

Ina Reiche

**Verschwunden aber nicht vergessen.
Objekt epistemologische Betrachtungen
materialanalytischer Rekonstruktionen
verschwundener Polychromie am Beispiel des
Elfenbeindekors aus Arslan Tash,
8. Jahrhundert v. u. Z., Syrien**

Zusammenfassung

Auf der Grundlage nicht-invasiver naturwissenschaftlicher Untersuchungen des verschwundenen Dekors an Elfenbeinschnitzereien aus Arslan Tash, 8. Jahrhundert v. u. Z., Syrien, kann illustriert und diskutiert werden, welche Rolle neue chemisch-physikalische Analysetechniken in der Kunst- und Kulturgutanalyse spielen können, um die Materialität von Objekten besser wahrzunehmen und deren Funktion genauer definieren zu können. Durch materialanalytische Verfahren lässt sich das für uns sichtbare Erscheinungsbild der Objekte ergänzen. Damit haben naturwissenschaftliche Methoden das Potential zu neuen Dinge-Erkenntnissen jenseits unserer menschlichen Sinneswahrnehmung. Es konnte festgestellt werden, dass sich durch taphonomische Prozesse auch die materiellen Eigenschaften der Dinge und damit ihre Materialität im Sinne der Wirkung, die sie auf uns haben, verändern. Dies führt auch zu einem veränderten Umgang mit ihnen in der Gegenwart.

Keywords: nicht-invasives chemisches Imaging; Scanning PIXE; Elfenbein; Polychromie; Vergoldung; Arslan Tash (Syrien); Phönizien

Non invasive scientific analyses of the vanished decoration on sculpted ivories originating from Arslan Tash, 8th century BCE, Syria, were performed. The scientific study is the basis for the epistemological illustration and discussion of the role of new physico-chemical analyses in cultural heritage sciences in order to improve the recognition and the definition of the materiality of objects and their function. By means of material analyses it is possible to complement the appearance of the object. In this way natural scientific methods have the potential to provide new object information beyond our human senses. It was shown

Markus Hilgert, Kerstin P. Hofmann, Henrike Simon (Hrsg.) | Objekt epistemologien | Berlin Studies of the Ancient World 59 | (ISBN 978-3-9818369-9-8; DOI 10.17171/3-59) | www.edition-topoi.org

that taphonomical processes can also modify the material properties of the objects and as a consequence their materiality in the sense of their visual effect that they can have on us. This leads to a changed way of handling the objects today.

Keywords: non-invasive chemical imaging; Scanning PIXE; Ivory; Polychromy; Gilding; Arslan Tash (Syria); Phoenecian

Die naturwissenschaftlichen Untersuchungen sind in enger Zusammenarbeit mit Elisabeth Fontan, Kuratorin im Département des Antiquités Orientales des Louvre Museums, in Paris entstanden. Die Messungen erhielten Unterstützung durch Dr. Marie Albéric und Dr. Katharina Müller, die auch so freundlich war, den Text Korrektur zu lesen. Die nicht-invasiven Messungen mittels *Scanning PIXE* waren nur durch die Bereitstellung von Strahlzeit am Teilchenbeschleuniger AGLAE im *Centre de recherche et de restauration des Musées de France* (C2RMF), Paris, und die experimentelle Unterstützung durch das AGLAE Team, insbesondere Laurent Pichon, Brice Moignard, Quentin Lemasson und Claire Pacheco, möglich.

I Einleitung

Die wundervoll geschnitzten Elfenbeinfiguren und Plaketten aus Arslan Tash, 8. Jahrhundert v. u. Z., Syrien, sind ein herausragendes Beispiel handwerklicher und künstlerischer Fähigkeiten in der Antike. Über einhundert Elfenbeinobjekte kamen während zweier Grabungskampagnen zutage, die der französische Archäologe François Thureau-Dangin 1928 durchführte. Die Objekte wurden in einer Gebäuderuine („Bâtiment aux ivoires“) neben dem Palast in Arslan Tash (alt Hadatu) im Norden Syriens geborgen. Die Elfenbeinschnitzereien aus Arslan Tash gelten als die schönsten ihrer Zeit und dienten wahrscheinlich als prunkvolle Dekoration eines Holzbettes. Überwiegend handelt es sich um Elfenbeinreliefs, die unter anderem ‚Frauen am Fenster‘, geflügelte Sphinxen, die Geburt des Horus oder einfach geometrische Ornamente darstellen. Außerdem wurden einige Löwenfiguren gefunden (Abb. 1a–d).

Die Objekte befinden sich heute in den Sammlungen des Louvre in Paris und in Aleppo. Weitere auf dem Kunstmarkt erworbene und stilistisch Arslan Tash zugeordnete Elfenbeinschnitzereien befinden sich im Badischen Landesmuseum Karlsruhe, im Metropolitan Museum of Art in New York sowie in einem Museum in Hamburg. Der Ursprung dieser letztgenannten Schnitzereien ist unbekannt. Sie stammen entweder aus Raubgrabungen in der Zeit zwischen den beiden Grabungskampagnen oder aus Diebstählen aus einem Lagerungsraum in Syrien. Die Schnitzereien sind gut erhalten, nicht dagegen die polychromen Fassungen und Vergoldungen, die ursprünglich die Objekte



Abb. 1 Hier diskutierte Beispielobjekte aus der Serie der Elfenbeinschnitzereien aus Arslan Tash aus der Sammlung des *Département des Antiquités Orientales* des Louvre Museums, Paris: a) Wellenzierstreifen (Inv. Nr. AO 11493), b) Papyrusfragment (Inv. Nr. AO 11479), c) Horusdarstellung (Inv. Nr. AO 11465) und d) Löwenkopf (Inv. Nr. AO 11490).

verziert haben.¹ Diese Tatsache, die direkt mit der In-Stabilität der Dinge in Zusammenhang steht, führt trotz der bleibenden Schönheit der Objekte zu einer unumgänglichen Veränderung ihrer Wahrnehmung. Um das frühere Erscheinungsbild und damit seine Wahrnehmung in vergangenen Zeiten besser nachvollziehen zu können, müssten die verschwundene Polychromie und Vergoldung rekonstruiert werden. Dazu stehen heute neue materialanalytische Ansätze mittels nicht-invasiver Verfahren zur Verfügung. Sie basieren auf hochtechnologischen bildgebenden Verfahren, die eine zwei- (2D) und dreidimensionale (3D) Analyse erlauben. Die analytischen und digitalen Daten, die so generiert werden, können in einem transdisziplinären Ansatz zu neuem Objektwissen in der Form von 2D- beziehungsweise 3D-Modellen oder virtuellen Visualisierungen umgeformt werden.²

In einem interdisziplinären Ansatz werden die archäologischen Elfenbeinschnitzereien materialanalytischen Untersuchungen unterzogen, um sichtbare aber auch unsichtbare Merkmale herauszufinden, die zur hypothetischen Rekonstruktion des ursprünglichen Erscheinungsbildes der Objekte führen können. In diesem Fall sind die Merkmale chemischer Natur und werden durch chemisch-physikalische Analysemethoden zum Vorschein gebracht.

In der Tat erlauben es nicht-invasive Analyseverfahren, charakteristische chemische Materialspuren nachzuweisen, selbst wenn die Materialien nicht mehr sichtbar sind. Eine dieser Techniken ist die der bekannten Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) verwand-

1 Fontan und Reiche 2011, 285.

2 Reiche 2013, 37; Albéric, Müller u. a. 2015, 106.

te Protonen-induzierten Röntgenemissions-analyse (PIXE). Sie erlaubt die Bestimmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen in der Zusammensetzung von Kunst- und Kulturgut.³ Eine Variante der PIXE stellt die kürzlich entwickelte *Scanning PIXE* dar, die es ermöglicht, zweidimensionale Elementverteilungsbilder von Objekten bis zu einer variablen Größe von bis zu zwei Quadratzentimeter mit einer räumlichen Auflösung im Hundertstel Millimeterbereich zu erstellen.⁴

Ausgewählte Objekte aus der Sammlung des *Département des Antiquités Orientales* des Louvre-Museums sind durch verschiedene nicht-invasive Analyseverfahren und insbesondere mit der *Scanning PIXE* untersucht worden. Dies ist am Teilchenbeschleuniger AGLAE im *Centre de recherche et de restauration des Musées de France (C2RMF)*, Paris, möglich.⁵

In der PIXE beleuchtet ein 3 MeV Protonenstrahl das Objekt und versetzt dessen Atome in einen angeregten Zustand: Elektronen aus kernnahen Schalen werden von ihren Plätzen katapultiert, andere nehmen diese aber sogleich wieder ein. Bei diesem Prozess wird Energie in der Form von Fluoreszenzstrahlung im Röntgenbereich frei. Die Energien im Fluoreszenzspektrum deuten auf die Art der bestrahlten Atome im Objekt hin und die Intensität der Strahlung gibt Informationen, welche Elemente in welcher Konzentration vorkommen.

Wird das Objekt wie bei der *Scanning PIXE* schrittweise vor dem Strahl und den Röntgen-Detektoren bewegt, lassen sich 2D Bilder der Elementverteilung gewinnen. Weil Luft die Röntgenstrahlung absorbiert, muss der Messkopf während der Messung so nah wie möglich, in einem Abstand von genau zwei Millimetern vor dem Objekt positioniert werden. Dabei wird die Luft zwischen Objekt und Gerät meist durch eine Heliumatmosphäre ersetzt. Das ist riskant, denn ein direkter Kontakt und die daraus folgende Beschädigung des Kunstwerks sind unbedingt zu vermeiden. Besonders bei einer komplex geformten Oberfläche wie die einer Elfenbeinschnitzerei muss das Abrastern sehr vorsichtig vorgenommen werden (Abb. 2).

Um die Nachweisgrenze der chemischen Elemente zu verbessern, können mehrere Röntgendetektoren gleichzeitig betrieben und die jeweils aufgenommenen Spektren summiert werden.⁶ Auf diese Weise ist die schnelle Aufnahme von Elementverteilungsbildern selbst von Spurenelementen möglich. Das schnelle Messen ist wichtig, weil es schonender für die Objekte ist. Sie werden kürzer der Teilchenstrahlung ausgesetzt, die sehr fragile, vor allem organische Materialien auch ohne Kontakt schädigen könnten. Für die Elfenbeinschnitzereien allerdings sind die PIXE Messungen unproblematisch,

3 Calligaro u. a. 2004, 29; Salomon u. a. 2008, 2273.

4 Pichon, Moignard u. a. 2014, 28; Pichon, Calligaro u. a. 2015, 49.

5 Albéric, Müller u. a. 2015, 100.

6 Pichon, Moignard u. a. 2014, 27.



Abb. 2 Messaufbau am Teilchenbeschleuniger AGLAE für die *Scanning PIXE* im C2RME, Paris.

da sie ihre organischen Bestandteile durch die Bodenlagerung im Laufe der Zeit verloren haben.

Bei der *Scanning PIXE* werden die Elemente von Natrium bis Blei mit hoher Empfindlichkeit bis hin zum sub-ppm-Bereich ($<1 \mu\text{g/g}$) erfasst. Leichte Elemente wie Na, Mg oder P bis Ca werden über die K-Röntgenemissionslinien registriert, wogegen schwere Elemente wie Fe, Cu, Hg, und Pb über ihre L-Linien gemessen werden. Daher eignet sich diese Methode insbesondere für die Untersuchung von mineralischen und metallischen Objekten, da die entsprechenden chemischen Elemente registriert werden können.

Die aufgenommenen Röntgenspektren werden zur Identifizierung und Quantifizierung ihrer Bestandteile mit spezifischen Auswerterroutinen analysiert. Diese erlauben es, aus der Energie der Röntgenemissionslinien die entsprechend vorhandenen Elemente zu bestimmen. Der Gehalt wird aus den Peakflächen der Röntgenemissionslinien berechnet. Pro Messpunkt auf dem Raster können also die Elemente und ihre Konzentrationen bestimmt werden. Daraus lassen sich Elementverteilungsbilder erstellen, die einem Element und dessen Gehalt jeweils einen Farbton mit einer bestimmten Graduierung je nach Konzentration zuordnen. Die Elementverteilungsbilder der Oberfläche können anschließend in Hinblick auf die möglichen chemischen Bestandteile interpretiert werden. Zur Interpretation dieser Bilder ist ein gewisses Vorwissen notwendig, welches aus anderweitigen Informationsquellen erhalten werden muss. Dazu gehören im Fall der früher polychromen Elfenbeinschnitzereien Informationen zum Erhaltungszustands des Elfenbeins,⁷ zu möglichen Pigmenten beziehungsweise Pigmentmischungen, die in der Antike verwendet wurden,⁸ und zu Sedimentresten bzw. anderen Spuren, die mit der Bodenlagerung der Objekte in Zusammenhang stehen können.⁹

7 Large, Müller und Reiche 2011, 169; Müller und Reiche 2011; Albéric, Gourrier u. a. 2014, 120.

8 Verri u. a. 2009, 1012; Reiche und Müller 2014, 213.

9 Skinner, W. und Fitzpatrick 1992, 7.

Elfenbein ist ein biologisch gebildetes hybrides Material. Ungealtert besteht es aus einer sehr komplexen Verbindung einer mineralischen Hauptkomponente sowie einer organischen Matrix. Die mineralische Komponente ist ein wenig kristallines magnesiumreiches nicht-stöchiometrisches Hydroxylapatit – eine spezielle Form des Calciumphosphates. Es ist eingebettet in eine organische Matrix, hauptsächlich bestehend aus Kollagen.¹⁰ Die Elemente Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Phosphor (P) sind folglich charakteristisch für das Elfenbeinmaterial selbst, während die Anwesenheit signifikanter Mengen an spezifischen metallischen Elementen, wie zum Beispiel Kupfer (Cu), Blei (Pb) oder Eisen (Fe) an der Elfenbeinoberfläche auf eine frühere Bemalung hinweisen. Dabei muss noch beachtet werden, dass Spurenelemente wie Fe eventuell auch von Sedimentablagerungen aus dem Boden stammen können. Die genannten Elemente finden sich in der betrachteten Epoche in häufig verwendeten Pigmenten wieder. Denn neben Blattgold wurden in der Antike folgende Pigmente typischerweise verwendet: das Cuprorivait ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$)-enthaltene Ägyptisch Blau und Lapislazuli ($(\text{Na, Ca})_8(\text{Al, Si})_{12}\text{O}_{24}\text{S}_2 \text{FeS-CaCO}_3$) für blau, Zinnober (HgS), Realgar (Rubinschwefel, As_4S_4), Mennige (Bleiot Pb_3O_4), Hämatit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) oder roter Ocker (Ocker allg.: Brauneisenstein, Tonminerale, Quarz, Kalk) für rot, Auripigment (As_4O_6), gelber Ocker, Goethit ($\alpha\text{-FeOOH}$) für gelb, Malachit ($\text{CuCO}_3 \cdot x \text{Cu(OH)}_2$) ein Verwitterungsprodukt von Azurit und Chrysokolla ($\text{Cu}_4\text{H}_4[(\text{OH})_8|\text{Si}_4\text{O}_{10}]\cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) für grün, organische kohlenstoffhaltige Pigmente (C), Antimonschwarz (Sb_2O_3) und Galena PbS (für Augenschminke) für schwarz sowie Bleiweiß ($2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$) für weiß.¹¹

Aufgrund der typischen chemischen Zusammensetzung der Pigmente kann aus vorhandenen Neben- oder Spurenelementen auf der Elfenbeinoberfläche auf eventuell früher vorhandene Pigmente geschlussfolgert werden. Dies ist auch möglich, wenn die Farbe des Pigments an sich nicht mehr sichtbar ist. Jedoch ist es wichtig im Auge zu behalten, dass der Nachweis einer Elementspur nicht gleichbedeutend mit einem Pigmentnachweis ist. Es handelt sich dabei um eine Interpretation der elementanalytischen Ergebnisse.

In diesem Beitrag soll insbesondere die Interpretation der chemischen Verteilungsbilder in Bezug auf die Rekonstruktion der ursprünglichen Farbfassung erläutert und diskutiert werden. Dabei stehen vier Kernfragen im Mittelpunkt:

- die Kriterien zur Unterscheidung von Pigment- und Sedimentspuren
- die eventuelle Korrelation von verschiedenartiger Oberflächenbeschaffenheit und ursprünglich vorhandener Polychromie

10 Su und Cui 1999, 19; Jacob u. a. 2008; Müller und Reiche 2011, 3235; Albéric, Dean u. a. 2017, 12.

11 Reiche, Radtke und Brouder 2003, 83; Reiche und Müller 2014, 62.



Abb. 3 Röntgenaufnahme der Horusdarstellung (Inv. Nr. AO 11465), die den Erhaltungszustand und den stärkeren Kontrast der noch vorhandenen Goldfolien auf der Oberfläche zeigt.

- das Vorhandensein und der Nachweis von Farbabstufungen von helleren und dunkleren Tönen
- der Nachweis von Vergoldungen und der unerwarteten In-Stabilität der Goldspuren

Entsprechend dieser vier Kernfragen sind speziell die Ergebnisse von vier Elfenbeinschnitzereien ausgewählt worden, die hier thematisiert und im epistemologischen Zusammenhang diskutiert werden sollen.

2 Untersuchte Objekte und Untersuchungsergebnisse

Folgende Objekte der 46 Elfenbeinschnitzereien im Bestand des Louvre-Museums sind mittels nicht invasiver Untersuchungsmethoden und *Scanning PIXE* untersucht worden: unter anderem der Wellenzierstreifen (Inv. Nr. AO 11493, Labor Nr. AI_AT_Louv24), das Papyrusfragment (Inv. Nr. AO 11479, Labor Nr. AI_AT_Louv21), der Löwenkopf (Inv. Nr. AO 11490, Labor Nr. AI_AT_Louv9) und das Horusfragment (Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19) (Abb. 1a–d). Ein wichtiges Auswahlkriterium war dabei die Anwesenheit von noch sichtbaren Pigment- oder Vergoldungsspuren. Visuelle Betrachtungen mittels sichtbarer, UV-Strahlung, Röntgenaufnahmen sowie mikroskopischer Untersuchungen wurden dabei zur Hilfe genommen (Abb. 3). Die Objekte zeigen durch die Alterung während der Bodenlagerung, aber auch motivabhängig, verschiedenartige Oberflächenzustände. Vor allem die motivabhängigen Oberflächenunterschiede können mit einer ursprünglichen Bemalung oder Vergoldung zusammen-

hängen. Die analysierten Bereiche auf den Objekten wurden je nach Motiv und Oberflächenerhaltungszustand ausgewählt.

Im Folgenden werden die Summenverteilungskarten, die auf ausgewählten Bereichen vierer Objekte untersucht wurden, dargestellt und diskutiert. Wie die Verteilungsbilder erstellt wurden, ist in den Fußnoten 4 und 5 detailliert erläutert worden.

3 Homogen oder heterogen verteilte Eisenspuren: Indizien für das Vorhandensein von Polychromie beziehungsweise Sedimentspuren auf der Elfenbeinoberfläche

Eine schwierige Frage bei der Interpretation der chemischen Verteilungsbilder ist die Unterscheidung zwischen Pigment- und Sedimentspur, wenn es sich nicht um chemische Elemente, die aus dem Elfenbein stammen können, handelt. Am Beispiel der vorhandenen Fe-Spuren auf der Objektoberfläche sollen nun die dafür- und dagegensprechenden Argumente erläutert werden.

Auf den meisten Objekten wurden die Eisenspuren nur in Ritzen oder heterogen verteilt auf der rauen Elfenbeinoberfläche nachgewiesen (Abb. 4). Da sich Sedimentreste vorwiegend in Ritzen und in den rauen Stellen ansammeln können, weist eine heterogene Verteilung von Elementen wie Fe, ein Element, welches häufig auch im Boden in den mineralischen Bestandteilen vorkommt, auf das Vorhandensein von Sedimentspuren hin. Da Eisen auch in gängigen Pigmenten wie roten, gelben oder schwarzen Eisenoxiden vorkommen kann, kann es auf eine ursprüngliche farbliche Fassung hindeuten. Im Fall von Resten eines Farbauftrags müsste die Verteilung der Spuren homogen sein.

Am Beispiel der in Karlsruhe und in Paris untersuchten Löwenköpfe (Inv. Nr. 71/05, Labor Nr. AI_El_K2 beziehungsweise Inv. Nr. AO 11490, Labor Nr. AI_AT_Louv9, Abb. 1d) fiel auf, dass beide an verschiedenen Stellen, insbesondere um die Augenbrauen, die Nase und das Maul, bräunliche Reste eines Oberflächenauftrags aufzeigten. Gleichzeitig sind dort vermehrt oberflächliche Risse zu sehen (Abb. 5).

Im Bereich um eine der beiden Brauen wurde die Elementverteilung gemessen.¹² Erhöhte Fe- und Pb-gehalte wurden auf der erhöhten Oberfläche der Augenbrauen gefunden. Diese Gehalte sind homogen verteilt. Eine homogene Fe- und Pb-Verteilung kann, zudem noch auf einer erhöhten Stelle, wie oben erläutert, ein Hinweis auf eine ursprünglich bemalte Fläche sein. Eisen wird im Allgemeinen mit Ocker oder Eisenoxidpigmenten in Verbindung gebracht. Diese können rot (durch Hämatit), gelb (durch Goethit) aber auch schwarz (durch Magnetit) sein. Das Pb könnte von Bleiweiß stammen, welches der Pigmentmischung zugesetzt wurde.

¹² Vgl. Fig. 6b bei Reiche, Müller u. a. 2013, 5863.

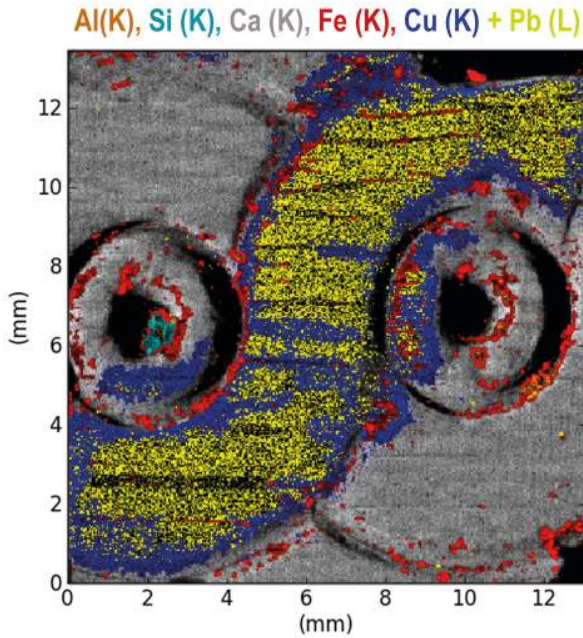


Abb. 4 Summenverteilungsbild auf der untersuchten Fläche des Wellenzierstreifens (Inv. Nr. AO 11.493). Intensitäts-Verhältnisse der einzelnen Elemente in der Summendarstellung: Al $\times 2,5$, Si $\times 1$, Ca $\times 1$, Fe $\times 9$, Cu $\times 9$, Pb $\times 9$.



Abb. 5 Optische Mikroskopieaufnahme der Nase des Löwenkopfes (Inv. Nr. AO 11.490) mit den oberflächlichen Pigmentresten.

Aus archäologischen Vergleichen assyrischer Steinfiguren kennen wir rote, blaue und schwarze Bemalungen. Daher läge hier eine rot-braune Bemalung nahe, da sie der Naturfarbe einer Löwenmähne am nächsten käme. Ferner kann angenommen werden, dass auch die anderen Bereiche des Löwenkopfes mit ähnlicher Färbung und Oberflächenbeschaffenheit diese Bemalung trugen. In Folge konnte die Polychromie des Lö-



Abb. 6 Teilweise rekonstruierte Polychromie des Löwenkopfes (Inv. Nr. AO 11490).

wenkopfes – zumindest teilweise – wie auf Abb. 6 dargestellt rekonstruiert werden. Der beispielhaft gewählte rote Farbton entspricht nicht unbedingt genau der ursprünglichen Farbe.

4 Korrelation zwischen Oberflächenbeschaffenheit und möglicher, ursprünglich vorhandener Polychromie

Ein sehr überzeugendes Beispiel mit unterschiedlichen Erhaltungszuständen der Elfenbeinoberflächen ist der Wellenzierstreifen (Inv. Nr. AO 11493, Labor Nr. AI_AT_Louv24, Abb. 1a), welcher abwechselnd jeweils glatte helle und raue dunklere Oberflächen auf den entsprechenden Wellenmotiven zeigt. Chemische Elemente, die nicht aus dem Elfenbein an sich stammen und typisch für Pigmente sind, konnten nachgewiesen werden. Dazu gehören Cu und Pb. Die Cu- und Pb-Verteilungen sind flächig homogen auf der rauen Oberfläche verteilt, wogegen sich Fe und Ti vor allem in den Rillen der Motive angereichert haben (Abb. 4). Die glatte helle Oberfläche enthält keine Spurenelemente. Daraus lässt sich zuerst schließen, dass die Polychromie vor allem auf den heute rauen Oberflächen vorhanden war und die glatten Oberflächen elfenbeinfarben geblieben sind. Es scheint also eine Korrelation zwischen Oberflächenbeschaffen-

heit und heute verschwundener Polychromie zu geben. Ob es sich bei der Rauigkeit um eine spezielle Oberflächenvorbereitung durch den Künstler gehandelt oder ob sie sich aufgrund von Alterserscheinungen gebildet hat, muss offen bleiben.

5 Unterschiedliche Elementverhältnisse von Kupfer und Blei: Indizien für eventuelle Farbabstufungen

Auf dem Papyrusfragment (Inv. Nr. AO 11479, Labor Nr. AI_AT_Louv21, Abb. 1b) wurden verschiedene Flächen auf ihre Elementverteilung hin untersucht. In Abb. 7a und 7b sind die Ergebnisse zweier Untersuchungsbereiche gezeigt. Einerseits wurde eine Übergangszone zwischen einer rauen dunkleren und einer glatten hellen Oberfläche auf dem oberen linken Rahmen analysiert und andererseits wurde die Korolla des zweiten Papyrus von rechts untersucht. Im ersten chemischen Gesamtverteilungsbild (Abb. 7a) ist deutlich zu sehen, dass der raue dunklere Bereich der analysierten Fläche auf dem Rahmen homogen mit Cu im Vergleich zur glatten hellen Oberfläche, die hauptsächlich eine homogene Ca- und heterogene Fe-Verteilung zeigt, angereichert ist. Die Korolla des zweiten Papyrus von rechts zeigt ebenfalls eine Anreicherung mit Cu im Vergleich zu den umliegenden Bereichen (Abb. 7b). Die Al-, Si-, Ti- und Fe-Spuren sind heterogen verteilt und deuten daher auf Sedimentspuren hin.

Ein homogen verteilter erhöhter Cu-Gehalt an der Elfenbeinoberfläche weist im Allgemeinen auf Pigmentreste hin, da Kupfer weder in normalen Böden noch im Elfenbein in größeren Mengen vorkommt. Grüne und blaue Pigmente enthalten Cu als Hauptbestandteile. Dabei wurde hauptsächlich Ägyptisch Blau als Lapislazuli-Ersatz in der Antike verwendet. Ägyptisch Blau ist ein synthetisch hergestelltes Pigment, welches neben einer bleihaltigen Glasphase als kristalline Hauptphase Cuprorivait, ein Calcium-Kupfersilikat mit der chemischen Formel $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ enthält.¹³ Die Farbe von Ägyptisch Blau reicht von einem helleren bis dunkleren Blau und kann auch grüne, türkise Anteile enthalten. Ein anderes Pigment, Ägyptisch Grün, besteht aus Parawollastonit (CaSiO_3) als kristalliner Bestandteil und einer grünen kupferhaltigen Glasphase. Es ist jedoch umstritten, ob es sich bei Ägyptisch Grün wirklich um ein separates synthetisches Pigment und nicht um ein Alterungsprodukt Ägyptisch Blaus handelt.¹⁴ Bei dem Element Pb verhält es sich ähnlich wie beim Cu. Es ist in normalen Böden und im Elfenbein nur in Spuren vorhanden. Daher deutet es auf Pigmentspuren hin, wenn es als systematischer Oberflächenbestandteil des Elfenbeins detektiert wird. Bleiweiß ist ein

13 Verri 2009, 1012.

14 Pagès-Camagna und Colinart 2003, 642.

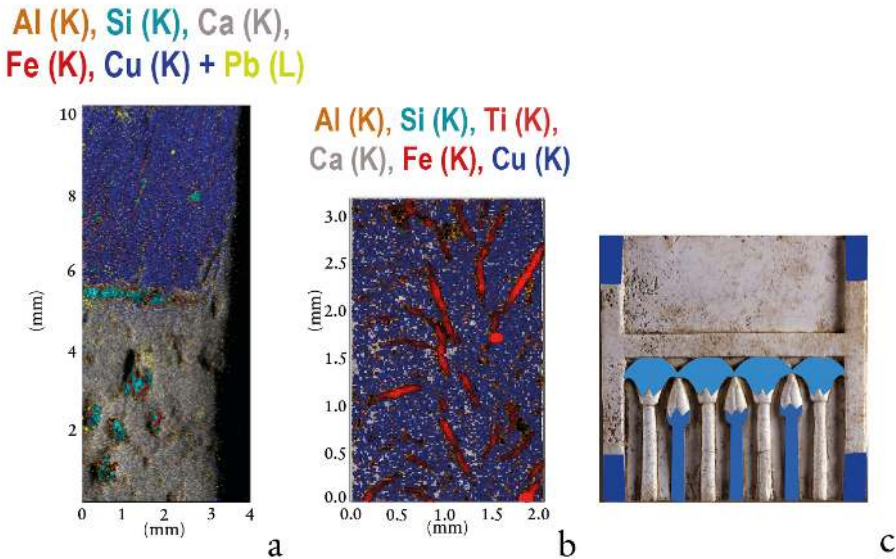


Abb. 7 Papyrusfragment (Inv. Nr. AO 11479) mit bestimmten Elementverteilungen: a) Elementverteilungen auf Rahmenbereich einer Größe von $4,80 \times 10,24 \text{ mm}^2$ mit einer Auflösung von $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ (Intensitäts-Verhältnisse der einzelnen Elemente in der Summendarstellung: $\text{Al} \times 3$, $\text{Si} \times 1,2$, $\text{Ca} \times 1$, $\text{Fe} \times 9$, $\text{Cu} \times 2,3$, $\text{Pb} \times 9$), b) Elementverteilungen auf der Koronna einer Größe von $2,00 \times 3,20 \text{ mm}^2$ mit einer Auflösung von $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ (Intensitäts-Verhältnisse der einzelnen Elemente in der Summendarstellung: $\text{Al} \times 2,5$, $\text{Si} \times 1$, $\text{Ca} \times 1$, $\text{Fe} \times 22,5$, $\text{Cu} \times 1$, $\text{Ti} \times 2$) und c) hypothetische Rekonstruktion der Farbabstufungen des Papyrusfragments.

bekanntes weißes Pigment, aber auch schwarze Verbindungen wie Bleiglanz können die Ursachen für das Vorhandensein von Bleispuren sein.

Auf dem Papyrusfragment wurden in mehreren Bereichen gleichmäßig erhöhte Cu- und Pb-Gehalte bestimmt, die auf das ursprüngliche Vorhandensein von Polychromie hinweisen. Interessanterweise variieren die Cu/Pb Verhältnisse in den unterschiedlichen Bereichen.

Nun stellt sich die Frage, ob es eventuell farbliche Abstufungen gab, da der Rahmen und die Korolla unterschiedliche Motive darstellen. Um diesen eventuellen Farbnuancen nachzugehen, können wir vergleichend die Werte bestimmter anderer Spurenelemente wie Blei heranziehen (Tab. 1).

Analysen- zonen auf Louv21 (Inv. Nr. AO 11479)	Elemente in Gew.ppm										Cu/Pb	Farb- abstufung	
	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Pb			Zn
dunkler Rahmen	8676	13428	40021	138505	346056	1238	193	7366	1971	308	399	6,40	dunkelblau
Korolla	3208	3719	10915	154265	388935	300	132	2142	1400	418	332	3,35	blau
Knospe	3188	2048	8063	148632	390416	2954	1768	16770	51582	19121	8106	2,70	helleres Blau
Blütenhalm	3038	1026	5318	153402	386144	-	1455	13058	62069	33665	8024	1,84	helleres Blau/Grün

Tab. 1 Quantitative Auswertung der PIXE Messungen der unterschiedlichen Analysezoneen auf dem Papyrusfragment (Inv. Nr. AO 11479, Al_AT_Louv21). – unter der Nachweiskgrenze.

Es gibt bleihaltige weiße und schwarze Pigmente, zum einen Bleiweiß, ein basisches Bleikarbonat und zum anderen Bleiglanz, eine Bleischwefelverbindung. Die Mischung von Bleiweiß mit einem Blau- beziehungsweise Grünpigment erscheint aus zwei Gründen wahrscheinlicher: zum einen konnten keine Schwefelspuren nachgewiesen werden, obwohl es methodisch möglich ist, und zum anderen ist Bleiweiß ein bekannteres Pigment dieser Zeit als Bleiglanz. Bleiglanz wurde nach aktuellem Kenntnisstand als kosmetische Substanz, zum Beispiel in ägyptischen Schminken verwendet, weniger als Pigment. Außer der erhöhte Fe-Gehalt weisen die anderen detektierten Spurenelemente dieser Flächen nicht unbedingt auf charakteristische Pigmente hin, die in der Polychromie dieser Zeit verwendet wurden. Wie oben diskutiert, sollte ein erhöhter Fe-Gehalt allerdings homogen verteilt auf der Oberfläche auftreten, um als Pigmentspur in Frage zu kommen. In den beiden untersuchten Bereichen ist dies nicht der Fall, da in den Elementverteilungsbildern der Abb. 7b eine heterogene Fe-Verteilung sichtbar ist. Daher kann ein Anteil eines Fe-haltigen Pigments in der Farbmischung ausgeschlossen werden und nur der Bleigehalt könnte auf Bleiweiß in der Pigmentmischung hinweisen. Man kann also das Cu/Pb Verhältnis zu Rate ziehen, um eine Hypothese zur farblichen Abstimmung aufzustellen. Ein hohes Cu/Pb Verhältnis entspricht einer dunkleren Farbe als ein kleines Cu/Pb Verhältnis, welches auf einen helleren Ton hinweisen würde.

So könnten Farbnuancen und Farbeffekte der unterschiedlichen Muster erreicht werden und eine natürlichere Darstellung der Motive wäre möglich. Eine hypothetische Rekonstruktion des Papyrusfragments (AI_AT_Louv21) zeigt Abb. 7c, dabei wären prinzipiell auch grünliche Farbtöne möglich.

6 Goldspuren in Bereichen mit purpurner Färbung: Indiz für die unerwartete In-Stabilität früherer Vergoldung

Auf mehreren Elfenbeinschnitzereien sind purpurne Flecken beobachtet worden. Als Beispiel wird hier das Fragment mit einer Horusdarstellung gezeigt (Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19, Abb. 1c), welches an verschiedenen Stellen Reste der Vergoldung und purpurne Flecken aufweist. Zuerst wurde bei den farbigen Flecken an Reste eines organischen Farbstoffs oder an die Anwesenheit eines vorbereitenden Materials für die Vergoldung gedacht. Untersuchungen mit verschiedenen Analysemethoden versagten, einen Farbstoff oder einen anderen Untergrund nachzuweisen. Dagegen konnte Gold (Au) mittels PIXE in den purpurnen Flecken identifiziert werden.¹⁵ Neben Au konnte auch Nickel (Ni) in verschiedenen goldhaltigen Bereichen festgestellt werden,

¹⁵ Fontan und Reiche 2011, 290.

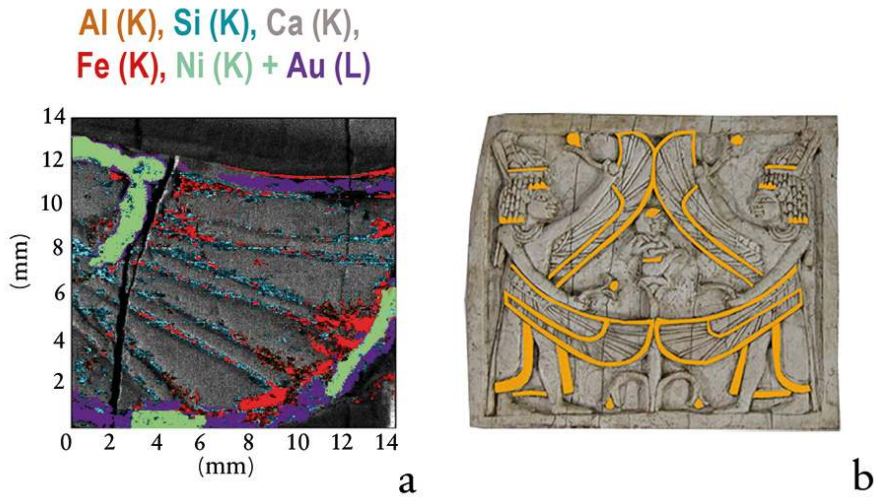


Abb. 8 Fragment mit einer Horusdarstellung (Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19): a) Elementverteilungsbild auf dem Horusflügel einer Größe von $14 \times 14 \text{ mm}^2$ mit einer Auflösung von $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ (Intensitäts-Verhältnisse der einzelnen Elemente in der Summendarstellung: Al $\times 6$, Si $\times 6$, Ca $\times 1$, Fe $\times 9$, Ni $\times 9$, Pb $\times 9$) und b) hypothetische Rekonstruktion des Fragments mit der Horusdarstellung.

dessen Ursprung bisher nicht geklärt werden konnte (Abb. 8a). Die anderen Elemente wie Al, Si und Fe sind heterogen in den Rillen verteilt und deuten daher eher auf Sedimentspuren hin.

Aus der Untersuchung von purpurroten Gläsern und Glasuren, zum Beispiel Kunkelglas, weiß man, dass die Färbung durch kolloidales Gold, d. h. Gold als Nanopartikel (NP) erzeugt werden kann.¹⁶ Dies hängt mit dem Mie-Streuungseffekt zusammen, so dass diese winzigen Goldaggregate nicht golden erscheinen, sondern violett beziehungsweise purpurrot sind. Eigentlich ging man bis vor kurzem davon aus, dass diese AuNPs nur bei hohen Temperaturen durch einen Brand erzeugt werden.¹⁷ Rezente geologische Forschungen haben allerdings gezeigt, dass sich AuNPs auch unter normalen Temperaturen im Boden über einen Auflösungsprozess durch im Boden vorhandene Säuren bilden können.¹⁸ Daher liegt es hier nahe, dass ein ähnlicher Alterungsprozess verantwortlich dafür ist, dass sich aus den Vergoldungen, beziehungsweise der Goldfolie auf dem Elfenbein während der Bodenlagerung AuNPs bilden können, die zu den purpurnen Flecken führen. Durch chemische Synthesen wurde ein möglicher Bildungsprozess nachgestellt, der zeigt, dass Kollagen, das entweder aus dem Leim der Goldfolien stammt

16 Nassau 1983, 162; Lafait u. a. 2009, 650; Reiche, Röhrs u. a. 2009, 1034.

17 Ruivo u. a. 2008, e135.

18 Hough u. a. 2008, 571.

oder Bestandteil des Elfenbeins selbst ist, die Goldionen so stabilisieren kann, dass sich AuNPs bilden können.¹⁹

Des Weiteren ermöglichen diese Untersuchungen das Etablieren eines Kriteriums zum Nachweis der Antiquität der vergoldeten Elfenbeine, die bis zum heutigen Tage nur schwer zu bestimmen beziehungsweise nicht-invasiv zu datieren sind. Die Umwandlung der Goldfolien in purpurne AuNPs war bisher nicht bekannt und die AuNPs sind schwer künstlich auf den Objekten zu erzeugen. Daher ist davon auszugehen, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass Fälscher solche purpurnen Goldspuren nachstellen konnten.

Eine hypothetische Rekonstruktion der Vergoldungen des Horusfragments zeigt die Abb. 8b.

7 Abschließendes Fazit

Dank nicht-invasiver, bildgebender chemischer Analyseverfahren ist es heutzutage möglich, neues Wissen über Objekte hervorzubringen. Das für uns sichtbare Erscheinungsbild der Objekte lässt sich so ergänzen und somit haben naturwissenschaftliche Methoden das Potential zu neuen Ding-Erkenntnissen jenseits unserer körperlichen und mentalen Wahrnehmung. Diese neuen Einsichten erlauben es, selbst verschwundene Merkmale, wie zum Beispiel eine ursprünglich vorhandene Polychromie, nachzuweisen und zumindest teilweise zu rekonstruieren. Am Beispiel der schönen Elfenbeinschnitzereien aus Arslan Tash, Syrien, heute im Louvre-Museum Paris bewahrt, kann illustriert werden, welche Art an neuer Information über die Objekte erhalten werden kann. In diesem konkreten Fall sind es chemische Erkenntnisse über Oberflächenszusammensetzungen. Dieses chemische Wissen über die Materialeigenschaften der Elfenbeinoberflächen im Zusammenhang mit dem Wissen über Alterungserscheinungen an Elfenbein und die typische Zusammensetzung von Pigmenten erlaubt es, Rückschlüsse über die mögliche Art der verschwundenen Polychromie zu ziehen und verbesserte Rekonstruktionen des ursprünglichen Aussehens der Objekte vorzuschlagen. Diese Rekonstruktionen erlauben einen neuen Blick auf die Objekte und wie sie wahrscheinlich als Dekor des Holzbettes zu neoassyrischer Zeit wahrgenommen wurden. Es konnte also festgestellt werden, dass sich durch taphonomische Prozesse die materiellen Eigenschaften der Dinge und damit ihre Materialität im Sinne der Wirkung, die sie auf uns haben, verändern.

Dieses neue Dingwissen hat auch einen Einfluss auf die Praxis im Umgang mit den Objekten in der Gegenwart, zum Beispiel auf den konservatorischen-restoratorischen

¹⁹ Spadavecchia u. a. 2014, 8366.

Umgang mit solchen Objekten. Deren Reinigung muss mit noch deutlicherer Vorsicht als bisher vorgenommen werden. In der Tat können sich zwischen Spuren an oberflächlichem Schmutz auch Farbreste befinden, die es zu bewahren gilt. Diese versteckte Polychromie darf als Spur und Zeuge vergangener Zeiten nicht verloren gehen.

Bibliographie

Albéric, Dean u. a. 2017

Marie Albéric, Mason N. Dean, Aurélien Gourrier, Wolfgang Wagermeier, John W. C. Dunlop, Andreas Staude, Peter Fratzl und Ina Reiche. „Relation between the Macroscopic Pattern of Elephant Ivory and Its Three-Dimensional Micro-Tubular Network“. *PLoS One* 12.1 (2017). URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0166671> (besucht am 14. 08. 2018).

Albéric, Gourrier u. a. 2014

Marie Albéric, Aurelien Gourrier, Katharina Müller, Ivo Zizak, Wolfgang Wagermeier, Peter Fratzl und Ina Reiche. „Early Diagenesis of Elephant Tusk in Marine Environment“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 416 (2014), 120–132.

Albéric, Müller u. a. 2015

Marie Albéric, Katharina Müller, Laurent Pichon, Quentin Lemasson, Brice Moignard, Claire Pacheco, Elisabeth Fontan, Brice Moignard und Ina Reiche. „Non-Invasive Quantitative Micro-PIXE-RBS/EBS Imaging Reveals the Lost Polychromy and Gilding of the Neo-Assyrian Ivories from the Louvre Collection“. *Talanta* 137 (2015), 100–108.

Calligaro u. a. 2004

Thomas Calligaro, Jean-Claude Dran, Joseph Salomon und Philippe Walter. „Review of Accelerator Gadgets for Art and Archaeology“. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 226 1–2 (2004), 29–37.

Fontan und Reiche 2011

Elisabeth Fontan und Ina Reiche. „Les ivoires d'Arslan Tash (Syrie) d'après une étude de la collection du Musée du Louvre: mise en oeuvre du matériau, traces de polychromie et de dorure, état de conservation“. *ArcheoSciences* 35 (2011), 283–295.

Hough u. a. 2008

Robert M. Hough, Ryan R. P. Noble, G. J. Hitchen, Robert Hart, Steven M. Reddy, M. Saunders, Peta L. Clode, D. Vaughan, J. Lowe, David Gray, R. R. Anand, C. R. M. Butt und Michael Verrall. „Naturally Occurring Gold Nanoparticles and Nanoplates“. *Geology* 36.7 (2008), 571–574.

Jacob u. a. 2008

Dorrit E. Jacob, A. Stracke, B. Wigand und H. Dindorf. „The Chemical Composition of Ivory“. *Bundesamt für Naturschutz (BfN)-Skripten-INCENTIVS* (2008).

Lafait u. a. 2009

Jacques Lafait, Serge Berthier, Christine Andraud, Vincent Reillon und Julia Boulenguez. „Physical Colors in Cultural Heritage: Surface Plasmons in Glass“. *Comptes Rendus Physique* 10.7 (2009), 649–659.

Large, Müller und Reiche 2011

Dounia Large, Katharina Müller und Ina Reiche. „Approche analytique pour l'étude des ivoires archéologiques“. *ArcheoSciences* 35 (2011), 167–177.

Müller und Reiche 2011

Katharina Müller und Ina Reiche. „Differentiation of Archaeological Ivory and Bone Materials by Micro-PIXE-PIGE with Emphasis on Two Upper Palaeolithic Key Sites: Abri Pataud and Isturitz, France“. *Journal of Archaeological Science* 38.12 (2011), 3234–3243.

Nassau 1983

Kurt Nassau. *The Physics and Chemistry of Color*. New York: Wiley & Sons, 1983.

Pagès-Camagna und Colinart 2003

Sandrine Pagès-Camagna und Sylvie Colinart. „The Egyptian Green Pigment: Its Manufacturing Process and Links to Egyptian Blue“. *Archaeometry* 45 (2003), 637–638.

Pichon, Calligaro u. a. 2015

Laurent Pichon, Thomas Calligaro, Quentin Lemasson, Brice Moignard und Claire Pacheco. „Programs for Visualization, Handling and Quantification of Pixe Maps at the Aglae Facility“. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 363 (2015), 48–54.

Pichon, Moignard u. a. 2014

Laurent Pichon, Brice Moignard, Quentin Lemasson, Claire Pacheco und Philippe Walter. „Development of a Multi-Detector and a Systematic Imaging System on the Aglae External Beam“. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 318 (2014), 27–31.

Reiche 2013

Ina Reiche. „Röntgenblick auf Kunstwerke“. *Physik-Journal* 12.4 (2013), 31–37.

Reiche und Müller 2014

Ina Reiche und Katharina Müller. „Antike Farbenspiele“. *Spektrum der Wissenschaft* November (2014), 60–64.

Reiche, Müller u. a. 2013

Ina Reiche, Katharina Müller, Marie Albéric, Oliver Scharf, Andea Wahning, Alexej Bjeoumikhov, Martin Radtke und Rolf Simon. „Discovering Vanished Paints and Naturally Formed Gold Nanoparticles on 2800 Years Old Phoenician Ivories Using SR-FF-microXRF with the Color X-ray Camera“. *Analytical Chemistry* 85.12 (2013), 5857–5866.

Reiche, Radtke und Brouder 2003

Ina Reiche, Martin Radtke und Christian Brouder. „Röntgenanalyse in der Kunst. Antike Gläser und versteinertes Elfenbein“. *Physik in unserer Zeit* 34.2 (2003), 80–86.

Reiche, Röhrs u. a. 2009

Ina Reiche, Stefan Röhrs, Joseph Salomon, Birgit Kanngießner, Yvonne Höhn, Wolfgang Malzer und Friederike Voigt. „Development of a Nondestructive Method for Underglaze Painted Tiles – Demonstrated by the Analysis of Persian Objects from the Nineteenth Century“. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 393 (2009), 1025–1041.

Ruivo u. a. 2008

Andreia Ruivo, Cristina Gomes, Augusta Lima, Maria Luisa Botelho, Rita Melo, Ana Belchior und Antonio Pires de Matos. „Gold Nanoparticles in Ancient and Contemporary Ruby Glass“. *Journal of Cultural Heritage* 9 (2008), e134–e137.

Salomon u. a. 2008

Joseph Salomon, Jean-Claude Dran, Thierry Guillou, Brice Moignard, Laurent Pichon, Philippe Walter und François Mathis. „Present and Future Role of Ion Beam Analysis in the Study of Cultural Heritage Materials: The Example of the Aglae Facility“. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 266 (2008), 2273–2278.

Skinner, W. und Fitzpatrick 1992

H. Skinner, Catherine W. und Robert W. Fitzpatrick, Hrsg. *Biominingalization. Processes of Iron and Manganese – Modern and Ancient Environments*. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1992.

Spadavecchia u. a. 2014

Jolanda Spadavecchia, Emilande Apchain, Marie Albéric, Elisabeth Fontan und Ina Reiche. „One-Step Synthesis of Collagen Hybrid Gold Nanoparticles and Formation on Egyptian-Like Gold-Plated Archaeological Ivory“. *Angewandte Chemie – International Edition* 53.32 (2014), 8363–8366.

Su und Cui 1999

X. W. Su und Fu-Zhai Cui. „Hierarchical Structure of Ivory: From Nanometer to Centimeter“. *Material Science and Engineering C* 7 (1999), 19–29.

Verri 2009

Giovanni Verri. „The Spatially Resolved Characterisation of Egyptian Blue, Han Blue and Han Purple by Photo-Induced Luminescence Digital Imaging“. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 394 (2009), 1011–1021.

Verri u. a. 2009

Giovanni Verri, Paul Collins, Janet Ambers, Tracey Sweek und St John Simpson. „Assyrian Colours: Pigments on a Neo-Assyrian Relief of a Parade Horse“. *Technical Research Bulletin* 3 (2009), 57–62.

Abbildungs- und Tabellennachweis

ABBILDUNGEN: 1 Musée du Louvre, Paris: a) Inv. Nr. AO 11493, Labor Nr. AI_AT_Louv24, b) Inv. Nr. AO 11479, Labor Nr. AI_AT_Louv21, c) Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19 und d) Inv. Nr. AO 11490, Labor Nr. AI_AT_Louv9. 2 Labor für Strukturelle und Molekulare Archäologie (LAMS). Foto: M. Albéric. 3 Musée du Louvre, Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19. Röntgenaufnahme: C2RMF Paris, J. Marsiac. 4 Musée du Louvre, Paris, (Inv. Nr. AO 11493, Labor Nr. AI_AT_Louv24). Foto: M. Albéric, I. Reiche. 5 Musée du Louvre, Paris, Inv. Nr. AO

11490, Labor Nr. AI_AT_Louv9. Foto: C2RMF Paris, D. Large. 6 Musée du Louvre, Paris, Inv. Nr. AO 11490, Labor Nr. AI_AT_Louv9. Foto: R. Chipault, Rekonstruktion I. Reiche. 7 Musée du Louvre, Inv. Nr. AO 11479, Labor Nr. AI_AT_Louv21. Foto: Labor für Strukturelle und Molekulare Archäologie (LAMS), M. Albéric, I. Reiche. 8 Musée du Louvre, Inv. Nr. AO 11465, Labor Nr. AI_AT_Louv19. Foto: Labor für Strukturelle und Molekulare Archäologie (LAMS), M. Albéric, I. Reiche. **TABELLEN:** 1 I. Reiche.

INA REICHE

Ina Reiche studierte Chemie und Kunstgeschichte an der Freien Universität Berlin, der Universität Toulouse III und der Universität Sorbonne, bevor sie im Jahr 2000 in Materialwissenschaften an der Universität Paris VI promovierte. Zwischen 2000 und 2002 arbeitete sie im Rathgen-Forschungslabor an den Staatlichen Museen zu Berlin, ging dann 2003 zum CNRS nach Paris, um im Forschungs- und Restaurierungszentrum der französischen Museen (*Centre de recherche et de restauration des Musées de France* (C2RMF)) zu arbeiten. Sie habilitierte sich 2009 in Chemie und wurde 2012 Forschungsdirektorin des CNRS. Seit 2014 leitet sie das Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin, Stiftung Preussischer Kulturbesitz.

PD Dr. Ina Reiche
Rathgen-Forschungslabor
Staatliche Museen zu Berlin
Preussischer Kulturbesitz
Schloßstraße 1 a
14059 Berlin, Deutschland
E-Mail: I.Reiche@smb.spk-berlin.de