

Susanne Greiff

Silberfunde aus Szeged-Kiskundorozsma (Ungarn). Eine legierungstechnische Diskussion über den möglichen Zusammenhang zwischen Schmuckwaren und Münzsilber im 10. Jahrhundert

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts *Reiterkrieger – Burgenbauer: die frühen Ungarn und das ‚Deutsche Reich‘ vom 9. bis zum 11. Jahrhundert* wurden an Funden frühungarischer Silberwaren des 10. Jahrhunderts minimalinvasive chemische Legierungsanalysen durchgeführt. Anhand einer stichprobenartigen Gegenüberstellung von Schmucksilber aus Grab 595 und Münzen aus Grab 100 von Szeged-Kiskundorozsma wurde die Frage diskutiert, ob die untersuchten Silbermünzen dieses Fundortes ohne weitere Veränderung der Legierung zur Herstellung der dort gefundenen silbernen Beschläge zu verwenden gewesen wären. Die Analysen zeigten, dass die Mehrzahl der Münzen sich deutlich von den Beschlägen unterscheidet, jedoch eine Prägung Hugos von Provence große Ähnlichkeiten mit drei Objekten aufweist und als Ausgangsmaterial für deren Herstellung hätte dienen können.

Keywords: Silberlegierungen; Frühe Ungarn; Szeged-Kiskundorozsma; Silbermünzen; Zusammensetzung; Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse.

As part of a research project *Reiterkrieger – Burgenbauer: die frühen Ungarn und das ‚Deutsche Reich‘ vom 9. bis zum 11. Jahrhundert* (Knight warriors – Castle builders: The early Hungarians and the ‘German empire’ from the 9th to the 11th century) early Hungarian silver finds dating to the 10th century from graves found at Szeged-Kiskundorozsma were analysed by Micro-X-ray fluorescence for their silver alloy compositions. By comparing the coins from grave 100 and the jewellery from grave 595 we investigated whether the coins could have had the appropriate composition to produce the silver fittings found on site without further alloying procedures. The majority of the coins was clearly different from the silver fittings, with the exception of one coin issued by Hugh of Provence which had a composition very

Barbara Armbruster, Heidemarie Eilbracht, Oliver Hahn, Orsolya Heinrich-Tamáska (eds.) |
Verborgenes Wissen: Innovation und Transformation feinschmiedetechnischer Entwicklun-
gen im diachronen Vergleich | Berlin Studies of the Ancient World 35 (ISBN 978-3-9816751-5-3;
URN urn:nbn:de:kobv:188-fudocsdocument00000024684-8) | www.edition-topoi.de

similar to three of the analysed artefacts; such coins could have served as the material used to produce the silver ornaments.

Keywords: Silver alloys; Early Hungarians; Szeged-Kiskundorozsma; silver coins; composition; Micro X-ray fluorescence.

Folgender Beitrag der Autorin erschien in ungarischer Sprache unter dem Titel *A Szeged-Kiskundorozsma, bosszúháti ezüstleletek ötvöztéchnikai vizsgálata. Adatok a 10. századi fémmelékletek és ezüstpénzek lehetséges összefüggéseiről*, in der Gedenkschrift für Livia Bende: Móra Ferenc Múzeum Évk. – Studia Arch. 11, 2011, 481–491. Die Publikation ist Bestandteil eines Kooperationsprojektes zwischen dem Móra Ferenc Múzeum Szeged und dem RGZM Mainz mit dem Titel *Coins and prosperity: Multidisciplinary studies on rich female burials dating to the 10th century in the Carpathian Basin*. – Ich danke den Kollegen Dr. Attila Türk (Péter Pázmány Katholische Universität Budapest) und Dr. Gábor Lőrinczy (Szeged) für die freundliche Überlassung des Probenmaterials und die Bereitstellung von Berichten und Literaturhinweisen. Dr. Bendeguz Tobias (Universität Innsbruck) hat mich dankenswerterweise bei der Suche nach Analysen von Silbermünzen des 10. Jahrhunderts unterstützt.

1 Einführung

Das Fundspektrum frühungarischer Gräber im Karpatenbecken des 10. Jahrhunderts zeichnet sich nicht zuletzt durch eine Fülle von mit Silber verzierten Grabbeigaben aus. Eine Zusammenstellung verschiedener Grabinventare war 2006 in einer Sonderausstellung des Römisch-Germanischen Zentralmuseums in Mainz zu sehen. Unter dem Titel „Heldengrab im Niemandsland – Ein frühungarischer Reiter aus Niederösterreich“¹ wurden einem Knabengrab aus dem österreichischen Gnadendorf Waffen und Reiterausrüstungen aus Karos, Szeged und vielen anderen bekannten frühungarischen Fundorten gegenüber gestellt.²

Diese Zusammenschau wurde zum Anlass genommen, die Funde im Mainzer Archäometrielabor legierungsanalytisch zu untersuchen, nachdem die Gnadendorfer Objekte zuvor bereits in der VIAS³ analysiert worden waren. Die Ergebnisse liegen pu-

1 Daim 2006.

2 Es handelte sich bei den analysierten Stücken um reiternomadische Funde aus Gnadendorf, Österreich, aus Geszteréd – Kecskelátó dűlő (Kreis Szabolcs-Szatmár-Bereg, Ungarn); Budapest – Farkasréti (Kreis Pest, Ungarn); Budapest – Farkasréti; Karos – Eperjesszög (Kreis Borsod-Abaúj-Zemplén,

Ungarn), Friedhof III/Grab 11; Karos – Eperjesszög, Friedhof III/Grab 11; Karos – Eperjesszög, Friedhof II/ Grab 52; Szob – Kiserdő (Kreis Pest, Ungarn); Musca [ung. Muszka] (Kreis Arad, Rumänien).

3 Archäologisches Institut der Universität Wien (VIAS), Analysen: Dr. Matthias Mehofer.

bliziert vor.⁴ Dabei hat sich herausgestellt, dass einige der im Zusammenhang mit der Mainzer Ausstellung analysierten Silberfunde⁵ hier neben den sonst üblichen Gehalten an Kupfer, Blei und Gold auch Zink und Zinn in Prozentbereichen enthielten, die über eine zufällige Verunreinigung deutlich hinaus gehen. Auch die Kupfergehalte waren bei vielen Stücken deutlich erhöht. Dieses Phänomen ließ sich eindeutig an der Herstellungstechnik der jeweiligen Objekte festmachen, denn diese Beimischungen wurden vornehmlich an gusstechnisch erzeugten Silberwaren beobachtet.

Im Jahr 2010 wurden die Analysenserien zum frühungarischen Silber dann an den Funden aus Szeged-Kiskundorozsma fortgeführt,⁶ unter besonderer Berücksichtigung der Frage, ob die Legierungen der in den Gräbern aufgefundenen Silbermünzen dieses Fundortes ohne weitere Metallzusätze bereits für die Erzeugung der silbernen Beschläge zu verwenden gewesen wären. Dies sollte bei dem Material von Szeged-Kiskundorozsma nur stichprobenartig an zwei Gräbern (595 und 100) überprüft werden. Darüber hinaus wurden routinemäßig auch weitere Funde aus Buntmetall und Gold analytisch mit Hilfe der Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse („Mikro-RFA“) untersucht.⁷ Die Mikro-RFA Methode ist eine oberflächensensitive Methode, d. h. sie erfasst nur Bruchteile von Millimetern der obersten Schicht eines Objektes. Im Falle von Bodenfunden sind die chemischen Informationen damit stark von Auslaugungsprozessen und Korrosionsablagerungen beeinflusst. Dementsprechend muss darauf geachtet werden, die Proben sorgfältig zu präparieren, um eine authentische Analyse der Legierungen zu erhalten. Selbst optisch nicht erkennbare Korrosionserscheinungen können die Ergebnisse extrem verfälschen.

4 Mehofer und Greiff 2006; Greiff, Mehofer und Révész 2007.

5 S. oben.

6 Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *Reiterkrieger – Burgenbauer: die frühen Ungarn und das ‚Deutsche Reich‘ vom 9. bis zum 11. Jahrhundert des RGZM* verfasst. Vgl. hierzu auch Greiff 2012.

7 Die Analysen wurden dankenswerterweise durchgeführt von Frau Dipl.-Ing. Sonngard Hartmann; mit der Mikro-RFA Methode lassen sich die meisten chemischen Elemente in einer Probe identifizieren und auch deren Mengenanteile in Gewichtsprozent bestimmen. Die Probe wird dabei durch eine dünne Glasfaserkapillare mit Röntgenstrahlung beschossen. Diese primäre Strahlung regt dabei in der Probe eine sekundäre Strahlung an, die Fluoreszenzstrahlung. Der Messfleck beträgt nur 0,3 mm, d. h. es lassen sich auch feine Strukturen, die kleiner als 1 mm sind, analysieren, daher der Zusatz „Mikro“.

Die sekundäre Strahlung, die die chemischen Elemente in der Probe aussenden, bestehen aus charakteristischen Linien für jedes Element. Die Intensität der Linie ist indirekt abhängig von dem jeweiligen Mengenanteil in der Probe. Im Detektor werden die verschiedenen Linien zu einem Spektrum zusammengestellt, das sich dann qualitativ und quantitativ auswerten lässt. – Messparameter: Modell EAGLE III der Firma Roanalytic, Taurusstein; Rhodium-Röhre mit max. 40 kV, 1 mA, Hersteller: Oxford Instruments; Si(Li)-Detektor, Hersteller: EDAX, Auflösung 148 eV für MnK α ; Probenkammer: 75 x 75 x 135 cm; Röntgenoptik: Monokapillare mit 0,3 mm Brennfleck (entspr. Analysenfläche); EDAX-Analytik, stickstoffgekühlt. Analysenbedingungen: Röhrenparameter 40 kV, 125 μ A in Luft für Buntmetalle, 300 μ A für Silber; Filter Titan 25; Quantifizierung erfolgte auf Basis kommerziell erhältlicher Standardproben. Messzeit 500 Lsec.

2 Die Silberfunde von Szeged-Kiskundorozsma

Die Untersuchungen bezogen sich auf das Inventar von Grab 595, aus dem keine Münzen zur Analyse vorlagen, und auf vier Münzen aus Grab 100. Darüber hinaus wurden Recherchen zu publizierten Analysedaten an Silbermünzen durchgeführt, welche im 9. und 10. Jahrhundert in Ungarn in Umlauf gewesen sind oder zumindest hätten sein können.

Die untersuchten Silberobjekte aus Grab 595 umfassten mehrere kleine, in Gusstechnik hergestellte silbervergoldete Beschläge, einen Armreif, einen Ohrring und einen Anhänger (Abb. 1). Dazu kamen ein Goldring sowie ein kleines Beschlagsblech aus Gold, deren Analyseergebnisse hier der Vollständigkeit halber mit aufgeführt werden.

Für Grab 100 sind mit den 18 geborgenen Münzen fünf verschiedene Typen belegt, die in Frankreich und Italien geprägt wurden. Sie datieren zwischen 888 und 950.⁸ Die Art der Niederlegung variierte: Eine oder zwei Münzen waren wohl als Totenobuli vorgesehen, die anderen Exemplare dienten als Verzierung des Gürtels und des Schuhwerks. Es befinden sich darunter Prägungen von Berengar, Hugo von Provence und Lothar II. aus verschiedenen italischen Münzstätten sowie mehrere französische Denare, die nicht genauer zuzuordnen sind. Vier Münzen wurden zur Analyse vorgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Silberobjekte aus Grab 595

Die für die Legierungsanalysen ausgewählten neun Silberobjekte aus Grab 595 zeigen ausnahmslos einen hohen bis sehr hohen Kupfergehalt, der in seiner Höhe und Systematik eine zufällige oder natürliche Beimengung weit übersteigt (Tab. 1). Andere Beimengungen sind in Gehalten von mehr als 1,5 % ihres Gewichtsanteils nicht vertreten. Somit werden die Haupteigenschaften der Legierung wie Schmelzpunkt, Härtebarkeit, Festigkeit und Farbe hauptsächlich durch das Kupfer bestimmt. Dieser lineare Zusammenhang zwischen Silber und Kupfer ist auch an Abb. 2 ablesbar, in der die Daten für die Elemente Silber und Kupfer in Abhängigkeit voneinander aufgetragen sind.

Kupfer: Der Kupfergehalt erstreckt sich zwischen 14,4 und 47 % Kupfer und ergibt eine gut definierte Verdünnungslinie mit Silber (vgl. Abb. 2). Das Kupfer ist somit die prägende Komponente für die Eigenschaften der Legierung des jeweiligen Objektes.

Blei: Blei ist in geringen Mengen in fast jedem antiken Silberobjekt nachweisbar. Da Silber meist aus Bleierzen gewonnen wurde und zudem durch verbleiendes Schmelzen

⁸ Bende, Lőrinczy und Türk 2001, 384.



Abb. 1 Szeged-Kiskundorozsma: Chemisch analysierte Silberobjekte aus Grab 595 (mit Ausnahme des Armreifs MFM 2010.03.24) und Münzen aus Grab 100, im Maßstab 1:2. Die Münzen sind jeweils mit Vorder- und Rückseite abgebildet. Die Nummerierung entspricht der auch in Tab. 1 verwendeten Fundnummerierung des Móra Ferenc Múzeum Szeged.

gereinigt wurde,⁹ sind gewisse Bleianteile bis zu etwa einem Gewichtsprozent zu erwarten. Eine statistische Auswertung zeigt, dass in antiken Silberlegierungen mit mehr als 95 % Ag ein Bleigehalt von 1,2 % Pb kaum überschritten wird.¹⁰ Wir verzeichnen hier bei den Objekten aus Grab 595 etliche Stücke, die dieses Limit überschreiten, wie z. B. der Nietkopf (MFM¹¹ 2010.03.20) mit einem Bleigehalt von 1,51 % Blei oder die Zierscheibe (MFM 2010.03.19 mit 1,86 %). Ein Beschlag (MFM 2010.03.02) und eine Zierscheibe (MFM 2010.03.06) zeigen hier mit immerhin noch 1,13 und 1,10 % Pb die niedrigsten Werte. Insgesamt ist bei allen aus Grab 595 untersuchten Objekten der Bleigehalt signifikant erhöht.

Gold: Abgesehen von der Vergoldung, die aufgrund ihrer Quecksilbergehalte ausnahmslos als Feuervergoldung identifizierbar ist, besitzen auch die Silberlegierungen selbst stets gewisse geringe Goldanteile, denn bei der Gewinnung bzw. Reinigung des Silbers mittels Kupellation verhalten sich beide Edelmetalle chemisch auf die gleiche

9 S. unten.

10 Wanhill 2003, 13.

11 MFM = Móra Ferenc Múzeum, Szeged. Vgl. auch Tab. 1, wo dieses Kürzel vor den Inventarnummern ebenfalls erwähnt wird.

	Objekt	RGZM-Nr	Bauteil	Cu	Zn	Au	Pb	Bi	Ag
MFM 2002.18.4	Silbermünze	10-93		3.53		1.16	0.58	Spuren	94.68
MFM 2002.18.5	Silbermünze	10-91		23.75		0.54	1.19	Spuren	74.46
MFM 2002.18.7	Silbermünze	10-90		12.37		0.56	1.14	0.12	85.82
MFM 2002.18.8	Silbermünze	10-92		4.86		0.77	0.84	Spuren	93.47
MFM 2010.03.02	Beschlag	10-41		25.71	n.n.	0.76	1.13	Spuren	72.31
MFM 2010.03.03	Zierscheibe	10-44	Scheibe	34.53	0.78	0.67	1.61	n.n.	62.41
MFM 2010.03.03	Zierscheibe	10-44	Niet	34.31	0.54	0.52	1.47	n.n.	63.17
MFM 2010.03.03	Zierscheibe	10-44	Scheibe	31.73	0.74	0.75	1.60	n.n.	65.17
MFM 2010.03.03	Zierscheibe	10-44	Niet	34.31	0.54	0.52	1.47	n.n.	63.17
MFM 2010.03.04	Zierscheibe	10-45	Scheibe	32.37	n.n.	0.79	0.23	n.n.	66.63
MFM 2010.03.04	Zierscheibe	10-45	Niet			0.57	1.54	n.n.	58.54
MFM 2010.03.05	Zierscheibe	10-46	Scheibe	47.12	0.69	0.58	1.32	n.n.	50.30
MFM 2010.03.05	Zierscheibe	10-46	Niet 1	29.73	0.35	0.67	1.61	n.n.	67.52
MFM 2010.03.05	Zierscheibe	10-46	Niet 2	31.77	0.62	0.65	1.59	n.n.	65.22
MFM 2010.03.05	Zierscheibe	10-46	Niet 3	31.53	0.37	0.79	1.93	n.n.	65.28
MFM 2010.03.06	Zierscheibe	10-42		46.37	n.n.	0.37	1.10	Spuren	52.10
MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Scheibe	14.03	0.41	0.67	1.79	n.n.	83.00
MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Niet1	11.24	0.24	0.62	1.60	n.n.	86.09

MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Niet2	7.55	0.22	0.66	1.52	n.n.	89.96
MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Scheibe	14.03	0.41	0.67	1.79	n.n.	83.00
MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Niet1	11.24	0.24	0.62	1.60	n.n.	86.09
MFM 2010.03.07	Beschlag	10-43	Niet2	7.55	0.22	0.66	1.52	n.n.	89.96
MFM 2010.03.19	Zierscheibe	10-47	Scheibe	15.93	0.17	0.61	1.64	0.20	81.40
MFM 2010.03.19	Zierscheibe	10-47	Niet	22.36	0.23	0.65	1.86	0.20	74.64
MFM 2010.03.20	Nietkopf	10-48		21.95	0.23	0.72	1.51	0.18	75.41
MFM 2010.03.20	Nietkopf	10-48	Niet	29.27	0.25	0.52	1.49	0.19	68.29
MFM 2010.03.24	Armreif	10-49		35.73	1.13	0.32	1.51	0.26	61.05

Tab. 1 Ergebnisse in Gewichtsprozent der Legierungsanalysen mittels Mikro-RFA. „Spuren“ heißt unter 0,1%; „n.n.“ heißt nicht nachgewiesen; an allen gemessenen Stellen ist Oberfläche abgetragen worden.

Art und Weise. Meist liegen deren Gehalte unter einem Gewichtsprozent, können aber auch stärker erhöht sein, wenn mit Recycling von vergoldeten Altmetallen gerechnet werden muss. Mit 0,3 bis 1,0 % entsprechen die Silberobjekte aus Grab 595 dem üblichen Verteilungsmuster antiker Silberobjekte.

Wismut: Bei einigen Stücken wurden Wismutgehalte (chemische Abkürzung Bi) nachgewiesen, die aber alle in etwa um die Nachweisgrenze der Mikro-RFA-Anlage von ca. 0,1 % Bi liegen. Einige Objekte (Zierscheibe MFM 2010.03.19, Nietkopf MFM 2010.03.20 und Armreif MFM 2010.03.24) haben höhere Wismutgehalte um 0,2–0,3 %.

Wismut ist ein Metall, welches typischerweise in Silber- und Bleierzen auftritt. Es kann bis zu 1,5 % und mehr in antiken Silberlegierungen vorhanden sein.¹² Die Wismutgehalte sind von Lagerstätte zu Lagerstätte unterschiedlich. Solche niedrigen Werte wirken sich nicht merklich auf die schmiedetechnischen Eigenschaften des Werkstoffes Silber aus. Bei der Kupellation verteilt sich das Wismut auf Bleigliätte und Silber, jedoch führen hohe Gehalte im Ausgangsmaterial auch zu höheren Werten in der späteren Silberlegierung.¹³ Gehalte bis 1 % Bi werden als typisch für kupelliertes Silber angesehen.¹⁴

Zink: Zink ist selten in Silber zu finden und auch bei den Funden aus Grab 595 liegen die Gehalte kaum über einem Prozent. Der Armreif ist mit einem Mittelwert von

12 Gale und Stós-Gale 1981.

14 Mc Kerrell und Stevenson 1972.

13 Mc Kerrell und Stevenson 1972.

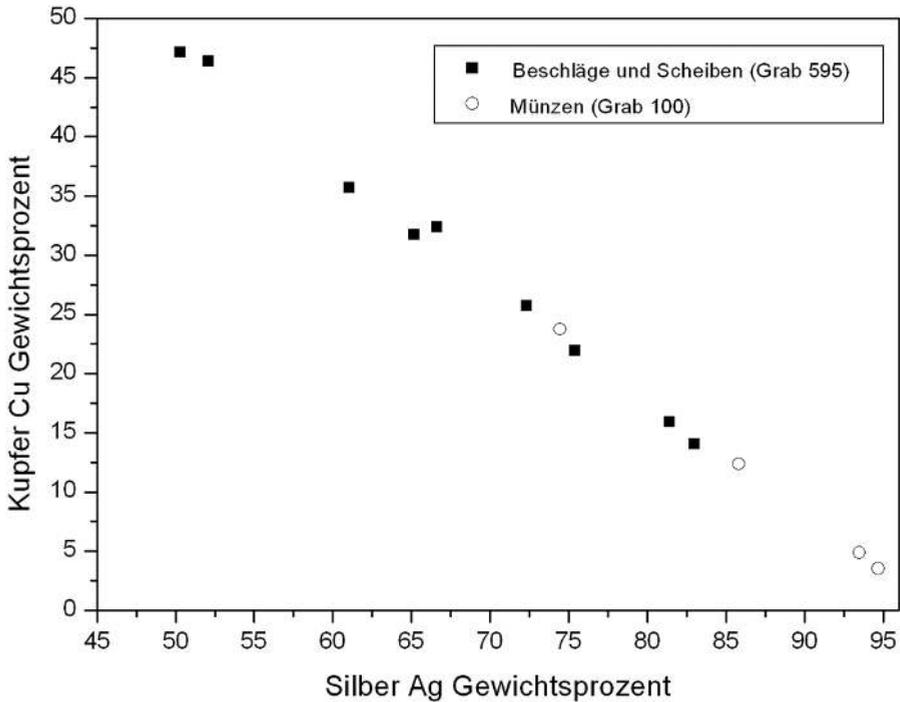


Abb. 2 Die untersuchten Objekte aus Grab 595 und eine Münze aus Grab 100 zeigen einen hohen Kupfergehalt, der den Silberlegierungen seine charakteristischen Eigenschaften verleiht.

1,13 % das Objekt mit dem höchsten Anteil. Die meisten liegen gar unter der Nachweisgrenze des Analysengerats, die 0,01 % Zn beträgt. Die drei Zierscheiben (MFM 2010.03.03, MFM 2010.03.05 und MFM 2010.03.19) liegen zwischen 0,4 und 0,74 %, ansonsten besitzt ein Beschlag (MFM 2010.03.07) einen Gehalt von 0,41 % und ein Nietkopf (MFM 2010.03.20) von 0,24 %.

3.2 Weitere Metallobjekte aus Grab 595

Neben den bereits besprochenen Silberobjekten wurden auch einige Metallobjekte aus Buntmetall und Gold untersucht.

Goldring (MFM 2010.03.08):¹⁵ Der Ring besteht aus einer Ringschiene und einer Fassung, in der sich ein blaue, leicht verwitterte Einlage befindet, die sich unter dem Mikroskop als ursprünglich transparentes Material zu erkennen gibt. Dieses

15 Schwerpunkt der Analysenserien bildeten die Silberobjekte. Goldring und Pressblech sind daher

nicht in Tab. 1 aufgeführt und werden hier nur kurz umrissen.

konnte analytisch als Natron-Kalkglas identifiziert werden, das mit Kupfer und Kobalt blau gefärbt wurde. Ringschiene und Fassung bestehen aus einer kupferhaltigen Gold-Silberlegierung mit 67,2 % Gold, 26,6 % Silber und 6,2 % Kupfer. Weitere Elemente konnten nicht nachgewiesen werden. Die Lötstelle zwischen Schiene und Fassung ist mit einer stärker kupferhaltigen Gold-Silberlegierung hergestellt worden, während die Lötstelle auf der Fassung selbst aus einem Silberlot mit über 80 % Silber besteht.

Pressblech (MFM 2010.03.23): Das kleine Blech besteht aus einer Goldlegierung mit 83,7 % Gold, 12,9 % Silber und 3,4 % Kupfer. Hier wurden an allen vier untersuchten Probepunkten Spuren von Palladium gefunden.

3.3 Münzen aus Grab 100

Die vier untersuchten Münzen (vgl. Abb. 1) datieren zwischen 888 und 950.¹⁶ Laut numismatischer Bestimmung handelt es sich ausnahmslos um die italischen Prägungen von Berengar (zu Zeiten seines Königtums), Hugo von Provence und Lothar II.:

Nr. 1. MFM 2002.18.4: Berengar Rex (888–915)

Nr. 2. MFM 2002.18.5: Hugo von Provence oder Lothar II. (931–947)

Nr. 3. MFM 2002.18.7: Hugo von Provence (926–945)

Nr. 4. MFM 2002.18.8: Lothar II. (945–950)

Die vier Münzen haben unterschiedliche Zusammensetzungen, wobei Nr. 1 (Berengar) und Nr. 4 (Lothar II.) recht ähnlich sind (vgl. Tab. 1). Sie weisen mit jeweils 3,5 und 4,9 % einen deutlich geringeren Kupfergehalt als die anderen beiden Münzen auf. Die Silberwerte liegen mit 94,7 % und 93,5 % ebenfalls nicht weit auseinander. Beide besitzen Blei, Gold und Wismut in einer vergleichbaren Größenordnung.

Davon setzt sich Münze Nr. 3 (Hugo von Provence) mit 12,4 % Kupfer und 85,8 % Silber deutlich ab (vgl. Abb. 2). Gold, Blei und Wismut sind hier ebenfalls vertreten. Der mit Abstand höchste Anteil an Kupfer ist bei Münze Nr. 2 (Hugo von Provence /Lothar II.) anzutreffen. 23,8 % Kupfer stehen lediglich 74,5 % Silber gegenüber. Die typischen Nebenelemente wie Gold, Blei und Wismut sind hier ebenfalls vertreten.

4 Diskussion

Zunächst sollen hier die technischen Eigenschaften der unterschiedlichen Silberlegierungen, die bei den vorliegenden Funden aus Szeged-Kiskundorozsma für Schmuckob-

¹⁶ Bende, Lőrinczy und Türk 2001, 384.

jekte und Münzen verwendet wurden, diskutiert werden. Außerdem gilt es zu klären, ob die Münzen aus Grab 100 grundsätzlich als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Schmuckobjekte aus Grab 595 gedient haben könnten. Darüber hinaus werden zum Vergleich weitere Legierungsanalysen von Schmuckwaren und Münzen des 10. Jahrhunderts herangezogen, die in der einschlägigen Literatur zu finden sind.

4.1 Charakterisierung der verwendeten Silberlegierungen

Silber ist als reines Metall aufgrund seiner geringen Härte für die Herstellung von Schmuck und Münzen nicht gut geeignet und wird daher mit geringen Mengen anderer Metalle wie Kupfer legiert, um ihm durch gezieltes Bearbeiten, Erwärmen und/oder Abschrecken dann die gewünschten Formen und Eigenschaften verleihen zu können.¹⁷ Aber auch bereits die Natur gibt dem Erz bestimmte Bestandteile wie Gold, Blei, Kupfer und Wismut in geringen Mengen mit auf den Weg, die sich auch später in den fertigen Objekten wiederfinden.¹⁸ Blei gerät wiederum durch die Extraktion des Silbers aus den Bleierzen oder bei anderen metallurgischen Prozessen wie der Kupellation (s. u.) auch in größeren Mengen in das Objekt.

Betrachten wir zunächst die Rolle des Kupfers in den Silberlegierungen. Gerade bei den Objekten aus Grab 595 sind durchgängig sehr hohe Kupfergehalte zu beobachten. Silber konnte schon in der Antike mittels der sog. Kupellation¹⁹ bis hinunter auf 0,3–0,5 % Cu gereinigt werden. Generell gelten Gehalte über einem Gewichtsprozent Kupfer als absichtlich hinzugefügte Metallmengen,²⁰ die dazu dienen, eine ansonsten weiche Silberlegierung für den täglichen Gebrauch durch Schmieden härtbar zu machen. Dafür reichen aber bereits wenige Prozente aus. Hohe Kupfermengen, wie sie hier beobachtet werden, sind für das feinschmiedende mechanische Umformen gar eher hinderlich, haben jedoch bei gusstechnisch erzeugten Silberwaren einen erheblichen Vorteil. Sie setzen den Schmelzpunkt des Silbers deutlich herab,²¹ wobei die minimal mögliche Schmelztemperatur von 779 °C bei einer Mischung von 72 % Silber und 28 % Kupfer erreicht wird. Auf der gegen die Legierungszusammensetzung abgetragenen Temperaturkurve wird dieses Schmelzpunktminimum als „Eutektikum“ bezeichnet. Diese „eu-

17 Brepohl 1992.

18 Raub 1995, 256.

19 Mc Kerrell und Stevenson 1972; Kohlmeyer 1994; Bayley 2008. Die Kupellation ist das in der Antike übliche Verfahren, um Silber im großen Maßstab entweder aus dem frisch verhütteten Blei zu isolieren oder Altsilber von verunreinigenden Metallbeimischungen zu befreien. Der Prozess wurde auch für das ‚Probieren‘ kleinerer Chargen angewandt, um durch Wiegen des verunreinigten Silbers vor und nach der Kupellation die Reinheit einer Sil-

berlegierung zu bestimmen. Grundlage ist dabei jedoch stets die gute Löslichkeit von geschmolzenem Silber in einem Überschuss an geschmolzenem Blei und die Eigenschaft der Bleischmelze unter Zutritt von Luftsauerstoff eine separate, eher schaumige Bleioxidschicht zu bilden, die wie ein Schwamm im Silber vorhandenen Verunreinigungen aufzunehmen vermag.

20 Wanhill 2005, 51.

21 Brepohl 1992, 41–47.

tektische“ Legierung ist dann zwar hart, aber eher spröde, und lässt sich nur bedingt mechanisch umformen. Der Schmelzpunkt steigt dann für Legierungen mit höheren wie niedrigeren Kupfergehalten wieder an.

Die für die Objekte aus Grab 595 registrierten Kupfergehalte liegen knapp über und unter der eutektischen Zusammensetzung (vgl. Tab. 1). Während reines Silber bei 961 °C schmilzt, weist eine Silberlegierung mit knapp 26 % wie die von Beschlag MFM 2010.03.02 einen Schmelzpunkt (SP) von ca. 780 °C auf. Dies entspricht in etwa der minimalen Schmelztemperatur der erwähnten eutektischen Zusammensetzung.

Andere Objekte wie eine Zierscheibe (MFM 2010.03.06) besitzen einen sehr hohen Anteil an Kupfer von mehr als 46 %. Das steigert den SP auf ca. 850 °C, was aber noch immer deutlich unter dem von reinem Silber liegt. Auf der silberreichen Seite des Eutektikums befindet sich mit 14 % der Beschlag MFM 2010.03.07, der einen Schmelzpunkt von ca. 880 °C aufweisen würde. Zwischen diesen beiden Werten bewegen sich die hier beobachteten Silberlegierungen. Allen gemeinsam sind neben vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkten relativ hohe, spröde Materialhärten und eine schlechte mechanische Dehnbarkeit gegenüber reinem Silber bzw. gegenüber Silber mit niedrigen Kupfergehalten. Letzteres lässt sich gut kalt umformen und durch ein abschließendes Abschrecken härten, dafür aber schlechter gießen.

Keines der neun analysierten Silberobjekte aus Grab 595 hat einen Kupfergehalt unter 13 %. Zwei Stücke (MFM 2010.03.02 und 2010.03.06) wurden in der Objektliste als Blecharbeiten angesprochen, während die anderen laut Grabungsobjektliste gegossen sein sollen. Auch ohne metallographische Studien an Anschliffen durchgeführt zu haben, erscheint diese postulierte Herstellungsweise für das Objekt MFM 2010.03.02 aufgrund der Materialstärke und der Ausarbeitung der Dekordetails als wenig wahrscheinlich. Bei dem anderen Stück bestehen ebenfalls Zweifel an der Zuordnung als Blechnerarbeit, denn es trägt eher die makroskopischen Charakteristika eines gegossenen Objektes. Dazu passt auch der hohe Kupfergehalt.

Wir haben es also bei fast allen der hier untersuchten Beschläge und Zierscheiben mit Legierungen zu tun, die für den Guss besonders gut geeignet waren. Auch unter den Münzen findet sich ein Exemplar, dessen Legierung deutlich besser für eine gusstechnische Herstellungsart geeignet ist als für die bei der Münzprägung erforderlichen hohen Umformraten.

Neben den mechanischen und gusstechnischen Eigenschaften ist auch die Farbe einer Silberlegierung vom Kupfergehalt abhängig. Ab 20 % Kupfer ist ein Umschlag der Metallfärbung ins Gelblichweiße erkennbar.²² Da sich bei frühungarischen Silberobjekten aber häufig die silbernen Flächen mit Vergoldungen abwechseln, fällt der gelbliche Farbstich des stark kupferhaltigen Silbers durch den Farbkontrast sicher weniger

22 Brepohl 1992, 44.

deutlich auf. Die meisten Silberobjekte werden vom Silberschmied damals wie heute routinemäßig in Säuren oder speziellen Salzlösungen gebeizt, insbesondere nach einer Bearbeitungsphase, die in irgendeiner Form unter Hitzeeinwirkung stattgefunden hat, um angelaufene Oberflächen und unerwünschte Oxidationsprodukte zu entfernen. Dabei wird Kupfer oberflächlich herausgelöst und das Silber außen in Schichtdicken von 10–50 µm passiv angereichert.²³ Als „Weißsieden“ bezeichnet der Feinschmied den bewussten Einsatz dieses Verfahrens zur gezielten Erzeugung einer dünnen oberflächlichen Versilberungsschicht.

Aber auch der Gussvorgang selbst kann, wie experimentelle Arbeiten zu nachgegossenen Silbermünzen mit hohen Kupfergehalten zeigen, in den Randbereichen silberreiche Schichten hervorbringen,²⁴ die eine vergleichbare Schichtdicke besitzen, wie die durch Weißsieden erzeugten. Eine Silberanreicherung (ob gewollt oder zufällig) lässt sich auch an der Analyse recht gut ablesen, wenn man die Werte an zunächst nicht präparierten und dann freigelegten Probenpunkten vergleicht. Dies ist z. B. an einem Armreif (MFM 2010.03.24), einer Zierscheibe (MFM 2010.03.06) und an einem Beschlag (MFM 2010.03.02) zu beobachten gewesen.

Neben der oberflächlichen Anreicherung von Silber kann die Farbe einer Silberlegierung mit hohen Kupfergehalten auch auf andere Weise verbessert werden, nämlich durch den Zusatz von Zink. Dies muss dann allerdings in größeren Mengen zugesetzt werden, als dies bei den Objekten aus Grab 595 mit ihren Gehalten von ca. 1 % und weniger der Fall ist. Die alte Gold- und Silberschmiedeliteratur empfiehlt 2 bis 5 % Zink.²⁵

Der Einsatz von Zink verbessert aus verschiedensten Gründen auch die gusstechnischen Eigenschaften von Silberlegierungen. Es wurde anhand der eingangs erwähnten Untersuchungsserie an frühungarischen Gräbern aus Gnadendorf und anderen Fundorten belegt, dass sich der Einsatz zinkreicher Legierungen auf gusstechnisch erzeugte Waren beschränkte. Hohe Kupfergehalte wurden auch bei diesen Untersuchungsserien²⁶ nachgewiesen, jedoch immer im Zusammenwirken mit deutlichen Gehalten an Zink und/oder Zinn, was darauf hindeutet, dass das Kupfer bei diesen Objekten in Form von Bronzen bzw. Messing in das Material geraten ist. Die Funde aus dem Grab 595 scheinen jedoch einer anderen Werkstatttradition anzugehören, denn wir finden hier Zink nur in geringfügigen Mengen, Zinn überhaupt nicht. Dagegen scheint bei den hier untersuchten Funden aus Grab 595 der Kupfergehalt für die gusstechnischen Waren eine entscheidende Rolle zu spielen.

Der hier beobachtete geringe Zinkgehalt ist sicherlich auch gemeinsam mit dem Kupfer in die Silberlegierung geraten; eine schwache positive Korrelation ist vorhanden, wenn man die sechs Punkte der zinkhaltigen Proben gegen den Kupfergehalt aufträgt

23 Stern 2003, 33.

24 Beck u. a. 2003, 563.

25 Sterner-Rainer 1957, 94.

26 S. oben.

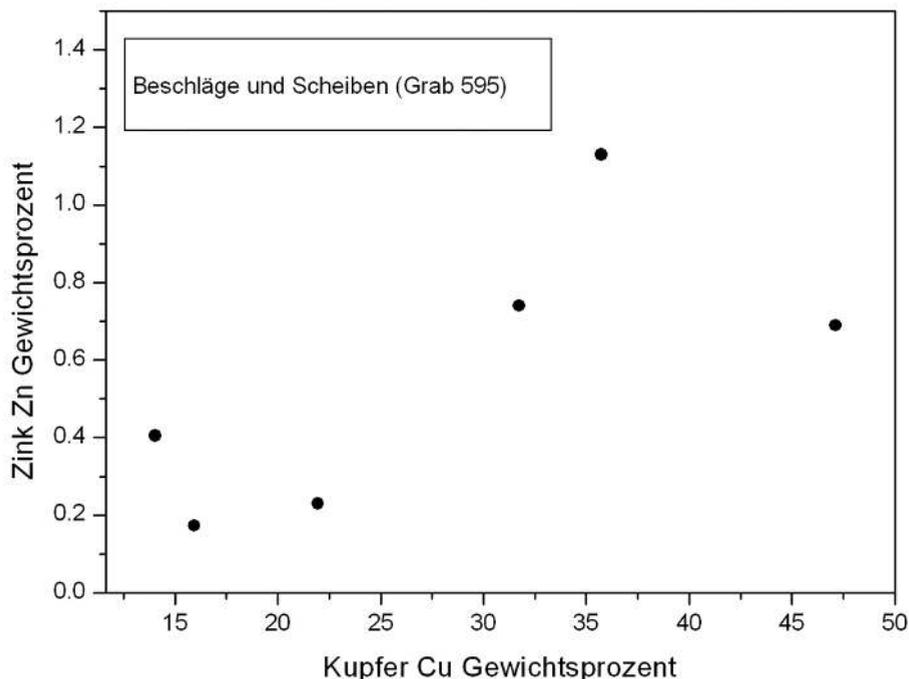


Abb. 3 Kupfer und Zink zeigen eine schwach ausgeprägte positive Korrelation. Wahrscheinlich wurde Kupfer bei diesen Objekten in Form von Messing einer Silberlegierung beigemischt.

(Abb. 3). Alle Objekte, die Zink enthalten, besitzen auch einen hohen Kupferanteil. In den entsprechenden Diagrammen ist kein Zusammenhang zwischen der Zugabe von Zink und einem der anderen Nebenelementmetalle wie z. B. Blei oder Wismut zu erkennen (Abb. 4).

4.2 Vergleich zwischen Silbermünzen und Schmuckwaren

Die vier untersuchten Münzen aus Grab 100 besitzen mit Ausnahme der Münze Nr. 3, einer Prägung von Hugo von Provence (MFM 2002.18.7), nur geringe Kupfergehalte, wie für die meisten Münzen üblich (vgl. Tab. 1; Abb. 2). Die neun hier zur Diskussion stehenden Schmuckobjekte aus Grab 595 können also in einem direkten Umschmelzschritt nur aus einer Legierung, wie sie Münze Nr. 3 aufweist, entstanden sein, den anderen drei Münzen hätte man Kupfer oder eine seiner Legierungen zusetzen müssen. Auch die Bleigehalte sowie die Goldanteile stimmen bei der Münze Nr. 3 mit der Bandbreite der Schmuckobjekte überein. Diese Münze enthält auch als einzige einen Wismutgehalt, der mit einigen der fraglichen Objekte vergleichbar ist, nämlich mit der

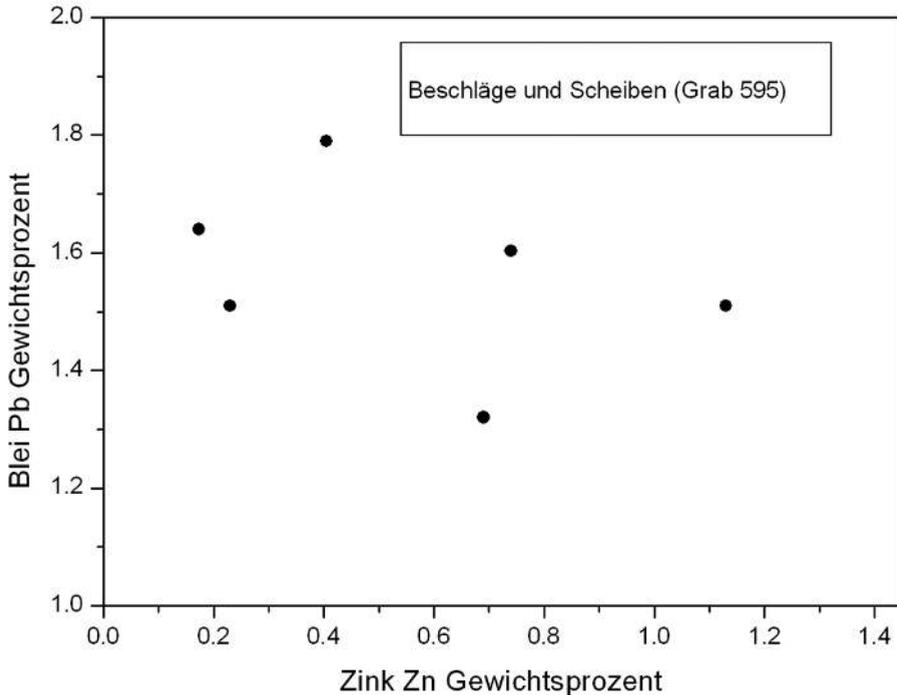


Abb. 4 Bei den Objekten mit nachweisbaren Zinkgehalten zeigt sich keine positive Korrelation zwischen Blei und Zink. Es ist deshalb unwahrscheinlich, dass eine Kupferlegierung beigemischt wurde, die sowohl Blei als auch Zink enthielt.

Zierscheibe MFM 2010.03.19, dem Nietkopf MFM 2010.03.20 und dem Armreif MFM 2010.03.24.

Diese drei Objekte ließen sich auch nicht durch „Verdünnen“ des Munzsilbers mit einer Kupferlegierung aus den anderen Münzen erzeugen, da der Wismutanteil dann noch geringer ausfallen würde. Es lässt sich also festhalten, dass sich die Legierungen von Zierscheibe 19, Nietkopf 20 und Armreif 24 prinzipiell aus Munzlegierungen, wie sie die Hugo’sche Prägung darstellt, durch ein einfaches Umschmelzen herstellen ließen. Zu einer Bestätigung des Befunds wären zusätzliche Untersuchungen der Bleiisotopensignaturen notwendig.

Wie sieht aber das Potenzial der reineren Münzen als Ausgangsprodukt für die kupferreichen Schmuckwaren aus? Nehmen wir als Beispiel zunächst einmal die Beimischung eines reinen Kupfers zu Münze Nr. 1 (MFM 2002.18.4) an. Wollte man aus dieser Legierung mit ca. 95 % Silber und 5 % Kupfer eine Legierung herstellen, die dem Beschlag MFM 2010.03.02 mit 73 % Silber und 27 % Kupfer gleicht, so müsste man zu 100 g Ausgangsmaterial etwa 30 g Kupfer mischen. Dies ergäbe einen Verdünnungs-

faktor von 0,77. Der Goldgehalt des Beschlags von 0,76 % ließe sich noch annähernd aus den 1,16 % der Münze erzeugen, jedoch käme der Bleigehalt von 1,13 % nicht bei einem Ausgangswert von 0,6 % Pb in der Münze Nr. 1 zustande. Da bereits zwei der insgesamt vier Münzen einen geringeren Bleigehalt besitzen als ihre theoretisch durch Kupferzusatz verdünnten Endprodukte, kommen diese Münzen als Ausgangsprodukt eines Verfahrens, bei dem reines Kupfer als Legierungszusatz verwendet wurde, nicht in Frage.

Die sechs Schmuckobjekte mit leicht erhöhten Zinkgehalten zeigen eine negative Korrelation mit Blei. Das heißt, dass bei einer postulierten Erzeugung dieser Objekte aus Münzsilber durch Zusatz einer Kupfer-Zinklegierung keine Buntmetalllegierung beteiligt gewesen sein kann, die zugleich auch nennenswertes Blei enthielt (z. B. eine Rotgusslegierung). Dann müsste mit dem Zink nämlich auch der Bleigehalt steigen. Ein reines Messing wiederum ergäbe eine zu starke Verdünnung. Die gemessenen Bleiwerte entsprechen etwa dem eines kupellierten Silbers, das nicht stark verdünnt wurde. Eine Erzeugung der Schmuckwaren aus den hier analysierten Münzen kann also, selbst unter Annahme der Beigabe einer wie auch immer gearteten Kupferzugabe, ausgeschlossen werden, mit Ausnahme von Münze Nr. 3 (MFM 2002.18.7).

4.3 Silberlegierungen und Münzen zum Ende des ersten Jahrtausends

Der Umlauf von Edelmetallen zum Zwecke des Handels, für Tributzahlungen oder Schenkungen beschränkte sich zunächst vornehmlich auf das Edelmetall Silber, welches in Form von Münzen, Barren und Altmetall zum Teil über weite Strecken expediert wurde, wie die überaus zahlreichen Dirham-Funde in Skandinavien beweisen. Das System basierte dabei im Norden und Osten vor allem auf dem Gewicht des Materials und nicht auf dem „Wert“ der Münze.²⁷ Auf- und Abwertung, die z. B. bei Goldmünzen in der Römerzeit oder in der Spätantike auch durch Adaption ihres Feingehaltes erfolgten, wurden im 9. und 10. Jahrhundert vornehmlich, zumindest offiziell, nur über die pro Münze eingesetzte Materialmenge gesteuert. Während im fortschreitenden Mittelalter auch die „Lötigkeit“, also der Feingehalt bei Wertberechnungen stärker berücksichtigt wurde,²⁸ scheint dies im ausgehenden ersten Jahrtausend nicht allgemeine Praxis gewesen zu sein.

Die großen Hacksilberfunde sind vor allem auf den Norden und nördlichen Osten Europas beschränkt (Skandinavien, Baltikum, Polen u. a.), obwohl der Handelsraum an sich bereits ein paneuropäischer war. Es sind mehrere Hundert solcher Hortfunde bekannt, die, was ihren Münzanteil angeht, zum größten Teil aus Dirhams sowie deut-

27 Brather 2007.

28 Kluge 1991, 9.

schen und englischen Münzen bestehen.²⁹ In der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts lässt der Einfluss der arabischen Münzprägungen deutlich nach.³⁰ In den baltischen Hortfunden sind ab dem Ende des 10. Jahrhunderts auch byzantinische Münzen stark vertreten.³¹ Die großen Hortfunde mit der immens hohen Anzahl an Münzen vermitteln ein recht deutliches Bild, welche Silbermünzen zu welcher Zeit in dieser Region in Umlauf waren.

In Ungarn, wie in einigen anderen europäischen Regionen, sind Hortfunde wesentlich seltener anzutreffen. Man ist hier weitgehend auf die Münzfunde in Gräbern oder Verlustmünzen aus Zufallsfunden oder Siedlungsgrabungen angewiesen. In den frühungarischen Gräbern trifft man das Münzmaterial zum einen als auf Gewand oder Schuhwerk aufgenähte (häufig gelochte) Exemplare an. Dann finden sich Münzen in Form eines ‚Totenpfennigs‘ im Brust- oder Mundbereich sowie als Gürtelbeschläge. Auch Pferdezaumzeug oder anderes Zubehör ist häufig mit Münzen verziert worden.³²

Ab 905 trafen verstärkt Tributzahlungen aus Italien ein, so dass auch mit solchen Münzen zu rechnen ist. Raubzüge gingen nach 904 Richtung Bayern, Sachsen, Thüringen, Schwaben, Burgund, Lothringen und Dänemark³³ mit entsprechenden möglichen Auswirkungen auf das frühungarische Spektrum an Silberlegierungen. István Fodor³⁴ berichtet von „vermutlich“ wolgalbulgarischen Münzen in landnahmezeitlichen Gräbern, die aufgrund der in den Quellen belegten Handelsbeziehungen in den Fundzusammenhang geraten sind.

Sehr häufig sind die italischen Prägungen von Berengar in den frühungarischen Gräbern anzutreffen.³⁵ Neben den Münzen der norditalienischen Städte nimmt sich das Münzgut der deutschen Territorien in ungarischen Grabfunden ausgesprochen mager aus. Man vermutet, dass das Tributsilber entweder umgeschmolzen oder vielleicht in Form von Barren statt Münzen Richtung Osten transportiert wurde.³⁶

Die vielfachen Möglichkeiten der Herkunft von Münzen, die sich theoretisch zu Schmucksilber umschmelzen ließen, fordert es, auch diese als mögliche Quelle für die Objekte aus Grab 595 zu diskutieren. Der Bestand an publizierten Silberlegierungsdaten ist jedoch sehr unterschiedlich, mag aber trotz alledem als Basis für die folgenden Ausführungen dienen.

In vielen Regionen finden sich im 10. Jahrhundert Silbermünzen, die stark mit Kupfer verdünnt sind und prinzipiell als ‚Rohstoff‘ für die kupferreichen Silberwaren des Grabes 595 in Frage kämen. So können angelsächsische Münzprägungen mit Werten

29 Stern 2003, 31.

30 Brather 2007, 451.

31 Buko 2007, 438.

32 Révész 2006, 134.

33 Kovács 1989, 103; Révész 2006, 135.

34 Fodor 2009, 308.

35 Hahn 2006.

36 Révész 2006.

bis zu 50 % Kupfer vertreten sein; dies betrifft vor allem verschiedene Münzmissionen von Eadgar,³⁷ der von 943/44 bis 975 England regierte. Auch in Salzburg geprägte Münzen von Herzog Heinrich von Bayern (985–995) liegen bei Kupfergehalten von ca. 45 %.³⁸ Ebenso kommen einzelne Dirham-Editionen des 10. Jahrhunderts in Frage, obwohl Dirham-Münzen generell eine recht hohe Wertigkeit aufwiesen. Dies zeigen die Dirham-Münzen aus dem Fundort Gnězdovo am Dnjeper³⁹ wie auch viele weitere Analysen dieser Währung. In Haithabu wird gar ein Rückgang der Akzeptanz von Dirham-Münzen verzeichnet, die in ihrem mangelnden Feingehalt begründet sein soll.⁴⁰

5 Schlussbemerkungen

Die stichprobenartige Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Münze und Schmuck aus zwei Gräbern aus Szeged-Kiskundorozsma hat im Fall einer Münze (Nr. 3) zu einem positiven Ergebnis geführt, insofern als eine große Ähnlichkeit zwischen einer Prägung Hugos von Provence und den kupferhaltigen Silberlegierungen bestimmter Objekte analytisch festgestellt werden konnte. Dies kann natürlich zunächst nicht verallgemeinert werden, sondern muss stets an konkreten und sorgfältig ermittelten Analysedaten individuell berechnet und überprüft werden. Erst die Interpretation einer breiten Datenbasis würde es ermöglichen, eine generelle Aussage über den Zusammenhang zwischen Münzsilber und Schmucksilber des 10. Jahrhunderts zu treffen. Man kann sich jedoch zumindest Gedanken machen, welche anderen Typen von Silbermünzen, wie Dirhams, englische Prägungen etc. generell ohne weitere legierungstechnische Manipulationen, für die Erzeugung der kupferreichen Silberlegierungen der Funde aus Grab 595 von Szeged-Kiskundorozsma in Frage kämen.

Insgesamt weisen die analysierten Silberobjekte aus Grab 595 einen auffällig hohen Kupfergehalt auf, der nur von relativ geringen weiteren Beimengungen begleitet wird. Vorausgehende Studien an anderen frühungarischen Objekten zeigten dagegen bei gegossenen Stücken zum Teil ebenfalls hohe Kupferanteile, die dann aber stets von deutlichen Gehalten an Zink, Zinn und Blei begleitet wurden. Ob es sich hier um einen anderen Werkstattkreis handelt oder eine chronologische Entwicklung dahinter steckt, kann zum derzeitigen Stand der Forschung noch nicht entschieden werden.

37 Mc Kerrell und Stevenson 1972, 199.

38 Gresits und Gedai 2000.

39 Eniosova 2012, Abb. 3 und 7.

40 Steuer, Stern und Goldenberg 2002, 153 Abb. 12; Ilisch und Schwarz 2003.

Bibliographie

Bayley 2008

Justine Bayley. „Medieval precious metal refining: Archaeology and contemporary texts compared“. In *Archaeology, History and Science. Integrating approaches to ancient metals*. Hrsg. von Marcos Martín-Torres und Thilo Rehren. London: Left Coast Press, 2008, 131–150.

Beck u. a. 2003

Lucile Beck, Sandrine Reveillon, Sophie Bosonet, Daniel Eliot und Fabien Pilon. „Experimental evidence of direct silver surface enrichment on silver-copper alloys. Application to the analysis of ancient silver coins“. *Archaeometallurgy in Europe* 2003.2 (2003), 561–568.

Bende, Lőrinczy und Türk 2001

Livia Bende, Gábor Lőrinczy und Attila Türk. „Honfoglalás kori temetkezés Kiskundorozsma-Hosszúhát-Halomról“. *Móra Ferenc Múzeum Évkönyve – Studia Arch.* 8 (2001), 351–402.

Brather 2007

Sebastian Brather. „Counted and weighed silver: the fragmentation of coins in early medieval East Central Europe“. In *Post-Roman Towns, trade and settlement in Europe and Byzantium, vol. 1, The heirs of the Roman West*. Hrsg. von Joachim Henning. Berlin/New York: de Gruyter, 2007, 451–471.

Brepohl 1992

Erhard Brepohl. *Theorie und Praxis des Goldschmiedens*. Leipzig/Köln: Hanser, 1992.

Buko 2007

Andrzej Buko. „Tribal societies and the rise of the early medieval trade: archaeological evidence from Polish territories (eight-tenth centuries)“. In *Post-Roman Towns, trade and settlement in Europe and Byzantium, vol. 1, The heirs of the Roman West*. Hrsg. von Joachim Henning. Berlin/New York: de Gruyter, 2007, 431–450.

Daim 2006

Falko Daim, Hrsg. *Heldengrab im Niemandsland. Ein frühungarischer Reiter aus Niederösterreich*. Bd. 2. Mosaiksteine, Forschungen am Römisch-Germanischen Zentralmuseum. Verlag des RGZM, 2006.

Eniosova 2012

Nataša Eniosova. „Tracing the routes of silver procurement to the early urban centre. Gnězdovo in the 10th/early 11th century“. In *Die Archäologie der frühen Ungarn. Chronologie, Technologie und Methodik*. Hrsg. von Bendeguz Tobias. Bd. 17. RGZM Tagungen. Mainz: Verlag des RGZM, 2012, 261–276.

Fodor 2009

István Fodor. „Ein ungarischer Fund aus dem 10. Jahrhundert in Kasan“. *Acta Orientalia Academiae Scientiarum Hungariae* 62 (2009), 303–313.

Gale und Stós-Gale 1981

Noel Gale und Zofia Anna Stós-Gale. „Ancient Egyptian Silver“. *Journal of Egyptian Archaeology* 67 (1981), 193–115.

Greiff 2012

Susanne Greiff. „Silver grave goods from early Hungarian contexts: technological implications of debased alloy compositions with zinc, tin and lead“. In *Die Archäologie der frühen Ungarn. Chronologie, Technologie und Methodik*. Hrsg. von Bendeguz Tobias. Bd. 17. RGZM Tagungen. Mainz: Verlag des RGZM, 2012, 261–276.

Greiff, Mehofer und Révész 2007

Susanne Greiff, Mathias Mehofer und László Révész. „Gezielte Nutzung zinkreicher Silberlegierungen an frühungarischen Silberfunden“. In *Archäometrie und Denkmalpflege – Kurzberichte* 2007. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 2007, 60–62.

Gresits und Gedai 2000

Iván Gresits und István Gedai. „Chemische Zusammensetzung von Münzen des Frühmittelalters“. In *Akten XII. Internationaler Numismatischer Kongress, Berlin 1997*. Hrsg. von Bernd Kluge und Bernhard Weisser. Berlin: Gebr. Mann Verlag, 2000, 904–905.

Hahn 2006

Wolfgang Hahn. „Die Münzen“. In *Das frühungarische Reitergrab von Gnadendorf (Niederösterreich)*. Hrsg. von Falko Daim und Ernst Laueremann. Mainz: Schnell & Steiner, 2006, 99–106.

Ilisch und Schwarz 2003

Lutz Ilisch und Florian Schwarz. „Die Analysen der islamischen Münzen“. In *Dirham und Rappenfennig, Mittelalterliche Münzprägung in Bergbauregionen*. Hrsg. von Lutz Ilisch, Sönke Lorenz, Willem Stern und Heiko Steuer. Beiheft zur Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters. Bonn: Habelt, 2003, 62–114.

Kluge 1991

Bernd Kluge. *Deutsche Münzgeschichte von der späten Karolingerzeit bis zum Ende der Salier (ca. 900 bis 1125)*. Bd. 29. Monographien RGZM. Sigmaringen: Jan Thorbecke, 1991.

Kohlmeyer 1994

Kai Kohlmeyer. „Zur frühen Geschichte von Blei und Silber“. In *Handwerk und Technologie im Alten Orient. Internationale Tagung Berlin 12.–15.3.1991*. Hrsg. von Ralf Bernhard Wartke. Berlin: Philipp von Zabern Verlag, 1994, 41–48.

Kovács 1989

László Kovács. *Münzen aus der ungarischen Landnahmezeit. Archäologische Untersuchung der arabischen, byzantinischen, westeuropäischen und römischen Münzen aus dem Karpatenbecken des 10. Jahrhunderts*. Akadémiai Kladó, 1989.

Mc Kerrell und Stevenson 1972

Hugh Mc Kerrell und Robert Stevenson. „Some analyses of Anglo-Saxon and associated Oriental Silver Coinage“. In *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage*. Hrsg. von Edward Thomas Hall und D. Michael Metcalf. Bd. 8. Royal Numismatic Society Special Publication. London: Royal Numismatic Society, 1972, 195–209.

Mehofer und Greiff 2006

Mathias Mehofer und Susanne Greiff. „Archäometrische Untersuchungen an Metallgegenständen“. In *Das frühungarische Reitergrab von Gnadendorf (Niederösterreich)*. Hrsg. von Falko Daim und Ernst Laueremann. Bd. 64. Monographien RGZM. Mainz: Schnell & Steiner, 2006, 181–188.

Raub 1995

Christoph J. Raub. „The metallurgy of gold and silver in prehistoric times“. In *Prehistoric Gold in Europe. Mines, metallurgy and manufacture*. Hrsg. von Giulio Morteani und Jeremy Peter Northover. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, 243–259.

Révész 2006

László Révész. „Auswertung der Funde“. In *Das frühungarische Reitergrab von Gnadendorf (Niederösterreich)*. Hrsg. von Falko Daim und Ernst Laueremann. Bd. 64. Monographien RGZM. Mainz: Schnell & Steiner, 2006, 158–188.

Stern 2003

Willem B Stern. „Zur naturwissenschaftlichen Analyse von Edelmetallmünzen“. In *Dirham und Rappenfennig, Mittelalterliche Münzprägung in Bergbauregionen*. Hrsg. von Lutz Ilisch, Sönke Lorenz, Willem Stern und Heiko Steuer. Beiheft zur Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters. Bonn: Habelt, 2003, 11–49.

Stern-Rainer 1957

Ludwig Stern-Rainer. *Die Edelmetall-Legierungen in Industrie und Gewerbe*. 1930, ND Stuttgart. Leipzig: Rühle-Diebener-Verlag, 1957.

Steuer, Stern und Goldenberg 2002

Heiko Steuer, Willem B. Stern und Gert Goldenberg. „Der Wechsel von der Münzgold- zur Gewichtsgeldwirtschaft in Haithabu um 900 und die Herkunft des Münzsilbers im 9. und 10. Jahrhundert“. In *Haithabu und die frühe Stadtentwicklung im nördlichen Europa*. Hrsg. von Klaus Brandt, Michael Müller-Wille und Christian Radtke. Bd. 8. Schriften des Archäologischen Landesmuseums. Neumünster: Wachholtz, 2002, 133–167.

Wanhill 2003

Russell Wanhill. „Ancient silver embrittlement: significances of copper, lead and cold-deformation“. Unpublished report NLRTP-2003-617, Amsterdam. Dezember 2003.

Wanhill 2005

Russell Wanhill. „Embrittlement of ancient silver“. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 5 (2005), 41–54.

Abbildungs- und Tabellennachweis

ABBILDUNGEN: 1 Móra Ferenc Múzeum Szeged, Inv. Nr. 2001.18.4–5, 7–8, 2010.03.02–07. Photos: René Müller, RGZM. 2 Daten und Graphik: Susanne Greiff. 3 Daten und Graphik: Susanne

Greiff. 4 Daten und Graphik: Susanne Greiff.
TABELLEN: 1 Daten und Graphik: Susanne Greiff.

SUSANNE GREIFF

leitet den Kompetenzbereich Naturwissenschaftliche Archäologie und das Archäometrielabor des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie. Sie lehrt an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zu antiken Werkstofftechnologien und auf dem Gebiet der Konservierung und Restaurierung. Ihre Forschungsinteressen gelten den Goldschmiedetechniken des ersten Jahrtausends, der Provenienzanalyse von Granat und der antiken Glastechnologie.

Dr. rer. nat. Susanne Greiff
Römisch-Germanisches Zentralmuseum
Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie
Ernst-Ludwig-Platz 2
55116 Mainz, Deutschland
E-Mail: greiff@rgzm.de