

Auf der Spurensuche des Handwerks zum Prägen antiker Münzen unter Einsatz von höchst aufgelösten digitalen 2D- und 3D-Modellen

The Craftsmanship of Coinage: Searching for Traces Using High-Resolution Digital 2D and 3D Imaging on Ancient Coins

Martin Boss

Universität Erlangen-Nürnberg, Kochstraße 4, 91054 Erlangen

Tel: +49 9131-85 24791, Fax: +49 9131-85 22313

E-Mail: Martin.Boss@arch.phil.uni-erlangen.de

Bernd Breuckmann

Breuckmann 3D Engineering, Alter Ortsweg 30, D-88709 Meersburg, Germany

Tel: +49 7532 9889, Fax: +49 7532 808482

E-Mail: breuckmann-3d@t-online.de

Matthias Göbbels

Universität Erlangen-Nürnberg, Schlossgarten 5a, 91054 Erlangen

Tel: +49 9131-85 23982, Fax: +49 9131-85 23734

E-Mail: goebbels@uni-erlangen.de

Zusammenfassung

Das handwerkliche Vorgehen zum Schlagen antiker Münzen war wesentlich vielschichtiger und zeitraubender als bislang angenommen und setzte ein hohes Maß an Erfahrung, Wissen und Können geübter antiker Metallhandwerker voraus. So sind zwei verschiedene Verfahren schon bei der Herstellung der Schrötlinge feststellbar. Zum Prägen waren ebenfalls mindestens zwei weitere verschiedene Vorgehensweisen bekannt, die in unterschiedlichem Maß auch den Einsatz von mechanischen Vorrichtungen erfordert haben. Der Einsatz eines smartSCAN^{3D} System der Breuckmann GmbH erlaubt es, allansichtige 3D-Modelle dieser Münzen zu erstellen, die mit den 2D-Bildserien einer Elektronenstrahlmikrosonde (EPMA ElectronProbeMicroAnalysis) verbunden werden können und so die einzelnen Spuren des handwerklichen Vorgangs, aber auch die Eigenarten des verwendeten Metalls deutlich sichtbar werden lassen.

Abstract

The manufacturing process in minting ancient coins during Greek and Roman antiquity appears to be a complex and time-consuming procedure, affording knowledge and skill of experienced craftsmen in metalworking. There are two different methods in producing the raw metal plate to be embossed and at least two more in the minting process itself, to some degree demanding the use of some sort of mechanical aid or machinery. Examining the ancient coins with a smartSCAN^{3D} system of Breuckmann GmbH as well as under a EPMA (ElectronProbeMicroAnalysis) and combining both the 3D model and the 2D pictures gives not only clear and detailed images of the various traces, caused by the embossment itself, but also of the peculiarities of the metal used for coinage.

1. Zielsetzung

Wie entstanden eigentlich antike Münzen? Zunächst gilt: Münzen werden geprägt, da das einmal abgewogene Gewicht des Schrötlings nicht mehr durch nachträgliche Material abhebende handwerkliche Eingriffe verändert werden darf.

Jeder einzelne Schrötling wiederum ist nach dem Abwiegen der entsprechenden Menge an Metall aus einer Schmelzkugel oder aus einer Gussform gewonnen worden. Das bedeutet, daß

notwendigerweise immer ein Schmelzvorgang dem eigentlichen Prägen vorausgegangen sein muß. Danach wurde das Metall mechanisch verformt.

Gerade zu diesem Vorgang sind die Vorstellungen bis heute besonders schwammig; irgendwie stellt man sich gewöhnlich einen Menschen vor, der mit einem Hammer auf einen von Hand geführten Stempel schlägt. Dieser Stempel trägt das Bild der Rückseite der Münze. Gleichzeitig wird durch die Wucht des Schlages die Gegenseite der Münze auf dem Amboss ausgeprägt, der den Prägestock mit dem Bild der Vorderseite trägt. Somit wäre mit einem einzigen mehr oder weniger wuchtig geführten Schlag eine fertige Münze entstanden.

Stellt man aber die Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit von Metall in Rechnung, so ist es unwahrscheinlich, daß mit einem einzigen solchen Hammerschlag die hohen Reliefs antiker Münzen beidseitig zuverlässig ausgeprägt werden können. Auch eine ganze Folge von Hammerschlägen hilft da wenig weiter, da verformtes Metall mit jedem weiteren Schlag immer härter und spröder wird; übertreibt man, so reißt der überlastete Schrötling. Um zu vermeiden, daß dies geschieht, muss zwischengeglüht werden, um dem zerquetschten Metall seine ursprüngliche Geschmeidigkeit zurückzugeben. Da nicht alle Metalle in warmem Zustand weiter umgeformt werden können, muss die halbfertige Münze zudem abgekühlt werden: für die weitere Bearbeitbarkeit ist entscheidend, ob dies schlagartig durch Abschrecken in kaltem Wasser geschieht oder durch langsames Auskühlen. Das setzt voraus, dass die Münze während des Prägevorgangs zwischenzeitlich, vielleicht sogar mehrmals, vom Prägestock genommen und danach dort wieder neu aufgelegt werden muss.

All das ist zeitaufwendig und kann auch nicht von ungelernten Arbeitskräften bewerkstelligt werden, sondern es setzt erhebliches Wissen und Können geübter Metallhandwerker voraus. Dabei ist noch nicht gesagt, dass alle Münzen der griechischen und römischen Antike nach genau dem gleichen Verfahren geprägt worden sind, oder ob es lokale und zeitliche Unterschiede gegeben hat, verschiedene Vorgehensweisen mit verändertem Ablauf oder gar mit anderem Werkzeug bis hin zu mechanischen Vorrichtungen.

2. Eingesetzte Untersuchungstechniken

Mit den modernen Verfahren von Analyse und Bildgebung ist es heute möglich, den antiken Handwerkern bei Ihrer Arbeit genauer über die Schulter zu schauen und den Vorgang des Münzenschlagens zu verfolgen.

Photographien oder auch 3D-Scans antiker Münzen, bei denen die liegende Münze lediglich getrennt nach Vorder- und Rückseite aufgenommen wird, geben keinen Aufschluss über die Stellungen der beiden Seiten zueinander. Damit ist nicht nur die Verdrehung der Münzbilder zueinander gemeint, sondern die Verkipfung der Prägestöcke oder Stempel in allen drei räumlichen Achsen, denn bei einem von Hand geführten Stempel wird es kaum möglich sein beide Seiten planparallel auszurichten, beim Einsatz mechanischer Führungen und Lehren aber sehr wohl.

360° allansichtige 3D-Scans mit einer genügenden Auflösung bilden daher die Grundvoraussetzung der hier eingesetzten Analyseverfahren. Dabei ist es entscheidend, dass der Scanvorgang auch die häufig schwierig zu erfassenden Ränder der Münzen mit hinreichender Auflösung, Genauigkeit und Vollständigkeit erfasst, so dass Vorder- und Rückseite eindeutig und hochgenau in allen Freiheitsgraden gegeneinander ausgerichtet werden können.

Die Auflösung muss im Bereich weniger Mikrometer liegen, denn nur so lassen sich Brechungen erfassen, die durch den handwerklichen Vorgang entstanden sind. Wird Metall unter Druck über die seitliche Kante eines Stempels gequetscht, entsteht eine einzige, nicht unterbrochene Spur. Am Ende steht ein Knick als Abbild eben dieser Kante. Wiederholt man den Vorgang oder nimmt die Münze gar zwischenzeitlich vom Stempel, so wird sich diese Spur von der vorigen in Richtung und Winkel unterscheiden und an ihrem Ende wird wiederum ein weiterer Knick entstanden sein. Auf diese Weise lassen sich einzelne gleichartig wiederholte Vorgänge beim Prägen erkennen und auszählen.

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, wurde für die hier dargestellten Untersuchungen das smartSCAN^{3D} System der Breuckmann GmbH eingesetzt. Dieser mit 2 CCD-Kameras mit jeweils 5 MPixeln ausgestattete high-definition Scanner ermöglicht bei einem Messbereich von 60 mm Bilddiagonale eine laterale Auflösung von 20 µm und eine Tiefenaufklärung von wenigen Mikrometern. In einer ersten Messreihe wurden damit 14 antike Münzen in jeweils 10-12 Einzelscans erfasst. Dabei wurde ein für die 3D-Technik adaptiertes HighDynamicRange Verfahren eingesetzt, so dass eine Vorbehandlung der Oberflächen der Münzen nicht erforderlich war.

Trotz der hohen Auflösung können 3D-Scans einer Münze nicht in die Genauigkeit vordringen, die eine Untersuchung mittels der von Prof. M. Göbbels entwickelten Elektronenstrahlmikrosonde (EPMA, ElectronProbeMicroAnalysis) liefert. Andererseits kann dort natürlich niemals ein räumlicher Überblick über die Gesamtheit gewonnen werden. Allerdings ist es möglich, die einzelnen Mikroskop-Aufnahmen zusammenzufügen und dann wiederum dieses Gesamtbild mit dem 3D Scan zu verbinden. Das alles setzt zwar einen nicht unerheblichen Rechenaufwand voraus, erlaubt dann allerdings die Beobachtung von Metall unter Druck mit einer hinreichenden Genauigkeit und Detailtreue, um Aussagen zum ausgeübten Druck und zur Geschwindigkeit zu machen, mit der sich das Metall in die Vertiefungen des negativen Bildes im Stempel gepresst hat.

Abbildung 1 zeigt diesen Vorgang beispielhaft an einem Denar des Gaius Julius Caesar. In der oberen Reihe ist die Vorderseite der Münze dargestellt, links das 3D Profil ohne Textur, in der Mitte das texturierte 3D Profil, rechts das 3D Profil mit aufprojizierten EPMA Daten. Die entsprechenden Bilder der Rückseite sind in der unteren Reihe sichtbar.



Abb. 1: Kombination von 3D Scans mit EPMA Daten, dargestellt an einem Denar des Gaius Julius Caesar

Zudem lassen sich aus der Rückstreuung der Elektronen Bilder gewinnen, die Unterschiede in der Legierung des Metalls anzeigen. Fügt man diese Bilder mit dem 3D-Modell zusammen, so lassen sich dort Unterschiede in der Zusammensetzung einer Schmelze, die aus Chargen verschiedener Herkunft gewonnen wurde, etwa als Fleck oder Schliere auf der Münze räumlich festmachen.

3. Ergebnisse

In einer ersten Testreihe wurden bisher insgesamt 25 Münzen, die sich im Besitz der Universität Erlangen befinden, mit den dargestellten Verfahren untersucht wurden.

Beispielhaft werden in den folgenden Abbildungen Ergebnisdaten einiger Münzen dargestellt. Im Einzelnen:

Abbildung 2 zeigt eine Tetradrachme aus Athen. Es sind Abkantungen im überstehenden Material zu erkennen, das über den quadratischen Rückseitenstempel gequetscht worden ist. Die unterste Kante entspricht dem Absatz am Bauch der Eule; dieser Doppelschlag ist somit gleichzeitig und im selben Handgriff bei der Prägung entstanden.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch auf einem Stater aus Korinth (Abbildung 3). Jede der sichtbaren Kanten entspricht einem handwerklichen Ereignis. Im einfachsten Fall wäre das zwar ein einzelner Schlag, wahrscheinlich aber ist, dass jede Abkantung für eine ein ganze Schlagserie steht, an deren Ende das Material jeweils zwischengeglüht werden musste.

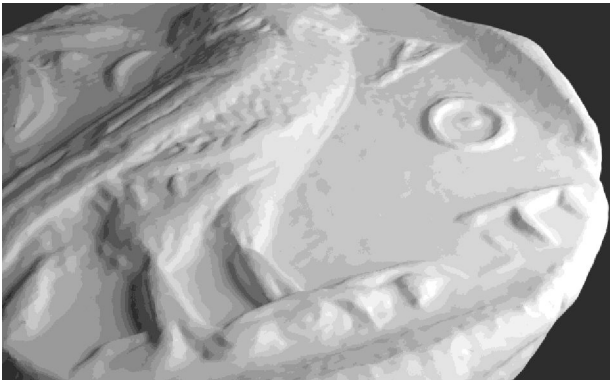


Abb. 2: Tetradrachme aus Athen

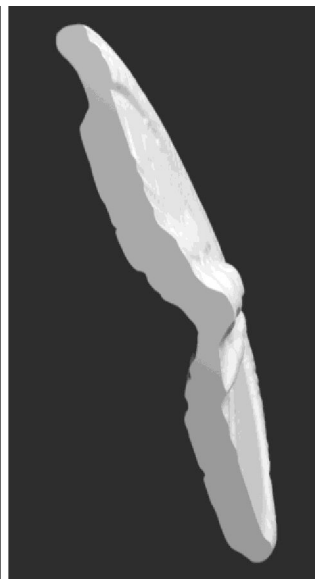


Abb. 3: Stater aus Korinth

In Abbildung 4 ist das 3D Modell der konvexen Vorderseite eines Staters aus Metapont dargestellt, dessen Rückseite das gleiche Motiv im Negativ aufweist. Im virtuellen Schnitt durch die Münze ist klar zu erkennen, dass die beiden Stempel in allen drei Raumachsen zu einander ausgerichtet sind: die Münzplatten stehen planparallel zueinander. Hierzu ist eine Vorrichtung zumindest in Form einer Lehre oder Führung notwendig. Ein Fehler in der Ausrichtung würde sowohl die Münze als auch die Stempel selbst bei der Prägung beschädigen oder zerstören.



Abb. 4: Stater aus Metapont



Mitte: virtueller Schnitt durch die Münze



Abb. 5: virtueller Schnitt durch den Caesar-Denar

Auch bei dem bereits zuvor dargestellten Denar des Gaius Julius Caesar ist anhand des virtuellen Schnittbildes (siehe Abbildung 5) zu erkennen, dass die beiden Stempelseiten der Münze planparallel zueinander ausgerichtet sind; überschießendes Metall wird in seiner räumlichen Ausdehnung auch jenseits des eigentlichen Stempels auf die Dicke der Münze begrenzt. Offenbar sind die Stempel in größere Prägestöcke einer mechanischen Prägevorrichtung eingelassen.

Aus dem Bild der Elektronenstrahlmikrosonde dieser Münze wird bei entsprechender Vergrößerung (siehe Abbildung 6, links) zudem deutlich, dass das Metall in einem einzigen handwerklichen Ereignis unter großem Druck in die Formen des Stempels geschoben ist und dabei die Hohlräume nicht vollständig gefüllt hat.

In einem weiteren Ausschnitt des Caesar-Denars (siehe Abbildung 6, rechts) deutet der dunklere Grauwert im Bereich des hinteren Elefantenußes auf eine nicht homogene Mischung der Metallschmelze wohl aus verschiedenen Chargen wiederverwendeten Altsilbers hin.

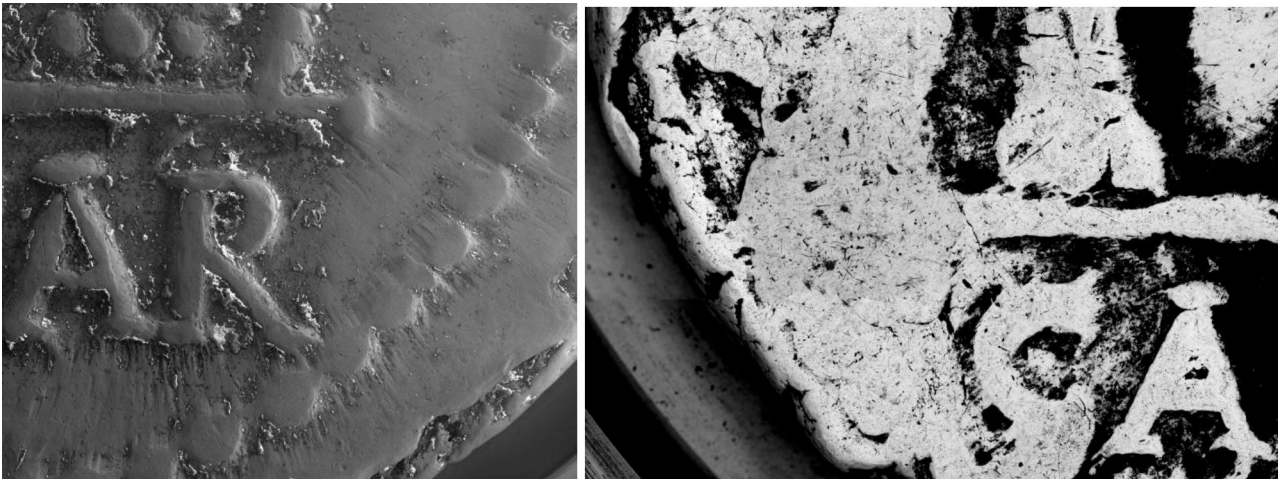


Abb. 6: Ausschnittsbilder der Elektronenstrahlmikrosonde des Caesar-Denars

Zusammenfassend konnten bislang anhand dieser Untersuchungen folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

Die Münzen unterschiedlichster Zeitstellung von der ausgehenden Archaik bis zur Zeit Caesars und unterschiedlichster Herkunft, von Sizilien im Westen bis zum kleinasiatischen Festland zeigen, dass mit der Klassik mindestens zwei grundlegend voneinander verschiedene Verfahren zum Prägen der Münzen ihre Anwendung fanden, bei denen unterschiedlich geformte Werkzeuge eingesetzt worden sind und von denen eines den Einsatz mechanischer Vorrichtungen erfordert hat. Beide haben sich im Laufe der Zeit natürlich weiterentwickelt und bei beiden lassen sich je nach Prägeort kleinere Abänderungen sowohl in der Form der verwendeten Werkzeuge wie auch im Arbeitsablauf feststellen.

Es muss zudem mindestens zwei grundlegend verschiedene Verfahren gegeben haben den Schrötling zu fertigen und zur Prägung vorzubereiten, von denen das eine den Einsatz einer mehrteiligen Gussform voraussetzt.

Die Verfahren zur Prägung wie zur Herstellung des Schrötlings sind nicht aneinander gekoppelt, aber bestimmte Kombinationen werden innerhalb derselben Landschaft offenbar bevorzugt.

Bis auf eine Münze scheint keine auf einen Schlag gefertigt worden zu sein; meist lassen sich drei bis vier handwerkliche Ereignisse ablesen, offenbar Schlagserien, an deren Ende die halbfertige Münze zwischengeglüht worden ist. Die einzige Ausnahme ist eine Münze der späten Republik, zu deren Prägung nach Ausweis der Spuren im Metall der Münze eine mechanische Presse, sei es nun ein Fallwerk oder eine Spindelpresse, eingesetzt worden sein muss.