

Bleisotopenuntersuchungen am "Schrottfund" von Augusta Raurica

Autor(en): **Schwab, Roland / Pernicka, Ernst / Furger, Alex R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst**

Band (Jahr): **32 (2011)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-395738>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bleiisotopenuntersuchungen am «Schrottfund» von Augusta Raurica

Roland Schwab¹, Ernst Pernicka² und Alex R. Furger³

Zusammenfassung

Ausgehend von einer archäometrischen Untersuchung des «Xantener Knabens» wurden zu Vergleichszwecken Anfang 2009 auch Proben vom Augster «Schrottfund» zur Klärung von Herkunftsfragen mithilfe von Bleiisotopenanalysen entnommen. Alle neun bekannten lebens- bis überlebensgrossen Statuen(teile) sind mit je einer bis drei Proben untersucht worden: die vier Statuen A–D, die drei Köpfe 1–3 und die beiden Pferde I und II. Die Untersuchungen führte das Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH in Mannheim/D durch. Neben einer erneuten – diesmal röntgenanalytischen (EDRFA) – Analyse der chemischen Zusammensetzung der Stücke, welche identische Werte wie frühere Atomabsorptionsmessungen (AAS) ergaben, wurden die Bleiisotope massenspektrometrisch bestimmt. Wie schon bei früheren Bleianalysen von Funden aus Augusta Raurica sind auch für diese öffentlich aufgestellten Statuen keine Metalle aus mediterranen Erzlagerstätten nachweisbar. Das Blei der Köpfe 1 und 2 sowie von Pferd I (und möglicherweise auch des bleiarms Kopfes 3) stammt wahrscheinlich aus der Nordeifel und das Rohmaterial von Statue D und von Pferd II vermutlich aus dem Taurus oder dem Harz. Die bleiarms Bronzen der Statuen A, B und C erlauben keine Herkunftsbestimmung. – Aspekte der durchgeführten Beprobungen, der Repräsentativität einer Probe für eine antike Legierung (insbes. bei hohem Bleianteil) und der Arbeit im Labor führten zur praktischen Erkenntnis, dass für derartige Untersuchungen mindestens 50 mg Probenmaterial bereitstehen muss, was bei einer 1-mm-Bohrung einer Bohrtiefe – unter der Patina beginnend – von 1 cm entspricht.

Schlüsselwörter

Archäometrie, Augusta Raurica, Bleiisotopen, Bleilagerstätten, Bohrproben, Bronzen, Herkunftsbestimmung, Legierung, «Schrottfund».

Summary

Samples from the “scrap metal find” in Augst were taken in early 2009 in order to compare them with an archaeometric analysis which had been carried out on the “Youth from Xanten” and to explore questions regarding the origins of the scrap metal by means of lead isotope analyses. 1–3 samples were taken from each of the nine known life-sized to over-life-sized statues (or parts thereof): four statues A–D, three heads 1–3 and two horses I and II. The analyses were carried out at the Curt Engelhorn Centre for Archaeometry in Mannheim, Germany. Besides a repeat analysis – this time by energy-dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) – of the chemical composition of the pieces, which yielded identical values to those previously provided by the atomic absorption spectroscopy analyses (AAS), the lead isotopes were identified by mass spectrometry. As lead analyses previously carried out on other finds from Augusta Raurica had shown, these publicly displayed statues did not contain any metal from Mediterranean ore deposits either. The lead in heads 1 and 2 and in horse I (and perhaps also in head 3, which showed a rather low lead content) probably came from the northern part of the Eifel region, while the raw material for statue D and horse II probably came from the Taurus or Harz regions. The origins of the lead in statues A, B and C, which contained only small amounts, could not be identified – aspects of the sampling, the representativeness of a sample with regard to ancient alloys (particularly in cases with a high lead content) and the laboratory work led to the practical conclusion that such analyses require at least 50 mg of sampled material, which represents a drilling depth of 1 cm with a 1 mm drill starting beneath the patina.

Fragestellung und Beprobung

Im Zusammenhang mit der Neubearbeitung einer antiken Grossbronze, des sog. «Xantener Knabens», der sich heute in der Antikensammlung in Berlin befindet⁴, hatte Uwe Peltz, Restaurator an der Antikensammlung der Staatlichen Museen zu Berlin, die Vermutung geäußert, dass diese Plastik evtl. mit drei Statuen aus dem sog. «Augster Schrottfund» in Verbindung stehen könnte⁵. Bettina Janietz führt zahlreiche technologische Merkmale auf, die darauf verweisen, dass die Statuen A und C aus Augst aus demselben Werkstattkreis stammen. U. Peltz vermutete aufgrund der Ähnlichkeit der jeweils verwendeten Legierungen und der relativen territorialen Nähe eine Verbindung des Xantener Knabens mit dem Werkstattkreis von Statue A und Statue C und evtl. auch mit jenem von Statue B. Da zu diesem Zeitpunkt neben den Legierungsanalysen bereits Bleiisotopendaten vom Xantener Knaben vorlagen, schlug U. Peltz vor, diese auch

in den drei genannten Figuren zu messen⁶. Nach Ansicht von Alex R. Furger haben Grossbronzen gegenüber Kleinbronzen, die häufig aus Altmetall hergestellt wurden, eine reelle Chance, dass die Legierungselemente (Cu, Pb, Sn) aus Primärquellen stammen, weshalb er diesem Vorschlag nicht nur zustimmte, sondern auch zusätzlich anregte, im Rahmen der beabsichtigten Untersuchung auch die Analyse der

- 1 Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, C5, Zeughaus, D-68159 Mannheim; roland.schwab@cez-archaeometrie.de.
- 2 Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, C5, Zeughaus, D-68159 Mannheim; ernst.pernicka@cez-archaeometrie.de.
- 3 Augusta Raurica, Giebenacherstrasse 17, CH-4302 Augst; alex.furger@bl.ch.
- 4 Peltz/Schalles 2012.
- 5 Janietz Schwarz/Rouiller 1996; Janietz 2000.
- 6 Schreiben vom 05.01.2009 von Uwe Peltz an Alex R. Furger.

Tabelle 1: Die Statuenteile des «Schrottfundes» von Augusta Raurica (Augst, Schweiz, Kanton Basel-Landschaft) mit Angabe der Figurenbezeichnungen, Inventarnummern der beprobten Objekte, Entnahme- und Labornummern (Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie, Mannheim/D) und der Verweise auf die Dokumentation in den beiden Erstpublikationen (Janietz Schwarz/Rouiller 1996, Janietz 2000).

Objekt(teil)	Ø Bleianteil	Inv.	Entnahme-Nr.	Proben-Nr.	Dokumentation	Zuweisung	Literatur
Kopf 1, Fragment E5	ca. 18%	1961.2002	9	MA-091831	Abb. 16–18	gehört zu Reiterstatue A (Primärguss)	Janietz 2000, 131 ff. Abb. 176; 178; Tabelle 128
Statue A, Partie 39	ca. 0,8%	1961.14167	1, 2, 3 (15 = Nachtrag 2011)	MA-112306 MA-091824 MA-091825	Abb. 4–6	überlebensgross, Reiter von Pferd II (alle Proben: Primärguss)	Janietz 2000, 31 ff., bes. 36 ff. Abb. 11; 15; Tabelle 30
Pferd II, Partie 1/2	ca. 23%	1961.2366	14	MA-091836	Abb. 28–30	überlebensgross, gehört zu Reiterstatue A (Gussteilstück 1; Primärguss)	Janietz Schwarz/Rouiller 1996, 131 ff. Abb. 33; 144; Tabelle 28 ff.; 45
Statue B, Partie 45	ca. 1%	1961.2827	4	MA-091826	Abb. 7–9	lebensgross, Reiter von Pferd I (Primärguss)	Janietz 2000, 65 ff. Abb. 65; 68; Tabelle 60
Pferd I, Partie 4/27	ca. 21%	1961.2878	13	MA-091835	Abb. 25–27	lebensgross, gehört zu Reiterstatue B (Gussteilstück 1; Primärguss)	Janietz Schwarz/Rouiller 1996, 120 ff. Abb. 30; 138; Tabelle 8; 45
Kopf 3	ca. 1,5%	1961.2007	11, 12	MA-091833 MA-091834	Abb. 22–24	gehört zu Frauenstatue C (beide Proben: Primärguss)	Janietz 2000, 147 ff. Abb. 215; 216; Tabelle 139
Statue C, Partie 41	ca. 0,4%	1961.2812	5, 6	MA-091827 MA-091828	Abb. 10–12	lebensgross, weibliche Mantelfigur (beide Proben: Primärguss)	Janietz 2000, 93 ff. Abb. 113; 115; Tabelle 92
Kopf 2, Fragment A	ca. 10%	1961.2819	10	MA-091832	Abb. 19–21	gehört zu Togatus-Statue D (Primärguss)	Janietz 2000, 138 ff. Abb. 194b; 195; Tabelle 133
Statue D, Partie 64	ca. 24%	1961.2304	7, 8	MA-091829 MA-091830	Abb. 13–15	überlebensgross, Togatus (alle Proben: Gussteilstück a)	Janietz 2000, 123 ff. Abb. 160–164; Tabelle 118

beiden Pferde aus dem Schrottfund vorzunehmen. Beprobet wurden schliesslich alle neun «Figuren» des Augster Schrottfundes (Tabelle 1)⁷. Die 14 Proben von neun Statuenteilen wurden anschliessend zur Untersuchung an das Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie nach Mannheim gebracht, wo die chemische Zusammensetzung und die Verhältnisse der stabilen Bleisotope bestimmt wurden. Bereits bei den Analysen und auch später bei der Auswertung der Ergebnisse durch die Autoren traten, wie unten erläutert, aufgrund des Zustandes und der Probenmengen einige Schwierigkei-

ten auf, die letztendlich die ganze Untersuchung vorerst fragwürdig erscheinen liessen. Zusätzlich standen wegen eines Missverständnisses in Mannheim weder das Augster Protokoll der Probenentnahme noch die Abbildungen der beprobten Objekte zur Verfügung, sodass Inkonsistenzen bei der Zuordnung der Proben zu bestimmten Objekten nicht überprüft werden konnten (Abb. 1). Es wurde dennoch beschlossen, die Ergebnisse in einem Bericht zusammenzufassen, der schliesslich am 05.10.2010 an A. R. Furger nach Augusta Raurica geschickt wurde. Bei einem gemeinsamen Gespräch der Autoren am 30.03.2011 verständigte man sich darauf, eine der Proben neu zu nehmen und zu analysieren, sowie die vorhandenen Ergebnisse unter Einbezug der Augster Dokumentation (Abb. 4–30) zu korrigieren und zu ergänzen.



Abb. 1: Original-Probenröhrchen der Entnahme von 2009. Leider ist bei Proben von derselben Inventarnummer nicht mehr rekonstruierbar, von welcher Stelle am Fragment die Bohrung stammt (die Bezeichnung «Fr.» am Beispiel rechts im Bild ist teilweise unkenntlich).

7 Die Proben waren am 17.06.2009 im Augster Restaurierungslabor von Dr. Boaz Paz, der zu diesem Zeitpunkt noch im Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie (CEZA) in Mannheim tätig war, entnommen und von Restauratorin Julia Wicha (Augusta Raurica) dokumentiert worden (Abb. 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 27; 30). B. Paz verliess das CEZA am 30.11.2009. Vorgesehen war jeweils nur *eine Probe* pro Figur, in der Regel jedoch aus einem eindeutigen Primärguss-Bereich, d. h. ohne «Kontaminierungsgefahr» durch Verbindungsgüsse, Lote usw. Weshalb zum Teil zwei oder drei Proben pro Fragment entnommen wurden, erschliesst sich den Autoren nicht mehr. Die Bohrproben waren in Augst mit vorläufigen Nummern von 1 bis 14 (Tabelle 1, «Entnahme-Nr.») und in Mannheim mit den Labornummern MA-91824 ff. versehen worden. Die Inventarnummern der beprobten Fragmente gehen aus unseren Tabellen 1–3 sowie aus der publizierten Dokumentation hervor (Janietz Schwarz/Rouiller 1996, Abb. 138 ff.; Janietz 2000, Abb. 15 ff.).

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Objekte (EDRFA); alle Angaben in Masseprozent. Konkordanz der MA-Analysenummern zu Lokalisierung, Zuweisung und Beprobung siehe Tabelle 1.

Proben-Nr.	Objekt	Inv.	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi
MA-112306	Statue A	1961.14167	0,06	<0,01	0,02	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	10	0,06	<0,005	<0,01	0,75	<0,01
MA-091824	Statue A	1961.14167	0,06	<0,01	<0,01	90	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	9,3	0,05	<0,005	0,04	0,85	<0,01
MA-091825	Statue A	1961.14167	0,06	<0,01	<0,01	89	<0,2	<0,01	0,01	0,05	9,7	0,06	<0,005	0,06	0,86	<0,01
MA-091826	Statue B	1961.2827	0,04	<0,01	0,01	89	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	10,1	0,05	<0,005	0,03	0,57	<0,01
MA-091827	Statue C	1961.2812	0,03	<0,01	<0,01	91	<0,2	<0,01	<0,01	0,04	7,8	0,03	<0,005	0,08	0,55	<0,01
MA-091828	Statue C	1961.2812	0,05	<0,01	<0,01	89	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	10,1	0,05	<0,005	0,02	0,48	<0,01
MA-091829	Statue D	1961.2304	0,11	<0,01	0,04	72	<0,2	<0,3	<0,01	0,05	7,1	0,08	<0,005	<0,01	21	<0,01
MA-091830	Statue D	1961.2304	0,11	<0,01	0,03	71	<0,2	<0,3	<0,01	0,05	7,2	0,08	<0,005	<0,01	21	0,02
MA-091831	Kopf 1	1961.2002	0,13	<0,01	0,03	78	<0,2	<0,3	<0,01	0,05	7,1	0,08	<0,005	<0,01	14	0,02
MA-091832	Kopf 2	1961.2819	0,24	<0,01	0,03	80	0,35	<0,3	<0,01	0,06	9,7	0,11	<0,005	<0,01	9,8	0,01
MA-091833	Kopf 3	1961.2007	0,10	<0,01	0,02	88	<0,2	<0,01	<0,01	0,05	10,3	0,07	<0,005	0,02	1,3	<0,01
MA-091834	Kopf 3	1961.2007	0,12	<0,01	0,02	89	<0,2	<0,3	<0,01	0,04	10,1	0,08	<0,005	0,02	0,60	<0,01
MA-091835	Pferd I	1961.2878	0,09	<0,01	0,03	72	0,32	<0,3	<0,01	0,05	7,2	0,07	<0,005	<0,01	20	<0,01
MA-091836	Pferd II	1961.2366	0,13	<0,01	0,03	76	<0,2	<0,3	<0,01	0,05	6,9	0,08	<0,005	<0,01	16	<0,01

Weiterhin war es ein Anliegen, die Untersuchungen trotz aller Unstimmigkeiten möglichst rasch zu einem Abschluss zu bringen und zu veröffentlichen, um sich befreit von dieser «Altlast» gemeinsam – aber in unterschiedlicher Funktion – am soeben angelaufenen, von der Volkswagen-Stiftung finanzierten Projekt «Römische Grossbronzen am UNESCO-Welterbe Limes» beteiligen zu können.

Methodik

Die chemische Zusammensetzung der Proben wurde mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) entsprechend der von Joachim Lutz und Ernst Pernicka beschriebenen Korrekturverfahren ermittelt⁸. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Weiterhin wurden die Verhältnisse der stabilen Isotope des Bleis mit einem Multi-kollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppelter Plasmaionisation (MC-ICP-MS) bestimmt⁹. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Die zur Verfügung stehenden Probenmengen betragen zwischen 3 mg und 30 mg. Für die routinemässige Bestimmung der Bleiisotopenverhältnisse werden wenige Nanogramm (10^{-9} g) Blei benötigt, sodass je nach Bleigehalt der Bronze wenige Milligramm (10^{-3} g) Probenmaterial ausreichend sind¹⁰. Zur Bestimmung der Bleiisotopenverhältnisse in Bronzen ist zu sagen, dass mindestens zwei unterschiedliche Bleikomponenten beteiligt sind. In reinen Zinnbronzen der europäischen Bronzezeit mit einem typischen Sn/Cu-Verhältnis von 1:10 gilt der Bleianteil des Zinns in der Regel als vernachlässigbar, da weder die Zinnerze noch die analysierten zeitgleichen Zinnbarren signifikante Bleianteile aufweisen¹¹. Ein Vergleich mit den wenigen analysierten römischen Zinnbarren hingegen zeigt, dass diese mindestens um die 5% Blei enthalten¹². Ein nahezu bleifreier Kupfer-

barren, der mit solch einem Zinnbarren zu einer zehnpromzentigen Zinnbronze legiert werden würde, enthielte bereits ca. 0,5% Blei, welches ausschliesslich aus dem Zinnanteil stammt. Da man jedoch auch in römischen Kupferbarren gelegentlich einige Prozent Blei nachweist¹³, kann in bleihaltigen Legierungen mit geringen Bleigehalten deshalb eine Mischung aus den Bleikomponenten des Kupfers, des Zinns und des evtl. noch zusätzlich zugeschlagenen Bleis vorliegen. Bei Bleibronzen mit 10% Blei ist der Anteil der anderen Komponenten wiederum vernachlässigbar und es wird die Isotopensignatur des Bleizuschlags und damit nur dessen Herkunft wiedergegeben¹⁴. Die Aussagen über eine mögliche Provenienz können sich deshalb ausschliesslich auf das Blei beziehen.

Moderne instrumentelle Analyseverfahren sind teilweise in der Lage, einzelne Elemente noch im Pikogramm-bereich (10^{-12} g) nachzuweisen und benötigen dafür nur einige Mikrogramm (10^{-6} g) Probenmenge. Bei röntgenanalytischen Methoden richtet sich die Probenmenge nach dem erforderlichen Durchmesser, welcher bei der RFA durch den verwendeten Kollimator bestimmt wird, sodass Bereiche zwischen wenigen μm^2 bis einigen cm^2 analysiert werden können. Die geringen Probenmengen sind jedoch bei der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung – unabhängig von der angewandten Methode – problematisch, weil sie nicht repräsentativ für die Zusammensetzung des gesamten Ob-

8 Lutz/Pernicka 1996; vgl. auch Blanc u. a. 2010.

9 Für die Bleiabtrennung und Bestimmung der Isotopenverhältnisse danken wir Bernd Höppner und Sigrid Klaus, Mannheim.

10 Pernicka 1990, 102; Gale/Stos-Gale 2000, 519.

11 Pernicka 1990, 106; Gale/Stos-Gale 2000, 539.

12 Tylecote 1962, 68; Hughes 1980.

13 Riederer 2001, 255; Kuhnen/Bunk 2003, 396; Klein u. a. 2007.

14 Gale/Stos-Gale 2000, 538.

Tabelle 3: Bleiisotopenverhältnisse der untersuchten Proben. Konkordanz der MA-Analysenummern zu Lokalisierung, Zuweisung und Beprobung siehe Tabelle 1.

Proben-Nr.	Objekt	Inv.	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
MA-112306	Statue A	1961.14167	2,0933	0,84834	18,447
MA-091824	Statue A	1961.14167	2,0927	0,84828	18,445
MA-091825	Statue A	1961.14167	2,0927	0,84828	18,444
MA-091826	Statue B	1961.2809	2,0923	0,84821	18,447
MA-091827	Statue C	1961.2812	2,0912	0,84824	18,442
MA-091828	Statue C	1961.2812	2,0925	0,84839	18,445
MA-091829	Statue D	1961.2304	2,0906	0,84860	18,434
MA-091830	Statue D	1961.2304	2,0905	0,84857	18,436
MA-091831	Kopf 1	1961.2002	2,0821	0,84605	18,474
MA-091832	Kopf 2	1961.2819	2,0855	0,84705	18,464
MA-091833	Kopf 3	1961.2007	2,0907	0,84817	18,448
MA-091834	Kopf 3	1961.2007	2,0873	0,84890	18,408
MA-091835	Pferd I	1961.2878	2,0823	0,84233	18,592
MA-091836	Pferd II	1961.2366	2,0931	0,84865	18,443

jekts sind. Wie bereits an anderer Stelle ausführlicher erläutert, neigen die auch im Schrottfund häufig vorkommenden Blei-Bronzen zur Makroseigerung, wobei nur eine ausreichende Probenmenge zu einem repräsentativen Analyseergebnis führen kann¹⁵. In der archäometrischen Literatur wird das Problem ausführlich erörtert¹⁶. Abgesehen von der älteren Literatur, die aufgrund der damals angewandten Methoden grundsätzlich grössere Probenmengen benötigte, wird bei Legierungen mit geringen Bleigehalten eine Menge von 30 mg angestrebt, während bei Bleibronzen eine Menge von 50 mg als unterer Grenzwert betrachtet werden kann¹⁷. Dies entspricht bei Verwendung eines 1 mm dicken Bohrers einem Bohrloch von mindestens 1 cm Tiefe. Dabei muss das korrodierte Oberflächenmaterial verworfen werden, um keine Veränderung der Zusammensetzung durch in der Korrosionsschicht angereicherte Elemente zu bewirken¹⁸.

Umfangreiche Materialanalysen an den Funden mittels der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) sind bereits durch Josef Riederer in den beiden Monografien über den Schrottfund vorgelegt worden¹⁹. Einige mittlere Bleiwerte dieser Untersuchung sind zum Vergleich in Tabelle 1 dargestellt.

Bei der Probe MA-091823 von 2009 konnte man bereits optisch erkennen, dass sie aus zwei verschiedenen, unterschiedlich farbigen Materialien besteht. Die Untersuchung einzelner silbergrauer Bohrspäne ergab, dass es sich um me-

tallisches Zink handelt. Eine optisch-mechanische Aufteilung und separate Analysen der beiden Komponenten waren nicht möglich. Wie diese Vermischung zustande kam, konnte durch uns nicht mehr rekonstruiert werden. Die Ergebnisse der ursprünglichen Probe MA-091823 wurde deshalb verworfen und dasselbe Fragment Anfang 2011 neu beprobt (MA-112306) und in die hier vorgelegten Untersuchungsergebnisse einbezogen. Die Messergebnisse von Mehrfachbeprobungen von demselben Objekt sind übrigens im Rahmen der Messpräzision nicht unterscheidbar (siehe Tabelle 3). Eine Ausnahme bilden die beiden Proben von Kopf 3 (MA-091833 und MA-091834), die sich in den Verhältnissen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ um 1,0 bzw. 1,6 Promille unterscheiden. Sie sind chemisch sehr ähnlich und unterscheiden sich nur im Bleigehalt, der 0,6 bzw. 1,3% beträgt. Da die Probe mit dem höheren Bleigehalt (MA-091833) in die Gruppe der anderen hoch bleihaltigen Proben fällt (s. u.), ist eine Kontamination durch Übertragung einer geringen Menge Blei von einer anderen Probe nicht auszuschließen. Wenn die Entnahmenummer in Tabelle 1 der Reihenfolge der Beprobung entspricht, wäre dies allerdings unwahrscheinlich, weil die Bleiisotopenverhältnisse der Probe MA-091832 anders sind. Leider lässt sich dies nicht mehr klären²⁰.

Ergebnisse

Die Legierungen

Die Analysen stimmen mit den publizierten Daten im Rahmen der jeweiligen Standardabweichung gut überein, wobei es teilweise zu Abweichungen im Zinn-, aber vor allem im Bleigehalt kommt, weil beide Legierungselemente eigene Phasen bilden. Wie bereits auch von Josef Riederer angeführt, kommt es vor allem bei den hochbleihaltigen Pferdestatuen zu erheblichen Abweichungen der Bleigehalte in den einzelnen Gussteilstücken²¹. Es wurde an anderer Stelle ausführlich erläutert, dass vor allem die Unlöslichkeit von Kupfer und Blei im festen Zustand zu einer inhomogenen Blei-Verteilung entsprechend den auftretenden Wärmegradienten führen kann, was eine ausreichende Probenmenge erfordert, um einen repräsentativen Durchschnittswert zu erhalten²². Vergleicht man die Ergebnisse von den Statuen mit geringen Bleigehalten (Tabelle 1; 2) mit den jeweiligen Analysewerten von J. Riederer, so liegen diese im Schwankungsbereich der von ihm ermittelten Werte, obwohl es auch dort

15 Schwab u. a. 2008, 10 ff.

16 Caley 1964; Werner 1970; Craddock 1977, 97; Pernicka 1989, 144 ff.

17 Craddock 1977, 97; Pernicka 1989, 145.

18 Vgl. auch Kaufmann-Heinimann/Liebel 1994; Hunger u. a. 2009, 116 (mit Linienscans Taf. 18–41).

19 Riederer 1996; Riederer 2000.

20 In Mannheim wird besonders bei stark bleihaltigen Proben der Bohrer routinemässig nur einmal verwendet, um solche Querkontamination auszuschließen. Ob diese Prozedur auch hier angewandt wurde, lässt sich ebenfalls nicht mehr klären.

21 Riederer 1996, 141.

22 Schwab u. a. 2008, 14–16.

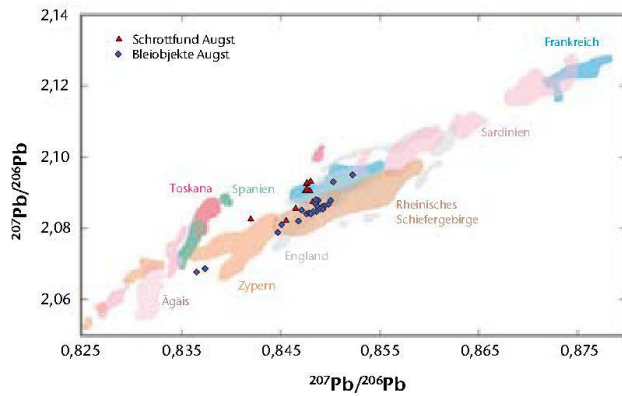


Abb. 2: Auf ^{206}Pb normierte Darstellung der radiogenen Bleisotopenverhältnisse der in diesem Bericht analysierten Grossbronzen, von Bleiobjekten aus Augst (nach Guénette-Beck/Furger 2004) und verschiedener Blei- und Kupferlagerstättendistrikte in Europa (modifiziert und ergänzt nach Durali-Müller u. a. 2007).

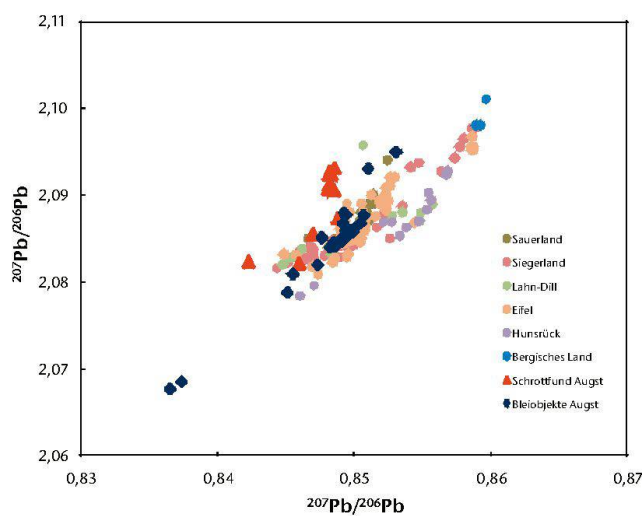


Abb. 3A: Ausschnitt des Diagramms in Abbildung 2 mit Bleilagerstätten im Rheinischen Schiefergebirge und in der Eifel (Krahn 1988; Schneider 1994; Brauns 1995; Bode u. a. 2009).

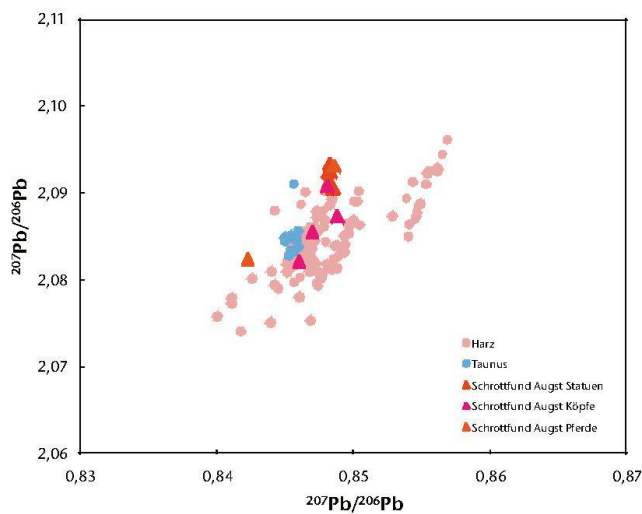


Abb. 3B: Derselbe Ausschnitt wie in Abbildung 3A, mit Buntmetallagerstätten aus dem Taunus (Lévêque/Haack 1993) und dem Harz (Lévêque/Jacobus 1994).

zu Abweichungen vom Mittelwert von bis zu 60% kommt²³. Bei den hochbleihaltigen Legierungen der Statue D, der Köpfe 1 und 2 sowie der beiden Pferde, ist es der Bleigehalt von Pferd II, der weit unter den von J. Riederer bestimmten Werten liegt²⁴. Die zur Verfügung gestellte Probenmenge betrug 8 mg.

Die Bleisotopenverhältnisse

Man kann wohl grundsätzlich davon ausgehen, dass die Statuen vor Ort gegossen worden sind²⁵. Entsprechend wird Blei verwendet worden sein, das auch vor Ort zur Verfügung stand, sei es in Barrenform oder als Altmetall. Wegen des grossen Metallbedarfs für derartige Bronzemonumente und wegen der «öffentlichen» Auftraggeber bei Kaiserbildnissen ist allerdings weniger mit Recycling und entsprechend heterogen zusammengesetzten Produkten zu rechnen, sondern mit der Anlieferung von «Primärmetall» – d. h. direkt von den Abbau- und Verhüttungsgebieten – in Form von Kupfer-, Zinn- und Bleibarren. Entsprechend der oben angeführten Gründe kann man davon ausgehen, dass man deshalb von den bleireichen Bronzen die Herkunft des Bleis identifizieren kann, während die weniger Blei enthaltenden Bronzen vermutlich eine Mischung der Einzelkomponenten darstellen.

In Abbildung 2 sind die Bleisotopenverhältnisse des Schrottfundes und der von Barbara Guénette-Beck und Alex R. Furger veröffentlichten Bleiobjekte aus Augst²⁶ sowie verschiedener Lagerstättendistrikte in Europa, darunter auch polymetallischer und kupferdominierter wie Zypern, dargestellt. Die von N. Grögler u. a. veröffentlichten Daten eines Bleiobjektes aus Augst sind zu unpräzise, um verwendet zu werden; die Zuweisung zum damals beprobten Objekt («Bleirohr, Museum Augst») ist heute leider nicht mehr möglich²⁷. Aus Abbildung 2 geht zunächst hervor, dass die bekannten und bisher untersuchten Lagerstätten im Mittelmeerraum als Herkunftsgebiete für Bleifunde aus Augusta Raurica nicht infrage kommen.

Wenn man zunächst nur die westdeutschen Bleivorkommen betrachtet (Abb. 3A), gibt es eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Mehrheit der 30 bisher analysierten Bleiobjekte von Augst und Bleierzen aus der Nordeifel. Das Blei von vier Schrottfund-Bronzen (MA-090831, MA-090832, MA-090834 [Köpfe 1–3], MA-09835 [Pferd I]) könnte möglicherweise ebenfalls von dort stammen, aber die Übereinstimmung ist weniger gut. In diesem Fall wäre der vergleichsweise

23 Riederer 2000, 38 Tabelle 30 (Statue A); 71 Tabelle 60 (Statue B); 99 Tabelle 92 (Statue C); 149 Tabelle 139 (Kopf 3).

24 Riederer 1996, 131 Tabelle 28.

25 Zimmer 1989, 243; Morel/Chevalley 2001.

26 Guénette-Beck/Furger 2004.

27 Grögler u. a. 1966.

niedrige Bleigehalt in Kopf 3 wohl als Verunreinigung zu verstehen. Zu der Problematik, dass sich zwei Proben von Kopf 3 in ihren Bleiisotopenverhältnissen unterscheiden, siehe oben S. 226.

Die anderen Bronze­proben aus dem Augster Schrottfund passen aber *nicht* zu diesen Erzen. Sie bilden eine enge Gruppe, die deutlich ausserhalb des Streubereichs der westdeutschen Bleivorkommen liegt. Das kann einerseits darauf zurückgeführt werden, dass das Blei in den Bronzen aus einer Mischung besteht, nämlich aus dem zugesetzten Blei einerseits und andererseits aus dem der Bleiverunreinigung im Kupfer, das aus der Kupferlagerstätte stammt. In diesem Fall besteht die Gruppe aus sechs Proben von drei Objekten (Statuen A, B und C), die weniger als 1% Blei enthalten, und drei Proben von zwei Objekten (Statue D, Pferd II), die sehr hohe Bleigehalte von 16–21% aufweisen. Bei solch hohen Bleigehalten dürfte die Signatur des Bleis bei Weitem überwiegen, sodass eigentlich nur die Herkunft des Bleis diskutiert werden kann. Wenn man systematische Querkontamination ausschliesst (s. o. S. 226), bleibt nur der Schluss, dass sowohl das Kupfer als auch das Blei aus derselben Region stammen. Das ist nicht unmöglich, denn die meisten Buntmetallagerstätten sind nicht monomineralisch, sondern enthalten sowohl Kupfer- als auch Bleierze.

Wenn man nun Bleiisotopenverhältnisse in verschiedenen Lagerstätten in Europa zum Vergleich heranzieht, könnte man vermuten, dass eine Region in Frankreich oder England dafür infrage kommen kann (Abb. 2). Aber diese Darstellung vermittelt nur einen groben Überblick über die Bleiisotopenverhältnisse der bisher untersuchten Vorkommen. Die Isotopenverhältnisse sind auch nicht charakteristisch für eine ganze Region, sondern hängen von den geologischen Verhältnissen und dem Alter der Erzbildung ab. Wenn man im näheren Umfeld nach geeigneten Erzen sucht, so lassen sich zunächst die ostalpinen Kupferlagerstätten der Grauwackenzone ausschliessen, weil sie eine andere chemische Zusammensetzung haben und nahezu bleifrei sind. Auch die meisten Lagerstätten in der Schweiz kommen als Lieferant nicht infrage²⁸.

Für die enge Gruppe von neun Proben ausserhalb des Streufeldes der Bleilagerstätten bieten sich in Deutschland nur zwei Erzregionen an, nämlich der Taunus und der Harz (Abb. 3B)²⁹. Alle anderen Lagerstättenregionen lassen sich nach Manuela Frotzschers ebenfalls ausschliessen³⁰. Im Taunus ist bisher noch keine antike Nutzung bekannt geworden. Aber im Harz gibt es Hinweise auf eine kaiserzeitliche Ausbeutung der Erzvorkommen, auch für die Kupfergewinnung, wie sie zumindest für das Hochmittelalter bereits nachgewiesen ist³¹.

Fazit aus archäologischer Sicht

Die erneut durchgeführten chemischen Analysen an den Figuren des Augster Schrottfundes, diesmal am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH in Mannheim (Röntgenfluoreszenzanalyse), weichen bezüglich *Legierungsbestimmungen* kaum von den Erstanalysen mit der Atomabsorptionsmethode durch Josef Riederer ab³².

Diese Übereinstimmung ist auf die von uns favorisierte *Beprobung durch Bohren* zurückzuführen, welche Messungen an der veränderten Patina ausschliesst. Ungenauigkeiten resp. grössere Abweichungen können bei zu kleinen Probenmengen (< 30 mg) resp. bei bleireichen Objekten auftreten, wenn die Probe zu klein ist und dadurch der Heterogenität des Metallgefüges nicht gerecht wird, d. h. nicht repräsentativ für die Legierung ist. Es erweist sich als ratsam, Analyseproben mit einem 1 mm dicken Bohrer mindestens 1 cm tief zu nehmen, was rund 50 mg Material ergibt und auch für bleireiche Bronzen als genügend angesehen wird.

Die neu durchgeführten *Bleiisotopenuntersuchungen* am Augster Schrottfund geben für die bleireichen Statuenteile interessante Ergebnisse zur *Herkunft* des Metalls: Das Blei der Köpfe 1 und 2 (Abb. 16; 19) sowie von Pferd I (Abb. 25) und möglicherweise auch des bleiar­men Kopfes 3 (Abb. 22) stammt wahrscheinlich aus der *Nordeifel* (Abb. 3A). Das Rohmaterial von Statue D (Abb. 13) und von Pferd II (Abb. 28) scheint aufgrund neuester Indizien aus dem Taunus oder dem Harz zu stammen (Abb. 3B). Es erstaunt, dass die archäologisch und stilistisch einander zugewiesenen Statuen, Köpfe und Pferde (Tabelle 1) in keinem Fall einen übereinstimmenden Herkunftsort des Bleis ergeben haben!

Die Isotopenverhältnisse der *bleiar­men Bronzen* lassen keine eindeutige Lokalisierung zu und es ist im Einzelfall nicht möglich zu entscheiden, ob das wenige Blei als Spurenelement in Kupfer- und Zinnerzen oder als «Verunreinigung» zu deuten ist. In diese nicht lokalisierbare Gruppe gehören die Statuen A, B und C (Abb. 4; 7; 10).

28 Guénette-Beck u. a. 2009.

29 Lévêque/Haack 1993; Lévêque/Jacobus 1994, Abb. 3.

30 Frotzschers 2009.

31 Klappauf u. a. 2008, 66.

32 Riederer 1996; Riederer 2000.

Literatur

- Blanc u. a. 2010:* C. Blanc/J. Lutz/J.-C. Merlet/E. Pernicka, Analyses de cuivres et de bronzes protohistoriques du sud-ouest de la France. Résultats de la comparaison de méthodes analytiques. *Bull. Soc. Préhist. Française* 107, 2010, 767–774.
- Bode u. a. 2009:* 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. *Arch. and Anthr. Scien.* 1, 2009, 177–194.
- Brauns 1995:* C. M. Brauns, Isotopenuntersuchungen an Erzen des Siegerlandes (Diss. Univ. Giessen 1995).
- Caley 1964:* E. R. Caley, Analysis of ancient metals (Oxford u. a. 1964).
- Craddock 1977:* P. T. Craddock, The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman Civilisations. 1. The Greeks before the Archaic Period. *Journal Arch. Scien.* 3, 1977, 93–113.
- Durali-Müller u. a. 2007:* S. Durali-Müller/G. P. Brey/D. Wigg-Wolf/Y. Lahaye, Roman lead mining in Germany: its origin and development through time deduced from lead isotope provenance studies. *Journal Arch. Scien.* 34, 2007, 1555–1567.
- Frotzsch 2009:* M. Frotzsch, Geochemische Charakterisierung von mitteleuropäischen Kupfervorkommen zur Herkunftsbestimmung des Kupfers der Himmelsscheibe von Nebra (Diss. Martin-Luther-Univ. Halle 2009).
- Gale/Stos-Gale 2000:* N. H. Gale/Z. Stos-Gale, Lead isotope analyses applied to provenance studies. In: E. Ciliberto/G. Spoto (Hrsg.), *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*. Chemical Analysis 155 (New York u. a. 2000) 503–584.
- Grögler u. a. 1966:* N. Grögler/J. Geiss/M. Grünenfelder/F. G. Houtermans, Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft römischer Bleirohre und Bleibarren. *Zeitschr. Naturforsch.* 21a, 1966, 1167–1172.
- Guénette-Beck/Furger 2004:* B. Guénette-Beck/A. R. Furger, Blei für Augusta Raurica. *Jahresber. Augst u. Kaiseraugst* 25, 2004, 245–272.
- Guénette-Beck u. a. 2009:* B. Guénette-Beck/N. Meisser/P. Curdy, New insights into the ancient silver production of the Wallis area, Switzerland. *Arch. and Anthr. Scien.* 1, 2009, 215–229.
- Hughes 1980:* M. J. Hughes, Analysis of Roman Tin and Pewter Ingots. In: W. A. Oddy (Hrsg.), *Aspects of Early Metallurgy*. British Mus. Occasional Paper 17 (London 1980) 41–50.
- Hunger u. a. 2009:* K. Hunger/E. Hildbrand/V. Hubert/M. Wörle, Chemische und werkstoffkundliche Analysen an römischen Siegelkapseln aus Augusta Raurica. In: A. R. Furger/M. Wartmann/E. Riha, *Die römischen Siegelkapseln aus Augusta Raurica*. *Forsch. Augst* 44 (Augst 2009) 115–138.
- Janietz Schwarz/Rouiller 1996:* B. Janietz Schwarz/D. Rouiller (mit Beitr. v. M. Maggetti/Th. Reiss/J. Riederer/B. Rütli/E. Schaller), Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der beiden Pferdestatuen und Untersuchungen zur Herstellungstechnik. *Forsch. Augst* 20 (Augst 1996).
- Janietz 2000:* B. Janietz (mit Beitr. v. M. Maggetti/J. Riederer/M. Wartmann, unter Mitarbeit v. E. Schaller und Abteilung Schaden- und Werkstoffanalytik, Sulzer Innotec AG), Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der Gewandfiguren. *Forsch. Augst* 30 (Augst 2000).
- Kaufmann-Heinimann/Liebel 1994:* A. Kaufmann-Heinimann/D. Liebel, Legierungen figürlicher Bronzen aus der Colonia Raurica. *Jahresber. Augst u. Kaiseraugst* 15, 1994, 225–238.
- Klappauf u. a. 2008:* L. Klappauf/C. Bartels/F.-A. Linke/B. Asmus, Das Montanwesen am Rammelsberg und im Westharz. In: M. Brandt (Hrsg.), *Bild und Bestie: Hildesheimer Bronzen der Stauferzeit* (Regensburg 2008) 65–76.
- Klein u. a. 2007:* S. Klein/C. Rico/Y. Lahaye/H.-M. von Kaenel/C. Dornier/G. P. Brey, Copper ingots from the western Mediterranean sea: chemical characterization and provenance studies through lead- and copper isotope analyses. *Journal Roman Arch.* 20, 2007, 202–221.
- Krahn 1988:* L. Krahn, Buntmetall-Vererzung und Blei-Isotopie im linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten (Diss. RWTH Aachen 1988).
- Kuhnen/Bunk 2003:* H.-P. Kuhnen/W. G. J. Bunk, Roman time copper ingots found at Trier: original and experiment. In: *Archaeometallurgy in Europe*. Proceedings of the International Conference (Milano 2003) 2, 393–401.
- Lévêque/Haack 1993:* J. Lévêque/U. Haack, Pb isotopes of hydrothermal ores in the Harz. *Monogr. Ser. Mineral Deposits* 30, 1993, 197–210.
- Lévêque/Jakobus 1994:* L. Lévêque/R. Jakobus, Bleiisotope in Galeniten der postvariszischen Quarz- und Mineralgänge des Osttaunus. *Geol. Jahrb. Hessen* 122, 1994, 75–80.
- Lutz/Pernicka 1996:* J. Lutz/E. Pernicka, Energy dispersive x-ray fluorescence analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy. *Archaeometry* 38, 1996, 313–323.
- Morel/Chevalley 2001:* J. Morel/Ch. Chevalley, La fabrication de grands bronzes à Avenicum: une fosse de coulée dans l'insula 12. *Bull. Assoc. Pro Aventico* 43, 2001, 141–162.
- Peltz/Schalles 2012:* U. Peltz/H.-J. Schalles (Hrsg.), *Der Jüngling aus dem Rhein*. Neubeschreibung und Technologie des «Xantener Knaben» (Regensburg 2012).
- Pernicka 1989:* E. Pernicka, Zur Probenahme von archäologischen Metallobjekten. *Arbeitsbl. Restauratoren* 22, 1989, 138–148.
- Pernicka 1990:* E. Pernicka, Gewinnung und Verarbeitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrb. RGZM* 37, 1990, 21–129.
- Riederer 1996:* J. Riederer, Die Metallanalyse. In: Janietz Schwarz/Rouiller 1996, 120–143.
- Riederer 2000:* J. Riederer, Die Metallanalyse der Statuenfragmente aus dem Augster Schrottfund. In: Janietz 2000, 17–28.
- Riederer 2001:* J. Riederer, Die Berliner Datenbank von Metallanalysen kulturgeschichtlicher Objekte. III. Römische Objekte. *Berliner Beitr. Archäometrie* 18, 2001, 139–259.
- Schneider 1994:* J. Schneider, Geochemische Untersuchungen zur Genese von Buntmetallvererzungen in der Nordeifel (Dipl.-Arb. Univ. Giessen 1994).
- Schwab u. a. 2008:* R. Schwab/G. Eggert/E. Pernicka/F. Willer, Zu den Bronzefunden aus dem Schiffswrack von Mahdia. Alte Proben, neue Untersuchungen. *Bonner Jahrb.* 208, 2008, 5–28.
- Tylecote 1962:* R. F. Tylecote, *Metallurgy in archaeology* (London 1962).
- Werner 1970:* A. E. A. Werner, Analysis of ancient metals. *Phil. Transactions Royal Society London A* 269, 1970, 179–185.
- Zimmer 1989:* G. Zimmer, Antike Bronzegusswerkstätten. *Arbeitsbl. Restauratoren* 22, 1989, 240–245.

Abbildungsnachweis

Abb. 1:

Foto Alex R. Furger.

Abb. 2; 3A; 3B:

Grafiken Ernst Pernicka.

Abb. 4–30:

Zeichnungen nach Janietz Schwarz/Rouiller 1996 und Janietz 2000 (siehe Tabelle 1); Fotos Julia Wicha 2009 (Abb. 6: 2011).

Tabelle 1:

Tabelle Alex R. Furger.

Tabellen 2; 3:

Tabellen Roland Schwab.

Anhang: Fundkatalog und Beprobungsdokumentation

Augst/BL, «Schrottfund», Statue A (zu Kopf 1 resp. Pferd II) Proben MA-112306, MA-091824 und MA-091825, Inv. 1961.14167

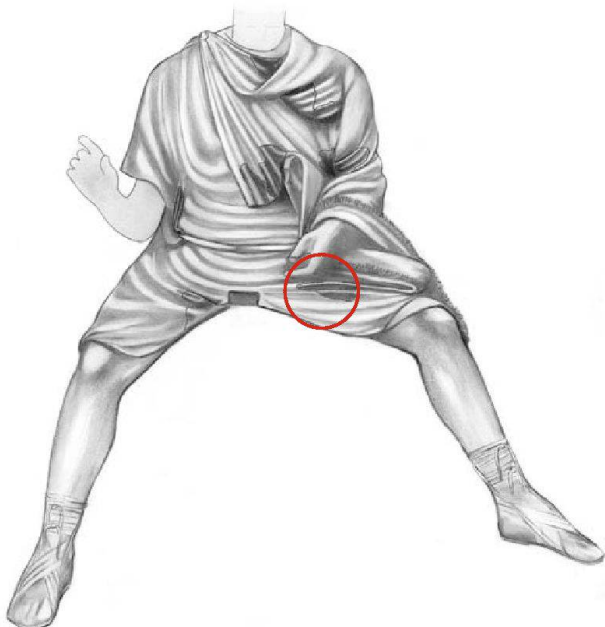


Abb. 4: M. 1:25.

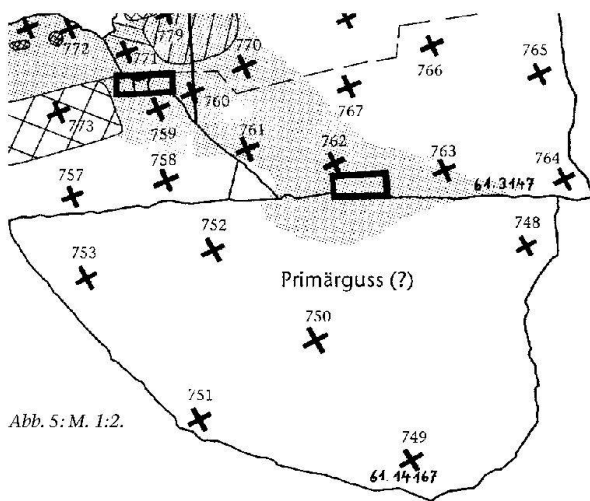


Abb. 5: M. 1:2.

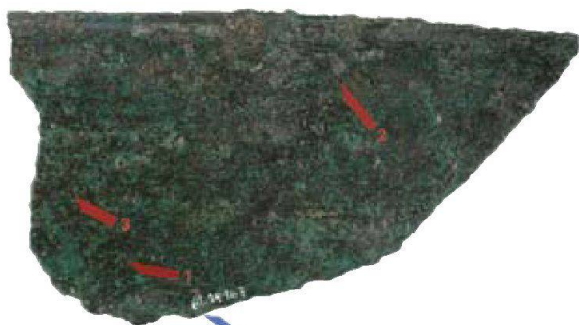


Abb. 6: M. 1:2.

Augst/BL, «Schrottfund», Statue B (zu Pferd I) Probe MA-091826, Inv. 1961.2827



Abb. 7: M. 1:16.

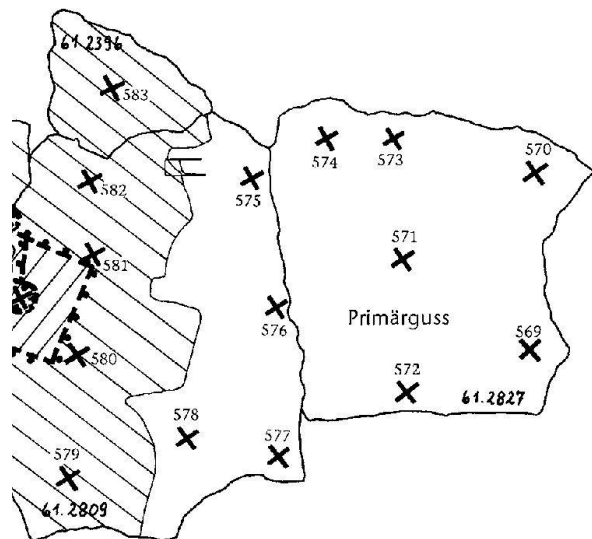


Abb. 8: M. 1:2.



Abb. 9: M. 1:2.

Augst/BL, «Schrottfund», Statue C (zu Kopf 3)
 Proben MA-091827 und MA-091828, Inv. 1961.2812



Abb. 10: M. 1:16.

Augst/BL, «Schrottfund», Statue D (zu Kopf 2)
 Proben MA-091829 und MA-091830, Inv. 1961.2304

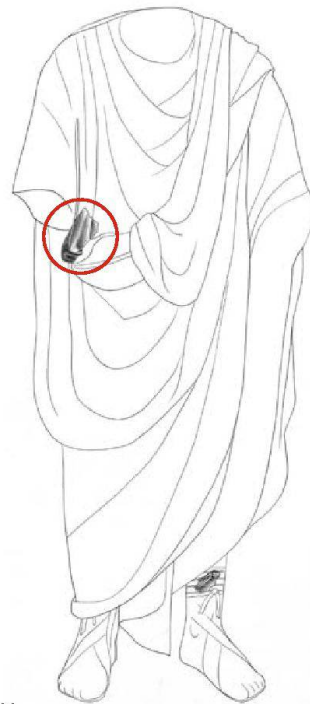


Abb. 13: M. 1:20.

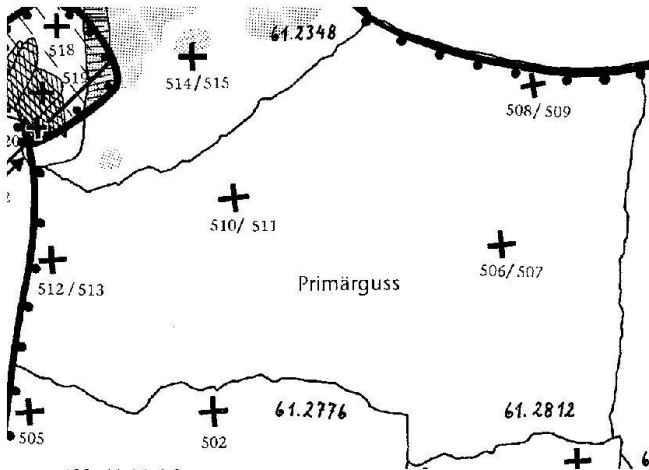


Abb. 11: M. 1:2.

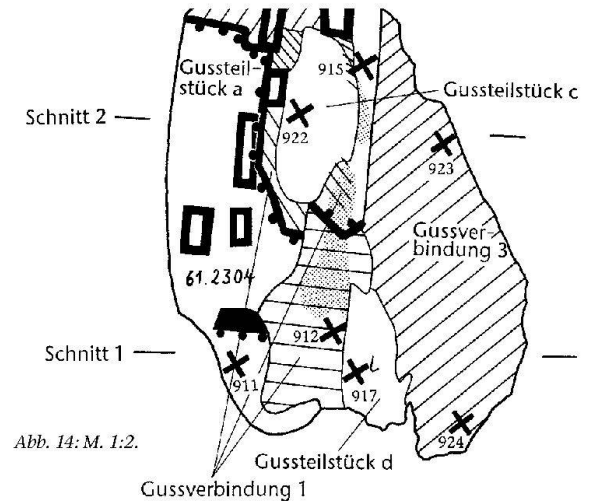


Abb. 14: M. 1:2.



Abb. 12: M. 1:2.



Abb. 15: M. 1:2.

Augst/BL, «Schrottfund», Kopf 1 (zu Statue A resp. Pferd II) Probe MA-091831, Inv. 1961.2002

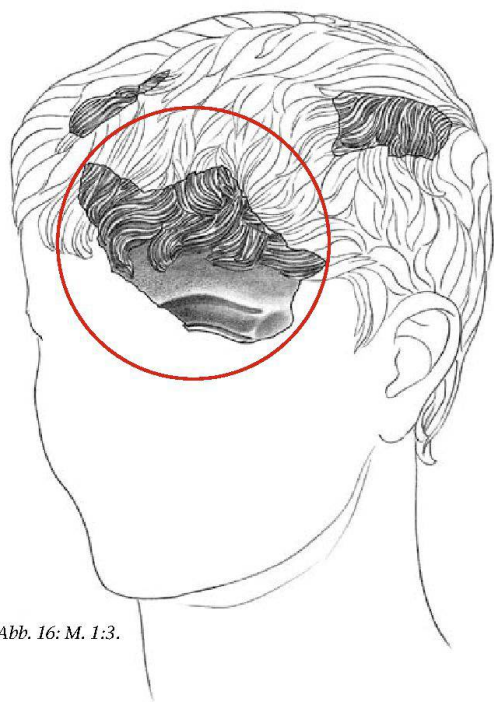


Abb. 16: M. 1:3.

Augst/BL, «Schrottfund», Kopf 2 (zu Statue D) Probe MA-091832, Inv. 1961.2819

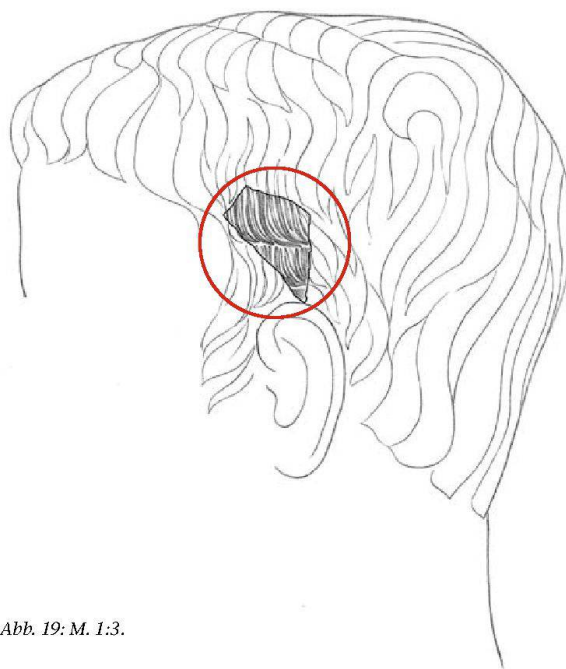


Abb. 19: M. 1:3.

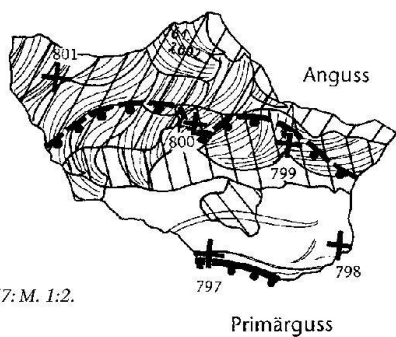


Abb. 17: M. 1:2.

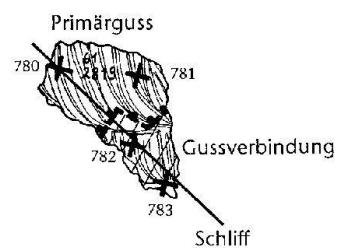


Abb. 20: M. 1:2.



Abb. 18: M. 1:2.



Abb. 21: M. 1:2.

Augst/BL, «Schrottfund», Kopf 3 (zu Statue C)
 Proben MA-091833 und MA-091834, Inv. 1961.2007

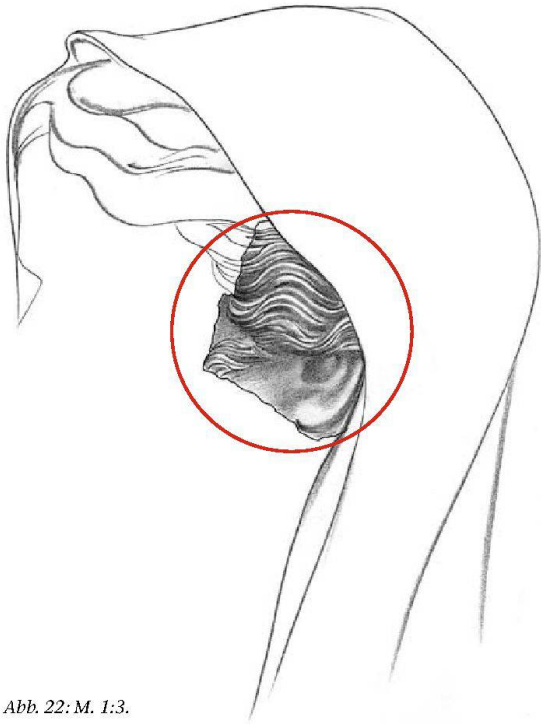


Abb. 22: M. 1:3.

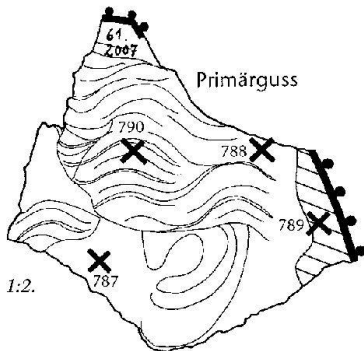


Abb. 23: M. 1:2.



Abb. 24: M. 1:2.

Augst/BL, «Schrottfund», Pferd I (zu Statue B)
 Probe MA-091835, Inv. 1961.2878

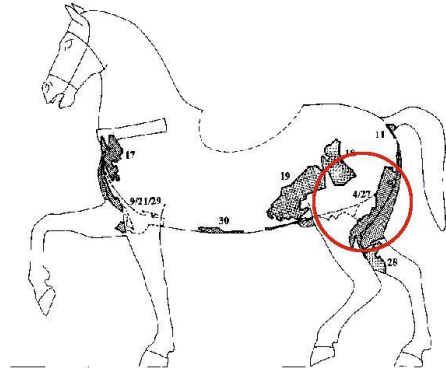


Abb. 25: M. 1:40.

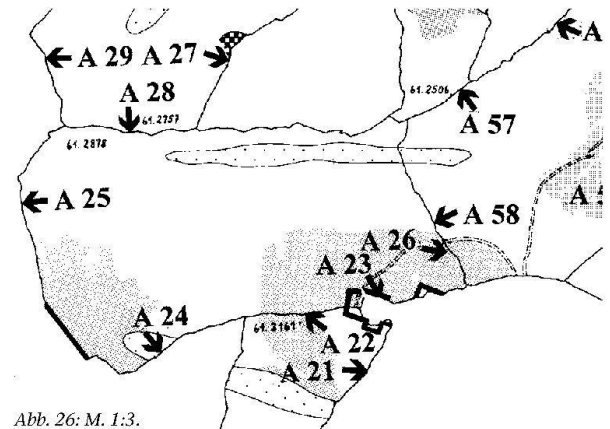


Abb. 26: M. 1:3.



Abb. 27: M. 1:3.

Augst/BL, «Schrottfund», Pferd II (zu Statue A resp. Kopf 1) Probe MA-091836, Inv. 1961.2366

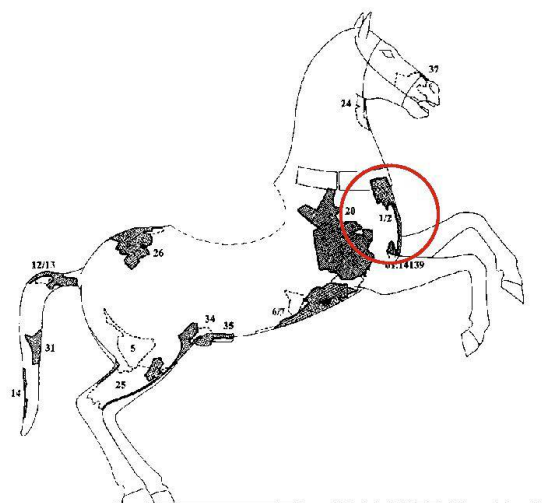


Abb. 28: M. 1:40.

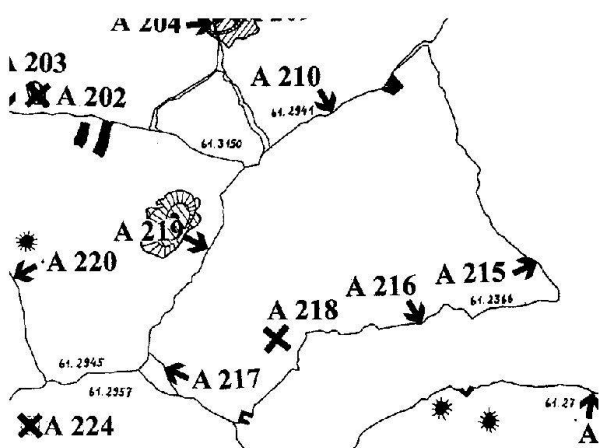


Abb. 29: M. 1:3.

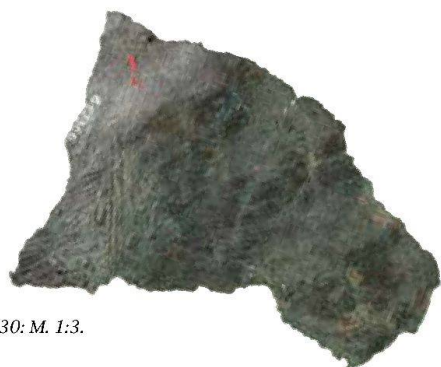


Abb. 30: M. 1:3.