

SEMEN KERTSER

MAGNETISCHE EIGENSCHAFTEN UND DICHTEN ANTIKER MÜNZEN

aus: Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik 203 (2017) 177–191

© Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

MAGNETISCHE EIGENSCHAFTEN UND DICHTEN ANTIKER MÜNZEN

Einleitung

Bereits im Altertum kannte man die Eigenschaft einiger magnetischer Mineralien, Eisen anzuziehen. Die Methode zur Bestimmung von Eisen in Legierungen ist preiswert und schnell. Sie wird auch in der Form einfachster Schnellanalysen von Münzlegierungen genutzt, z.B. zur Erkennung von Fälschungen. Entgegen der weitverbreiteten Meinung, dass nur einige Metalle magnetische Eigenschaften besitzen, zeigen fast alle Stoffe in mehr oder weniger hohem Grade Wechselwirkungen mit äußeren magnetischen Feldern. Jedoch ist die Kraft der Wechselwirkung bei der Mehrheit der Stoffe 100.000 mal schwächer als die Wechselwirkung eines magnetischen Feldes mit Eisen.¹ Einige Stoffe werden von magnetischen Feldern leicht abgestoßen (Diamagnete: Gold, Silber, Kupfer), andere werden umgekehrt leicht angezogen (Paramagnete: Wolfram, Platin). Magnetische Eigenschaften können sich sogar in ein und derselben Legierung unterscheiden. Sie sind nicht nur von der Zusammensetzung abhängig, sondern auch von der Gitterstruktur, welche sich mit der Zeit ändert, was für numismatische Untersuchungen von Bedeutung sein kann.

Die magnetische Suszeptibilität gilt als eine sehr wichtige magnetochemische Kenngröße. Nach dem Gouy'schen Prinzip führt man eine paramagnetische Probe zwischen die Pole zweier starker Permanentmagnete ein. Dabei wird durch die Elementarmagnete der Probe ein dem angelegten Magnetfeld entgegengesetztes Magnetfeld induziert. Da die Kraft rechtwinklig zum angelegten Magnetfeld gerichtet ist, wird die Probe leicht nach oben gedrückt. Die Kraftwirkung ist mittels einer Waage messbar.²

Selbstverständlich geschieht die Veränderung der magnetischen Suszeptibilität bei verschiedenen Materialien (Legierungen) in unterschiedlicher Geschwindigkeit. Dasselbe lässt sich auch über die Dichte sagen. Deshalb ist die Feststellung und statistische Erfassung dieser Parameter antiker Münzen nicht nur von theoretischem, sondern auch von praktischem Interesse, da diese Veränderungen keine Berücksichtigung bei Fälschungen finden. Zugleich bildet das Erfassen der oben erwähnten Parameter keine Komplikationen und bedarf keiner kostspieligen Ausrüstung.

Es sind kompakte und sehr starke Neodympermanentmagneten sowie preiswerte, empfindliche und kompakte Waagen auf dem Markt. Mit der Kombination dieser Ausstattung auf Basis einer Waage der Firma G&G war ein einfaches Instrument geschaffen für eine ausreichend genaue Messung der Dichte und der magnetischen Suszeptibilität von Münzen.³

¹ Kim (1999) 27.

² Malerich-Ruff (2004) 1155.

³ Ich möchte herzlich Herrn Prof. Dr. W. Weiser, Herrn Prof. Dr. J. Heinrichs, Herrn Dr. A. Geißen, Herrn Dr. G. Staab, Herrn Dr. U. Klöppel (Aarbergen), Herrn Dr. E. Auer und Hans Linnartz (Münzhandlung – Kölner Münzantiquariat) danken für die Überlassung des untersuchten Materials, für das Lesen und Berichten des Textes sowie für die Erörterung und die wertvollen Ratschläge zur Interpretation einiger Ergebnisse der Untersuchung. Ich bedanke mich auch bei Herrn Vladimir Frost (Erfinderclub IWIS-Köln e.V.) für die technische Unterstützung bei der Instrumenten-Montage. Besonderer Dank geht an Reinhold Schwarz für die Übersetzung und Hilfe bei der Vorbereitung des Textes dieser Publikation.

Geräteschreibung und Messmethode

Zum hydrostatischen (Dichtebestimmung) und magnetischen (Bestimmung der magnetischen Suszeptibilität) Wiegen wird ein und dieselbe Waage (mit einer Genauigkeit bis zu 1 mg) verwendet.



Abb. 1

Das Instrument besteht aus folgenden Teilen:

1. Teile zur Dichtemessung: Waage (1), Untergestell 21,5 cm × 13,5 cm (7) mit Stativ (8), durchsichtiger Behälter (9) mit 55 mm Durchmesser und 30 mm Höhe, welcher mit Wasser gefüllt wird (40–45 ml).

2. Teile und Vorrichtungen zur Messung magnetischer Suszeptibilität: Waage (1), in der Höhe regulierbarer Magnethalter (2), der Durchmesser der Halterbasis – 28 mm – entspricht genau dem Durchmesser der Vertiefung des Untergestells der Waage, und der eigentliche Neodymmagnet (3) in der Form eines Kegelstumpfs mit einem unteren Durchmesser von 15 mm und oberen von 8 mm. Gesamtgewicht des Untergestells mit Magnet: 25–30 g. Im Deckel der Waage (4) mit Bezug auf das Waagegestell zentrierte Öffnung (5) – Durchmesser 9 mm – mit einem dünnen (0,2 mm Dicke) Deckglas.

Methode zur Dichtebestimmung

Der mit Wasser gefüllte Behälter 9 wird mit einer Hand bis zum Anschlag mit dem am Stativ 8 befestigten Untergestell erhoben.



Abb. 2

Mit der anderen Hand wird die eingeschaltete Waage (1) unter den Behälter (9) versetzt, welcher danach auf das Waagegestell herabgelassen wird.

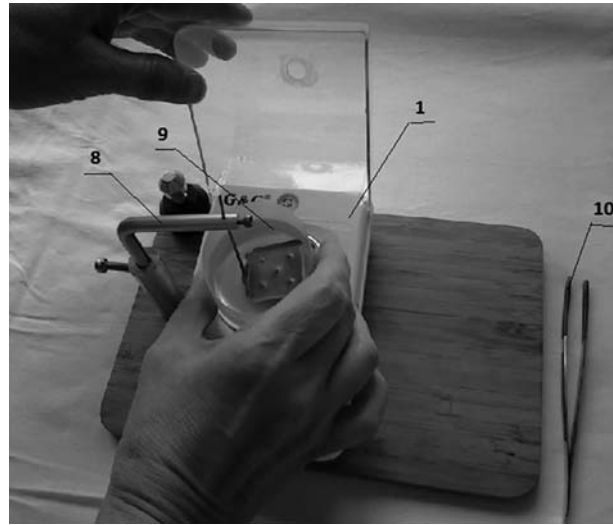


Abb. 3

Danach wird die Waage durch Drücken des entsprechenden Knopfes genullt. Von diesem Moment an ist das Instrument arbeitsbereit. Wichtig ist das Eintauchen des Untergestells ins Wasser auf eine maximal mögliche Tiefe. Dabei darf es jedoch nicht den Boden des Behälters berühren. Mit Hilfe der Pinzette (10) wird das zu untersuchende Objekt (Münze) vorsichtig unter Vermeidung eines Überlaufens des Wassers auf das Gestell platziert. Wenn sich Wassertropfen auf der Pinzette befinden, dann sollten sie akkurat zurück in den Behälter geschüttet werden. Das zu untersuchende Objekt muss vollständig mit Wasser bedeckt sein. Auf dem Objekt dürfen sich keine wahrnehmbaren Luftbläschen befinden.

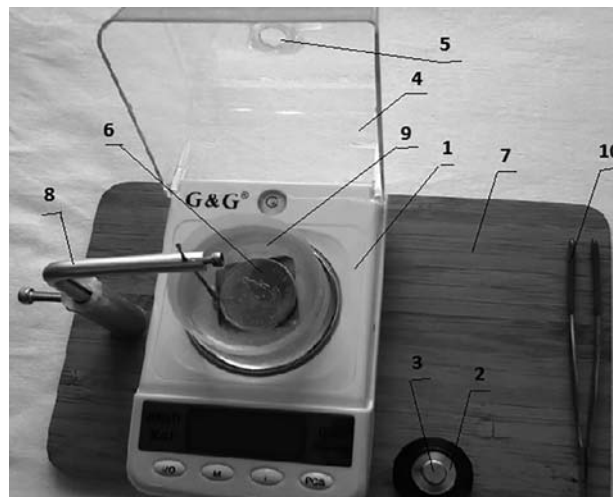


Abb. 4

Nach einigen Sekunden erscheint auf dem Display der Waage ein stabiler Wert, der das Volumen des Objekts in Kubikcentimeter anzeigt. Danach wird das Objekt mit der Pinzette entfernt und die Waage genullt. Das Instrument ist zur neuen Messung bereit. Die Dichte (g/cm^3) bestimmt sich über das Verhältnis des Objektgewichts in Gramm zu seinem Volumen in Kubikcentimeter.

Methode zur Bestimmung der magnetischen Suszeptibilität⁴

Die Waage wird in eine äußere rechte Lage weiter weg vom Stativ versetzt. In der Nähe dürfen sich keine Eisengegenstände befinden. Nach dem Einschalten der Waage (1) wird der Halter (2) mit Magnet (3) in die Waagegestellvertiefung hineingestellt (Abb. 5). Die Eisenteile der Waage beeinflussen die Messergebnisse nicht, weil nur die Veränderung (der Unterschied) der Magnetgewichtskraft in Anwesenheit und Abwesenheit des zu untersuchenden Objekts (Münzen) fixiert wird.



Abb. 5

Durch das Drücken des entsprechenden Knopfes wird die Waage genullt und der Deckel (4) senkt sich. Die Öffnung (5) muss genau über dem Magneten sein, und der Halter (2) muss so eingestellt sein, dass der Magnet (3) so nah wie möglich am Deckglas ist, es aber nicht berührt. Die Berührung lässt sich leicht feststellen über die Veränderung der Waageanzeige beim Herablassen des Deckels (4). Falls eine Berührung erfolgte, folgt eine leichte Verringerung der Höhe am Halter (2). Falls die Waageanzeige unverändert bleibt, darf man zur Messung schreiten. Zeitgenössisches reines Gold ist diamagnetisch und bei Auflegen eines Goldobjekts (6: Münze) auf das Deckglas (Abb. 6) verändert sich die Waageanzeige in den positiven Bereich.

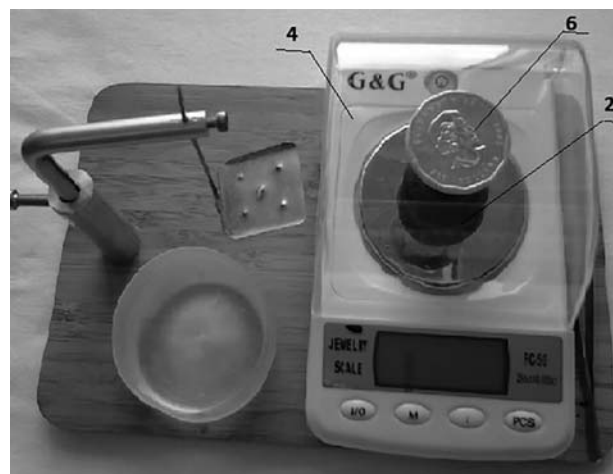


Abb. 6

⁴ Urkunde über die Eintragung des Gebrauchsmusters Nr. 20 2014 009 752: Einfaches Gerät zur Messung der magnetischen Suszeptibilität von dia- und paramagnetischen Mineralien, Nuggets, Münzen. Inhaber: Kertser, Semen. Tag der Eintragung: 21.04.2015. Das Deutsche Patent- und Markenamt. München.

Nach dem Nullen der Waage und Entfernung der Goldmünze verschiebt sich die Anzeige in den negativen Bereich.

Wenn als Objekt eine Platinprobe (paramagnetisch) genutzt wird, verändert sich die Waageanzeige in den negativen Bereich. Nach dem Nullen der Waage und Entfernung dieser Platinprobe verschiebt sich die Anzeige in den positiven Bereich.

Wie bekannt, ist die Empfindlichkeit der Waage im Wertebereich nahe Null minimal. Deswegen wird die Verschiebung des Nullpunktes genutzt, um die Empfindlichkeit und Messgenauigkeit bei der Anzeige kleiner Werte zu erhöhen. Wenn sich z.B. das Gewicht des Magneten auf 8 mg erhöht, bleibt diese Veränderung von der Waage unregistriert bei einem Verharren auf dem Nullpunkt. Aber wenn die Waage am Anfang z.B. 30 mg anzeigt (der Nullpunkt ist auf 30 mg verschoben), dann ändert die Waage nach einer Gewichtserhöhung des Magneten um 8 mg das Gewicht auf 38 mg. Auf diese Weise lassen sich ähnliche Veränderungen leicht anhand der Differenz zweier Anzeigen (vor und nach der Veränderung des Magnetgewichts: $30 \text{ mg} - 38 \text{ mg} = -8 \text{ mg}$) ermitteln. Das zeugt davon, dass der Magnet sich von dem untersuchten Objekt abstößt und bedeutet in Übereinstimmung mit dem Dritten Newtonschen Gesetz, dass das untersuchte Objekt sich mit derselben Kraft vom Magneten abstößt und diamagnetische Eigenschaften aufweist (negativer Wert magnetischer Suszeptibilität). In Fällen mit Paramagneten ist es umgekehrt. Bei einem Ausgangswert von 30 mg verringert sich das Gewicht des Magneten nach der Platzierung des zu untersuchenden Objekts auf dem Glasdeckel. Die Waageanzeige steht z.B. bei 22 mg: $30 \text{ mg} - 22 \text{ mg} = 8 \text{ mg}$. Positive Werte entsprechen paramagnetischen Eigenschaften des Objekts. Die Größe dieser Änderungen ist abhängig von der magnetischen Suszeptibilität des Objekts. Dabei hängt sie aber noch von den Maßen des Objekts und den Parametern des Instruments ab.

Mit dem Ziel, diese Faktoren auszuschließen, werden kalibrierte Objekte aus reinem Gold genutzt, welche eine magnetische Empfindlichkeit von -1 annehmen. Weil die Objekte eine Zylinderform haben, sind ihre Maße durch den Durchmesser und die Höhe eines Zylinders charakterisiert. Die empirischen Konstanten zu Durchmesser k_1 und Höhe k_2 des Objektes, welche von den Parametern des Instruments abhängen, lassen sich mit Hilfe der Lösung des Systems linearer Gleichungen berechnen. Die Nutzung solcher Konstanten gibt eine Möglichkeit zur Messung relativer magnetischer Suszeptibilität (RMS), welche gut mit den tabellarischen Werten magnetischer Suszeptibilität reiner Metalle korreliert.⁵

$$R = W / (k_1 \cdot d + k_2 \cdot t)$$

Hierbei R: Relative magnetische Suszeptibilität; W: Veränderungswert (der Unterschied) der Magnetgewichtskraft in Anwesenheit und Abwesenheit des zu untersuchenden Objekts auf dem Deckel, k_1 und k_2 die Konstanten zu Durchmesser bzw. Höhe des Objektes; d und t Durchmesser bzw. Höhe des Objekts.

Physische Charakteristik von Legierungen, welche in antiken Münzen genutzt wurden

Bei der Interpretation der Messergebnisse von Gewicht, Volumen, Dichte und magnetischer Suszeptibilität antiker Münzen ist zu berücksichtigen, dass solche Münzen sich in der beträchtlichen Vielfältigkeit der Legierung, dem Vorhandensein von Patina und manchmal tiefer Korrosion unterscheiden.⁶ Deswegen verlangt die richtige Interpretation eine große Datenbasis und die Anwendung statistischer Methoden. Diese Methoden erlauben es, eine Reihe interessanter Gesetzmäßigkeiten zu zeigen, welche für die Feststellung der Echtheit und die Identifikation und Klassifikation des Münzmaterials nützlich sein könnten. In diese Publikation fanden Eingang Materialien der Untersuchung von physikalischen Parametern von ca. 3500 Münzen aus Alexandria von 28 v.Chr. bis 300 n.Chr. und ca. 2000 Münzen aus Asia Minor aus den Jahren von 500 v.Chr. bis 300 n.Chr. (online-Datenbank: muenzen.uni-koeln.de). Auch wenn das Gewicht der Münzen bei der Klassifizierung Berücksichtigung fand, sind Daten der Dichte und besonders der relativen magnetischen Suszeptibilität (RMS) der Legierungen für diese Ziele praktisch nie genutzt worden. Für

⁵ Lide (2003–2004) 4.141–4.146.

⁶ Fischer (1942) 437–447.

eine bequemere Analyse wurde der ganze breite Umfang magnetischer Eigenschaften unterschiedlicher Münzlegierungen in fünf magnetische Bereiche geteilt (alexandrinische Prägungen):

1. Negative RMS – diamagnetisch – Die Münzen werden von dem magnetischen Feld abgestoßen. Z.B. Tetrachme Hadrian 130/131 n.Chr., 25 mm, Billon (AL_1263).⁷



Abb. 7

2. RMS von 0,1 bis 1 – leicht paramagnetisch – leichte Anziehung mit einer Kraft, welche vergleichbar ist mit der Kraft der Wechselwirkung des Magneten mit dem kalibrierten Objekt. Z.B. Tetrachme Hadrian 119/120 n.Chr., 24 mm, Billon (AL_0781).



Abb. 8

3. RMS von 1,01 bis 10 – paramagnetisch – wird mit einer bis zu 10 mal höheren Kraft als das Letztere angezogen. Z.B. Hemidrachme Hadrian 129/130 n.Chr., 29 mm, Bronze (AL_1017).



Abb. 9

4. RMS von 10,01 bis 100 – stark paramagnetisch – wird mit einer bis zu 100 mal höheren Kraft angezogen, als die Kraft der Wechselwirkung des Magneten mit dem kalibrierten Objekt. Z.B. Tetrachme Severus Alexander 224/225 n.Chr., 25 mm, Billon (AL_2424).



Abb. 10

⁷ Alle Münzzitate in den Abbildungen beziehen sich auf die Internetdatenbank der Münzsammlung <http://muenzen.uni-koeln.de/portal/home.html?l=de>.

5. RMS mehr als 100 – ferromagnetisch – mehr als 100 mal höhere Kraft der Wechselwirkung des Magneten mit dem kalibrierten Objekt. In diesem Fall ist die Anziehung zum Magneten auch ohne feinfühligere Waagen wahrnehmbar. Z.B. Tetradrachme Maximian 285/286 n.Chr., 21 mm, Billon (AL_3278).



Abb. 11

Es ist bekannt, dass die Hauptkomponente (Gold Au, Silber Ag, Kupfer Cu) der Münzlegierungen diamagnetisch (s. Bereich 1) ist. Eine bestimmte Menge von paramagnetischen Elementen, z.B. Platin Pt, Palladium Pd, Wolfram W kann leicht oder mäßig (s. Bereiche 2–4) vom Magneten angezogen werden, genau wie ganz kleine Spuren von ferromagnetischen Elementen Eisen Fe, Nickel Ni, Kobalt Co (s. Bereich 5), die zum Magneten ganz stark ziehen können. Deshalb ist die Aufteilung nach einem paramagnetischen und ferromagnetischen Bereich ausreichend für Legierungen komplexer Zusammensetzung. Jedoch sind für numismatische Untersuchungen die magnetischen Mechanismen unwichtig. Wichtig ist die Offenbarung des Annäherungsgrades in der Zusammensetzung von Münzlegierungen, welche eine oder verschiedene Quellen zeigen. In Münzlegierungen gibt es auch bestimmte Mengen diamagnetischer Elemente (Blei Pb, Zinn Sn, Zink Zn).

Die erhaltenen Daten wurden verglichen und analysiert in entsprechender Menge der Münzen (%) in jeder der fünf aufgezählten magnetischen Bereiche. Unten sind die Diagramme aufgeführt, welche als Ergebnis der Analyse des Münzmaterials gegeben sind

Hier werden die örtlichen Veränderungen magnetischer Eigenschaften antiker Münzen vorgestellt.

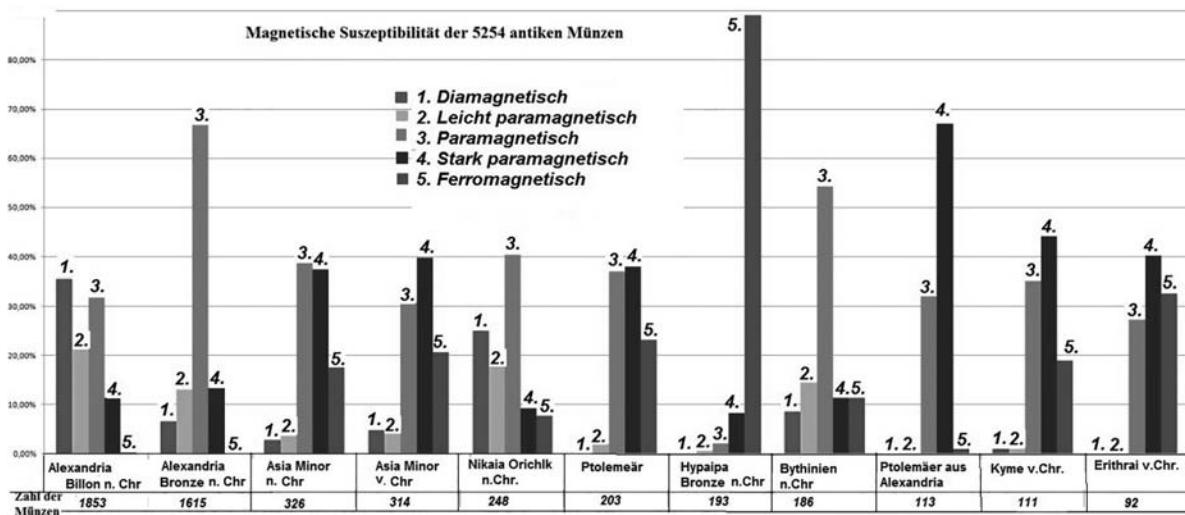


Diagramm 1

Wie in Diagramm 1 zu sehen ist, sind fast 90% der Münzen aus Hypaipa ferromagnetisch. Es ist zu bemerken, dass fast alle diese Münzen aus demselben Hort stammen. Gleichzeitig trifft man auf fast keine ferromagnetischen Münzen aus Alexandria, aber oft sind diese Münzen aus Billon diamagnetisch. Billon ist eine Legierung aus Kupfer und Silber, deren Silbergehalt weniger als 500/1000 (50 %) beträgt. Eine Billonlegierung kann auch weitere unedle Metalle wie zum Beispiel Zinn oder Zink enthalten.

In Diagramm 2 werden die chronologischen Veränderungen magnetischer Eigenschaften antiker Münzen aus Alexandria vorgestellt. Die Münzen wurden nach ungefähr 100-er Gruppen gemäß Prägejahren eingeteilt.

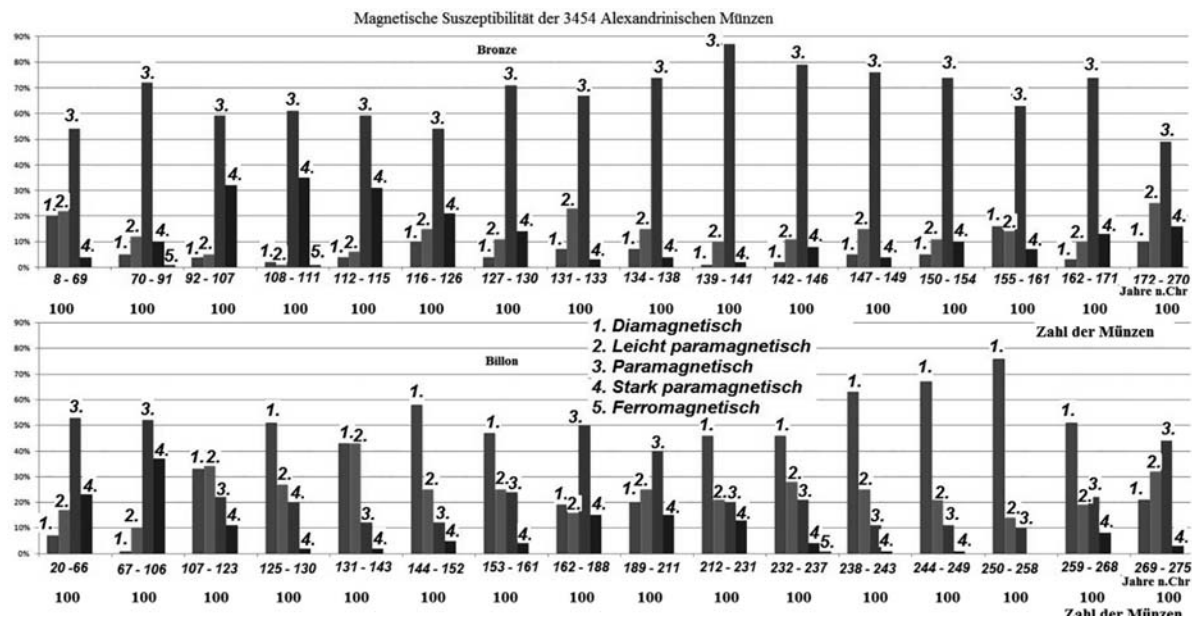


Diagramm 2

Interessant ist der Wechsel der magnetischen Eigenschaften von Münzen aus Alexandria in chronologischer Abfolge. Wie in Diagramm 2 zu sehen ist, kommt die maximale Anzahl paramagnetischer Bronzemünzen aus der Periode 139–141 n. Chr. Zwischen den Billonmünzen aus Alexandria gibt es beträchtlich weniger paramagnetische, dafür aber ausreichend viele diamagnetische Münzen. Es sind zwei Spitzenwerte hervorzuheben: kleinster Wert bei 144–152 n. Chr., größter Wert bei 250–258 n. Chr. Gleichzeitig mit den magnetischen Eigenschaften wurde die Dichte der Münzlegierung analysiert, welche in den vier folgenden Bereichen bewertet wurde.

1. Beträchtlich niedriger als die Dichte reinen Kupfers bis zu 8 g/cm^3 . Z.B. Tetradrachme, Hadrian, 117/138 n. hr., 24 mm, Billon (AL_1247).



Abb. 12

2. Niedriger als die Dichte des Kupfers von $8,1\text{--}8,8 \text{ g/cm}^3$. Z.B. Drachme, Hadrian, 132/133 n. Chr., 34 mm, Bronze (AL_1079).



Abb. 13

3. Annähernd gleich mit der Dichte des Kupfers von 8,81–9,1 g/cm³. Z.B. Tetradrachme, Hadrian, 120/121 n. hr., 26 mm, Billon (AL_0802).



Abb. 14

4. Höher als die Dichte des Kupfers von 9,11 g/cm³. Z.B. Drachme, Hadrian, 123/124 n. Chr., 34 mm, Bronze (AL_0865).



Abb. 15

Unter den Billonmünzen aus Alexandria kommt der Spitzenwert mit relativ niedriger Dichte (Diagramm 3) aus der Periode 238–245 n. Chr., dabei nimmt die relative Menge an Münzen mit einer Dichte nahe an der Kupferdichte ab.

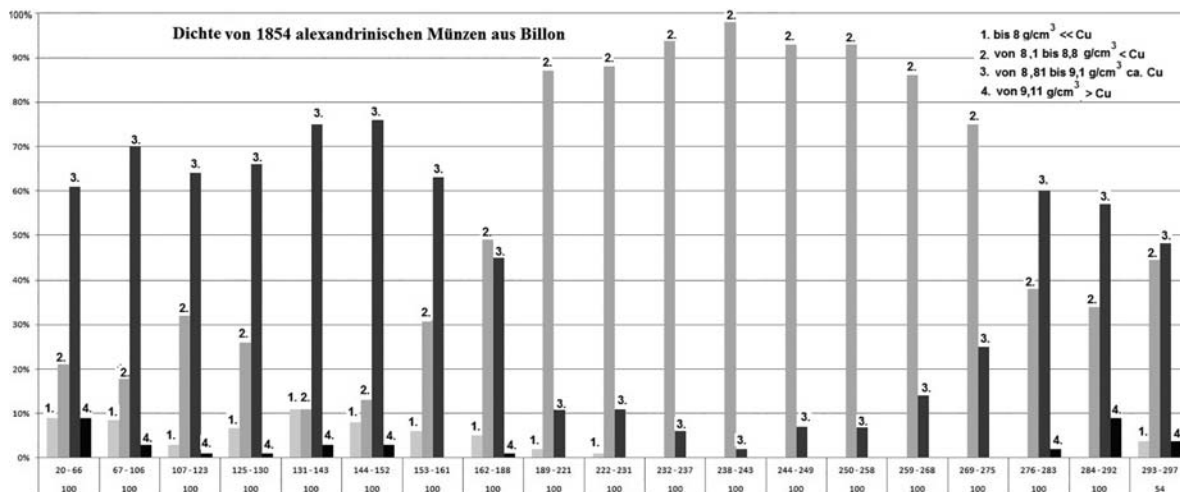


Diagramm 3

Unter den Bronzemünzen aus Alexandria (Diagramm 4) erscheint ein ausgeprägter Spitzenwert für Münzen mit einer hohen Dichte aus der Periode 155–161 n. Chr. Die Dichte dieser Legierung ist wegen des höheren Bleigehaltes höher als die Dichte von Kupfer.⁸

⁸ Gölitzer (2004) 61–69.

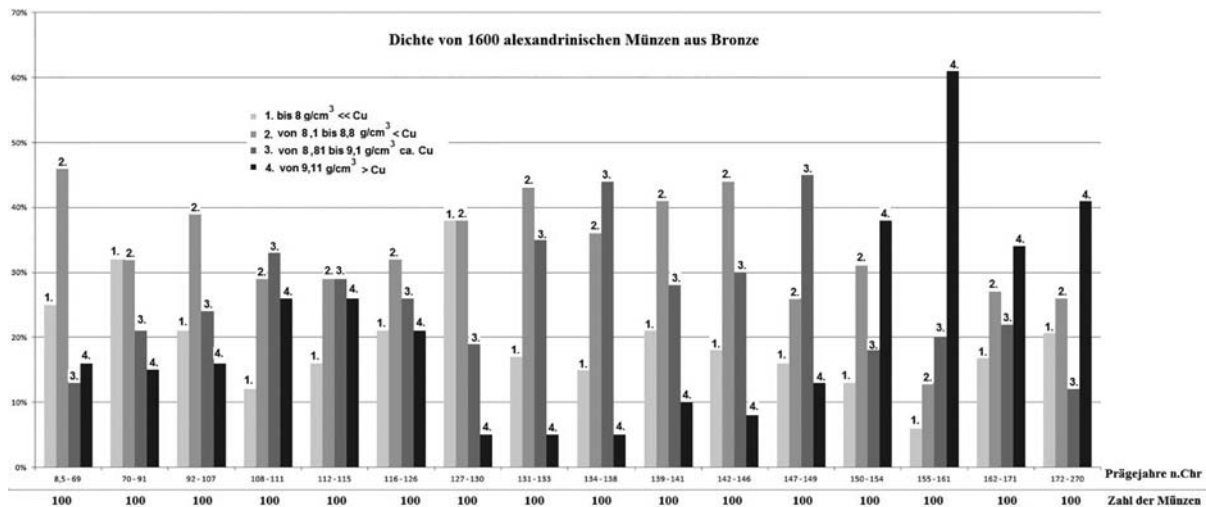


Diagramm 4

Bestimmung der Unterschiede magnetischer Eigenschaften in den Münzgruppen

Für eine vergleichende Bewertung der magnetischen Eigenschaften von Münzen in Bezug zu den Gruppen mit verschiedenen Münzmengen wurde ein Computerprogramm entwickelt. Das Programm erlaubt eine statistische Zuverlässigkeit der Gruppenunterschiede zu bestimmen.

Der Kennwert D der Gruppenunterschiede wurde anhand der Formel festgestellt:

$$D = \text{ABS}(M_{d1} - M_{d2}) + \text{ABS}(M_{lp1} - M_{lp2}) + \text{ABS}(M_{p1} - M_{p2}) + \text{ABS}(M_{sp1} - M_{sp2}) + \text{ABS}(M_{f1} - M_{f2})$$

Hierbei entspricht ABS dem Absolutwert, M_{d1} und M_{d2} dem prozentualen Gehalt diamagnetischer Münzen in der ersten und zweiten Gruppe. M_{lp} , M_p , M_{sp} , M_f entsprechen den analogen Werten für leicht paramagnetische, paramagnetische, stark paramagnetische und ferromagnetische Münzen.

Bei $M_d + M_{lp} + M_p + M_{sp} + M_f = 100\%$ kann der Kennwert der Gruppenunterschiede im Grenzbereich von 0 bis 200% liegen. Deshalb ist normierter D_N $(D/200\%)*100\%$. Je höher der Kennwert D ist, desto deutlicher sind die Gruppenunterschiede.

Der Algorithmus zur Bestimmung der statistischen Zuverlässigkeit dieses Kennwerts basiert auf der zufälligen Verteilung der Messergebnisse von Münzen zwischen den beiden Gruppen (zufällige Vermischung unter Beibehaltung der Objektanzahl in den Gruppen). Diese zufällige Vermischung wurde 1000 mal durchgeführt. In jedem Fall wurde der Kennwert der Unterscheidung zwischen den Gruppen D_z (D zufällig) mit dem D Ausgangswert verglichen. Die statistische Zuverlässigkeit wurde anhand der Formel festgestellt:

$P = 1 - n/1000$, wobei n die Anzahl der Fälle angibt, wenn der zufällige Unterschied D_z gleich oder größer ist als der Ausgangswert D ($D_z \geq D$).

Zuverlässigkeit P zeigt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass die zwei Gruppen unterschiedlich sind.

Unten sind drei Beispiele des Vergleichs unterschiedlicher Münzgruppen angeführt:

Beispiel 1. Die Münzen des Philippus I.

Gruppe 1. 112 Münzen aus Alexandria.

$$M_{d1} = 55,4\%, M_{lp1} = 17,9\%, M_{p1} = 17,9\%, M_{sp1} = 8,9\%, M_{f1} = 0\%$$

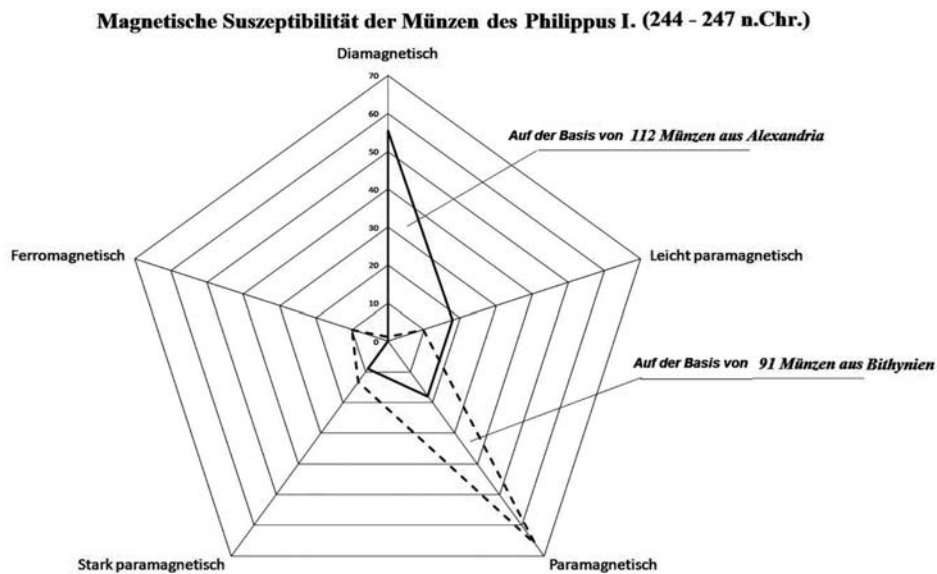
Gruppe 2. 91 Münzen aus Bithynien

$$M_{d2} = 1,1\%, M_{lp2} = 9,9\%, M_{p2} = 65,9\%, M_{sp2} = 13,2\%, M_{f2} = 9,9\%$$

$$D = \text{ABS}(M_{d1} - M_{d2}) + \text{ABS}(M_{lp1} - M_{lp2}) + \text{ABS}(M_{p1} - M_{p2}) + \text{ABS}(M_{sp1} - M_{sp2}) + \text{ABS}(M_{f1} - M_{f2})$$

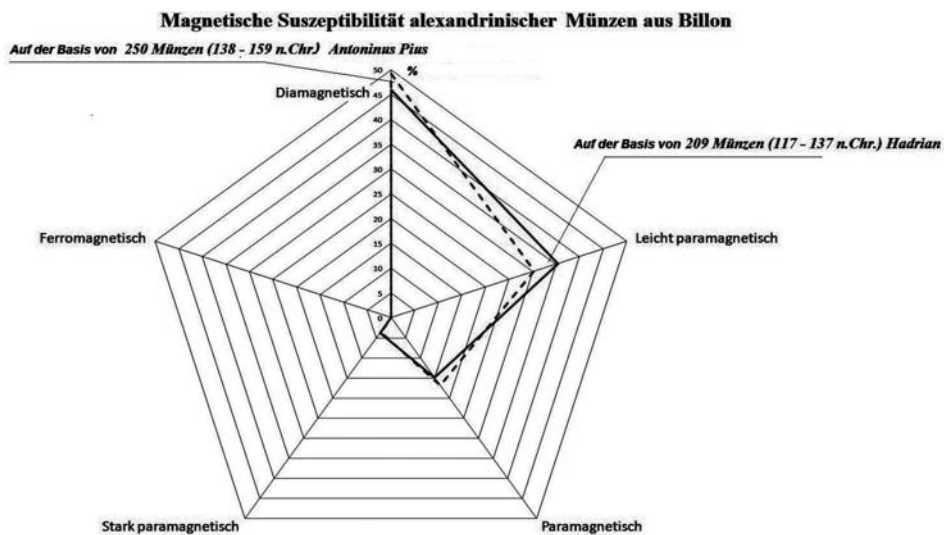
$$D = \text{ABS}(55,4 - 1,1) + \text{ABS}(17,9 - 9,9) + \text{ABS}(17,9 - 65,9) + \text{ABS}(8,9 - 13,2) + \text{ABS}(0 - 9,9)$$

$$D_N = 124,5/2 \text{ oder ca. } 62\%$$



Folgerung: Die magnetischen Eigenschaften der Legierungen, aus welchen die Münzen des Philippus I. in Alexandria geprägt wurden (Gruppe aus 112 Münzen), unterscheiden sich beträchtlich und statistisch zuverlässig von den Legierungen der Münzen des Philippus I., welche in Bithynien (Gruppe aus 91 Münzen) geprägt wurden. Der Gruppenunterschied D_N ist 62% mit einer statistischen Zuverlässigkeit P bei 100%.

Beispiel 2. Unzuverlässiger Unterschied zweier Münzgruppen aus Billon. Erste Gruppe: Münzen der Periode von 117 bis 137 n.Chr. Zweite Gruppe: Von 138 bis 159 n.Chr.



Folgerung: Der Kennwert der Gruppenunterschied D_N ist 5,25% bei einer statistischen Zuverlässigkeit von P 49%. Statistische Zuverlässigkeit von 50% belegt, dass es keine zuverlässige Unterscheidung gibt.

Beispiel 3. Mäßiger Gruppenunterschied bei einer hohen Zuverlässigkeit. Erste Gruppe: 252 Münzen aus Nikaia. Zweite Gruppe: 155 Münzen aus Nikomedia.

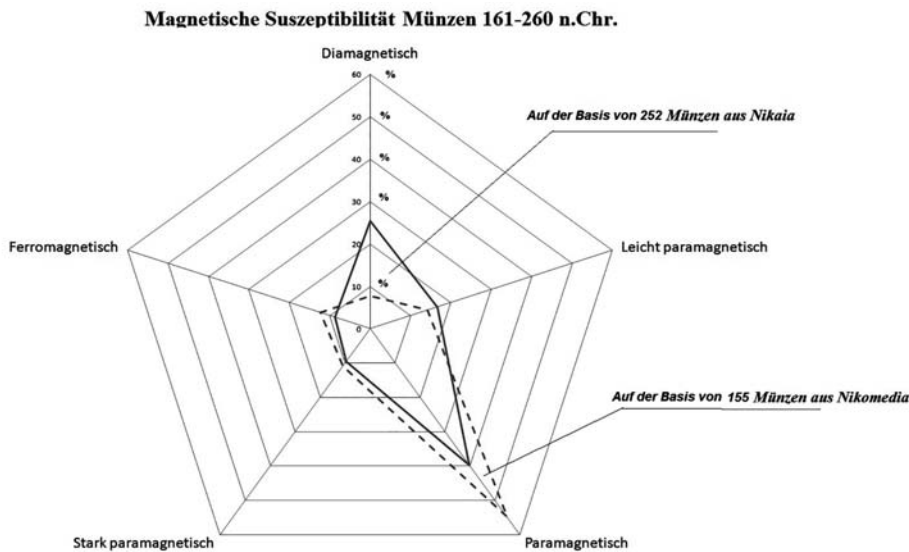


Diagramm 7

Wie aus dem Diagramm zu ersehen ist, liegen die Unterschiede in einem diamagnetischen und paramagnetischen Bereich. Es gibt mehr diamagnetische Münzen aus Nikaia und mehr paramagnetische aus Nikomedia. $D_N = 20\%$, $P = 94\%$.

Erhöhte magnetische Suszeptibilität einiger alexandrinischer Münzen des Severus Alexander

In der Münzsammlung des Britischen Museums haben 12 Münzen der Gruppe B (römischer Stil) deutlich mehr Eisen (Mittelwert 0,11% Fe) in der Münzlegierung als die 21 Münzen der Gruppe A (alexandrinischer Stil) (Mittelwert 0,05% Fe).⁹ Es ist interessant, die Ergebnisse der Messungen der Kölner Münzen AL_2392–AL_2498 für die relative magnetische Suszeptibilität (RMS) unter den Münzen von Gruppe A und Gruppe B zu vergleichen (Diagramm 8). Die RMS für die Münzen aus der Gruppe B ist deutlich höher.

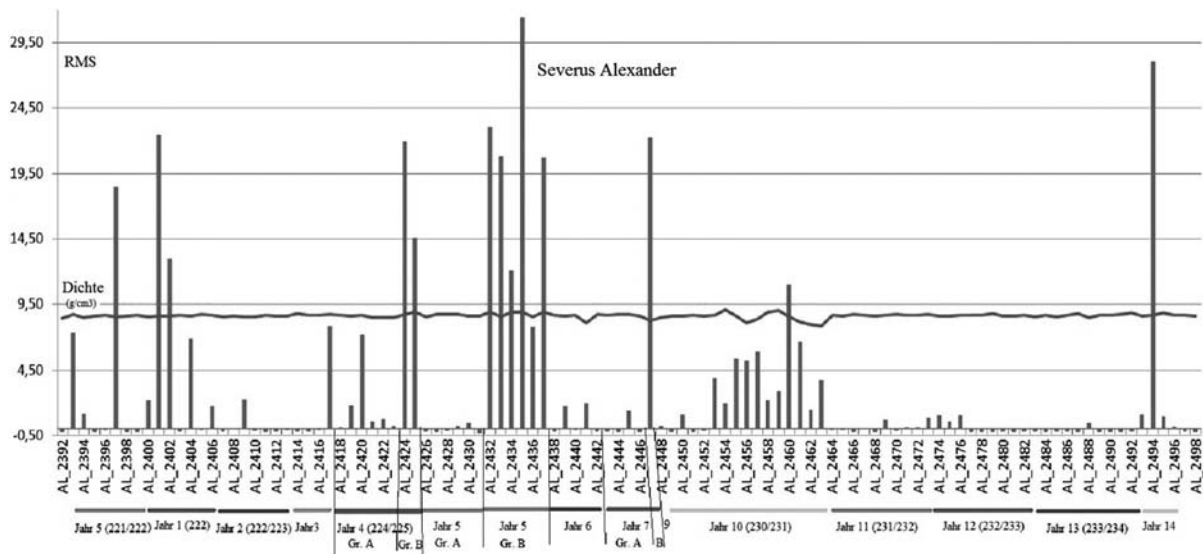


Diagramm 8

⁹ Burnet-Graddock (1983), Plate 20. S. 109–117

Damit wurde ein Beweis erbracht, dass die Sondertypen auch aus einem anderen Material bestehen. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass die „römischen“ Statere des Severus Alexander nicht in Alexandria geprägt wurden, sondern anderswo, vermutlich in Rom.

Verbindung zwischen der magnetischen Suszeptibilität und der Prägephase der Münzen von Valerian und Gallienus (Diagramm 9)¹⁰

Prägephase I: Die Münzen sind leicht paramagnetisch und manchmal diamagnetisch.

Prägephase II: Die Münzen sind wenig paramagnetisch, und die Zahl von diamagnetischen Münzen ist höher als die Münzen der Prägephase I.

Prägephase III: Die Münzen sind meistens ferromagnetisch und stark paramagnetisch.

Prägephase IV, V, IX, X: Die Münzen sind leicht paramagnetisch und manchmal diamagnetisch wie in der Prägephase II.

Prägephase XII: Die meisten Münzen sind stark paramagnetisch.

Prägephase IX: Die Münzen von Valerian und Gallienus sind unterschiedlich: von Valerian meist diamagnetisch, von Gallienus para- und ferromagnetisch.

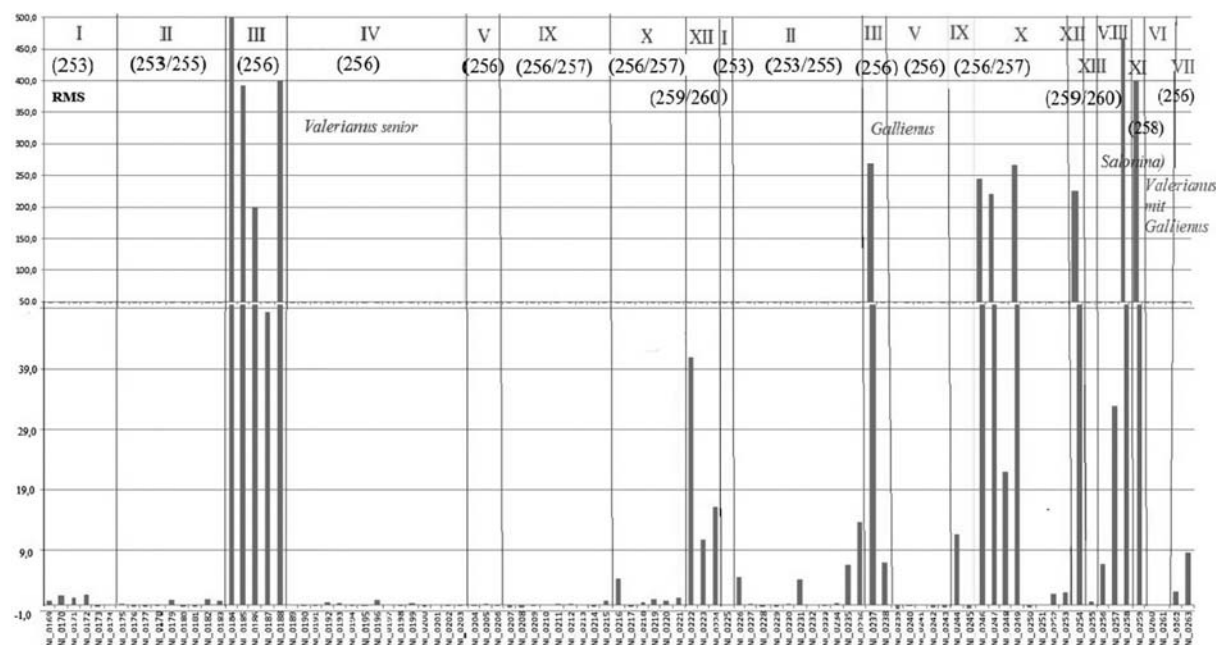
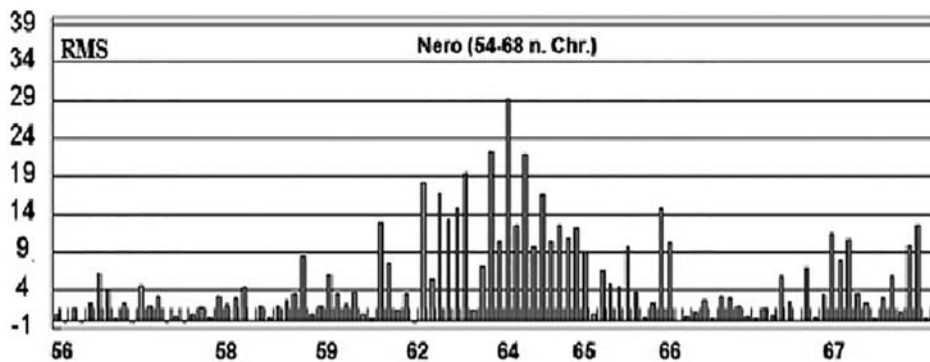


Diagramm 9

Die allgemeinen Tendenzen lassen sich in der folgenden Form beschreiben: Wenn man die Münzen nach dem Prägejahr ordnet, lässt sich ein zyklischer Charakter der Veränderung magnetischer Suszeptibilität der Münzlegierung erkennen. Perioden mit einer erhöhten magnetischen Suszeptibilität wechseln mit Perioden einer niedrigeren, wobei eher kurze Zyklen (Diagramm 10) die eher langen (Diagramm 2) überlagern.

¹⁰ Weiser (1983) 61–93.

Diagramm 10¹¹

Zusammenfassung

Von 5254 antiken Münzen der Münzsammlung am Institut für Altertumskunde der Universität zu Köln wurden Dichte und magnetische Suszeptibilität durch hydrostatisches bzw. magnetisches Wiegen gemessen.

Dadurch wurde festgestellt, dass die alexandrinischen Münzen aus Billon (Kupfer-Silber-Legierung) oft diamagnetisch sind. Besonders viele diamagnetische Münzen kommen aus den Jahren 250–258 n.Chr. Die Billon-Münzen, hauptsächlich aus den Jahren 189–275 n.Chr, weisen wegen tiefer Poren und Risse eine deutlich niedrigere Dichte als Kupfer auf. Viele Münzen aus Bronze sind paramagnetisch und haben sehr unterschiedliche Dichten. Außerdem liegt für viele alexandrinische Bronzemünzen aus den Jahren 155–161 n.Chr. die Dichte über der von Kupfer.

Viele ferromagnetische und stark paramagnetische Münzen stammen aus Asia Minor, besonders aus Erythrai, und dem ptolemäischen Ägypten. Bronzemünzen aus Hypaipa sind meistens ferromagnetisch.

Für eine vergleichende Bewertung der magnetischen Eigenschaften von Münzgruppen, die durch eine unterschiedliche Anzahl von Münzen repräsentiert sind, wurde ein Computerprogramm entwickelt, das zugleich die statistische Zuverlässigkeit miteinkalkuliert. Zur Visualisierung der magnetischen Eigenschaften der einzelnen Münzgruppen wurden jeweils Netzdiagramme erstellt. Demnach unterscheiden sich Münzen z.B. aus Nikaia (Gruppe 1: 252 Münzen) und aus Nikomedia (Gruppe 2: 155 Münzen) mit einer Zuverlässigkeit von 94%. Zwischen alexandrinischen Münzen aus den Jahren 138–159 n.Chr. (Gruppe 1: 250 Münzen von Antoninus Pius) und aus den Jahren 117–137 n.Chr. (Gruppe 2: 209 Münzen von Hadrian) lässt sich kein Unterschied nachweisen (Zuverlässigkeit von 49%).

Es wurde festgestellt, dass die relative magnetische Suszeptibilität (RMS) der Münzen des Severus Alexander im römischen Stil deutlich höher ist als die RMS der alexandrinischen Münztypen.

Es wurde veranschaulicht, dass die RMS der Münzen des Valerianus Senior und Gallienus von den Prägephasen abhängig ist.

Die magnetische Suszeptibilität und Dichte von Münzen aus unterschiedlichen Prägejahren hängt auch von der Technik der Prägung, den Bestandteilen der Münzlegierung und dem Prägeort bzw. der Metallquelle ab. Die genaue Analyse solcher physikalischer Eigenschaften aus dem Blickwinkel der Numismatik kann neue interessante Denkanstöße liefern.

¹¹ Geissen (1974) 47–73.

Bibliographie

- Burnet, Andrew – Graddock, Paul: Rome und Alexandria: The Minting of Egyptian Tetrachms under Severus Alexander, *Museum Notes (American Numismatic Society)* 28, 1983, S. 109–118.
- Caley, Earle R.: Validity of the Specific Gravity Method for the Determination of the Fineness of Gold Objects, *The Ohio Journal of Science* 49 (2), 1949, S. 73–81.
- Chemical Composition of Alexandrian Tetrachms, *Centennial Publication of the American Numismatic Society* 1958, S. 167–180.
- Fischer, Ludwig: Die Herstellung der Alexandriner Münzen, *Deutsche Münzblätter* 473/474, 1942, S. 437–447.
- Geissen, Angelo: *Katalog alexandrinischer Kaisermünzen der Sammlung des Instituts für Altertumskunde der Universität zu Köln*. Band 1: *Augustus-Trajan*, Opladen 1974.
- Gölitzer, Ernst: *Entstehung und Entwicklung des alexandrinischen Münzwesens von 30 v. Chr. bis zum Ende der julisch-claudischen Dynastie*, Berlin 2004.
- Kahnt, Helmut: Billonmünze. In: ders. (Hrsg.), *Das große Münzlexikon. Von A bis Z*, Regenstauf 2005, S. 50.
- Kim, Duk Joo: *New Perspectives in Magnetism of Metals*, New York u.a. 1999.
- Lide, David R. (Hrsg.): *Handbook of Chemistry and Physics*, 84. Auflage, Boca Raton, Fla. 2003–2004.
- Malerich, Charles – Ruff, Patricia K.: Demonstrating and Measuring Relative Molar Magnetic Susceptibility Using a Neodymium Magnet, *Journal of Chemical Education* 81, 2004, S. 1155.
- Oddy, William A. – Hughes, M. J.: The Specific Gravity Method for the Analysis of Gold Coins, in: Hall, E. T. – Metcalf, D. M. (Hrsg.), *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of the Ancient Coinage*, London 1972, S. 75–87.
- Weiser, Wolfram: *Katalog der bithynischen Münzen der Sammlung des Instituts für Altertumskunde der Universität zu Köln*. Band 1: *Nikaia*, Opladen 1983.

Semen Kertser, Köln
kertser@gmx.de