

OZeAN

Online Zeitschrift zur Antiken Numismatik



Jahrgang 1 (2019), S. 21–27

Identifizierung von Münzen anhand eines digitalen Fingerabdrucks

von Erik Trostmann – Veit Dresely – Anika Tauschensky

doi: [10.17879/ozean-2019-2477](https://doi.org/10.17879/ozean-2019-2477)



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Kontakt: Dipl.-Ing. Erik Trostmann, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik, Sandtorstrasse 22, 39106 Magdeburg, E-Mail: erik.trostmann@iff.fraunhofer.de

Dr. Veit Dresely, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt / Landesmuseum für Vorgeschichte, Übergreifende Fachdienste, Richard-Wagner-Str. 9, 06114 Halle/Saale, E-Mail: vdresely@lda.stk.sachsen-anhalt.de

Anika Tauschensky M.A., Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt / Landesmuseum für Vorgeschichte, Übergreifende Fachdienste - Fundmünzbearbeitung, Richard-Wagner-Str. 9, 06114 Halle/Saale, E-Mail: ATauschensky@lda.stk.sachsen-anhalt.de

Herausgegeben im Auftrag der Forschungsstelle Antike Numismatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster von Achim Lichtenberger, Katharina Martin und Ulrich Werz

<http://ozean-numismatik.de/>

ISSN xxx-xxx

Identifizierung von Münzen anhand eines digitalen Fingerabdrucks

Erik Trostmann – Veit Dresely – Anika Tauschensky

Zusammenfassung: Das Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie – Landesmuseum für Vorgeschichte Sachsen-Anhalt hat in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) in Magdeburg ein innovatives Verfahren entwickelt, mit dem einzelne Münzen anhand eines individuellen »digitalen Fingerabdrucks« eindeutig und unverwechselbar beschrieben und identifiziert werden können. Dieses »Optical System for Coin Analysis and Recognition«, kurz O.S.C.A.R., ist ein optisches Datenerfassungssystem mit Softwareanalyseverfahren und basiert auf der photometrischen Stereoanalyse. Messdaten zur Objektgeometrie, Farbigkeit und Oberflächenstruktur einer Münze werden dabei genutzt, um einen individuellen Erkennungsschlüssel zu generieren, der bei einer Suchabfrage mit der Datenbank abgeglichen wird.

Schlagwörter: Digitalisierung; Fundmünzen; »Optical System for Coin Analysis and Recognition«

Abstract: The Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie – Landesmuseum für Vorgeschichte - Sachsen-Anhalt has developed an innovative process in cooperation with the Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) in Magdeburg, with which coins can be described and identified unmistakably by an individual »digital fingerprint«. This »Optical System for Coin Analysis and Recognition«, O.S.C.A.R., is an optical data acquisition system with software analysis techniques based on photometric stereo analysis. Measurement data on the object geometry, color and surface structure of a coin are used to generate an individual recognition key, which is matched to the database during a search query.

Key words: Digitization; found coins; »Optical System for Coin Analysis and Recognition«

Bereits seit Sommer 2017 werden die Fundmünzen im Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt – Landesmuseum für Vorgeschichte in Halle an der Saale (<http://www.lida-lsa.de/>; <https://www.landmuseum-vorgeschichte.de/>) nun systematisch neu erfasst und digitalisiert. Den Auftakt dazu bildete eine Sondervereinbarung der Staatskanzlei und dem Ministerium für Kultur des Landes Sachsen-Anhalt mit dem Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie. Im Rahmen des Projektes mit dem Titel »Digital Heritage 2017/2018« wurden die Grundlagen geschaffen, neben zentralen Beständen aus Archiven und Sammlungen auch die Fundmünzen strukturiert neu zu erschließen und in zeitgemäßer Form digital zu sichern, um so eine Nutzung nicht nur intern, sondern auch durch externe Wissenschaftler und die Öffentlichkeit zu ermöglichen.

Ausgangssituation

Der Fundmünzbestand des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie beläuft sich derzeit auf insgesamt etwa 25.000 Exemplare aller Zeitstufen, von der Antike bis zur Neuzeit, und wächst durch Ausgrabungen, Prospektionen und ehrenamtlich Beauftragte stetig. Bis dato lag die Dokumentation der Fundmünzen zum größten Teil in Form von Aufzeichnungen auf Papier vor. Darunter sind vor allem umfangreiche Bestandslisten aus den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts. Noch mit der Schreibmaschine getippt verzeichnen diese Listen alle Münzen zu einem Fund mit einer groben Einordnung der jeweiligen Münztypen und einem zugehörigen Bild. Jedoch waren zum Zeitpunkt dieser Gesamtinventur Teilbestände bereits nicht mehr ihrem einstigen Fundort zuzuordnen und wurden in der sogenannten »Vergleichssammlung« zusammenge-

fasst. Vor allem die Dokumentation des Altbestandes, der zwei Kriege zu überstehen hatte und zahlreichen strukturellen Veränderungen unterlag, ist unvollständig. Einige Münzen sind, wenn überhaupt, nur noch mit hohem Rechercheaufwand ihrem einstigen Fundkontext zuzuordnen, bei anderen kam es über die Jahre zu Verwechslungen, die nur schwer aufzuklären sind. So etwa beim Fundplatz Piesdorf im Salzlandkreis, wo verschiedene Münzfunde zu Tage kamen, die aufgrund der heute nur noch unvollständig vorliegenden Dokumentation kaum mehr zu unterscheiden sind. Zudem finden sich Abweichungen zwischen den Unterlagen der ersten Funddokumentation, die den Fundortsakten des Hausarchivs zu entnehmen sind, der Registrierung beim eigentlichen Fundeingang und den Unterlagen der oft deutlich später erfolgten Fundbearbeitung, wobei auch nicht der komplette Bestand bearbeitet ist. Verschiedene Nummernsysteme zur Individualisierung der Einzelstücke fanden hier nebeneinander Verwendung und so wurde die Situation im Laufe der Jahre und mit wechselnden Bearbeitern zunehmend unüberschaubarer. Um die vorhandenen Informationen nun zu sichern und digital zusammenzuführen, war eine neue systematische Erschließung der Bestände dringend nötig.

Zur Erfassung der Metadaten jeder einzelnen Münze wird nun das virtuelle Münzkabinett KENOM («Kooperative Erschließung und Nutzung der Objektdaten von Münzsammlungen»; https://www.kenom.de/institutionen/isil_DE-MUS-805310/) genutzt, da es sich hier um eine Datenbank handelt, die speziell auf die Erfassung numismatischer Objekte ausgerichtet ist. KENOM bildet nicht nur den Rahmen unsere Münzbestände wissenschaftlich qualifiziert und mit Hilfe von Normdaten neu zu erschließen, sondern bietet auch die Möglichkeit unsere Daten auf einer Plattform für Forschung, Lehre und Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Da es für die Erfassung der Fundmünzen von besonderer Bedeutung ist, auch die Informationen zum Fundort und damit zum archäologischen Kontext aufzunehmen, bietet

KENOM die Möglichkeit zum Münzfundkatalog der Numismatischen Kommission der Länder zu verlinken (<https://kenom.gbv.de/fundkomplex/>).

Um auch bei der Organisation und Strukturierung der Sammlung eine deutliche Verbesserung der Situation zu erzielen und für die Zukunft einen adäquaten Workflow zu integrieren, wurde in den vergangenen Jahren bereits begonnen, die oft in Konvoluten zusammengefassten Münzen zu vereinzeln und jedes Stück mit einem individuellen Barcode bzw. QR-Code zu versehen, mit dem dann wiederum die numismatischen Informationen zum Stück verknüpft sind. Um bei Entnahmen aus dem Depot die Verwechslungsgefahr und den damit einhergehenden Informationsverlust auszuschließen, da Münzen die klassische Kennzeichnung direkt am Objekt nicht zulassen und ein gewisses Verwechslungsrisiko bleibt, wurde nach einer technischen Möglichkeit einer Individualisierung der Stücke gesucht.

In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) in Magdeburg (<https://www.iff.fraunhofer.de/>) konnte dann ein innovatives Verfahren entwickelt werden, mit dem einzelne Münzen, basierend auf etwa 1000 optischen Merkmalen, die einen Erkennungsschlüssel, quasi einen »digitalen Fingerabdruck« der Münze bilden, eindeutig und unverwechselbar beschrieben und identifiziert werden können. Dabei handelt es sich um charakteristische Prägemerkmale und individuelle Beschädigungen, wie Kratzer, Dellen, Risse, Ausbrüche aber auch Korrosion, die so auch dokumentiert werden. Dies ist nicht nur für die Organisation innerhalb der Sammlung essentiell, sondern auch im Leihverkehr mit anderen Museen von besonderer Wichtigkeit.

Erfassung mit O.S.C.A.R.

Mit dem »Optical System for Coin Analysis and Recognition«, kurz O.S.C.A.R., können Gold-, Silber-, Bronze- und Kupfermünzen mit einem Durchmesser von fünf bis 75 Millimeter digital erfasst werden.



Dabei beruht die Erfassung der Münzen auf einem Verfahren, welches im Deutschen »photometrisches Stereo« oder »photometrische Stereoanalyse« genannt wird. Dieses Verfahren geht auf eine Arbeit von Robert J. Woodham aus dem Jahr 1980¹ zurück. Die Grundidee kann nachvollzogen werden, wenn man einen matten hellgrauen Würfel in einem Raum mit nur einer Lichtquelle betrachtet. Eine der drei sichtbaren Seiten erscheint heller, da sie der Lichtquelle mehr zugewandt ist als die anderen. Dieser Effekt wird genutzt, um die Orientierung von Oberflächen bezüglich mehrerer Lichtquellen zu analysieren. Die Kamera, Lichtquellen und das Objekt sind dabei fest installiert. Das Objekt wird nacheinander von den Lichtquellen aus verschiedenen Richtungen beleuchtet und aufgenommen. So kann für jeden Bildpunkt bestimmt werden, bei welcher Beleuchtung er am hellsten erscheint und entsprechend auch festgestellt werden, welcher Objektpunkt der Lichtquelle am meisten zugewandt ist. Dieses Verfahren ermöglicht es, visuelle Effekte der Oberflächentopographie und der Materialfarbe zu trennen. Auf Basis dieser Daten können dann verschiedene Beleuchtungssituationen für die Analyse einer Münze simuliert werden².

Das zur digitalen Erfassung der Münzen speziell angefertigte Gerät besteht aus einer hochauflösenden Kamera, die im Zenit einer Kuppel platziert wurde, in deren Innerem 36 LEDs angebracht sind, siehe **Abb. 1**. Um den Auflagebereich für die Münze sind Farbkeile, Referenzbohrungen und zwei schwarze Keramikugeln angebracht. Die Referenzbohrungen dienen als Maßstabsverkörperungen, und über Reflexionen in den Keramikugeln können die Positionen der 36 LEDs in Bezug auf die Kamera ermittelt werden. Damit enthält jede Aufnahmeserie die vollständigen Kalibrierinformationen, obwohl die Aufnahmebedingungen unter normalen Umständen konstant sind.

Nach dem Einlegen der Münze und dem Schließen der Kuppel wird der Aufnahmeprozess über einen Knopfdruck in der Soft-



Abb. 1: O.S.C.A.R. © LDA Sachsen-Anhalt

ware gestartet. Für jede Lichtquelle werden mehrere Aufnahmen mit unterschiedlichen Belichtungszeiten angefertigt, um die Lichtintensitätsunterschiede in einem größeren Dynamikbereich zu erfassen. Zusätzlich wird die Münze bei spezieller Beleuchtung mit einer

¹ R. J. Woodham, Photometric method for determining surface orientation from multiple images, *Optical Engineering* 19, 1, 1980, 139–144. (https://www.researchgate.net/publication/242557620_Photometric_Method_for_Determining_Surface_Orientation_from_Multiple_Images)

² »Reflectance Transformation Imaging« (RTI), auch »Polynomial Texture Mapping« genannt, nutzt das gleiche Aufnahmeschema mit fester Kamera-Objekt-Beziehung und Variation der Position der Lichtquelle. RTI schätzt die Leuchtkraft eines jeden Pixels als Polynom zweiten Grades der Komponenten der Beleuchtungsrichtung. Das »photometrische Stereo« bestimmt im Gegensatz dazu die Richtung der Oberfläche für jeden Pixel.



zweiten Kamera von unten aufgenommen. Dies ermöglicht eine genaue Erfassung der Kontur und das spätere automatische Freistellen. Aus den zahlreichen Bildern berechnet die Software für jeden Bildpunkt die Normalenrichtung und RGB-Farbwerte, die mit den Farbkeilen abgeglichen wurden, siehe **Abb. 2–5**. Für die Digitalisierung der anderen Münzseite muss die Münze von Hand gewendet werden.

Nach der Datenerfassung, Verarbeitung und Speicherung kann ein Abgleich mit der systeminternen Datenbank vorgenommen werden, um zu verifizieren, um welches Stück es sich handelt. Für die eindeutige Identifikation einer Münze wird als erstes die Kontur herangezogen. Durch den Vergleich einfacher skalarer Merkmale, wie etwa Durchmesser, Abweichungen von der Kreisform, Rissen und Ausbrüchen, kann die Menge ähnlicher Münzen bereits stark eingeschränkt werden. Bei vielen antiken und mittelalterlichen Münzen ist der Konturverlauf einzigartig und von dem anderer Münzen gut unterscheidbar. Bei modernen maschinell geprägten Münzen sind Unterschiede in den Konturen zwischen Münzen gleichen Typs kaum messbar.

Im folgenden Schritt der Identifikation werden Topographie (Normalen) und Farbinformation zu einem synthetischen Grauwertbild kombiniert und in verschiedenen Auflösungsstufen skaleninvariante Merkmale bestimmt. Das sind einzelne Bildpunkte, in deren Umgebung die Grauwerte charakteristisch verteilt sind. Diese Art von Merkmalen werden auch dazu genutzt, in überlappenden Bildern korrespondierende Punkte zu finden, um beispielsweise Panoramabilder zu erzeugen. Die Merkmale zweier Münzseiten werden dann in einem mehrstufigen Prozess miteinander verglichen. Begonnen wird mit der geringsten Auflösung. Zuerst werden potentiell korrespondierende Merkmalspunkte anhand der Grauwertmerkmale bestimmt. Wenn hinreichend viele solche Paare gefunden wurden, wird geprüft, ob diese Punkte zur Deckung gebracht werden können, wobei einzelne Ausreißer entfernt werden. Scheitert dieser Prozess, so wird angenommen, dass die Münzseiten verschieden sind, es sich also nicht um dieselbe Münze handelt. Wird jedoch die höchste Auflösungsstufe erreicht, so dient der Anteil der Punktpaare aus dem Merkmalsvergleich,



Abb. 2–5: Die Bilder zeigen die RGB-Farbwerte (oben) und die Oberflächenstruktur (unten) der Münze © LDA Sachsen-Anhalt

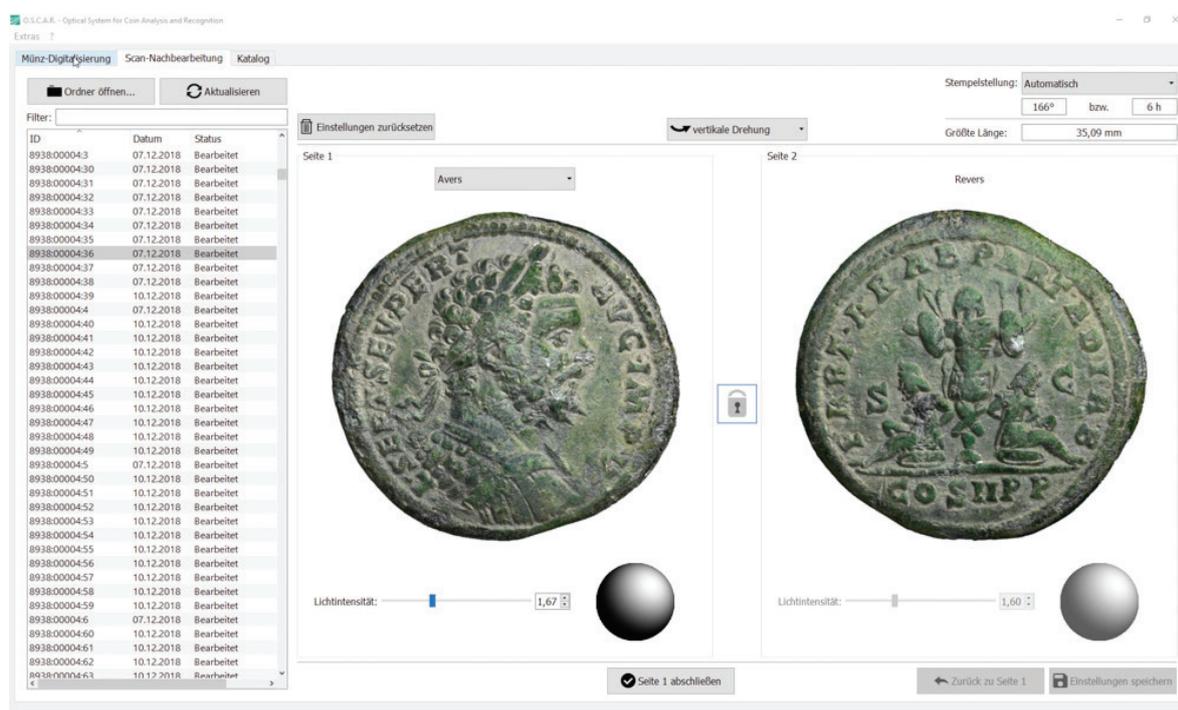


Abb. 6: Software zur Bildbearbeitung und virtuellen Belichtungssteuerung © LDA Sachsen-Anhalt

die zur Deckung gebracht werden konnten, als ein Maß für die Ähnlichkeit. Stimmen über 98 Prozent der Merkmale überein, kann die Identifizierung des Stücks als sicher gelten. Dieses Verfahren wurde in umfangreichen Stichproben anhand des aktuellen Datenbestands erfolgreich getestet.

In einem zusätzlich entwickelten Bearbeitungs-Tool können die automatisch entstandenen Bilder der Vorder- und Rückseiten, die aus dem Prozess der Individualisierung ohne größeren Aufwand errechnet werden, auch nachbearbeitet werden, siehe **Abb. 6**. Dabei wird die Münze bereits im Prozess der Bilderzeugung direkt freigestellt. Sollten Vorder- und Rückseite vom Digitalisierer vertauscht oder das Motiv nicht korrekt ausgerichtet worden sein, sind Avers und Revers ebenso anpassbar, wie die Drehung der Münze. Ferner errechnet das Programm auf Basis der Münzkontur automatisch den Durchmesser und die Stempelstellung, die dann abgelesen werden können. Indem die Drehung um die vertikale bzw. horizontale Achse einstellbar ist, besteht die Möglichkeit zwischen Keh- und Wendepprägung zu unterscheiden.

Voraussetzung für die automatische Erkennung der Stempelstellung ist allerdings, dass ausreichend viele Merkmale zur Beschreibung der Kontur vorhanden sind und beide Münzseiten dem Motiv entsprechend auf die 12 Uhr-Position gedreht wurden. Ist der Münzrand besonders regelmäßig, wie es bei maschinellen Prägungen zumeist der Fall ist, kann die Verdrehung von Vorder- und Rückseite zueinander technisch nicht festgestellt werden, da hier ausschließlich die Kontur abgeglichen wird.

Die mit den unterschiedlichen Beleuchtungspositionen und -intensitäten erzeugten Bilder erlauben es zusätzlich bei der Betrachtung in einem speziellen Viewer, nicht nur die Stärke, sondern auch die Position der Lichtquelle virtuell zu verändern und über die Münzoberfläche zu bewegen, siehe [Video](#). Ähnlich dem Drehen der Münze durch das Sonnenlicht oder der Streiflichtmethode, kann die Oberflächenstruktur so genauer betrachtet werden, womit sich, besonders für die häufig korrodierten Fundmünzen, die Möglichkeit einer genaueren Typenbestimmung ergibt. Die Be-





Abb. 7–8: Ergebnisbilder © LDA Sachsen-Anhalt

Sesterz des Septimius Severus, 195 n. Chr., 27,59 g, vor 1900 bei Frohndorf (Satdt Sömmerda, Thüringen) gefunden

[RIC IV Septimius Severus 690B](#)

lichtung der standardisiert aufgenommenen Bilder kann individuell angepasst werden, je nach Reflexionseigenschaften des Münzmaterials. Das fertige bearbeitete Bild wird dann im TIF-Format abgespeichert und über KENOM mit den historischen und technischen Daten zur Münze verknüpft, siehe **Abb. 7–8**.

Fazit

Im Vordergrund stand für das Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie die Entwicklung eines Instruments zur individuellen Erfassung jeder einzelnen Münze und somit die Möglichkeit zu verifizieren, ob, etwa im Falle von Leihgaben, Standortveränderungen im Depot oder sonstigen Entnahmen, auch die richtige Münze zweifelsfrei ihrer Inventarnummer zugeordnet werden kann. Diese Zielsetzung konnte vollumfänglich erreicht und durch zusätzliche Entwicklungen, wie die Erfassung von Durchmesser und Stempelstellung, die Erzeugung freigestellter standardisierter Bilder und die virtuelle Belichtungssteuerung, noch übertroffen werden.

Seit Inbetriebnahme von O.S.C.A.R., im Sommer 2018, konnten bereits über 12.000 Münzen individuell erfasst und in der syste-

minternen Vergleichsdatenbank gespeichert werden. Der Durchsatz beträgt etwa zehn Münzen pro Stunde. Durch die automatisierte Digitalisierung konnte die Dokumentation der Bestände, im Gegensatz zur digitalen Fotografie und Nachbearbeitung in einem Bildbearbeitungsprogramm, nicht nur entscheidend beschleunigt, sondern auch die eindeutige Zuordenbarkeit einer Münze sichergestellt werden. Zudem ermöglicht O.S.C.A.R. eine bisher einzigartige Normierung der Bilderfassung.

Die Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) wird auch weiterhin fortgeführt und die beschriebene Individualisierungssoftware laufend verbessert. Aktuell prüfen wir zudem, welche Informationen sich aus den bereits erfassten Münzdaten zusätzlich ableiten lassen, um beispielsweise Ähnlichkeiten zu erkennen oder Klassifizierungen vornehmen zu können. Gegenwärtig endet das Identifizierungsverfahren damit, markante Merkmale in den Bildern zu jeder Münze individuell zu definieren und wiederzuerkennen. Perspektivisch könnten diese Merkmale genutzt werden, um etwa bestimmte Münztypen mit ähnlichen Charakteristika zu identifizieren. Dafür müsste die Software zwischen Prägmerkmalen und indi-

viduellen Beschädigungen unterscheiden und spezifische Muster registrieren. Wir sehen hier großes Entwicklungspotential mit technischen Assistenzen die inhaltliche Erschließung von Münzen zu unterstützen und zu erleichtern. Die Grundlagen dafür sind bereits geschaffen.

Die Dokumentation des Münzreliefs durch unterschiedliche Beleuchtungspositionen und -intensitäten bietet die Möglichkeit einer interaktiven Analyse und Auswertung von Prägemerkmalen. Diese Methode erlaubt es Details hervorzuheben, die auf einfachen Fotografien kaum sichtbar sind, und wird bereits zur Untersuchung beispielsweise von Felsbildern oder Inschriften angewendet. Durch O.S.C.A.R. ist sie nun auch in größerem Rahmen speziell auf Münzen anwendbar. Um die Visualisierung der Münzdaten mit variabler Beleuchtungsanpassung auch unabhängig von der Bediensoftware öffentlich nutzen zu können, soll eine Webanwendung entwickelt werden, die eine Integration in einen Webbrowser ermöglicht.

Dies würde auch den wissenschaftlichen Austausch durch detailliertere Darstellungsmöglichkeiten der Münzen erheblich vereinfachen. In ähnlicher Form stellt bereits das Museo Palazzo Blu in Pisa Teile seiner Münzbestände vor (<http://vcg.isti.cnr.it/PalazzoBlu/>).

Weitere Informationen finden sich auch unter:

<https://www.lida-lsa.de/de/oeffentlichkeitsarbeit/pressearchiv/2018/> (Pressemitteilung vom 03.12.2018)

<https://www.iff.fraunhofer.de/de/presse/2019/gesichtserkennung-fuer-muenzen.html> (05.08.2019)

<https://muenzenwoche.de/digitalisierte-gesichtserkennung-fuer-muenzen/> (05.08.2019)

<https://www.mdr.de/wissen/digitaler-fingerabdruck-muenzen-100.html> (05.08.2019)

