in Waldgirmes dokumentierten Postamente von fünf Standbildern stellte sich die Frage, ob die beprobten Fragmente zu einem einzigen Bildwerk gehören. Auffällig ist für alle Proben der erhöhte Antimonanteil. Die Werte liegen vorwiegend im Promillebereich, wohingegen der Pferdekopf überdurchschnittlich viel Antimon enthält (Sb 0,8 und 2,3 %; vgl. G. Rasbach / A. Ulbrich, Restaurierung und Arch. 6, 2013, 1–18, hier 14 Tab. 1). Die Kombination aus hohem Gehalt an Zinn, Antimon und Blei im Pferdekopf hätte eigentlich zu Seigerungen der sich bildenden intermetallischen Phasen führen müssen (Schwab 2014 [Anm. 49] 177–179). In den veröffentlichten Schliffbildern ist dieses jedoch nicht erkennbar (vgl. Rasbach/Ulbrich a. a. O. Abb. 18–20). Insbesondere das Fragment mit Halsfalten des Pferdes (GBL 532) weicht in der Zusammensetzung von der Legierung des Pferdekopfes (GBL 529) ab (Cu 75 % und 77 %, Sn 8,5 % und 4,4 %, Pb 14 % und 17 %, Sb 1,9 % und 0,68 %). Da der Pferdekopf am Hals angelötet wurde, was am erhaltenen Rest der Lötfläche sichtbar ist, könnte es sich bei dem Halsfaltenfragment um ein Stück vom Teilgussbereich des Pferdekörpers handeln. Insofern wären insbesondere aufgrund der Größe der Gussform leichte Abweichungen in der Metallzusammensetzung denkbar. Gleiches gilt für die Fragmente GBL 531 (Satteldecke), LBL 533 (Körperfalten) und das Schuhfragment eines Reiters (GBL 534), die einander in der Zusammensetzung sehr ähnlich sind. Neben dem Pferdekopf weicht nur das Fragment mit Mähne (GBL 530) von den übrigen Stücken deutlich ab, da hier der Zinngehalt auffallend niedrig ist, zudem sind die Nickelanteile in dieser Probe leicht erhöht (Sn 1,8 %, Ni 0,11 %). Insofern könnte es sich bei den beprobten Stücken um Teile von zwei oder drei Bildwerken handeln. Hierbei sind auch die hohen Antimonwerte des Kopfes zu berücksichtigen (Sb 1,9 %), die in den anderen Fragmenten in deutlich geringerer Prozentzahl enthalten sind (Sb 0,41–0,68 %). Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

Die Bleiisotopenverhältnisse bei den Proben des Pferdekopfes (GBL 529) und des Reiterfußes (GBL 534) sind mit den Bleilagerstätten in der Eifel kompatibel, was sich mit Befunden aus römischen Militärlagern deckt (Bode/Hauptmann/Mezger, Lead Sources; S. Durali-Mueller u. a., Journal Arch.

Scien. 34, 2007, H. 10, 1555–1567). Angesichts der frühen Datierung kann man Blei aus britischen Lagerstätten ausschließen.

Der Pferdekopf sowie die anderen Fragmente wurden nach dem indirekten Wachsauerschmelzverfahren hergestellt. Durch das Auskleiden der Negativformen mit Wachs entstanden in den Innenflächen der gegossenen Bronze Werkspuren wie Wachstropfen, Wachskrümel, Schaberspuren, Fingerabdrücke oder Pinselstriche (s. Abb. 31). Die Fußsohle des Reiters (GBL 534) wurde separat ausgeformt und dann am Wachsmo- dell eingesetzt. Dies ist deutlich an der innenliegenden Fügenahtstelle und an Wachstropfen zu erkennen. Wachsverlaufspuren weisen zudem darauf hin, dass das Bein dabei auf die Seite abgelegt wurde.

Die in Bonn ausgewerteten Computertomographien des Pferdekopfes aus Waldgirmes zeigen trotz der Unterschiede in der Datierung eine nahezu identische Wachsplattenmontage aus etwa acht einzelnen Segmenten wie der Pferdekopf aus Augsburg (vgl. Abb. 32). Die seitlichen, Medaillons am Kopf wurden erst nach dessen Ausrichtung unter Berücksichtigung des Blickwinkels des Betrachters in Wachs angefügt. Lediglich das ovale Stirnmedaillon war bereits im Urmodell angelegt und beim Abformen in Wachs automatisch mit übertragen worden. Die beiden runden Medaillons auf der Stirn und oberhalb der Nüstern sind im CT-Schnittbild erkennbar, ebenso wie die vier seitlichen, massiv gegossenen, die ebenfalls nachträglich am Wachsmo- dell montiert wurden. Wie auch am Augsburger Pferdekopf zu beobachten, hatte man den Unterkiefer separat in Wachs ausgeformt und anschließend mit dem wächsernen Kopf verbunden. Kernhalterlöcher wurden (wie vielfach im Limesgebiet zu beobachten) nicht mit Flickblechen, sondern mit eingeschlagenen Bronzeperlen geschlossen.

Zwei rechteckige Einschuböffnungen dienten zur Montage von weiteren Riemenbeschlägen des Zaumzeuges. Diese Technik ist auch am Augsburger Pferdekopf zu beobachten. Vermutlich waren diese nach dem Guss angebrachten Beschläge zum Zweck des Farbkontrastes aus andersfarbigem Metall gearbeitet. Die bewusste Demontage der Medaillons, wie sie auch am Augsburger Stück zu erkennen ist, lässt vermuten, dass es sich um wertvolles Metall handelte, zum Beispiel Silber. Die Vergoldung



Abb. 76 a–b Haarkalotte aus Weißenthurm (GBL 127). Landesmuseum Bonn.

des Pferdekopfes aus Waldgirmes erfolgte mittels Blattgoldauflage in mehreren Lagen (Rasbach/Ulbrich a. a. O. 13; G. Rasbach in: Gebrochener Glanz 42).

Im Jahr 2010 wurden etwa siebenundfünfzig Kilometer von Waldgirmes entfernt in Frankfurt – Nieder-Eschbach unter anderem Fragmente eines weiteren Reiterstandbildes geborgen. Sie zeichnen sich durch eine sehr massive Gusstechnik und detailreiche Ausarbeitung der Fellstruktur am Pferdekörper aus. Zerschlagene Gussstücke bezeugen die Zerstörung der Statuen. Ebenso fanden sich Hinweise auf Reparaturen in Form von Nietlöchern. Im Rahmen des Projektes zwischenzeitlich gewonnene Untersuchungsdaten (Materialproben) sollen nach Abschluss der Arbeiten der hessischen Landesarchäologie veröffentlicht werden. Hier wird es vor allem um einen Abgleich mit den Daten von Waldgirmes gehen.

*Weißenburg i. Bayern* (ORL 72, FO 56, GBL 403–406)

Aus Grabungsmaßnahmen und Begehungen in Weißenburg stammen achtunddreißig Bronzestatuensfragmente, von denen nicht genau dokumentiert ist, ob sie im Vicusareal oder im Bereich des Alenkastells (spätes erstes bis Mitte drittes Jahrhundert) gefunden wurden (Abb. 75; S. Heckmann in: Gebrochener Glanz, 138 f. [mit Lit.]). Zu den herausragenden Stücken zählen zwei annähernd formgleiche Adlerkopfschwerter (GBL 403–406), mehrere Gewand- und Laschenfragmente mit Tauschierungs-

gruben sowie zahlreiche andere Objekte von Panzerstatuen. Besonders wegen der beiden fast identisch gearbeiteten Schwerter dürfte es sich hier um die Reste von mindestens zwei Statuen aus einem eng bemessenen Herstellungszeitraum beziehungsweise aus einer einzigen Werkstatt und möglicherweise sogar von einem einzigen Monument handeln. Die Legierungen sollten hier, wenn möglich, nähere Aufschlüsse geben. Laut Martin Kemkes ist es denkbar, dass es sich in Weißenburg um ein Gruppenmonument handelt, das zwei gleichzeitig regierende Kaiser darstellt, vielleicht aus severischer Zeit (s. Abb. 59; M. Kemkes in: Gebrochener Glanz 108–119).

Die Griffstücke der beiden Weißenburger Adlerkopfschwerter (GBL 403 und 406) scheinen jeweils in ihrer Herstellung mit demjenigen aus Murrhardt (GBL 380) formgleich zu sein. Es diente wohl ein identisches Modell als Vorlage des Griffes, welches nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren hergestellt wurde. Leichte Abweichungen entstehen oftmals bei der nachträglichen Überarbeitung eines Wachsmodells oder der individuellen Anpassung an das Gesamtwerk. Die fast vollständige Übereinstimmung der Schwertgriffe lässt die sehr zeitnahe Herstellung zweier beziehungsweise mit dem Stück aus Murrhardt dreier Statuen vermuten.

Für die Materialanalyse wurden vier Proben entnommen, nämlich von der jeweiligen Gusslegierung der Griffe (GBL 403 und 406), von einem Befestigungsnietstift aus Kupfer, mit dem die Schwertscheide montiert war (GBL 404) sowie von

dem erhaltenen Schwertscheidenblech (GBL 405). Die beiden Gusslegierungen der Griffe liegen nicht nur hinsichtlich ihrer Spurenelemente recht dicht zusammen (Sn 5,5 % und 5,8 %, Pb 18 und 22 %). Das Schwertscheidenblech zeigt eine Legierung (GBL 405, Sn 7,3 %, Pb 6,6 %) ähnlich wie bei dem Parallelstück aus Murrhardt, bei dem der Zinngehalt jedoch schon deutlich erhöht ist (GBL 407, Sn 11 %, Pb 4,6 %). Der Kupfernietstift (GBL 404) enthält geringe Zuschläge an Zinn und Blei (Sn 0,2 %, Pb 0,65 %). Die Zusammensetzung des Niets deutet auf Anteile von Altmetall hin. Vorteilhaft dürfte sich die geringe Zinnzugabe beim Guss des Kupferrohrlings ausgewirkt haben, da reines Kupfer nach antiker Schmelz- und Gießmethode zur starken Bildung von Gasblasen neigt. Spuren von Gold lassen zudem vermuten, dass hier zur Herstellung des Ausgangsmaterials des Niets Teile stark kupferhaltiger vergoldeter Statuen dienten (Au 0,02 %). Dies kann auf eine werkstatteigene Produktion der Nietstifte hindeuten.

Die genaue Zuordnung zu einer bestimmten Bleilagerstätte ist derzeit nicht möglich (siehe Bleiisotopenergebnisse Rainau-Dalkingen). Die identischen Isotopenverhältnisse der Schwerter aus Murrhardt und Weissenburg lassen jedoch vermuten, dass hier dieselbe Werkstatt tätig war, in der auch das Schwert von Dalkingen gefertigt wurde.

#### *Weißenthurm* (FO 24, GBL 124–127)

Zwei verzierte Bronzeleisten einer Statuenbasis sowie die bronzene Haarkalotte einer etwa lebensgroßen Götterstatue (Menzel, *Bronzen Bonn* 73 Nr. 170 Taf. 84) ohne bekannten Fundkontext wurden wahrscheinlich bereits in der Antike aus ihrem eigentlichen Aufstellungszusammenhang herausgelöst und sekundär verlagert. Ikonographisch und nach dem Fundort zu urteilen stammen sie wahrscheinlich aus einem zivilen Umfeld, zum Beispiel einem Heiligtum oder einem Vicus.

Alle Objekte aus Weißenthurm wurden nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren gegossen. Die einzelne kleine Sockelleiste (GBL 124) von einer etwa vierzig Zentimeter hohen Basisverkleidung zeigt gegenüber den beiden großen, recht massiv gegossenen Sockelleisten (GBL 125 und 126) eine deutlich einfachere ornamentale Ausgestaltung. Sie erfolgte primär nach dem Guss durch Punzierungen beziehungsweise Ziselierungen und entspricht eher einer Blechschmiedearbeit. Durch die händische Werkzeugführung kam es zu einer leichten Verzerrung der Motive in Arbeitsrichtung.

Deutlich anders gestaltet und ausgearbeitet sind die Verzierungen der beiden großen Sockelleisten (GBL 125 und 126). Hier waren die Ornamente bereits in der Modellvorlage vollständig angelegt und wurden bei der Abformung auf die Hilfsnegative



Abb. 77 a–b Haarkalotte (GBL 504) und Blitzbündel (GBL 505) einer Jupiterstatue aus Womrath. Im Röntgenbild sind die Kernhalteröffnungen (2 x 2 mm) mit Pfeilen markiert. Diese waren ursprünglich mit kleinen Bronzeperlen verschlossen. Landesmuseum Bonn.

übertragen. Beim anschließenden Einbringen des Waxes in die Hilfsnegative wurden die Ornamente somit direkt übernommen, so dass nur minimale Überarbeitungen des Wachsmodells erforderlich waren. Nach dem erfolgreichen Guss wurden lediglich einige Details mit feinen Punzen beziehungsweise Ziselieren zur Hervorhebung überarbeitet. Die deutlich sichtbaren Qualitätsunterschiede in der Herstellung und Gestaltung der Sockelleisten spiegeln sich nun auch in den verwendeten Legierungen wider.

Die Haarkalotte (GBL 127, Abb. 76) zeigt eine recht detailreiche Ausgestaltung mit kleinen Locken, die nach dem Guss zusätzlich mit feinem Ziselieren überarbeitet wurden. Eine seitlich und hinten verlaufende Vertiefung kann von der ehemaligen Montage einer kranzförmigen Verzierung stammen, die bereits im Wachsmodell angelegt war. Kernhalteröffnungen in diesem Bereich dürften zur Befestigung dieses Kopfschmucks gedient haben. Auffällig ist eine an der Innenseite hervorstehende Lasche von halbrunder Form, die in Bronze mitgegossen wurde. Solche Laschen wurden bislang bei Reiterstatuen, und zwar anhand der Montage der Pferdehufe an der Basis beobachtet (siehe Kempton GBL 348 sowie Durach GBL 385). Sie sollten dort nach der Versockelung mit Blei ein Abheben des Bildwerkes zum Beispiel bei Sturm verhindern. Bei der Kalotte handelt es sich um einen Teil des aus zwei Teilen gegossenen Kopfes. Dabei wurde sie als Montageauflage über das haarlose Kopfteil gestülpt und anschließend mit diesem passgenau und vermutlich nur mechanisch verbunden. Hinweise auf eine Löt- oder Schweißverbindung fehlen. Ein großes Vierkantloch im vorderen linken Bereich kann zur zusätzlichen Sicherung der Montage mit einem Stift gedient haben.

Aus dem Fundkomplex von Weißenthurm wurden vier Bohrproben zur Bestimmung der Gusslegierungen entnommen (GBL 124–127). Die relativ einfach gearbeitete Sockelleiste hat einen für antike Bronzegüsse überdurchschnittlich hohen Bleigehalt (GBL 124, Cu 61 %, Sn 4,6 %, Pb 34 %). Die Legierung unterscheidet sich deutlich von den Legierungen der anderen Sockelleistenfragmente (GBL 124).

Die von einem anderen, deutlich größeren Monument stammenden Fragmente zweier Sockelleisten (GBL 125 und 126) weisen erwartungsgemäß eine untereinander identische Legierung auf. Die makroskopisch beobachtete hochwertige Ausführung der

großen Stücke spiegelt sich in der Legierung wider, welche für das Untersuchungsgebiet einen recht hohen Zinngehalt und einen geringen Bleianteil aufweist (Cu 83 und 84 %, Sn 11 und 9,8 %, Pb 6,1 und 6,4 %). Es gibt keine Hinweise auf Zugabe von Messing oder vergoldeter Bronze in der Legierung.

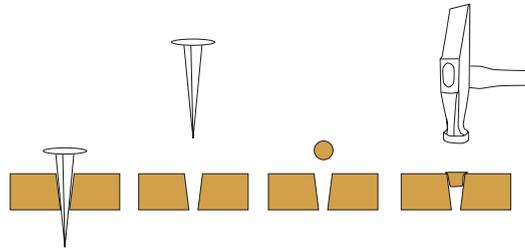


Abb. 78 a–c Kernhalteröffnungen. (a) Schema der Ausbesserungstechnik von Kernhalteröffnungen mit Bronzeperlen; (b) Öffnung an der Kernhalteröffnung am Maul des Pferdekopfes aus Augsburg (GBL 29–31), Verschlussperle verloren; (c) Detailsicht der Innenseite des Schuhfragments aus Namur mit sichtbarer Kernhalteröffnung und vorhandener Bronzeperle (GBL 387).

Die von der Haarkalotte aus Weißenthurm stammende Probe GBL 127 (Cu 65 %, Sn 4,7 %, Pb 29 %) passt bemerkenswerterweise sehr gut zur Legierung der kleineren Sockelleiste (GBL 124). Aufgrund der



Abb. 79 a–c Bronzene sogenannte Kultkrone aus dem Xantener Raum. Landesmuseum Bonn.

Größenunterschiede ist jedoch eine Zusammengehörigkeit beider Stücke auszuschließen. Es bleibt jedoch die Wahrscheinlichkeit bestehen, dass beide Stücke in einer gemeinsamen Gießerei nach derselben Rezeptur gefertigt wurden. Entsprechend dürften die beiden großen, qualitativvoll gearbeiteten Sockelleisten aus einer anderen Werkstatt stammen, die – fast nach klassischer Manier – kostspielige zinnreiche Bronzen hergestellt hat.

Die Bleiisotopenverhältnisse bei der Haarkalotte (GBL 127) liegen zentral in der Hauptgruppe der Bronze mit Blei aus der Eifel.

#### *Wijchen - De Tienakker* (FO 3, GBL 330–332)

Auf dem Gelände einer etwa zwölf Kilometer südöstlich von Nimwegen gelegenen römischen Villa fand man Siedlungs- und Handwerkerspuren des ausgehenden vierten und frühen fünften Jahrhunderts. Darunter befanden sich auch mehrere Statuenfragmente, die als Altmetall zur Münzprägung dienten (E. N. A. Heirbaut / H. van Enckevort [Hrsg.], *De verdwenen villa van de Tienakker. Archeologisch onderzoek naar het Romeinse verleden van Wijchen. Arch. Berichten Wijchen. Rapport 4* [Nimwegen 2011]). Die Herstellungskette lässt sich ähnlich wie in Hambach-Niederzier klar nachvollziehen.

Aus dem Fundkontext Wijchen wurden drei Bohrproben GBL 330–332 zur Analyse der Gusslegierung entnommen. GBL 331 stammt von einem großen polygonalen Reparaturblech, welches auf die Ausbesserung eines Gussfehlers ohne zusätzliche Sicherung mit Nietstiften an einer relativ großen Statue hindeutet. Die Ausführung eines solchen exakt zugerichteten Stückes entspricht einer an römischen Bronzestatuen vielfach beobachteten Reparaturmethode (Hrvatski Apoksiomen – *The Croatian Apoxyomenos*. Ausst. Osijek, Rijeka und Split

2008 [Zagreb 2008] 64 f.; vgl. auch Biesheim-Kuhnheim, lfd. Nr. 575–578 und 584–585). Polygonale Reparaturbleche eignen sich im Vergleich zu rechteckigen Reparaturblechen besonders zur unauffälligen Kaschierung größerer Gussfehler an plastisch-vital gestalteten Körperpartien, da diese aufgrund der organisch wirkenden Kontur gegenüber rechteckigen Blechen weniger stark in der Fläche kontrastieren beziehungsweise sich optisch von dieser abheben.

Zinnreste an der Rückseite des Körperfragments (GBL 332) können von der Montageverbindung stammen, wie sie auch der Torso einer Panzerstatue aus Neunkirchen-Kasbruch (GBL 391) zeigt. Ein Körperfragment (GBL 330) zeigt schwarze Patina, wie sie beispielsweise an Fragmenten aus Aalen (etwa GBL 83), der Saalburg (etwa GBL 223), Nimwegen (etwa GBL 341), Tongern (GBL 361), Neuenstadt a. Kocher (etwa GBL 512) oder dem Bonner Legionslager (etwa GBL 136) auftritt und durch Zinnseigerung entstanden sein könnte. Zudem finden sich an diesem Körperfragment mit schwarzer Patina aus Wijchen Reste einer Einlassung für ein Reparaturblech, welches mit Nietstiften gesichert wurde.

Trotz unterschiedlicher Bleianteile kann es sich bei den Körperfragmenten GBL 330 und 332 aufgrund der ähnlichen Spurenelementverteilung um Reste einer einzigen Statue handeln, die in zwei Gusschargen gefertigt wurde (Pb 8,3 und 18 %). Aufgrund der äußerlichen Unterschiede könnte es sich aber auch um zwei Statuen handeln, die nach gleicher Rezeptur gegossen wurden. Zudem ist der Gehalt an kostspieligem Zinn bei allen Proben im Vergleich zum Untersuchungsgebiet überdurchschnittlich hoch (Sn 9,9–12 %). Hinweise auf wiederverwendetes Material in der Legierung fehlen. Das Blei der Legierung eines der Fragmente (GBL 330) stammt aus der Eifel.

*Womrath* (FO 27, GBL 504 und 505)

Aus Womrath im Hunsrück stammen eine bronzene Haarkalotte und ein bronzenes Blitzbündel von einer zweifach überlebensgroßen Jupiterdarstellung (Abb. 77; Menzel, *Bronzen Bonn* Nr. 171 Taf. 85; Nr. 172 Taf. 86 [jew. m. älterer Lit.]). Im Gegensatz zu der etwa gleich großen Jupiterstatue aus Mainz (GBL 493–498) ist die Figur aus Womrath nicht vergoldet.

Blitzbündel und Kalotte wurden vor 1841 »beim Dorfe Womrath beim Umpflügen eines Ackers« gefunden, an einer Fundstelle, die etwa einen Kilometer östlich des heutigen Ortes auf einer Hochfläche nahe dem Simmerbachtal und in naher Verbindung zu einer römischen Fernstraße liegt (Hinweise Axel von Berg [Koblenz] und Susanne Willer [Bonn]). Kalotte (GBL 504) und Blitzbündel (GBL 505) gehören nach Proportionen und Oberflächenbearbeitung zu einem einzigen Monument. Sie wurden separat gegossen und waren ursprünglich appliziert. Bei der Haarkalotte handelt es sich um eines der wenigen Stücke im Untersuchungsgebiet, die nach dem direkten Wachs-ausschmelzverfahren hergestellt wurden (vgl. Jupiter Ammon aus Nimwegen, GBL 295). Der auffallend gerundete untere Abschluss ohne Spuren einer Montage lässt vermuten, dass die Kalotte möglicherweise

nicht zur Befestigung an einer Bronze, sondern denkbarer an einer Skulptur aus Stein aufgesetzt war. Kaum vorhandene Gussfehler deuten auf einen Guss von hoher Sorgfalt und Qualität hin. Zahlreiche, nur zwei Millimeter im Quadrat große Kernhalteröffnungen wurden mit kleinen Bronzeperlen verschlossen (s. Abb. 78), wie im Untersuchungsgebiet häufig zu beobachten.

Das Blitzbündel wurde nach der Auffindung restauriert und mit Zinn-Blei-Lot ergänzt. Da für die Montage an der Statuenhand eine Teilung notwendig ist, muss es ursprünglich mindestens aus zwei separat gegossenen Teilen bestanden haben (s. a. das Blitzbündel aus Mainz, GBL 495–496 und 400–402). Leider ist auch mit Hilfe von Röntgenaufnahmen nicht mehr genau festzustellen, ob hier drei oder zwei Teile zusammengefügt sind.

Die Legierungszusammensetzung beider Teile ist erwartungsgemäß identisch. Der Bleianteil ist etwas höher als üblich im Untersuchungsgebiet, wogegen der Zinnwert etwa dem Durchschnitt entspricht (Sn 6,6 und 6,7 %, Pb 20 und 23 %). Die Haarkalotte enthält geringe Mengen an Zink, was auf wiederverwendetes Messing hinweist. Das Blei ist keiner der isotopisch klar definierten Lagerstätten zuzuordnen (Gruppe H).



Abb. 80 a–b Bronzenes Gewandfragment aus Xanten-Lüttingen, zum Vergleich der Xantener Knabe (Kopie). Landesmuseum Bonn.



*Xanten* (FO 6, GBL 506, 545, 546 und 548)

Von Objekten aus dem Xantener Raum wurden vier Bohrproben entnommen.

Zu den ältesten und herausragenden Funden aus dem Doppellegionslager Vetera I gehört eine mit einem Figurenfries verzierte Krone (GBL 506, Abb. 79). Thema des Frieses ist die Fürsorge für den kindlichen Bacchus. Es handelt sich wohl um die Kopfbedeckung einer leicht unterlebensgroßen Statue, vielleicht ein Standbild der Liebesgöttin Venus; aber auch die Porträtfigur einer Angehörigen des Kaiserhauses wäre denkbar. Aufgrund des Fundkontextes ist das Objekt in die Zeit vor der Bataverschlacht, also spätestens 69/70 n. Chr. zu datieren (H. Lehner, *Bonner Jahrb.* 134, 1928, 176 Taf. 16–17; N. Hanel, *Vetera I. Rhein. Ausgr.* 35 [Köln und Bonn 1995] 82 f. Kat. B 421 Taf. 13, 1; Menzel, *Bronzen Bonn* 50–41 Nr. 108 Taf. 61–64; H.-H. von Prittwitz und Gaffron, *Bonner Jahrb.* 189, 1989, 121–137; U. Schädler, *Bemerkungen zur Kultkrone aus Vetera. Xantener Ber.* 12 [Mainz 2002] 203–213). Die Kultkrone zeigt einen besonders massiven, dickwandigen Guss, der nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren erfolgt ist. Die außergewöhnlich detailreiche Ausarbeitung des Bildfeldes mit Figuren und Säulen erforderte eine mehrteilige Abformung der Vorlage. Kleine Ungenauigkeiten wurden von Hand am Wachsmo-  
dell überarbeitet. Der an der Unterseite befindliche, nach hinten springende rahmenähnliche Versatz deutet darauf hin, dass das Objekt zur Sicherung in eine Vorrichtung aus Stein oder Bronze eingelassen war. In diesem Zusammenhang ist das recht hohe Gewicht des Stückes zu sehen, da durch die Schwere eine stabile Montage – insbesondere bei einer reinen Steckverbindung – gewährleistet ist.

Zwei runde Einschläge auf der Vorderseite weisen auf eine gewaltsame Zerstörung hin.

Die Legierung der Kultkrone (GBL 506) zeigt einen im Vergleich zu den anderen Funden sehr hohen Zinkanteil, was auf Zugabe von Messing in der Legierung deutet. Die Bleiwerte sind dagegen im Vergleich zum Durchschnittswert im Untersuchungsgebiet sehr gering (Cu 87%, Zn 1,4 %, Sn 4,1 %, Pb 6 %). Dieses Verhältnis könnte durch eine relativ geringe Menge an Schmelzgut begründet sein, bei der im Gegensatz zu großen Gusschargen dank Tiegelabdeckung ein geringerer Abbrand des Zinks möglich ist. Die Bleiisotopie spiegelt eine Mischung unterschiedlicher Komponenten wider. Es kann Blei von den britischen Penninen beteiligt sein.

In Lüttingen, in der Nähe der Fundstelle des berühmten Xantener Knaben, wurde ein Gewandfragment geborgen (GBL 545 und 546), das sich – von der Größe her und Anfügeproben nach zu urteilen – zufällig an die etwa lebensgroße Figur des stummen Dieners anpassen würde (Abb. 80; vgl. Peltz/Schalles, *Xantener Knabe*). Jedoch unterscheidet sich die Zusammensetzung der Bronzen deutlich. So besteht der Knabe aus einer zinnreichen (Sn 12 %) und nahezu bleifreien klassischen Legierung (St. Simon / S. Schwerdtfeger in: Peltz/Schalles, *Xantener Knabe* 150 Tab. 3), wohingegen das Material des Gewandfragments der durchschnittlichen Limesbronze entspricht (GBL 545, Cu 72 %, Sn 5,9 %, Pb 21 %). Zudem weist die Legierung wiederverwendetes Messing auf. Das etwa einen halben Meter lange Objekt zeigt im unteren Bereich eine Montagebohrung, die zur Fixierung an der Statue mit einem runden Nietstift diente. Anschließend wurde diese Stelle mit einem Reparaturblech und einer Bleilötung kaschiert. Das Blei in der Legierung (GBL 545) und das Bleilöt (GBL 546) desselben Stückes sind nicht identisch, obgleich die Bleiisotopendaten deutschen Lagerstätten (*Plumbum Germanicum*) entsprechen. Das Legierungsblei stammt sicher aus der Eifel, das Bleilöt (GBL 546) dürfte hingegen aus Brilon im Sauerland stammen. Auch dies spricht gegen eine Verbindung des Lüttinger Gewandfragmentes mit der Statue des Xantener Knaben. Die Isotopenverhältnisse des Xantener Knaben (Peltz/Schalles, *Xantener Knabe* 150–154) stimmen in keinem Punkt mit den Daten des Untersuchungsgebietes überein. Es liegt nahe, ihn als Import einzuordnen.

Von dem Gelände der Colonia Ulpia Traiana stammt ein massiv gegossenes Daumenfragment (GBL 548), welches nach seinem Fundkontext vermutlich in das zweite Jahrhundert gehört. Die Legierung entspricht einer üblichen Großbronze im Limesgebiet. Auffallend und überdurchschnittlich hoch sind die Anteile an Zink und Gold, die auf Zugabe von Messing und vergoldeter Bronze in der Legierung hinweisen (Cu 73 %, Sn 7,4 %, Pb 18 %, Zn 0,8 %, Au 0,06 %). Das Blei stammt aus der Eifel. Bemerkenswert ist, dass trotz der Linienkoinzidenz durch den hohen Bleigehalt der Arsenanteil noch gemessen werden konnte, was sonst selten der Fall ist.

Ein blattvergoldeter Greif aus dem Xantener Amphitheater (Abb. 81; keine GBL, lfd. Nr. 966) diente ursprünglich wohl als Helmzier eines Götterbildes (L. Swinkels in: *Gebrochener Glanz* 79 Abb. 3). Zur Herstellung des Wachsmodells diente vermutlich eine mehrteilige Formvorlage. Die Unterseite weist eindeutige Spatelspuren auf, die eine Überarbeitung des hohlen Wachsmodells belegen. Durch eine rechteckige Öffnung an der Unterseite wurde der Gusskern eingebracht und nach dem Gießen wieder entfernt. Eine scharfkantige dreieckige Beschädigung an der rechten Hinterpartie weist auf den Einschlag einer Pfeilspitze hin.

Auffälligerweise war die Figur durch eine an ihrer Unterseite mitgegossene Vorrichtung am Helm befestigt. Diese besteht aus einem langrechteckigen Steg, der in eine entsprechende rechteckige Ausparung eingesetzt wurde. Diese Art der Montage mittels rechteckiger Einstüpfstifte gibt es auch an Reiterstandbildern und Reliefarbeiten (Pferdeköpfe Augsburg GBL 29 und 30 sowie Waldgirmes GBL 529, Satteldecke in Bonn GBL 377, Beinfragmente Maastricht ohne GBL und lfd. Nr., s. o. im Katalog). Die Unterseite des Greifenaufsatzes blieb unvergoldet, die Vergoldung wurde also nach der Montage vorgenommen. Entnommen wurde die Tonkernprobe T 12.

Aufgrund starker interkristalliner Korrosion sowie aus konservatorischen Gründen war beim genannten Greifen ebenso wie bei einem Medusenhaupt, möglicherweise eine Panzerapplik (Abb. 82; keine GBL, lfd. Nr. 967), keine Entnahme von Metallproben möglich.

Ein fragmentarischer männlicher Porträtkopf trajanischer Zeit wurde 1954 bei Auskiesungsarbeiten

auf der Bislicher Insel nahe Xanten gefunden (Nimwegen, Museum het Valkhof Inv. 7.1955.9, keine GBL; H.-J. Schalles in: *Gebrochener Glanz* 123 f.). Bei früheren Materialanalysen ergaben die Durchschnittswerte mehrerer Messungen, die in den Niederlanden durchgeführt wurden, eine recht einheitliche Legierung (Cu 76 %, Sn 8,0 %, Pb 16 %, Zn 0,18–0,29 %), die denen einiger Statuen aus dem Raum von Nimwegen, Xanten und Kalkar ähnelt. Dies gilt besonders für die Zinkanteile, die auf die Wiederverwendung von Messinggegenständen hinweisen (A. N. Zadoks-Josephus Jitta / A. M. Gerhartl-Wittveen, *Description of the Collections in the Rijksmuseum G. M. Kam at Nijmegen VII. The Figural Bronzes, Suppl. 1983* [Nimwegen 1983] 5–8). Der Guss des Kopfes erfolgte nach dem indirekten Wachsaußschmelzverfahren. Die weit vorstehenden Ohren wurden separat in Wachs geformt. Auffällig ist die etwa acht Millimeter im Quadrat messende Kernhalteröffnung im Bereich der Haarkalotte, die anscheinend unverschlossen blieb und möglicherweise im Zusammenhang mit der Montage des Kopfes steht. Ungewöhnlich ist auch der untere büstenartige Abschluss. Ob der Kopf als Büste aufgestellt wurde oder in einen Statuenkörper eingesetzt war oder



Abb. 81 (gegenüber) und 82 (oben) Bronzene Greifenapplik und Medusenapplik aus Xanten. Römermuseum Xanten.

sogar als Teil einer Bauplastik diente, etwa in einem Tondo, ließ sich leider anhand der Untersuchung zur Montage nicht klären. Spuren von Weichlot, wie es für die Anbringung an einer Panzer- oder Gewandstatue erforderlich gewesen wäre, sind nicht mehr nachweisbar.



GBL_029	A	I	<0,005	0,32	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	0,01	0,07	4,6	0,11	<0,005	<0,01	22	<0,01		
GBL_030	B	I	<0,005	0,41	<0,005	0,05	72	0,20	<0,1	<0,01	0,05	6,9	0,10	<0,005	<0,01	20	0,01	2,0889	0,84547
GBL_031	A	I	<0,005	0,32	<0,005	0,05	74	0,20	<0,1	<0,01	0,05	6,9	0,10	<0,005	<0,01	18	0,02		
GBL_032	B	I	<0,005	0,27	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,0	0,10	<0,005	<0,01	17	<0,01	2,0882	0,84469
GBL_033	B	I	<0,005	0,27	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	0,01	0,06	6,5	0,10	<0,005	<0,01	17	0,01		
GBL_034	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	0,01	0,05	4,5	0,09	<0,005	<0,01	19	<0,01		
GBL_035	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	0,01	0,06	5,7	0,01	<0,005	<0,01	21	0,01		
GBL_036	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	0,01	0,05	6,2	0,07	<0,005	<0,01	22	<0,01	2,0884	0,84519
GBL_037	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	0,01	0,06	4,6	0,09	<0,005	<0,01	22	0,01	2,0891	0,84522
GBL_038	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	0,01	0,05	6,4	0,09	<0,005	<0,01	18	<0,01		
GBL_039	B	I	<0,005	<0,05	0,01	0,04	79	<0,2	<0,1	0,01	0,05	7,8	0,08	<0,005	<0,01	13	<0,01		
GBL_040	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	78	<0,2	<0,1	0,01	0,04	4,9	0,10	<0,005	<0,01	17	<0,01	2,0913	0,84786
GBL_041	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	6,2	0,09	<0,005	<0,01	17	<0,01		
GBL_042	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,4	0,08	<0,005	<0,01	21	0,01		
GBL_043	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	77	<0,2	<0,1	0,01	0,07	5,1	0,10	<0,005	<0,01	18	<0,01		
GBL_044	B	9	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,05	<0,01	0,05	8,2	0,09	<0,005	<0,01	16	0,01		
GBL_045	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	85	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,9	0,10	<0,005	<0,01	5,6	<0,01		
GBL_046	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	0,01	0,04	4,6	0,08	<0,005	<0,01	23	<0,01		
GBL_047	B	3	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,34	0,94	2,6	<0,005	<0,01	19	0,12	2,0809	0,84263
GBL_048	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,8	0,10	<0,005	<0,01	12	0,01		
GBL_049	B	1,5	<0,005	0,06	0,03	0,04	73	<0,2	<0,1	0,03	0,09	5,5	0,11	<0,005	<0,01	21	<0,01		
GBL_050	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,6	0,01	<0,005	<0,01	18	<0,01		
GBL_051	B	3	<0,005	0,05	<0,005	0,05	84	0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,6	0,10	<0,005	<0,01	8,4	0,01		
GBL_052	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,6	0,11	<0,005	<0,01	22	0,01		
GBL_053	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,2	0,10	<0,005	<0,01	18	0,01		
GBL_054	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,3	0,08	<0,005	0,01	21	0,01		
GBL_055	B	3	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	80	<0,2	<0,1	0,01	0,04	4,4	0,09	<0,005	0,01	15	<0,01		
GBL_056	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,07	80	<0,2	<0,05	<0,01	0,07	16	0,25	<0,005	<0,01	2,9	<0,01	2,0914	0,83372

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 057	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	72	<0,2	<0,1	0,01	0,06	5,0	0,10	<0,005	<0,01	22	<0,01	2,0896	0,84585	18,512
GBL 058	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	74	0,20	<0,1	<0,01	0,08	8,6	0,16	<0,005	<0,01	17	<0,01	2,0866	0,84907	18,406
GBL 059	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	72	0,30	<0,1	0,01	0,05	6,7	0,09	<0,005	<0,01	21	<0,01			
GBL 060	B	2	<0,005	0,22	<0,005	0,04	75	0,30	<0,1	<0,01	0,06	7,5	0,11	<0,005	<0,01	17	0,01			
GBL 061	B	I	<0,005	0,74	<0,005	0,05	74	1,1	<0,1	<0,01	0,07	6,5	0,10	<0,005	<0,01	17	<0,01			
GBL 062	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	73	0,30	<0,1	0,01	0,05	6,7	0,09	<0,005	<0,01	20	<0,01			
GBL 063	B	L5	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,3	0,11	<0,005	<0,01	16	0,01			
GBL 064	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	76	0,60	<0,1	<0,01	0,07	8,2	0,13	<0,005	<0,01	15	0,01			
GBL 065	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,05	71	<0,2	<0,1	0,01	0,07	7,4	0,14	<0,005	<0,01	21	<0,01			
GBL 066	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	84	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	7,0	0,10	<0,005	<0,01	8,5	<0,01	2,0869	0,84430	18,549
GBL 067	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	3,8	0,10	<0,005	<0,01	22	<0,01			
GBL 068	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,6	0,11	<0,005	<0,01	21	<0,01			
GBL 069	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,7	0,08	<0,005	<0,01	17	0,01			
GBL 070	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,05	84	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	7,9	0,12	<0,005	<0,01	7,9	<0,01			
GBL 071	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	4,4	0,08	<0,005	<0,01	20	<0,01	2,0892	0,84550	18,522
GBL 072	B	9	<0,005	0,11	<0,005	0,04	80	1,3	<0,1	<0,01	0,05	9,0	0,09	<0,005	0,09	10	<0,01			
GBL 073	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,10	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,14	5,4	0,56	<0,005	<0,01	15	<0,01			
GBL 074	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,19	4,1	0,68	<0,005	<0,01	23	<0,01	2,0871	0,84957	18,399
GBL 075	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,10	83	<0,2	<0,1	<0,01	0,12	5,9	0,60	<0,005	<0,01	10	<0,01			
GBL 076	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,10	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,12	5,9	0,60	<0,005	<0,01	12	<0,01	2,0863	0,84522	18,519
GBL 077	B	I	<0,005	0,05	0,01	0,09	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,14	6,2	0,38	<0,005	<0,01	12	0,01			
GBL 078	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,10	75	<0,2	<0,1	0,01	0,14	5,3	0,55	<0,005	<0,01	19	<0,01			
GBL 079	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,10	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,12	5,3	0,53	<0,005	<0,01	16	<0,01			
GBL 080	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,10	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,13	5,4	0,53	<0,005	<0,01	17	<0,01			
GBL 081	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,7	0,08	<0,005	<0,01	11	<0,01			
GBL 082	B	I	<0,005	0,45	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	8,9	0,12	<0,005	<0,01	18	<0,01			
GBL 083	A	I	<0,005	0,15	0,01	0,04	77	<0,2	<0,1	0,01	0,07	12	0,13	<0,005	<0,01	10	<0,01			
GBL 084	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	74	<0,2	<0,1	0,01	0,06	4,7	0,09	<0,005	<0,01	21	<0,01			

GBL 085	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,2	0,10	<0,005	<0,01	17	<0,01
GBL 086	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,2	0,07	<0,005	<0,01	22	<0,01
GBL 087	A	I	<0,005	<0,05	0,02	0,04	75	<0,2	<0,1	0,01	0,05	9,0	0,10	<0,005	<0,01	15	<0,01
GBL 088	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	87	<0,2	<0,05	0,01	0,03	10	0,03	<0,005	<0,01	3,0	<0,01
GBL 089	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	86	<0,2	<0,05	0,01	0,03	II	0,03	<0,005	<0,01	2,6	<0,01
GBL 090	B	I	<0,005	0,07	0,01	0,04	86	<0,2	<0,05	<0,01	0,08	9,8	0,13	<0,005	<0,01	3,5	<0,01
GBL 091	A	3	<0,005	0,06	<0,01	0,05	79	<0,2	<0,05	0,01	0,08	15	0,17	0,007	<0,01	4,8	<0,01
GBL 092	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,11	84	<0,2	<0,1	<0,01	0,14	5,8	0,37	<0,005	<0,01	9,3	0,03
GBL 093	A	I	<0,005	0,06	<0,005	0,08	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,17	7,7	0,37	<0,005	<0,01	16	0,03
GBL 094	B	I.I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	86	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	5,7	0,10	<0,005	<0,01	7,9	0,01
GBL 095	B	I.2	<0,005	<0,05	<0,005	0,07	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,5	0,11	<0,005	<0,01	16	0,03
GBL 096	B	I.5	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	72	<0,2	<0,1	0,01	0,08	6,0	0,10	<0,005	<0,01	22	0,03
GBL 097	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	0,01	0,04	6,3	0,11	<0,005	<0,01	21	0,03
GBL 098	B	9	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,0	0,11	<0,005	<0,01	15	0,04
GBL 099	B	I	<0,005	0,07	0,02	0,10	75	<0,2	<0,1	0,01	0,07	7,1	0,15	<0,005	<0,01	17	0,03
GBL 100	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,07	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,30	2,9	0,60	<0,005	<0,01	17	0,03
GBL 101	A	I					80					8,5				II	
GBL 102	A	I					72					6,9				21	
GBL 103	A	I					75					7,5				12	
GBL 104	A	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	80	0,67	<0,1	<0,01	0,08	8,6	0,12	<0,005	<0,01	10	0,03
GBL 105	B	I	<0,005	<0,05	0,01	0,04	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,8	0,12	<0,005	<0,01	22	0,03
GBL 106	B	8	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	98	<0,2	<0,01	0,01	0,05	1,0	0,09	<0,005	<0,01	0,93	<0,01
GBL 107	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,19	6,9	0,13	<0,005	<0,01	18	<0,01
GBL 108	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,13	8,2	0,13	<0,005	<0,01	18	0,04
GBL 109	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	5,0	0,12	<0,005	<0,01	17	0,03
GBL 110	B	3	<0,005	0,11	<0,005	0,05	71	0,18	<0,1	<0,01	0,07	7,0	0,08	<0,005	<0,01	21	0,01
GBL 111	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,05	73	0,19	<0,1	<0,01	0,12	8,3	0,12	<0,005	<0,01	18	0,03
GBL 112	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	85	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,9	0,13	<0,005	<0,01	II	0,04

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 113	A	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	89	<0,2	<0,05	<0,01	0,12	3,6	0,24	<0,005	0,1	6,2	0,11			
GBL 114	A	6	<0,005	0,47	<0,005	0,03	99	<0,2	0,1	<0,01	0,04	0,09	0,09	<0,005	<0,01	0,44	<0,01			
GBL 115	B	6	<0,005	0,33	<0,005	0,03	98	<0,2	<0,01	0,01	0,03	0,09	0,05	<0,005	<0,01	1,7	<0,01			
GBL 116	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,04	73	0,3	<0,01	<0,01	0,06	5,8	0,11	<0,005	<0,01	20	0,04			
GBL 117	A	I	<0,005	0,37	0,01	0,03	77	0,48	<0,1	<0,01	0,06	7,8	0,08	<0,005	<0,01	14	0,02			
GBL 118	B	I	<0,005	0,34	<0,005	0,04	75	0,47	<0,1	0,01	0,06	7,0	0,09	<0,005	<0,01	17	0,02	2,0861	0,84907	18,404
GBL 119	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,05	88	0,08	<0,01	<0,01	0,10	4,2	0,28	<0,005	<0,01	6,7	0,08			
GBL 120	A	I	<0,005	0,06	0,01	0,05	75	<0,2	0,03	<0,01	0,15	13	0,33	<0,005	0,60	11	0,02			
GBL 121	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	80	<0,2	<0,1	0,01	0,09	6,4	0,17	<0,005	<0,01	13	<0,01			
GBL 122	A	I	0,5			84	3,6				5,6				5,6					
GBL 123	B	I	<0,005	0,47	<0,005	0,04	87	2,6	0	<0,01	0,05	4,6	0,08	<0,005	<0,01	5,0	0,01			
GBL 124	B	3	<0,005	0,05	<0,005	0,03	61	<0,2	<0,1	0,02	0,05	4,6	0,11	<0,005	0,02	34	<0,01			
GBL 125	B	3	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	83	<0,2	<0,01	0,01	0,03	11	0,07	<0,005	<0,01	6,1	<0,01			
GBL 126	B	3	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	84	<0,2	<0,01	0,01	0,03	9,8	0,07	<0,005	0,01	6,4	<0,01			
GBL 127	B	I	<0,005	0,34	<0,005	0,04	65	<0,2	<0,1	0,01	0,06	4,7	0,11	<0,005	<0,01	29	<0,01			
GBL 128	B	I	<0,005	0,21	0,01	0,07	71	<0,2	<0,1	0,01	0,09	2,6	0,24	<0,005	<0,01	25	0,02	2,0853	0,84864	18,415
GBL 129	B	2	<0,005	0,53	<0,005	0,11	69	26	<0,01	<0,01	0,04	0,19	0,04	<0,005	<0,01	3,8	0,01			
GBL 130	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,05	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,17	8,3	0,13	<0,005	<0,01	19	0,02			
GBL 131	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	87	0,16	<0,01	<0,01	0,09	7,5	0,22	<0,005	<0,01	5,4	0,01			
GBL 132	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,5	0,10	<0,005	<0,01	24	0,03	2,0867	0,84852	18,420
GBL 133	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	0,01	0,06	6,1	0,11	<0,005	<0,01	21	0,03			
GBL 134	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,06	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,6	0,11	<0,005	<0,01	16	0,03			
GBL 135	B	L5	<0,005	0,05	<0,005	0,06	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,9	0,10	<0,005	<0,01	19	0,03			
GBL 136	B	I	<0,005	0,18	0,01	0,05	73	1,0	<0,1	<0,01	0,21	3,9	0,07	<0,005	<0,01	21	0,03			
GBL 137	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	0,01	0,05	7,6	0,08	<0,005	<0,01	20	0,01			
GBL 138	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,13	7,9	0,15	<0,005	<0,01	19	0,03			
GBL 139	B	I	<0,005	0,57	<0,005	0,05	65	3,0	<0,1	<0,01	0,09	8,9	0,12	<0,005	<0,01	22	0,03			
GBL 140	B	I	<0,005	0,09	0,01	0,06	70	<0,2	<0,1	0,01	0,13	7,8	0,15	<0,005	<0,01	22	0,02			

GBL 141	B	3	<0,005	0,08	<0,005	0,05	76	0,63	<0,1	0,01	0,06	6,7	0,10	<0,005	<0,01	16	0,02
GBL 142	B	I	<0,005	0,20	<0,005	0,05	76	1,2	<0,1	<0,01	0,07	8,8	0,13	<0,005	<0,01	13	0,03
GBL 143	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,05	68	<0,2	<0,1	0,01	0,18	8,1	0,13	<0,005	<0,01	23	0,02
GBL 144	B	I	<0,005	0,13	0,01	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,6	0,12	<0,005	<0,01	17	0,03
GBL 145	B	I	<0,005	0,18	<0,01	0,05	73	<0,2	<0,1	0,01	0,07	8,1	0,12	<0,005	<0,01	18	0,02
GBL 146	B	I	<0,005	0,81	<0,01	0,05	74	0,35	<0,1	0,01	0,05	7,2	0,14	<0,005	<0,01	17	0,01
GBL 147	B	I	<0,005	<0,05	<0,01	0,08	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	8,9	0,32	<0,005	<0,01	3,4	<0,01
GBL 148	B	I	<0,005	<0,05	<0,01	0,05	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	5,3	0,09	<0,005	<0,01	22	0,05
GBL 149	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,05	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	9,8	0,05	<0,005	<0,01	16	0,02
GBL 150	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,03	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,02	9,3	0,03	<0,005	<0,01	2,4	<0,01
GBL 151	B	9	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	92	<0,2	<0,01	<0,01	0,02	6,6	0,04	<0,005	<0,01	0,81	<0,01
GBL 152	B	1,5	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	90	<0,2	<0,01	0,01	0,02	9,1	0,04	<0,005	<0,01	0,46	<0,01
GBL 153	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,03	93	<0,2	<0,01	0,01	0,04	3,0	0,13	<0,005	<0,01	3,4	<0,01
GBL 154	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	94	<0,2	<0,01	0,01	0,04	1,8	0,16	<0,005	<0,01	4,0	<0,01
GBL 155	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,02	11	0,09	<0,005	<0,01	0,51	<0,01
GBL 156	B	I	<0,005	0,30	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	10	0,08	<0,005	<0,01	14	0,02
GBL 157	B	9	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	80	<0,2	<0,1	0,01	0,05	7,6	0,09	<0,005	<0,01	12	0,02
GBL 158	B	I	<0,005	0,12	0,01	0,06	80	<0,2	<0,1	0,01	0,04	4,0	0,14	<0,005	<0,01	16	0,03
GBL 159	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,05	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	3,0	0,08	<0,005	<0,01	8,7	0,01
GBL 160	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,05	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,7	0,10	<0,005	<0,01	23	0,04
GBL 161	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	84	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	7,3	0,09	<0,005	<0,01	8,7	0,02
GBL 162	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	7,1	0,13	<0,005	<0,01	18	0,04
GBL 163	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,06	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	3,4	0,20	<0,005	<0,01	9,0	0,01
GBL 164	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,06	91	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	2,3	0,16	<0,005	<0,01	5,8	0,01
GBL 165	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	94	<0,2	<0,01	0,01	0,04	0,77	0,12	<0,005	<0,01	4,8	0,01
GBL 166	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,9	0,11	<0,005	<0,01	20	0,04
GBL 167	B	I	<0,005	0,71	0,01	0,06	86	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	6,2	0,18	<0,005	<0,01	6,9	0,01
GBL 168	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,02	89	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	11	0,01	<0,005	<0,01	0,23	<0,01

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

18,368

18,528

18,475

18,662

0,85043

2,0865

0,84552

2,0883

0,84725

2,0909

0,83968

2,0835

0,81

0,46

18,384

0,85039

2,0894

18,374

0,85117

2,0932

18,464

2,0902

12

16

8,7

23

8,7

18

9,0

5,8

4,8

20

6,9

0,23

18,425

2,0876

0,84879

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 169	B	I	<0,005	0,55	<0,005	0,05	81	<0,2	<0,01	0,06	11	0,09	<0,005	<0,01	7,7	<0,01				
GBL 170	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	88	<0,2	<0,01	0,04	6,5	0,08	<0,005	<0,01	5,8	<0,01				
GBL 171	B	I	<0,005	0,28	<0,005	0,05	77	<0,2	<0,1	0,05	5,5	0,09	<0,005	<0,01	17	0,02				
GBL 172	A	4																		
GBL 173	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	80	<0,2	<0,1	0,69	5,4	1,0	<0,005	<0,01	13	0,03				
GBL 174	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	97	<0,2	0,02	0,04	0,73	0,12	<0,005	<0,01	2,2	0,01				
GBL 175	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	92	<0,2	<0,01	0,08	2,9	0,19	<0,005	<0,01	4,7	0,02				
GBL 176	A	I	<0,005	0,08	<0,005	0,02	93	<0,2	<0,01	0,04	2,8	0,12	<0,005	<0,01	3,8	0,01				
GBL 177	A	I,4																		
GBL 178	A	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	84	<0,2	<0,01	0,06	7,5	0,11	<0,005	<0,01	8,4	0,04				
GBL 179	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,11	82	<0,2	<0,1	0,11	5,2	0,32	<0,005	<0,01	12	0,01				
GBL 180	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,09	80	<0,2	<0,1	0,11	4,6	0,43	<0,005	<0,01	15	0,01	2,0866	0,84701	18,464	
GBL 181	B	I	<0,005	0,36	<0,005	0,10	74	<0,2	<0,1	0,17	7,5	0,72	<0,005	<0,01	17	0,01				
GBL 182	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,11	75	<0,2	<0,1	0,19	5,2	0,57	<0,005	<0,01	19	0,02				
GBL 183	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,07	84	<0,2	<0,1	0,34	2,7	0,78	<0,005	<0,01	12	0,01				
GBL 184	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,07	94	<0,2	<0,01	0,01	0,07	2,8	0,18	<0,005	<0,01	2,9	<0,01			
GBL 185	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	85	<0,2	<0,01	0,05	6,9	0,12	<0,005	<0,01	7,9	0,01				
GBL 186	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	77	<0,2	<0,1	0,18	7,6	0,08	<0,005	<0,01	15	0,01	2,0866	0,84375	18,561	
GBL 187	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	0,20	8,0	0,09	<0,005	<0,01	16	0,03				
GBL 188	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	88	<0,2	0,01	0,04	11	0,02	<0,005	<0,01	0,36	<0,01				
GBL 189	B	I,5	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	88	0,20	0,02	0,04	11	0,02	<0,005	<0,01	0,18	<0,01				
GBL 190	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,05	73	0,30	<0,1	0,06	7,7	0,11	<0,005	<0,01	19	0,03	2,0868	0,84376	18,567	
GBL 191	B	8	<0,005	0,10	<0,005	0,04	97	0,20	0,02	0,01	0,03	1,8	0,07	<0,005	<0,01	0,82	<0,01	2,0887	0,84394	18,511
GBL 192	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	0,20	<0,1	0,19	7,9	0,09	<0,005	<0,01	17	0,03				
GBL 193	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,05	75	0,20	<0,1	0,19	8,0	0,09	<0,005	<0,01	16	0,03	2,0867	0,84376	18,565	
GBL 194	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	71	<0,2	<0,1	0,16	7,2	0,07	<0,005	n.b	22	0,07				
GBL 195	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	0,19	8,1	0,09	<0,005	n.b	15	0,05				
GBL 196	B	I	<0,005	0,05	0,04	0,04	77	<0,2	<0,1	0,05	5,4	0,06	<0,005	n.b	17	0,06				

GBL 197	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,14	7,8	0,09	<0,005	n.b	17	0,04
GBL 198	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,03	90	<0,2	0,02	<0,01	0,02	9,5	0,02	<0,005	n.b	0,31	<0,01
GBL 199	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,03	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,5	0,07	<0,005	n.b	15	0,05
GBL 200	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,4	0,09	<0,005	n.b	20	0,04
GBL 201	B	2	<0,005	0,23	<0,005	0,02	88	9,0	0,03	<0,01	0,11	2,0	0,06	<0,005	n.b	0,66	<0,01
GBL 202	B	2	<0,005	0,16	0,01	0,02	86	8,8	0,04	<0,01	0,05	3,9	0,06	<0,005	n.b	1,2	0,01
GBL 203	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,04	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,3	0,08	<0,005	n.b	14	0,05
GBL 204	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,3	0,11	<0,005	n.b	22	0,06
GBL 205	B	I	<0,005	0,20	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,6	0,09	<0,005	n.b	18	0,05
GBL 206	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,05	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,4	0,08	<0,005	n.b	15	0,04
GBL 207	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	4,8	0,11	<0,005	n.b	15	0,05
GBL 208	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,05	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,8	0,09	<0,005	n.b	18	0,05
GBL 209	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	4,5	0,08	<0,005	n.b	17	0,05
GBL 210	B	9	<0,005	0,07	<0,005	0,04	73	0,24	<0,1	<0,01	0,05	6,9	0,09	<0,005	n.b	19	0,07
GBL 211	B	9	<0,005	0,43	<0,005	0,05	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	7,2	0,13	<0,005	n.b	19	0,06
GBL 212	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	7,5	0,10	<0,005	n.b	14	0,05
GBL 213	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,04	75	0,22	<0,1	<0,01	0,06	6,2	0,10	<0,005	n.b	18	0,06
GBL 214	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	77	0,20	<0,1	<0,01	0,05	6,4	0,13	<0,005	n.b	16	0,05
GBL 215	B	I	<0,005	0,21	<0,005	0,05	75	0,31	<0,1	<0,01	0,07	7,4	0,15	<0,005	n.b	17	0,06
GBL 216	B	9	<0,005	0,15	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	10	0,14	<0,005	n.b	17	0,06
GBL 217	B	I	<0,005	0,29	<0,005	0,04	71	1,1	<0,1	<0,01	0,05	6,7	0,09	<0,005	n.b	20	0,07
GBL 218	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,2	0,14	<0,005	n.b	18	0,05
GBL 219	B	2	<0,005	0,56	<0,005	0,04	77	0,21	<0,1	<0,01	0,05	8,8	0,10	<0,005	n.b	13	0,05
GBL 220	B	2	<0,005	0,75	<0,005	0,04	71	0,21	<0,1	<0,01	0,05	8,4	0,09	<0,005	n.b	19	0,06
GBL 221	B	8	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	94	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	0,77	0,10	<0,005	n.b	5,4	0,02
GBL 222	B	2	<0,005	0,17	<0,005	0,04	76	0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,6	0,10	<0,005	n.b	15	0,05
GBL 223	B	2	<0,005	0,07	<0,005	0,03	69	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,3	0,08	<0,005	n.b	25	0,08
GBL 224	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,5	0,10	<0,005	n.b	22	0,06

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

18,466

0,84772

2,0913

18,392

0,85055

2,0932

18,431

0,84887

2,0910

18,431

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 225	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,5	0,12	<0,005	n.b	17	0,05			
GBL 226	B	2	<0,005	0,27	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	8,2	0,09	<0,005	n.b	19	0,05			
GBL 227	B	8	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	93	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	0,88	0,11	<0,005	n.b	6,1	0,03			
GBL 228	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,06	76	0,20	<0,1	<0,01	0,09	6,5	0,42	<0,005	n.b	17	0,05			
GBL 229	B	I	<0,005	0,16	<0,005	0,03	74	0,20	<0,1	<0,01	0,09	8,0	0,10	<0,005	n.b	18	0,05			
GBL 230	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,04	72	0,24	<0,1	<0,01	0,06	6,4	0,12	<0,005	n.b	20	0,06			
GBL 231	B	I	<0,005	0,73	<0,005	0,05	75	1,1	<0,1	<0,01	0,08	6,6	0,10	<0,005	n.b	16	0,06			
GBL 232	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,05	75	0,35	<0,1	<0,01	0,08	8,6	0,14	0,007	n.b	16	0,06			
GBL 233	B	I	<0,005	0,03	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	12	0,09	<0,005	n.b	14	0,05			
GBL 234	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,04	94	<0,2	0,02	0,01	0,04	2,8	0,08	<0,005	n.b	2,2	0,01	2,0891	0,84590	18,508
GBL 235	A	I	<0,005	0,14	<0,005	0,03	94	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	3,4	0,1	<0,005	n.b	<0,01	0,01			
GBL 236	B	1,5	<0,005	0,08	<0,005	0,04	95	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	1,4	0,07	<0,005	<0,01	3,1	0,02			
GBL 237	B	8	<0,005	0,48	<0,005	0,02	98	0,40	0,01	0,01	0,03	0,07	0,01	<0,005	<0,01	0,56	<0,01			
GBL 238	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,04	74	0,23	<0,1	<0,01	0,05	6,7	0,10	<0,005	<0,01	19	0,05	2,0869	0,84433	18,545
GBL 239	B	I	<0,005	0,24	<0,005	0,03	69	2,2	<0,1	<0,01	0,08	7,9	0,10	<0,005	<0,01	20	0,06			
GBL 240	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	3,6	0,21	<0,005	<0,01	16	0,04			
GBL 241	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,7	0,08	<0,005	<0,01	18	0,06			
GBL 242	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	83	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	7,0	0,11	<0,005	<0,01	9,4	0,04			
GBL 243	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,4	0,11	<0,005	<0,01	17	0,05			
GBL 244	B	I	<0,005	0,30	<0,005	0,03	71	1,6	<0,1	<0,01	0,09	8,6	0,15	<0,005	<0,01	18	0,08			
GBL 245	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,12	7,8	0,13	<0,005	<0,01	19	0,05			
GBL 246	B	I	<0,005	1,9	<0,005	0,03	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	4,6	0,06	<0,005	<0,01	23	0,06	2,0854	0,84908	18,398
GBL 247	B	I	<0,005	0,28	<0,005	0,04	72	1,2	<0,1	<0,01	0,07	8,1	0,11	<0,005	<0,01	18	0,04			
GBL 248	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,04	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,6	0,11	<0,005	<0,01	12	0,03			
GBL 249	B	I	<0,005	2,2	<0,005	0,03	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,23	4,8	0,07	<0,005	<0,01	19	0,06			
GBL 250	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,11	7,5	0,13	<0,005	<0,01	19	0,06			
GBL 251	B	I	0,15		<0,01	0,04	66	0,15			7,2	<0,01			26	<0,01				
GBL 252	B	I	0,13		0,04	80	0,13				6,9	<0,01			12	<0,01				

GBL 253	B	I	0,50	0,03	71	0,50	6,5	<0,01	21	<0,01
GBL 254	B	I	<0,05	0,03	90	<0,2	3,3	0,03	5,8	<0,01
GBL 255	B	I	0,50	0,02	88	0,50	4,6	<0,01	5,8	<0,01
GBL 256	B	I	<0,05	0,03	98	<0,2	0,10	<0,01	1,6	<0,01
GBL 257	B	I	<0,05	0,02	85	<0,2	2,8	0,03	12	<0,01
GBL 258	B	I	<0,05	0,01	75	<0,2	2,4	<0,01	22	<0,01
GBL 259	B	I	0,39	<0,01	85	0,39	5,6	<0,01	7,8	<0,01
GBL 260	B	I	0,61	0,02	86	0,61	4,4	<0,01	7,3	0,02
GBL 261	B	I	0,03	<0,01	77	0,03	8,0	<0,01	15	<0,01
GBL 262	B	I	0,03	0,01	78	0,03	8,7	<0,01	12	<0,01
GBL 263	B	I	0,28	0,02	76	0,28	7,8	<0,01	15	<0,01
GBL 264	B	I	0,19	0,02	84	0,19	5,2	<0,01	10	<0,01
GBL 265	B	I	0,30	0,02	70	0,30	7,1	<0,01	21	<0,01
GBL 266	B	I	<0,05	0,02	79	<0,2	2,5	<0,01	18	<0,01
GBL 267	B	I	0,31	<0,01	77	0,31	7,0	<0,01	15	0,03
GBL 268	B	I	0,95	<0,01	68	0,95	4,8	<0,01	25	<0,01
GBL 269	B	I	0,93	<0,01	73	0,93	4,8	<0,01	20	<0,01
GBL 270	B	I	<0,05	<0,01	77	<0,2	7,9	<0,01	15	<0,01
GBL 271	B	I	<0,05	<0,01	78	<0,2	5,7	<0,01	16	<0,01
GBL 272	B	I	<0,05	0,02	78	<0,2	5,4	<0,01	16	<0,01
GBL 273	B	I	<0,05	0,02	78	<0,2	4,8	<0,01	17	<0,01
GBL 274	B	I	<0,05	0,02	77	<0,2	5,1	<0,01	17	<0,01
GBL 275	B	I	<0,05	<0,01	85	<0,2	5,5	<0,01	8,9	<0,01
GBL 276	B	I	<0,05	0,02	88	<0,2	2,8	0,06	8,5	<0,01
GBL 277	B	I	0,05	0,02	87	<0,2	4,5	0,05	8,1	<0,01
GBL 278	B	I	0,09	0,02	80	<0,2	6,8	<0,01	13	<0,01
GBL 279	B	I	1,2	<0,01	73	1,22	5,8	<0,01	18	<0,01
GBL 280	B	I	1,1	0,02	81	1,09	6,2	<0,01	10	<0,01

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
GBL 281	B	I	1,2	<0,01	80	1,20	<0,01	<0,01	5,8	<0,01	II	<0,01							
GBL 282	B	I	0,07	0,04	91	0,07	6,3	<0,01	I3	0,03									
GBL 283	B	I	<0,05	0,02	83	<0,2	4,1	<0,01	4,1	<0,01									
GBL 284	B	I	<0,05	0,02	84	<0,2	5,0	<0,01	II	<0,01									
GBL 285	B	I	0,14	<0,01	94	0,14	6,2	<0,01	8,7	<0,01									
GBL 286	B	I	<0,05	0,02	93	<0,2	2,7	<0,01	3,2	<0,01									
GBL 287	B	I	<0,05	0,02	81	<0,2	7,6	<0,01	II	<0,01									
GBL 288	B	I	<0,05	0,02	89	<0,2	3,5	<0,01	7,5	<0,01									
GBL 289	B	I	0,14	0,02	84	0,14	5,1	<0,01	10	<0,01									
GBL 290	B	I	0,09	0,03	87	0,09	4,5	<0,01	7,4	<0,01									
GBL 291	B	I	0,23	<0,01	73	0,23	7,8	<0,01	18	<0,01									
GBL 292	B	I	0,32	0,02	88	0,32	5,3	<0,01	5,5	<0,01									
GBL 293	B	I	<0,05	0,02	93	<0,2	3,1	<0,01	3,8	<0,01									
GBL 294	B	I	0,95	<0,01	84	0,95	6,8	<0,01	6,9	<0,01									
GBL 295	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,03	82	<0,2	<0,01	0,05	8,3	0,09	<0,005	<0,01	10	0,04	2,0861	0,84926	18,394
GBL 296	B	I	<0,005	0,25	<0,005	0,04	73	0,18	<0,1	0,06	8,7	0,11	<0,005	0,04	17	0,06	2,0859	0,84863	18,417
GBL 297	B	I	<0,005	0,18	<0,005	0,04	91	<0,2	<0,01	0,05	4,4	0,11	<0,005	<0,01	4,3	0,02			
GBL 298	B	I	<0,005	0,23	<0,005	0,04	86	0,22	<0,01	0,04	5,6	0,11	<0,005	0,06	7,6	0,03			
GBL 299	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,04	89	<0,2	<0,01	0,04	2,7	0,14	<0,005	<0,01	7,9	0,03			
GBL 300	B	I	<0,005	0,42	<0,005	0,04	78	0,33	<0,1	0,05	7,9	0,10	<0,005	0,01	13	0,05			
GBL 301	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,03	87	<0,2	<0,1	0,04	3,3	0,15	<0,005	<0,01	10	0,03			
GBL 302	B	3	<0,005	0,10	<0,005	0,03	84	1,2	<0,01	0,03	7,1	0,07	<0,005	0,05	7,3	0,03			
GBL 303	B	3	<0,005	0,14	<0,005	0,03	76	1,3	<0,1	0,08	6,1	0,06	<0,005	0,07	16	0,06			
GBL 304	B	9	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	86	<0,2	<0,1	0,06	7,0	0,10	<0,005	<0,01	6,4	0,03	2,0863	0,84791	18,442
GBL 305	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,04	86	<0,2	<0,1	0,04	4,7	0,11	<0,005	0,05	8,3	0,03			
GBL 306	B	I	<0,005	0,12	0,005	0,05	90	<0,2	0,03	<0,01	0,05	2,7	<0,005	<0,01	6,9	0,02			
GBL 307	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,05	94	<0,2	0,05	0,01	0,07	2,9	<0,005	<0,01	2,2	0,01			
GBL 308	B	9	<0,005	0,12	<0,005	0,05	84	<0,2	<0,1	0,04	7,6	0,07	<0,005	<0,01	8,1	0,04	2,0861	0,84296	18,584

GBL 309	B	9	<0,005	0,07	<0,005	0,04	76	0,57	<0,1	<0,01	0,22	7,9	0,10	<0,005	0,04	15	0,05
GBL 310	B	9	<0,005	0,09	<0,005	0,04	74	0,66	<0,1	<0,01	0,18	7,5	0,11	<0,005	0,04	17	0,06
GBL 311	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	8,1	0,05	<0,005	<0,01	5,0	0,01
GBL 312	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,02	83	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	8,3	0,05	<0,005	<0,01	8,3	0,02
GBL 313	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,02	94	<0,2	0,04	<0,01	0,04	2,5	0,14	<0,005	<0,01	3,5	0,01
GBL 314	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,07	95	0,4	0,29	<0,01	0,12	2,7	0,22	<0,005	0,03	0,92	0,02
GBL 315	B	I	<0,005	0,32	<0,005	0,03	96	<0,2	0,03	<0,01	0,04	2,9	0,06	<0,005	<0,01	0,74	<0,01
GBL 316	B	I	<0,005	0,16	0,14	0,04	84	<0,2	0,01	0,03	0,06	7,1	0,08	<0,005	0,34	8,4	0,03
GBL 317	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	76	0,19	<0,1	<0,01	0,06	8,1	0,11	<0,005	<0,01	15	0,04
GBL 318	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,06	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	4,3	0,04	<0,005	<0,01	18	0,03
GBL 319	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,02	89	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	1,1	0,11	<0,005	<0,01	9,4	0,03
GBL 320	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	94	<0,2	0,01	0,01	0,04	2,2	0,17	<0,005	<0,01	3,2	0,01
GBL 321	B	I	<0,005	0,07	0,04	0,05	87	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	2,8	0,17	<0,005	<0,01	10	0,03
GBL 322	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,02	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,7	0,10	0,005	<0,01	2,2	0,05
GBL 323	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,2	0,10	<0,005	<0,01	17	0,05
GBL 324	B	I	<0,005	0,90	0,01	0,04	75	17	0,11	<0,01	0,05	2,5	0,10	<0,005	0,11	4,4	0,01
GBL 325	B	I	0,0095	2,2	0,02	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,5	0,09	<0,005	0,10	17	0,04
GBL 326	B	I	<0,005	0,21	<0,005	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	7,1	0,09	<0,005	<0,01	18	0,05
GBL 327	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,13	83	0,20	0,19	<0,01	0,05	11	0,21	0,007	<0,01	5,1	0,03
GBL 328	B	I	<0,005	0,23	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	9,4	0,09	<0,005	<0,01	18	0,04
GBL 329	B	I	<0,005	0,59	<0,005	0,04	81	1,1	0,05	<0,01	0,08	5,8	0,21	<0,005	0,09	11	0,02
GBL 330	B	I	<0,005	0,14	<0,005	0,04	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	12	0,10	<0,005	<0,01	8,3	0,03
GBL 331	B	9	<0,005	0,09	<0,005	0,02	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	10	0,07	<0,005	<0,01	15	0,03
GBL 332	B	I	<0,005	0,14	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	9,9	0,09	<0,005	<0,01	18	0,05
GBL 333	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,4	0,09	<0,005	<0,01	18	0,04
GBL 334	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,06	85	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	7,8	0,11	<0,005	<0,01	6,6	0,02
GBL 335	B	I	<0,005	0,45	<0,005	0,04	89	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	7,4	0,12	<0,005	<0,01	2,9	0,01
GBL 336	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	8,5	0,12	<0,005	<0,01	19	0,03

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

18,398

2,0857

0,84913

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 337	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,02	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,1	0,08	<0,005	<0,01	21	0,04			
GBL 338	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,1	0,10	<0,005	<0,01	18	0,04			
GBL 339	B	I,5	<0,005	0,14	<0,005	0,09	73	0,20	<0,1	<0,01	0,13	4,7	0,64	<0,005	0,04	21	0,05	2,0866	0,8491I	18,408
GBL 340	B	I	<0,005	0,02	<0,005	0,015	86	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	6,9	0,02	<0,005	<0,01	7,0	0,01			
GBL 341	B	2	<0,005	0,07	<0,005	0,03	69	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	9,1	0,08	<0,005	<0,01	21	0,04	2,0857	0,84913	18,401
GBL 342	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,03	72	0,20	<0,1	<0,01	0,06	8,1	0,10	<0,005	0,01	20	0,03			
GBL 343	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,04	75	0,20	<0,1	<0,01	0,05	8,3	0,11	<0,005	<0,01	16	0,03			
GBL 344	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,7	0,08	<0,005	<0,01	22	0,05	2,0872	0,84887	18,407
GBL 345	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,03	85	0,34	<0,01	<0,01	0,04	9,2	0,07	<0,005	0,02	5,6	0,02			
GBL 346	B	I	<0,005	0,03	<0,005	0,02	90	<0,2	0,01	<0,01	0,03	9,7	0,04	<0,005	<0,01	0,45	<0,01			
GBL 347	B	I	<0,005	0,23	<0,005	0,05	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,12	11	0,17	<0,005	<0,01	17	0,04			
GBL 348	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,11	9,6	0,14	<0,005	<0,01	15	0,03			
GBL 349	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	3,7	0,10	<0,005	<0,01	21	0,06	2,0879	0,84486	18,533
GBL 350	B	I	<0,005	0,04	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	3,7	0,10	<0,005	<0,01	21	0,05			
GBL 351	B	I	<0,005	0,32	<0,005	0,02	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,4	0,07	<0,005	<0,01	21	0,03			
GBL 352	B	I	<0,005	0,03	<0,005	0,03	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	2,9	0,10	<0,005	0,0075	19	0,04			
GBL 353	B	I	<0,005	0,62	<0,005	0,01	90	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	7,7	0,04	<0,005	<0,01	1,9	<0,01	2,0908	0,8491	18,428
GBL 354	B	I	<0,005	0,04	<0,005	0,03	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	4,8	0,13	<0,005	<0,01	17	0,03			
GBL 355	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,09	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,10	4,5	0,40	<0,005	<0,01	21	0,03			
GBL 356	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,1	0,08	<0,005	<0,01	21	0,03	2,0875	0,84501	18,527
GBL 357	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,04	70	0,36	<0,1	<0,01	0,04	4,9	0,08	<0,005	0,01	24	0,04			
GBL 358	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,04	68	0,20	<0,1	<0,01	0,06	4,7	0,19	<0,005	<0,01	27	0,03			
GBL 359	B	I	<0,005	0,04	<0,005	0,02	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	11	0,07	<0,005	<0,01	16	0,03	2,0862	0,84918	18,398
GBL 360	B	I	<0,005	0,10	0,01	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	5,3	0,09	<0,005	<0,01	18	0,03	2,0932	0,85015	18,395
GBL 361	B	I	<0,005	1,2	<0,005	0,04	74	1,4	<0,1	<0,01	0,06	7,3	0,12	<0,005	0,08	16	0,03			
GBL 362	B	I	<0,005	0,08	0,01	0,04	75	0,20	<0,1	<0,01	0,08	5,9	0,09	<0,005	<0,01	19	0,04	2,0849	0,84434	18,541
GBL 363	B	I	<0,005	0,08	0,01	0,04	75	0,20	<0,1	<0,01	0,08	5,7	0,09	<0,005	<0,01	19	0,04			
GBL 364	B	I	<0,005	0,25	<0,005	0,03	82	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,3	0,17	<0,005	<0,01	13	0,03			

GBL 365	B	I	<0,005	0,18	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,5	0,15	<0,005	<0,01	19	0,03	2,0835	0,84307	18,571
GBL 366	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	9,2	0,12	<0,005	<0,01	16	0,02	2,0865	0,84873	18,414
GBL 367	B	I	<0,005	0,21	<0,005	0,03	96	<0,2	0,05	0,01	0,04	3,4	0,12	<0,005	<0,01	0,14	<0,01			
GBL 368	A	10,5																		
GBL 369	B	I	<0,005	0,20	<0,005	0,04	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	7,5	0,09	<0,005	<0,01	14	0,03	2,0901	0,84726	18,475
GBL 370	B	I	<0,005	0,24	0,01	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	7,0	0,09	<0,005	0,023	19	0,03			
GBL 371	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	7,2	0,19	<0,005	<0,01	12	0,02			
GBL 372	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,02	72	0,30	<0,1	<0,01	0,05	7,8	0,10	<0,005	0,02	20	0,01			
GBL 373	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,11	9,9	0,13	<0,005	<0,01	19	0,03			
GBL 374	B	3	<0,005	0,19	<0,005	0,02	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	12	0,11	<0,005	<0,01	13	0,02			
GBL 375	B	I	<0,005	0,18	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,4	0,12	<0,005	<0,01	20	0,04			
GBL 376	B	I	<0,005	0,28	<0,005	0,04	74	2,0	<0,1	<0,01	0,05	7,5	0,10	<0,005	0,11	16	0,03			
GBL 377	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,7	0,09	<0,005	<0,01	18	0,03	2,0879	0,84478	18,540
GBL 378	B	I	<0,005	0,35	<0,005	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,3	0,07	<0,005	<0,01	19	0,04			
GBL 379	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,4	0,09	<0,005	<0,01	21	0,03	2,0879	0,84492	18,534
GBL 380	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	83	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	2,9	0,05	0,009	<0,01	14	0,03	2,0887	0,84541	18,522
GBL 381	B	10,2	<0,005	0,25	<0,005	0,03	73	4,3	<0,1	0,01	0,06	7,1	0,08	<0,005	0,17	15	0,02			
GBL 382	B	10,2	<0,005	0,19	<0,005	0,04	77	1,1	<0,1	<0,01	0,06	8,8	0,11	<0,005	0,07	13	0,03			
GBL 383	B	I	<0,005	0,33	<0,005	0,03	75	0,40	<0,1	<0,01	0,05	7,1	0,10	<0,005	0,02	17	0,03			
GBL 384	B	I	<0,005	0,22	<0,005	0,03	73	0,20	<0,1	<0,01	0,05	6,8	0,10	<0,005	<0,01	20	0,03	2,0895	0,84653	18,492
GBL 385	B	I	<0,005	0,16	<0,005	0,03	78	0,20	<0,1	<0,01	0,04	5,6	0,09	<0,005	0,01	16	0,03			
GBL 386	B	1,5	<0,005	0,11	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,6	0,08	<0,005	<0,01	15	0,03			
GBL 387	B	I	<0,005	0,37	<0,005	0,03	68	0,20	<0,1	<0,01	0,06	8,0	0,10	<0,005	0,01	23	0,03	2,0856	0,84860	18,417
GBL 388	B	I	<0,005	0,31	<0,005	0,03	67	0,40	<0,1	<0,01	0,05	6,0	0,10	0,005	0,03	26	0,04	2,0908	0,84869	18,436
GBL 389	B	1,1	<0,005	0,13	<0,005	0,03	76	0,40	<0,1	<0,01	0,05	7,7	0,09	<0,005	0,03	15	0,03			
GBL 390	B	1,5	<0,005	0,08	<0,005	0,03	76	0,60	<0,1	<0,01	0,05	8,2	0,09	<0,005	0,04	15	0,03			
GBL 391	B	1,2	<0,005	0,24	<0,005	0,03	77	0,60	<0,1	<0,01	0,10	9,1	0,08	0,008	0,04	13	0,03	2,0860	0,84864	18,420
GBL 392	B	I	<0,005	0,10	0,01	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,6	0,08	<0,005	<0,01	19	0,03	2,0876	0,84430	18,554

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 393	B	1,5	<0,005	0,06	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,13	5,6	0,07	0,005	0,01	17	0,04			
GBL 394	B	1	<0,005	0,08	<0,005	0,03	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,11	4,3	0,06	0,005	0,02	17	0,04			
GBL 395	B	9	<0,005	0,30	<0,005	0,03	90	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	3,7	0,12	0,008	<0,01	6,0	0,01			
GBL 396	B	8	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	99	<0,2	0,1	0,01	0,01	0,03	0,05	0,005	<0,01	0,06	<0,01			
GBL 397	B	1,3	<0,005	0,10	<0,005	0,04	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	9,1	0,08	<0,005	<0,01	10	0,03			
GBL 398	B	1	<0,005	0,08	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,8	0,10	<0,005	<0,01	18	0,04	2,0855	0,84892	18,414
GBL 399	B	5	<0,005	<0,05	<0,005	<0,01	0,78	<0,2	<0,1	<0,01	0,02	22	0,03	<0,005	<0,01	77	0,14	2,0881	0,84887	18,423
GBL 400	B	5	<0,005	0,19	<0,005	0,02	0,18	0,20	<0,1	<0,01	0,004	61	<0,01	0,04	<0,01	38	0,12			
GBL 401	B	1	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	89	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	2,6	0,06	0,006	<0,01	8,3	0,02			
GBL 402	B	8	<0,005	<0,05	0,01	0,01	61	38	<0,01	<0,01	<0,003	0,4	<0,003	0,005	0,05	0,81	0,01			
GBL 403	B	1	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,8	0,08	<0,005	<0,01	22	0,05	2,0882	0,84541	18,523
GBL 404	B	8	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	99	<0,2	0,01	0,005	0,03	0,2	0,07	<0,005	0,02	0,65	<0,01			
GBL 405	B	1,3	<0,005	0,05	<0,005	0,03	86	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	7,3	0,05	<0,005	<0,01	6,6	0,02			
GBL 406	B	1	<0,005	0,06	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,5	0,19	<0,005	<0,01	18	0,04			
GBL 407	B	1,3	<0,005	0,72	<0,005	0,02	83	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	11	0,05	<0,005	<0,01	4,6	0,02			
GBL 408	B	1	<0,005	0,25	<0,005	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	8,3	0,10	<0,005	<0,01	17	0,04	2,0864	0,84858	18,423
GBL 409	B	1	<0,005	0,12	<0,005	0,04	74	0,30	<0,1	<0,01	0,06	6,6	0,14	<0,005	<0,01	19	0,06			
GBL 410	B	9	<0,005	0,10	<0,005	0,04	74	0,30	<0,1	<0,01	0,06	7,6	0,13	0,007	<0,01	18	0,06			
GBL 411	B	8	<0,005	0,07	<0,005	0,04	95	<0,2	0,19	<0,01	0,08	1,5	0,20	0,006	0,01	3,2	0,01			
GBL 412	B	1	<0,005	0,07	<0,005	0,04	81	0,20	<0,1	<0,01	0,08	5,8	0,12	<0,005	0,01	13	0,01			
GBL 413	S	1																		
GBL 414	B	1	<0,005	0,08	<0,005	0,03	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,1	0,08	<0,005	<0,01	21	0,02	2,0884	0,84534	18,527
GBL 415	B	1	<0,005	0,05	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,5	0,08	<0,005	<0,01	18	0,02			
GBL 416	B	1	<0,005	0,05	<0,005	0,02	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	5,1	0,09	<0,005	<0,01	15	0,02			
GBL 417	B	1	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	3,5	0,09	<0,005	<0,01	21	0,03			
GBL 418	B	1	0,012	0,32	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,2	0,08	<0,005	<0,01	19	0,04			
GBL 419	B	1	<0,005	0,05	<0,005	0,03	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,6	0,05	<0,005	<0,01	22	0,04			
GBL 420	B	1	<0,005	0,07	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,9	0,09	<0,005	<0,01	21	0,04			

GBL 421	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,03	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,7	0,09	<0,005	<0,01	20	0,04	2,0883	0,8452	18,530
GBL 422	B	I	<0,005	0,05	0,01	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,5	0,10	<0,005	0,01	19	0,03			
GBL 423	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,8	0,08	0,012	<0,01	19	0,04			
GBL 424	B	I	<0,005	0,37	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	0,01	0,05	6,9	0,11	<0,005	0,16	12	0,03			
GBL 425	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,06	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,3	0,12	<0,005	<0,01	16	0,04			
GBL 426	B	I	<0,005	0,10	0,005	0,03	68	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,6	0,05	0,005	<0,01	27	0,04			
GBL 427	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,3	0,08	0,007	<0,01	19	0,04			
GBL 428	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,9	0,08	0,007	<0,01	22	0,05			
GBL 429	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	4,6	0,10	0,006	<0,01	14	0,03			
GBL 430	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	4,7	0,12	<0,005	0,03	21	0,04			
GBL 431	B	3	<0,005	0,24	0,01	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,0	0,11	<0,005	0,03	21	0,03			
GBL 432	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	4,8	0,10	0,005	<0,01	18	0,02			
GBL 433	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	82	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	4,3	0,09	0,005	0,01	13	0,02			
GBL 434	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,2	0,09	0,01	0,01	19	0,02			
GBL 435	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,8	0,11	0,005	0,01	19	0,03	2,0886	0,84598	18,510
GBL 436	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,2	0,09	<0,005	<0,01	18	0,03			
GBL 437	B	I	<0,005	<0,05	0,01	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,3	0,08	<0,005	0,03	20	0,05			
GBL 438	A	I	<0,005	0,13	<0,005	0,03	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	10	0,10	<0,005	<0,01	10	0,03			
GBL 439	A	I	<0,005	0,14	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	8,5	0,13	0,005	<0,01	15	0,04			
GBL 440	A	I	<0,005	0,06	<0,005	0,03	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,8	0,10	0,007	<0,01	11	0,03			
GBL 441	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,8	0,08	<0,005	<0,01	23	0,05	2,0862	0,84434	18,543
GBL 442	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,05	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,9	0,06	<0,005	0,04	16	0,05			
GBL 443	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,8	0,08	0,005	<0,01	16	0,05			
GBL 444	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,0	0,09	<0,005	<0,01	24	0,03			
GBL 445	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,0	0,11	<0,005	<0,01	23	0,04			
GBL 446	B	I	<0,005	0,11	0,01	0,04	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,4	0,08	0,01	<0,01	23	0,04	2,0856	0,84386	18,562
GBL 447	B	I	<0,005	0,18	<0,005	0,02	90	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	3,5	0,05	<0,005	<0,01	6,2	0,02			
GBL 448	B	I	<0,005	0,16	<0,005	0,02	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	3,8	0,05	<0,005	<0,01	7,5	0,02			

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
GBL 449	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	93	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	2,9	0,05	<0,005	<0,01	4,4	0,01		
GBL 450	B	I	<0,005	0,28	0,01	0,04	84	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,4	0,12	<0,005	<0,01	9,0	0,02		
GBL 451	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,8	0,09	<0,005	<0,01	21	0,05		
GBL 452	B	I	<0,005	0,04	<0,005	0,09	79	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,3	0,08	<0,005	0,02	15	0,03		
GBL 453	B	I	<0,005	0,27	<0,005	0,01	83	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	11	0,04	<0,005	<0,01	5,3	0,01		
GBL 454	B	I	<0,005	0,12	0,01	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	6,3	0,10	<0,005	0,02	19	0,03		
GBL 455	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,01	92	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	1,5	0,06	<0,005	<0,01	6,7	0,01		
GBL 456	B	I	<0,005	0,21	<0,005	0,03	82	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,8	0,08	<0,005	<0,01	11	0,03		
GBL 457	B	I	<0,005	0,17	<0,005	0,02	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	6,9	0,09	<0,005	<0,01	5,2	0,02		
GBL 458	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	81	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	2,9	0,09	<0,005	<0,01	16	0,03		
GBL 459	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,02	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	5,2	0,05	<0,005	<0,01	6,8	0,03		
GBL 460	B	I	<0,005	0,17	0,01	0,04	80	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	3,3	0,09	0,007	<0,01	17	0,04		
GBL 461	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,5	0,08	0,006	<0,01	17	0,06		
GBL 462	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	82	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	3,9	0,13	0,006	<0,01	14	0,04	2,0878	0,84415
GBL 463	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,4	0,21	0,007	<0,01	22	0,05		18,553
GBL 464	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,03	68	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	4,7	0,54	<0,005	<0,01	26	0,11		
GBL 465	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	4,9	0,15	<0,005	<0,01	20	0,05		
GBL 466	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,08	4,0	0,08	<0,005	<0,01	18	0,04		
GBL 467	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	4,8	0,10	0,005	<0,01	19	0,04		
GBL 468	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	83	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	3,5	0,10	0,013	<0,01	13	0,02		
GBL 469	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	5,5	0,10	<0,005	<0,01	21	0,04		
GBL 470	B	I	<0,005	<0,05	0,01	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	8,1	0,05	<0,005	<0,01	17	0,04	2,0826	0,84383
GBL 471	B	I	<0,005	0,11	0,01	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,13	10	0,43	<0,005	<0,01	14	0,17		18,552
GBL 472	B	10.3	<0,005	<0,05	<0,005	<0,01	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,01	6,4	0,03	0,001	0,08	16	0,05		
GBL 473	B	10.4	<0,005	<0,05	<0,005	<0,01	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,01	7,7	0,03	0,01	<0,01	18	0,05		
GBL 474	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,06	82	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	5,8	0,11	<0,005	0,01	12	0,02		
GBL 475	B	I	<0,005	0,78	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,23	8,8	0,09	<0,005	0,04	12	0,03	2,0861	0,84909
GBL 476	B	I	<0,005	0,77	<0,005	0,03	77	<0,2	<0,1	<0,01	0,21	8,5	0,11	<0,005	0,03	13	0,03		

GBL 477	B	8	<0,005	0,03	<0,005	0,04	99	<0,2	0,12	<0,01	0,03	0,04	0,22	<0,005	<0,01	0,57	0,04
GBL 478	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,09	6,1	0,21	0,006	<0,01	17	0,03
GBL 479	B	I	<0,005	0,20	<0,005	0,03	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,8	0,09	<0,005	0,01	17	0,03
GBL 480	B	I	<0,005	0,13	<0,005	0,03	75	0,7	<0,1	<0,01	0,05	6,4	0,11	0,006	0,04	17	0,04
GBL 481	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,04	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,09	5,8	0,18	<0,005	<0,01	23	0,07
GBL 482	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,05	84	<0,2	0,01	<0,01	0,10	7,3	0,22	0,01	<0,01	8,2	0,06
GBL 483	B	I	<0,005	0,11	<0,005	0,04	74	<0,2	<0,1	<0,01	0,09	6,3	0,20	0,01	<0,01	19	0,08
GBL 484	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,04	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,9	0,11	0,007	<0,01	19	0,04
GBL 485	B	10,6															
GBL 486	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	88	<0,2	<0,01	0,01	0,03	11	0,04	<0,005	0,001	0,8	<0,01
GBL 487	S	5															18,496
GBL 488	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,0	0,10	<0,005	<0,01	21	0,03
GBL 489	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,6	0,09	<0,005	<0,01	21	0,03
GBL 490	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	94	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	1,8	0,07	<0,005	<0,01	4,4	0,01
GBL 491	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	84	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	4,8	0,12	<0,005	<0,01	10	0,02
GBL 492	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	88	4,7	0,08	0,01	0,05	1,6	0,05	<0,005	0,1	4,8	0,01
GBL 493	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,02	93	<0,2	<0,01	0,01	0,05	1,5	0,06	<0,005	<0,01	4,9	0,01
GBL 494	B	7															18,431
GBL 495	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	93	<0,2	<0,01	<0,01	0,06	2,3	0,05	<0,005	<0,01	4,9	0,01
GBL 496	S	I															18,378
GBL 497	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,02	94	<0,2	<0,01	0,01	0,05	1,4	0,06	<0,005	<0,01	4,3	0,01
GBL 498	S	I															
GBL 499	S	I															
GBL 500	S	5															
GBL 501	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,05	75	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	7,8	0,21	<0,005	<0,01	17	0,03
GBL 502	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,03	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	5,2	0,11	<0,005	<0,01	7,6	0,01
GBL 503	A	I	<0,005	0,28	<0,005	0,04	67	<0,2	<0,1	<0,01	0,15	7,5	0,11	0,003	<0,01	24	0,07
GBL 504	B	I	<0,005	0,23	0,01	0,04	72	0,20	<0,1	<0,01	0,04	6,7	0,10	<0,005	0,01	20	0,04

Analysentabelle. Fortsetzung nächste Doppelseite

18,552

0,8442

2,0867

0,8442

2,0867

0,8442

2,0867

0,8442

2,0867

0,8442

2,0867

0,8442

2,0867

Probenart	Stelle	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	
GBL 505	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	70	<0,2	<0,1	0,04	6,6	0,18	<0,005	<0,01	2,3	0,04				
GBL 506	B	I	<0,005	0,15	<0,005	0,04	87	1,4	0,06	0,07	4,1	0,17	<0,005	0,08	6,0	0,01	2,0904	0,84940	18,416	
GBL 507	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,1	0,07	<0,005	<0,01	17	0,04			
GBL 508	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,04	73	0,20	<0,1	<0,01	0,05	3,9	0,10	<0,005	0,01	2,3	0,04			
GBL 509	B	I	<0,005	0,22	<0,005	0,03	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	7,7	0,10	<0,005	<0,01	19	0,05			
GBL 510	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,04	6,4	0,08	<0,005	<0,01	21	0,04			
GBL 511	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	73	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,3	0,09	<0,005	<0,01	22	0,04	2,0871	0,84612	18,504
GBL 512	B	9	<0,005	0,10	<0,005	0,02	72	0,20	<0,1	<0,01	0,07	4,7	0,09	<0,005	0,02	2,3	0,03			
GBL 513	B	I	<0,005	0,06	<0,005	0,04	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	5,8	0,07	<0,005	<0,01	24	0,02			
GBL 514	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,03	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,07	5,8	0,12	<0,005	0,01	6,8	0,02			
GBL 515	B	I	<0,005	0,10	<0,005	0,03	74	0,48	<0,1	<0,01	0,12	7,0	0,11	<0,005	0,04	18	0,02			
GBL 516	B	I	<0,005	0,46	<0,005	0,04	76	0,21	<0,1	<0,01	0,05	6,9	0,09	<0,005	0,02	17	0,02			
GBL 517	B	I	<0,005	0,08	0,010	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,05	6,1	0,09	<0,005	<0,01	2,3	0,02	2,0913	0,84890	18,436
GBL 518	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,04	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,10	6,6	0,24	<0,005	<0,01	15	0,02	2,0858	0,84903	18,406
GBL 519	B	8	<0,005	0,06	<0,005	0,03	97	<0,2	0,04	0,01	0,07	1,3	0,13	<0,005	0,01	1,4	<0,01			
GBL 520	B	9	<0,005	0,31	<0,005	0,04	73	0,27	<0,1	0,01	0,12	7,7	0,20	<0,005	0,06	18	0,02			
GBL 521	B	I	<0,005	0,23	<0,005	0,03	79	0,44	<0,1	<0,01	0,07	6,7	0,09	<0,005	0,04	14	0,02			
GBL 522	B	10	<0,005	0,26	0,01	0,04	81	1,5	<0,01	<0,01	0,06	8,5	0,09	<0,005	0,07	8,3	0,02			
GBL 523	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,01	87	<0,2	<0,01	<0,01	0,03	9,9	0,07	<0,005	<0,01	2,9	0,01			
GBL 524	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	84	<0,2	0,07	<0,01	0,21	1,5	0,56	<0,005	<0,01	1,3	0,02			
GBL 525	B	I	<0,005	0,16	<0,005	0,02	97	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	0,25	0,03	<0,005	0,07	2,1	<0,01			
GBL 526	A	I																		
GBL 527	A	I																		
GBL 528	B	I	<0,005	0,09	<0,005	0,03	71	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	6,3	0,08	<0,005	<0,01	2,2	0,01	2,0884	0,84555	18,517
GBL 529	B	I	<0,005	0,07	<0,005	0,1	75	<0,2	0,01	<0,005	0,18	8,5	1,9	<0,005	<0,01	14	0,03	2,0871	0,85001	18,392
GBL 530	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,11	84	<0,2	<0,1	<0,005	0,13	1,8	0,41	<0,005	<0,01	1,3	0,04			
GBL 531	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,08	81	<0,2	<0,1	<0,005	0,17	5,7	0,66	<0,005	<0,01	1,2	0,03			
GBL 532	B	I	<0,005	0,19	<0,005	0,06	77	<0,2	<0,1	<0,005	0,18	4,4	0,68	<0,005	<0,01	1,7	0,04			

GBL 533	B	I	<0,005	0,12	<0,005	0,08	78	<0,2	<0,1	<0,01	0,15	3,8	0,55	<0,005	<0,01	17	0,04		
GBL 534	B	I	<0,005	0,14	<0,005	0,06	75	<0,2	0,03	<0,01	0,16	4,4	0,58	<0,005	<0,01	19	0,04	2,0865	0,84906
GBL 535	B	I.1	<0,005	0,24	<0,005	0,04	70	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,0	0,14	<0,005	<0,01	24	0,05	2,0845	0,84221
GBL 536	B	I.2	<0,005	0,23	<0,005	0,04	76	<0,2	<0,1	<0,01	0,07	6,4	0,09	<0,005	<0,01	17	0,04	2,0856	0,84274
GBL 537	B	5																2,0850	0,84212
GBL 538	B	5																	
GBL 539	B	9	<0,005	0,20	<0,005	0,04	72	<0,2	<0,1	<0,01	0,06	6,5	0,11	<0,005	<0,01	21	0,06		
GBL 540	A	I																	
GBL 541	B	10.2																	
GBL 542	B	10.1																	
GBL 543	B	I	<0,005	0,25	<0,005	0,03	80	0,34	<0,1	<0,01	0,06	8,3	0,11	<0,005	0,05	11	0,05	2,0859	0,84831
GBL 544	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,02	84	<0,2	<0,1	<0,01	0,03	11	0,11	<0,005	<0,01	4,8	0,0265	2,0859	0,84831
GBL 545	B	I	<0,005	0,05	<0,005	0,03	72	0,20	<0,1	<0,01	0,08	5,9	0,11	<0,005	0,01	21	0,03	2,0866	0,84904
GBL 546	B	5	0,007	<0,05	<0,005	<0,01	1,7	<0,01	<1	<0,01	0,02	2,4	<0,01	<0,005	<0,01	74	0,04	2,0851	0,84945
GBL 547	B	I	<0,005	0,08	<0,005	0,03	85	<0,2	0,21	<0,01	0,03	8,1	0,10	<0,005	<0,01	6,6	<0,01		
GBL 548	B	I	<0,005	0,22	<0,005	0,05	73	0,81	0,1	0,01	0,06	7,4	0,12	<0,005	0,06	18	0,01	2,0860	0,84916
GBL 549	B	I																	
GBL 550	B	I																	
GBL 551	B	I	<0,005	0,40	0,12	1,6	79	<0,2	4,1	<0,01	0,11	2,5	2,4	<0,005	0,01	10	0,02		
GBL 552	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	76	<0,2	0,13	0,01	0,04	7,3	0,14	<0,005	<0,01	16	<0,01		
GBL 553	B	I	<0,005	<0,05	<0,005	0,06	76	<0,2	0,13	0,01	0,04	7,3	0,14	<0,005	<0,01	16	<0,01		
GBL 554	A	I	<0,005	0,06	<0,005	0,05	85	<0,2	0,04	0,01	0,04	6,0	0,05	<0,005	0,01	8,3	0,01		

Analysentabelle. Ergebnisse der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse und der Verhältnisse der stabilen Bleisotope mit HR-MC-ICP-MS. Probenart: (A) Anschliffprobe, (B) Bohrspalte, (S) Schabprobe.

Stelle: (1) Statuen- bzw. Gussbronze, gegebenenfalls differenziert nach (1.1) Kopf, (1.2) Körper, (1.3) Blech, (1.4), Korrosion und (1.5) Übergangsguss (1.5). – (2) Applik. – (3) Sockel. – (4) Blattgold. – (5) Blei- bzw. Zinnlot. – (7) Bleiverguss. – (8) Nietstift. – (9) Reparaturblech. – (10) Referenz, unterteilt in Referenz (10.1) klassische Bronze, (10.2) Limesbronze, (10.3) mit Goldgehalt, (10.4) ohne Goldgehalt, (10.5) mittelalterliche Vergoldung und (10.6) Bleiprovenienz.