

1.9. METALLURGIE

Materialanalytische Untersuchungen mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse

Sabine Stanek⁸⁹⁰, Robert Linke⁸⁹¹, Manfred Schreiner⁸⁹²

Einleitung

Neben einer stilistischen und kunsthistorischen Betrachtung der Prägestrukturen, verbunden mit einer umfassenden Quellenforschung, wurden auch naturwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, um Einblick in die sasanidische Münzprägung gewinnen zu können. Wie bereits in Band I⁸⁹³ gezeigt werden konnte, kann die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Münzen einen großen Beitrag zur numismatischen und historischen Aufarbeitung dieser Epoche leisten. Die Analyseergebnisse liefern dabei häufig Informationen betreffend die Authentizität, Produktionstechnik und chronologische Zuordnung. Dadurch können bestehende Theorien gestützt, Zweifel beseitigt und offene Fragen beantwortet werden.

Zur Untersuchung gelangten 262 Münzen aus den Beständen des Kunsthistorischen Museums Wien, wobei das Spektrum der untersuchten Münzen Prägungen aus 12 Regierungsperioden aus drei Jahrhunderten (309–531 n. Chr.) umfaßt. Die Analysen hatten primär das Ziel, die Objekte in ihrer chemischen Zusammensetzung zu charakterisieren. In weiterer Folge sollten Chronologien untersucht und damit mögliche Veränderungen nachgewiesen werden. Auch bezüglich der Beantwortung der Frage nach der Authentizität erweist sich die Materialanalyse als wertvolles Instrumentarium. Zusätzlich sollte überprüft werden, ob das seit dem dritten nachchristlichen Jahrhundert bei römischen Münzen beobachtete Phänomen des Münzwertverfalls auch bei der sasanidischen Münzprägung seinen Niederschlag gefunden hat. Die damit verbundene Technik des Weißsiedens wird in Band I⁸⁹⁴ beschrieben und wurde bei römischen Münzen bereits von Klockenkämper 1978, Klockenkämper/Hasler 1978, sowie Zwicky-Sobczyk/Stern 1997 untersucht.

Während die Zuweisung der Münzen zu den diese Arbeit umfassenden 11 Herrschern – bis auf wenige Ausnahmen – als gesichert gilt, ist die chronologische Abfolge innerhalb einer Regentschaft und die Zuweisung der Münztypen zu den verschiedenen Münzstätten oft noch ungeklärt. Die Frage der Provenienz kann vor allem bei Münzen, die vor der Regierung Wahrams V. (420–438 n. Chr.) geprägt wurden, häufig nicht beantwortet werden, da die Münzstätten bis zu dieser Zeit nicht auf den Münzen vermerkt wurden. Ab Wahram V. wird die Nennung der Münzstätte zur Regel und unter Peroz (457–484 n. Chr.) sogar Gesetz. Insgesamt teilen sich die

⁸⁹⁰ Institut für Wissenschaften und Technologien in der Kunst, Akademie der bildenden Künste Wien; Naturwissenschaftliches Labor, Kunsthistorisches Museum Wien.

⁸⁹¹ Institut für Wissenschaften und Technologien in der Kunst, Akademie der bildenden Künste Wien.

⁸⁹² Institut für Wissenschaften und Technologien in der Kunst, Akademie der bildenden Künste Wien.

⁸⁹³ Linke/Schreiner 2003.

⁸⁹⁴ Linke/Schreiner 2003, p. 79.

262 untersuchten Münzen auf 39 unterschiedliche Prägestätten auf. Aufgrund des geringen Probenumfangs gesicherter Münzen pro Münzstätte kann eine statistisch abgesicherte Klärung der Provenienz unbekannter Objekte nicht durchgeführt werden. Berücksichtigt man zusätzlich, daß eine Verlagerung der Prägestätte nicht zwingend mit der Änderung des zur Münzproduktion verwendeten Silbers und Kupfers verbunden war und häufig auch alte Münzen wieder eingeschmolzen wurden, erweist sich die Zuordnung zu Prägestätten als äußerst problembeladen.

Die Kenntnis der chemischen Zusammensetzungen der Münzlegierungen ermöglicht zusätzlich Aussagen betreffend die Gewinnungs- und Verarbeitungstechnik der verwendeten Legierungen⁸⁹⁵. Als Ausgangsmaterial für die sasanidische Silberproduktion dienten sowohl natürlich vorkommendes gediegenes Silber als auch silberhaltige Bleierzvorkommen, die entsprechend aufgearbeitet werden mußten. Vergleichende Analysen von Meyers⁸⁹⁶ an sasanidischen Silberobjekten mittels Bleiisotopenanalyse belegen, daß das zur Silbergewinnung verwendete Erz aus den reichen Erzlagerstätten des altpersischen Gebietes stammt. Es ist allerdings nicht auszuschließen, daß der große Bedarf an Silber auch teilweise durch importierte Ware aus dem florierenden Handel gespeist wurde. Zusätzlich wurden alte Münzen wie Gebrauchsware wieder eingeschmolzen, was zu einer Vermischung ortsspezifischer Spurenelemente in der Metallegierung führt und dadurch eine Zuordnung erschwert. Spezifische, auf Erzlagerstätten oder Aufarbeitungsprozesse hinweisende Merkmale gehen dadurch in sich wiederholenden Einschmelzprozessen zunehmend verloren.

Analysenmethode

Aufgrund des einzigartigen Charakters der Münzen und ihres damit verbundenen Wertes war für die Untersuchung eine Methode erwünscht, die keine Entnahme von Probematerial aus dem Objekt erfordert und auch keine bleibende Veränderung oder gar Schädigung der Münze als Folge der Messung verursacht. Zusätzlich sollte das gewählte Verfahren über eine ausreichende Nachweisempfindlichkeit für Spurenelemente verfügen. Diese Voraussetzungen werden von der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) erfüllt. Die Vor- und Nachteile dieser Methode, ihre theoretischen Grundlagen, sowie die Meßparameter wurden bereits ausführlich in Band I⁸⁹⁷ diskutiert.

Eine vor der RFA durchgeführte Untersuchung im Lichtmikroskop zeigte, daß die Münzen zum Teil sehr unterschiedliche Erhaltungszustände aufweisen. Aufgrund einer jahrhundertelangen Lagerung im Boden sind die Münzen zum Teil sehr stark von Korrosion betroffen. In einigen Fällen sind Details im Münzbild nicht mehr zu erkennen. Hinzu treten in der Vergangenheit häufig verwendete ungeeignete Reinigungsmethoden wie Säurebäder oder abrasive Techniken. Die Korrosion der Münzen bewirkt, daß die chemische Zusammensetzung der Münzoberfläche mit jener des Münzkernes nicht übereinstimmt. Da mithilfe der RFA nur oberflächennahe Bereiche erfaßt werden können⁸⁹⁸, führt dies zu Problemen bei der qualitativen und quantitativen Bestimmung. Durch Kontakt- bzw. interkristalline Korrosion werden unedle Elemente wie Kupfer oder Blei oxidiert und in weiterer Folge ausgewaschen. Die Verbindungen lagern sich auf der Münzoberfläche als Korrosionsprodukte ab. Die oberflächennahen Bereiche der Münzen selbst sind mit Silber angereichert, woraus ein Fehler bei der oberflächensensitiven RFA erfolgen kann.

⁸⁹⁵ Linke/Schreiner 2003, p. 71.

⁸⁹⁶ Meyers 1998.

⁸⁹⁷ Linke/Schreiner 2003, p. 72–75.

⁸⁹⁸ Linke/Schreiner 2003; Linke/Schreiner/Demortier/Alram 2003.

Zur Auswertung von Silber wurden sowohl die Ag K- als auch die Ag L-Linien verwendet. Aus den unterschiedlichen Energien resultieren unterschiedliche Informationstiefen, wobei der Quotient der Röntgenfluoreszenzintensitäten dieser Linien zur Abschätzung des Korrosionsgrades eingesetzt wurde⁸⁹⁹. Münzen, die entweder aufgrund optischer Merkmale oder aufgrund eines geringen Ag K/Ag L-Röntgenintensitätsverhältnisses besonders stark von der Korrosion betroffen waren, wurden bei der Quantifizierung nicht berücksichtigt.

Untersuchungsergebnisse

Sofern nicht anders angeführt, bestehen alle untersuchten Drachmen aus einer Silber-Kupferlegierung mit einem durchschnittlichen Silbergehalt von $96,5 \pm 0,9$ %. Als Spurenkomponenten konnten in allen untersuchten Drachmen Blei und Gold nachgewiesen werden. Auf Abweichungen davon bzw. zusätzlich vorkommende Elemente wird bei den betreffenden Münzen explizit hingewiesen.

Shapur II.

Von den Prägungen Shapurs II. (309–379 n. Chr.) gelangten 44 Silberdrachmen, ein Dinar (Nr. **282**), zwei 1/6Drachmen (Nr. **105** und **243**) und eine Bronzemünze (Nr. **48**) zur Analyse. Die Münzen können sechs Prägestätten zugeordnet werden. Sieben Drachmen wurden aufgrund numismatischer Kriterien als Dubia und Falsa eingestuft. Nr. **311**, **312**, **318**, **319** und **320** sind Gußfälschungen. Nr. **322** weist eine rezente Vergoldung auf, weshalb eine Quantifizierung des Silbergehalts nicht durchgeführt werden konnte. Nr. **317** wurde aus einer Blei-Zinn Legierung gegossen. Nr. **311** und **312** weisen bereits mit freiem Auge erkennbare Spuren von Korrosion auf, weshalb die mittels RFA and den Oberflächen der Münzen gemessenen Konzentrationen nicht mit der tatsächlichen Zusammensetzung im Münzkern übereinstimmen und deshalb nicht angegeben werden. *Tab. 1* zeigt die Zusammenstellung der untersuchten Fälschungen.

Nr.	Ag-Gehalt [%]	Bemerkungen	Nebenbestandteile
311	–	Guß, korrodiert	Cu, Ni, Zn, Sn, Fe, Pb
312	–	Guß, korrodiert	hoher Cu-Gehalt, Fe
317	–	Pb-Sn Guß	Pb, Sn, Hg, Cu, Fe
318	99,1	Guß	Fe
319	87,4	Guß, korrodiert	Fe, Sn, Hg
320	98,6	Guß	
322	–	moderne Vergoldung	Cu, Au, Fe, kein Pb

Tab. 1: Zusammenstellung der untersuchten Dubia und Falsa des Shapur II.

Die Nr. **91** und **133** wurden aufgrund ihres schlechten Erhaltungszustandes von der quantitativen Auswertung ausgenommen. *Tab. 2* zeigt die Silbergehalte der untersuchten Drachmen.

⁸⁹⁹ Linke/Schreiner 2000; Stern 1995.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
3	Ia/1a1	I („Ctesiphon“)	96,0
7	Ia/1a2	I („Ctesiphon“)	91,4
23	Ia/1b	I („Ctesiphon“)	96,1
61	Ib1/3a	II („Westen“)	99,3
64	Ib1/3a	II („Westen“)	99,4
67	Ib1/3a	II („Westen“)	99,3
69	Ib1/3a	II („Westen“)	99,4
70	Ib1/3a	II („Westen“)	98,9
90	Ib1/1b?	V = Sakastan	93,1
98	Ib1/3a	VI = Marw	98,2
107	Ib1/3a	IX	99,3
109	Ib1/3a	IX	98,8
111	Ib1/3a	IX	99,3
118	Ib1/3a	IX	99,2
129	Ib1/3a	IX	98,9
130	Ib1/3a	IX	98,9
134	Ib1/3a	IX	96,9
138	Ib1/3a	IX	98,8
140	Ib1/3a	IX	96,9
141	Ib1/3a	IX	98,5
144	Ib1/3a	IX	98,4
148	Ib1/3a	IX	98,9
150	Ib1/3a	IX	97,8
156	Ib1/3a	IX	97,3
158	Ib1/3a	IX	98,8
170	Ib1/3a	IX	99,0
185	Ib1/3a	IX	99,3
193	Ib1/3a	IX	97,6
194	Ib1/3a	IX	99,0
204	Ib1/3a	IX	95,2
210	Ib1/3a	IX	97,1
212	Ib1/3a	IX	94,6
215	Ib1/3a	IX	98,7
221	Ib1/3a	IX	97,9
229	Ib1/3a	IX	97,1
270	Ib1/3a	XII („Osten“)	99,0
286	Ib1/3a	Unsicher	99,0
291	Ib1/3a	Unsicher	99,2

Tab. 2: Silbergehalte der Drachmen des Shapur II.

Die Auswertung der Meßwerte zeigt, daß die Münzen qualitativ eine weitgehend einheitliche Zusammensetzung aufweisen. Geringe Unterschiede konnten fallweise bei den Silbergehalten festgestellt werden. Die Silbergehalte der 38 mit in die Statistik einbezogenen Drachmen schwanken von 91,4% bis 99,4%, der Mittelwert beträgt $98,3 \pm 1,5\%$ (Tab. 2). Nr. **3**, **7** und **23** der Münzstätte I unterscheiden sich von den übrigen Exemplaren durch einen geringeren Silbergehalt von durchschnittlich $94,5 \pm 2,7\%$.

Einige der untersuchten Münzen enthielten auch Spuren von Eisen. Da Eisen häufig aus dem Boden aufgenommen wird und sich vor allem als Korrosionsprodukt an der Münzoberfläche anlagert, wird es bei der statistischen Auswertung der Meßergebnisse nicht berücksichtigt. In Nr. **7**, **69** und **150** konnten Spuren von Zinn nachgewiesen werden. Bezogen auf die Münzstätte I konnten im Spurenelementmuster keine Unterschiede festgestellt werden. Lediglich Münzstätte I unterscheidet sich, wie bereits erwähnt, von den übrigen Prägestätten durch einen etwas geringeren Silbergehalt.

Die beiden 1/6Drachmen Nr. **105** und **243** weisen sehr unterschiedliche Erhaltungszustände auf. Aufgrund des starken Korrosionsgrades wurde bei Nr. **105** keine Quantifizierung durchgeführt. In der RFA konnte Silber als Hauptbestandteil nachgewiesen werden, auffallend ist das Fehlen von Kupfer. Spurenelemente bilden Gold, Blei, Eisen und Brom, wobei letzteres keinen Legierungsbestandteil darstellt sondern als Begleitelement von Chlor in Hornsilber (AgCl) als Patina zu finden ist. Die 1/6Drachme Nr. **243** enthält 99,2% Silber, als Neben- bzw. Spurenkomponten konnten die Elemente Kupfer, Gold und Blei detektiert werden.

Die Bronzemünze Nr. **48** enthält vorwiegend Kupfer, Eisen und Nickel. In Spuren sind Blei, Zinn und Silber vorhanden.

Ardashir II.

Aus der Regierungsperiode Ardashirs II. (379–383 n. Chr.) stand eine Drachme (Nr. **1**) zur Verfügung. Sie wird der Münzstätte I (Typ Ia/1a) zugeordnet. Ihr Silbergehalt beträgt 97,0%. Als Neben- bzw. Spurenbestandteile wurden die Elemente Kupfer, Gold und Blei nachgewiesen.

Shapur III.

Von den Prägungen Shapurs III. (383–388 n. Chr.) gelangten 11 Drachmen aus drei gesicherten sowie zwei bisher nicht eindeutig zugeordneten Münzstätten zur Untersuchung. Nr. **50** und **63** waren bereits so stark korrodiert, daß keine quantitative Auswertung durchgeführt wurde. Die

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
12	Ib1/1b	III	96,6
21	Ib1/1b	VII (ART)	94,2
24	Ib1/1b	VII (ART)	93,8
38	Ib1/1b	„Westlich“	93,9
44	Ib1/1b	„Westlich“	94,9
50	Ib1/1b	„Westlich“	–
51	Ib1/1b	„Westlich“	96,1
61	Ia1/1b	„Westlich“	95,5
63	Ib1/1b	Unsicher	–
64	Ib1/1b	Unsicher	92,7
67	Ic/1b	Unsicher	97,8

Tab. 3: Silbergehalte der Drachmen des Shapur III.

Silberkonzentrationen variieren von 93,8% bis 97,8% (*Tab. 3*). Der Mittelwert der neun Drachmen beträgt $95,1 \pm 1,6\%$ Ag. Im Spurenelementbereich unterscheidet sich Nr. **44** durch auffallend hohe Blei- und Quecksilbergehalte.

Wahram IV.

Aus der Zeit Wahram IV. (388–399 n. Chr.) standen 17 Drachmen für Untersuchungen zur Verfügung. Die Silberkonzentrationen variieren von 92,5% bis 98,0%, der Mittelwert aller gemessenen Drachmen beträgt $96,0 \pm 1,6\%$ (*Tab. 4*). Im Spurenelementmuster zeigen die untersuchten Münzen eine weitgehend einheitliche Zusammensetzung. Neben Silber und Kupfer wurden auch die Elemente Blei und Gold nachgewiesen. Weder im Silbergehalt noch im Spurenelementbereich konnten Unterschiede zwischen den einzelnen Münzstätten nachgewiesen werden. Lediglich Nr. **59** unterscheidet sich von den übrigen Exemplaren durch einen sehr hohen Zinnanteil.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
1	Ia1/2a	Unsigniert A	97,0
4	Ia1/3	Unsigniert A	95,2
6	Ia1/3	Unsigniert A	93,5
9	Ia1/2b	Unsigniert F	96,0
13	Ia5/2b	AH	97,1
14	Ib1/2a	AP	95,9
20	Ia1/3	AS	92,5
24	Id/3	AS	95,5
26	Ia1/2a	AWH	97,9
33	Ia1/3	BBA	96,8
35	Id/3	BŠHP	97,8
44	Ia1/2a	KL	96,3
55	Ic/2c	Marw	95,1
59	Ib1/2b	STHL	93,5
69	Ia1/2a	Unklare Sigle	97,0
70	Ia1/2a	Unklare Sigle	98,0
83	Ib4/1a	Unsicher	96,1

Tab. 4: Silbergehalte der Drachmen des Wahram IV.

Yazdgerd I.

Aus der Regentschaft Yazdgerd I. (399–420 n. Chr.) gelangten 12 Drachmen zur Untersuchung, wobei jedoch Nr. **58** stark korrodiert und Nr. **64** stark verbogen waren, sodaß eine quantitative Untersuchung nicht repräsentativ gewesen wäre. Nr. **103** zeigt in der Auswertung ein auffallend kleines Ag K/Ag L-Verhältnis und einen überdurchschnittlich hohen Bleianteil, was einerseits auf starke Korrosion⁹⁰⁰ als auch auf eine untypische Zusammensetzung hinweist. Verbunden mit einem im Vergleich zu anderen Münzen geringen Silbergehalt von 87,9% stellt diese Münze in diesem Zusammenhang einen untypischen Repräsentanten der Prägungen Yazdgerd I. dar. Die

⁹⁰⁰ Linke/Schreiner 2000, Stern 1995.

Silbergehalte der übrigen Münzen variieren von 93,5% bis 99,3%, der Mittelwert beträgt $97,3 \pm 1,6\%$ (Tab. 5). Sowohl im Silbergehalt als auch im Spurenelementbereich konnten keine Unterschiede zwischen den Emissionen der einzelnen Prägestätten festgestellt werden.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
7	Ib1/1a, Var. 5	AS	98,5
10	Ib1/1a, Var. 6	AS	99,3
12	Ib1/1a	AT	98,1
18	Ib1/1a	AW	97,6
25	Ib1/1a, Var. 6	AWH	95,6
33	Ib1/1a	BBA	97,5
39	Ib1/1a, Var. 4	BBA	97,6
58	Ib1/1a, Var. 2	Marw	–
64	Ib1/1a, Var. 5	Marw	–
72	Ib1/1a	Unlesbare Sg.	93,5
84	Ib1/1a, Var. 4	Unsicher	96,0
85	Ib1/1a, Var. 4	Unsicher	97,5
86	Ib1/1a, Var. 4	Unsicher	98,9
103	Ib1/1a, Var. 4	Unsicher	(87,9)

Tab. 5: Silbergehalte der Drachmen des Yazdgerd I.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
6	Ib1/2	AS	98,1
7	Ib1/2	AS	97,0
14	Ib1/2	AT	97,4
19	Ib2/2	AW	97,9
33	Ib1/2	BBA	98,4
34	Ib1/2	BBA	97,6
36	Ib1/2	BBA	96,5
38	Ib2/2	BYŠ	98,7
42	Ib2/1	KL	97,0
44	Ib1/2	KL	98,2
50	Ib2/2	Marw	96,4
87	Ib1/2	Imitativa	95,4
88	Ib1/2	Imitativa	95,0
90	Ib1/2	Imitativa	94,7
91	Ib1/2	Imitativa	96,0
93	Ib1/2	Imitativa	94,3
94	Ib1/2	Imitativa	94,8
95	Ib1/2	Imitativa	94,5
96	Ib1/2	Imitativa	95,1
99	Ib1/2	Imitativa	95,4

Tab. 6: Silbergehalte der Drachmen des Wahram V.

Wahram V.

Aus der Zeit Wahram V. (420–438 n. Chr.) gelangten eine Bronzemünze (Nr. **76**) sowie 20 Drachmen zur Untersuchung. Neun der untersuchten Drachmen konnten aufgrund numismatischer Kriterien als Imitativa identifiziert werden. Die Silbergehalte der 11 gemessenen Drachmen variieren von 96,4% bis 98,7%, der Mittelwert beträgt $97,6 \pm 0,7\%$ (Tab. 6). Der Mittelwert der imitativen Prägungen und Güsse beträgt $95,0 \pm 0,5\%$ und liegt damit nur geringfügig unter jenen der Originale. Auf eine Materialersparnis durch die Verwendung minderwertiger Legierungen kann daher nicht geschlossen werden. Im Spurenelementbereich konnten, abgesehen von Nr. **99**, in der Spuren von Quecksilber nachgewiesen werden konnten, keine Unterschiede zu den originalen Prägungen festgestellt werden.

Die Bronzemünze Nr. **76** enthält Kupfer als Haupt- und Blei als Nebenkompente, in Spuren konnten die Elemente Eisen, Zinn, Nickel und Antimon nachgewiesen werden.

Yazdgerd II.

Von Yazdgerd II. (438–457 n. Chr.) gelangten neun Drachmen zur Untersuchung. Die Silbergehalte der untersuchten Münzen reichen von 94,0 bis 98,2%, der Mittelwert beträgt $96,2 \pm 1,2\%$ (Tab. 7). Sowohl im Silbergehalt als auch im Spurenelementbereich können keine relevanten Unterschiede zwischen den Münzen festgestellt werden.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
3	Ib1/2a	AS	97,5
5	Ib1/2a	AS	98,2
7	Ib1/2b	AS	96,2
15	Ia1/2b	GW	95,9
19	Ib1/2a	WH	95,6
23	Ib1/2a	Unlesbare Sg.	95,8
38	Ib1/2b	Unsicher	94,0
63	Ib1/2c	Unsicher	95,2
64	Ib1/2c	Unsicher	97,5

Tab. 7: Silbergehalte der Drachmen des Yazdgerd II.

Peroz

Aus der Regentschaft Peroz (457–484 n. Chr.) gelangten 70 Drachmen zur Untersuchung, wobei zwei Münzen (Nr. **240** und **241**) als Imitativa und ein Exemplar (Nr. **242**) als galvanoplastische Reproduktion identifiziert werden konnten. Nr. **45** zeigt sowohl im Silbergehalt (64%) als auch im Spurenelementbereich durch das Fehlen von Gold und im Vergleich zu den übrigen Münzen von Peroz durch hohe Blei- und Zinnanteile eine untypische Zusammensetzung. Die Silbergehalte der übrigen 66 Münzen variieren von 94,6% bis 97,4%, der Mittelwert beträgt $96,6 \pm 0,6\%$ (Tab. 8). Die galvanoplastische Reproduktion (Nr. **242**) weist durch den Nachweis von Quecksilber auf eine mittels Amalgamierung durchgeführte Versilberung und damit auf eine ältere Fertigung (2. Hälfte 19. Jhdt.) hin. Bei den imitativen Fertigungen (Nr. **240** und **241**) fällt erstere durch einen geringen Silbergehalt von nur 70,2% heraus, der durch einen höheren Zinn- und Kupferanteil kompensiert wird. Nr. **241** zeigt weder im Spurenelementbereich noch im Silbergehalt Unterscheidungsmerkmale zu den originalen Emissionen. Mit Ausnahme von Nr. **45** und Nr. **221**, in denen kein Gold nachgewiesen werden konnte, und Nr. **44** und **91**, die einen im Vergleich deutlich höheren Zinnanteil aufweisen, zeigen die Münzen eine auf die

Spurenbestandteile bezogene weitgehend homogene Zusammensetzung. Da diese Münzen jedoch in keiner geographischen Beziehung zueinander stehen, sind sie als „Ausreißer“ anzuspochen.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
1	IIa/1c	AH	96,5
2	IIa/1c	AH	96,8
4	IIIb/1c	AH	97,0
5	IIIb/1c	AH	95,7
8	IIIa/1e	ART	96,1
14	IIIb/1c	ART	97,1
15	IIIb/1c	ART	96,5
17	IIIb/1c	ART	96,9
20	IIa/1e	AS	96,9
26	IIIb/1e	AS	97,0
27	IIIb/1e	AS	97,1
36	IIIb/1c	AS	96,2
39	IIIb/1c	AS	95,2
44	IIIb/1c	AS	96,7
45	IIIb/1c	AS	64,0
47	IIa/1e	AT	96,9
48	IIIa/1e	AT	96,7
51	IIIb/1c	AT	97,2
53	IIIb/1c	AT	96,4
54	IIIb/1c	AT	96,7
61	IIIb/1e	AW	97,2
63	IIIb/1c	AW	97,1
66	IIIb/1c	AW	96,2
74	IIa/1e	AY	96,8
81	IIIb/1e	AY	96,7
82	IIIb/1e	AY	97,0
89	IIIb/1c	AY	95,6
90	IIIb/1c	AY	94,9
91	IIIb/1c	AY	96,0
95	I/1a	BBA	95,8
97	IIa/1d	BBA	97,0
98	IIa/1e	BBA	97,4
108	IIIb/1?	BBA	96,1
114	IIIa/1e	DA	96,9
116	IIIa/1c	DA	96,9
118	IIIb/1c	DA	97,0
119	IIIb/1c	DA	97,1
120	IIIb/1c	DA	96,8
127	IIa/1e	KA	97,0
129	IIa/1e	KL	96,7
133	IIIb/1e	KL	96,9
136	IIIb/1c	KL	96,9

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
137	IIIb/1c	KL	97,0
138	IIIb/1c	KL	97,3
139	IIIb/1c	KL	96,2
144	IIIb/1c	KL	96,7
146	IIIa/1e	LD	97,1
148	IIIb/1c	LD	96,1
149	IIIb/1c	LD	97,3
159	IIIb/1c	LYW	96,7
162	IIIb/1c	LYW	97,2
168	IIIb/1e	MA	95,0
179	IIIb/1c	NY	95,7
185	IIIb/1c	ST	96,7
186	IIIb/1c	ST	96,7
191	IIIb/1c	ST	96,6
195	IIIb/1c	ST	97,0
197	IIIb/1c	ŠY	97,4
205	IIa/1e	WH	97,1
208	IIIb/1e	WH	97,0
211	IIIb/1c	WH	96,3
221	IIIb/1c	WH	97,3
223	IIIb/1c	WH	96,1
228	IIa/1e	Unklare Sg.	95,7
229	IIa/1e	Unklare Sg.	97,0
230	IIa/1d	Unlesbare Sg.	94,6
233	IIIb/1c	Unlesbare Sg.	96,9
239	IIIb/1c	Imitativa	70,2
240	IIIb/1c	Imitativa	93,4
180	IIIb/1c	Falsum zu NY	—

Tab. 8: Silbergehalte der Drachmen des Peroz.

Walkash

Aus der Regentschaft Walkash (484–488 n. Chr.) standen vier Drachmen für die Untersuchungen zur Verfügung. Die Silbergehalte variieren von 96,3% bis 97,0%, der Mittelwert beträgt $96,7 \pm 0,4\%$ (Tab. 9). Sowohl im Silbergehalt als auch im Spurenelementbereich zeigen die untersuchten Münzen keine signifikanten Abweichungen voneinander.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
25	Ib/1b	GW	96,3
28	Ib/1b	LD	97,0
30	Ib/1b	LYW	97,0
32	Ia/1a	MY	96,3

Tab. 9: Silbergehalte der Drachmen des Walkash.

Kawad I. / 1. Regierung

Aus der ersten Regierungsperiode Kawads I. (488–497 n. Chr.) standen 15 Drachmen für naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung. Die Silbergehalte der untersuchten Münzen variieren von 93,3% bis 97,3%, der Mittelwert beträgt $95,7 \pm 1,2\%$ (Tab. 10). Sowohl im Spurenelementbereich als auch im Silbergehalt zeigen alle untersuchten Münzen keine signifikanten Abweichungen. Weiters wurden eine 1/6 Drachme (Nr. 46) und eine Bronzemünze (Nr. 47) untersucht. Da beide Münzen jedoch bereits mit freiem Auge deutliche Spuren von Korrosion erkennen ließen, sind die mittels RFA an der Oberfläche durchgeführten Quantifizierungen nicht sinnvoll, weshalb auf eine Publikation dieser Ergebnisse verzichtet wird.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
2	I/1	AH	96,3
3	I/1	AH	95,6
6	I/1	AS	93,8
10	I/1	AS	96,3
11	I/1	AS	95,9
12	I/1	AT	96,9
16	I/1	AY	95,7
19	I/1	AY	94,3
27	I/1	GW	93,3
31	I/1	KA	97,3
33	I/1	KL	97,1
34	I/1	KL	97,0
35	I/1	LD	95,8
41	I/1	MY	94,8
42	I/1	MY	96,0

Tab. 10: Silbergehalte der Drachmen des Kawad I. / 1. Regierung

Zamasp

Aus der Zeit Zamasp (497–499 n. Chr.) gelangten 3 Drachmen zur Untersuchung. Die Silbergehalte der untersuchten Münzen variieren von 95,4% bis 96,9%, der Mittelwert beträgt $96,0 \pm 0,6\%$ (Tab. 11). Im Spurenelementbereich unterscheidet sich Nr. 25 durch einen deutlich erhöhten Bleianteil und das Vorhandensein von Zinn.

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
2	Ib/1b	AS	95,7
3	Ib/1b	AS	96,9
25	Ia/1a	WH	95,4

Tab. 11: Silbergehalte der Drachmen des Zamasp

Nr.	Typ	Münzstätte	Ag-Gehalt [%]
6	Ic/1b	AM	95,0
18	Ib/1a	AS	96,5
33	Ic/1a	AS	96,1
53	Ib/1a	AW	95,6
54	Ib/1a	AW	95,9
74	Ib/1a	AY	96,7
76	Ib/1a	AY	97,0
79	Ic/1a	AY	96,4
85	Ic/1a	AY	97,2
96	Ic/1b	AY	97,1
98	Ic/1b	AY	94,8
101	Ic/1b	AYLAN	95,8
104	Ic/1b	AYLAN	95,2
115	Ib/1a	BYŠ	96,5
132	Ic/1b	DYWAN	96,5
138	Ic/1b	DYWAN	96,2
144	Ic/1b	DYWAN	95,7
148	Ic/1b	DYWAS	96,2
155	Ib/1a	GD	94,7
157	Ic/1b	GD	96,9
166	Ib/1a	GW	59,7
169	Ic/1a	GW	94,4
178	Ic/1b	HL	94,2
181	Ic/1b	HL	95,6
191	Ib/1a	KL	94,1
194	Ib/1a	KL	95,7
197	Ia/1a	LD	96,7
201	Ic/1a	LD	96,0
204	Ic/1a	LD	96,9
212	Ic/1a	LYW	94,3
213	Ic/1a	LYW	95,0
214	Ic/1b	LYW	96,0
216	Ic/1b	LYW	96,6
219	Ib/1a	MA	93,9
221	Ic/1b	MA	95,0
247	Ib/1a	NY	94,0
248	Ib/1a	NY	96,1
250	Ic/1a	NY	95,6
253	Ic/1b	NY	93,0
266	Ic/1a	ST	48,4
276	Ic/1a	WH	97,1
308	Ic/1b	Imitativa	95,4
309	Ic/1b	Imitativa	96,4
310	Ic/1b	Imitativa	95,4

Tab. 12: Silbergehalte der Drachmen des Kawad I. / 2. Regierung

Kawad I. / 2. Regierung

Aus der zweiten Regierungsphase Kawads I. (499–531 n. Chr.) gelangten 41 Drachmen aus 17 unterschiedlichen Münzstätten, sowie drei Imitativa zur Untersuchung. Da aufgrund des Ag K/Ag L- Verhältnisses die am Revers von Nr. **85** durchgeführten Messungen verworfen werden mußten, wurde diese Münze nur mit Hilfe der am Avers ermittelten Röntgenintensitäten ausgewertet. Nr. **166** fällt sowohl durch einen deutlich geringeren Silbergehalt von 59,7% als auch durch das Fehlen der Spurenelemente Gold und Blei auf, was für Münzen aus dieser Zeit äußerst ungewöhnlich ist. Bei Nr. **266** beträgt der Silbergehalt 48,4%. Zum Unterschied von Nr. **166** enthält diese Drachme neben Silber und Kupfer die Elemente Blei, Gold und Zinn, wobei letzteres als Begleitelement von Kupfer zu interpretieren ist. Die Silbergehalte der übrigen untersuchten Münzen (ohne Nr. **166** und **266**) variieren von 93,0% bis 97,2%, der Mittelwert beträgt $95,7 \pm 1,0\%$ (Tab. 12). Abgesehen von überdurchschnittlich hohen Anteilen an Blei bei Nr. **155** und **169** und hohen Anteilen von Zinn bei Nr. **115**, **155** und **194**, wobei letztere zusätzlich auch Zink enthält, konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Münzen festgestellt werden. Auch läßt das Spurenelementmuster keine auf die Prägestätten bezogenen Unterschiede erkennen. Die drei Imitativa (Nr. **308**, **309** und **310**) zeigen weder im Silbergehalt noch im Spurenelementbereich Unterschiede zu den übrigen Münzen.

Zusammenfassung

Die zur Untersuchung gelangten Drachmen weisen einen durchschnittlichen Silbergehalt von $96,5 \pm 0,9\%$ Ag auf. Nebenbestandteile bilden Kupfer, Gold und Blei. Vereinzelt konnten die Spurenelemente Eisen, Zinn, Zink und Quecksilber nachgewiesen werden. Eine Unterscheidung der Münzen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung bezogen auf ihre Prägestätte ist allerdings nicht möglich.

