ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

CORPUS VASORUM ANTIQUORUM

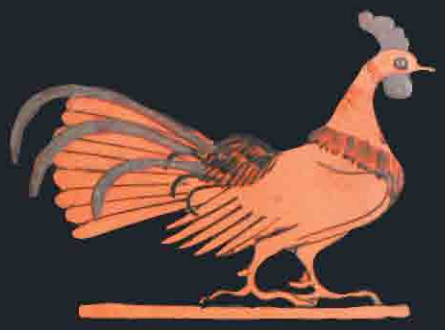
ÖSTERREICH

BEIHEFT 1

INTERDISZIPLINÄRE DOKUMENTATIONS- UND VISUALISIERUNGSMETHODEN

HERAUSGEGEBEN VON

ELISABETH TRINKL



WIEN 2013

VERLAG DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

CORPUS
VASORUM ANTIQUORUM

ÖSTERREICH
BEIHEFT 1

CORPUS VASORUM ANTIQUORUM

ÖSTERREICH

BEIHEFT 1

INTERDISZIPLINÄRE DOKUMENTATIONS- UND VISUALISIERUNGSMETHODEN

HERAUSGEGEBEN VON

ELISABETH TRINKL

Verlag der
Österreichischen Akademie
der Wissenschaften

Wien 2013

Vorgelegt von w. M. Friedrich Krinzinger in der Sitzung am 21. Oktober 2011

Gedruckt mit Unterstützung des Austrian Science Fund (FWF): PUB 17-G19.

Umschlagabbildung:
Hahn: ANSA IV 3717
Foto © Kunsthistorisches Museum Wien

Die verwendete Papiersorte ist aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff hergestellt,
frei von säurebildenden Bestandteilen und alterungsbeständig.

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 978-3-7001-7145-4
Copyright © 2013 by
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Wien

Satz und Layout: Andrea Sulzgruber
Druck und Bindung:
Ferdinand Berger & Söhne GmbH., A-3580 Horn

http://hw.oeaw.ac.at/7145-4
http://verlag.oeaw.ac.at

INHALT

Vorwort 7

Zum Geleit 9

Abgekürzte Literatur, Abkürzungen 11

Verzeichnis der Autoren 15

Thomas Mannack, Greg Parker
Das elektronische CVA – Stand 2010 17

Hubert Mara, Julia Portl
Acquisition and Documentation of Vessels using High-Resolution 3D-Scanners 25

Bettina Vak
Auf der Suche nach dem Original. Anwendungen und Illustrationen naturwissenschaftlicher Diagnostik an attisch figürlich bemalter Keramik aus der Antikensammlung des Kunsthistorischen Museums 41

Stephan Karl, Daniel Jungblut, Jördis Rosc
mit einem Beitrag von Rudolf Erlach
Berührungsfreie und nicht invasive Untersuchung antiker Keramik mittels industrieller Röntgen-Computertomografie 73

Robert Fürhacker, Stephan Karl
Die Dokumentation historischer Restaurierungen antiker Keramik am Beispiel zweier Gefäße aus dem Universalmuseum Joanneum unter besonderer Berücksichtigung der industriellen Computertomografie 115

Maria Christidis
Ein Guttus aus der Originalsammlung des Instituts für Archäologie der Universität Graz. Anwendungen naturwissenschaftlicher Untersuchungen 161

Leonid Dimitrov, Milos Šrámek, Emanuel Wenger, Claudia Lang-Auinger, Elisabeth Trinkl
Pilotstudie zur Visualisierung und Untersuchung von antiken Vasen 171

Paul Kammerer, Franz Mairinger, Elisabeth Trinkl, Ernestine Zolda
Reflexionsmessungen an attischen Gefäßen klassischer Zeit – eine Vorstudie 177

Zusammenfassung / Summaries 209

VORWORT

Der vorliegende Band konzentriert sich – wie der Titel bereits deutlich macht – auf die Vorstellung und Besprechung neuer Methoden der Dokumentation sowie der Visualisierung, die besonders in den letzten Jahren auch im Rahmen der Vasenforschung zunehmend an Bedeutung gewonnen haben. So werden in acht ausgewählten Beiträgen von insgesamt 19 Autoren neue Dokumentationsmethoden vorgestellt. Unter diesen finden sich einerseits bereits erprobte Techniken, die in anderen Wissenschaftsdisziplinen mittlerweile zum State-of-the-Art gehören, und andererseits vollkommen neue Methoden, deren Entwicklung und Erprobung gleichsam ein Work-in-Progress darstellen. Allen besprochenen Visualisierungs- und Dokumentationsmethoden, die einander vielfach unterstützen und ergänzen, gemein ist ihre vielseitige Anwendbarkeit – nicht nur in der archäologischen Grundlagenforschung sondern auch im Ausstellungs- und Museumswesen sowie in der Lehre.

Die Idee und die Notwendigkeit zu vorliegendem Band ergaben sich im Zuge aktueller Arbeiten am nationalen Corpus Vasorum Antiquorum. Die hierbei verwendeten neuen Dokumentationsmethoden aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsbereichen vorzustellen und die mitunter auftretenden Schwierigkeiten und Lösungsansätze zu diskutieren, war und ist jedoch im Rahmen des Corpus Vasorum Antiquorum nicht möglich, sieht doch das CVA-Publikationskonzept vornehmlich die katalogartige Erfassung des Materials unter besonderer Berücksichtigung kunsthistorischer Überlegungen und Fragestellungen vor.

Daher genehmigte die Österreichische Akademie der Wissenschaften 2009 dankenswerter Weise die Eröffnung einer ergänzenden Reihe unter dem Titel „Corpus Vasorum Antiquorum Österreich – Beihefte“, womit nun auch die Publikation von themenrelevanten Detailstudien im Rahmen der Vasenforschung möglich ist.

Dank gebührt C. Lang-Auinger, die die Gründung des österreichischen CVA Arbeitskreises im Jahre 2006 anregte und dadurch der nationalen Vasenforschung wichtige Impulse verleihen konnte. Das Institut für Kulturgeschichte der Antike der ÖAW hat als Sitz dieses Arbeitskreises auch die Rolle des nationalen Koordinators übernommen, der ein Netzwerk von CVA-Forschern in Österreich moderiert und international verknüpft.

Gedankt sei zudem der Herausgeberin des vorliegenden Bandes, E. Trinkl, auf deren Engagement dieser erste Band der neuen Reihe maßgeblich zurückgeht und die darüber hinaus auch für seine redaktionelle Betreuung verantwortlich zeichnet. Die Drucklegung wurde durch einen dankenswerterweise gewährten Druckkostenzuschuss des FWF möglich.

Zuletzt sei allen Autoren und Mitarbeitern der einzelnen Beiträge für ihre konstruktive Zusammenarbeit über die Grenzen der Wissenschaftsdisziplinen hinweg gedankt. Erst die interdisziplinäre Kooperation von Archäologen, Bildbearbeitern, Chemikern, Informatikern, Mathematikern, Physikern und Restauratoren ermöglichte die Vorlage der in diesem Band gesammelten Forschungsergebnisse.

Wien, April 2011 Andreas Pülz

ZUM GELEIT

In der archäologischen Keramikforschung konzentrierten sich die Untersuchungen mittels naturwissenschaftlicher Methoden überwiegend auf die Provenienzanalyse. Zweifelsohne brachten diese Methoden große Fortschritte und enormen Wissenszuwachs. Für andere Themenbereiche kamen – vor allem im Zusammenhang mit figürlich bemalter Keramik – naturwissenschaftliche Methoden jedoch nur selten und sehr punktuell zum Einsatz. Dokumentation und Präsentation sind seit langem weitgehend unverändert und werden zumeist nach konventionellen Methoden ausgeführt.

Es soll damit keinesfalls der Eindruck erweckt werden, dass die lange geübten und etablierten Methoden unzureichend wären. Es darf aber die Frage gestellt werden, ob es Ansätze für Verbesserungen gibt. ‚Verbesserungen' dürfen jedoch nicht unter dem Gesichtspunkt von rascherem und damit vermeintlich kostengünstigerem Arbeiten stehen. Vielmehr müssen Werte wie Materialtreue, Informationsgehalt, Nachprüfbarkeit, Zerstörungsfreiheit und Ähnliches im Mittelpunkt der Fragen zur Effizienzsteigerung stehen. Alle Autoren dieses Bandes fühlen sich diesem Ansatz verpflichtet.

Die hier vorgelegten Verfahren aus den Bereichen der Dokumentation und Visualisierung sind sehr unterschiedlich; ihr Einsatz hängt selbstverständlich von den jeweiligen Fragestellungen und Zielen ab. Sie alle haben jedoch den Anspruch, für das jeweilige Detailproblem eine möglichst umfassende und weitreichende Lösung zu finden. Dafür wird manchmal ein ungewöhnlicher Weg, der auch aus anderen Disziplinen entlehnt sein kann, eingeschlagen. Ich denke aber, dass die Ergebnisse, die zum Teil wirklich Unerwartetes erbrachten, die Entscheidung bezüglich der Wahl der Mittel rechtfertigen.

Auch in der archäologischen Forschung ist die rechnergestützte Auswertung von Informationen, überwiegend über die Abfrage von Datenbanken, heute kaum mehr wegzudenken. Insofern ist es mir eine besondere Freude, dass die Verantwortlichen (T. Mannack, G. Parker) der wichtigsten Datenbank für figürlich bemalte Keramik selbst den aktuellen Stand ihres Datenbank-Projektes in diesem Band zusammenfassen und einen Ausblick auf die Zukunft geben.

Dass eine genaue Profilzeichnung eine unschätzbare Quelle für den Entstehungsprozess ist, muss nicht explizit betont werden. Umso größer ist der Gewinn, wenn es uns dank neuer Messmethoden nun möglich ist, die Gefäßform nicht nur in einer Ansichtsseite und einem (zumeist idealisierten) Profil sondern auch in einem authentischen Gesamtmodell dokumentieren zu können. Zwei solche Methoden werden in diesem Band ausführlich vorgestellt: 3D-Scannen (H. Mara, J. Portl) und Computertomografie (S. Karl, J. Rosc).

Solche 3D-Modelle ermöglichen die Berechnung jeder beliebigen Schnittebene, die Wiedergabe in jedem Maßstab nach Wahl, die Ermittlung des Fassungsvolumens und Vieles andere mehr (D. Jungblut). Ferner lässt vor allem das mittels Computertomografie erstellte 3D-Modell aussagekräftige Rückschlüsse auf die Fertigungstechnik (S. Karl, M. Christidis) eines antiken Gefäßes zu, da auch eine nicht sichtbare Innenwandung bei geschlossenen Formen visualisiert werden kann. Darüber hinaus eröffnet ein 3D-Modell, verbunden mit einer entsprechenden Dokumentation der Oberfläche, vielfältige Möglichkeiten für die Präsentation (H. Mara, J. Portl, E. Wenger, L. Dimitrov, M. Šrámek, C. Lang-Auinger) in Forschung, Lehre und Museum.

Durch den mittels Computertomografie möglichen Einblick in das Material sind sogar Fragen nach Qualität, Beschaffenheit und Zusammensetzung des Scherbens selbst möglich (S. Karl). Gerade auf diesem Sektor sind vor allem in Hinblick auf die bereits oben angesprochene Provenienzanalyse große Fortschritte zu erwarten. Da die Computertomografie ohne Entnahme einer Probe auskommt, wird der ‚zerstörungsfreie' Blick in das Material in Zukunft unersetzlich werden. Die Strahlenbelastung und deren Folgen dürfen bei allen strahlendiagnostischen Verfahren (R. Erlach) – sei es ‚normales' Röntgen oder eben die Computertomografie – jedoch nicht außer Acht gelassen werden.

Neben den strahlendiagnostischen Messverfahren werden in diesem Band auch Methoden vorgestellt, die vor allem Fragen zur Beschaffenheit und Zusammensetzung von Materialien nachgehen; auch in diesem Fall hat die ‚Zerstörungsfreiheit' oberste Priorität, z. B. Aufnahme mit Licht mit verschiedenen Wellenlängen (B. Vak), Spektrometrie (P. Kammerer, F. Mairinger, E. Zolda) etc.

Alle hier kurz angesprochenen Verfahren der Dokumentation und Visualisierung unterstützen natürlich nicht nur die archäologische Arbeit mit dem originalen Material sondern liefern gleichermaßen auch Informationen zu jüngeren Eingriffen an einem Objekt. Sie ermöglichen die Abgrenzung authentischer Abschnitte von rezenten Partien und tragen viel zur relativ jungen Disziplin der ‚Restaurierungsgeschichte' (R. Fürhacker, B. Vak), die Untersuchung rezenter Restaurierungsverfahren und -materialien, bei.

All das oben Beschriebene lässt sich kurz unter jenem Schlagwort zusammenfassen, das B. Vak als Titel für ihren Artikel in diesem Band wählte, „Auf der Suche nach dem Original". Unser aller Ziel ist es, ein antikes Objekt bei größtmöglicher Schonung der antiken wie der rezenten Substanz umfassend zu dokumentieren und diese Informationen allen Interessierten attraktiv und nachvollziehbar zugänglich zu machen.

Die hier vorgestellten und diskutierten Methoden und Techniken können und sollen uns auf dieser Suche unterstützen. Keine von ihnen darf und kann jedoch isoliert bestehen. Erst im Zusammenspiel von ‚konventioneller' archäologischer Beschäftigung mit dem einzelnen Objekt und dem Einsatz einer oder mehrerer computerunterstützter bzw. naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden ist es möglich, dem Original wieder einen Schritt näher zu kommen.

Mein persönlicher Dank ergeht in erster Linie an jeden einzelnen Autor in diesem Band für die anregende und produktive Zusammenarbeit. Hinter allen Texten stecken Initiative und Engagement, die oft außerhalb institutioneller Einbindung und abseits gut begangener Wissenschaftspfade standen. Mein Dank ergeht auch an I. Adenstedt für die Durchsicht des englischen Textes.

Auch jenen Institutionen, die für die hier besprochenen Untersuchungen vorbehaltslos Originale zur Verfügung stellten, muss unser aller aufrichtiger Dank ausgesprochen werden: Institut für Archäologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Kunsthistorisches Museum Wien, Universalmuseum Joanneum.

Außerdem möchte ich dem Direktor des Instituts für Kulturgeschichte der Antike A. Pülz für seine institutionelle Unterstützung und der Koordinatorin des CVA Österreich C. Lang-Auinger für ihre organisatorische Hilfestellungen danken. Unser aller Dank gebührt darüber hinaus der Publikationskommission der ÖAW, die die Eröffnung der Reihe ‚Beihefte zum CVA Österreich' befürwortete und bewilligte.

Wien, April 2011 Elisabeth Trinkl

ABGEKÜRZTE LITERATUR, ABKÜRZUNGEN

KURZZITATE

In diesem Band werden die Sigeln des DAI (http://www.dainst.org/de/content/liste-der-abk%C3%BCrzungen-f%C3%BCr-zeitschriften-reihen-lexika-und-h%C3%A4ufig-zitierte-werke?ft=all) ergänzt durch die vom ÖAI zusammengestellten österreichischen Sigeln (http://www.oeai.at/tl_files/img/Dateien/Wien_Publikationen_Sigelliste-aktuell_Juni2011.pdf) verwendet.

Abbink, cycles	A. A. Abbink, Make it and Break it: the cycles of pottery. A study of the technology, form, function, and use of pottery from the settlements at Uitgeest-Groot Dorregeest and Schagen-Muggenburg 1, Roman period, North-Holland, the Netherlands, Archaeological Studies Leiden University 5 (Leiden 1999).
Bauer et al., Leitfaden	I. Bauer – W. Endres – B. Kerkhoff-Hader – R. Koch – H. Stephan, Leitfaden zur Keramikbeschreibung (München 1986).
Bechtold et al., Rollouts	S. Bechtold – S. Krömker – H. Mara – B. Kratzmüller, Rollouts of Fine Ware Pottery using High Resolution 3D Meshes, in: A. Artusi – M. Joly-Parvex – G. Lucet – A. Ribes – D. Pitzalis (Hrsg.), VAST 2010: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Paris, France, September 21–24, 2010 (Goslar 2010) 79–86.
Bentz – Böhr, Maßen	M. Bentz – E. Böhr, Zu den Maßen attischer Feinkeramik, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 73–80.
Bentz – Kästner, Konservieren	M. Bentz – U. Kästner (Hrsg.), Konservieren oder Restaurieren – Die Restaurierung griechischer Vasen von der Antike bis Heute, CVA Deutschland Beih. 3 (München 2007).
Bentz – Kästner, Vorwort	M. Bentz – U. Kästner, Vorwort, in: M. Bentz – U. Kästner (Hrsg.), Konservieren oder Restaurieren – Die Restaurierung griechischer Vasen von der Antike bis Heute, CVA Deutschland Beih. 3 (München 2007) 7–9.
Berg, pots	I. Berg, Looking through pots: recent advances in ceramics X-radiography, JASc 35, 2008, 1177–1188.
Bernhard-Walcher, Alltag	A. Bernhard-Walcher, Alltag – Feste – Religionen (Wien 1992).
Böhr – Heilmeyer, Vorzeichnungen	E. Böhr – M. Heilmeyer, Vorzeichnungen, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 43–50.
Bourgeois, restauration	B. Bourgeois (Hrsg.), «Une perfection dangereuse». La restauration des vases grecs, de Naples à Paris, XVIIIe–XIXe siècles, Techne 32 (Lassay-les-Châteaux 2010).
Bourgeois, restauratori	B. Bourgeois, „Abili restauratori“. Naples and the Art of Vase Restauration (Count Turpin de Crissé's Collection, Early 19th Century), in: M. Bentz – U. Kästner (Hrsg.), Konservieren oder Restaurieren – Die Restaurierung griechischer Vasen von der Antike bis Heute, CVA Deutschland Beih. 3 (München 2007) 41–47.
Camporeale, collezione	G. Camporeale, La collezione alla Querce. Materiali archeologici Orvietani, Biblioteca di „Studi Etruschi“ 5 (Florenz 1970).
Cohen, Color	B. Cohen, The Colors of Clay. Special Techniques in Athenian Vases (Los Angeles 2006).
Dimitrov et al., Visage	L. I. Dimitrov – E. Wenger – M. Šrámek – E. Trinkl – C. Lang-Auinger, VISAGE: An Integrated Environment for Visualization and Study of Archaeological Data Generated by Industrial Computer Tomography, in: M. Ioannides – D. Arnold – F. Niccolucci – K. Mania (Hrsg.), The e-volution of Information Communication Technology in Cultural Heritage, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, 30. October – 4. November 2006, Nicosia, Cyprus, VAST 2006 (Budapest 2006) 49–55.
Donati, vasi	L. Donati, Vasi di bucchero decorati con teste plastiche umane. Zona di Chiusi, StEtr 36, 1968, 319–355.
Friedmann – Bente, Restaurierungen	G. K. Friedmann – K. A. Bente, Zu antiken, neuzeitlichen und aktuellen Restaurierungen auf der Grundlage materialwissenschaftlicher Diagnostik, in: M. Bentz – U. Kästner (Hrsg.), Konservieren oder Restaurieren – Die Restaurierung griechischer Vasen von der Antike bis Heute, CVA Deutschland Beih. 3 (München 2007) 129–132.
Greene – Hartley, ceramics	A. Greene – C. Hartley, (Re)discovering ceramic structure: a multiscalar approach to understanding ancient ceramic practices, in: K. T. Biró – V. Szilágyi – A. Kreiter (Hrsg.), Vessels: inside and outside, Proc. of the Conference EMAC '07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, Budapest 24–27 October 2007 (Budapest 2009) 5–14.
Hamer – Hamer, Lexikon	F. Hamer – J. Hamer, Lexikon der Keramik und Töpferei. Material, Technik, Geschichte. Übersetzung und Bearbeitung der deutschen Ausgabe von B. Pfannkuche (Augsburg 1990).

Hüttig, Methoden — M. Hüttig, Methoden der Volumenbestimmung für antike Gefäße am Beispiel griechischer Transportamphoren, AM 114, 1999, 317–324.

Janis, Restaurierungsethik — K. Janis, Restaurierungsethik im Kontext von Wissenschaft und Praxis, Forum Denkmal und Restaurierung 1 (München 2005).

Jansen, Scenes — R. J. Jansen – H. F. W. Koens – C. W. Neeft – J. Stoker, Scenes from the Past. CT in the Archaeologic Study of Ancient Greek Ceramics, RadioGraphics 21, 2001, 315–321.

Jentel, gutti — M.-O. Jentel, Les gutti et les askoi à reliefs étrusques et apuliens I–II (Leiden 1976).

Jungblut, Rekonstruktion — D. Jungblut, Rekonstruktion von Oberflächenmorphologien und Merkmalskeletten aus dreidimensionalen Daten unter Verwendung hochparalleler Rechnerarchitekturen, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften (Frankfurt am Main 2012) <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/year/docld/27795> (9.2.2013).

Karl, Alabastron — S. Karl, Alabastron oder Bombylios. Zur Frage des ägyptischen Ursprungs. Überlegungen anhand eines Gefäßes aus der Privatsammlung Harald Boesch, in: N. Geworkian (Hrsg.), 30 Jahre Verba et Facta. Burg Strechau. Harald Boesch (Strechau 2009) 43–51.

Karl, Durchleuchtungen — S. Karl, Durchleuchtungen griechischer Keramik – Industrielle 3D-Röntgen-Computertomografie als archäometrische Methode, in: J. Kiesslich – F. Lang – K. Schaller – C. Uhlir – M. Unterwurzacher (Hrsg.), Primus conventus austriacus archaeometriae. Scientiae naturalis ad historiam hominis antiqui investigandam MMIX, Tagungsband zum Ersten Österreichischen Archäometriekongress, 15.–17. Mai 2009, Paris Lodron Universität Salzburg, ArchaeoPlus 1 (Salzburg 2010) 99–104.

Karl, Kugelaryballoi — S. Karl, Korinthische Kugelaryballoi – Zeugnisse des korinthischen Parfumhandels oder der Spezialisierung in Votivgaben?, SchSt 18, 2005, 11–25.

Karl et al., Insights — S. Karl – D. Jungblut – H. Mara – G. Wittum – S. Krömker, Insights into manufacturing techniques of archaeological pottery: industrial X-ray computed tomography as a tool in the examination of cultural material, in: M. Martinon-Torres – C. R. Cartwright (Hrsg.), From Craft to Science, 10th European Meeting on Ancient Ceramics (EMAC ‘09), London, 10.–13.9.2009 (in Druck).

Katalog Archäologiemuseum — S. Karl – D. Modl – B. Porod (Hrsg.), Katalog Archäologiemuseum. Schloss Eggenberg, Universalmuseum Joanneum, SchSt 22 (Graz 2009).

Katalog Institut — M. Lehner – T. Lorenz – G. Schwarz, Griechische und italische Vasen aus der Originalsammlung des Instituts für Klassische Archäologie der Karl-Franzens-Universität Graz, VIKAGraz 1 (Graz 1993).

Koch-Brinkmann, Bilder — U. Koch-Brinkmann, Polychrome Bilder auf weißgrundigen Lekythen (München 1999).

Mannack, Vasenmalerei — T. Mannack, Griechische Vasenmalerei. Eine Einführung (Darmstadt 2002).

Mara et al., Acquisition — H. Mara – E. Trinkl – P. Kammerer – E. Zolda, 3D-Acquisition of Attic Red-Figured Vessels and Multi-Spectral Readings of White Ground *Lekythoi* in the *Kunsthistorisches Museum Vienna*, CAA, Budapest 2007 (Budapest 2009), in: K. T. Biró – V. Szilágyi – A. Kreiter (Hrsg.), Vessels: inside and outside, Proc. of the Conference EMAC ‘07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, Budapest 24–27 October 2007 (Budapest 2009) 21–28.

Mara et al., GigaMesh — H. Mara – S. Krömker – S. Jakob – B. Breuckmann, GigaMesh and Gilgamesh – 3D Multiscale Integral Invariant Cuneiform Character Extraction, in: A. Artusi – M. Joly-Parvex – G. Lucet – A. Ribes – D. Pitzalis (Hrsg.), VAST 2010: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Paris, France, September 21–24, 2010 (Goslar 2010) 131–138.

Middleton, Ceramics — A. Middleton, Ceramics, in: J. Lang – A. Middleton (Hrsg.), Radiography of Cultural Material (Burlington 2005) 76–95.

Montagna Pasquinucci, Kelebai — M. Montagna Pasquinucci, Le Kelebai Volterrane (Florenz 1968).

Morel, Céramique — J.-P. Morel, Céramique campanienne. Les formes I–II, BEFAR 244 (Rom 1981).

Perkins, Bucchero — P. Perkins, Etruscan Bucchero in the British Museum, The British Museum Research Publication 165 (London 2007).

Pfisterer-Haas, Topf — S. Pfisterer-Haas, Wenn der Topf aber nun ein Loch hat. Restaurierung griechischer Keramik in Antike und Neuzeit. Sonderausstellung im Antikenmuseum der Universität Leipzig vom 13. Mai bis 9. August 1998 (Leipzig 1998).

Rice, Pottery — P. M. Rice, Pottery Analysis: A Sourcebook (Chicago 1987).

Rye, Pottery — O. S. Rye, Pottery Technology. Principles and Reconstruction, Manuals on Archeology 4 ²(Washington 1988).

Sacken – Kenner, Sammlungen — E. von Sacken – F. Kenner, Die Sammlungen des k. k. Münz- und Antikencabinetes (Wien 1866).

Scheibler, Töpferkunst — I. Scheibler, Griechische Töpferkunst. Herstellung, Handel und Gebrauch der antiken Tongefäße ²(München 1995).

Schidlofski, Antike — A. Schidlofski, Konstruierte Antike. Der Echtheitsbegriff erläutert an archäologischen Denkmälern, Antiquitates 49 (Hamburg 2009).

Schreiber, Vase — T. Schreiber, Athenian Vase Construction. A Potter’s Analysis (Malibu 1999).

Stissi, Pottery — V. Stissi, Pottery to the people. The production, distribution and consumption of decorated pottery in the Greek world in the Archaic period (650–480 BC) (Diss. Universität Amsterdam 2002) <http://dare.

uva.nl/en/record/108078> (18.3.2011).

Tite, Pottery — M. S. Tite, Pottery production, distribution, and consumption – the contribution of the physical sciences, Journal of Archaeological Method and Theory 6, 1999, 181–233.

Tiverios – Tsiafakis, Color — M. A. Tiverios – D. S. Tsiafakis (Hrsg.), Color in Ancient Greece. The Role of Color in Ancient Greek Art and Architecture (700–31 B.C.), Proc. of the Conference held in Thessaloniki, 12th–16th April, 2000 (Thessaloniki 2002).

TonArt — M. Bentz – W. Geominy – J. M. Müller (Hrsg.), TonArt. Virtuosität antiker Töpfertechnik. Eine Ausstellung im Akademischen Kunstmuseum – Antikensammlung der Universität Bonn, 18. November 2010 – 17. April 2011 (Petersberg 2010).

Van de Put, Use — W. D. J. Van de Put, The Use of Computer Tomography for the Study of Greek Ceramics, in: P. Heesen, The J. L. Theodor Collection of Attic Black-Figure Vases, Allard Pierson series 10 (Amsterdam 1996) 203–205.

Wehgartner, Keramik — I. Wehgartner, Attisch weissgrundige Keramik (Mainz 1983).

ABKÜRZUNGEN

JJb	Jahresbericht des Landesmuseums Joanneum
Joannea	Publikationen des Steiermärkischen Landesmuseums und der Steiermärkischen Landesbibliothek
MHVSt	Mitteilungen des Historischen Vereines für Steiermark
ÖBL	Österreichisches Biographisches Lexikon 1815–1950, hrsg. von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 12 Bände (Wien 1957–2005)
SchSt	Schild von Steier
VDR Beiträge	Verband der Restauratoren – Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut
Wurzbach	Constantin von Wurzbach, Biographisches Lexikon des Kaiserthums Oesterreich, 60 Bände (Wien 1856–1891)
ZHVSt	Zeitschrift des Historischen Vereines für Steiermark

AArchMk	Archiv der Abteilung Archäologie & Münzkabinett, UMJ
AdR	Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren
ANSA	Antikensammlung, Kunsthistorisches Museum Wien
CT	Computertomografie
DGfZP	Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung
IWR	Interdisciplinary Center for Scientific Computing, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
KFUG	Karl-Franzens-Universität Graz
NHM	Naturhistorisches Museum, Wien
ÖGI	Österreichisches Gießerei-Institut, Leoben
TL	Thermolumineszenz
UAI	Union Académique Internationale
UMJ	Universalmuseum Joanneum, Graz
VdR	Verband der Restauratoren

AUTOREN

Maria Christidis
Institut für Archäologie
Karl-Franzens-Universität Graz
Universitätsplatz 3/II
A-8010 Graz
Österreich

Leonid Dimitrov
GMI-Gregor-Mendel-Institut für Molekulare Pflanzenbiologie GmbH
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Bohr-Gasse 3
A-1030 Wien
Österreich

Rudolf Erlach
Universität für angewandte Kunst Wien
Institut für Kunst und Technologie
Abteilung Archäometrie
Salzgries 14/1
A-1013 Wien
Österreich

Robert Fürhacker
Kleinsemmering 51
A-8160 Gutenberg an der Raabklamm
Österreich

Daniel Jungblut
Mühlstraße 27
D-69226 Nußloch
Deutschland

Paul Kammerer
Grimmelshausengasse 12/20
A-1030 Wien
Österreich

Stephan Karl
Institut für Archäologie
Karl-Franzens-Universität Graz
Universitätsplatz 3/II
A-8010 Graz
Österreich

Claudia Lang-Auinger
Institut für Kulturgeschichte der Antike
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Bäckerstraße 13
A-1010 Wien
Österreich

Franz Mairinger
Dapontegasse 12
A-1030 Wien
Österreich

Thomas Mannack
Beazley Archive, Classical Art Research Centre
Ioannou School for Classical and Byzantine Studies
66 St Giles, Oxford, OX1 3LU
Großbritannien

Hubert Mara
Interdisciplinary Center for Scientific Computing
University of Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 368
D-69120 Heidelberg
Deutschland

Greg Parker
Beazley Archive, Classical Art Research Centre
Ioannou School for Classical and Byzantine Studies
66 St Giles, Oxford, OX1 3LU
Großbritannien

Julia Portl
Interdisciplinary Center for Scientific Computing
University of Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 368
D-69120 Heidelberg
Deutschland

Jördis Rosc
Österreichisches Gießerei-Institut
Parkstraße 21
A-8700 Leoben
Österreich

Milos Šrámek
GMI-Gregor-Mendel-Institut für Molekulare Pflanzen-
biologie GmbH
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Bohr-Gasse 3
A-1030 Wien
Österreich

Elisabeth Trinkl
Institut für Kulturgeschichte der Antike
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Bäckerstraße 13
A-1010 Wien
Österreich

Bettina Vak
Antikensammlung
Kunsthistorisches Museum Wien
Burgring 5
A-1010 Wien
Österreich

Emanuel Wenger
Institut für Mittelalterforschung
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Wohllebengasse 12–14
A-1040 Wien
Österreich

Ernestine Zolda
Pöckgasse 2/6
A-2700 Wiener Neustadt
Österreich

DAS ELEKTRONISCHE *CORPUS VASORUM ANTIQUORUM*

(WWW.CVAONLINE.ORG)

Thomas Mannack, Greg Parker

Das *Corpus Vasorum Antiquorum*[1] war die Idee des französischen Archäologen Edmund Pottier, Leiter des Louvre in Paris. Er schlug 1919 vor, die Keramik aller alten Kulturen in öffentlichen und privaten Sammlungen in aller Welt mit Bildern, Maßen und einer Beschreibung des Erhaltungszustandes in einem Sammelwerk zu publizieren. Diese Idee wurde 1921 von der Union Académique Internationale (UAI) aufgenommen, unter deren Ägis der erste Band, Louvre 1, im Jahre 1923 veröffentlicht wurde.

Das ehrgeizige Ziel, alle Keramikgattungen zugänglich zu machen, erforderte eine überaus komplizierte Struktur. Individuelle Faszikel waren nicht bestimmten Gattungen gewidmet, sondern Teile eines Sammelwerkes und behandelten eine Anzahl grundverschiedener Gattungen in einer Sammlung. Die Tafeln und der zugehörige Text waren deshalb nicht gebunden, sondern wurden als lose Seiten in Pappordnern veröffentlicht. Ein ausgeklügeltes System von Buchstaben und römischen und arabischen Ziffern, das auf der Raumaufteilung des Louvre basierte, sollte es den Käufern der Faszikel ermöglichen, Text und Tafeln nach Keramikgattung zu ordnen. Die Abteilung II A enthielt z. B. kretische Waren, II B, E und F kykladische Vasen, II D ostgriechische Gefäße, III H und L attische Produkte und IV unteritalische Vasen. Hinzu kamen Abteilungen für protoelamitische, elamitische und ägyptische Keramik und für urgeschichtliche und römische Gefäße, weswegen viele Faszikel mehrere Textseiten und Tafeln mit derselben Nummer enthalten. Zusätzlich zur Nummerierung der Tafeln innerhalb einer Abteilung sind die Tafeln des CVA deshalb auch mit einer durchlaufeneden Zählung der Landestafeln versehen.

Im Laufe der Jahre stellte es sich heraus, dass die Ziele des CVA zu weit gesteckt waren. Eine Konferenz im Jahre 1956 in Lyon bestimmte deshalb, dass das CVA nur noch griechische Waren behandeln sollte und dass einzelne Bände, wenn möglich, nur eine Gattung behandeln sollten. Überdies erkannte man, dass die meisten Käufer des CVA nicht bereit waren, Text und Tafeln umzusortieren – das Beazley Archiv in Oxford besitzt Beazleys umgeordnete Sammlung – und es wurde empfohlen, Bände des CVA nun in gebundener Form zu publizieren[2]. Gegenwärtig werden noch immer Veränderungen am bestehenden Format eingeführt, und es wird jetzt empfohlen, dass Autoren auch Volumen, Gewicht, Restaurierungsgeschichte, Vorzeichnungen und andere technische Details dokumentieren.

Im Jahre 2010 umfasste das CVA mehr als 320 Faszikel. Die frühen Bände sind wegen des komplizierten Aufbaus schwer zu benutzen. Hinweise auf Text und Abbildungen sind oft verwirrend und Forscher haben sich daran gewöhnt, zusätzlich zu den individuellen auch die nationale Tafelnummern anzugeben. Suchen nach einzelnen Keramikgattungen oder -formen sind besonders umständlich. Um den Zugang zum CVA zu erleichtern, publizierte J. W. Crous 1942 eine *Konkordanz zum Corpus Vasorum Antiquorum*. 1984 und 2000 legte das Beazley Archiv in Oxford *Summary Guide to Corpus Vasorum Antiquorum*[3] vor. Trotz dieser Publikationen war es immer noch nicht möglich, schnellen Zugriff auf alle Vasen einer Gattung, einer Form oder ein bestimmtes Bildthema zu erhalten. Überdies können gedruckte Konkordanzen mit der raschen Publikation neuer Faszikel nicht Schritt halten; so publizierte Russland 12 neue Faszikel zwischen 2004 und 2010.

---

1 Zur Geschichte des *Corpus Vasorum Antiquorum* s. D. v. Bothmer, Greek Vase-Painting: two Hundred Years of Connoisseurship, in: Papers on the Amasis Painter and his World (Malibu 1987) 198–201; M. Bentz, Zur Geschichte des CVA, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 9–15; D. C. Kurtz, A corpus of ancient vases, RA 2004, 259–286.

2 Bentz a. O. 9.

3 T. H Carpenter, Summary Guide to Corpus Vasorum Antiquorum (Oxford 1984); T. H. Carpenter – Th. Mannack, Summary Guide to Corpus Vasorum Antiquorum [2](Oxford 2000).

Die lange Geschichte des CVA hat zudem noch zu einer Reihe anderer Probleme geführt: die Qualität der Bilder der frühen Faszikel ist heute nicht mehr ausreichend und die wechselhafte Geschichte Europas macht das Auffinden einzelner Bände schwierig. Der Band Wien 1 ist z. B. in der deutschen Serie veröffentlicht, Rhodos ist unter "Rodi" in der italienischen Reihe zu finden, und Deutschland besteht aus Vorkriegsdeutschland, der Bundesrepublik und der DDR, und dem wiedervereinten Deutschland.

Aufgrund dieser Probleme lag es nahe, alle vergriffenen Faszikel des CVA in elektronischer Form zugänglich zu machen. Im Jahre 1978 hatte Professor Donna Kurtz die Idee, alle nicht von Beazley in ABV, ARV und *Paralipomena* aufgeführten attischen Vasen elektronisch zu erfassen. Die begrenzte Anzahl von Formen und Beazleys klares und weltweit benutztes System der Klassifizierung vereinfachten eine elektronische Katalogisierung dieser Gefäße erheblich.

Ab 1986 wurden auch die von Beazley aufgelisteten Vasen in die Keramikdatenbank des Beazley Archivs aufgenommen. Verbesserte Speicherkapazitäten und Scanner ermöglichten die digitale Erfassung der umfangreichen Photobestände des Beazley Archivs, die aus etwa 150 000 Aufnahmen bestehen. Die Benutzung der Datenbank war selbst in der Zeit, in der Suchen für Forscher im Archiv von den Leitern der Datenbank vorgenommen wurden und die Ergebnisse auf grünem Computerpapier ausgedruckt und verschickt wurden, gratis. Seit 1998 ist die Bilddatenbank kostenlos unter der Adresse *www.beazley.ox.ac.uk* (Abb. 1) auf dem Internet zugänglich.

Die Beazley Datenbank (Abb. 2) erfasst Technik, Form, Fundort, gegenwärtige und ehemalige Besitzer, Inventarnummern, Beschreibungen aller Figuren und Objekte auf einem Vasenbild, Zuschreibungen an Maler und den Namen des zuschreibenden Gelehrten, Datierung und eine möglichst vollständige Liste aller Publikationen mit einem Bild der entsprechenden Vase. Zurzeit hat die Vasendatenbank 20000 registrierte Benutzer und bearbeitet täglich um 19000 Anfragen. Aus Gründen des Datenschutzes sind alle persönlichen Daten verschlüsselt und können nur vom technischen Leiter des Beazley Archivs geöffnet werden.

Da das Beazley Archiv mehr als 20 Jahre Erfahrung mit elektronischer Erfassung antiker Keramik hat, wurde es im Jahre 2000 von der UAI gebeten, eine Studie einer möglichen Digitalisierung des *Corpus Vasorum Antiquorum* vorzulegen. Noch im selben Jahr erhielt dann das Beazley Archiv den offiziellen Auftrag von der UAI, alle vergriffenen Faszikel in elektronischer Form vorzulegen. Mit Unterstützung der nationalen Akademien Deutschlands, Englands, Frankreichs, Italiens, Österreichs und der Schweiz und des Getty Grant Programs konnte das Projekt 2002 in Angriff genommen und innerhalb von zwei Jahren abgeschlossen werden. Die Arbeitslast war gewaltig. Erfahrene Archäologen aus Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien digitalisierten jede einzelne Seite und Tafel aller publizierten CVAs. Zusätzlich wurde jedes Bild einzeln ausgeschnitten und mit einem Texteintrag in der CVA Datenbank verbunden; für die attische Keramik konnten bestehende Datensätze des Beazley Archivs verwendet werden. Greg Parker, der Computer-Experte des Beazley Archivs, schuf neue Programme und bibliographische Felder für CVA-Hinweise, die Textseiten, nationale und individuelle Tafelnummern enthalten; bereits existierende bibliographische Hinweise auf das CVA mussten umgeschrieben werden. Dadurch ist es möglich, die elektronisch gespeicherten Faszikel entweder Seite für Seite durchzublättern oder von einer Tafel zum entsprechenden Texteintrag zu springen oder *vice versa*.

Die Benutzung ist relativ einfach. Auf der *Homepage* des elektronischen CVAs (Abb. 3) kann der Benutzer entweder Listen von Ländern (Abb. 4) oder Städten wählen (*Browse or Search)* oder Gefäße nach Gattungen (*Types of Pottery*, Abb. 5) abrufen. Die Suche nach Gattungen ist einfach und durch graphische Schnittstellen unterstützt: Benutzer sehen interaktive Bilder von Beispielen aus der Vasensammlung des Ashmolean Museums in Oxford. Die Anwahl der Bilder oder der assoziierten Links führt die Suche in der Datenbank aus.

Die Vasen-Datenbank des Beazley Archivs kann als umfassender Index für die attischen Vasen benutzt werden. Bei der Erweiterung durch die Daten des CVAs half es beträchtlich, dass wir zu einem neuen Programm wechseln konnten. XDB (*eXtensible DataBase*) ist eine flexible Text- und Bilddatenbank, die speziell im Beazley Archiv entwickelt wurde. Benutzer können die Struktur ihrer Datenbanken selber bestimmen und jederzeit verändern und verschiedenste Zugangserlaubnisse (Lesen, Schreiben, Löschen, Felderauswahl) für sich und Drittbenutzer einstellen. Schnittstellen mit dem Internet erlauben Benutzung und Bearbeitungen der Daten überall, wo es das Netz gibt. XDB kann die verschiedensten Datenbanken unterstützen und problemlos miteinander verbinden.

Abb. 1: *Homepage* des Beazley Archivs 2011 (© Beazley Archiv)

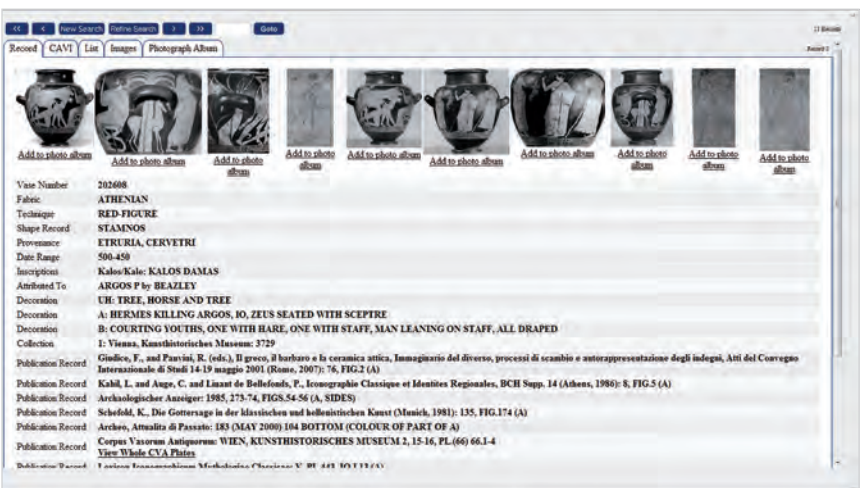


Abb. 2: Stamnos in Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3729, mit Bildern aus dem Beazley Archiv, Beazley Zeichnungen und *CVA* Informationen (© Beazley Archiv)

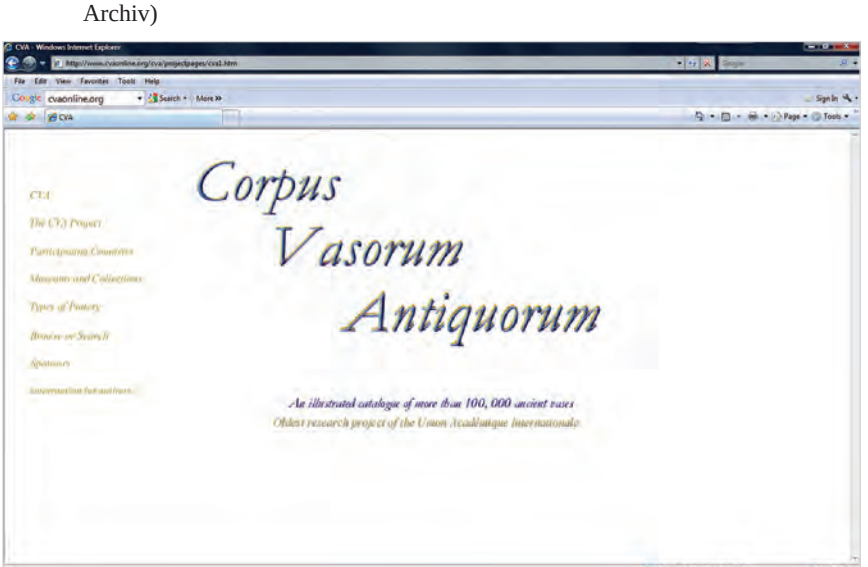


Abb. 3: *Homepage* des *CVA*-Projekts (© Beazley Archiv)

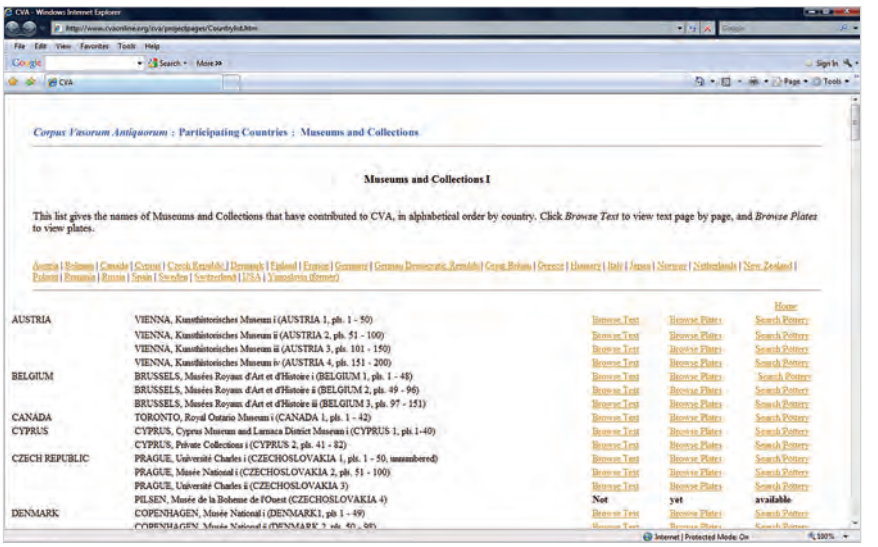


Abb. 4: Suchschnittstelle des *CVA*-Projekts (© Beazley Archiv)

Abb. 5: Graphische Suchschnittstelle für die *CVA*-Datenbank (© Beazley Archiv)

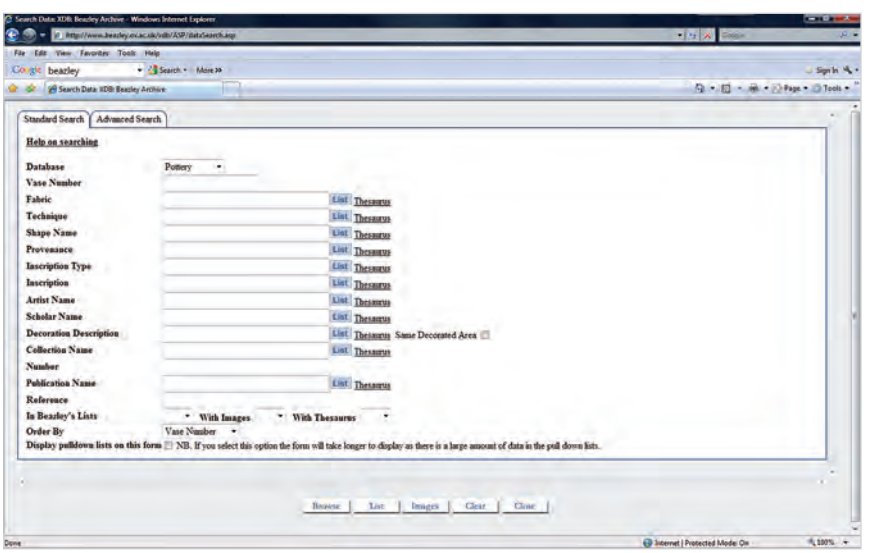


Abb. 6: Suchmaske der Bilddatenbank des Beazley Archivs (© Beazley Archiv)

Die Datenbank ermöglicht es Anwendern, sich mit einem Benutzernamen zu registrieren oder ohne Registrierung gleich mit der Suche zu beginnen. Letzteres ist möglich, weil eine automatische elektronische Erfassung der IP-Adresse des Benutzers zu den zahlreichen Sicherheitsvorkehrungen gehört. Registrierte Benutzer haben Zugang zur Photoalbum-Funktion, die es erlaubt, einzelne Resultate auf unserem Server zu speichern.

Die Datenbank des Beazley Archivs gestattet gezielte Suchen mit Hilfe einer beliebigen Kombination von Feldern (Abb. 6). Ein zusätzlicher Vorteil ist die Verbindung mit den Bildern und Beazleys Originalzeichnungen (Abb. 7) im Beazley Archiv, die von höherer Qualität sind als die Abbildungen der meisten älteren CVA Faszikel. Auf den Resultatseiten sind die bibliographischen Hinweise auf das CVA interaktiv und ermöglicht es Benutzern, die entsprechenden Tafeln und Textseiten des CVAs zu sehen. Für Anfragen stehen zwei Masken verschiedener Schwierigkeitsstufen zur Verfügung: *Simple Searching* und *Advanced Search*. *Simple Searching* bietet eine Auswahl der Suchbegriffe in Listenform an, während die noch nicht sehr benutzerfreundliche Maske *Advanced Search* alle Felder der Datenbank zeigt und kompliziertesten Suchen ermöglicht.

Abb. 7: Beazley-Zeichnung, Stamnos, Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3729 (© Beazley Archiv)

Für die nicht-attischen Vasen musste die bestehende Datenbank erheblich erweitert werden. Aus zeitlichen und finanziellen Gründen ist die Auswahl von Feldern hier stark begrenzt: Gattung, Technik, Form, Sammlung und Inventarnummer. Wir hoffen, dass in Zukunft Experten für nicht-attische Waren, z. B. unteritalische und lakonische Vasen, Informationen aus ihren Datenbanken zur Verfügung stellen werden. Insgesamt haben wir 310 CVA-Faszikel elektronisch erfasst.

CVAonline soll nicht mit gedruckten Faszikeln konkurrieren, sondern nur effizienten Gebrauch ermöglichen. Deshalb werden nur Bände, die älter als fünf bis zehn Jahre sind, frei über das Internet zugänglich gemacht. Viele neue Faszikel sind noch nicht abrufbar, aber schon vollständig digitalisiert und werden nach Ablauf der Schonfrist zugänglich gemacht werden.

Publikation in elektronischer zusätzlich zur herkömmlichen gedruckten Form bietet zahlreiche Vorteile: Einträge können mit besseren Abbildungen und stets aktuellen Bibliographien versehen werden. Zudem können Datenbanken von Gelehrten, die sich mit anderen Aspekten der Vasenforschung beschäftigen, problemlos mit dem CVA verknüpft werden. Henry Immerwahrs Lebenswerk, *Corpus of Athenian Vase Inscriptions*, ist ein hervorragendes Beispiel hierfür. Seine Bearbeitung von nahezu 10000 Inschriften auf attischen Vasen kann wie das elektronische CVA entweder durchgeblättert oder mit Hilfe der Beazley-Datenbank abgerufen werden (Abb. 8). Der vollständige Text kann unter *www.currentepigraphy.org/2008/03/02/corpus-of-attic-vase-inscriptions-online* gefunden werden. CAVI wird zurzeit von Professor Rudolf Wachter als AVI (*Attic Vase Inscriptions*, avi.unibas.ch/home.html) auf den neuesten Stand gebracht.

Die ungeheuren Datenmengen, gegenwärtig 4 Terabyte (TB), können nur mit Hilfe eines sicheren und schnellen Servers mit großer Speicherkapazität dauerhaft und zugänglich gespeichert werden, der auch mit der hohen Zahl von Anfragen umgehen kann. Bei unveränderter Bildqualität werden die zukünftigen Faszikel des CVAs 2 TB beanspruchen, aber die rapide Entwicklung in der Computertechnik wird es ermöglichen, Bilder von noch besserer Qualität und exakte dreidimensionale Modelle zur Verfügung zu stellen. Deshalb wird die Vasendatenbank im Jahre 2020 vermutlich 8 TB beanspruchen.

Sicherheit ist eine hohe Priorität des Beazley Archivs. Die unter großem und kostspieligem Arbeitsaufwand geschaffenen Daten müssen regelmäßig auf Magnetbändern gespeichert werden, um Datenverluste zu verhindern. Zudem müssen die Faszikel – und hier vor allem die Bilder – gegen unerlaubtes Kopieren geschützt werden. Glücklicherweise konnte das Beazley Archiv hierfür auf die eigenen Schutzvorkehrungen

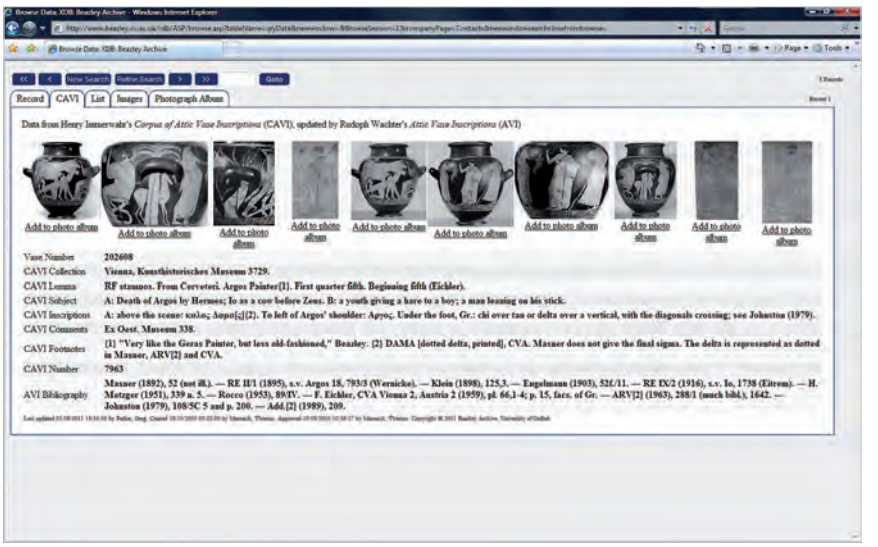


Abb. 8: Eintrag aus Henry Immerwahrs *CAVI* zum Stamnos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3729 (© Beazley Archiv)

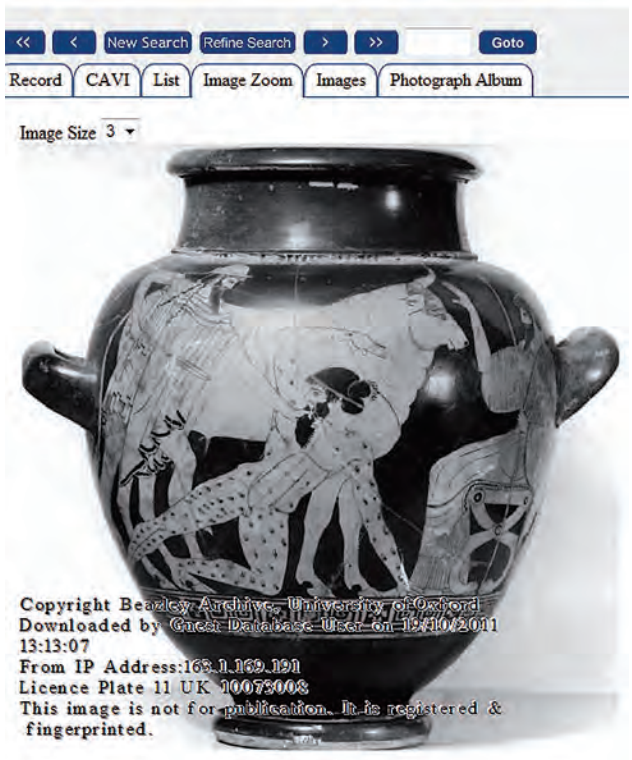


Abb. 9: Elektronisch installiertes Wasserzeichen mit IP Adresse des Benutzers (© Beazley Archiv)

zurückgreifen. Jeder Texteintrag ist mit „Thumbnail"-Bildern verbunden, deren Auflösung so gering ist, dass Raubkopien nutzlos sind. Alle größeren Bilder sind durch sichtbare Stempel oder Wasserzeichen (Abb. 9) gesichert, die Namen, Institution und IP Adresse des Benutzers enthalten und auch unsichtbar in das Bild selbst gewebt sind. Zusätzlich zeigen Bilder der höchsten Auflösung nie die ganze Vase, sondern nur Ausschnitte, die in einer Bild-Pyramide zusammengestellt sind. Damit nicht genug: ein Programm registriert Namen, Adressen und alle Anfragen aller Benutzer[4].

Die Probleme sind aber nicht nur technischer Natur: die Zugehörigkeit zu Keramikgattungen, selbst die Namen der Gattungen – so war z. B. lakonische einst als kyrenische Keramik bekannt – und Benennungen von Vasenformen haben sich im Laufe der fast 100 Jahre des Bestehens des CVAs geändert. Da wir uns bemühen, soweit wie möglich der gedruckten Version zu folgen, war es notwendig, einen Thesaurus zu schaffen, der die Suche nach kyrenischen Vasen mit lakonischen Gefäßen belohnt. Unteritalische Gefäße, die ursprünglich als attisch galten, wurden mit den entsprechenden Einträgen in Trendalls Listen zur unteritalischen Vasenmalerei versehen.

Das *Corpus Vasorum Antiquorum* ist ein internationales Projekt und Corpora dürfen deshalb in Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch abgefasst werden; Thesauri in diesen Sprachen und ein spanischer Thesaurus wurden im Beazley Archiv von Archäologen mit der entsprechenden Muttersprache erstellt und ermöglichen die Suche in diesen Sprachen.

Die Erfassung der bis Januar 2005 publizierten Faszikel ist abgeschlossen, und alle vergriffenen Bände können kostenlos unter der Adresse *www.cvaonline.org* abgerufen werden. Für die Zukunft gilt es, Gelder aufzutreiben, die eine Fortsetzung des elektronischen CVAs ermöglichen. Zudem gilt es, bessere und schnellere Bildverarbeitungsprogramme zu entwickeln, da das vom Archiv benutzte Scopyr Programm nun bald zehn Jahre alt und außerordentlich arbeitsintensiv ist.

Technische Entwicklungen werden den Wert des elektronischen CVAs erheblich erhöhen. Schon jetzt können Museumskuratoren und Ausgräber ein Kennwort erhalten, um ihre Sammlungen selber direkt in die Datenbank einzugeben und Bilder hochzuladen. Eine elektronische Schablone wird es bald möglich machen, Vasen im Format des CVA als *print on demand* herauszugeben, wenn Sammlungen nicht in das gedruckte Corpus aufgenommen werden können. Text und Bilder werden in vorgegebene Felder der Datenbank eingegeben, die dann von unserem Programm entsprechend druckfertig angeordnet werden. Die so entstehenden Kataloge können auch in elektronischer Form gespeichert werden.

Das von Donna Kurtz geleitete CLAROS Projekt (*www.clarosnet.org/index.htm*) eröffnet ebenfalls neue Perspektiven und macht es möglich, gleichzeitig auf das CVA und auf verschiedene andere Datenbanken, die wichtige zusätzliche Informationen liefern, zuzugreifen. Zu den CLAROS Partnern gehören u. a. das *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae*, Das Forschungsarchiv für Antike Plastik in Köln und das *Lexicon of Greek Personal Names*. Überdies entwickelt CLAROS Bilderkennungsprogramme, die es ermöglichen, Gefäße – aber auch andere Objektgattungen – mit Hilfe von Bildern ohne die Benutzung von Suchbegriffen aufzufinden, Formen und Bildinhalte zu bestimmen und in der Zukunft auch Profilzeichnungen zu vergleichen, was besonders für die Werkstattforschung außerordentlich nützlich sein wird. Zudem ermöglichen diese Programme auch das Suchen nach Ornamenten, die bisher noch nicht umfassend erschlossen sind.

Anfragen können jederzeit per Email (*thomas.mannack@beazley.ox.ac.uk*) an den Datenbankleiter, Dr. Thomas Mannack, gerichtet werden.

---

4 Zur Sicherung der Bilder s. *www.beazley.ox.ac.uk/BeazleyAdmin/Script2/Copyright.htm*.

ACQUISITION AND DOCUMENTATION OF VESSELS USING HIGH-RESOLUTION 3D-SCANNERS

Hubert Mara, Julia Portl

1 INTRODUCTION

Since the late 1980ies, 3D-acquisition has steadily become a standard tool for various archaeological applications.[1] The work described in this chapter is focused on the documentation of small objects using optical 3D-scanners; these can easily be applied in everyday work and in many ways can be handled just as a camera. This includes a steep learning curve for the use of the 3D-scanner.

The most prominent optical methods are stereo and/or structured light.[2] The latter can also be realized using a laser with visible light as used for the CVA volume Austria 5. However it should not be called laser scanner, as this term is widely related to so-called airborne and terrestrial laser scanners used for landscape surveys and the documentation of architecture.[3] These 3D-scanners use the principle of Time-Of-Flight (TOF)[4] and are not suitable for small archaeological finds. Therefore, projects in architecture with details such as reliefs require the combination of both types of 3D-scanners.[5] Another important method for the 3D-documentation of small objects such as vessels and fragments is Computed Tomography, which is covered in Chapter 4 and 5.

While the Austrian CVA project is our main application-orientated project in Roman and Greek archaeology, we have a comprehensive variety of projects within other areas of cultural heritage, demonstrating the versatility of new methodologies using data from close-range 3D-scanners on very different types of objects:

Extraction of cuneiform characters from clay tablets[6]

Weathered Angkor style bas-reliefs in Cambodia[7]

Medieval column capitals[8]

Multispectral 3D analysis of frescoes in Pompeii[9]

---

1 C. Steckner, SAMOS: Dokumentation, Vermessung, Bestimmung und Rekonstruktion von Keramik, in: Akten des XIII. Internationalen Kongresses für Klassische Archäologie. Berlin, 24.–30. Juli 1988 (Mainz 1990) 631–635; C. Steckner, Das SAMOS Projekt, AiD 5 (1), 1989, 16–21.

2 R. Sablatnig – C. Menard, Stereo and Structured Light as Acquisition Methods in the Field of Archaeology, in: S. Fuchs – R. Hoffmann (ed.), Mustererkennung '92, 14. DAGM-Symposium Dresden (Berlin 1992) 398–404.

3 M. Rutzinger – B. Höfle – N. Pfeifer, Object-Based Image Analysis, in: Object detection in airborne laser scanning data – an integrative approach on object-based image and point cloud analysis (Berlin 2008) 645–662.

4 I. Moring – T. Heikkinen – R. Myllyla – A. Kilpela, Acquisition of three-dimensional image data by a scanning laser rangefinder, Optical Engineering 28, 1989, 897–905.

5 U. Quatember – B. Thuswaldner – R. Kalasek – C. Bathow – B. Breuckmann, The Virtual and Physical Reconstruction of the Octagon and Hadrian's Temple in Ephesus, in: H. G. Bock – W. Jäger – H. Mara – M. Winckler (ed.), Proc. 2nd Workshop on Scientific Computing for Cultural Heritage (SCCH), Heidelberg, Germany, 2009 (Berlin 2012) 217–228.

6 Mara et al., GigaMesh.

7 A. Schäfer – H. Mara – J. Freudenreich – S. Krömker – H.-G. Bock, Visualization and Documentation of Weathered Bas-Reliefs using Close-Range 3D-Scanners, in: Proc. of 7th International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation Workshop on Documentation and Conservation of Stone deterioration in Heritage Places (CIPA/ICOMOS), Petra, Jordan, 2010 (in print).

8 G. Christ – H. Mara – O. Wagener, Ein altes Kapitell in neuen Ansichten – die Möglichkeiten des 3D-Scannings am Beispiel eines Kapitells der pfälzischen Burg Anebos, Burgen und Schlösser 51(1), 2010, 51–52.

9 H. Mara – B. Breuckmann – C. Lang-Auinger, Multi-Spectral High-Resolution 3D-Acquisition for Rapid Archaeological Documentation and Analysis, in: Proc. of 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO '09), Glasgow, Scotland, United Kingdom, 2009 (2009) 1205–1209.

Worn Greek inscriptions in Ephesos[10]

Analysis of the manufacturing technique of Nasca pottery.[11]

For these projects, it was not possible to use so-called low-cost 3D-scanners, e.g. the *DAVID Laserscanner*[12] from the Braunschweig University of Technology. Such 3D-scanners are very valuable for experiments and teaching purposes, but they are not cost-effective for the documentation of larger quantities of objects, because they do not provide accurate data[13] for our documentation purposes. This and the lack of a robust, flexible and user friendly setup of low-cost 3D-scanners dramatically increases the time for acquisition and post-processing. As the access to objects within a museum is usually limited by a strict time-frame, the acquisition has to be done as fast and as accurate as possible by experienced persons. For the CVA projects, we typically had three to four working weeks available for more than 100 objects. This means that each object had to be properly acquired in approximately one hour. Furthermore, there is usually no chance to return to the museum at a later time to repeat the acquisition. Having experienced persons operating the 3D-scanner adds personnel and travel cost to the true cost of 3D-acquisition and any savings by using a low-cost 3D-scanner would not compensate these costs.

The next section describes the 3D-scanners and their setup used for the recent CVA volumes of the KHM. Section 3 shows the method for the computation of the profile line, the lateral views and rollouts used as a basis for the final publication. Afterwards, we describe the volume estimation for transport vessels as well as for vessels with special compartments (Einsatzbehälter). Finally, a summary and an outlook are given.

2 3D-ACQUISITION – PRINCIPLES AND SETUP

Regarding the positive results from our previous projects, we chose an optical 3D-scanner for the data acquisition for the CVA volumes in Vienna. Such a 3D-scanner consists of one or more digital cameras. Therefore, most of the rules from photography apply, such as shutter time and depth of field. Images from 3D-scanners are called range images, as the gray value of a pixel represents the distance to the surface of the scanned object. The gray values – typically in the range of [0 … 255] – are mapped to an absolute distance (e.g. mm). This means that the 3D-scanner can only acquire surfaces in its *Field of View* (*FOV*) and range images have to be registered (stitched together) in order to receive a 3D-model. The optics of the scanner also has a depth of field defining a focal plane, which defines the so-called working distance. This is typically a fixed distance, because optics with a fixed focal length is used to avoid moving parts, as these can lower the accuracy of the measurements.

The differences to photography are: per definition we have two *FOV*s, where one is from a camera and the second is either from a camera (stereo) or a light source (structured light). Both *FOV*s have to overlap as shown in Figure 1, defining the 3D-scanner's *FOV*. The pyramid frustum shown in green color is the space (x_{min}, y_{min}, z_{min}, x_{max}, y_{max}, z_{max}) in which an object can be acquired. For practical reasons, the range image diagonal (top surface of the pyramid, *FOV* in mm) is given by the manufacturers of the 3D-scanner, instead of the focal length of the optics. Most of the 3D-scanners use a camera to acquire color or grayscale information of the surface of the object, which is then used as a texture-map for the 3D-models. This influences the setup of the illumination, because we want to avoid shadows as we can compute them later and do not want them permanently in the texture-map.

---

10 R. Kalasek – H. Mara – H. Taeuber, Reading Weathered Ancient Laws in 3rd Dimension, in: 13. Int. Tagung: Kulturelles Erbe und Neue Technologien, Vienna, Austria, November 2008 (oral presentation).

11 H. Mara, Pottery plotted by Laser – 3D-Acquisition for Documentation and Analysis of Symmetry of Ancient Ceramics, in: M. Reindel (ed.), New Technologies for Archaeology – Multidisciplinary Investigations in Palpa and Nasca, Peru (Berlin 2008) 379–408.

12 S. Winkelbach – S. Molkenstruck – F. M. Wahl, Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach, in: Proc. of 28th DAGM symposium, Berlin, Germany, September 12–14, 2006, Lecture Notes in Computer Science 4174 (Berlin 2006) 718–728.

13 C. Bathow – B. Breuckmann – R. Scopigno, Verification and Acceptance Tests for High Definition 3D Surface Scanners, in: A. Artusi (ed.), Proc. VAST International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Palais du Louvre, Paris, France, 2010 (Goslar 2010) 9–16.

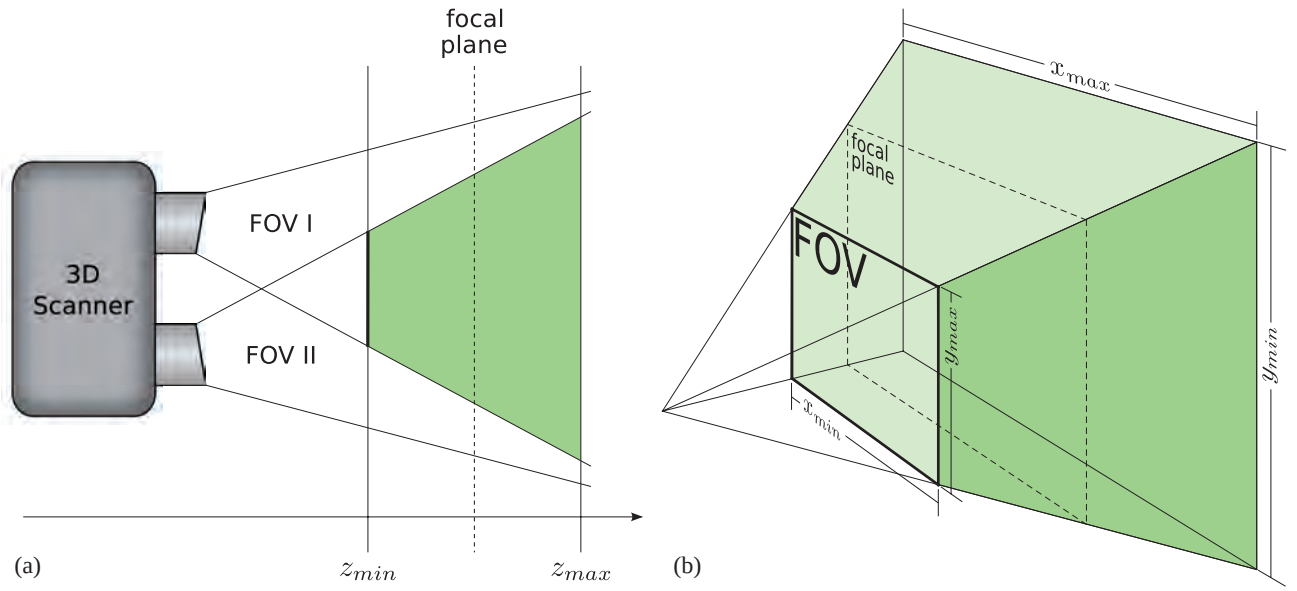


Figure 1: (a) Side view of the scheme of an optical 3D-scanner and its *Field of View*. The scheme is valid for stereo and for structured light. FOV I is the field of view of camera 1. FOV II is either the field of view of camera 2 (stereo) or the projection of structured light. The area in green shows the frustum of the overlapping areas defining the volume in which an object can be acquired. (b) Perspective drawing of the FOV and its dimensions.

2.1 Resolution and Features of Optical 3D-Scanners

Choosing a 3D-scanner for a project is like choosing any other measuring device and is based on several key factors, such as accuracy in respect to your application, user friendly handling, and a flexible but robust setup. For the two CVA projects in Vienna, a *Konica-Minolta Vi-9i* was used for the work done in 2006 and a *Breuckmann smartSCAN-3D-HE* for the follow-up project in 2009. Both 3D-scanners belong to working groups (see Acknowledgements) at Universities with a project focus on developing new methods for Cultural Heritage. Therefore, they were chosen to be used in this specific field, but also to be as versatile and as accurate as possible. In hindsight, a 3D-scanner tailored for a CVA project would be a device with a higher accuracy than the one in 2006 and a less expensive configuration than of the 3D-scanner in 2009. However, the key features for a successful use of both devices were:

Handling could be done by either moving the 3D-scanner, which can be mounted on a standard tripod, around the object or vice versa. Additionally, a *turntable* was available to decrease acquisition time, as shown in the next section.

Accuracy was provided sufficiently for archaeological line drawings to be computed from 3D-models, considered to have an accuracy lower than 0.1 mm.

Flexibility for objects of different sizes: The smallest object was a fragment of a ceramic[14] having a surface of ≈ 1 cm^2, while the largest objects[15] had a height and/or diameter of ≈ 60 cm.

Color acquisition by the 3D-scanner itself. This is a rather rare option, because for this there is usually no demand in the industrial field and therefore 3D-scanner manufacturers do not provide it. The alternative of adding photographs is very time consuming and not practicable under our time constraints.

Accuracy and flexibility depend on the choice and type of optics of the 3D-scanner. To achieve this, both 3D-scanners had interchangeable optics, which can be classified as tele/macro, middle and wide in general – details are shown below. The tele/macro optics provides the highest resolution, but the acquired area will be the smallest. The wide-angle optics provides the contrary result and the middle is a compromise.

[14] Attic black figured fragment KHM ANSA IV 4594c, unpublished.

[15] KHM ANSA IV 3598; ABV 335.4; CVA-Online 301827. So far the attic geometric pitcher KHM ANSA IV 3452 is unpublished.

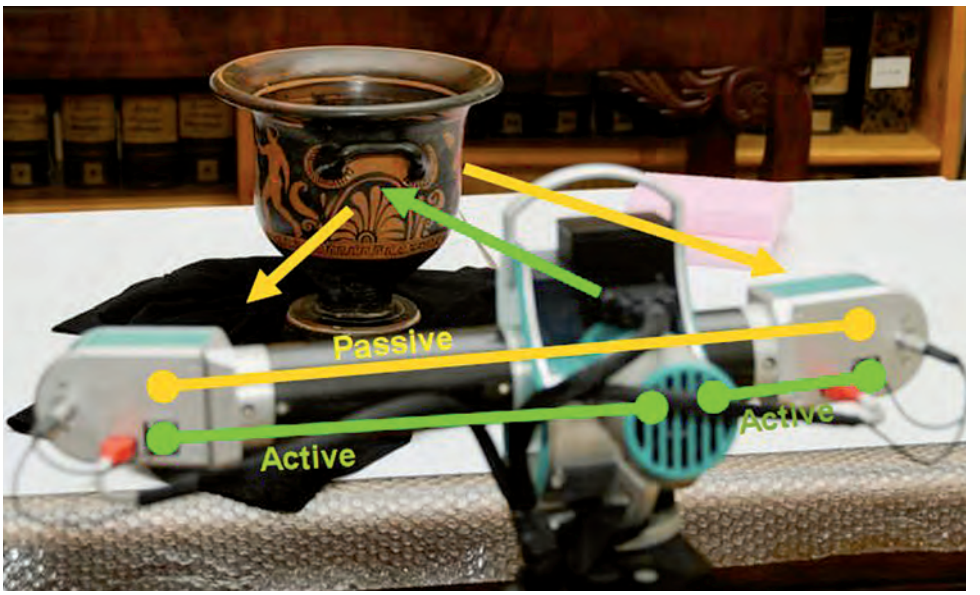


Figure 2: *Krater* UMJ Inv. Nr. 4611 and the scheme of the two active 3D-scanners and passive stereo system of the *Breuckmann smartSCAN-3D-HE*.

The *smartSCAN* uses optics with a fixed focal length, therefore it requires a wider selection of optics than the *Vi-9i* with a variable focus in order to cover all object sizes. Changing and calibrating the optics of a 3D-scanner requires 10–20 minutes, which led to the decision to acquire the objects sorted by a mixture of size first and shape second. The benefit of this mixture is a minimum of delays for changing optics and maximizing the routine for the handling of objects of the same shape.

Comparing the *smartSCAN* to the *Vi-9i* and its recent successor the *Range5*[16], the *smartSCAN* has distinct advantages in respect to color and accuracy, because it uses 5.0 megapixel color cameras instead of a 3.0 (1.0 for the *Range5*) megapixel monochrome camera. It has to be noted that the newer *Range5* has no color acquisition, unlike the *Vi-9i*, which had a color filter wheel in order to gather a red, green and blue texture-map. Therefore, the rollouts shown in Section 4 could only be done for the 3D-models acquired in 2009.

Another feature, which has proven to be important for cuneiform tablets[17] is the fact that the *smartSCAN* consists of three 3D-scanners in the High-End (HE) configuration using two cameras and a light projector in the middle. Each camera paired with the projector is an active 3D-scanner using the principle of structured light. The two cameras without the projector act as a passive stereo system. Figure 2 shows the scheme of the three 3D-scanners included in the *smartSCAN-3D-HE* using the 470 mm FOV and the *krater* Inv. Nr. 4611[18] of the *Universalmuseum Joanneum* (UMJ) Graz.

For the Breuckmann *smartSCAN-3D-HE* a wide range of different optics exists, which is categorized by the range image diagonal (FOV) and not the focal length. For many archaeological finds the FOV of 150 mm has proven to be the best choice in order to acquire small details such as fingerprints. When objects contain even smaller details, such as seal imprints and toolmarks, the FOV with 60 mm is recommended. The FOVs of 470, 600 and 1000 mm are suitable for acquiring larger objects such as reliefs and statues and can also be used for scanning whole temples.[19] For flat objects, such as a fragment of the bottom of a vessel, a comparison with flat bed scanners can be roughly estimated in Dots Per Inch (DPI) by dividing the cardinality of the measuring points (vertices) by the acquired surface (in square *inches*) of the resulting 3D model. By using a 3D-scanner based on 5.0 megapixels cameras we can achieve ≈ 1000 DPI for the FOV of 60 mm, ≈ 300 DPI for the FOV

[16] Practical tests were done in spring 2009 at the IWR, Heidelberg University together with Konica-Minolta.
[17] Mara et al., GigaMesh.
[18] Katalog Archäologiemuseum, Fig. 1068; A. D. Trendall, The Red-figured Vases of Apulia 1 (Oxford 1978) 160 Nr. 206.
[19] Cf. fn 5.

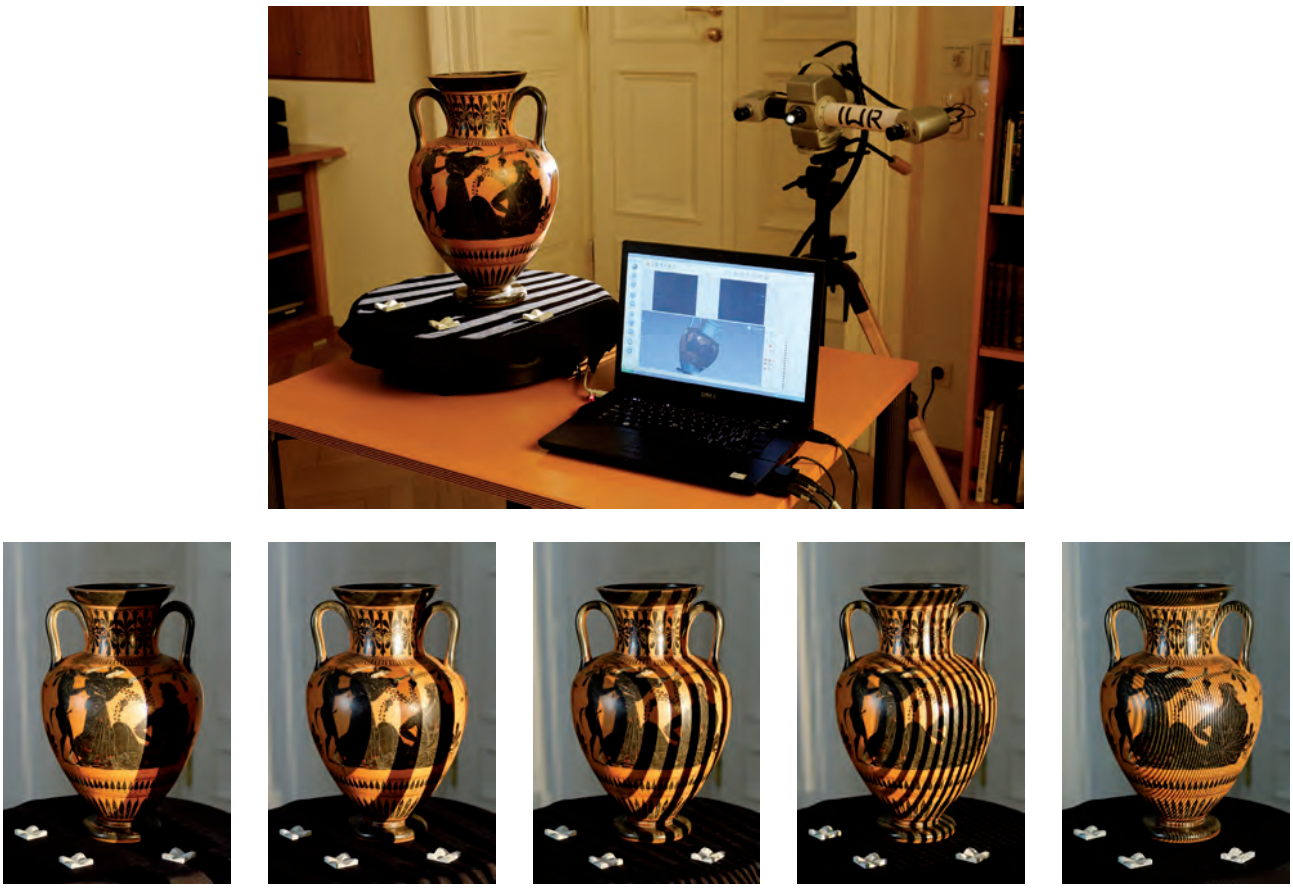


Figure 3: Setup of the 3D scanner and the *turntable* for the acquisition of KHM ANSA IV 3601. The image on the top shows a *Breuckmann smartSCAN-3D-HE* using the optics with a *FOV* of 470 mm. The lower images show the structured light patterns projected on the object during the acquisition.

of 150 mm down to ≈ 100 DPI for the larger FOVs. Recently a FOV of 35 mm has been added for forensic sciences, which pushes the resolution up to ≈ 2,500 DPI – equaling a spatial resolution within the 10 µm-range.

Figure 3 shows the *smartSCAN-3D-HE* during acquisition using the 600 mm FOV for an *amphora* in the KHM[20] and the projected structured light patterns. The whole acquisition process requires less than 5 seconds depending on the shutter time. The object is placed on a *turntable* to acquire pre-registered 3D-scans. Depending on the shape of the object and its applications like handles, the *turntable* is rotated about 30˚ to 60˚ to gather 6 to 12 3D-scans. In the case of objects with a more complex shape than vessels, the *turntable* can be rotated to an arbitrary number of positions and angles.

In summary it can be noted that the industrial grade 3D-scanners were well suited for the CVA project, especially when color information can be gathered by the 3D-scanner itself. This is useful for the acquisition and post processing, as shown in the next section, and it enables the computation of more complex visualizations, such as rollouts, shown in section 4.

2.2 Acquisition Process and Post Processing

The acquisition of an object consists of several steps. In the following, we give an overview of our experiences and techniques concerning the recent CVA volume. The values in Table 1 give a first clue about time and further effort for typical CVA objects. Generally, it is difficult to determine an average acquisition time for

[20] KHM ANSA IV 3601; ABV 394.8; CVA-Online 302947.

the vessels, because it depends on the number of required scans which on their part again depend on the size, shape and surface condition of the object, as well as on the ambient light.

		fragment	lid	vessel	total
# objects		20	15	86	121
acquisition time	total [h]	10.2	11.7	81.9	103.8
	average [min]	31	47	57	51
# partial scans	total	247	375	2561	3183
	average	12.35	34.1	28.1	26.1
# vertices	average	690670	821976	965354	901116
# faces	average	1370237	1639234	2069171	1897509
file size	average [MB]	27.36	32.55	38.13	35.62

Table 1: Total numbers of 3D-scans, measuring points (vertices), file sizes and acquisition times for the objects of the recent CVA volume (CVA Wien 7). The given file size is computed using the *Stanford PLY* binary file format of the post-processed 3D-models.

It takes several single scans (see Table 1) to acquire the whole surface of an object. A single scan consists of one or multiple grabs. A grab is a single shot with a fixed illuminance intensity and shutter speed. Comparable with High Dynamic Range Images (HDRI)[21], one scan can be composed of multiple grabs – each with a different illumination – if a fixed illumination would yield too much over and underexposed surface areas, which constrain the data acquisition. This may occur for vessels whose surface is partly glossy black and partly matt finished pale. This wide color and specular range cannot be covered by one grab, thus different grabs with different illumination intensities are required. Nevertheless, it remains difficult to capture the transition areas between the different surface qualities where discontinuities may occur, in spite of manually adjusted multiple grabs.

Using multiple grabs influences the acquisition time for a single scan. The scanner needs between 5 and 10 seconds for one grab. Additionally, the acquisition time increases by the time that is needed to adjust the illumination settings by the user. In general, exposition settings are chosen which allow acquiring as much of the surface as possible with one single scan.

Another factor determining the scan amount is the shape of the vessel. As shown in Figure 1, only surface areas that can be “seen” by both cameras (and/or the projector) can be acquired.

Additionally, the time for pre-aligning the single scans influences the total acquisition time. The pre-aligning process during the scan procedure is important, because it provides a preliminary orientation for the user as to which surface areas have not been scanned yet. A single scan has to overlap sufficiently (at least about 10%) with the previous scans so that the scans can be aligned. The aligning process can be accelerated manually by providing good initial values. This is done by selecting corresponding vertices on the additional scan and on the previous scans. For identifying these pairs the color values that the scanner acquires are an important tool, because they offer an orientation for the user. The pre-aligning process has to be accomplished with every further single scan.

If it is possible to use a rotating turntable to place the object on, the amount of manual aligning can be minimized; only the first two scans have to be aligned manually. From this, the rotational axis can be computed and all further scans are aligned automatically, as long as the position of the scanner and the object’s position (except for the rotation of the turntable) do not change. If that happens however, the aligning process has to be repeated manually.

[21] E. Reinhard – G. Ward – S. Pattanaik – P. Debevec, High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting (San Francisco 2005).

Using a turntable is a good solution for damageable objects, because it reduces the manual handling of the object. Most of the vessels that were scanned in the course of the CVA projects had only to be moved manually five times:

1. putting the vessel on the turntable
2. turning it upside down (if possible)
3. laying it on one side
4. laying it on the other side
5. removing it from the turntable.

After the acquisition process, the data has to be post processed. This includes "cleaning" the meshes, i.e. removing acquired parts of the environment that do not belong to the scanned object, as well as the precise alignment of the partial scans and creating a mesh. The same amount of time that is needed for the acquisition can be expected for the post processing. It takes about 20 minutes per object to create profile lines, silhouettes and side views in such a way that they can be further processed by an archaeologist.

3 PROFILE LINES FROM 3D-MODELS

This section shows how profile lines and silhouettes can be computed from the 3D-scanned data, instead of being drawn by hand.

3.1 Rotational Axis

To compute the profile and silhouette lines of a vessel, one needs to define an intersection plane. This intersection plane contains an estimated rotational axis of the vessel. Since the vessels are handmade they do not have a single well-defined rotational axis. There are different possibilities to choose or determine *one* rotational axis. We have to distinguish between rotational axes that are specified by the vessel's base, as shown in Figure 4 a, and a rotational axis that is determined by the vessel's corpus, as shown in Figure 4 b and 4 c.

If it is significant for the project to determine the rotational axis of complete vessels correctly by using 3D-models, this should be done on segments of objects, because they may be manufactured in separate parts, where each part has its own axis of rotation not necessarily aligned with the axis of other parts.[22]

3.2 Silhouette and Profile Lines

Profile lines of vessels can be extracted directly from the 3D models (similar to those of fragments, as described by Kampel and Mara[23]). A plane is inscribed into the model and its intersection with the mesh yields the polygonal chain that can be exported. Also, the silhouette can be gained by adjusting a plane parallel to the intersection plane (e.g. the intersection plane itself) and orthogonal to the viewer's direction and then exporting the outer mesh edges of the 3D model. These polylines can be saved and processed further.

3.3 Data Formats for Profile Lines

There are different possibilities for saving this polygonal chain digitally: As a picture, i.e., a bitmap with a certain resolution, or as a vector graphic. For the latter, the coordinates of the vertices of the polygonal chain are saved. Hence, the points' relative positions are given independently from a certain resolution. In Figure 5 the difference between the two representations is clarified by a scale-up of a profile line.

---

[22] H. Mara – R. Sablatnig, Determination of Ancient Manufacturing Techniques of Ceramics by 3D Shape Estimation, in: H. Zha – Z. Pan – H. Thwaites – A. C. Addison – M. Forte (ed.), Proc. of the 12th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), Xi'an, China, October 2006 (Berlin, Heidelberg 2006) 349–357.

[23] H. Mara – M. Kampel, Automated Extraction of Profiles from 3D Models of Archaeological Fragments, in: M. O. Altan (ed.), Proc. of the XIXth CIPA International Symposium: New Perspectives to Save Cultural Heritage, Antalya, Turkey, 2003 (Istanbul 2003) 87–93.

Figure 4: Different possibilities to determine the rotational axis of a vessel (KHM ANSA IV 1132). Since the vessels are handmade, there might be imperfections in symmetry. (a) The rotational axis is orthogonal to the base, thus the axis does not fit to the corpus. (b) The corpus of the vessel specifies its rotational axis, thus the axis does not fit to the base.

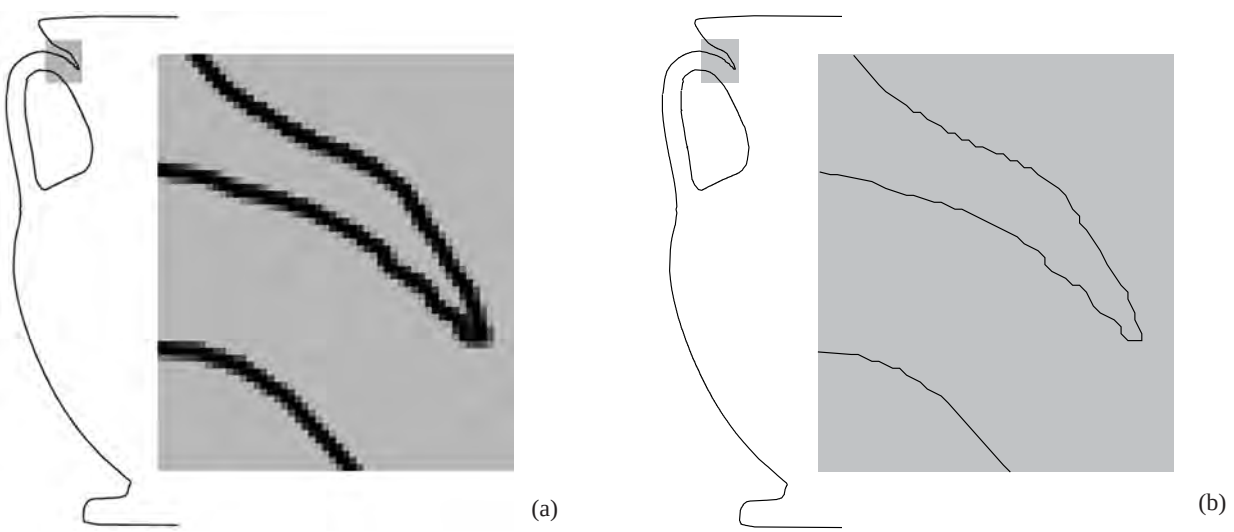


Figure 5: The difference between raster graphic and vector graphic is visible in closer examination. This is shown here at a computationally acquired silhouette line of a vessel (KHM ANSA IV 670). (a) Raster graphic: The details show that with a fixed resolution the polyline cannot be scaled up arbitrarily without losing its precision. (b) Vector graphic: The polyline is scalable since this graphics representation does not depend on a certain resolution.

Apart from being independent from resolution, another advantage of using vector graphics is the fact that they provide an easier and clearer further processing, e.g. being smoothed or compressed as described by Portl.[24]

Figure 6 a shows a manual drawing of a vessel in comparison to the silhouette and profile line computed by the acquired 3D-model, shown in Figure 6 b. The manual drawing contains all details like hatchings as used

[24] J. Portl, Subdivision curve and surface fitting for mesh compression (Thesis, Heidelberg University, 2010).

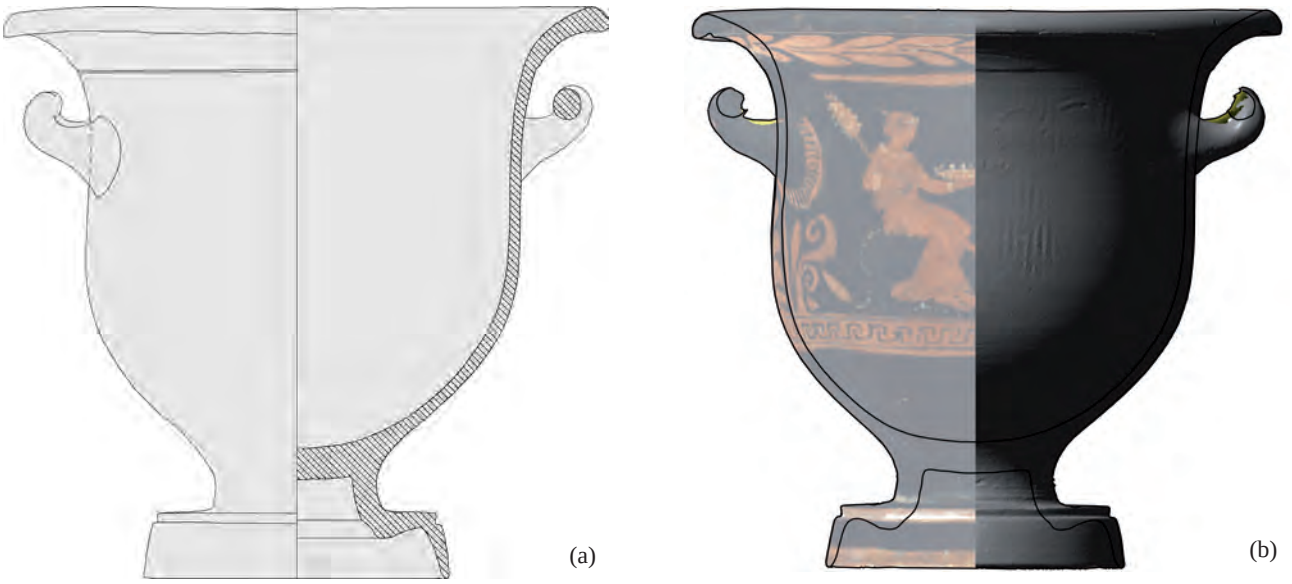


Figure 6: Front view of UMJ Inv. Nr. 4611: (a) Manual drawing by Stephan Karl. (b) Silhouette, profile and 3D-model with/without texture map and illumination.

for publication. These details have to be added to the automatically computed drawing, which has additional layers of visualization of the object with and without texture-map assisting the draftsperson.

4 VIEWS AND ROLLOUTS

The profile line and the silhouette are important for schematic drawings of vessels and are well suited to publish larger amounts of objects such as coarse ware. As the objects of the CVA projects are ornamented and these decorations had been acquired by the 3D-scanner, we had to provide additional means of visualizations. Therefore, we rendered additional images, which act as draft layers for the final publication, with the benefit of being true-to-scale and using the 3D-models. The simplest method is orthographic projection (also known as parallel projection). In contrast to photographs there is no perspective distortion and no blurring from depth of field. Additionally, we can visualize the objects with or without light. The latter is equal to an ideal ambient illumination. Furthermore, we can discard the texture-map to show only the geometry of the object. Figures 7 a–b show the principle of projecting views on the bounding box; the visualization without texture-map is shown in Figure 7 c. The bounding box of a 3D-model of an orientated vessel is a rectangular cuboid enclosing the object. The lengths of the edges of this enclosing box correlate to the maximum dimension in x-, y- and z-direction of the object.

Figure 8 shows the view from the top, all of the side views and the bottom view of the same object. This arrangement is a variant of the so-called *fat-cross*.[25] These images show color variations along the surface, because, due to time constraints, we used the projector for the patterns of the 3D-scanner to acquire the texture-map. If a better color representation is required, flash lights and studio illumination as used by photographers can be added and triggered by the 3D-scanner, as shown in the manual of the *smartSCAN-3D-HE*. In this case, the flash lights should be arranged in order to minimize shadows, just as in photography.[26] The reason to apply a maximum of homogenous illumination is that any shadow in the Field of View of the 3D-scanner will be permanently added to the texture-map of the 3D-model.

As we chose not to manipulate the acquired 3D-data, parts of the 3D-model are missing. This is either shown by white spots of the background color or the red-gray color of the backside of the triangles describing

[25] Mara et al., GigaMesh.

[26] Details about using flash photography in combination with 3D-scanners can be found in M. Dellepiane – M. Callieri – M. Corsini – P. Cignoni – R. Scopigno, Improved Color Acquisition and Mapping on 3D Models via Flash-based Photography, Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), 2(4), February 2010, 1–23.

Figure 7: (a) Isometric view and bounding box of KHM ANSA IV 3601. (b) Front, side and top-view of the vessel projected on its bounding box. (c) Isometric view without texture-map.

the surface – also called backface color. The top-view of the *amphora* shows that the part of the orifice was acquired, but the bottom of the interior part of the surface is missing.

The images shown in Figure 8 are not only parallel projections using a single screenshot with e.g. 1024 × 768 pixels, they were also rendered with a specific scale, e.g. 100 DPI with 1100 × 1700 pixels for the side views. This allows us to print these images with 1000 DPI in a scale of 1:10 with a dimension of 28 × 43 cm, which equals 11 × 17 inch.

Figure 9 shows a schematic drawing of the 1024 × 1024 *pixels* tiles used to render a *pinax* in the Kunsthistorisches Museum[27] with 400 DPI. The maximum of the squared tile size in pixels depends on the graphics card of the computer used for rendering, which does not exceed 4096 × 4096 *pixels* for present-day hardware. As these tiles contain unnecessary white space, the final raster image is cropped. For the *pinax*, the raster image is cropped from 7168 × 5120 *pixels* to 7032 × 3560 *pixels*.

In addition to the parallel projections, we can use other methods well-known from geometry and cartography for our 3D-models in order to visualize the ornaments on convoluted surfaces, as shown in the next section.

4.1 Unwrapping Primitives

The surface shape of a vessel can be approximated by a combination of different rotational symmetric geometric primitives, such as cylinders (see rollouts of Nasca ceramics[28]), cones, conical frustums, spheres and spherical segments. Conical frustums and cylinders can be unrolled and therefore projected to the plane without any distortions. Other surfaces such as spherical segments can also be projected to the plane, but the image will be distorted depending on the projection method, as shown below. After fitting one of these auxiliary primitives to the model, the transformation that maps the primitive in the plane is applied to the 3D model of the vessel. An orthographic projection yields the complete rollout image.[29]

---

[27] KHM ANSA IV 4398; K. Gschwantler – W. Oberleitner, Götter, Heroen, Menschen. Antikes Leben im Spiegel der Kunst, Sonderausstellung der Antikensammlung (Wien 1974) Nr. 109 fig. 20; H. Mommsen, Exekias I. Die Grabtafeln, Kerameus II 11 (Mainz 1997) 28 fn. 238.

[28] Cf. Fn. 9.

[29] For details about the mathematical solutions for rollouts and technical implementation see Bechtold et al., Rollouts.

Figure 8: Parallel projections of KHM ANSA IV 3601 from left to right, top to bottom: view from the top; side A seen from the left, front and right hand side; side B and view from the bottom. This representation is also known as *fat-cross*. The images are true-to-scale.

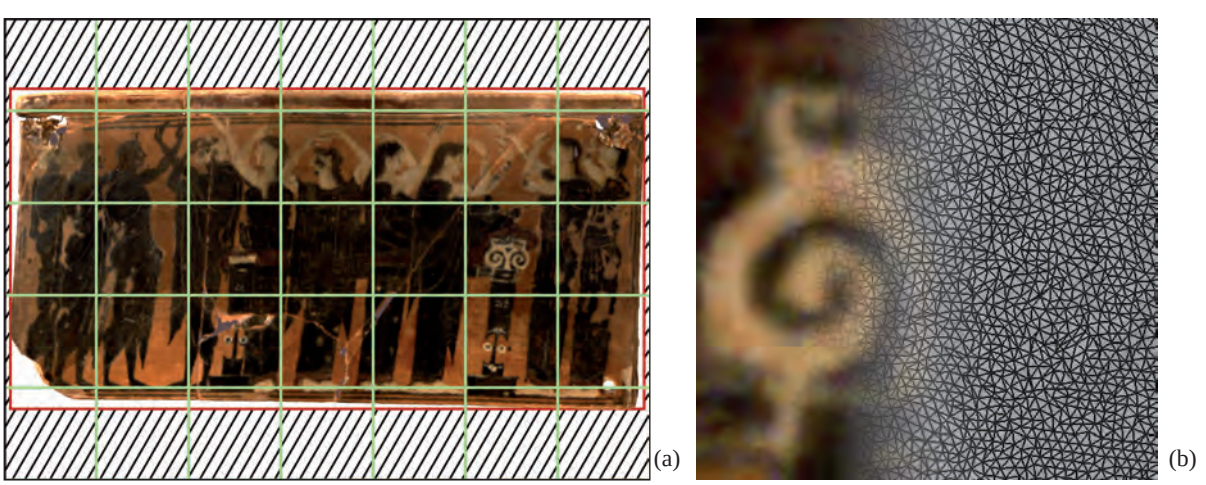


Figure 9: KHM ANSA IV 4398 with a width of 44.6 cm and a height of 22.6 cm. (a) rendered as a raster graphic with 400 DPI (when printed scaled 1 : 1) using 7 × 5 tiles. The striped area is the white space cropped from the raster image. (b) Enlarged detail of the tile in the third row and sixth column showing the texture-map and the triangles of the 3D-model.

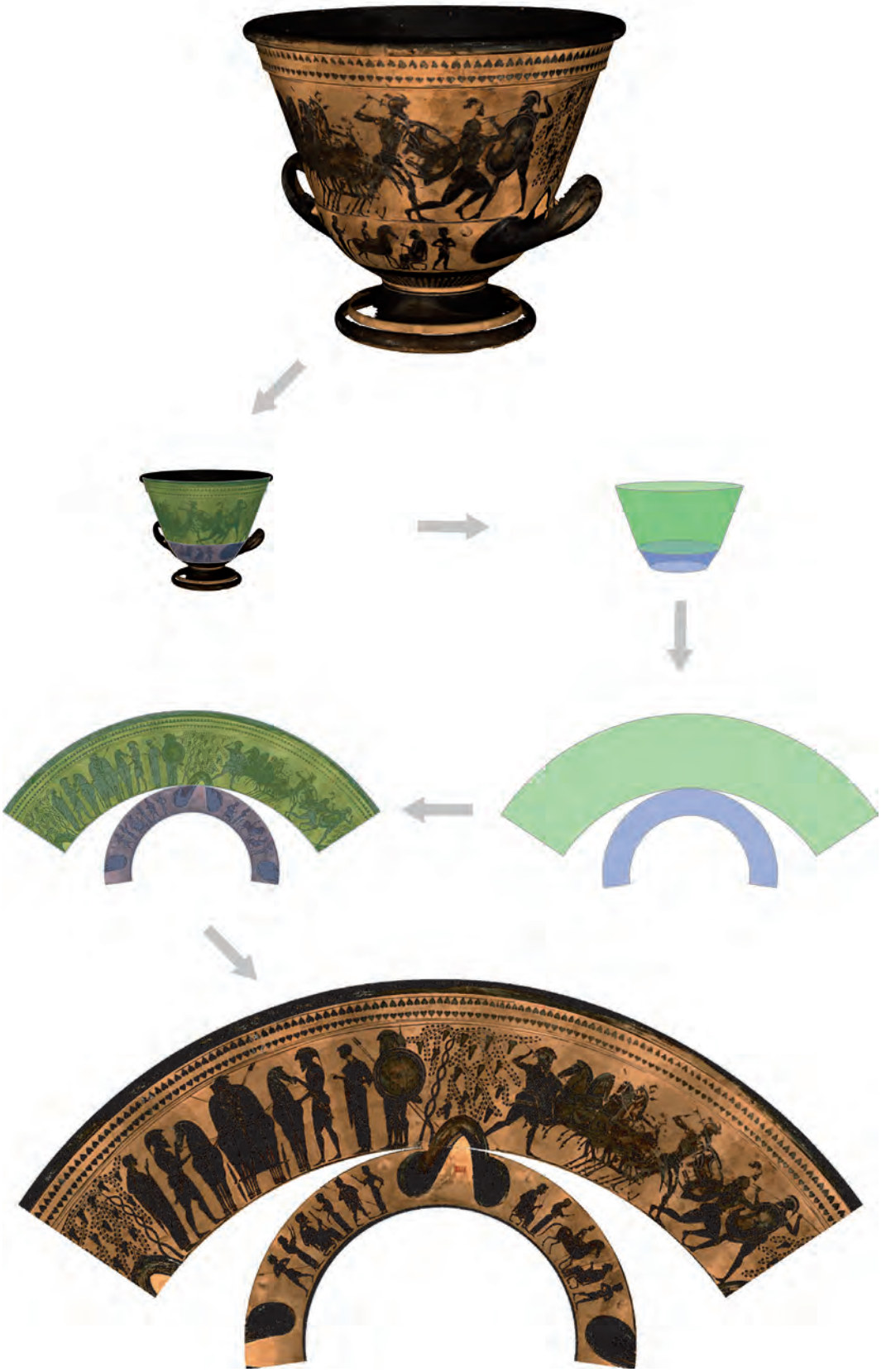


Figure 10: Schematic illustration of creating the rollout of a vessel (KHM ANSA IV 3618) that can be approximated by conical frustums and its distortion-free rollout.

Figure 11: Illustration of a surface of a vessel approximated by a sphere and its distorted rollout.

It is difficult to approximate bellied vessels by conical frustums. Their curved silhouette would require several frustums in order to approximate the shape, but this would discerp the frieze. Generally, multiple frustums for one vessel are only reasonable if the frieze itself is partitioned (as in Figure 10). A sphere or spherical segments (Figure 11) can be fitted into bellied vessels. Their disadvantage compared to frustums is that they are undevelopable surfaces, so they cannot be unrolled without distortion. There are many techniques, originally from map projection, which transform the sphere surface into a plane. None of them are able to preserve the angle as well as the relation among the lengths and areas at the same time.[30]

As head-shaped vessels and other mold-made vessels cannot be represented through a reasonable number of geometric primitives, each of these vessels has to be treated separately or represented by orthographic views.

Generally, the rollouts can be computed using tiled rendering, which yields the possibility to produce full-scale rollouts.

5 ESTIMATION OF VESSEL VOLUMES

Determining the capacity of transport vessels is important in order to study ancient measuring systems as well as trading relations. M. Hüttig[31] demonstrates how to estimate the inner volume for *amphorae* using traditional methods by rotating the inner profile line, which lead to solids of revolution.[32] Additionally, Hüttig estimates the expected error using drawings, photographs and various filling materials. The errors given in this work range between 10% and 20%; this is often not sufficient in order to draw an archaeological conclusion.

An alternate and more precise error estimation can be found: the inner volume of vessels is computed using *Computed Tomography* (CT) data and compared to repeated measurements using rice and water.[33] D. Jungblut shows that the best choice for capacity estimations are CTs, as they always provide the inner surface of any vessel and therefore have no measurable error. However, CTs[34] have several drawbacks in processing larger quantities of vessels as well as for large vessels and they do not acquire any color information required for rollouts – as shown in the previous section.

The method shown for CT data can be adopted directly for 3D models of open vessels. For closed vessels, the inner surfaces are only partially available. This led to the decision to estimate the missing regions by using the wall thickness of the partial surfaces and *a priori* knowledge from fragmented vessels. The estimation is achieved by so-called offsetting a copy of the outer surface of the vessel in the negative direction. The result is an estimate of the inner surface. The offset was given as a range of values based on broken reference objects provided by archaeologists.

As the filling level corresponds to the capacity, we decided to compute the capacity by using the vessel's orifice surfaces and the most likely filling level given by archaeologists. For some vases in the KHM we computed the maximum and minimum capacity for each of the possibilities of wall thickness. The result was a table

30 The different techniques and their application on Attic vessels are described in Bechtold et al., Rollouts and E. W. Grafarend – F. W. Krumm, Map projections (Berlin, New York 2006).

31 Hüttig, Methoden.

32 J. W. Harris – H. Stocker, Handbook of Mathematics and Computational Science (New York 1998) 576.

33 Jungblut, Rekonstruktion, 218–223.

34 See S. Karl – D. Jungblut – J. Rosc in this volume.

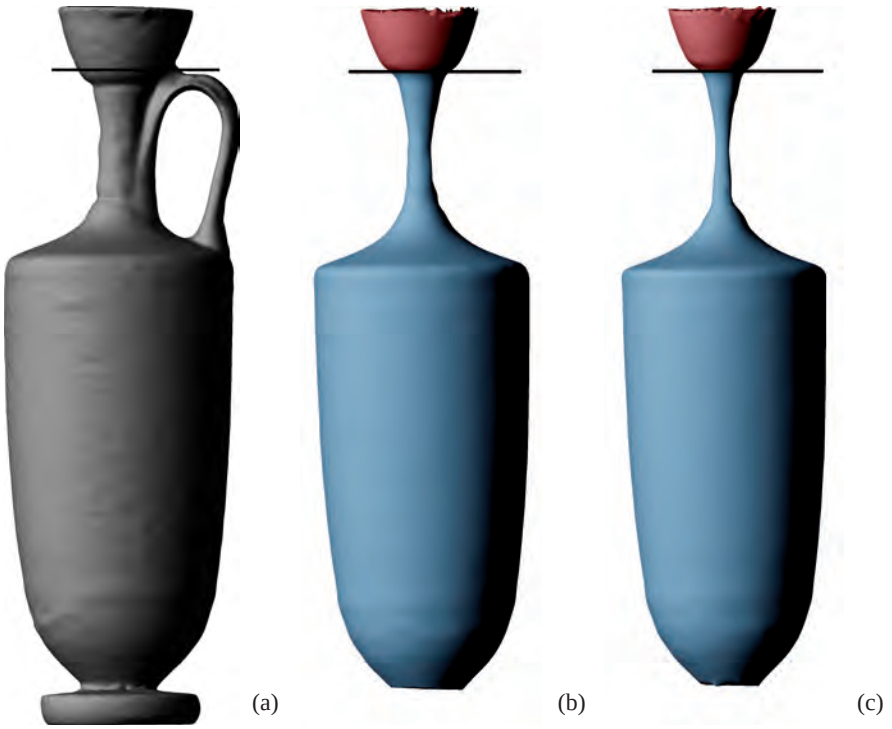


Figure 12: KHM ANSA IV 3746's (a) outer surface enclosing a displacement volume of 1269.3 cm^3 with the orifice planar closed, (b) inner surface with an offset of 4 mm enclosing 950.2 cm^3/919.5 cm^3 and (c) inner surface with an offset of 6 mm enclosing 842.8 cm^3/817.6 cm^3. The second capacity (in b and c) is computed using the most likely filling-level shown as a black line.

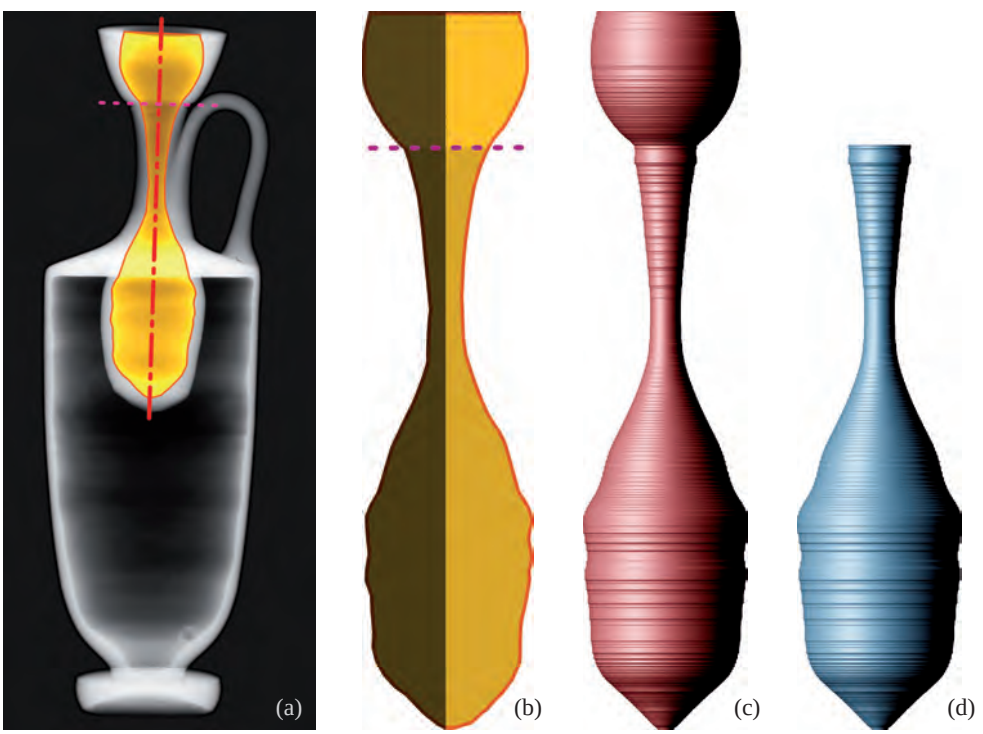


Figure 13: (a) X-Ray raster image of KHM ANSA IV 3746 with a false bottom marked in yellow. The vertical line shows the rotational axis of the compartment. The horizontal line shows the assumed filling level. (b) Raster image of the false bottom – the left half is used to compute the volume and a 3D-model by rotation of the outline, (c) for the complete compartment and (d) for the filled compartment.

with typically two by two entries, indicating the range of the most likely capacity.[35] For cross-validation and future reference we also computed the outer (displacement) volume of each vessel, also using the orifice surface.

Figure 12 a shows the outer surface of a white ground *lekythos*[36] and its assumed filling level. The following computations were done neglecting the false-bottom in order to get an impression on how much content the vessel appears to contain. Using the outer surface and closing the orifice, the vessel encloses a displacement volume of 1269.3 cm^3. Figure 12 b and c show the inner surface computed by an offset[37] of 4 mm and 6 mm having a maximum capacity – filled up to orifice – of 950.2 cm^3 and 842.8 cm^3. Using the supposable filling level shown as a black bar, the volume of the capacity computes to 919.5 cm^3 and 817.6 cm^3.

5.1 Vessels with False Bottom

Vessels with false bottoms – i.e. special compartments (*Einsatzbehälter*) – were acquired by using X-ray. For each of these vessels, one X-ray image was taken, with the vessels orientated as used for the profile section estimation.[38] The X-ray images are raster images with a minor perspective distortion similar to regular photographs. As we only made one image per vessel, we can compute the outline of the compartments as shown in Figure 13 a–b. In general, the X-ray image has no scale, which is however required in order to compute an absolute volume in cm^3 by using the outline. Because the profile line is on the same plane as the compartment's outline within the X-ray image and we know the exact height and width of the profile line, we can use these dimensions to compute a scale. This is done by dividing the width and height of the profile line in pixels by the width and height from the profile line of the 3D-model. The result is a scale in pixel per cm, which can be converted by multiplication of 2.54 inch/cm into *Dots Per Inch* (DPI), when needed.

Using the scale, we can assign a radius and a height for each pixel row of the compartment's outline. Rows with the same radius can be stacked together, thus describing a cylinder with a height computed by using the number of pixels and the scale. Therefore we can compute the volume of the compartment as sum of the volume of all cylinders. This method is known as Cylinder Method or Shell Integration.[39] Figures 13 c–d show the 3D-model of the false bottom consisting of cylinders. Figure 14 shows a detail of the pixel rows of the X-ray image and the corresponding cylinders of the 3D-model.

The computed capacity for the false bottom of the white ground *lekythos* already mentioned above is 80.1 cm^3 when it is completely filled. Using the filling level shown in Figures 13 a and b, the capacity is 57.9 cm^3. Therefore, we can compute the ratio between the used capacity and the capacity the vessel appears to have. This is shown in Table 2.

filling level	**wall-thickness**	
	4 mm	6 mm
assumed	6.3 %	7.1 %
orifice	8.4 %	9.5 %

Table 2: Capacity of the false-bottom in respect to the same vessel neglecting the false-bottom.

[35] H. Mara – E. Trinkl – P. Kammerer – E. Zolda, 3D-Acquisition and Multi-Spectral Readings for Documentation of Polychrome Ceramics in the Antiquities Collection of the *Kunsthistorisches Museum* Vienna, in: J. Trant – D. Bearman (ed.), Proc. of the International Cultural Heritage Informatics Meeting (ICHIM '07), Toronto, Ontario, Canada, 2007 (CD–ROM) <http://www.archimuse.com/ichim07/papers/mara/mara.html> (8.4.2011); CVA Wien 5, p. 134 f.

[36] KHM ANSA IV 3746; ARV² 998.164; CVA Wien 5 pl. 69; CVA Online 213987.

[37] S.-J. Kim – D.-Y. Lee – M.-Y. Yang, Offset Triangular Mesh Using the Multiple Normal Vectors of a Vertex, in: Proc. of CAD '04 Conference, Pattaya, Thailand, 2004, Computer-Aided Design 1 (2004) 285–291.

[38] See B. Vak in this volume.

[39] H. Anton, Volumes by Slicing; Disks and Washers, in: Calculus with Analytic Geometry ²(New York 1984) 359–367 (§6.2). An example for the application in the field of archaeology can be found in Hüttig, Methoden.

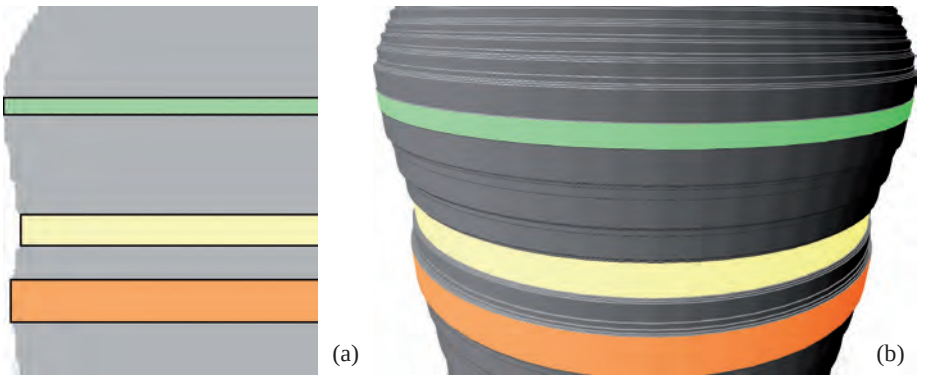


Figure 14: (a) Enhanced detail of the X-Ray raster image of KHM ANSA IV 3746 with pixel rows of equal radius marked in color. Using the calibrated scale of the raster image, the real radius of the virtual cylinders can be computed. (b) Shows the corresponding cylinders in the 3D-model.

6 SUMMARY AND OUTLOOK

Summarizing the work based on close-range 3D-acquisition, we could show that all the measurements for the profile drawings and rollouts can be achieved within three to four weeks for ca. 120 vessels for each of the two recent Viennese CVA volumes. Nevertheless we have to stress the fact that for 3D-acquisition the number of actual objects and fragments as well as their complexity determine the acquisition time. For example a vase with a highly decorated lid [40] will take almost twice the time than a regular vase. On the other hand, a large and bulky vessel like a *dinos* can be acquired in half of the time of a much smaller head-shaped vessel (*Kopfgefäß*).

Even given the fact that views and profile lines computed directly from the 3D-models have flaws such as gaps, the process of providing a publication ready drawing as well as the accuracy of the drawings could be dramatically improved. Further benefits are: no lens distortion as known from photography; contact-free and radiation-free acquisition; the views and rollouts can be computed as true-to-scale high-resolution images, only limited by the resolution of the chosen FOV. As our software tools are independent from the 3D-scanners hardware, we will be able to achieve an even higher amount of details for the documentation of visualization with the next generations of 3D-scanners. This includes all other extra information we can gain from 3D-models such as volume estimation and pin-pointing multi-spectral readings.[41]

Future work will enable the automatic extraction of meaningful features in vector representation similar to the ongoing work on cuneiform extraction.[42] The result will be an even faster work flow minimizing the post processing of drawings for publication. Features such as photographic details or manufacturing traces as well as automated, objective and digital comparison will be available.

Acknowledgements

We thank the Computer Vision Lab (former Pattern Recognition and Image Processing group) of the Vienna University of Technology for providing the 3D scanner used in 2006. The 3D scanner used in 2009 was provided by the Heidelberg Graduate School of Mathematical and Computational Methods for the Sciences (HGS MathComp). This work is part of the IWR Pioneering Projects (IPP) and was partially funded by the HGS MathComp – DFG Graduate School 220.

[40] E.g. KHM ANSA IV 1; B. Kratzmüller in: Jahresbericht KHM 2008, 49 (Fig.).
[41] Mara et al., Acquisition; see also P. Kammerer – F. Mairinger – E. Trinkl – E. Zolda in this volume.
[42] Mara et al., GigaMesh.

AUF DER SUCHE NACH DEM ORIGINAL

ANWENDUNGEN UND ILLUSTRATIONEN NATURWISSENSCHAFTLICHER DIAGNOSTIK AN ATTISCH FIGÜRLICH BEMALTER KERAMIK AUS DER ANTIKENSAMMLUNG DES KUNSTHISTORISCHEN MUSEUMS

BETTINA VAK

Archäologische Keramik im musealen Kontext war neben ihrem Herstellungsprozess, der ursprünglichen Nutzung und der Bodenlagerung verschiedenen Einflüssen von Zerstörung und Verwitterung ausgesetzt. Die Unterscheidung und Klassifikation dieser Einwirkungen ist neben der Beschreibung und Dokumentation des Erhaltungszustands wesentlich für die Konservierung und Restaurierung von Objekten. Weiters gilt es, Altrestaurierungen materialwissenschaftlich zu überprüfen, welche mit ihrem historischen Bezug weitere Parameter für die Erfassung der Objektgeschichte liefern. In der vorliegenden Arbeit sollen die klassischen Untersuchungsmethoden der modernen Spektroskopie sowie Illustrationsmöglichkeiten an einigen Beispielen der Antikensammlung des Kunsthistorischen Museums Wien vorgestellt werden. Die Auswahl der Objekte erfolgte exemplarisch im Zuge zweier FWF-Projekte: Den Band 5 des Corpus Vasorum Antiquorum bearbeitete Elisabeth Trinkl, Band 7 von Bettina Kratzmüller ist derzeit in Arbeit[1].

Folgende Problemkreise haben sich bei der gemeinsamen Bearbeitung der Objekte herauskristallisiert:

– Das Sichtbarmachen von kaum erkennbaren Zeichnungen auf attisch weißgrundigen Lekythen (vgl. Kapitel 1) und von Unterzeichnungen und Vorritzungen auf attisch schwarzfigurigen Gefäßen (vgl. Kapitel 2).
– Die Unterscheidung von Original und Ergänzung – von keramischer Oberfläche und Übermalung – sowie die materialtechnische Zuordnung historischer Restaurierungen (vgl. Kapitel 3–4).

1 DOKUMENTATION DER WEISSGRUNDIGEN LEKYTHEN

Infolge von Bodenlagerung, über Jahrhunderte schwankenden Klimabedingungen, Salz- und/oder UV-Schäden, manuellen Beschädigungen und der meistens durch Bindemittelabbau verursachten schlechten Haltbarkeit von Malerei mit Kaltmalfarben (Mischung aus Farbpigmenten und Bindemitteln)[2], sind die Zeichnungen auf den weißgrundigen Lekythen oft reduziert und schwer lesbar. Die detailreichen Bilder sind auf der zumeist fragilen Oberfläche häufig nur verwischt oder stark verblasst erhalten (Abb. 1 und 3)[3].

Die bisher übliche Praxis, mittels eines auf die Oberfläche aufgelegten Transparentpapiers alle sichtbaren Striche abzupausen, erschien aus mehreren Gründen nicht mehr effektiv und zeitgemäß: Die feine, oft poröse Oberfläche des Objekts wird über Gebühr belastet, die Genauigkeit der Illustration kann durch unvermeidliche

---

1 FWF-Projekt P18213 (2005–2007) (CVA Wien 5) und P21171-G19 (seit 2009–2012).
Mein Dank ergeht in erster Linie an das Kunsthistorische Museum, an Projektleiter A. Bernhard-Walcher, Direktor der Antikensammlung, an die Projektmitarbeiterinnen B. Kratzmüller und E. Trinkl, an die Leiterin des Naturwissenschaftlichen Labors M. Grießer und an deren Mitabeiter/-innen B. Frühmann, Ch. Schaaf-Fundneider, V. Pitthard und an die Leiterin der Restaurierwerkstatt der Gemäldegalerie E. Oberthaler mit deren Mitarbeitern/-innen M. Eder, I. Slama und U. Tüchler.

2 Zur Entwicklung der Kaltfarbenmalerei s. Wehgartner, Keramik, bes. 20–29; Bauer et al., Leitfaden, 83; W. Noll, Alte Keramiken und ihre Pigmente (Stuttgart 1991) 186–213; Koch-Brinkmann, Bilder.

3 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3743; CVA Wien 5 Taf. 71. Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 144; CVA Wien 5 Taf. 76.

Abb. 1: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3743 (© KHM)

Abb. 2: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3743. (a) Ausschnitt mit Teilen des Rasters; (b–c) Illustration der Ausschnitte von (a) (© KHM)

Verzerrungen nicht wiedergegeben werden und feine Details sind im Maßstab 1:1 oft nicht präzise genug zu erkennen. Ich entschloss mich daher zu einer etwas modifizierten Dokumentationsmethode unter Zuhilfenahme eines Stereomikroskops mit integrierter Digitalkamera[4].

Die rastermäßig erstellten Fotoaufnahmen erfassen die gesamte Bildzone (Abb. 2 a–c).

Je kleiner der Raster angelegt wird, desto geringer ist die Verzerrung der Malerei.

Mittels eines Graphikprogramms werden in verschiedenen Ebenen über nachbearbeitete Detailfotos (Abb. 4 a) die genaue Strichführung, Farbflächen, Ritzungen und fallweise auch moderne Übermalungen nachgezeichnet (Abb. 4 b)[5].

Die einzelnen Illustrationen müssen nun in eine das gesamte Bild umfassende Skizze eingepasst werden (Abb. 5). Eine auf Polyethylenfolie erstellte Abwicklung dient in erster Linie zur Maßstabkontrolle. Hier hat sich die Zusammenarbeit von Archäologin und Restauratorin als überaus fruchtbar erwiesen, denn die Interpretation undeutlicher Zusammenhänge, das Erkennen möglicher und ‚unmöglicher' Details sowie einer vorgegebenen Formensprache ist von essentieller Bedeutung, um sich nicht in Fehlinterpretation oder Spekulationen zu verlieren.

Diese Methode zeigt ein brauchbares Ergebnis, ist aber nur bei ausgewählten Objekten anwendbar. Beispielsweise lässt sich das Einpassen der Einzelbilder in eine zeichnerische Abrollung bei bauchigeren Gefäßen nicht mehr bewerkstelligen, das Ausmaß der Verzerrung wäre nicht befriedigend, ganz abgesehen vom beträchtlichen Zeitaufwand. Der große Vorteil liegt aber in der Anlage von Ebenen im Zeichenprogramm. Dadurch lassen sich jede Figur, jede Farbe sowie eventuell vorhandene Unterzeichnungen gesondert zeigen und schließlich für eine Publikation leicht einzeln auswählen.

Eine aktuelle, technische Mittel nutzende Alternative für die oben beschriebene, effiziente aber sehr zeitaufwändige händische Herstellung von Abwicklungen, die zusätzlich die Berührungen des Objekts auf ein Minimum reduziert, werde ich im nächsten Kapitel erläutern[6].

---

4 Leica MZ 9,5, Optikträger mit 9,5:1 Zoom.

5 Die Pinselstriche werden im Verlauf eines Pfades gesetzt, welcher farbig gefüllt werden kann. Bei Bedarf können die Ankerpunkte einzeln verschoben werden.

6 s. Kap. 2 zu den Abwicklungen.

Abb. 3: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 144 (© KHM)

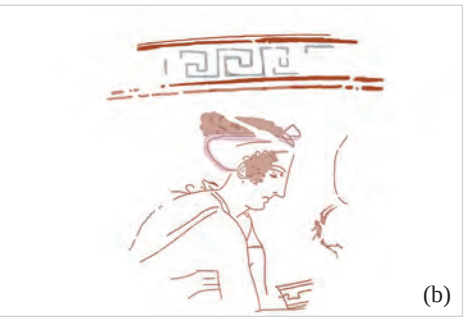


Abb. 4: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 144. (a) Detail; (b) Illustration (© KHM)

Abb. 5: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 144. Illustration (© KHM)

Abb. 6: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 878, Seite A (© KHM)

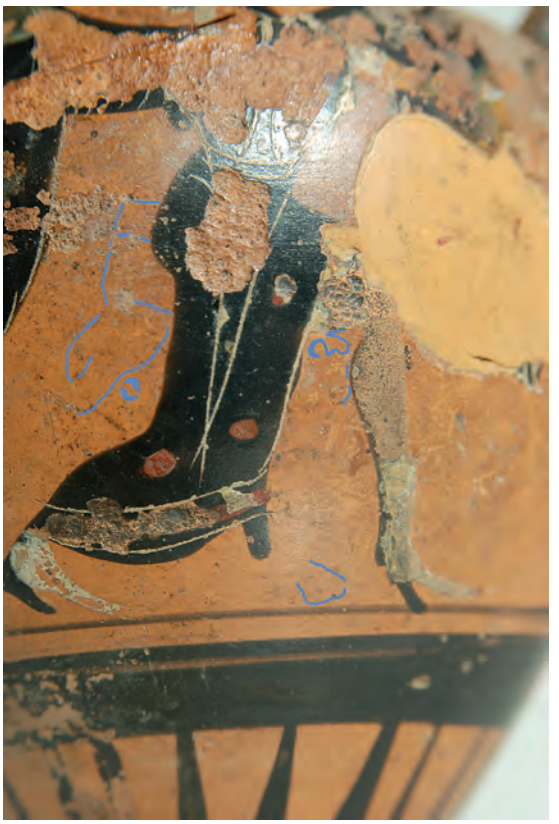


Abb. 7: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 878, Seite A, Detail mit Unterzeichnung (blau) (© KHM)

Abb. 8: Fragment eines attisch rotfigurigen Gefäßes Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3440 (© KHM)

Abb. 9: Fragment eines attisch rotfigurigen Gefäßes Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3440, Illustration der Unterzeichnung (© KHM)

2 UNTERZEICHNUNGEN AUF ATTISCH SCHWARZFIGURIGEN GEFÄSSEN

Für die Anlage der Bildszenen auf Keramikobjekten wird im Folgenden – statt des in der archäologischen Forschung zumeist gebrauchten Terminus Vorzeichnung – der in der Kunstgeschichte verwendete Terminus Unterzeichnung[7] verwendet.

Man kann drei Vorgehensweisen erkennen, die unterschiedlich gestaltete Spuren auf der Keramikoberfläche hinterlassen[8]: schmale, eingedrückte Rillen und geritzte Linien sowie plastische Dekorlinien.

Die Herstellungstechnik der attisch schwarz- und ebenso der attisch rotfigurigen Gefäße ist hinlänglich bekannt[9], dennoch möchte ich auf die Unterzeichnungen etwas näher eingehen: Nach dem Aufbringen eines feingeschlämmten Tonschlickerüberzugs (Engobe) und dessen Glätten oder Polieren nach der Trocknung war bei vielen Gefäßen der erste Schritt der Bemalung, das Bildkonzept, in Form einer Unterzeichnung festzulegen.

Um kompliziert aufgebaute oder sehr große Bildszenen zeichnerisch zu erfassen, bediente man sich eines Blei- oder Holzstifts zum Skizzieren[10]. Heute sind diese Zeichnungen zum Teil nur mehr als zart eingedrückte Linien unterhalb der schwarzen Engobe oder – wenn sie nicht von dieser überdeckt werden – auf der roten Hintergrundoberfläche schwach zu sehen (Abb. 6–7)[11].

Vor allem in der frühen rotfigurigen Technik können mit den schwarzfigurigen Vasenbildern vergleichbare Unterzeichnungen beobachtet werden: Es wurden beispielsweise auf einem rotfigurigen Fragment Zeichenlinien (Abb. 8)[12] beobachtet, die wie mit einem groben Borstenpinsel oder mit einem aufgespreizten Holzstäbchen auf die feuchte Oberfläche gemalt aussehen[13]. Unter dem Stereomikroskop können diese nur wenig eingetieften Linien detailgenau dokumentiert werden, um sie besser erkennbar zu machen (Abb. 9).

Unter einem 3D-Mikroskop[14] betrachtet, sieht man die Linienstruktur der Unterzeichnung deutlich (Abb. 10 a–c). Die Verdrängungstiefe von 0,8 mm und die zwei deutlich erkennbaren Rillen würden die Theorie eines feuchten, gespreizten Holzstäbchens als verwendetes Werkzeug durchaus unterstützen (Abb. 10 d–e).

Bei der schwarzfigurigen Keramik (Abb. 11)[15] kann als weitere Möglichkeit der Gestaltung der Unterzeichnung die Vorritzung der Details angesehen werden. Diese feinen Linien sind dann zu erkennen, wenn sie nicht in die endgültige Bildkomposition übernommen bzw. durch die stärker ausgeführten Ritzungen der Endausführung[16] überlagert wurden (Abb. 12–13).

---

7 Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken 1 (Stuttgart 1984) 160: „Die Anlage der Komposition auf dem Malgrund wird Unterzeichnung genannt, in Gegensatz zur Vorzeichnung, welche die Komposition außerhalb des Gemäldes vorbereitet.“ – Eine Differenzierung dieses Begriffs nimmt M. Koller vor. M. Koller – F. Mairinger, Bemerkungen zur Infrarotuntersuchung von Malereien, Maltechnik, Restauro 83, 1977, 27: „ […] unterscheidet zwischen einer arbeitstechnischen und einer künstlerisch bedingten Form der Unterzeichnung. Erstere umfasst konstruktive Hilfslinien und -punkte, […] Abgrenzungslinien zwischen Malerei und Vergoldung. […] Von ihr zu unterscheiden ist die Unterzeichnung als erste künstlerische Aussage auf dem Bildträger, welche alle wesentlichen Formen in voller Größe angibt.“
F. Mairinger sieht die Unterzeichnung als „Bildplan des Malers“. Es wird zwischen „künstlerisch und arbeitstechnisch bedingten Formen“ unterschieden, wobei diese häufig gemeinsam auftreten; F. Mairinger, Strahlenuntersuchungen an Kunstwerken (Leipzig 2003) 16 f. und 127 f.: „Die Unterzeichnung kann den Charakter einer detailreichen Reinzeichning besitzen, die Verteilung der Figuren, […] der Architekturdetails usw. skizzenhaft festlegen, vorbereitenden Charakter haben und dem Formfindungsprozess dienen, […] oder das Resultat eines Übertragungsprozesses einer getrennt vom Gemälde existierenden Vorzeichnung oder Schablone sein.“

8 Bauer et al., Leitfaden, 88–93: In der Keramiktechnologie fallen unter die Oberflächenstrukturen Negativ- und Positivtechniken mit eintiefenden/eingetieften oder erhabenen Strukturen.

9 A. Bernhard-Walcher, Von Töpfern und Malern, in: Bernhard-Walcher, Alltag, 20–25; M. Bentz in: TonArt, 22–24; A. Boix in: TonArt, 28–34; B. Geißler in: TonArt, 92–96.

10 Böhr – Heilmeyer, Vorzeichnungen; Mannack, Vasenmalerei, 25 f.; Mannack spricht von „einem spitzen Holzstück oder seltener […] einem scharfen Metallinstrument“. Vgl. auch A. Boix in: TonArt, 29.

11 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 878.

12 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3440; CVA Wien 5 Taf. 65, 3–5.

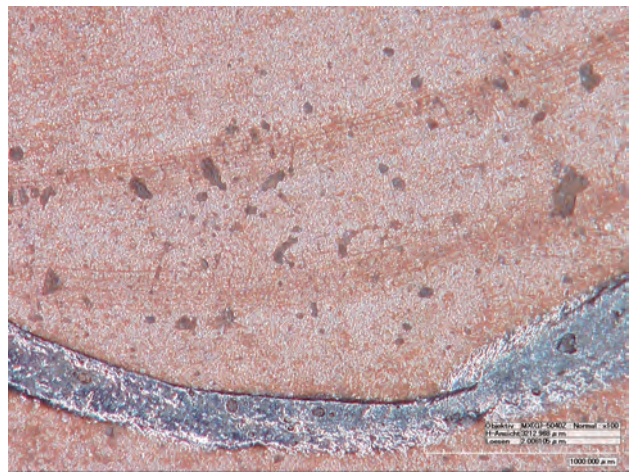
13 Die Vertiefungen auf dem Wiener Fragment unterscheiden sich von den von Böhr und Heilmeyer beschriebenen „v-förmigen Furchen“, „u-förmigen Rinnen“ und „breiten Gräben“; Böhr – Heilmeyer, Vorzeichnungen, 44.

14 s. Kap. 3.

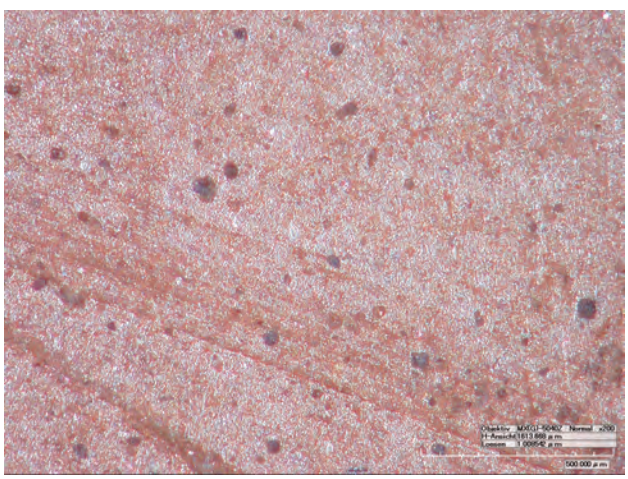
15 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001; CVA-Online 4430.

16 Mannack, Vasenmalerei, 25, weist darauf hin, dass „solche Vorritzungen auch für die Planung weiß oder farbig ausgelegter Sektionen, wie z. B. das Haar von Greisen“ verwendet wurden.

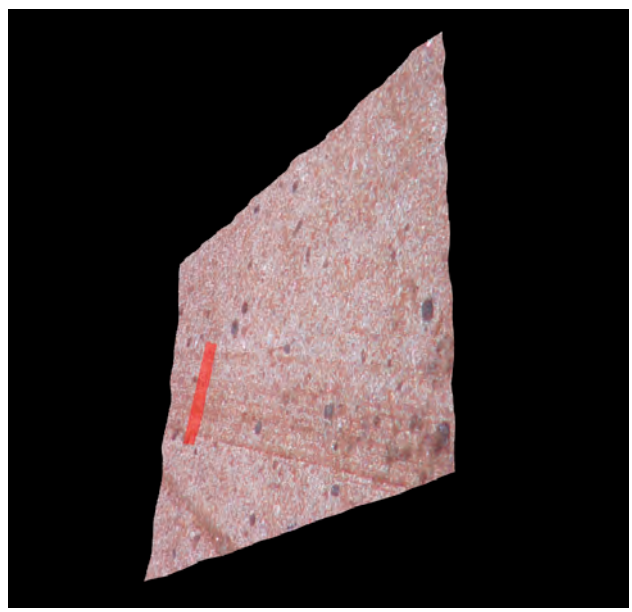
(a)



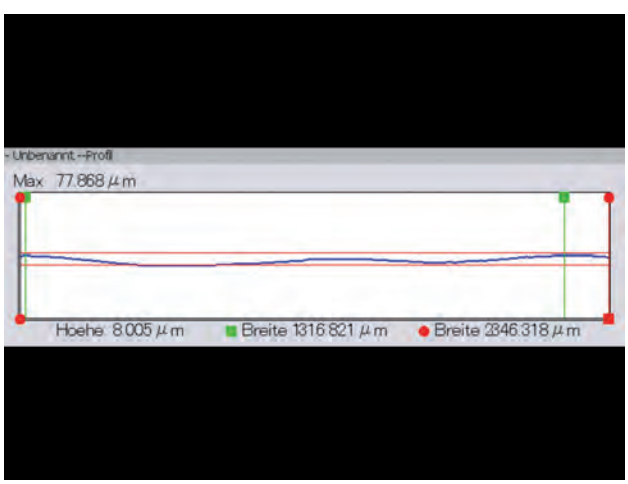
(b)



(c)



(d)



(e)

Abb. 10: Fragment eines attisch rotfigurigen Gefäßes Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3440; Detaluntersuchungen unter dem 3D-Mikroskop. (a) Neben den gemalten Schlickerlinien und -flächen ist an der linken Schulter der Flügelfrau die Linienstruktur der Unterzeichnung sichtbar; (b) Linienstruktur der Unterzeichnung am Halsansatz der Flügelfrau; (c) Innenlinie am linken Oberarm der Flügelfrau, Multifokus; (d) 3D-Aufnahme im Bereich von Abb. 10 c; rote Linie: Schnittebene von Abb. 10 e; (e) Profillinie (© KHM)

Abb. 11: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001. (a) Seite A: Musizierender Herakles zwischen Hermes und Athena; (b) Seite B: Reiter zwischen zwei Kriegern (© KHM)

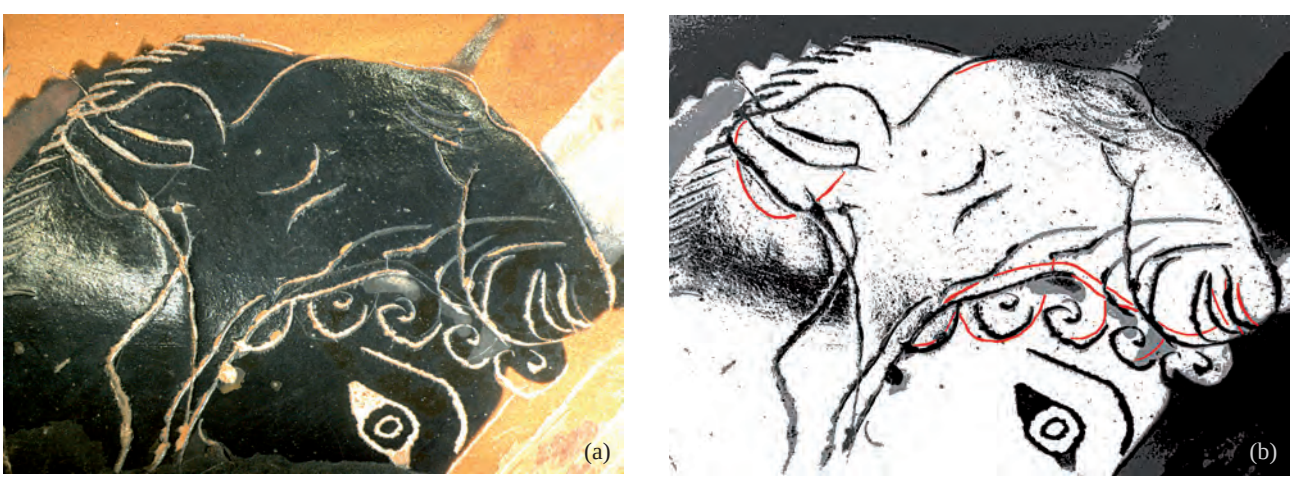


Abb. 12: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001, Seite A. (a) Kopf des Herakles, Detail; (b) Illustration der Vorritzungen am Kopf des Herakles (rot) (© KHM)

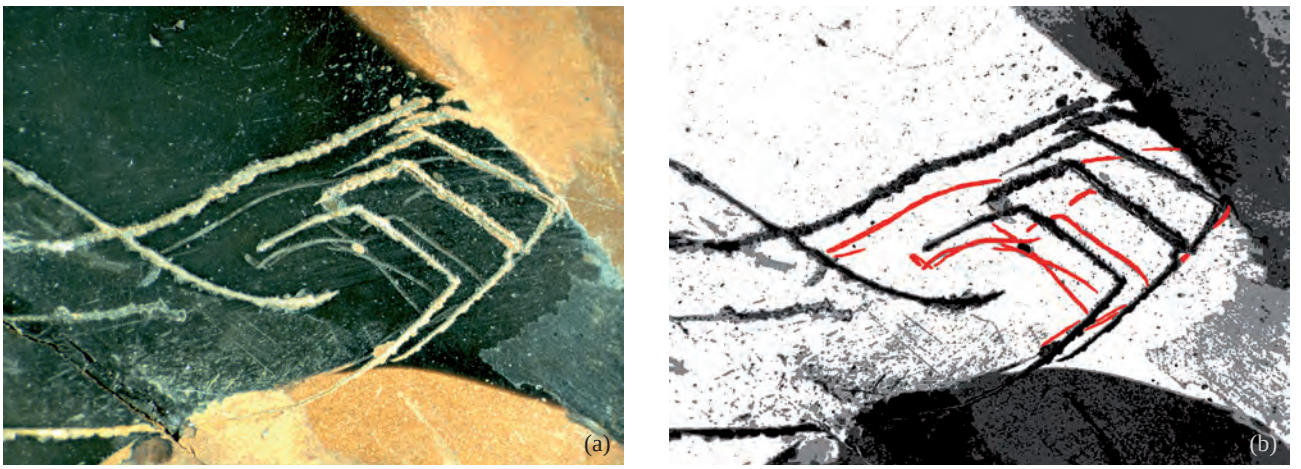


Abb. 13: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001, Seite A, Detail. (a) linke Hand des Herakles; (b) Illustration der Vorritzungen (© KHM)

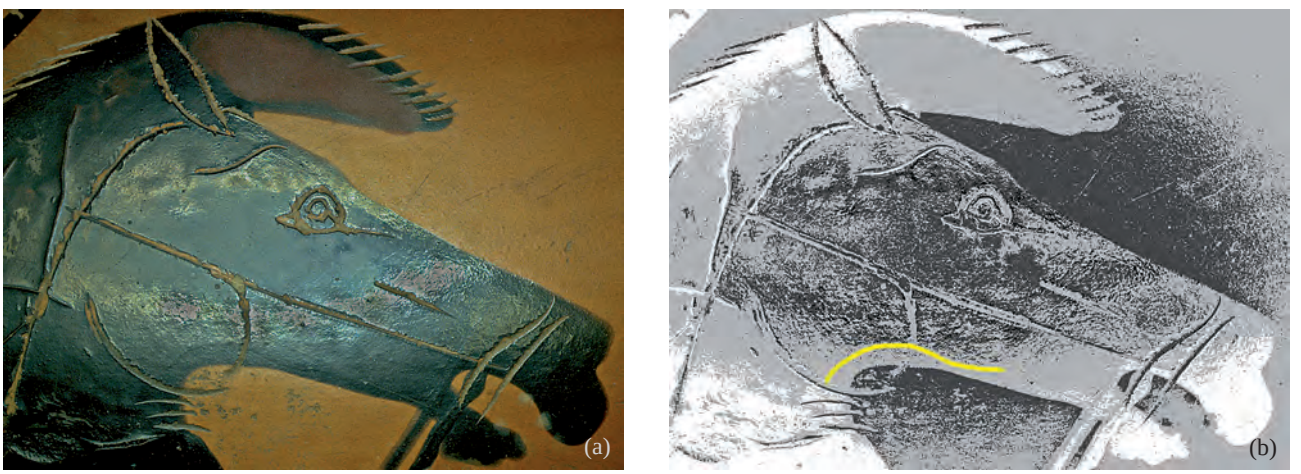


Abb. 14: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001, Seite B, Detail. (a) Pferdekopf; (b) Illustration der Unterzeichnung mit Malschlicker an der Hals-Maullinie des Pferdekopfes (© KHM)

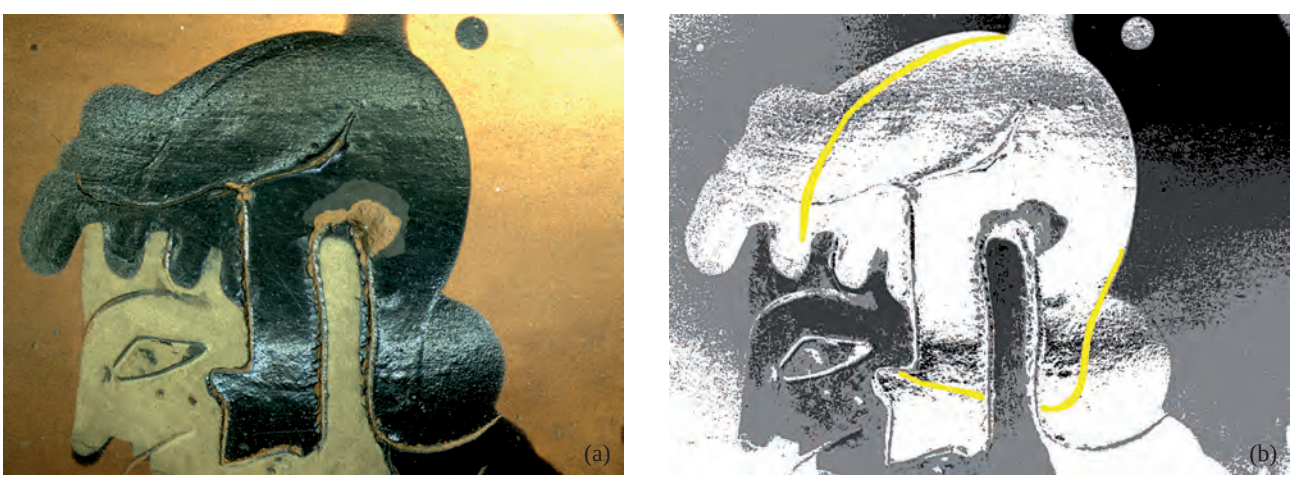


Abb. 15: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1001, Seite A, Detail. (a) Kopf der Athena; (b) Illustration der mit Malschlicker ausgeführten Unterzeichnung (© KHM)

Bei der dritten Form zur Erfassung des Bildkonzepts sind unter dem schwarzen Malschlicker noch weitere Linien auszunehmen. Sie sind erhaben und eindeutig als Entwurfslinien des Bildkonzepts zu interpretieren. Aufgrund ihrer Plastizität ist anzunehmen, dass sie mit derselben Art von Malschlicker, vermutlich mittels Pinsels[17], gezogen wurden, wie er bei Figuren und Ornamenten zum Einsatz kam. Diese unter der nach dem Brand durch Teilversinterung schwarz glänzenden Schlickerschicht liegenden Unterzeichnungen sind nur unter bestimmten Lichtverhältnissen (insbesondere unter extremem Streiflicht) und oft auch nur unter dem Mikroskop erkennbar (Abb. 14–15).

Es können aber auch alle drei Techniken an demselben Objekt vorkommen[18] (Abb. 16–17). Bei der Erfassung von Unterzeichnungen einer größeren Anzahl von ausgewählten Objekten wäre eine Zuordnung zu bestimmten Malen oder Malerinnen durchaus möglich, da sich die Art der Linienführung doch gravierend voneinander unterscheiden kann. Bei einfachen Positionslinien, wie etwa entlang eines Pferdebauches oder Figurenrückens gibt es kaum die Möglichkeit von Spezifizierung, Anzahl und Anlage der sichtbaren Unterzeichnungen liefern hingegen genug Stoff für weitergehende Forschung[19].

Das bloße Beschreiben der Unterzeichnungen und Vorritzungen ist auf Grund ihrer Streuung und unterschiedlichen Dichte im Bild sehr zeitaufwändig und für die Erfassung des Bildkonzeptes im Verhältnis zur Ausführung nicht ausreichend. Auf der Suche nach einer geeigneten Illustrationsmethode schien als Ausgangsbild eine Abwicklung auf mathematischer Basis erfolgversprechend zu sein. Eine Arbeitsgruppe am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg unter der Leitung von H. Mara hat, aufbauend auf den bereits fertig gestellten Aufnahmen von 3-D-Streifenlicht-Scans[20], schon erste Versuche mit Abwicklungen[21] der Einzelszenen begonnen. So wurde z. B. eine Abwicklung eines Kelchkraters[22] mit geringst möglicher Verzerrung auf der Basis von zwei Kegelstümpfen berechnet (Abb. 18). Es hat sich aber gezeigt, dass auch hochauflösende Scans die feinen Unterzeichnungen nicht wiedergeben können.

Ein gangbarer Weg wäre das Arbeiten abwechselnd unter dem Stereomikroskop und am Computer: die Erstellung einer Freihandzeichnung direkt in eine stark vergrößerte Abwicklung, die für eine Illustration nur zum Sichtbarmachen der Unterzeichnungen grafisch leicht verändert aufbereitet wird. Die Genauigkeit könnte ausreichen, um eine solche Illustration als Vorlage für weitere wissenschaftliche Bearbeitung zu verwenden, jede Oberflächenberührung mit dem Objekt vermeidend (Abb. 19).

---

17 Zur Anlage der Entwürfe in „Tonfarbe“ vgl. Mannack, Vasenmalerei, 25, bzw. Böhr – Heilmeyer, Vorzeichnungen, 43; U. Strnischtie, Figürliche Ergänzung und antike Maltechnik. Beobachtungen an zwei Münchner Vasen, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 161–164. – Davon zu unterscheiden sind die sog. Relieflinien, „erhabene Linien“, die u. a. zur Hervorhebung des Körperumrisses oder für detaillierte Haarangaben verwendet werden konnten. Zu den unterschiedlichen Arbeitsmitteln, mit denen diese Relieflinien aufgetragen wurden, vgl. zusammenfassend Mannack,Vasenmalerei, 26; G. Seiterle, Die Zeichentechnik in der rotfigurigen Vasenmalerei. Das Rätsel der Relieflinien, Antike Welt 7/2, 1976, 2–9.

18 z. B. Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 488; ABV 229; Paralipomena 108.5; CVA-Online 340446.

19 Bereits Böhr – Heilmeyer, Vorzeichnungen, 44, sprachen sich diesbezüglich für detaillierte Publikationen aus, um der „Handschrift des Malers“ auf solider Grundlage nachspüren zu können.

20 Vgl. H. Mara – J. Portl in diesem Band.

21 Bechtold et al., Rollouts.

22 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3618; ABV 280.56; CVA-Online 320217; vgl. H. Mara – J. Portl in diesem Band, bes. Abb. 10.

Abb. 16: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 488, Seite A (© KHM)

Abb. 17: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 488, Seite A. (a) Reiter links; Details unter dem Mikroskop: (b) Zwei Linien der plastischen Unterzeichnung am Vorderbauch des linken Pferdes; (c) linke Hand des Reiters mit Zügel: die Vorritzung des unteren Zügels sitzt tiefer als die ausgeführte Linie; (d) Unterzeichnung des Unterkiefers (?) des linken Pferdes (© KHM)

Abb. 18: Attisch schwarzfiguriger Kelchkrater Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3618, Abwicklung (© IWR, KHM)

Abb. 19: Attisch schwarzfiguriger Kelchkrater Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3618. (a) Grafisch nachbearbeitete Abwicklung als Unterlage für eine mögliche weitere Verwendung; (b) Ausschnitt von (a): in gelber Farbe eingetragene Unterzeichnungslinien (© KHM)

3 DIE RESTAURIERUNGSGESCHICHTE UND IHRE NATURWISSENSCHAFTLICHE AUFARBEITUNG

Die Geschichte der Objekte ist Restauratoren und Archäologen gleichermaßen ein Anliegen. An vielen der behandelten Objekte ist die originale Bildkomposition nicht eindeutig oder nur schwer zu erkennen, oft lassen sich historische Restaurierungen aus zwei bis drei Jahrhunderten nachweisen. Besonders im 18. und 19. Jh. lag das vorrangige Ziel von Restaurierungen attischer Gefäße darin, ein ästhetisch ansprechendes und vor allem komplettes Sammlungsobjekt zu erschaffen[23].

Diese Restaurierungen/Wiederherstellungen sind oft so perfekt ausgeführt (Abb. 20)[24], dass bis heute ohne Zuhilfenahme naturwissenschaftlicher Methoden keine eindeutige Aussage zur Unterscheidung von Original und Ergänzung bzw. Übermalung getroffen werden kann. Aber schon im 19. Jh. gab es Bestrebungen, die auswuchernden Behandlungsmethoden an Antiquitäten einzudämmen. So empfahl beispielsweise das „Comité historique des arts et monuments“ in Frankreich, bei den Restaurierungen zurückhaltender zu sein[25].

Die internationale Forschung wird sich heute zunehmend der Bedeutung historischer Erstrestaurierungen auch im keramischen Materialbereich[26] bewusst und fordert zerstörungsfreie Unterscheidungsmethoden von Original und Ergänzung. Vor allem im letzten Jahrhundert wurde der Wert einer Ergänzung im Verhältnis zum erwarteten Informationsgewinn nach deren Abnahme oft als gering betrachtet. Diese restaurierethischen Fragen sind auch mit den betroffenen Ebenen in den Natur- und Geisteswissenschaften zu klären.

In der Charta von Venedig 1964[27], ist die Bedeutung des geschichtlichen Bezugs eindeutig festgehalten: *Artikel 3. Erhaltung und Restaurierung zielen genauso auf die Bewahrung des Kunstwerkes wie auf die des geschichtlichen Zeugnisses hin.*

Nach Möglichkeit wird die Bandbreite der zerstörungsfreien naturwissenschaftlichen Diagnostik[28] ausgeschöpft (wie z. B. Radiografie, Röntgenfluoreszenzanalyse, Computertomografie, Ultraviolett- und Infrarotaufnahmen, Stereo- und 3D-Mikroskopaufnahmen[29]). Die Stereomikroskopie und ihre digitale Bildbearbeitung sowie Aufnahmen mit sichtbarem Licht, kurz- und langwelligem ultraviolettem Licht (Wellenlänge von 254 nm und 365 nm), konnten in der Restaurierwerkstatt der Antikensammlung durchgeführt werden.

3.1 UV-Fluoreszenz

Mit Ultraviolett (UV) wird jener Anteil der Strahlung bezeichnet, deren Wellenlänge unterhalb des sichtbaren Wellenspektrums liegt; eine korrektere Bezeichnung im inhaltlichen Sinn wäre „Photolumineszenz“. Das Prinzip der Untersuchung beruht darauf, dass unter Einwirkung von Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 10 und 400 nm[30] einige Substanzen mit Fluoreszenz reagieren und für die Dauer der Exposition mehr oder weniger stark aufleuchten. Durch die unterschiedliche Leuchtkraft lassen sich Informationen über die verwendeten

---

23 Die umfangreichen Eingriffe überdeckten und veränderten die antike Substanz oft beträchtlich, obwohl bereits gleichzeitig Gegenströmungen einsetzten; A. Milanese, De la „perfection dangereuse“ et plus encore, in: Bourgeois, restauration, 19–30. Vgl. auch Pfisterer-Haas, Topf. Vgl. auch R. Fürhacker – S. Karl in diesem Band.

24 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 345; ABV 128.89; CVA-Online 300985.

25 C. Raynaud, Conserver plutôt que restaurer, in: Bourgeois, restauration, 91–99.

26 Ch. Merlin, Conserver les traces. Comment traiter d’anciennes restaurations?, in: Bourgeois, restauration, 81–90.

27 Internationale Charta über die Erhaltung und Restaurierung von Kunstdenkmälern und Denkmalgebieten, 1964, unter der Schirmherrschaft der UNESCO von ICOMOS 1965 übernommen. Siehe auch ECCO (European Confederation of Conservator-Restorers’ Organisation), Code of Ethics, 2002, Art. 15: *The Conservator-Restorer shall not remove material from cultural heritage unless this is indispensable for its preservation or it substantially interferes with the historic and aesthetic value of the cultural heritage. Materials which are removed should be conserved, if possible, and the procedure fully documented.*

28 M. Matteini – A. Moles, Naturwissenschaftliche Untersuchungen in der Restaurierung (München 1990) 62–88. 126–129; J. S. Mills – R. White, The Organic Chemistry for Museum Objects ²(Oxford 1994) 14–30; M. R. Derrick – D. Stulik – J. M. Landry, Infrared spectroscopy in conservation science (Los Angeles 1999) 5–15; J. Mass, Instrumental method of analysis applied to the conservation of ancient and historic glass, in: N. H. Tennent (Hrsg.), The Conservation of Glass and Ceramics (London 1999) 15–41; F. Mairinger, Strahlenuntersuchungen an Kunstwerken (Leipzig 2003).

29 3D-Aufnahmen: KHM, Ch. Schaaf-Fundneider; Hirox 3D-Digitalmikroskop KH-7700 mit Polaroidfilter.

30 Für Untersuchungen auf Keramik haben sich nahe (400–320 nm) und ferne (280–200 nm) UV-Strahlung bewährt, im fernen UV-Bereich ist jedoch wegen der Belastung für das menschliche Auge Vorsicht geboten (Schutzbrillen!).

Abb. 20: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 345. (a) Seite A; (b) Henkelzone B-A; (c) Seite B; (d) Henkelzone A-B (© KHM)

Abb. 21: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 345, Aufnahmen unter UV-Licht bei 254 nm. Deutlich sind der horizontale Bruch in der Gefäßmitte und das Bruchstück an der Mündung zu erkennen; die Kittungen leuchten schwach bläulich. (a) Seite A; (b) Henkelzone B-A; (c) Seite B; (d) Henkelzone A-B (© KHM)

Materialien gewinnen. Am Computer nachbearbeitete (u. a. invertierte Bilder) lassen Details oft noch besser sichtbar werden (Abb. 21–22).

Die fluoreszierenden Verbindungen, die im Lauf der Alterung entstehen, unterscheiden sich von jüngeren Retuschen, die sich dunkel gegen den Hintergrund abheben. Fehldeutungen können allerdings auftreten, auch weil schwache Fluoreszenzen auf hellen Untergründen besser, auf dunklen jedoch kaum zu sehen sind. Schwarz erscheint in jedem Fall auch der rot oder schwarz gebrannte Malschlicker der Keramik. Eine Interpretation der UV-Aufnahmen sollte daher erfahrungsgemäß mit anderen Untersuchungsmethoden verglichen werden, um Irrtümer auszuschließen.

Im Rahmen eines Projekts zur Praxis der UV-Fluoreszenzfotografie auf Wandmalereien, Staffeleibildern und Skulpturen[31] sollte die Anwendung optimiert und standardisiert werden. Es wurden Empfehlungen für die Praxis erarbeitet. Im Zuge dieser Studie kam man zur UV-Lichtbelastung an Kunstobjekten zu folgendem Ergebnis[32]: „Die stabilen mineralischen Pigmente der Wandmalerei zeigten keinen erkennbaren Schaden.“ Man kann diese Aussage durchaus auf die ebenfalls mineralischen Pigmente der Kaltbemalung bei attisch weißgrundigen Lekythen anwenden, nicht jedoch auf die eventuell noch vorhandenen Bindemittel. Die teilversinterte Engobe bei attisch rot- und schwarzfiguriger Keramik wird durch kurze Belastung im nahen UV-Licht vermutlich nicht belastet, eine endgültige Aussage (v. a. für die ferne UV-Strahlung) muss aber erst in weiteren Studien erarbeitet werden.

3.2 Infrarot-Spektroskopie

Auch die aus der Gemäldeforschung bekannte Infrarot(IR)-Spektroskopie ist ein wichtiges naturwissenschaftliches Instrument zur Sichtbarmachung der Veränderung des Schwingungszustandes von Molekülen[33] und wird in weiterer Folge auch vermehrt bei den untersuchten Objekten zur Anwendung kommen (vgl. Kap. 4.2). Einige Testreihen im nahen Infrarotlichtbereich (900–1700 nm) sind in Zusammenarbeit mit der Restaurierwerkstatt der Gemäldegalerie des Kunsthistorischen Museums[34] schon durchgeführt worden. Sie liefern genügend Anlass, um die IR-Fotografie als eine ernstzunehmende Untersuchungsmethode auch für Keramikobjekte heranzuziehen, da Übermalungen sowie darunter liegende Ausbrüche der Engobe sichtbar gemacht werden können.

3.3 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Im Naturwissenschaftlichen Labor des Kunsthistorischen Museums konnten einige Elementuntersuchungen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)[35] durchgeführt werden. Dabei wird die bei der Wiederbesetzung von Leerstellen – die durch das Herausschlagen von Elektronen durch den auftreffenden Röntgenstrahl erzeugt wurden – freiwerdende Energie als charakteristische Fluoreszenzstrahlung abgegeben. Dies ermöglicht die qualitative Unterscheidung verschiedener chemischer Elemente.

Quantitative Auswertungen können ohne zusätzliche Messungen von Standards nicht durchgeführt werden, jedoch sind Vergleiche von unterschiedlichen Strahlungsintensitäten möglich. Alle Messungen wurden an Luft mit einer Molybdänröhre[36] (Anregungsbedingung: 50 kV, 1 mA, Messzeit 100 s, Vakuumkammer am Instrument evakuiert) durchgeführt, mit welcher vor allem die schweren Elemente (Metalle) detektiert werden können. Die Erfassung der meisten untersuchten anorganischen Pigmente (z. B. Eisenoxidrot) war möglich. Leichte anorganische sowie organische Pigmente konnten jedoch nicht nachgewiesen werden, da die Detektion von Elementsignalen mit diesen Anregungsbedingungen nicht für alle Elemente möglich ist.

---

31 H. P. Autenrieth – A. Aldrovandi – P. Turek, Die Praxis der UV-Fluoreszenzfotografie, Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 2, 1990, 215–243.

32 Autenrieth – Aldrovandi – Turek a. O. 229.

33 Die Strahlung wird dank ihrer großen Wellenlänge in trüben Medien weniger gestreut, besitzt daher ein hohes Durchdringungsvermögen und lässt sowohl Unterzeichnungen auf weißer Grundierung als auch Strukturen unter der Malschicht besser erkennen.

34 Untersuchungen: KHM, U. Tüchler und M. Eder; Kamera: ALPHA NIR Digital Image Aquisition System von Indigo.

35 Untersuchungen: KHM, B. Frühmann; RFA: portables, eigens konstruiertes Röntgenfluoreszenzgerät; vgl. Kap. 4.2.

36 Schwefel kann auf Grund der Überlappung seines elementspezifischen Signals mit dem Molybdän-Peak nicht nachgewiesen werden.

Abb. 22: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum IV 345, Invertierte UV-Aufnahme. Die Gipskittungen mit ihrer Retouche (b, d) zeichnen sich als grauschwarze Flächen ab, am Henkel (b) sind auch die Pinselabdrücke zu erkennen (a) Seite A; (b) Henkelzone B-A; (c) Seite B; (d) Henkelzone A-B (© KHM)

3.4 Analoge Röntgenradiographie

Die Durchführung der analogen Röntgenbestrahlung fand in der Akademie der Bildenden Künste in Wien[37] statt. Die Aufnahmeparameter für Keramikobjekte bewegten sich zwischen 80 und 90 kV Anregungsspannung bei 1 mA Stromstärke, bei jeweils 1 min Aufnahmezeit, wobei die Vertretbarkeit dieser Untersuchungsmethode[38] von Fall zu Fall geklärt werden muss. Obwohl dieses Verfahren einen Einblick in ein Gefäß ermöglicht, wird durch die Projektion eines dreidimensionalen Objektes in die Fläche ein Summationsbild erzeugt, das die Verortung von Details kaum zulässt.

4 FALLBEISPIELE

Die in der Antikensammlung des KHM ausgeübte Praxis, restaurierte, unbeschädigte attische Keramik in ihrem historischen Zustand zu belassen und auch zu konservieren, ermöglicht uns, eine Fülle von Untersuchungsobjekten als „Zeitzeugen“ (Materialwahl, Technik, Geschmack und Perfektion betreffend) heranziehen zu können. Im Folgenden werden einige Objekte vorgestellt, die mit unterschiedlichen Methoden einer genaueren Untersuchung unterzogen wurden.

4.1 Attisch schwarzfigurige Halsamphora

Die Halsamphora (Abb. 23)[39] aus der Sammlung Lamberg[40] ist teilweise übermalt, was bereits mit freiem Auge erkennbar ist. Die Klebefugen und die ergänzende Malerei auf einen Blick sichtbar zu machen, gelingt mit einer UV-Aufnahme, da die teilversinterte Engobe der Keramik nicht fluoresziert.

Gute UV-Aufnahmen sind eher zu dunkel (Abb. 24) als zu hell. Erst mit invertierten (Abb. 25), zum Teil auch mit bildbearbeitender Software veränderten Fotos lässt sich manches Detail erkennen, zum Beispiel ist die Dicke des Pinselauftrags so besser zu sehen. Aus beiden UV-Aufnahmen (Abb. 24–25) lässt sich sagen, dass auf der Seite A des Gefäßes vermutlich nur im Bereich ursprünglich weißer Flächen mit Bleiweiß[41] ergänzt wurde, die charakteristische Eigenfluoreszenz ist ein leuchtendes Weiß.

Unter dem Stereomikroskop werden weitere Details der Übermalung eindeutig sichtbar. An Athenas Hand (Abb. 26 a) sind unterhalb der Übermalung die originalen Ritzungen zu erkennen, das Auge des hinteren Pferdes ist im pastosen Auftrag nachgemalt (Abb. 26 b).

4.2 Attisch schwarzfigurige Halsamphora

Bei einer weiteren Halsamphora (Abb. 27)[42], sie stammt ebenfalls aus der Sammlung Lamberg, ist bei Ergänzung und Übermalung etwas großzügiger vorgegangen worden. Kleinere Kittungen am Bauch der Amphora sind von innen zu sehen, die Oberfläche der Außenseite ist aber flächig übermalt. Der Fuß ist geklebt und ebenfalls retuschiert. Ein Pferdebein ist vermutlich bei der Übermalung ‚verschwunden‘.

---

37 Institut für Naturwissenschaften und Technologie in der Kunst, M. Schreiner; ERESCO 200 MF der Firma Seifert in Ahrensburg.

38 Die geröntgten Objekte sind beispielsweise später für eine Thermolumineszenzdatierung nicht mehr geeignet; H. Mommsen, Archäometrie. Neuere naturwissenschaftliche Methoden und Erfolge in der Archäologie (Stuttgart 1986) 243–262; S. Buys – V. Oakley, Conservation and Restoration of Ceramics (Oxford 1993) 52: „If the object has been subjected to excessive heating at some point during its lifetime, or exposed to X-rays, the result of thermoluminescence may be unreliable”; N. Balcar – B. Bourgeois – Y. Vandenberghe, Interroger les traces. Étude scientfique d’anciennnes restaurations de vases, in: Bourgeois, restauration, 71–80, bes. 74 f. Vgl. R. Fürhacker – S. Karl in diesem Band, bes. Abb. 14.

39 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 715; ABV 606.9; CVA-Online 306080.

40 Die Sammlung des Grafen Anton von Lamberg-Sprinzenstein wurde 1815 erworben; Bernhard-Walcher, Alltag, 12 f.

41 s. Anm. 45.

42 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679; ABV 602.38; CVA-Online 306027.

Abb. 23: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 715, Seite A (© KHM)

Abb. 24: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 715, Seite A. Aufnahme unter UV-Licht bei 254 nm (© KHM)

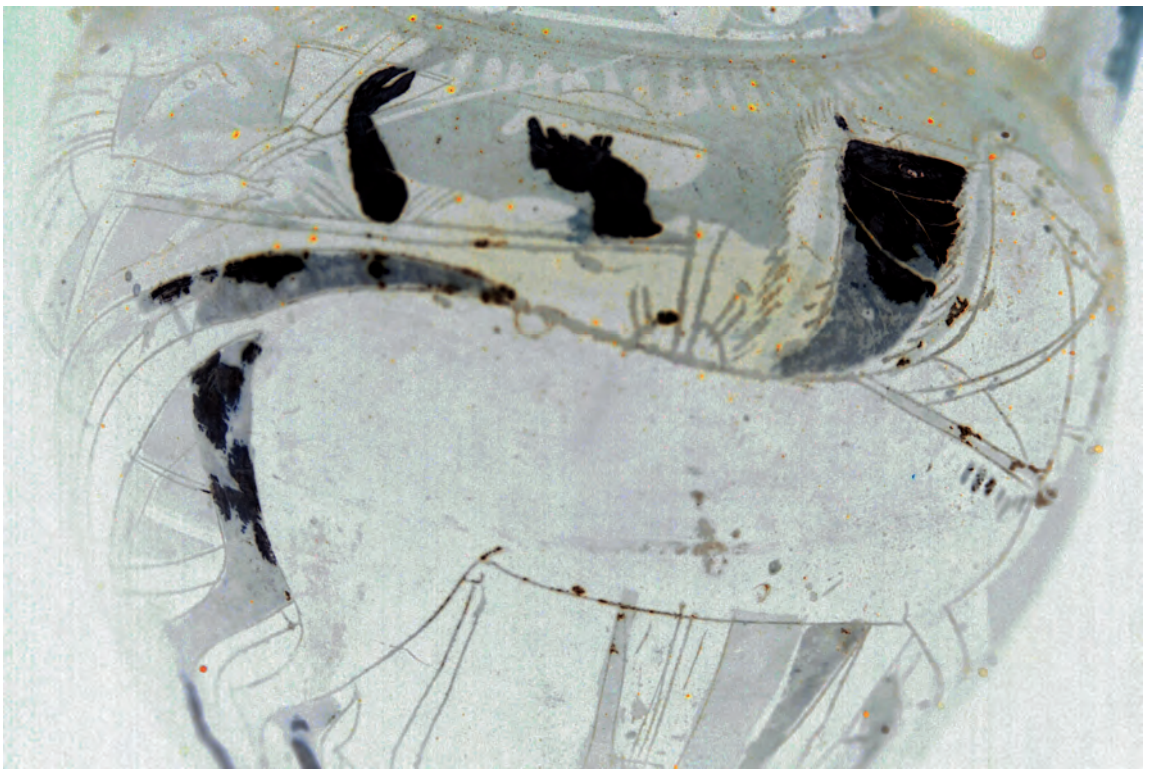


Abb. 25: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 715, Seite A, Ausschnitt. Invertierte UV-Ausnahme (© KHM)

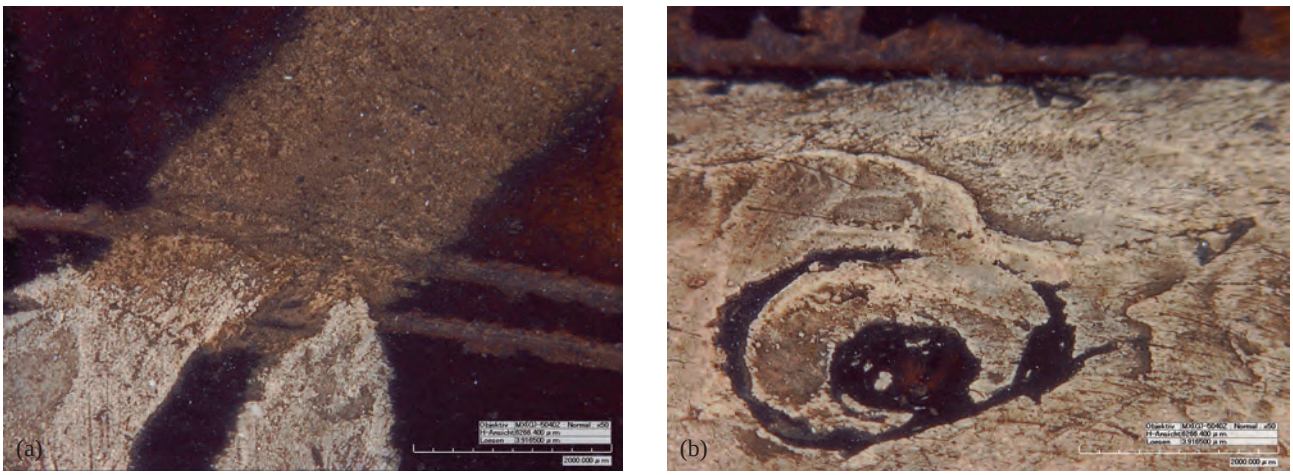


Abb. 26: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 715, Seite A. (a) Ausschnitt: Hand der hinter dem Pferdegespann dargestellten Figur (Athena); Mikroskopaufnahme; (b) Ausschnitt: Auge des hinteren Pferdes; Mikroskopaufnahme (© KHM)

Abb. 27: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679. (a) Seite A: Viergespann; (b) Seite B: Dionysos und Mänade (© KHM)

Bei der perfekten historischen Restaurierarbeit, sie dürfte über 220 Jahre alt sein[43], ist die reguläre UV-Aufnahme nicht schlüssig zu interpretieren (Abb. 28 a). Die teilversinterte Oberfläche der Engobe erscheint im UV Licht immer schwarz, da sie nicht fluoresziert. Die rezent aufgetragene rote Farbe der Pferdemähne und des Saumzeugs (Abb. 29 a) ist gut zu erkennen. Sie erscheint vollkommen schwarz, weil sie auf der fluoreszierenden Farbschicht liegt; sie wurde zuletzt aufgetragen, ist also eine Ergänzung aus dem 19. oder 20. Jh. Die Figur und der Hintergrund fluoreszieren deutlich.

[43] Die 1815 angekaufte Vasensammlung wurde schon 1791 von C. Schütz aquarelliert; diese Ansicht wurde später (1813) fast unverändert durch A. de la Borde im Kupferstich wiedergegeben; Bernhard-Walcher, Alltag, 13.

Abb. 28: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679, Seite A. (a) Aufnahme unter UV-Licht bei 365 nm; (b) Invertierte und überarbeitete UV-Ausnahme (© KHM)

Deutlich sind die beiden Rottöne des Hintergrundes zu erkennen. Die intensiv leuchtende dürfte die Erstrestaurierung sein, während die gedämpft leuchtende wohl später aufgetragen worden ist. Möglicherweise handelt es sich um eine Restaurierung, die gleichzeitig mit dem Rot der Pferdemähnen erfolgte.

Auch am Hals der Amphora sind zwei Übermalungsschichten zu sehen. Am Übergang vom Hals zum Bauch sowie bei dem Zungendekor der Schulter sieht man unterhalb der schellack-haltigen Retusche (orange leuchtend) schwarze Flecken, die sicher Teil der originalen schwarzen, nicht fluoreszierenden Engobe sind. Die blau leuchtenden Linien in den Ritzungen könnten Bindemittelreste (z. B. Leimzugaben im Gips) sein, also teilweise nachgearbeitete Stellen. Das untere Drittel des Gefäßes weist kaum Retuschen auf.

In den am Computer nachbehandelten invertierten UV-Aufnahmen sind eindeutig zwei verschiedene rote Retuschen (im Bild blau) zu unterscheiden (Abb. 28 b und 29 b). Eine dritte Farbstruktur in Rot (in Abb. 28 b blau) kann man auf der Seite A rechts erkennen (Abb. 28 b). Diese im Bild grobkörnige Fläche weist klare Umrisse auf, man könnte sie als Kittung interpretieren. Ein Vergleich mit der Innenseite, an der Gipskittungen teilweise sichtbar sind, bestätigt diese Annahme.

Erste Versuche mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) liefern folgendes Ergebnis (Abb. 30)[44]: Die Übermalung der weißen Kleidung (Messpunkt: MP4) zeigt Blei (Bleiweiß) als eindeutig nicht im keramischen Grundmaterial (Unterseite, MP5) nachgewiesenes Element. Aus publizierten Messungen[45] sowie weiterführenden Studien[46] an originalen weißen Bereichen anderer Objekte im Kunsthistorischen Museum kann geschlossen werden, dass auch hier die originale weiße Farbe kein Blei enthalten hat (Abb. 31 a).

---

[44] Auswertung: KHM, B. Frühmann.

[45] B. Bourgeois, La laboratoire de l'antique. Luigi Brocchi, restaurateur de vases au musée Napoleon, in: Bourgeois, restauration, 60–70, bes. 66: rezente Bleiweißretuschen (unter UV gelblich weiß leuchtend) über einem originalen weißen Tondekor (nicht leuchtend).

[46] Eine Referenzserie zur Untersuchung der originalen weißen und roten Pigmente an attischer Keramik bestätigt diese Vermutung; s. Kap. 5.

Abb. 29: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679. (a) Seite A, Ausschnitt: Aufnahme unter UV-Licht bei 365 nm; (b) Seite A, Ausschnitt: invertierte und überarbeitete UV-Ausnahme (© KHM)

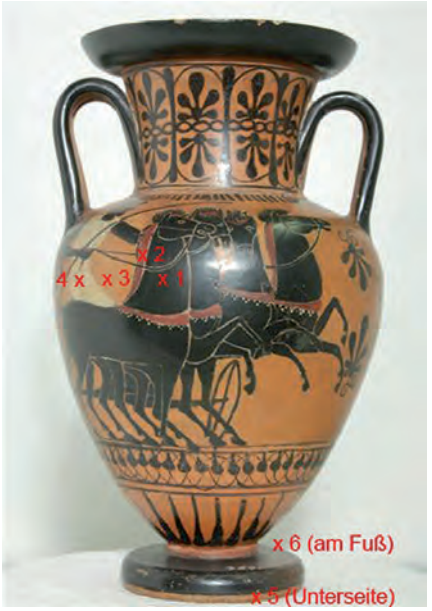


Abb. 30: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679. Kartierung der Messpunkte der RFA (© KHM)

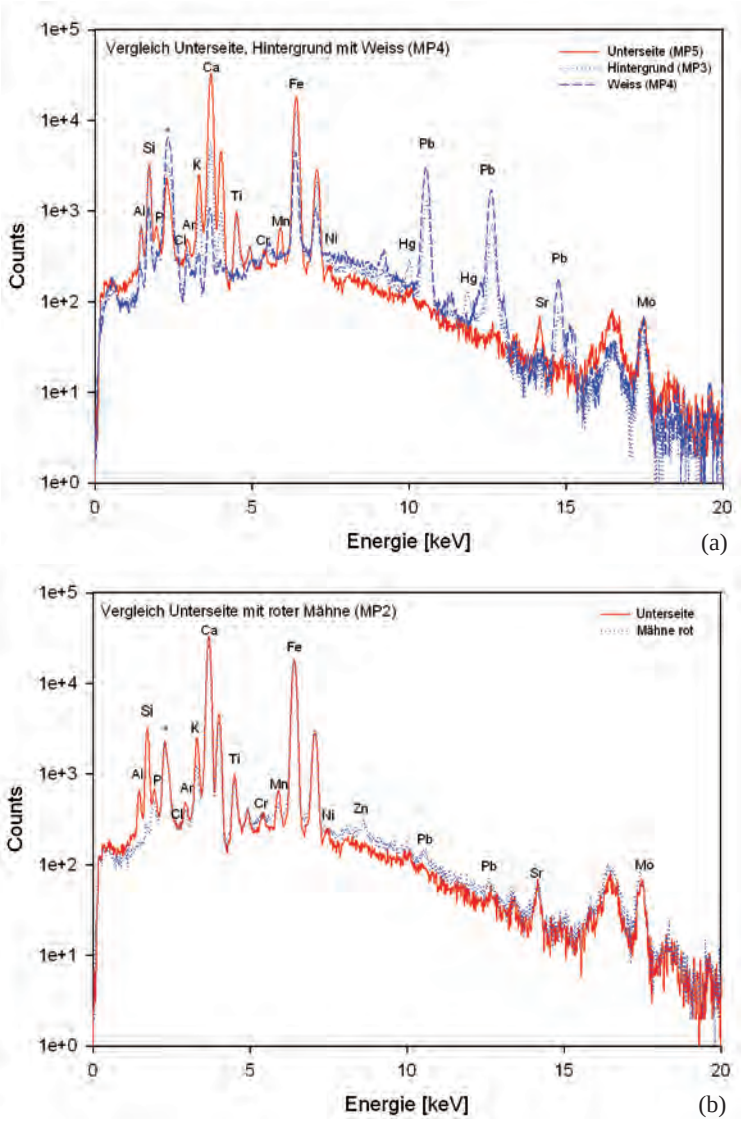


Abb. 31: Messergebnisse der RFA auf der attisch schwarzfigurigen Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679. (a) Vergleich MP3, MP4 und MP5; (b) Vergleich MP2 und MP5 (© KHM)

Messpunkt (MP)	Beschreibung	Nachgewiesene Elemente	Unterschied zu MP5*
1	Schwarzes Pigment im Pferd	Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Pb	
2	Rote Mähne	Si, P, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, Sr, Pb, Hg?	Zn
3	Rötlich/brauner Hintergrund	Al, Si, P, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Pb, Hg	Pb, Hg
4	Weiße Kleidung	Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Pb	Pb
5	Unterseite (reiner Ton)	Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr, Pb	
6	Schwarzes Pigment am Fuß der Amphora	Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb	Cu, Zn

* Obwohl der Fuß geklebt ist, ist seine Zugehörigkeit sehr wahrscheinlich.

Tabelle 1: Auswertung der RFA-Spektren (alle Spektren enthalten weiters ein Signal von Ar aus der Luft und von Mo aus der Röntgenröhre).

Die Auswertung des dunkleren der beiden rötlichbraunen Hintergründe (MP3) gibt Blei und Quecksilber in deutlich erhöhter Konzentration an, es könnte sich daher um mit Bleiweiß ausgemischtes Zinnober handeln.

Für die Pferde, ebenfalls sicher übermalt, wurden Materialien verwendet, die nur sehr gering fluoreszieren, sie sind leider auch für die RFA (ev. Kohlenstoff) nicht detektierbar.

Der geklebte Fuß könnte vom originalen Gefäß stammen. Seine Oberfläche (MP6) ist mit einem schwarzen Harzgemisch bemalt, welches – wie die rote Pferdemähne (MP2) – Zink enthält und zusätzlich noch etwas Kupfer aufweist (Abb. 31 b).

Einzig das untere Viertel der Amphora ist weitgehend unretuschiert (Abb. 28 a). Nach den Erkenntnissen im UV-Licht werden gezielt noch weitere Messungen mit der RFA vorgenommen werden[47].

Auch in 20- (Abb. 32 a) und 50-facher vergrößerten Mikroskopaufnahmen des Kopfes auf Seite B (Abb. 32 c) sind deutlich Übermalungen und vor allem auch die Ausbrüche der Malschicht zu erkennen, ebenso in der 20-fachen Vergrößerung eines Ausschnittes der Seite A derselben Amphora (Abb. 33 a).

Aufnahmen der beschriebenen Bereiche im nahen Infrarotbereich (Abb. 32 b, 33 b und 34 b) liefern mögliche Anhaltspunkte zur Beschaffenheit der unterhalb der Übermalung liegenden Engobe. Die scharfen Kanten zwischen Grau und Weiß (im Bildhintergrund, Brust des Mannes) weisen eher auf Fehlstellen oder Brüche hin, als auf gesetzte Pinselstriche (diese müssten weich verlaufen, Abb. 34 b). Das ließe den Schluss zu, die Schäden der verwitterten, abgesprungenen Engobe (großflächige Fehlstellen sind von der Innenseite des Gefäßes her auszuschließen) ziehen sich über die Seiten A und B, waren daher auch der Grund für die großflächige Übermalung. Im Bildmosaik der Infrarotaufnahmen zeichnet sich ein ähnlicher Befund auf der gesamten Seite A der Amphora ab (Abb. 34 a). Durch die schwarze Retusche ist jedoch keine Strahlen-Durchdringung möglich.

Abb. 32: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679, Seite B, Detail. (a) Kopf des Dionysos, 20-fache Vergrößerung; (b) nahe IR-Aufnahme; (c) Auge des Dionysos, 50-fache Vergrößerung (© KHM)

[47] s. Kap. 5.

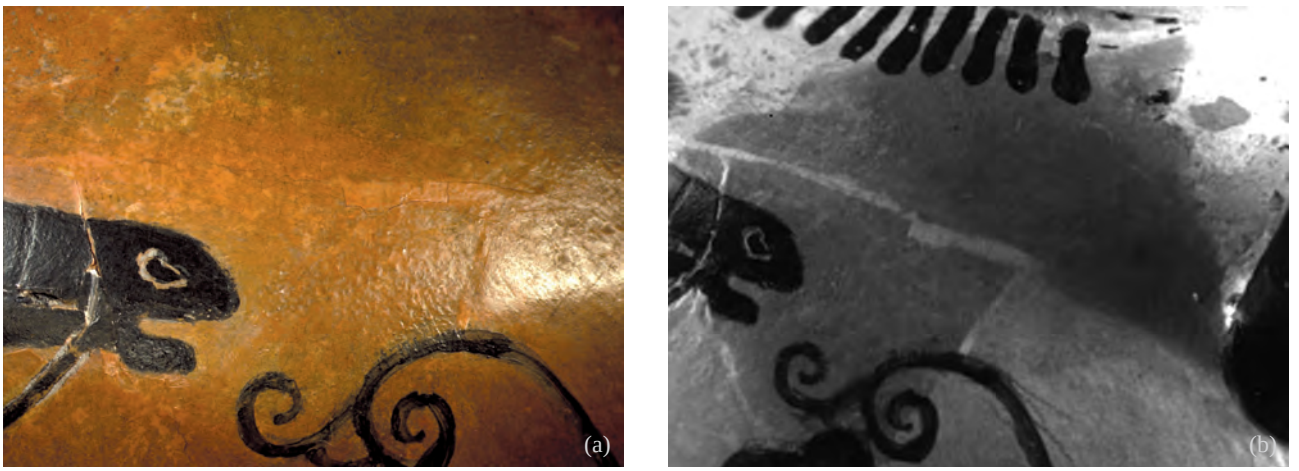


Abb. 33: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679, Seite A. (a) Detail, zwischen dem Kopf des hintersten Pferdes und dem Henkelansatz; (b) Detail, nahe IR-Aufnahme (© KHM)

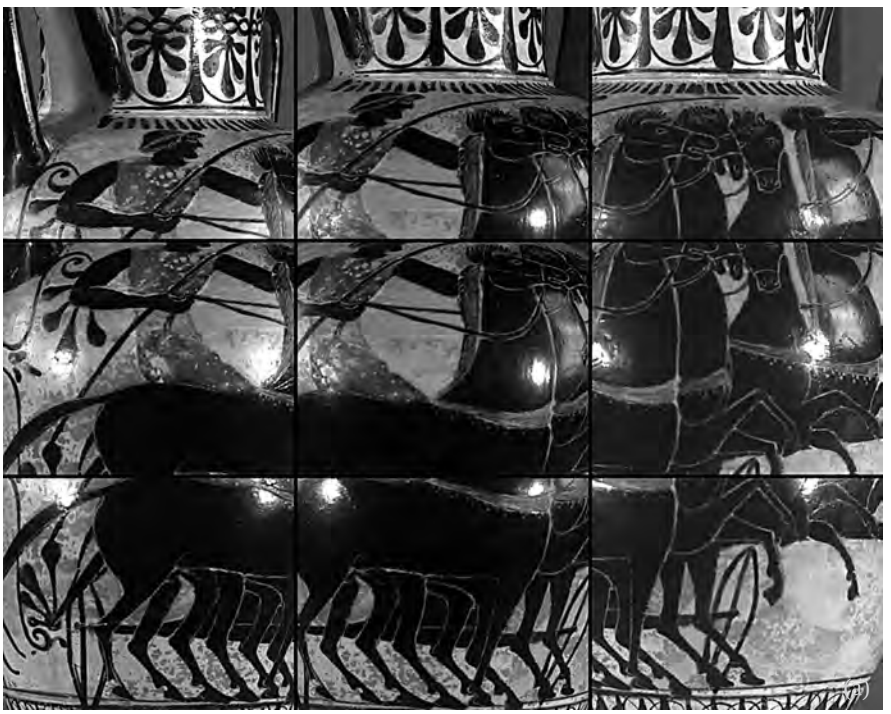


Abb. 34: Attisch schwarzfigurige Halsamphora Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 679, Seite A. (a) Zusammengesetztes IR-Bild; (b) Detail: Wagenlenker, nahe IR-Aufnahme (© KHM)

Abb. 35: Attisch rotfigurige Pelike Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 781, Seite A (© KHM)

Abb. 36: Attisch rotfigurige Pelike Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 781, Seite A. (a) Aufnahme unter UV-Licht bei 254 nm; (b) Invertierte und überarbeitete UV-Aufnahme (© KHM)

4.3 Attisch rotfigurige Pelike

Bei der fast vollständig übermalten, wie die beiden zuvor vorgestellten Halsamphoren ebenfalls aus der Sammlung Lamberg stammenden Pelike (Abb. 35)[48] sind Henkel und Rand ergänzt.

Die Frage, ob Ergänzungen im Keramikkörper vorliegen, ist ohne Röntgenaufnahme nicht zu beantworten. Die gesamte Oberfläche ist übermalt (Abb. 36 a). Die invertierte UV-Aufnahme (Abb. 36 b) zeigt deutlich die Pinselführung beim Firnisauftrag[49].

Unter dem Stereomikroskop kann man am Kopf der Figur eine Linie zwischen Ergänzung und Original ziehen (Abb. 37), genauso ist der originale Keramikkörper mit teilweise übermaltem Eierstabmotiv (Abb. 38 a) von einer rezent vollständig verkitteten und bemalten Stelle (Abb. 38 b), beide am Hals der Pelike, zu unterscheiden.

Eine materialwissenschaftliche Untersuchung des Firnisses[50] gibt Schellack als Hauptbestandteil an (im UV-Licht orange). Wie Untersuchungen an ähnlichen historischen Überzügen zeigen, waren auch Kopallack, Bienenwachs, mineralisches Wachs, Burgunderharz, Pinienharz, Mastix, Venezianer Terpentin, nicht näher bestimmbare Öle und Leinöl im Gebrauch[51].

---

48 Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 781; CVA Wien 2 Taf. 78, 1–2; CVA-Online 12066.

49 Als Firnis ist im technologisch richtigen Gebrauch ein organischer Überzug zu verstehen, s. Bauer et al., Leitfaden, 94.

50 Untersuchungen: KHM, V. Pitthard; die Bindemittelanalyse wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) durchgeführt. Für die GC-MS-Analysen wurde ein 6890N Gaschromatograph, verbunden mit einem 5973N Massenspektrometer – beide Fa. Agilent Technologies, USA – verwendet.

51 z. B. Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 699: Bienenwachs und Pinienharz (Kolophonium); Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 489: Venezianer Terpentin, Pinienharz, Mastix, mit Pigment verseiftes Öl; Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1774: mineralisches Wachs, Öl, Bienenwachs; Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3767: mineralisches Wachs, Bienenwachs, Öl; Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 253: Burgunderharz (Fichte), Bienenwachs, Öl; siehe auch Schlussbemerkungen, Kap. 5.

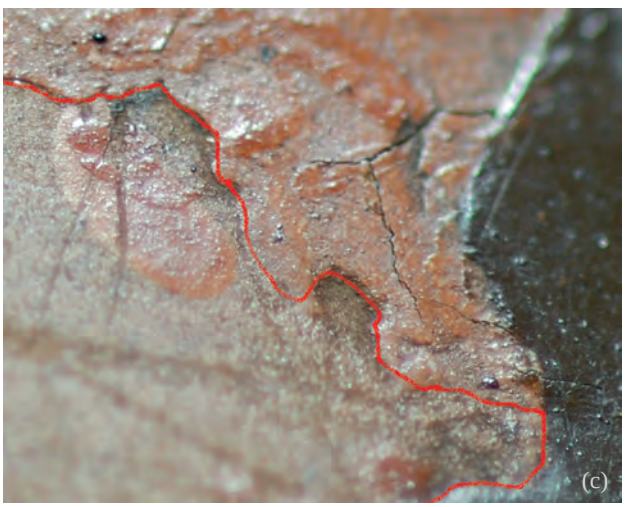


Abb. 37: Attisch rotfigurige Pelike Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 781, Seite A. (a–b) Kopfdetail mit Ergänzung; (c) Kopfdetail mit Ergänzung, Bereich von Auge und Nase (© KHM)

Abb. 38: Attisch rotfigurige Pelike Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 781, Seite A. (a) Eierstab im Detail, Originalzustand mit partieller Übermalung; (b) Eierstab im Detail, ergänzt (© KHM)

4.4 Rotfiguriger Askos

Beim vorliegenden Askos (Abb. 39)[52] zeigt sich das Problem von einer etwas anderen Seite. Der schwarzgebrannte Tonschlicker dieses heute rotfigurig erscheinenden Gefäßes wirkt ungleichmäßig aufgetragen, das Motiv darf zumindest als ungewöhnlich bezeichnet werden. Henkel und Ausguss scheinen ergänzt; durch eine UV-Aufnahme im kurzwelligen Bereich (254 nm) (Abb. 40 a) kann diese Ergänzung bestätigt werden.

Der Bereich um die Henkelansätze, der Henkel und Ausguss sind ergänzt und neuzeitlich übermalt, sie heben sich vollkommen schwarz vom Ergänzungsmaterial ab. Der Keramikkörper fluoresziert rötlich-orange, er dürfte mit einem Harz (Schellack) gefirnisst worden sein. Der die schwarze Engobe imitierende Überzug leuchtet milchig weiß und ist daher vermutlich ein anderes pflanzliches Harz[53].

Man kann daher annehmen, dass ein unvollständiger Gefäßköper eines undekorierten Askos mit Ergänzungen versehen und schwarz bemalt wurde, um rotfigurige Ware zu imitieren. Im Laufe der Zeit lösten sich Henkel und Ausguss und eine neue Ergänzung wurde angefertigt und passend retuschiert.

Im invertierten UV-Bild (Abb. 40 b) wird die Pinselführung der schwarzen Retusche in Dichte und Ausmaß deutlich, sogar ein Fingerabdruck ist auf der Seite B[54] zu erkennen.

Bei der Suche nach weiteren Spuren unter dem Stereomikroskop fand sich ein Fleck (Abb. 41 b), welcher durch eine verronnene Linie der schwarzen Farbe entstanden ist (Abb. 41 a). Ein Spritzer Lösungsmittel wäre als Ursache dieser Beschädigung durchaus vorstellbar, oder möglicherweise als Echtheitskontrolle[55] auch beabsichtigt, ein Brandfehler ist aber sicher auszuschließen.

Die letzten beiden, nun folgenden Beispiele zeigen die Aussagekraft von Röntgenaufnahmen.

Abb. 39: Askos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3259 (© KHM)

[52] Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3259. Dieser Askos wurde wegen des vollständig modernen Dekors von der Besprechung gemeinsam mit den attisch rotfigurigen Askoi in CVA Wien 5 ausgeschieden.

[53] Das Resultat der Analysen des milchig-gelben Überzugs mittels Gaschromatographie zeigt die Verwendung eines pflanzlichen Harzes, wie Kolophonium, Kopallack aus Manila, Afrika oder Brasilien oder Sandarak; Balcar et al. a. O. (Anm. 38) 74–78.

[54] Die Benennung der Seiten des Askos mit A und B ist nach der Festlegung in CVA Wien 5, S. 13, gewählt.

[55] Freundlicher Hinweis von Stephan Karl.

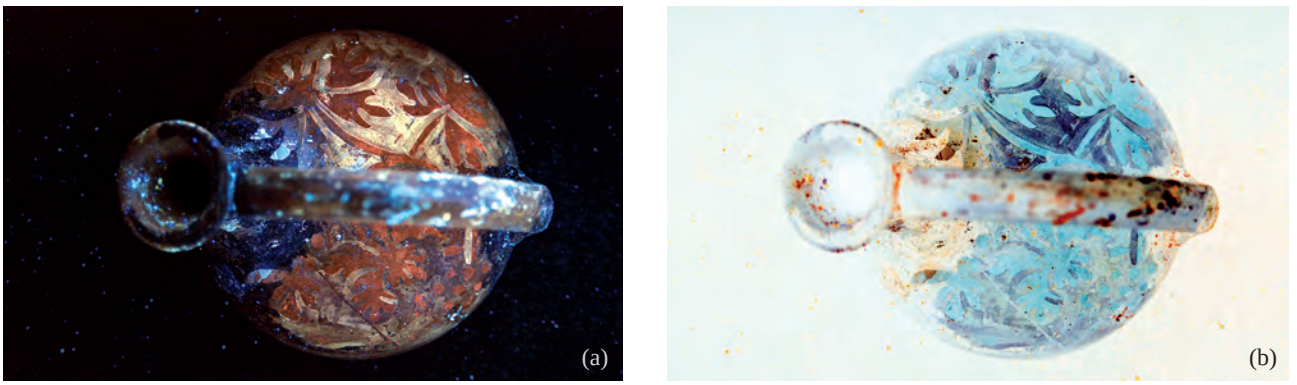


Abb. 40: Askos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3259. (a) Aufnahme unter UV-Licht bei 254 nm; (b) Invertierte und überarbeitete UV-Aufnahme (© KHM)

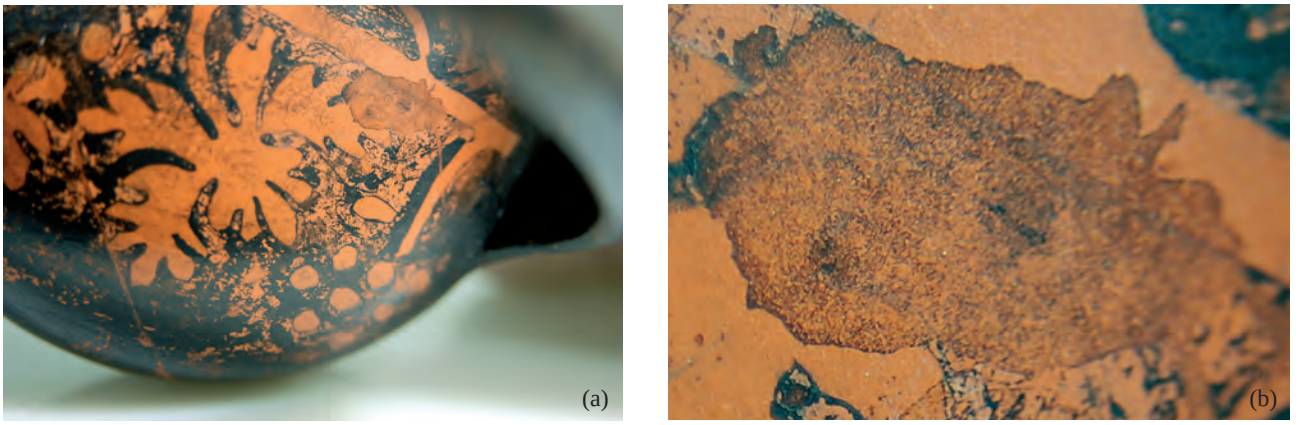


Abb. 41: Askos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 3259. (a) Detail der „rotfigurigen“ Oberseite; (b) Zerronnener Farbauftrag auf der Oberseite (© KHM)

4.5 Weißgrundige Lekythos

Eine weißgrundige Lekythos (Abb. 42 a)[56] sollte zwecks Verifizierung eines möglichen Einsatzbehälters, aber auch um dessen Form erkennen und möglicherweise einem Töpfer zuweisen zu können, radiografisch untersucht werden. Die Form des Einsatzes ist nun am Röntgenbild deutlich zu sehen[57], unerwartet waren die Armierung der Halsklebung mit einem Metallrohr, die beim Blick in das Gefäßinnere nicht erkennbar war, und eine zusätzliche Verstrebung am Henkel (Abb. 42 b).

4.6 Kopfgefäß

Als letztes Beispiel sei ein Kopfgefäß (Abb. 43 und 44 a)[58] vorgestellt, welches vermutlich als historisches Pasticcio zu bezeichnen ist. Eine sichtbare Klebung mit Schellack sowie Kittungen am Übergang vom Kopfteil zum Gefäßkörper lassen vermuten, dass es sich um zwei verschiedene Teile handelt.

Im Röntgenbild (Abb. 44 b und 45 b) bestätigt sich, dass ein mehrfach gebrochener Gesichts- und Haarteil in die Grundform einer Oinochoe eingesetzt wurde[59], deren Bildfeld man zuvor ausgeschnitten hatte. Der

[56] Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1873; J. H. Oakley, The Achilles Painter (Mainz 1997) Taf. 115 c–d; CVA Wien 5 Taf. 67; CVA-Online 19791.

[57] J. Oakley, Picturing Death in Classical Athens (Cambridge 2004) 8 Abb. 2. Zur Herstellung der Einsatzbehälter s. T. Schreiber, Athenian Vase Construction: A Potter’s Analysis (Malibu 1998) 9–11 mit Abb. 2, 1–3; 178–183 mit Abb. 20. 26–37.

[58] R. v. Schneider, Oinochoe aus Eretria, ÖJh 1, 1898, 143–148, bes. Abb. 45 Taf. IV; CVA Wien 5 Taf. 29.

[59] Die Form des Gefäßkörpers entspricht einer Oinochoe Form 2; deshalb ist auch der gesamte Henkelbereich mit schwarzgebranntem Schlicker überzogen, während die von J. Beazley kategorisierten Kopfgefäße den Nacken in der roten Hintergrundfarbe belassen;

Abb. 42: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1873. (a) Ansicht; (b) Röntgenaufnahme (© KHM)

geradlinig verlaufende Übergang zwischen Gesicht und Gefäßkörper, ohne wulstige Übergänge – wie es für Verbindungen von zwei separat geformten Teilen, die vor dem Brand verbunden werden, charakteristisch ist –, spricht für eine Verbindung der beiden Elemente nach dem Brand.

In einer UV-Aufnahme im langwelligen Bereich (Abb. 45 a) lassen sich die Klebung mit Schellack (orange) und eine Schellackretusche am Haaransatz (Abb. 46 a) und Oberkopf der rechten Seite erkennen. Der Haarkranz der rechten oberen Seite ist an vielen kleinen Bruchstellen geklebt und verkittet (Abb. 46 b).

Die linke Gesichtshälfte wurde stark gereinigt, ein milchig grauer Schleier auf Stellen des Halses, der Bruchstelle am Scheitel sowie am Haarkranz zu beiden Seiten könnte auf einen Leimüberzug deuten.

Auf dem blauen Pigment (Ägyptischblau)[60] (Abb. 46 b) befinden sich Reste von weißem Material, welches nach Salzkristallen aussieht. Eine Untersuchung mit dem Rasterelektronenmikroskop[61] ergab jedoch Kreide mit Ockerverunreinigungen. Da aber Ägyptischblau zu den ältesten, künstlich hergestellten Pigmenten zählt und bis in die Völkerwanderungszeit häufig verwendet wurde, ist der eingesetzte Gesichtsteil mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auch antiken Ursprungs. Die Auflage aus Kreide könnte hingegen eine rezente Vortäuschung einer Schmutz- oder künstlichen Alterungsschicht vermuten lassen.

J. D. Beazley, Charinos, JHS 49, 1929, 38–78.

60 Mikroskopuntersuchung F. Mairinger, 9.3.2011: Ägyptischblau.

61 Untersuchung: KHM, M. Grießer; Philips XL ESEM, Environmental scanning electron microscope.

Abb. 43: Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1872. (a) Vorderseite; (b) Henkelseite (© KHM)

Abb. 44: Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1872. (a) Seitenansicht; (b) Röntgenaufnahme in der Seitenansicht (© KHM)

Abb. 45: Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1872. (a) Vorderseite unter UV-Licht bei 354 nm; (b) Röntgenaufnahme in der Vorderansicht (© KHM)

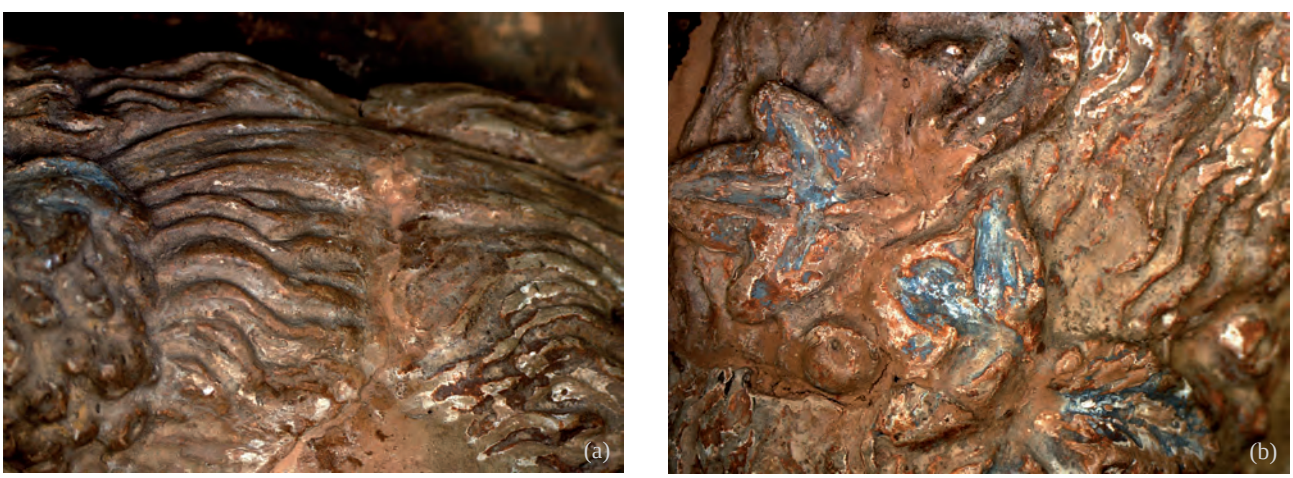


Abb. 46: Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, ANSA IV 1872. (a) Detail, Scheitel; Mikroskopaufnahme bei 6-facher Vergrößerung; (b) Detail, Haar mit Blattkranz; Mikroskopaufnahme bei 6-facher Vergrößerung (© KHM)

5 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Alle Untersuchungen haben gezeigt, dass Erfahrung und Kompetenz von Seiten aller beteiligten Fachrichtungen benötigt werden, um gute Ergebnisse zu erhalten. Auch ist die Anwendung mehrerer Methoden an einem Objekt unerlässlich.

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Pigmente im Malschlicker (vor allem rot und weiß) auf der attischen Keramik werden fortgesetzt. Zur Fragestellung, ob es möglich ist, über die Bestimmung der verwendeten Rot-, Schwarz- und Weißpigmente an attisch schwarz- und rotfiguriger Keramik auf rezente Bemalung zu schließen, wurden für eine Kleinserie von RFA-Untersuchungen, 13 Gefäße (drei übermalte und zehn Referenzstücke), ausgewählt. Im Zuge dieser Arbeit werden vielleicht auch die Verwendung unterschiedlicher Grundierungen auf den weißgrundigen Lekythen zeitlich näher einzugrenzen[62] und technologische Herangehensweisen zu differenzieren sein.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten wird auf der systematischen Erforschung von Restauriermaterialien liegen. Eingedenk des Interesses an der Aufarbeitung historischer Restaurierungen an attischer Keramik wäre es wünschenswert, sich weiterhin der optischen und analytischen Klassifizierung von Klebungs-, Ergänzungs- und Malmaterialien zu widmen. Eine diesbezüglich angelegte Tabelle umfasst bereits über 100 Objekte. Daraus sollten sich nun unter Zuhilfenahme von Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) und Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA) Aussagen zu Vorlieben und Moden hinsichtlich der verwendeten Materialien treffen lassen, z. B. zu Rezepteigenheiten der Firnisse. Entsprechende verallgemeinernde Folgerungen sind wohl erst ab einer repräsentativen Anzahl von Objekten (200 und mehr) möglich. Eine zeitliche Zuweisung zu bestimmten Orten oder gar Personen wäre hilfreich und wünschenswert. Sollte das nicht möglicch sein, so bietet eine systematische Dokumentation aber zumindest eine Quelle, aus welcher die weitere Forschung schöpfen kann.

---

[62] Eine grundsätzliche Veränderung der Grundierungsfarbe von gelblichem zu reinerem Weiß, die vermutlich durch eine andersartige chemische Zusammensetzung bedingt ist, wurde bei der weißgrundigen Keramik für die Mitte des 5. Jhs. v. Chr. festgestellt. Die naturwissenschaftliche Überprüfung dieses Phänomens hat jedoch erst begonnen; Koch- Brinkmann, Bilder, 21; T. Friedrich, Über die Charakterisierung weißgrundiger Lekythen. Ein Beitrag zur Schnittstelle Archäologie – Restaurierung – Materialkunde, Restauro 115/3, 2009, 172–179; I. Hodgson – A. Kieburg in: TonArt, 46.

BERÜHRUNGSFREIE UND NICHT INVASIVE UNTERSUCHUNG ANTIKER KERAMIK MITTELS INDUSTRIELLER RÖNTGEN-COMPUTERTOMOGRAFIE

Stephan Karl, Daniel Jungblut, Jördis Rosc
mit einem Beitrag von Rudolf Erlach

1 EINLEITUNG

1.1 Röntgenografie

Bereits bald nach Erforschung der nach ihrem Entdecker Wilhelm Conrad Röntgen benannten X-Strahlen im Jahre 1895 und noch vor der ersten medizinischen Anwendung wurde die Röntgenografie bei Untersuchungen ägyptischer Mumien eingesetzt[1]. Den Körper und seine inneren Strukturen berührungslos und ohne materielle Eingriffe so transparent zu gestalten, dass sie weiteren Analysen zugänglich gemacht werden, ist ein äußerst effizientes und wirkungsvolles Verfahren, das bis heute sukzessive durch Fachleute in den Disziplinen Maschinentechnik, Physik, Mathematik und Radiologie sowohl für medizinische als auch industrielle Anwendungen weiterentwickelt wurde und wird.

Die Röntgenografie wie auch die Röntgen-Computertomografie haben als Methode innerhalb der *non invasive archaeology* seit Anbeginn eine besondere Bedeutung für Zustandsanalysen archäologischer und kunsthistorischer Objekte[2]. Die besondere Ästhetik der Röntgenbilder ist neuerdings auch von Fotokünstlern entdeckt worden[3]. Gegenwärtig wird der letzte Stand dieser technischen Entwicklung durch sekundenschnelle Spiralcomputertomografen in der medizinischen Diagnostik sowie durch hochauflösende Kegelstrahlcomputertomografen für die Materialprüfung in der Industrie repräsentiert.

Bereits seit den 1930er-Jahren wird die Röntgenografie in der archäologischen Keramikforschung zur Differenzierung der verwendeten Keramikarten und zur Rekonstruktion des Herstellungsprozesses eingesetzt[4]. Für technologische Untersuchungen von Keramikgefäßen aus dem griechischen Altertum behalf sich unseres Wissens erstmals Joseph Veach Noble in der Vasenforschung der klassischen Archäologie mit Röntgenaufnahmen, die ihm den inneren Aufbau einer attisch-weißgrundigen Lekythos des Inschriften-Malers offenbarten[5].

---

1 T. Böni – F. J. Rühli – R. K. Chhem, History of paleoradiology: early published literature, 1896–1921, Canadian Association of Radiologists Journal 55/4, 2004, 203–210; vgl. C. Keller, Abbilder des Unsichtbaren, in: C. Keller (Hrsg.), Fotografie und das Unsichtbare 1840–1900, Ausstellungskatalog Albertina Wien, San Francisco Museum of Modern Art (Wien 2009) 19–35. Auch am UMJ wurden ägyptische Mumien mit dieser Methode zu einem sehr frühen Zeitpunkt durchleuchtet; s. dazu JJb 94, 1905, 39: „Herrn Dr. Purkert ist die Abteilung zu besonderem Danke verpflichtet; er bereicherte sie mit photographischen Röntgen-Aufnahmen der Kindermumie, [...]“; s. weiters JJb 95, 1906, 35 f.

2 Ein Leitfaden zu Durchleuchtungen von archäologischen Funden wurde im Jahre 1968 herausgegeben: J. Driehaus, Archäologische Radiographie, Archeo-Physika 4 (Düsseldorf 1968).

3 N. Veasey, X-Ray. Die Schönheit des Verborgenen, Collection Rolf Heyne (München 2010).

4 Zur Geschichte s. Karl, Durchleuchtungen, 99–101. Grundlegend zur Methode und zu den Anwendungsmöglichkeiten in der Keramikanalyse: C. Carr, Advances in Ceramic Radiography and Analysis: Applications and Potentials, JASc 17, 1990, 13–34; C. Carr – E. B. Riddick, Advances in Ceramic Radiography and Analysis: Laboratory Methods, JASc 17, 1990, 35–66; Middleton, Ceramics; Berg, pots. – Zu speziellen Einsätzen: D. P. Braun, Radiographic Analysis of Temper in Ceramic Vessels: Goals and Initial Methods, JFieldA 9, 1982, 183–192; G. V. Foster, Identification of Inclusions in Ceramic Artifacts by Xeroradiography, JFieldA 12, 1985, 373–376; M. A. Courty – V. Roux, Identification of Wheel Throwing on the basis of Ceramic Surface Features and Microfabrics, JASc 22, 1995, 17–50; A. Pierret – C. J. Moran – L.-M. Bresson, Calibration and Visualization of Wall-Thickness and Porosity Distributions of Ceramics Using X-radiography and Image Processing, JASc 23/3, 1996, 419–428.

5 J. V. Noble, The Techniques of Painted Attic Pottery (New York 1965) 24 Abb. 149–150. Wesentlich später erschien die Studie: A. Leonard – M. Hughes – A. Middleton – L. Schofield, The making of Aegean stirrup jars: technique, tradition and trade, BSA 88, 1993, 105–123.

Der Umstieg auf das digitale Abbildungsverfahren bei radiografischen Aufnahmen sowie verbesserte Bildauswertungen mit entsprechender Software schufen im letzten Jahrzehnt neue Visualisierungsmethoden im Rahmen der archäologischen Keramikanalyse, die sich derzeit in Projekten zur Identifizierung von signifikanten Keramiktexturen und zur Feststellung handwerklicher Techniken in verschiedenen Töpferwerkstätten von Etrurien bis Kreta niederschlägt[6]. Ein Nachteil bei röntgenografischen Verfahren bleibt jedoch bestehen: Aufgrund der Durchleuchtung des gesamten Objektes und seiner zweidimensionalen Darstellung kommt es zu Überschneidungen und Unschärfen der inneren Strukturen, die im Nachhinein zumeist schwierig zu differenzieren und zu beurteilen sind.

1.2 Medizinische Computertomografie

Mit der Computertomografie (CT) wurde durch Allan McLeod Cormack und Godfrey Newbold Hounsfield im Jahre 1972 ein mathematisches schnittbildgebendes Verfahren entwickelt, das aus einer Vielzahl fächerförmig gewonnener Röntgenaufnahmen ein Summationsbild erstellt und daraus ein dreidimensionales Tomogramm generiert. Damit konnten nun Schnitte mit einer bestimmten Stärke virtuell an beliebiger Stelle durch das Objekt gelegt werden.

Die CT ist eine Methode, die für die archäologische Dokumentation von Gefäßen aber auch anderen Objekten geradezu prädestiniert ist. Dennoch setzt in der Geschichte der Keramikforschung die Nutzung der CT für die Dokumentation und Visualisierung von Gefäßformen relativ spät ein.

Die frühesten bekannten Untersuchungen stellen *en bloc* Bergungen von Grabgefäßen dar, bei denen es im Zuge restauratorischer Maßnahmen zu einer Erstdiagnose mit Hilfe der CT kam (Abb. 1)[7]. Die damit zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse zeigten relativ bald, „that the standard medical Computed Tomography (CT) can be a very practical and powerful diagnostic tool for the study of ceramic and clay archaeological artifacts[8]“.

Seit der Mitte der 1990er-Jahre werden griechische Vasen in einem größeren Umfang im Allard Pierson Museum in Amsterdam, anfänglich in Pilotstudien, später systematisch im Rahmen von Publikationsprojekten des Corpus Vasorum Antiquorum (CVA), mittels CT untersucht[9]. Ziel dieser Untersuchung in Amsterdam

---

6 R. D'Asti – M. Vidale, Un contributo alla conoscenza delle tecniche di manifattura, in: A. Naso (Hrsg.), Appunti sul bucchero. Atti delle giornate di studio, Archeologia – Atti di Convegni e Seminari (Udine 2004) 293–305; J. Lang – A. Middleton – J. Ambers – T. Higgins, Radiographic images, in: J. Lang – A. Middleton (Hrsg.), Radiography of Cultural Material (Burlington 2005) 20–48; Greene – Hartley, ceramics; Berg, pots; vgl. auch I. Berg, A comparative look at the use of the potters's wheel in Bronze Age Greece, in: Y. Kazazi (Hrsg.), 2η Διεθνές συνέδριο αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας Πρακτικά. 2nd International Conference on Ancient Greek technology. Proc. Athens 17–21 October 2005 (Athen 2006) 189–194; I. Berg, X-radiography of Knossian Bronze Age vessels: assessing our knowledge of primary forming techniques, BSA 104, 2009, 137–173. Zumeist stehen bei radiologischen Untersuchungen aber Metallobjekte im Mittelpunkt; so wurden anlässlich des Kongresses „All may be revealed – X-radiography and archaeological artefacts“ im Museum of London im Jahre 2003 Richtlinien dazu herausgegeben: V. Fell – Q. Mould – R. White, Guidelines on the X-radiography of Archaeological Metalwork, English Heritage Publications (Swindon 2006).

7 Die u. E. frühesten publizierten CT-Aufnahmen archäologischer, bes. keramischer Gegenstände Österreichs sind: B. Hebert, Zur Computertomographie-Untersuchung archäologischer Funde, AÖ 5/1, 1994, 36–38; B. Hebert, Computertomographie-Untersuchungen an Gräberfunden vom Frauenberg, Sprechende Steine 8, 1994, 1–3. Die Betreuung der Analysen erfolgte durch Robert Fürhacker; die Durchführung ermöglichte Gert Stampfel, CT-Institut Leoben. Zu weiteren frühen Untersuchungen s. T. Anderson – C. Fell, Analysis of Roman Cremation Vessels by Computerized Tomography, JASc 22, 1995, 609–617; B. Hering, Die Untersuchung von Sammlungsgegenständen mit Hilfe der Computertomographie – Fallbeispiele, in: W. Bock – C.-O. Fischer – J. Lexow – E. Mundry – G. Nardoni – J. Riederer – G. Schickert (Hrsg.), 4. Internationale Konferenz. Zerstörungsfreie Untersuchungen an Kunst- und Kulturgütern. 4th International Conference on Non-Destructive Testing of Works of Art, Berlin 3.–8. Oktober 1994, DGZfP-Berichtsband 45 (Berlin 1994) 50–59.

8 N. Applbaum – Y. H. Applbaum, The Use of Medical Computed Tomography (CT) Imaging in the Study of Ceramic and Clay Archaeological Artifacts from the Ancient Near East, in: M. Uda – G. Demortier – I. Nakai (Hrsg.), X-rays for Archaeology (Dordrecht 2005) 231–245, bes. 243. Vgl. zu Vorgängerprojekten ebenda 232 f. Von jüngeren CT-Untersuchungen ist hinsichtlich der Visualisierung eine Studie zu drei ausgewählten Objekten der ehem. Parlasca-Sammlung (heute Antikensammlung der Universität Erlangen) besonders erwähnenswert: M. Meister, Interaktive Visualisierungstechniken in interdisziplinären Anwendungsbereichen (techn. Diss. Universität Erlangen 2008) 19–32 <http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2008/904/pdf/Promotion> (18.3.2011); darunter das Pygmäen-Rhyton des Sotades-Malers; CVA-Online 209480.

9 R. J. Jansen – H. F. W. Koens, Computer Tomography. A Tool in the Study of Ancient Ceramics, in: P. Heesen, The J. L. Theodor Collection of Attic Black-Figure Vases, Allard Pierson series 10 (Amsterdam 1996) 199–201; Van de Put, Use; Jansen, Scenes.

war das Aufzeigen der technischen Möglichkeit einer medizinischen CT und ihrer Anwendung im archäologischen Bereich. Mit dieser Technik können in wesentlich kürzerer Zeit Profilschnitte durch das Gefäß gelegt werden, die bei geschlossenen Gefäßen mit enger Mündung im Gegensatz zur herkömmlichen archäologischen Zeichnung auch die Innenkontur der Gefäßwandung mit all ihren Unregelmäßigkeiten exakt erfassen und darstellen. Allein diese akkurate Abbildung der Gefäßwandung ermöglicht es bereits, konkrete Aussagen zum antiken Herstellungsprozess abzuleiten. Darüber hinaus werden auch sämtliche, im Vergleich zur Keramik unterschiedlich dichte Ergänzungsmaterialien sichtbar, die dem Objekt im Zuge historischer Reparaturen bzw. Restaurierungen zugefügt wurden (Abb. 2).

Obwohl der Schwerpunkt der CT-Anwendung in Amsterdam auf der möglichst exakten Darstellung des Gefäßprofiles für weitere Formanalysen lag, geht ein bemerkenswerter methodischer Ansatz auf diese Projektgruppe zurück, in der versucht wurde, die Grauwerte, die sog. Hounsfield Units, eines CT-Bildes für die Differenzierung unterschiedlicher Keramikarten statistisch-vergleichend auszuwerten[10]. Die Methode basiert darauf, dass Röntgenstrahlen, die Keramikarten mit einer unterschiedlichen chemischen bzw. mineralogischen Zusammensetzung durchdringen, von diesen Materialen auch unterschiedlich absorbiert und in der Folge dem jeweiligen durchwanderten Keramiktyp im CT-Bild entsprechend aufgezeichnet werden. Vor allem können damit möglichst formgleiche Gefäße gut verglichen

Abb. 1: Schnittaufnahme durch ein zerdrücktes Kegelhalsgefäß der Hallstattzeit aus Altenmarkt bei Leibnitz, Steiermark; medizinische CT, Untersuchung vom 10. Febr. 1994 (BDA Steiermark, Abteilung für Bodendenkmale, Planarchiv)

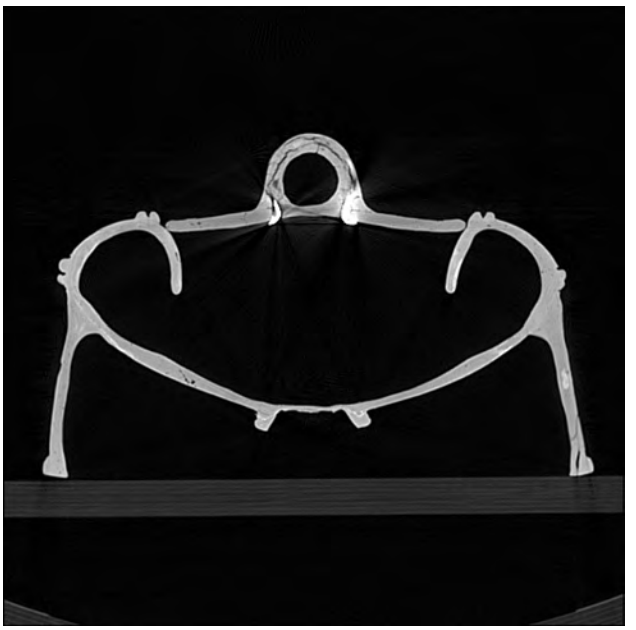


Abb. 2: Schnittaufnahme durch ein attisch schwarzfiguriges Exaleiptron des Polos-Malers mit ergänztem Henkel (Allard Pierson Museum Inv.-Nr. 1942); medizinische CT (aus W. van Duivenvoorde, Attisch aardewerk gevormd in de CT-scan. Computertomografie in de archeologie: de vervaardiging van Attisch zwartfigurig aardewerk uit de zesde en vijfde eeuw voor Christus [unpubl. phil. Dipl. Universität Amsterdam 2000], Kat.-Nr. 25; mit Erlaubnis der Autorin Wendy van Duivenvoorde und des Allard Pierson Museum, Geralda Jurriaans-Helle)

Die Gefäßprofile, die in den letzten drei CVA-Bänden des Allard Pierson Museums von Amsterdam zwischen 2006 und 2009 publiziert wurden, sind ausschließlich aus Daten der medizinischen CT erstellt worden; s. die Vorworte von W. D. J. Van de Put in CVA Amsterdam 4; O. E. Borgers und H. A. G. Brijder in CVA Amsterdam 5 und F. Songu in CVA Amsterdam 6. Zum Exaleiptron des Polos-Malers Allard Pierson Museum Inv.-Nr. 1942 s. CVA Amsterdam 5 Taf. 283–286 Abb. 45; CVA-Online 305135.

10 W. van Duivenvoorde, Attisch aardewerk gevormd in de CT-scan. Computertomografie in de archeologie: de vervaardiging van Attisch zwartfigurig aardewerk uit de zesde en vijfde eeuw voor Christus (unpubl. phil. Dipl. Universität Amsterdam 2000); vgl. H. F. W. Koens – R. J. Jansen, Computed Tomography and Ancient Ceramics: a new approach, in: R. F. Docter – E. M. Moorman (Hrsg.), Classical Archaeology towards the Third Millennium: Reflections and Perspectives, Proc. of the XVth International Congress of Classical Archaeology, Amsterdam, July 12–17, 1998, Allard Pierson series 12 (Amsterdam 1999) 223 f. Für die Zusendung einer Kopie ihrer Diplomarbeit ist Wendy van Duivenvoorde zu danken.

werden; so konnten z. B. in der Gruppe der Siana-Schalen jene Gefäße, die dem Taras-Maler stilistisch zugewiesen werden, von denen anderer Maler bzw. Töpfer unterschieden werden. Natürlich wird das Ergebnis einer solchen Auswertung durch die Dicke der Gefäßwandung und durch rezente Ergänzungsmaterialien beeinflusst, doch schwerwiegender wirkte sich die schlechte Auflösung der damals zur Verfügung stehenden medizinischen Computertomografen für eine solche archäometrische Untersuchung aus. Doch auch bei der jüngsten Generation der medizinischen Spiralcomputertomografen erreicht die für die Detailerkennbarkeit entscheidende Ortsauflösung kaum kleinere Werte als 0,3–0,4 mm[11]. Grundsätzlich sind medizinische CT-Anlagen für den menschlichen „lebenden" Körper optimiert und dementsprechend daher in ihrer Darstellungsgenauigkeit und Durchdringungsfähigkeit begrenzt.

1.3 Industrielle Computertomografie

Die Weiterentwicklung des medizinischen Computertomografen zu einem industriellen Röntgen-Computertomografen schuf ein Verfahren, in dem feinste innere und äußere Strukturen von zumeist industriell hergestellten Guss- und Bauteilen mit hoher Auflösung und hohem Durchdringungsgrad nach gewissen Qualitätsanforderungen untersucht werden können. Dieses hochauflösende CT-Verfahren hat sich in der so genannten zerstörungsfreien Prüfung (ZfP oder NDT für *non-destructive testing*) seit den frühen 1990er-Jahren in der Industrie etabliert.

Industrielle Computertomografen unterscheiden sich von Anlagen der medizinischen Diagnostik grundsätzlich im mobilen Objektträger und in den stationären Bestandteilen wie Mikrofokusröhre und Detektor sowie durch eine niedrigere Beschleunigungsspannung. Gegenüber Techniken, die Schnittbilder über einen Zeilendetektor aufzeichnen, erzielt die dreidimensionale Kegelstrahl-CT aufgrund ihrer Projektionsgeometrie eine deutlich höhere Ortsauflösung in alle drei Raumrichtungen, die – abhängig von der Objektgröße – bis in den Nanometer-Bereich führen kann. Mit diesem berührungslos arbeitenden Verfahren werden heute Bauteile dreidimensional vermessen, versteckte Fehler detektiert und Porosität, Dichte und andere innere Strukturen qualitativ und quantitativ bestimmt und analysiert.

Dieser technische Fortschritt macht gerade die industrielle hochauflösende CT zu einem Verfahren, das für eine berührungsfreie Untersuchung archäologischer Objekte besonders geeignet ist; vor allem auch deswegen, da mit dieser Methode z. T. ähnlichen Fragestellungen wie in der Industrie nachgegangen werden kann und daher genügend Erfahrungswerte sowie kommerzielle Visualisierungs- und Analysesoftware vorliegen. Dennoch wird die industrielle CT im Rahmen der archäologischen Erforschung von Fundstücken nur selten angewandt und, wenn überhaupt, hauptsächlich auf Metallobjekten oder organische Stoffen wie Textilien, Holz oder Knochenmaterial[12].

---

[11] Neue CT-Anlagen wie Siemens Somatom Sensation haben eine isotrope Auflösung von 0,33 mm: http://www.medical.siemens.com. (18.3.2011) Zusätzlich wird durch eine Ultra High Resolution-Technologie (z-UHR) eine Auflösung in der Bilddarstellung von 0,24 mm erzielt.

[12] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: H. Riesemeier – B. Illerhaus – J. Goebbels – P. Reimers, Nachweis von Materialunterschieden, Defekten und verborgenen Strukturen in Kunstwerken mit Hilfe der Computertomographie (CT), in: W. Bock – C.-O. Fischer – J. Lexow – E. Mundry – G. Nardoni – J. Riederer – G. Schickert (Hrsg.), 4. Internationale Konferenz. Zerstörungsfreie Untersuchungen an Kunst- und Kulturgütern, 4th International Conference on Non-Destructive Testing of Works of Art, Berlin 3.–8. Oktober 1994, DGZfP-Berichtsband 45 (Berlin 1994) 60–65; B. Illerhaus – J. Goebbels – H. Riesemeier, Die dreidimensionale Computertomographie zur Erforschung archäologischer tauschierter Eisenfunde, in: W. Menghin (Hrsg.), Tauschierarbeiten der Merowingerzeit. Kunst und Technik, Museum für Vor- und Frühgeschichte Bestandskataloge 2 (Berlin 1994) 163–168; B. Illerhaus, Fortschritte in der Computertomographie. Neueste Technik zur Untersuchung kulturhistorischer Objekte, Restauro 1995, 344–349.
FH Aalen: C. Sauerwein – M. Simon – I. Pfeifer-Schäller – S. Tomaschko – F. Klein, Anwendungen der 3D-Computertomographie in Entwicklung und Forschung, in: DGZfP-Jahrestagung 2002 – Vortrag 37 <http://www.ndt.net/article/dgzfp02/papers/v37/v37.htm> (18.3.2011); R. Fürhacker – I. Pfeifer-Schäller – R. Wedenig, Neue Erkenntnisse zu zwei Bronzeobjekten aus dem hallstattzeitlichen Gräberfeld Führholz bei Mittertrixen durch den Einsatz der industriellen 3D-Röntgen-Computertomografie, Rudolfinum 2004, 109–120; R.-D. Blumer – J. Butenuth – B. Nowak-Böck – C. Peek, Inventarisation und Dokumentation. Neue Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien in der Archäologischen Denkmalpflege, Denkmalpflege in Baden-Württemberg 34/1, 2005, 29–36; B. Nowak-Böck – C. Peek – I. Pfeifer-Schäller, Zur Untersuchung archäologischer Textilien mittels 3D-Computertomographie, VDR Beiträge 2005/1, 134–147; E. Keefer, Forschung: Kelten Digital: Geglückter Durchbruch, AiD 2005/2, 6–12; E. Keefer – I. Pfeifer-Schäller –

Dreidimensionale Visualisierungen, die aus Daten der industriellen Computertomografie gewonnen werden, bewirken heutzutage ein unglaubliches Faszinosum in der Archäologie und Restaurierung, das mit den ersten Durchleuchtungen mittels Röntgenstrahlen des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts zu vergleichen ist[13]. Ein erstes systematisches Vorgehen hinsichtlich der Anwendung der industriellen CT ist aktuell bei Auswertungen von Blockbergungen festzustellen, wobei dabei überprüft wird, wie weit diese virtuelle Dokumentation mit der realen Objektidentifikation und lagemäßigen Befundsituation, die sonst nur durch zeitintensive manuelle Freilegung zu erlangen wäre, verglichen werden kann[14].

Untersuchungen von Keramikobjekten, vor allem von griechischen Vasen, mittels hochauflösender CT sind in der Keramikforschung selten und in CVA-Publikationen soweit unbekannt[15]. Eine Pilotstudie in Wien gilt hinsichtlich der Darstellung der Potentiale dieser neuen Methode als auch für die Vermittlung im Rahmen des österreichischen CVA als wegweisend[16].

1.4 Das Grazer CT-Projekt

In einer Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Gießerei-Institut (ÖGI) in Leoben gelang es, ausgehend vom Universalmuseum Joanneum (UMJ) in Graz ein Projekt zu initiieren, das sich zum Ziel genommen hat, industrielle Röntgen-Computertomografie als Methode bei der Untersuchung von antiken Keramikgefäßen auf ihre Möglichkeiten und Grenzen im Rahmen der archäologischen Keramikforschung zu evaluieren[17]. Dafür konnten griechische Vasen aus dem Bestand des Universalmuseums Joanneum sowie aus der Originalsammlung der Karl-Franzens-Universität Graz (KFUG) verwendet werden (Tab. 1)[18]. Dass sich Mitarbeiter des Goethe-Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (G-CSC) der Universität Frankfurt sowie des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Universität Heidelberg für die Auswertung und Kombination der CT-Daten von archäologischen Gegenständen interessierten und sich in der Folge an dieser Projektidee beteiligten, war ein wesentlicher Aspekt, diese Methode über die geplanten Zielsetzungen hinaus weiterzuentwickeln[19].

C. Sauerwein – H. Wälischmiller, Voxel and STL-Data in Service of Archaeology – Digital Celts, in: J. Völker – R. Link (Hrsg.), EC NDT 2006, Berlin, 25.–29.9.2006 <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/Tu.3.2.4.pdf> (18.3.2011).
FH Wels: J. Kastner – D. Salaberger – M. Grabner – M. Mehofer, Mikro-Röntgencomputertomografie: Eine zerstörungsfreie Methode für die Archäologie, AÖ 18/1, 2007, 60–64; J. Kastner – D. Salaberger – K. Efstathiou, Röntgencomputertomografie-Untersuchungen an metallischen Fundstücken aus Griechenland, AÖ 18/2, 2007, 64 f.

13 Bei archäologischen Untersuchungen hat sich für dieses Verfahren der Terminus 3D-Computertomografie (3D-CT) etabliert. Methodisch kritische Beiträge hinsichtlich der Ergebnisse sind eher selten; eine der wenigen Ausnahmen ist B. Illerhaus – A. Staude – D. Meinel, Das zweite Gesicht der Nofretete, ZfP-Zeitung 116, 2009, 52–56.

14 Gräberfeld Lauchheim: N. Ebinger-Rist – C. Peek – J. Stelzner, Gräber im virtuellen Flug erfasst. Kann die 3D-Computertomografie bei der Auswertung des frühmittelalterlichen Gräberfeldes von Lauchheim helfen?, Denkmalpflege in Baden-Württemberg 38/3, 2009, 165–170; C. Peek – N. Ebinger-Rist – J. Stelzner, Zur Bearbeitung frühmittelalterlicher Grabfunde des Friedhofs von Lauchheim (Ostalbkr.), AKorrBl 39, 2009, 559–587. Gräberfeld Immenbeck: I. Berg, Visualisierung von Computertomographien (CT) in der archäologischen Forschung mit VG Studio MAX 2.0, Restauro 2010, 242–244.

15 Dimitrov et al., Visage; vgl. auch E. Wenger – L. Dimitrov – L. Sramek – C. Lang-Auinger – E. Trinkl in diesem Band. Im Jahre 2005 wurden ausgehend durch K. Bente (Institut für Mineralogie, Kristallographie und Materialwissenschaft – IMKM, Universität Leipzig) mehrere keramische Produkte, darunter auch eine Lekythos, an verschiedenen Labors mittels industrieller CT durchleuchtet: K. Bente – G. K. Friedmann, Materialwissenschaftliche Diagnostik von Objekten der Klassischen Antike, in: DGZfP-Jahrestagung 2007 – Vortrag 26 <http://www.ndt.net/article/dgzfp07/Inhalt/v26.pdf> (18.3.2011); Friedmann – Bente, Restaurierungen; vgl. auch M. Recke, Auf Herz und Niere. Etruskische Körperteilvotive der Gießener Antikensammlung, Spiegel der Forschung 25/2, 2008, 56–63. Zu den möglichen Gründen für die seltene Anwendung s. Karl, Durchleuchtungen, 100.

16 C. Lang-Auinger, Corpus Vasorum Antiquorum – Das österreichische Projekt, AnzWien 143, 2008, 57–66, bes. 64 f.

17 Die CT-Untersuchungen wurden durch einen Finanzierungsbeitrag der Abteilung 3 – Wissenschaft und Forschung der Steiermärkischen Landesregierung (GZ: A3 – 16.L-42/2008-11) ermöglicht; zur Testphase s. Karl, Durchleuchtungen. Für die vielfältige Unterstützung im Rahmen dieses Projektes ist dem gesamten Team des CT-Labors am ÖGI zu danken: Georg Geier und Daniel Habe.

18 Für die zur Verfügung Stellung der Objekte ist hinsichtlich des UMJ der damaligen Abteilungsleiterin Ulla Steinklauber und dem derzeitigen Abteilungsleiter Karl Peitler, hinsichtlich der KFUG dem Institutsleiter Peter Scherrer zu danken.

19 Ergebnisse dieser Zusammenarbeit mit den genannten Rechenzentren wurden u. a. in Heidelberg und London vorgestellt: D. Jungblut – S. Karl – H. Mara – S. Krömker – G. Wittum, Automated GPU-Based Surface Morphology Reconstruction of Volume Data for Archaeology, in: H.-G. Bock – W. Jäger – M. Winckler (Hrsg.), Scientific Computing and Cultural Heritage.

Gerade Keramikgefäße mit ihrer unterschiedlichen Herstellungstechnik aber auch das Material Keramik selbst mit seiner immanenten Porosität und Inhomogenität der Matrix erweisen sich als besonders geeignet für derartige CT-Untersuchungen, obgleich dies bis zuletzt kaum von der Forschung berücksichtigt wird[20]. Positiv auf das Endergebnis wirkt sich das Fehlen – bis auf wenige Ausnahmen – metallischer Applikationen auf den Gefäßen aus, die den Nachteil haben, dass sie zumeist den unmittelbar angrenzenden Bereich überstrahlen. Die Unnotwendigkeit, das Objekt während des gesamten Prozesses zu berühren – jedes untersuchte Gefäß wurde bereits in der Restaurierungswerkstatt des Museums in Polystyrol-Platten (EPS) verpackt und musste bis zur Rückgabe nicht herausgenommen werden –, ist aus sicherungstechnischer bzw. konservatorischer Sicht von besonderer Bedeutung.

Im Prinzip ermöglicht die Anwendung der medizinischen bzw. industriellen CT der/dem Archäologin/Archäologen in relativ kurzer Zeit einen Einblick in das Innere derjenigen Gefäße, die sich aufgrund ihrer geschlossenen Form einer herkömmlichen optischen Untersuchung entziehen. Mit Hilfe der industriellen CT, die bei der in dieser Studie genutzten Anlage eine Mess- und Darstellungsgenauigkeit bis zu 5 µm erreicht, sind auch kleinste Restaurierungsmaßnahmen, Angarnierungen und separat getöpferte Formteile an ihrer Grenzfläche genau zu erfassen[21]. Es sind darüber hinaus nicht invasive Einblicke in den Scherben (*fabric*) des Gefäßes möglich. So werden wie bei einer mikroskopischen Untersuchung an einer frischen Bruchfläche des Objektes die Eigenschaften der Keramikmatrix und der Magerung bzw. der nicht-plastischen Bestandteile sichtbar. Die komplette dreidimensionale Erfassung des Objektes sowohl hinsichtlich der Oberfläche als auch der inneren Strukturen liefert eine gewaltige Datenmenge an kulturhistorisch und archäologisch relevanten Informationen, für die es im Zuge des *post processing* gilt, adäquate und effektive Schritte der Datenanalyse speziell im Rahmen der archäologischen und archäometrischen Keramikforschung zu entwickeln.

ÖGI-ID	Objekt-Nr.	H/max. L [mm]	Dm/ min. L [mm]	Ware/Herkunft	Form	Phase	Datierung	Literatur
CT01184	UMJ Inv.-Nr. 4214	76	49	Protokorinthisch	Ovoider Aryballos	SpätMPK II–SPK	660–630 v. Chr.	Katalog Archäologie-museum, 164 Nr. 936 Abb.
CT02183	UMJ Inv.-Nr. 25306	74	70	Korinthisch	Kugel-aryballos	FrühSK	570–560 v. Chr.	unpubliziert
CT02184	UMJ Inv.-Nr. 25304	67	68	Korinthisch	Kugel-aryballos	SpätSK	560–550 v. Chr.	unpubliziert
CT02185	UMJ Inv.-Nr. 25278	71	65	Korinthisch	Kugel-aryballos	FrühSK	570–560 v. Chr.	Katalog Archäologie-museum, 165 Nr. 940 Abb.
CT02186	UMJ Inv.-Nr. 4215	63	66	Korinthisch	Kugel-aryballos	SpätMK	580–570 v. Chr.	Katalog Archäologie-museum, 165 Nr. 939 Abb.
CT02187	UMJ Inv.-Nr. 8738	62	58	Korinthisch	Kugel-aryballos	MittelFK	610–600 v. Chr.	Katalog Archäologie-museum, 165 Nr. 938 Abb.
CT02188-1	KFUG Inv.-Nr. 804	82	52	Nordionisch	Randfalz-kotyle		690–650 v. Chr.	vgl. Karl, Durch-leuchtungen, 102 Abb. 3, 1. v. l.

Contributions in Computational Humanities (Heidelberg 2013) 41–49; Karl et al., Insights. Aktuell ist das CT-Projekt am Institut für Archäologie der Karl-Franzens-Universität Graz verankert: http://www.uni-graz.at/klar1www: Kombination von volums- und oberflächenbasierender 3D-Messtechnik zur Analyse von antiker Keramik; Stephan Karl, Jördis Rosc (ÖGI), Daniel Jungblut (G-CSC) und Hubert Mara (IWR). Für die Aufnahme am Institut für Archäologie ist dem Institutsleiter Peter Scherrer zu danken. Zum Projekt s. auch http://ipp.uni-hd.de/: Combination of Volume and Surface-based Measurement and Analysis of Antique Ceramics.

20 Zuletzt R. Gebhard, Blick ins Innere – Funde durchschaut, AiD 2009/5, 30–32; N. Ebinger-Rist – C. Peek – J. Stelzner, Mehr Durchblick in kürzester Zeit. Befunddokumentation mit 3D-Computertomografie, in: M. Knaut – R. Schwab (Hrsg.), Archäologie im 21. Jahrhundert. Innovative Methoden – bahnbrechende Ergebnisse, AiD Sonderheft Plus (Stuttgart 2010) 80–91.

21 Zur CT-Anlage s. Kap. 2.1.

ÖGI-ID	Objekt-Nr.	H/max. L [mm]	Dm/ min. L [mm]	Ware/Herkunft	Form	Phase	Datierung	Literatur
CT02188-2	KFUG Inv.-Nr. 844	53	41	Attisch	Kyathos		520–510 v. Chr.	vgl. Karl, Durchleuchtungen, 102 Abb. 3, 3. v. l.
CT02188-3	KFUG Inv.-Nr. 788	53	36	Korinthisch	Kugelaryballos	SK	570–550 v. Chr.	vgl. Karl, Durchleuchtungen, 102 Abb. 3, 4. v. l.
CT02188-4	KFUG Inv.-Nr. 808	83	52	Nordionisch	Randfalzkotyle		690–650 v. Chr.	vgl. Karl, Durchleuchtungen, 102 Abb. 3, 2. v. l.
CT03046	UMJ Inv.-Nr. 25281	82	89	Este-Kultur	Becher	Este III	700–500 v. Chr.	Katalog Archäologiemuseum, 177 Nr. 1011 Abb.
CT03047	KFUG Inv.-Nr. G 56	68	66	Ostgriechisch	Granatapfelgefäß	OA Ic–d	630–590 v. Chr.	vgl. Karl, Durchleuchtungen, 102 Abb. 2, 1. v. l.; Karl et al., Insights, Abb. 4
CT03071-1	Vier feine Keramikzylinder	je 14,5–15,5	je 22,5	Testobjekte			modern	vgl. Karl et al., Insights, Abb. 5
CT03071-2	Vier grobe Keramikzylinder	je 14,5–15,5	je 22,5	Testobjekte			modern	vgl. Karl et al., Insights, Abb. 5
CT03145	UMJ Inv.-Nr. 25277	75	45	Protokorinthischer Stil	Ovoider Aryballos		660–630 v. Chr.	Katalog Archäologiemuseum, 165 Nr. 937 Abb.
CT03155	UMJ Inv.-Nr. 4190	67	59	Protokorinthisch	Kugeliger Aryballos	Mittel FPK	710–700 v. Chr.	Katalog Archäologiemuseum, 164 Nr. 935 Abb.
CT03210	UMJ Inv.-Nr. 25301	71	66	Korinthisch	Kugelaryballos	FrühSK	570–560 v. Chr.	Karl, Kugelaryballoi, 17. 22 Abb. 6
CT03211	UMJ Inv.-Nr. 25303	64	58	Korinthisch	Kugelaryballos	MittelFK	610–600 v. Chr.	unpubliziert
CT03212	UMJ Inv.-Nr. 25305	69	68	Korinthisch	Kugelaryballos	SpätFK–FrühMK	600–580 v. Chr.	unpubliziert
CT03213	UMJ Inv.-Nr. 25302	54	59	Korinthisch	Kugelaryballos	SpätMK	580–570 v. Chr.	unpubliziert
CT03214	Privatslg. 1	78	44	Korinthisch	Alabastron	FK	620–590 v. Chr.	Karl, Alabastron, 44 f. Abb. 1–2
CT03244	Modernes Alabastron	116	70	Testgefäß			modern	unpubliziert
CT03245	Moderne Schale	38	87	Testgefäß			modern	unpubliziert
CT04136	KFUG Inv.-Nr. G 26	90	88	Korinthisch	Kugelaryballos	FrühMK	590–580 v. Chr.	Katalog Institut, 27 f. Abb. 15

Tabelle 1: Die mittels industrieller CT untersuchten Keramikobjekte des Grazer CT-Projektes mit der jeweiligen Identifizierungsnummer des ÖGI und der archäologischen Sammlungen (UMJ bzw. KFUG)

2 DATENAUFNAHME UND DIRECT VOLUME RENDERING

2.1 Datenaufnahme

Die CT-Anlage, die am ÖGI bei der Untersuchung der Keramikgefäße zum Einsatz kommt, ist die v|tome|x C 240 D der Herstellerfirma phoenix|x-ray (Abb. 3). Die v|tome|x ist eine so genannte Mikrofokus-Anlage, die es ermöglicht, Auflösungen von bis zu 5 µm zu erreichen. Die in der v|tome|x verbaute Röntgenröhre erreicht Beschleunigungsspannungen von bis zu 240 kV, womit im industriellen Bereich Wandstärken von bis zu 30 mm Stahl oder 300 mm Aluminium durchstrahlt werden können. Der zum Einsatz kommende Flachbilddetektor hat eine Eingangsschirmgröße von 8 × 8 Zoll (etwa 200 × 200 mm) bestehend aus je 512 Pixeln in vertikaler und horizontaler Richtung. Die Grauwerttiefe des Detektors, d. h. die Anzahl der darstellbaren Grauwerte beträgt 16 bit (65536 Grauwerte). Für einen CT-Datensatz mit 512 × 512 × 512 Pixeln und der vorgegebenen Grauwerttiefe ergibt sich somit die Größe eines einfachen Datensatzes zu 256 MB. Um für ein gegebenes Objekt die Auflösung optimieren bzw. Exemplare mit einer Größe über ca. 20 cm (bei Auflösungen kleiner als etwa 300 µm) untersuchen zu können, verfügt die v|tome|x über die Möglichkeit, den Messbereich des Detektors durch Verschieben desselben sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung zu erweitern und somit den Detektor virtuell zu vergrößern. Somit können in der v|tome|x im Extremfall Objekte bis etwa 250 mm Breite, bzw. etwa 500 mm Höhe untersucht werden. Kommt eine Messbereichserweiterung zum Einsatz, vergrößert sich der gewonnene Datensatz auf bis zu 2 GB.

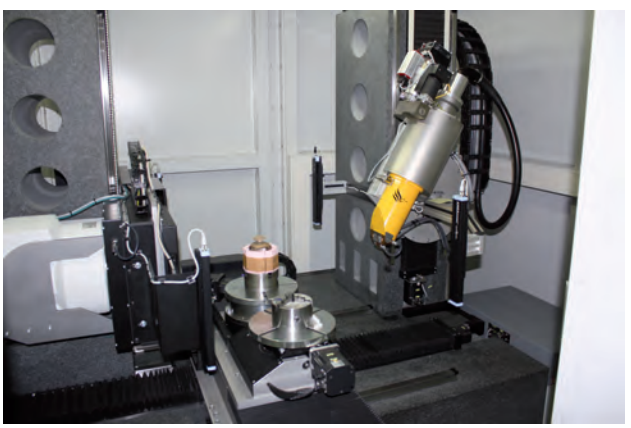


Abb. 3: Aufnahme im Inneren der CT-Anlage v|tome|x C 240 D: in der Bildmitte Drehteller mit einem darauf positionierten Keramikgefäß (CT04136, KFUG Inv.-Nr. G 26) im Strahlengang, rechts Röntgenröhre und links Detektor (Foto D. Jungblut)

Für eine CT-Aufnahme muss das Prüfobjekt zwischen Röntgenröhre und Detektor so positioniert werden, dass es vollständig durch den von der Röhre ausgesandten Kegelstrahl mit einem Öffnungswinkel von 40° abgedeckt wird. Bei CT-Anlagen, die mit Kegelstrahl-Geometrie arbeiten, wird das so positionierte Objekt schrittweise um 360° gedreht, wobei im Regelfall 600 einzelne radioskopische Bilder aufgenommen werden (Abb. 4).

Im Vergleich zu dieser Technik wird bei Verwendung eines Fächerstrahls bei einer Umdrehung des Prüfobjektes im Strahlengang nur eine schmale

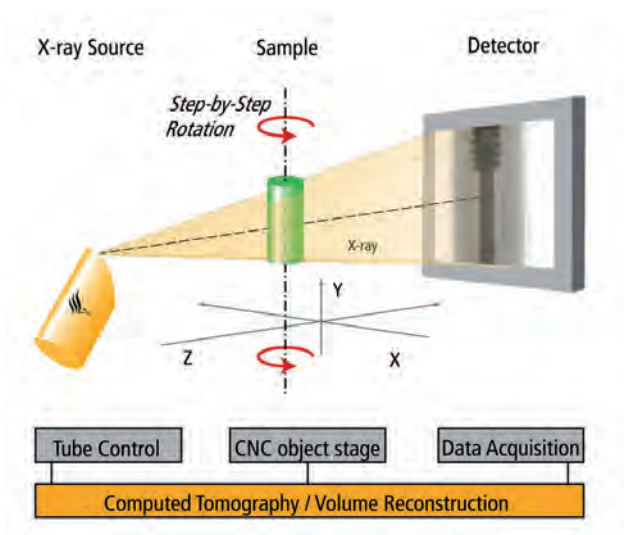


Abb. 4: Prinzip Computertomografie unter Anwendung von Kegelstrahl und Flachbilddetektor (Grafik phoenix|x-ray)

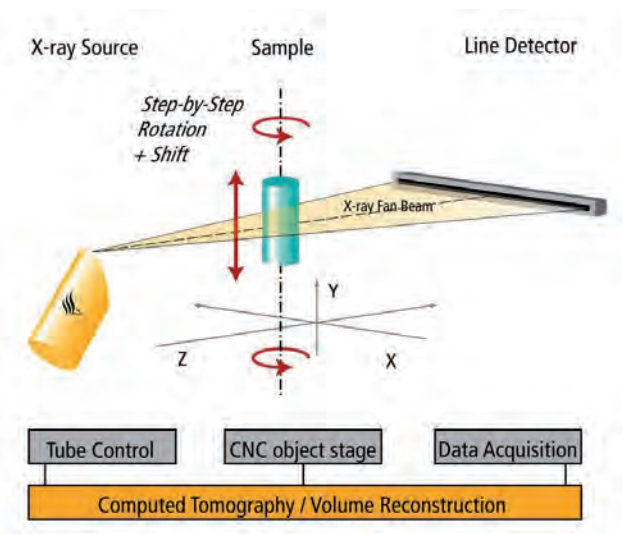


Abb. 5: Prinzip Computertomografie unter Anwendung von Fächerstrahl und Zeilendetektor (Grafik phoenix|x-ray)

Schicht erfasst (Abb. 5). Das bedeutet, dass zusätzlich zur Drehung des Objektes eine vertikale Verschiebung des Objektes im Strahlengang erfolgen muss, um das gesamte Objekt aufzunehmen. Die Dauer eines Scans liegt somit deutlich höher als bei Verwendung eines Kegelstrahls. Während eine CT-Aufnahme mit kegelförmigem Röntgenstrahl und Flachbilddetektor heutzutage üblicherweise zwischen 10 Minuten und etwa einer Stunde dauert, muss für die Aufnahme eines gleich großen Objektes mit Fächerstrahl und Zeilendetektor eine Zeitspanne von 40 bis 70 Stunden einkalkuliert werden. Solche CT-Anlagen, von denen das ÖGI mit einer x|argos|compact der Firma phoenix|x-ray ausgerüstet ist, kommen vor allem bei größeren Objekten bzw. aufgrund der benötigten höheren Beschleunigungsspannung bei dichteren (metallischen) Bauteilen in Betracht. Scan-Dauer und Beschleunigungsspannung führen jedoch zu einer hohen Strahlungsbelastung der Gegenstände, die Grund dafür waren, bei den Untersuchungen der griechischen Vasen im Rahmen des Grazer CT-Projektes auf den Einsatz dieser CT-Anlage vorerst zu verzichten[22].

Um eine optimale CT-Aufnahme zu gewährleisten, ist neben der exakten Positionierung des Prüfobjektes die sorgfältige Einstellung der Parameter an der Anlage – jeweils angepasst an die Prüfaufgabe – von großer Wichtigkeit (Tab. 2).

Parameter	**Erklärung**
Magnification	Geometrische Vergrößerung
Voxelsize	Voxelgröße, Kantenlänge eines Volumenelements
FOD	Fokus-Objekt-Abstand [mm]
FDD	Fokus-Detektor-Abstand [mm]
NumberImages	Anzahl der aufgenommenen Bilder (z. B. 600)
TotalRotation	Bei der Aufnahme abgedeckter Rotationswinkel (360° oder weniger)
TimingVal	Belichtungszeit des Detektors [ms]
Averaging	Anzahl der Bilder, über die ein Mittelwert gebildet wird (Rauschreduktion)
Voltage	Beschleunigungsspannung [kV]
Current	Röhrenstrom [µA]
XRayFilter	Art des Vorfilters
XRayFilterThickness	Dicke des Vorfilters [mm]
DimX	Anzahl der ausgelesenen Detektor-Pixel in x-Richtung (horizontal)
DimY	Anzahl der ausgelesenen Detektor-Pixel in y-Richtung (vertikal)
STime	Scan-Dauer [s]

Tabelle 2: Einzustellende Parameter für einen CT-Scan

Je nach Wandstärke und Material müssen Beschleunigungsspannung, Stromstärke, Belichtungszeit und Vorfilterung so gewählt werden, dass das Objekt nicht nur aus jeder Winkelposition vollständig durchstrahlt wird, sondern auch der Grauwertkontrast möglichst groß ist, ohne den Detektor zu überstrahlen, was zu einer Schädigung des Detektors führen würde.

Bei Aufnahme der archäologischen Keramikobjekte war es erwünscht, die CT-Untersuchungen weitestgehend zu systematisieren und so zu vereinheitlichen, dass dadurch die Grauwertstufen der rekonstruierten Volumina bei allen Gefäßen annähernd zu vergleichen sind. Doch gerade dieses Vorhaben wurde durch die an manchen Gefäßen vorhandene alte Inventarnummer aus Zinkweiß beeinflusst, die die Häufigkeitsverteilung der Grauwerte (Grauwerthistogramm) durch die hohe chemische Dichte des Elementes Zink (7,14 g/cm³) verschoben (Abb. 6)[23]. Um diese Verschiebung bei allen Keramiken mit oder ohne Inventarnummer des UMJ

[22] Zur Strahlenexposition s. Kap. 3. Außerhalb des eigentlichen CT-Projektes wurde ein etruskischer Krater (UMJ Inv.-Nr. 4612) mit der x|argos|compact durchstrahlt, allerdings nach vorhergehender TL-Analyse. Grundsätzlich sind CT-Untersuchungen mit derart erhöhten Beschleunigungsspannungen ohne ausreichende Erforschung des Einflusses der ionisierenden Strahlung auf das Lumineszenz-Verhalten archäologischer Keramik entschieden abzulehnen. Zusätzlich bewirkt eine Fächerstrahl-CT abhängig von der Länge des durchstrahlten Materials ein starkes Bildrauschen und führt dadurch zu einer „unnatürlichen“ und missverständlichen Keramiktextur in den gemessenen Röntgenprojektionen.

[23] Die Verwendung des weißen Farbpigmentes Zinkweiß (Zinkoxid) für die Inventarisierung der Objekte im UMJ geht auf das Jahr 1913 zurück; s. dazu JJb 102, 1913, 25. Die chemische Zusammensetzung dieser Malfarbe an einem Objekt aus derselben Inventarisierungsphase (UMJ Inv.-Nr. 4203d) wurde in der Abteilung Mineralogie des UMJ mittels Röntgendiffraktometrie (XDR) bestimmt. Für die Analyse ist Hans-Peter Bojar und Daniel Modl zu danken.

Abb. 6: Mit Zinkweiß geschriebene Inventarnummer des protokorinthischen Aryballos CT01184 (UMJ Inv.-Nr. 4214) mit deutlich sichtbarem Dichteunterschied; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

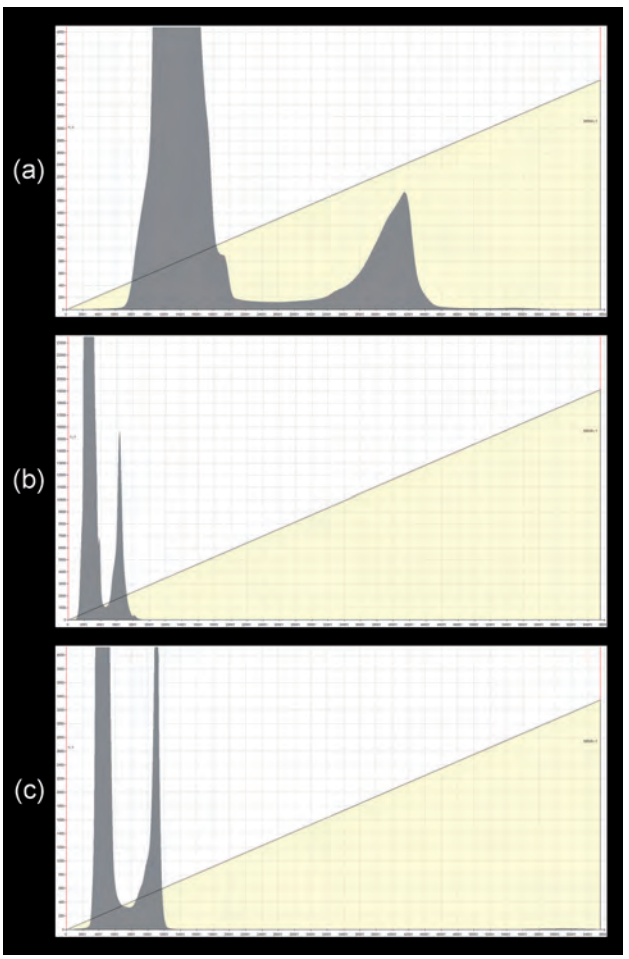


Abb. 7: Grauwerthistogramme von CT-Datensätzen untersuchter Keramikgefäße (erster peak: Luft; zweiter peak: Keramik): (a) CT02183 (UMJ Inv.-Nr. 25306) ohne dichte (metallische) Zusätze; (b) CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738) mit Inventarnummer aus Zinkweiß; (c) CT03210 (UMJ Inv.-Nr. 25301) unter Beigabe von Stahlkugeln; VG Studio MAX (Grafik S. Karl)

im Vorhinein in etwa demselben Rahmen zu halten, wurden vier Stahlkugeln (Dm 6,4 mm) – aufgrund der Überstrahlung der benachbarten Regionen mit einem ausreichenden Abstand – den jeweiligen Objekten beigelegt und mit diesen zusammen aufgenommen (Abb. 7). Da sich durch die zusätzlich angebrachten Stahlkugeln das aufzunehmende Volumen vergrößerte, musste bei einigen Objekten auf eine höhere Auflösung verzichtet werden.

Die Beschleunigungsspannung bestimmt die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlung. Je höher die Beschleunigungsspannung gewählt wird, umso härter ist die Röntgenstrahlung, d. h. umso dichteres Material bzw. umso größere Wandstärken können durchstrahlt werden. Zu beachten ist hierbei, dass mit härterer Strahlung zwar die Durchdringungsfähigkeit zunimmt, aber gleichzeitig der Grauwertkontrast schlechter wird. Dies führt dazu, dass die Unterscheidung von Details im Inneren des Objektes erschwert wird. Die Beschleunigungsspannung wird so hoch gewählt, dass das Objekt gerade durchstrahlt wird.

Die Intensität der Röntgenstrahlung, die Bildhelligkeit, wird durch den Röhrenstrom bestimmt. Je höher der Röhrenstrom gewählt wird, umso mehr Röntgenquanten werden freigesetzt, umso heller wird das einzelne Röntgenbild. Eine Änderung des Röhrenstromes hat keinerlei Einfluss auf die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlung. Auch die Belichtungszeit, also die Zeitspanne, in der im Detektor Röntgenquanten integriert – mit anderen Worten gesammelt – werden, beeinflusst die Bildhelligkeit. Je länger der Detektor für ein Bild belichtet wird, umso heller ist das Bild.

Eine weitere Möglichkeit, um Qualität (harte oder weiche Strahlung) und Quantität (Intensität) der Strahlung zu beeinflussen, ist die Vorfilterung. Ein Vorfilter ist ein Metallplättchen, das direkt vor dem Strahlenaustrittsfenster der Röntgenröhre angebracht wird. Üblicherweise werden Aluminium, Kupfer, Zinn oder Messing in Dicken von 0,1 mm oder 0,5 mm als Vorfilter eingesetzt. Durch die Vorfilterung werden weiche (energiearme) Strahlungsanteile direkt beim Austritt aus der Röntgenröhre aus dem Strahl entfernt, während die härteren Anteile im Röntgenstrahl erhalten bleiben. Gleichzeitig wird die Intensität der Strahlung verringert. Die Vorfilterung wird in erster Linie dazu eingesetzt, um die Überstrahlung des Detektors – also die übermäßige Strahlenbelastung, die den Detektor schädigt – in den einzelnen Röntgenbildern zu verhindern und damit auch die so genannten Strahlartefakte im CT-Datensatz.

Für die vorliegenden Untersuchungen von Keramikgefäßen lieferte eine Kombination aus 1 mm Al und 1 mm Cu als Vorfilter die besten Ergebnisse (Tab. 3). Eine Überstrahlung des Detektors fand nicht statt, gleichzeitig erstreckten sich die Grauwerte, die schließlich mit den Dichten der unterschiedlichen Materialkomponenten korrespondieren, über den mit der v|tome|x maximal erreichbaren Bereich, so dass selbst kontrastarme Einschlüsse, bzw. Porositäten detektiert werden konnten.

Eine Eigenschaft der Röntgenstrahlung, die die Qualität von CT-Datensätzen negativ beeinflusst, ist das Rauschen. Die ausgesandte Röntgenstrahlung besteht aus einer großen Anzahl von Röntgenquanten. Die Eigenschaften dieser Quanten schwanken innerhalb des Strahls, dies wird als Rauschen bezeichnet. Zu starkes Rauschen kann dazu führen, dass Details im Inneren des jeweiligen Prüfobjektes (etwa Porositäten oder Einschlüsse) nicht mehr erkannt werden können. Durch Mittelung mehrerer Bilder an einer Position der Drehbewegung des Prüfobjektes im Strahlengang, das so genannte „*averaging*“, kann das Rauschen stark vermindert und damit die Detailerkennbarkeit verbessert werden.

ÖGI-ID	Voxelsize [µm]	FOD [mm]	STime [s]	Averaging	Voltage [kV]	Current [µA]	Power [W]	XRay Filter	XRay Filter-Thickness [mm]
CT01184	158,9	282,4	720	2	79	197	15,6	Al	0,5
CT02183	165,0	292,9	960	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT02184	155,7	276,4	960	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT02185	160,0	284,0	960	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT02186	145,9	259,1	961	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT02187	136,7	242,7	960	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT02188	239,6	442,5	960	3	134	455	61,0	Cu+Al	1,0+1,0
CT03046	227,1	403,1	720	2	105	140	14,7	Al	1,0
CT03047	189,6	336,6	720	2	85	225	19,1	Al	1,0
CT03071	89,1	158,1	2915	2	110	132	14,5	Al	2,0
CT03145	181,7	322,6	720	2	77	285	21,9	Al	2,0
CT03155	181,7	322,6	720	2	77	285	21,9	Al	2,0
CT03210	184,0	326,7	720	2	150	225	33,8	Cu+Al	1,0+1,0
CT03211	184,0	326,7	720	2	150	225	33,8	Cu+Al	1,0+1,0
CT03212	184,0	326,7	720	2	150	225	33,8	Cu+Al	1,0+1,0
CT03213	184,0	326,7	720	2	150	225	33,8	Cu+Al	1,0+1,0
CT03214	184,0	326,7	720	2	150	225	33,8	Cu+Al	1,0+1,0
CT03244	272,9	686,7	960	3	185	250	46,3	Cu+Al	1,0+1,0
CT03245	197,9	457,0	960	3	180	265	47,7	Cu+Al	1,0+1,0
CT04136	240,8	479,5	719	2	93	450	41,9	no	no

Tabelle 3: Keramikobjekte mit Angabe der Parameterwerte, Filterung und Voxelgröße bezogen auf die Anlage v|tome|x C 240 D (Standard: NumberImages: 600; TotalRotation: 360°; TimingVal: 400 ms; DimX: 512 Pixel; DimY: 512 Pixel. Ausnahme die acht Keramikzylinder CT03071: NumberImages: 1200; DimX: 873 Pixel)

Das Errechnen eines dreidimensionalen CT-Datensatzes aus der Vielzahl an den jeweiligen Winkelpositionen aufgenommenen Röntgenbildern erfolgt durch ein mathematisches Rekonstruktionsverfahren. Heutzutage wird für die Rekonstruktion aus Daten in Kegelstrahl-Geometrie üblicherweise der so genannte Feldkamp-Algorithmus verwendet. Dieser wandelt zunächst unter Berücksichtigung von Abständen, Auflösung und einigen anderen Größen den Kegelstrahl virtuell in eine Menge Parallelstrahlen um, was die darauffolgende Koordinaten-Transformation stark vereinfacht. Mit Hilfe der Radon-Transformation kann schließlich von den einzelnen radioskopischen Bildern über eine Integraltransformation das dreidimensionale Volumen berechnet werden. Der CT-Datensatz besteht aus Volumenelementen, den so genannten Voxeln, deren Kantenlängen der gewählten Auflösung entsprechen.

Der Anwender hat für die Rekonstruktion ein Programm zur Verfügung, in dem er verschiedene Parameter auswählen kann. Diese umfassen neben dem exakten Rekonstruktionsbereich und einer geometrischen Korrektur, die eine eventuell außermittige Positionierung des Prüfobjektes korrigiert, auch die Korrektur der Strahlaufhärtung im Objekt.

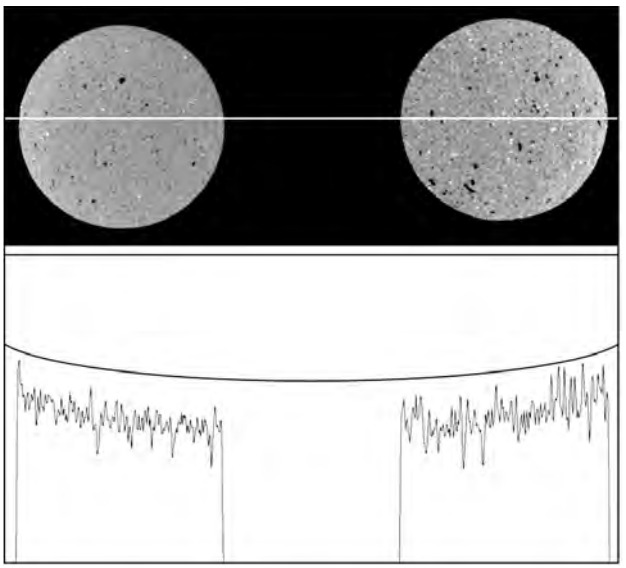


Abb. 8: Zwei keramische Testzylinder CT03071-1 mit Strahlaufhärtungsartefakten an den äußeren Enden, Grauwertverteilung der Linie mit überhöht dargestelltem Profil; VG Studio MAX und Scion Image (Grafik S. Karl)

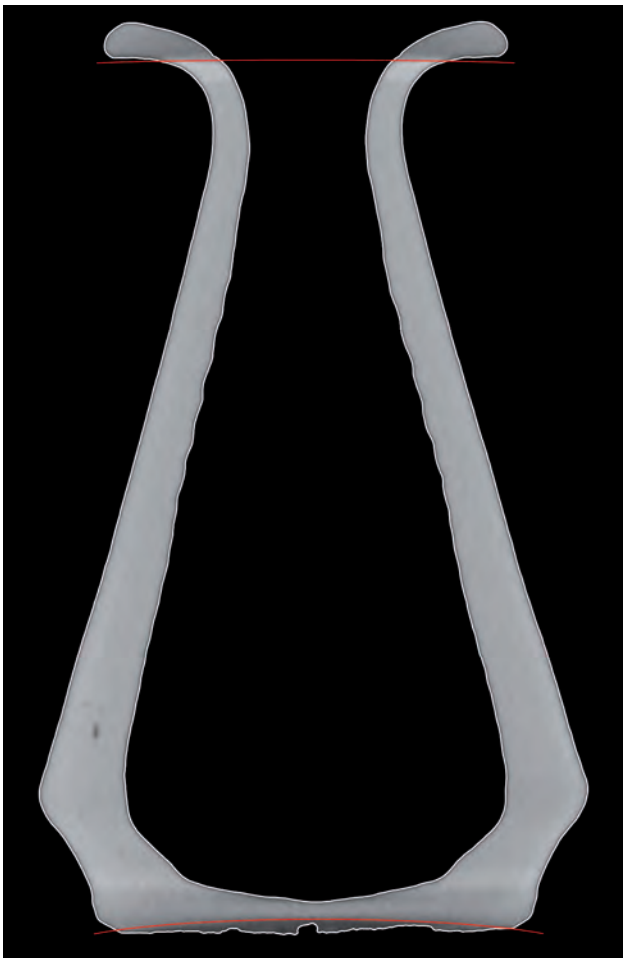


Abb. 9: Modernes Alabastron CT03244 mit Feldkamp-Artefakten am oberen und unteren Ende, Markierung der sphärischen Strahlungsabnahme am Rande des CT-Kegelstrahles; VG Studio MAX (Grafik S. Karl)

Die Strahlaufhärtung, oder das „*beam hardening*“, entsteht dadurch, dass die weicheren Strahlungsanteile das Objekt nicht vollständig durchdringen können, sondern in den äußeren Bereichen des Materials absorbiert werden. Somit bleiben die durchdringungsfähigeren härteren Strahlungsanteile erhalten, die das Material durchstrahlen. Dadurch erscheint der zentrale Bereich des Prüfobjektes weniger dicht als die Randbereiche (Abb. 8).

Um einen CT-Datensatz mit höchst möglicher Auflösung erzeugen zu können, muss das Objekt so positioniert werden, dass der von der Röntgenröhre ausgesandte Kegelstrahl optimal ausgenutzt wird. Aus der Kombination der dreidimensionalen Ausdehnung des Objektes und der Abnahme der Strahlungsintensität des Kegelstrahls zum Rand hin, ergibt sich der so genannte Feldkamp-Effekt, der sich im rekonstruierten Volumen als Abschattung, dem „Feldkamp-Artefakt“, manifestiert (Abb. 9).

Nichtlinearitäten wie Strahlaufhärtung, Streustrahlung und der Feldkamp-Effekt sind Ursache für so genannte Bildartefakte, d. h. für technisch-physikalisch bedingte, scheinbare Inhomogenitäten im CT-Datensatz. Diese Effekte erschweren die Extraktion der Oberflächengeometrie durch geeignete Schwellwertverfahren und können außerdem bei unkritischer Betrachtung zu Missinterpretationen von CT-Daten führen. An der effektiven Reduktion der Artefaktbildung auf ein Minimalmaß wird bis heute gearbeitet und neue Verfahren werden in Zukunft vieles, was derzeit die Weiterverarbeitung erschwert, bereits im Rekonstruktionsschritt kompensieren[24].

2.2 Direct Volume Rendering

Um zu gewährleisten, dass auch kleinste Inhomogenitäten in einem Prüfobjekt nachgewiesen werden können, muss bei der Datenaufbereitung auf speziell angepasste Visualisierungswerkzeuge zurückgegriffen werden, da bei kleinen Einschlüssen oftmals eine Klassifizierung nur nach Dichtewerten nicht zum Ziel führt[25].

---

[24] Zur Artefaktreduktion s. z. B. M. Franz – S. Kasperl, Registrierungskonzepte für die Einsatzsynchrone Artefakt Reduktion mittels virtueller Computertomographie, DGZfP-Jahrestagung 2007 – Vortrag 87 <http://www.ndt.net/article/dgzfp07/Inhalt/v87.pdf> (18.3.2011).

[25] Die vorliegenden Auswertungen erfolgten an einem Rechner mit AMD Athlon 64 3800+, Single Core Prozessor, 2 GB RAM und einer ATI Radeon 1900XTX (512 MB Grafikspeicher), der unter MS Windows XP Pro SP2 lief.

Abb. 10: DVR-Darstellung des korinthischen Kugelaryballos CT02183 (UMJ Inv.-Nr. 25306) unter Verwendung einer einfachen Transferfunktion; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

Der heute meist angewendete Ansatz zur Darstellung von Volumendaten ist das Direct Volume Rendering (DVR)[26]. Dabei wird, im Gegensatz zum Indirect Volume Rendering, bei dem in einem Vorverarbeitungsschritt die Oberfläche eines darzustellenden Volumens zur Weiterverarbeitung extrahiert wird, das gesamte Volumen zur Erzeugung der Abbildung genutzt. Beim DVR wird üblicherweise eine Position im Volumen mit Hilfe einer so genannten Transferfunktion auf einen Datenwert (r, g, b, α) abgebildet, wobei α (die Opazität) die Absorption entsprechend der optischen Dichte und r, g, b einen Farbwert wiedergeben. Die einfachste Methode, eine Position im Volumen direkt auf optische Eigenschaften wie Lichtfarbe und Opazität abzubilden, ist die Verwendung einer eindimensionalen Transferfunktion über die Dichte des Materials. Diese ist im Wesentlichen eine Tabelle von (r, g, b, α) Werten über eine fixe Anzahl von Dichtewerten, etwa 4096 Einträge für eine Grauwerttiefe von 12 bit. Mit dieser Art der Transferfunktion können Gefäße transparent gestaltet werden (Abb. 10).

Der Einsatz einer eindimensionalen Transferfunktion hat den Nachteil, dass alle Positionen im Volumen mit derselben Dichte identisch dargestellt werden. Um aber beispielsweise Materialübergänge gezielt darstellen zu können, ist es notwendig, über die Dichte hinausgehende Eigenschaften des Volumens zu berücksichtigen. Die Transferfunktion wird dann über mehrere Dimensionen definiert.

Dichte/Gradienten-Transferfunktionen

Der am häufigsten eingesetzte 2D-Transferfunktionstyp ist über die Dimensionen Dichte und Größe des Grauwertgradienten (*gradient magnitude*) definiert[27]. Die Länge des Gradientenvektors an einer bestimmten Stelle im Volumen korrespondiert direkt mit der Stärke der Änderung des Dichtewerts an dieser Position. Dies kann sehr gut ausgenutzt werden, um Materialübergänge zu visualisieren, indem nur Bereiche mit hohem Gradienten ausgewählt werden. Mit speziellen Grafikwerkzeugen (Widgets) kann eine entsprechende Darstellung mit unterschiedlich eingefärbten Bereichen durch den zugehörigen Gradienten an dieser Position gesteuert werden. Diese Funktion eignet sich z. B. um dichte Einschlüsse in der Keramik zu visualisieren (Abb. 11)[28].

---

[26] K. Engel – M. Hadwiger – J. Kniss – C. Rezk-Salama – D. Weiskopf, Real-Time Volume Graphics (Wellesley 2006) 313–328; zur Segmentierung ebenda 415–440.

[27] J. Kniss – G. Kindlmann – C. Hansen, Interactive Volume Rendering using Multi-Dimensional Transfer Functions and Direct Manipulation Widgets, IEEE Visualization 2001, Proc. <http://ieeexplore.ieee.org> (18.3.2011). Zur Merkmalsgrößen-Transferfunktion s. T. Höllt, GPU-Based Direct Volume Rendering of Industrial CT Data (unpubl. Studienarbeit, VRVis Research Center und Universität Koblenz-Landau 2007); M. Hadwiger – L. Fritz – C. Rezk-Salama – T. Höllt – G. Geier – T. Pabel, Interactive Volume Exploration for Feature Detection and Quantification in Industrial CT Data, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 14/6, 2008, 1507–1514; G. F. Geier – L. Fritz – M. Hadwiger – J. Rosc – T. Pabel – D. Habe – G. Pittino – P. Schumacher, Analysis and Exploration of CT-data using application specific Multi-Dimensional Transfer Functions, 10th European conference and exhibition on nondestructive testing, Proc. of ECNDT 2010 <www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1_09_23.pdf> (18.3.2011).

[28] Zu Auswertungen von Industriekeramiken mittels Dichte/Gradienten- sowie Merkmalsgröße-Transferfunktion s. G. Geier – T. Pabel – M. Hadwiger – L. Fritz – T. Höllt, Interaktive Exploration von multiphasigen, mineralischen Werkstoffen mittels Computertomographie, DACH-Jahrestagung 2008 in St. Gallen <www.ndt.net/article/dgzfp2008/Inhalt/di3a2.pdf> (18.3.2011).

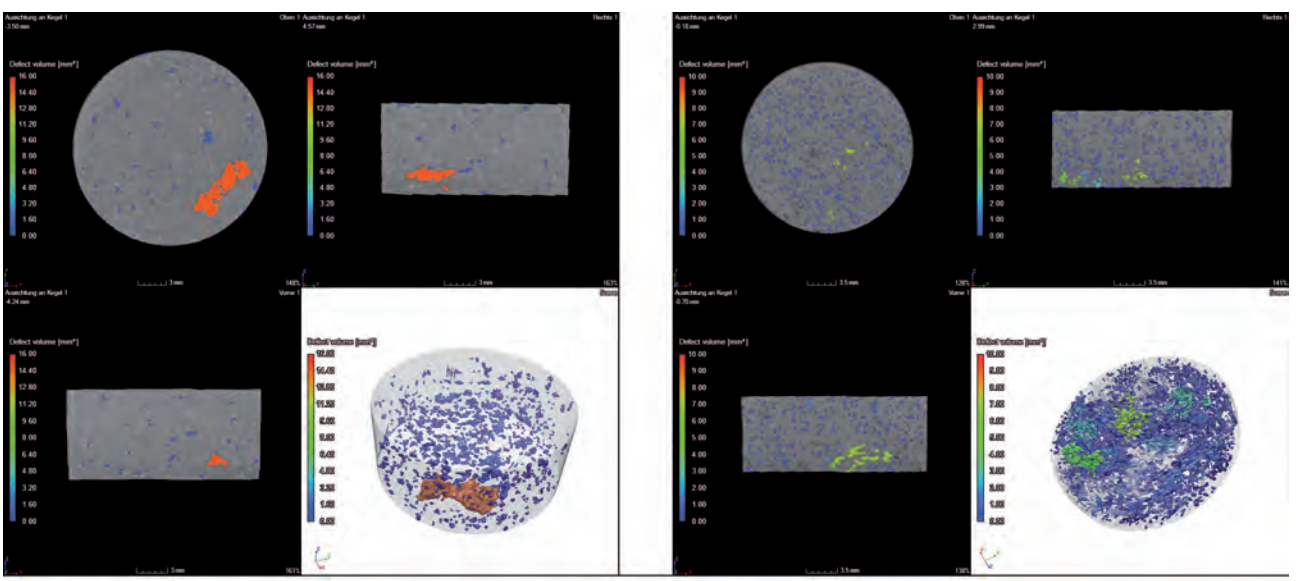
Abb. 11: DVR-Darstellung des korinthischen Kugelaryballos CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738) unter Verwendung einer Dichte/Gradienten-Transferfunktion, dichte (metallische) Einschlüsse in der Keramikmatrix rot eingefärbt; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

2.3 Analysemöglichkeiten

Die dreidimensionale Datenanalyse für industrielle CT-Datensätze erfolgt üblicherweise mit dem Softwarepaket VG Studio MAX, das derzeit in der Version 2.1 vorliegt. Diese Software verfügt über eine Reihe von Modulen für unterschiedliche Problemstellungen, darunter eines für die 3D-Porositätsanalyse und eines für Soll/Ist-Vergleiche. Ein Nachteil bleibt jedoch bestehen: Die Analysen basieren zumeist auf einer automatisierten Festlegung des ISO-Schwellwertes, der durch eine Mittelung über die zwei betreffenden Grauwerte mit der maximalen Anzahl von Voxeln für Luft und Material errechnet wird. Zur Kompensation von Ungenauigkeiten durch das technisch-physikalische Messverfahren sind aber Verfahren auf Basis des lokalen Gradienten (Transferfunktionen) zu bevorzugen.

Porositätsanalyse

Während Luftporen in Guss- oder anderen Bauteilen gewisse Problematiken aufweisen und als „Fehler“ (Defekte) deklariert werden, ist Porosität dem Material Keramik eigen. Porendetektion in CT-Datensätzen ist in der Industrie ein Standardverfahren und dient in erster Linie der Qualitätssicherung[29].



(a) (b)

Abb. 12: Porenanalyse am Beispiel der grob gemagerten Keramikzylinder CT03071-2: (a) Zylinder Nr. 2 mit Quarz (geringer Porenanteil), (b) Zylinder Nr. 7 mit Stroh (hoher Porenanteil); VG Studio MAX (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

[29] J. Rosc – G. F. Geier – M. Hadwiger – L. Fritz – D. Habe – T. Pabel – G. Schindelbacher – P. Schumacher, Assessing Casting Quality using Computed Tomography with Advanced Visualization Techniques, World Technical Forum (WTF09), 1–3 June 2009, Brno <http://www.nftn.co.za/files/wtf09/conf/lectures/20_doc.pdf> (18.3.2011); J. Rosc – D. Habe – T. Pabel – G. F. Geier – P. Schumacher, Methode für die Bewertung von Porositätsanalysen von CT-Daten, Gießerei-Rundschau 57, 2010/11–12, 242–244.

(a) (b) (c)

Abb. 13: Oberflächenvergleich am Beispiel des protokorinthischen Aryballos CT01184 (UMJ Inv.-Nr. 4214): (a) Oberfläche aus den CT-Daten; (b) Oberfläche aus der Vermessung mittels 3D-Scanners; (c) Oberflächendifferenz farblich markiert; VG Studio MAX (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

Für eine zuverlässige Porositätsanalyse muss der Anwender händisch einen geeigneten Schwellwert für den Übergang zwischen Luft – den eingeschlossenen Porositäten – und Material setzen. Wird der Schwellwert zu weit in die höheren Grauwerte, das heißt in das Material gesetzt, wird die Porengröße überschätzt. Eine Schwellwertsetzung zu weit in die niedrigen Grauwerte führt zu einer Detektion von zu geringen Porengrößen. Obwohl zusätzlich noch die Parameter Voxelgröße und Grauwertkontrast die Genauigkeit einer solchen Auswertung beeinflussen, ist eine Porositätsanalyse, die gegenüber anderen Methoden ohne Materialproben auskommt und dreidimensional abläuft, ein effektives Verfahren, Differenzen aber auch Ähnlichkeiten in den Untersuchungskörpern festzustellen. So können die Poren in ihren Einzel- und Gesamtvolumina wie auch in ihrer Anzahl abhängig von der jeweiligen Größe analysiert werden (Abb. 12).

Oberflächenvergleich

Oberflächenvergleiche, so genannte Soll/Ist-Vergleiche, werden bei industrieller Anwendung dazu verwendet, bestehende CAD-Modelle mit den nach diesen Plänen hergestellten Gegenständen bzw. scheinbar identische Prüfobjekte auf ihre Abweichungen voneinander zu überprüfen[30]. Solche Vergleiche können sich in der Archäologie vor allem für formgleiche Objekte als nützlich erweisen[31].

Um dies an einem archäologischen Beispiel auszutesten, wurden die Oberflächen-Daten eines Keramikgefäßes verglichen, die sowohl mittels 3D-Scanners mit strukturiertem Licht vermessen als auch aus dem CT-Datensatz extrahiert wurden. Hierfür wurde der STL-Datensatz aus der 3D-Oberflächenvermessung und der CT-Datensatz übereinander „gefittet“ und anschließend die Abweichungen an der Oberfläche des Objektes farbcodiert dargestellt. Die Farbskala reicht von blau (negative Abweichung der CT-Daten gegenüber der 3D-Oberflächenvermessung) über grün (keine Abweichungen) bis rot (positive Abweichungen) (Abb. 13). Die Genauigkeit der CT-Oberflächenvermessung beträgt in etwa 1/10 der Voxelgröße; im Falle des untersuchten Keramikgefäßes CT01184 mit einer Voxelgröße von 158,9 µm ergibt sich eine Genauigkeit von etwa 15,9 µm.

30 G. Geier – O. Brunke – T. Pabel – J. Rosc – D. Habe, Neue Wege in der Computertomographie und der Bauteilprüfung, ZfP-Zeitung 116, 2009, 22–25.

31 Dafür sind vor allem Objekte, die in Negativformen hergestellt wurden, in Betracht zu ziehen, wie Öllampen, Terrakotten, Reliefapplikationen, Ofenkacheln etc.

3 STRAHLENEXPOSITION

3.1 Der archäologische Standpunkt

Im Rahmen von CT-Untersuchungen werden Objekte einer unsichtbaren Strahlung, in diesem Falle einer Röntgenstrahlung, über einen gewissen Zeitraum ausgesetzt. Mit den Auswirkungen dieser Strahlenexposition muss sich jede radiologische Untersuchung beschäftigen, denn es gilt, wie bei allen anderen archäometrischen Methoden, sich die etwaigen Konsequenzen hinsichtlich materieller und physikalischer Transformationen der Untersuchungsobjekte bewusst zu machen. Keramik bildet dabei eine besondere Ausnahme, da gebranntes Tonmaterial mit der so genannten Thermolumineszenz (TL), einem durch natürliche Strahlung verursachten Phänomen, datiert werden kann[32]. Während eine CT-Untersuchung auf eine spätere TL-Datierung, auch für Laien verständlich, nicht ohne Auswirkungen bleiben kann, gelten andere archäometrische Methoden in der Keramikanalyse wie mineralogisch-petrografische oder elementchemische Bestimmungen als resistent gegenüber der ionisierenden Strahlung[33].

Seit dem kurzen Hinweis durch den Keramikethnologen und Töpfer Owen S. Rye in seinen *X-ray studies* des Jahres 1977 wird der Einfluss der künstlich zugesetzten, ionisierenden Strahlung auf die TL-Datierung sehr unterschiedlich beurteilt. Die Einschätzungen reichen „von keiner Veränderung“ bis „zur kompletten Vernichtung jeglicher TL-Information“[34]. Die Differenzen in den nur schwer nachvollziehbaren Angaben ergeben sich daraus, dass die Objekte mit unterschiedlichen CT-Anlagen sowie unterschiedlich hohen Beschleunigungsspannungen belastet wurden. Neuere Untersuchungen belegen einen sehr variablen Einfluss auf das Lumineszenz-Verhalten von Keramik[35].

Im Rahmen des Grazer CT-Projektes wurde in Anlehnung an die Humanmedizin ein Weg eingeschlagen, der den Einfluss der Strahlung gegenüber dem größtmöglichen Erkenntnisgewinn so gering als möglich zu halten versucht. Die Vorgabe war, dass auch nach CT-Untersuchungen antiker Objekte eine TL-Datierung im Sinne einer Authentizitätsprüfung (eines „Echtheitstestes“) weiterhin gewährleistet sein soll, denn nur um eine solche kann es sich bei Museumsobjekten ohne bekannten Fundort und -kontext sowie zumeist unbekannten historischen Verwahrbedingungen in den jeweiligen Museen und Sammlungen der Vorbesitzer handeln[36]. Es

---

32 Zur TL-Datierung s. Kap. 3.3.

33 Ionisierende Strahlung kann Elektronen aus den Atomhüllen freisetzen und so chemische Verbindungen aufbrechen. Hierin liegt die schädliche Wirkung auf den Bioorganismus. Molekularbiologische oder biochemische Analysen, wie z. B. von organischen Stoffen oder alter DNA, sind dadurch gefährdet; s. dagegen F. Gröning – J. F. Kegler – G.-C. Weniger, Die digitale Welt der Neandertaler – NESPOS, ein Online-Archiv für die Neandertalerforschung, AKorrBl 37, 2007, 321–333, bes. 323: „Die Computertomographie hat für die Paläoanthropologie den unschätzbaren Wert, dass die inneren Strukturen menschlicher Fossilien vollkommen zerstörungsfrei untersucht werden können“.

34 O. S. Rye, Pottery manufacturing techniques: X-ray studies, Archaeometry 19, 1977, 205–211, bes. 208; Van de Put, Use, 204 Anm. 11; B. Illerhaus, Fortschritte in der Computertomographie. Neueste Technik zur Untersuchung kultur-historischer Objekte, Restauro 1995, 344–349, bes. 344; B. Illerhaus – J. Goebbels – H. Riesemeier, 3D Computerized Tomography – Synergism between Technique and Art, in: D. Dirksen – G. von Bally (Hrsg.), Optical Technologies in the Humanities, Selected Contributions to the International Conference on New Technologies in the Humanities and Fourth International Conference on Optics within Life Sciences, Münster, Germany, 9–13 July 1996, International Series on Optics Within Life Sciences 4 (Heidelberg 1997) 91–104, bes. 91: „[...] the only exception is the destroying of any thermoluminescent information“.

35 M. Ghysels, CT Scans in Art Work Appraisal, Art Tribal 2003/2004, 116–131; J. Castaing – A. Zink, Influence de l’irradiation aux rayons X sur la luminescence et la datation des terres cuites, Technè: La science au service de l’histoire de l’art et des civilisations 19, 2004, 130–133; M. Haustein – M. R. Krbetschek – E. Pernicka, Influence of radiation used by the security control at airports on the TL signal of quartz, Ancient TL 21, 2003, 7–10; Friedmann – Bente, Restaurierungen, 131 Anm. 9.

36 Rice, Pottery, 443 f.; C. Renfrew – P. Bahn, Archaeology. Theories, Methods, and Practice (London 1991) 131: „Various complications remain with thermoluminescence, and TL dates rarely have an accuracy of better than ±10 percent“; noch schärfer formulierte es C. Goedicke, Echtheitsprüfung an Tanagrafiguren nach der Thermolumineszenzmethode, in: W.-D. Heilmeyer (Hrsg.), Bürgerwelten. Hellenistische Tonfiguren und Nachschöpfungen im 19. Jh., Ausstellungskatalog Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz (Berlin 1984) 78: „Angesichts des Substanzbedarfs und des notwendigen Rückgriffs auf den Fundort wird erklärlich, daß die TL als Datierungsmethode für Museumsobjekte weitgehend untauglich ist.“ Der Fehler bei der Altersangabe von Museumsobjekten liegt etwa bei 25 bis 30 %. Zur Genauigkeit einer TL-Analyse s. L. Dittberner, Die Thermolumineszenzanalyse zur Altersbestimmung von Keramik (Master Thesis Universität für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen 2009) 67–73; für die Zusendung einer Kopie ihrer Diplomarbeit ist Lena Dittberner zu danken. Zu weiteren TL-Datierungen vgl. die Ergebnisse zu den Tanagra-Terrakotten im Louvre: A. Zink – E. Porto, Luminescence dating of the Tanagra

galt Belastungsgrenzen solcher Untersuchungen hinsichtlich der wichtigen physikalischen Parameter für die Strahlungsenergie wie Röhrenstrom und -spannung sowie zur Bestrahlungsdauer herauszufinden und so weit zu definieren, dass sie für die archäologische Fragestellung noch ausreichend gute CT-Ergebnisse liefern.

Es stellte sich zunächst als schwierig heraus, die Objekte mit einheitlichen Parametern zu scannen, da jedes Einzelstück besonderer Nachjustierungen bedurfte, um eine bestmögliche Bild- und Datenqualität zu erzielen. Es muss vorausgeschickt werden, dass sich diese Angaben vorrangig auf die in Leoben benutzte CT-Anlage v|tome|x C 240 D der Firma phoenix|x-ray beziehen und bei anderen Computertomografen erst akkurat festgestellt werden müssen. Grundsätzlich wurde jedes Objekt in einem einzigen Scanvorgang mit einer 360°-Rotation zur Gänze und auf einem 512 × 512 Pixel umfassenden Detektor aufgenommen. Dieses Vorgehen beschränkte die maximale Objektgröße auf ca. 20 cm. Wichtig für die Reduktion der Scandauer auf exakt 12 min erwies sich die fixe Einstellung des *Averaging*-Wertes von 2, mit dem die Anzahl der für jede einzelne Winkelposition am Drehteller für eine Durchschnittsbildung verwendeten Einzelprojektionen bezeichnet wird. Auch die Schnelligkeit der v|tome|x wirkt sich vorteilhaft auf das Erreichen dieses Zieles aus. Von zwei- oder mehrfachen Scans desselben Gefäßes – auch wenn eine Wiederholung mit anderen Einstellungen hinsichtlich der Qualität der erzielten Rekonstruktionsmatrix eventuell eine Verbesserung versprechen könnte – wurde aufgrund der Verdoppelung bzw. Vervielfachung der Strahlenbelastung Abstand genommen. Weiters wurde im Rahmen des Grazer CT-Projektes besonderer Wert darauf gelegt, vorerst nur jene Objekte für CT-Untersuchungen heranzuziehen, die (1) auf Basis der aktuellen Keramikforschung gesichert archaischer Zeitstellung oder älter sind, (2) mit archäologischen Methoden zweifelsohne bekannten Gefäßtypen dieser Zeit zugewiesen werden können, (3) nicht aus Einzelfragmenten zusammengesetzt sind, und (4) keine sichtbaren restauratorischen Ergänzungen oder andere Maßnahmen wie Übermalungen aufweisen[37].

Optimale Ergebnisse lieferten schließlich die Scans CT03210–CT03214, deren Einstellungen schließlich für die Definition von Grenz- und Fixwerten verwendet und deren Auswirkungen auf die Lumineszenz-Datierung mit Hilfe von Keramikproben unterschiedlicher Zeitstellung aus archäologischen Fundkontexten überprüft wurden (Tab. 4).

FOD [mm]	Number Images	DimX [Pixel]	DimY [Pixel]	Timing Val [ms]	STime [s]	Aver-aging	Voltage [kV]	Current [µA]	Power [W]	XRay Filter	XRayFilter Thickness [mm]
>=300	600	512	512	400	720	2	<=150	<=300	<=45	Cu+Al	1,0+1,0

Tabelle 4: Grenz- und Fixwerte von CT-Untersuchungen für die CT-Anlage v|tome|x C 240 D

Generell ist darauf hinzuweisen, dass die TL-Altersbestimmung von Keramik, vor allem von Museumsobjekten, in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen ist und durch stilistisch und typologisch vergleichende Methoden verdrängt wurde[38]. Dagegen gehört der „Echtheitstest“ im heutigen Kunsthandel trotz seiner Diskussionswürdigkeit hinsichtlich der möglichen Strahlungsschäden, den späteren Beeinflussungen und sonstigen auftretenden Komplikationen zu einem nicht weiter hinterfragten Standardverfahren mit einem abschließenden Zertifikat, ohne dem ein Objekt heutzutage, auch wenn dessen antiker Ursprung aus archäologischer Sicht nicht angezweifelt wird, offenbar unverkäuflich ist[39].

---

terracottas of the Louvre collections, Geochronometria 24, 2005, 21–26, bes. 25 Abb. 2. Zur Geschichte des Authentizitätstests s. A. G. Wintle, Fifty years of Luminescence dating, Archaeometry 50, 2008, 280–284.

37 Die einzige Ausnahme von diesen strikten Regeln stellt der Este-Becher CT03046 dar, der im Zuge der restauratorischen Vorarbeiten für die Neuaufstellung der Schausammlungen im Archäologiemuseum ebenfalls mittels CT untersucht wurde. Im Inneren dieses prähistorischen Gefäßes befindet sich eine nicht weiter erklärbare „Stabilisierung“, die mit Karton abgedeckt ist; von außen war vor der CT-Aufnahme bloß ein braun retuschierter Gipsverstrich an der Standfläche zu erkennen. Der eigentliche keramische Gefäßkörper, der von außen wie auch zur Hälfte von innen gut einsehbar war, zeigte jedoch keine restauratorische Maßnahme.

38 M. A. Geyh, Handbuch der physikalischen und chemischen Altersbestimmung (Darmstadt 2005) 112; G. A. Wagner, Archäochronometrie: Lumineszenzdatierung, in: A. Hauptmann – V. Pingel (Hrsg.), Archäometrie. Methoden und Anwendungsbeispiele naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäologie (Stuttgart 2008) 177. Die Lumineszenzdatierung hat heute ganz andere Anwendungsgebiete erschlossen; s. dazu A. Kadereit – S. Greilich – C. Woda – G. A. Wagner, Kaltes Licht aus alten Steinen – Lumineszenzdatierung in der Archäologie, in: G. A. Wagner (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie (Heidelberg 2007) 11–31.

39 Im Kunsthandel werden u. E. TL-Analysen an antiken Gefäßen hauptsächlich wegen der dadurch erhofften Gewinnmaximierung bei gleichzeitiger Risikominimierung durchgeführt; vgl. z. B. den kampanisch-rotfigurigen Glockenkrater des Libation-Malers, der

Streng genommen kann industrielle CT nicht als zerstörungsfrei bezeichnet werden[40]. In Bezug auf Veränderungen in der DNA wurde bereits konstatiert, dass „traditionally, in the anthropological literature, radiographic procedures are seen as non-destructive because there is no apparent damage to the specimen [...]. This has, unfortunately, become the standard assumption and this attitude has carried over into CT studies.[41]“ Eine solche Vorsicht ist jedoch bei allen archäometrischen Methoden für das Ausgangsobjekt gegeben; auch bei spektroskopischen Verfahren, bei denen den Untersuchungsflächen Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung wenn auch noch so geringer Intensität zugeführt wird[42]. Jedes Eingreifen des Menschen erhöht den Grad der Veränderungen, die sich für das Objekt schon allein aus der natürlichen Strahlenexposition und klimatischen, konservatorischen oder Material immanenten Bedingungen ergeben. Die CT-Methode als berührungsfrei und „nicht invasiv“ im Sinne des Erhaltes der materiellen Substanz – neben weiteren Methoden wie geophysikalische Prospektionen der *non invasive archaeology* zugeordnet – zu definieren, scheint daher eher angebracht, als sie im Vorhinein als zerstörungsfrei zu bezeichnen, da mit physikalischen Veränderungen, wenn auch z. T. in nicht messbarer Form zu rechnen ist[43]. Generell sollten aber archäologische oder archäometrische Methoden nicht in die plakativen Kategorien „zerstörend“ und „zerstörungsfrei“ unterteilt werden, da dies den eigentlichen Fragestellungen, an die sich die/der Archäologin/Archäologe mit einer bestimmten Auswahl an Verfahren (z. B. Grabung, Geophysik, Materialanalysen etc.) annähern möchte, nicht gerecht werden kann.

3.2 Probenauswahl

Für die Überprüfung der Veränderungen, die sich für eine spätere TL-Datierung ergeben, wurden antike aber auch neuzeitliche Keramikfragmente aus archäologischen Grabungen bzw. aus anderen Aufsammlungen (Tab. 5) ausgewählt, die in der Folge in mehrere Teile zerbrochen und mit Probenentnahmen untersucht werden konnten (Abb. 14).

---

in K. Schauenburg, Studien zur unteritalischen Vasenmalerei IX/X (Kiel 2006) 17–20 mit Anm. 90 (Abb.), publiziert ist und von der Galerie Kunst der Antike (Vöcklabruck) während der Antiquitätenmesse Kunstsalon Graz vom 13.–17. Nov. 2008 in der Aula der Alten Universität in Graz mit einem „Echtheitszeugnis“ angeboten wurde, nachdem mehrere Proben für TL-Analysen aus den figural bemalten Bildflächen des Gefäßes entnommen worden waren. Es sind dies bewusste Inszenierungen, die dazu führen, ein Objekt als „echt“ zu empfinden; s. dazu kritisch Schidlofski, Antike, 56–58.

40 Die Bewertung „zerstörungsfrei“ wird im Rahmen naturwissenschaftlicher Untersuchungen auch so verstanden, dass die dem Objekt entnommene Materialprobe für weitere Untersuchungen erhalten bleibt; vgl. z. B. I. Reiche – C. Chadefaux – K. Müller – A. Staude – J. Nötel – H. Riesemeier, Synchrotron Mikro-Computertomographie zur zerstörungsfreien Evaluierung des Erhaltungszustandes von archäologischem Knochen- und Geweihmaterial, bzw. M. Rodrigues – M. Schreiner – M. Melcher – M. Guerra – J. Salomon – M. Radtke – M. Alram – N. Schindel, The Hoard of Beçin – Non-destructive analysis of the Silver coins, in: A. Hauptmann – H. Stege (Hrsg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2009, Jahrestagung in der Pinakothek der Moderne, München, 25.–28. März 2009, Metalla Sonderheft 2 (Bochum 2009) 87–89 bzw. 199–201.

41 B. M. Grieshaber – D. L. Osborne – A. F. Doubleday – F. A. Kaestle, A pilot study into the effects of X-ray and computed tomography exposure on the amplification of DNA from bone, JASc 35, 2008, 681–687, bes. 682.

42 Dies gilt z. B. für Röntgen-Fluoreszenzspektroskopie (XRF) oder Raman Spektroskopie; s. dazu L. S. Schleicher – J. W. Miller – S. C. Watkins-Kenney – L. F. Carnes-McNaughton – M. U. Wilde-Ramsing, Non-destructive chemical characterization of ceramic sherds from Shipwreck 31CR314 and Brunswick Town, North Carolina, JASc 35, 2008, 2824–2838; die Beiträge B. L. Ambrosini – A. C. Felici – G. Fronterotta – M. Piacentini – M. Vendittelli, Non destructive analysis of a red figured vase of uncertain attribution from Falerii Veteres, bzw. P. Ricciardi – F. Amato – P. Colomban, Raman spectroscopy as a tool for the non-destructive characterization of slips and glazes of a ‚Sgrafitto‘ Renaissance production, in: K. T. Biró – V. Szilágyi – A. Kreiter (Hrsg.), Vessels: inside and outside, Proc. of the Conference EMAC ‘07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, Budapest 24–27.10.2007 (Budapest 2009) 97–102 bzw. 217–222; G. D. Smith – R. J. H. Clark, Raman microscopy in archaeological science, JASc 31, 2004, 1137–1160.

43 „Die Anerkennung der kulturellen und physischen Integrität und Authentizität einzelner Objekte, Exemplare oder Sammlungen und die Achtung vor ihnen“ sind grundlegende Verpflichtungen aller Museumsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter (so in den ICOM Ethische Richtlinien für Museen [Code of Ethics for Museums] von 2002 formuliert). Zur überarbeiteten Fassung dieser Richtlinien von 2010 s. <http://www.icom-deutschland.de/ client/media/364/icom_ethische_richtlinien_d_2010.pdf> (18.3.2011). Im Falle einer Restaurierung oder Reparatur soll das eigentliche Ziel die Stabilisierung des Exemplars sein. Zur Verantwortlichkeit hinsichtlich der Keramikkonservierung s. V. Oakley, Ethical Considerations in the Conservation of Ceramic, VDR Beiträge 2006/2, 49–56, bes. 51: „[...] treatment should be kept to a minimum“ und „[...] no treatment should be undertaken without firstly assessing and establishing the purpose and objectives for the work“.

Objekt-Nr.	Ware	Herkunft	Funddatum	Archäologische Datierung
Objekt A	Römische Keramik, feines Fabrikat (bikonischer Topf oder einhenkeliger Krug)	Ausgrabung Kalsdorf 2000; Parz. 621; FNr. 1; Fläche 2; SE 1	28. Juli 2000	1.–2. Jahrhundert n. Chr.
Objekt B	Römische Keramik, grobes Fabrikat (dickwandiges Vorratsgefäß)	Ausgrabung Kalsdorf 2000; Parz. 621; FNr. 1; Fläche 2; SE 1	26. Juli 2000	1.–3. Jahrhundert n. Chr.
Objekt C	Schwarzhafnerware (Topf)	Schloss Seggau, im Zuge von Umbauarbeiten gefunden	4. April 2007	16.–17. Jahrhundert n. Chr.
Objekt D	Moderne Keramik (Bierkrug)	Hafnerbetrieb Nograsek	erworben 5. Juli 2009	um 1920/1930

Tabelle 5: Probenauswahl der verwendeten Keramikobjekte für die TL-Analysen

Zwei römerzeitliche Fragmente, wobei ein feiner und ein grober Keramiktyp herangezogen wurden, stammen aus einer Siedlungsgrabung im Bereich des Vicus von Kalsdorf südlich von Graz und werden aufgrund des vorhandenen Vergleichsmaterials und bestehender typologischer Arbeiten gesichert in das 1. bis 3. Jh. n. Chr. datiert[44]. Ein frühneuzeitliches Topffragment ist der sog. Schwarzhafnerware des 16. bis 17. Jhs. zuzuweisen[45]. Ein viertes Fragment gehört zu einem keramischen, noch unglasierten Bierkrug, der im ehemaligen Hafnerbetrieb der Familie Nograsek um 1920/1930 erzeugt wurde[46].

Alle vier ausgewählten Fragmente wurden so zerteilt, dass ein größeres Ausgangsstück zurückbehalten werden konnte, das ebenfalls einer TL-Analyse unterzogen wurde (Serie 0 – unbelastet). Die einzelnen Proben wurden schließlich mit der in diesem Projekt verwendeten CT-Anlage v|tome|x C 240 D mit unterschiedlichen Einstellungen der Röntgenröhre belastet (Tab. 6).

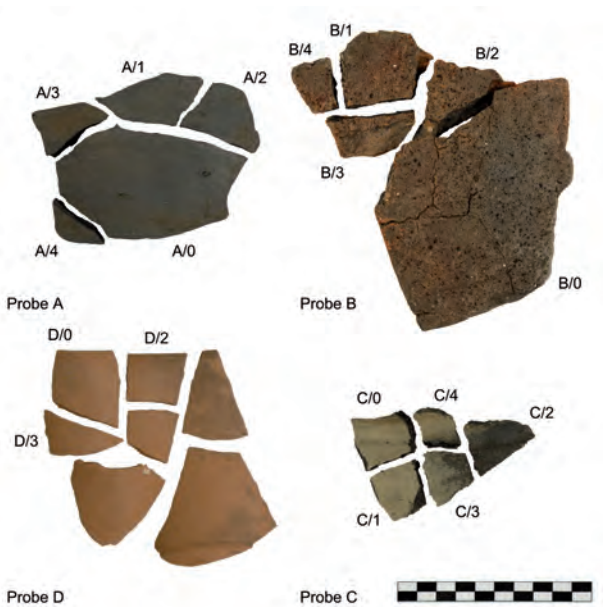


Abb. 14: Objekte A–D mit Probenauswahl für Thermolumineszenz-Analysen (Foto S. Karl)

Serie	CT	FOD [mm]	Voltage [kV]	STime [s]	Current [mA]	Power [W]	XRay Filter	XRayFilter Thickness [mm]
1	v|tome|x C 240 D	320,0	240	3600	0,50	120	no	no
2	v|tome|x C 240 D	320,8	140	719	0,27	37,8	Cu+Al	1,0+1,0
3	v|tome|x C 240 D	320,8	105	720	0,14	14,7	Al	1,0
4	Siemens Somatom Sensation Cardiac 64		120	510 mAs				

Tabelle 6: Belastungen der Keramikobjekte in der v|tome|x C 240 D und im Siemens Somatom Sensation Cardiac 64

44 Zur so genannten Grobkeramik aus diesen Bereich des Vicus von Kalsdorf und ihrer Typografie s. E. Brunnhuber, Stratifizierte römerzeitliche Keramik aus Kalsdorf, Parz. 621 (unpubl. Dipl. Universität Graz 2009) 14–20 Abb. 10 (zu Vorratstöpfen); 20–31 Abb. 11 (zu Töpfen); 46 f. Abb. 13 (zu Krügen). Zum Vicus von Kalsdorf allgemein s. U. Lohner-Urban, Untersuchungen im römerzeitlichen Vicus von Kalsdorf bei Graz. Die Ergebnisse der Ausgrabungen auf der Parzelle 421/1. Baubefund und ausgewählte Kleinfunde (Wien 2009). Für die Unterstützung bei der Datierung und Bestimmung dieser zwei Fragmente ist der/dem Ausgrabungsleiter/in Ute Lohner-Urban und Manfred Lehner sowie Christoph Hinker zu danken.

45 J. Kraschitzer, Kalksteinchengemagerte Schwarzhafnerware in der Steiermark (Diss. Universität Graz, in Arbeit). Für die Datierung und Bestimmung ist Johanna Kraschitzer zu danken.

46 Günther Nograsek, Restaurator in der Abteilung Archäologie & Münzkabinett am UMJ, ist für die Übergabe eines solchen Kruges zu danken.

Bei der ersten Belastungsserie wurde die CT-Anlage mit den technisch höchstmöglichen Bestrahlungswerten eingestellt, sodass sogar der empfindliche Detektor mit einer Bleiplatte geschützt werden musste. Es ist verständlich, dass solche Maximalwerte für herkömmliche CT-Untersuchungen keinesfalls in Betracht kommen. Bei dieser Maximalbelastung ging es allein darum, Auswirkungen auf die TL-Datierung deutlich messbar zu machen. Serie 2 wurde mit den im Projekt definierten Grenzwerten und Serie 3 mit einer durch Wechseln des Filters leicht variierten Änderung belastet. Bei der vierten Serie wurde auch das Verhalten des Lumineszenzsignals bei konventionellen medizinischen Computertomografen – zum Einsatz kam ein Spiralcomputertomograf, Modell Siemens Somatom Sensation Cardiac 64 – überprüft, von denen generell behauptet wird, dass diese Bestrahlungen keine messbare physikalische Beschädigung der Materialsubstanz bewirken[47]. Beim allerjüngsten Objekt D, das erst später in diese Testreihe aufgenommen wurde, unterblieben aus zeitlichen Gründen die Belastungsvarianten 1 (industriell, höchste Stufe) und 4 (medizinisch).

3.3 Thermolumineszenz-Analysen (Beitrag R. Erlach)

Die Datierung von Keramik erfolgt unter Anwendung des Phänomens der „Thermisch stimulierten Lumineszenz“ (Thermolumineszenz, TL), das bei vielen Mineralen auftritt: beim Erhitzen der Minerale zeigen sie Lichtemissionen, die zusätzlich zum normalen thermischen Glühen auftreten. Die Ursache für diese Lichtemission liegt in der Freisetzung von Energie, die im Kristallgitter der Minerale gespeichert war. Diese gespeicherte Energie wiederum stammt vom radioaktiven Zerfall natürlich vorkommender Radionuklide wie Uran und Thorium mit ihren ebenfalls radioaktiven Zerfallsprodukten, sowie dem radioaktiven Isotop des Kaliums ^{40}K. Diese Radionuklide sind in sehr geringer Menge in den meisten natürlich vorkommenden Materialien enthalten und sorgen für einen ständig vorhandenen Pegel an radioaktiver Strahlung in der Umwelt (Abb. 15).

Damit die Datierung von Keramik mittels Thermolumineszenz funktionieren kann, ist das Brennen der Keramik im Zuge der Herstellung ganz wesentlich. Durch die dabei herrschenden hohen Temperaturen wird die gesamte über geologische Zeiträume in den Mineralen des Rohmaterials Ton gespeicherte radioaktive Strahlungsenergie frei gesetzt und damit die „TL-Uhr“ auf Null gestellt. Von diesem Zeitpunkt an beginnt die Energiespeicherung auf Grund der in der Keramik und ihrer Umgebung vorhandenen radioaktiven Stoffe von neuem – mit einer in der Regel konstanten Rate.

Für eine aus einer antiken Keramik entnommene Probe kann in einer TL-Apparatur die TL-Intensität gemessen, durch den Vergleich mit Proben, die mit einer definierten Strahlendosis bestrahlt wurden, die Empfindlichkeit der Keramik gegenüber radioaktiver Strahlung und in weiterer Folge die seit dem Brennen absorbierte „archäologische Dosis“ bestimmt werden. Dazu wird die Probe in mehrere Einzelproben aufgeteilt, von denen einige vor der TL-Messung mit einer definierten Dosis Alpha- bzw. Betastrahlung bestrahlt werden, um damit die Dosischarakteristik der Keramik nachzubilden, aus der die archäologische Dosis errechnet wird. Bei Kenntnis der für die Keramik relevanten Dosisrate der Strahlung kann damit das Alter der Keramik, bzw. der seit dem Brennen der Keramik oder dem letzten Erhitzen auf mehr als etwa 300 °C verstrichene Zeitraum berechnet werden (Abb. 16).

Dieses eigentlich sehr einfache Prinzip der Datierung wird aber durch die unterschiedlichen Eigenschaften der drei radioaktiven Strahlenarten und den inhomogenen Aufbau der Keramik etwas erschwert. Zusätzlich ist die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten in Bezug auf die induzierte TL-Intensität pro Dosiseinheit nicht gleich; die Alphastrahlung hat eine wesentlich geringere Wirksamkeit als Beta- und Gammastrahlung. Die drei radioaktiven Strahlungsarten Alpha-, Beta- und Gammastrahlung haben auf Grund ihrer physikalischen Natur sehr unterschiedliche Reichweiten in Materie. Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung mit einem relativ hohen Durchdringungsvermögen und einer Reichweite von etwa 0,5 m, sie stammt zum überwiegenden Teil aus der Umgebung der Keramik und durchdringt diese gleichmäßig. Die leichten Teilchen der Betastrahlung (Elektronen) haben in keramischem Material eine mittlere Reichweite von 1–2 mm, stammen aus der Keramik selbst (außer im Randbereich) und durchdringen alle nicht zu großen Mineralkörner beinahe gleichförmig.

---

[47] Van de Put, Use, 204 Anm. 11: „Dr. C. Goedicke’s reassuring answer is that ‚die attischen Vasen offenbar keine zusätzliche Strahlendosis [erhalten]‘“.

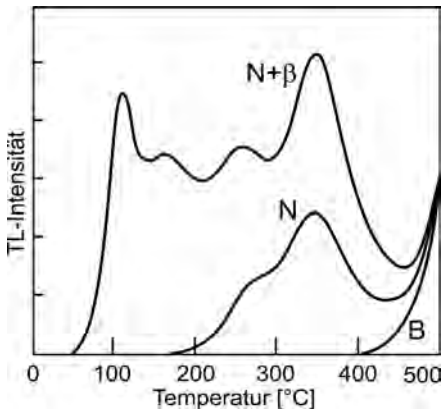


Abb. 15: Thermisch stimulierte Lumineszenz (N = TL-Kurve Keramik, N+ß = TL nach zusätzlicher Beta-Bestrahlung, B = thermisches Glühen) (Grafik R. Erlach)

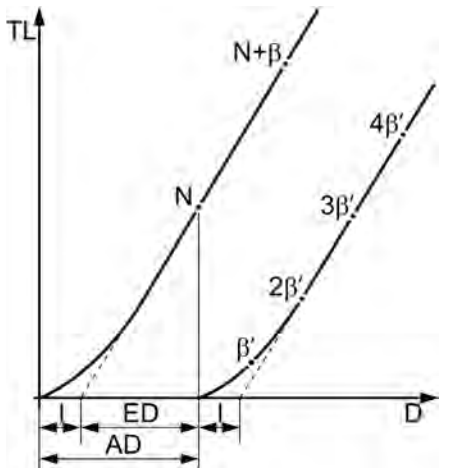


Abb. 16: Ermittlung der archäologischen Dosis AD aus der Dosischarakteristik (ED = Equivalent Dose, I = Intercept) (Grafik R. Erlach)

Am problematischsten sind die schweren Teilchen der Alphastrahlung (Helium-Kerne, bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen), sie haben in keramischem Material eine Reichweite von nur etwa 20 µm. Sie entstehen beim radioaktiven Zerfall von Uran und Thorium in der Keramik selbst und geben ihre Energie sehr lokal ab. Treffen sie dabei auf ein etwas größeres Feldspat- oder Quarz-Korn (Quarz und Feldspat liefern den Hauptbeitrag zur Thermolumineszenz von Keramik), so kann dieses nicht vollständig durchdrungen werden. Die Strahlungsenergie wird nur im Randbereich des Korns absorbiert, wogegen die gemessene Thermolumineszenz aber aus dem gesamten Volumen des transparenten Korns stammt. Die resultierende Diskrepanz zwischen dem Volumen in dem die Strahlungsenergie deponiert wird und dem Volumen aus dem die Thermolumineszenz stammt, kann zu einem nicht unbeträchtlichen Fehler bei der Berechnung des TL-Alters führen.

Zur Vermeidung dieser Probleme mit der Dosimetrie in Keramiken wurden in den späten 1960er Jahren zwei Methoden zur Aufbereitung von Keramikproben für die Datierung mittels Thermolumineszenz erarbeitet:

Die *Feinkorn-Methode*[48] verwendet eine polyminerale Kornfraktion im Größenbereich zwischen 1 und 8 µm deren Körner klein genug sind, dass auch die Alphastrahlung das gesamte Kornvolumen durchdringen kann. Für die Berechnung des TL-Alters ist die Dosisleistung aller drei Strahlenarten relevant.

Für die *Quarz-Einschluss-Methode*[49] werden größere Quarz-Körner mit einem Durchmesser von etwa 100 µm aus der Keramik extrahiert und deren Außenschicht, in der die Alphastrahlung absorbiert wurde, abgeätzt. Für die Berechnung des TL-Alters ist nur mehr die Dosisleistung von Beta- und Gammastrahlung relevant.

Probenaufbereitung nach der Feinkorn-Methode

Die im gegenständlichen Projekt zu datierenden Keramiken wurden nach der Feinkorn-Methode bearbeitet, da für die Quarz-Einschluss-Methode wesentlich größere Probenmengen notwendig sind, um eine entsprechende Menge an geeigneten Quarz-Körnern für die Datierung extrahieren zu können.

Für die Datierung nach der Feinkorn-Methode wird aus dem Keramikpulver (resultiert aus der Entnahme der Proben mittels Hartmetallbohrer) die polyminerale Kornfraktion im Bereich zwischen etwa 1 und 8 µm extrahiert. Dies geschieht durch Sedimentation aus einer Suspension des Keramikpulvers in Aceton über

[48] D. W. Zimmerman, Thermoluminescent dating using fine grains from pottery, Archaeometry 13, 1971, 29–52.
[49] S. J. Fleming, Thermoluminescent dating: refinement of the quartz inclusion method, Archaeometry 12, 1970, 133–147.

verschiedene Zeiträume. Die gewonnene Feinkornfraktion wird in einem weiteren Schritt mit verdünnter Essig- oder Salzsäure behandelt, um einerseits unerwünschte Minerale zu entfernen (z. B. hat Kalk schlechte TL-Eigenschaften) und andererseits Kornaggregate aufzubrechen, wo mehrere sehr kleine Mineralkörner (diese haben auf Grund von Oberflächeneffekten einen negativen Einfluss auf die Güte der TL-Ergebnisse) ein größeres Korn simulieren. Nach einer weiteren Sedimentation, um diese sehr kleinen Körner abzutrennen, wird die so aufbereitete und in Aceton suspendierte Probe auf mehrere Probenträger sedimentiert.

Dazu wird die Probensuspension in gleichen Portionen in mehrere Glasröhrchen pipettiert, auf deren flachem Boden die Probenträger (dünne leicht aufgeraute Aluminium-Plättchen) liegen. Nach dem Abdampfen des Acetons ergibt dies in der Regel einen sehr homogenen dünnen Belag aus Keramikpulver auf den einzelnen Probenträgern.

Abb. 17: Auf den Glasträger aufsedimentierte Proben mit unterschiedlich gleichmäßiger Belegung; oben: Idealfall; Mitte: sehr schlecht, Probe C/1; unten: akzeptabel, Probe A/4 (Foto R. Erlach)

Schwierigkeiten bei der Probenaufbereitung

Bei den Proben, die im Rahmen dieses Projektes zur TL-Datierung verwendet wurden, konnte jedoch, trotz mehrmaliger Versuche dieses Problem irgendwie in den Griff zu bekommen, keine homogene Belegung der Probenträger erzielt werden. Das Keramikpulver wurde beim Abdampfen des Acetons stets in mehr oder weniger großem Ausmaß von der Oberfläche des Probenträgers ab- oder unter den Probenträger hineingezogen.

Um dennoch einigermaßen brauchbare Proben für die TL-Untersuchung zu erhalten, wurde versucht, für jeden Probenträger, die am Glasboden gelandete Probe mit der Pipette aufzunehmen und direkt aus der Pipette auf den jeweiligen Probenträger zu sedimentieren und dabei eine möglichst gleichmäßige Belegung zu erzielen. Der Erfolg dieser sehr mühsamen und zeitaufwändigen Prozedur kann leider nur als eher bescheiden eingestuft werden (Abb. 17).

Das Resultat dieser ungleichmäßigen Belegung ist leider eine größere Varianz der von den einzelnen Proben gemessenen TL-Intensität. Dies wirkt sich bei der Nachbildung der Dosischarakteristik der Keramik und bei der Berechnung der archäologischen Dosis sehr wahrscheinlich durch eine größere Ungenauigkeit und einen größeren Fehler im Endergebnis aus.

Ergebnisse und Diskussion

Die für die CT-Untersuchung verwendete Röntgenstrahlung ist von ihrer Natur her mit der Gammastrahlung vergleichbar. Beide sind elektromagnetische Strahlungen, die sich nur durch die Art ihrer Entstehung unterscheiden und durch ihre Energie; die Energie der Gammastrahlung in der Keramik ist zum Teil 5 bis 10mal so hoch wie die der verwendeten Röntgenstrahlung. An sich sollten Röntgen- und Gammastrahlung die gleiche oder sehr ähnliche Wirkung bezüglich der pro Dosiseinheit induzierten TL-Intensität haben; ob sich allerdings die unterschiedliche Energie auswirkt, entzieht sich meiner Kenntnis.

Prinzipiell sollte sich die zusätzliche Bestrahlung mit Röntgenstrahlung im Zuge der CT-Untersuchung nur auf die Äquivalente Dosis ED auswirken, Intercept I und Alpha-Effektivität a sollten für den jeweiligen Keramiktyp unabhängig von der zusätzlichen Röntgenstrahlung konstant bleiben. Die Variationen von I und a bei den einzelnen Keramiktypen müssen wohl vorwiegend auf die sehr variable Probenbelegung zurückgeführt werden, sie wirken sich in weiterer Folge auf die Archäologische Dosis AD (I wegen AD = ED + I) und das TL-Alter TLA (I und a) aus.

Deutlich erkennbar ist der Zuwachs bei ED und in weiterer Folge bei AD und TL-Alter bei den Proben, die mit dem industriellen CT-Gerät in der Bestrahlungsvariante 1 durchstrahlt wurden (Proben: A–C/1) (Tab. 7).

Vor allem auf Grund der langen Bestrahlungsdauer von 1 Stunde ergibt sich ein zusätzlicher Beitrag zu ED (ED+) von 4,1 bis 5,9 Gy (Gray) bzw. zu AD (AD+) von 5,4 bis 6,6 Gy und daraus folgend ein zusätzlicher Beitrag zum errechneten TL-Alter von etwa 820 bis 1140 Jahren.

Bei den übrigen drei Bestrahlungsvarianten (2 bis 4: Proben A/2–4; B/2–4; C/2–4; D/2–3) lassen sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten wegen der starken Schwankungen der Ergebnisse nicht erkennen (Tab. 7). Der Zuwachs bei ED bzw. AD dürfte im Bereich von 1 bis 2 Gy und beim TL-Alter im Bereich von etwa 200 bis 400 Jahren liegen. Für Gefäße, die aus archäologischer Sicht älter als etwa 2000 Jahre sind, darf bei Einhalten der Bestrahlungswerte der Varianten 2 bis 4 davon ausgegangen werden, dass eine Scheidung von Imitaten des 19. Jahrhunderts auch nach der Strahlenbelastung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit möglich ist[50].

Wie sich die unterschiedlichen Parameter wie Spannung und Strom der Röntgenröhre bzw. unterschiedliche Varianten der Filterung der Röntgenstrahlung auf die Thermolumineszenz der Proben auswirken, lässt sich aus den TL-Ergebnissen nicht ablesen. Dazu müssten die Untersuchungen in einem größeren systematischen Rahmen durchgeführt werden; in Form von mehreren Bestrahlungsreihen mit jeweils einem Keramiktyp bei denen jeweils nur die Spannung, der Strom bzw. die Filterung geändert wird.

Probe		ED [Gy]	ΔED [Gy]	I [Gy]	ΔI [Gy]	AD [Gy]	ΔAD [Gy]	a	Δa	TLA*) [a]	ΔTLA [a]	ED+ [Gy]	AD+ [Gy]	TLA+ [a]
A/0	P979a	6,922	0,443	1,361	0,593	8,283	0,740	0,165	0,015	1256,4	215,1			
A/1	P979b	10,991	0,595	2,736	0,498	13,727	0,776	0,124	0,007	2392,5	405,3	4,069	5,444	1136,1
A/2	P979c	8,542	0,414	2,026	0,883	10,569	0,975	0,153	0,008	1666,4	290,8	1,621	2,286	410,0
A/3	P979d	6,582	0,710	1,717	0,842	8,299	1,102	0,151	0,011	1317,2	253,2	-0,340	0,016	60,8
A/4	P979e	5,754	0,718	3,798	1,003	9,552	1,234	0,101	0,004	1816,6	392,3	-1,168	1,270	560,2
B/0	P980a	4,617	0,534	3,273	1,451	7,889	1,546	0,154	0,025	1254,7	323,0			
B/1	P980b	10,364	0,856	3,014	0,744	13,378	1,134	0,162	0,014	2073,7	349,1	5,747	5,489	819,0
B/2	P980c	4,791	0,402	3,348	1,155	8,139	1,223	0,147	0,017	1324,7	291,6	0,175	0,250	70,0
B/3	P980d	6,134	0,603	1,727	0,459	7,861	0,758	0,189	0,022	1122,2	190,4	1,517	-0,028	-132,5
B/4	P980e	6,046	0,734	1,133	0,891	7,179	1,154	0,165	0,029	1102,3	242,8	1,429	-0,710	-152,4
C/0	P989a	1,396	0,568	0,523	0,309	1,920	0,646	0,195	0,072	305,4	107,2			
C/1	P989b	7,281	1,167	1,245	1,625	8,526	2,001	0,185	0,031	1394,6	377,7	5,884	6,606	1089,2
C/2	P989c	2,648	0,176	0,791	0,241	3,439	0,299	0,224	0,024	507,0	78,3	1,251	1,519	201,6
C/3	P989d	1,966	0,248	1,069	0,695	3,036	0,738	0,208	0,017	476,5	134,8	0,570	1,116	171,1
C/4	P989e	2,771	0,396	1,255	0,456	4,026	0,604	0,171	0,011	685,5	143,7	1,374	2,106	380,1
D/0	P991a	0,503	0,074	0,016	0,067	0,519	0,099	0,232	0,047	71,1	16,3			
D/2	P991c	0,777	0,052	0,407	0,116	1,184	0,127	0,167	0,032	194,1	40,5	0,275	0,665	123,0
D/3	P991d	0,549	0,110	0,028	0,043	0,577	0,118	0,166	0,012	94,9	19,1	0,046	0,058	23,8

ED, ΔED	Äquivalente Dosis	TLA, ΔTLA	TL-Alter
I, ΔI	Intercept	ED+	Zuwachs ED
AD, ΔAD	Archäologische Dosis	AD+	Zuwachs AD
a, Δa	Alpha-Effektivität	TLA+	Zuwachs TL-Alter

*) Für die Berechnung des TL-Alters wurde die Alpha-Dosisleistung durch Bestimmung der Alpha-Aktivität der jeweiligen Keramik abgeschätzt, für die Beiträge durch Gammastrahlung aus der Umgebung und Betastrahlung vom Kalium-40 wurden übliche Mittelwerte angenommen. Abweichungen dieser Mittelwerte von den tatsächlichen Werten resultieren in Abweichungen des errechneten TL-Alters vom tatsächlichen Alter der Keramiken.

Tabelle 7: Ergebnisse der TL-Untersuchungen

[50] In jedem Fall (wenn möglich) ist die Entnahme von Proben für eine TL-Datierung vor der CT-Untersuchung die bevorzugte Variante. Zu den Kriterien, die von den ausgewählten Keramikobjekten im Rahmen dieses CT-Projektes erfüllt werden mussten, s. Kap. 3.1.

4 DREIDIMENSIONALE REKONSTRUKTION

4.1 Oberflächenrekonstruktion

Aus den dreidimensionalen Computertomografie-Bildern kann mit Hilfe des Neuronen-Rekonstruktions-Algorithmus *NeuRA*[51], der am Interdisziplinären Zentrum für wissenschaftliches Rechnen in Heidelberg sowie am Goethe-Zentrum für wissenschaftliches Rechnen in Frankfurt entwickelt wurde und aktuell in der Version 2.0 vorliegt, die Oberflächengeometrie der gescannten Objekte als Dreiecksgitter rekonstruiert werden. Hierbei wird zunächst das in den Bildern vorhandene, aufnahmebedingte Rauschen durch Anwendung eines Median-Filters großteils eliminiert. Anschließend werden mit Hilfe einer speziell entwickelten Regionenwachstum-Segmentierung Hintergrund und Objekt voneinander getrennt und es wird ein Binärbild erzeugt, in dem die zum gescannten Objekt gehörenden Bildpunkte weiß und die zum Hintergrund gehörenden Bildpunkte schwarz repräsentiert werden (Abb. 18).

Aus diesem Binärbild wird durch den *Marching-Cubes-Algorithmus*[52] das Oberflächengitter erzeugt und durch eine modifizierte Version des Gitteroptimierungsalgorithmus nach Hoppe in verschiedene Auflösungsstufen überführt (Abb. 19–20)[53].

Das anderenorts ausführlich beschriebene Verfahren der Oberflächenrekonstruktion ermöglicht eine effiziente Extraktion der Volumendaten aus industriellen CT-Aufnahmen und erschließt diese für weitere Analysen, wobei nicht ausschließlich Anwendungen in der Archäologie in Betracht kommen[54].

4.2 Visualisierung

Die auf diese Weise erzeugten Oberflächengeometrien sind im Gegensatz zu den Scandaten nur noch wenige Megabyte groß und können leicht in Echtzeit visualisiert werden (Abb. 21–22). Dasselbe Verfahren wurde auch auf Keramikfragmente angewandt, wobei sich zeigte, dass trotz dieser Reduktion auf reine Oberflächeninformationen immer noch ein hoher Informationsgehalt an herstellungstechnischen Spuren auf der ansonsten sphärischen Gefäßoberfläche erkennbar blieb (Abb. 22)[55]. Beim Scannen durch Computertomografie kann die Oberflächentextur nicht digitalisiert werden und ist daher in den Rekonstruktionen nicht sichtbar.

Darüber hinaus können verschiedene Charakteristika der rekonstruierten Objekte visualisiert werden. Beispielsweise ist Gefäß CT03046, ein der Este-Kultur zugehöriger Becher (Abb. 23 a), mit Bronzeapplikationen verziert. Bei äußerer Betrachtung des Gefäßes ist nicht erkennbar, ob diese annähernd quadratischen kleinen Beschläge nur in den Ton hinein gedrückte gewölbte Blättchen sind oder es sich um Köpfe tatsächlicher Nägel handelt[56]. Durch geeignete Schwellwertsetzung bei der Segmentierung während des Rekonstruktionsprozesses (Abb. 23 b) können die Metallbeschläge separat rekonstruiert werden, wodurch ihre flache Form ohne Nagelstift erkennbar wird[57]. Es handelt sich dabei um eine Bronzeschuppenverzierung (Abb. 23 c)[58]. Die CT offenbarte auch, dass dem Becher der ursprüngliche Standring fehlt und die nahezu waagrechte und plane Bruch-

---

51 http://www.neura.org.

52 W. E. Lorensen – H. E. Cline – E. Harvey, Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm, Computer Graphics 21, 1987, 163–169.

53 H. Hoppe – T. DeRose – T. Duchamp – J. McDonald – W. Stuetzle, Mesh Optimization, Proc. of the 20st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM SIGGRAPH 1993 (New York 1993) 19–26.

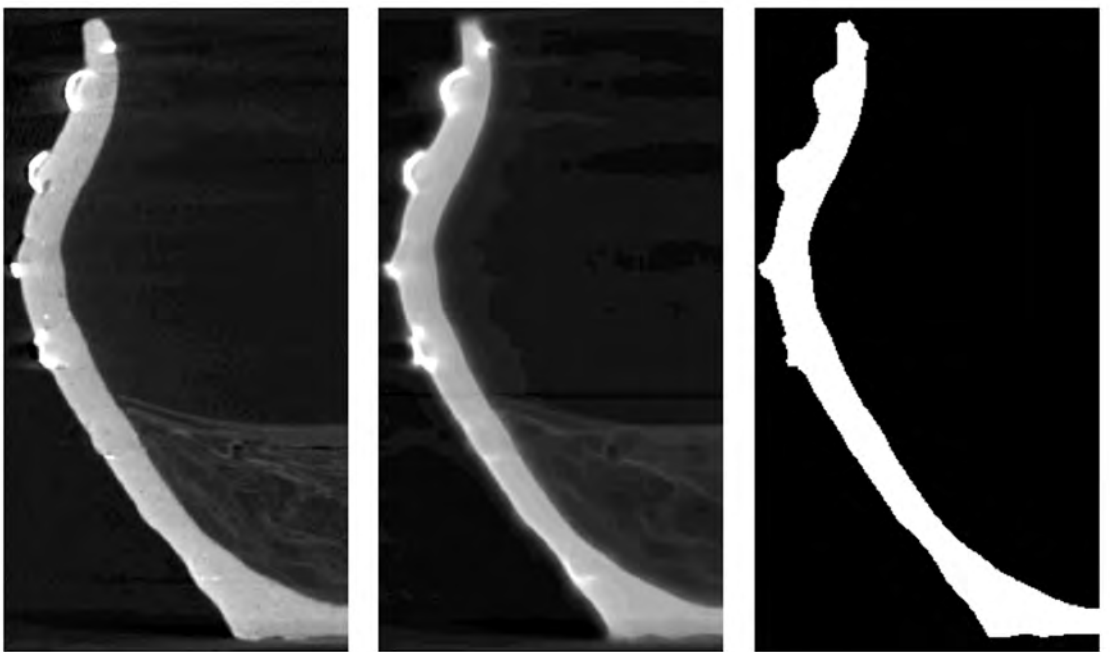
54 Die in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden, Ergebnisse und Visualisierungen wurden bereits in Jungblut, Rekonstruktion, veröffentlicht.

55 Zu diesen Fragmenten vgl. Karl, Durchleuchtungen, 102 Abb. 3.

56 In der Erstpublikation ist der Dekor folgendermaßen beschrieben: „Topf der älteren Eisenzeit (HA/C?), mit mehreren Reihen von Bronzenägeln verziert, Oberteil geglättet“; s. W. Artner, Archäologische Übersicht. Urgeschichte, Römerzeit und Frühmittelalter im Bereich der Stadt Graz, in: W. Resch (Hrsg.), Die Kunstdenkmäler der Stadt Graz. Die Profanbauten des I. Bezirkes, Österreichische Kunsttopographie 53 (Wien 1997) XLIII KG nicht bekannt Nr. 3 Abb. E 13.

57 Jungblut, Rekonstruktion, 134–147.

58 Zu diesem typischen Verzierungselement der Este-Kultur s. J. Meffert, Die paläovenetische Votivkeramik aus dem Reitia-Heiligtum von Este-Baratella (phil. Diss. Universität Köln 1998) 151 f.; vgl. 968 Nr. 2887 Taf. 201 <http://kups.ub.uni-koeln.de/volltexte/2004/1148/> (18.3.2011).



(a) (b) (c)

Abb. 18: Este-Becher CT03046 (UMJ Inv.-Nr. 25281): (a) Querschnitt durch das Originalbild; (b) nach Rauschverminderung; (c) nach Segmentierung (Visualisierung D. Jungblut).

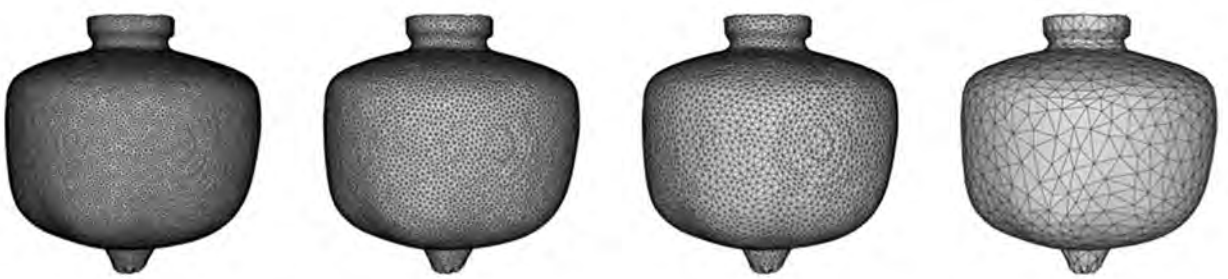


Abb. 19: Rekonstruiertes Gefäß CT03047 (Granatapfelgefäß) (KFUG Inv.-Nr. G 56) in verschiedenen Auflösungsstufen (Visualisierung D. Jungblut)

(a) (b) (c) (d) (e)

Abb. 20: Rekonstruktion der protokorinthischen Keramikgefäße (a) CT03155 (UMJ Inv.-Nr. 4190), (b) CT01184 (UMJ Inv.-Nr. 4214) und (c) CT03145 (UMJ Inv.-Nr. 25277), des korinthischen Alabastron (d) CT03214 (Privatsammlung) und des ostgriechischen Granatapfelgefäßes (e) CT03047 (KFUG Inv.-Nr. G 56) (Visualisierung D. Jungblut)

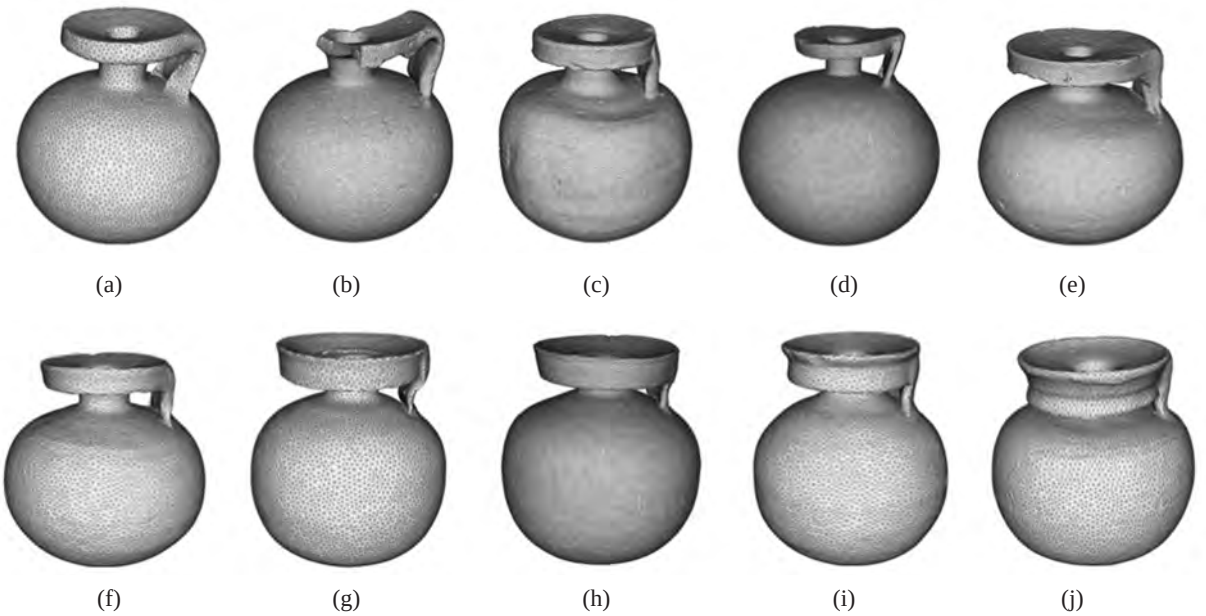


Abb. 21: Chronotypologisch sortierte Rekonstruktionen korinthischer Kugelaryballoi; (a) CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738), (b) CT03211 (UMJ Inv.-Nr. 25303), (c) CT03212 (UMJ Inv.-Nr. 25305), (d) CT04136 (KFUG Inv.-Nr. G 26), (e) CT03213 (UMJ Inv.-Nr. 25302), (f) CT02186 (UMJ Inv.-Nr. 4215), (g) CT02185 (UMJ Inv.-Nr. 25278), (h) CT03210 (UMJ Inv.-Nr. 25301), (i) CT02183 (UMJ Inv.-Nr. 25306) und (j) CT02184 (UMJ Inv.-Nr. 25304) (Visualisierung D. Jungblut)

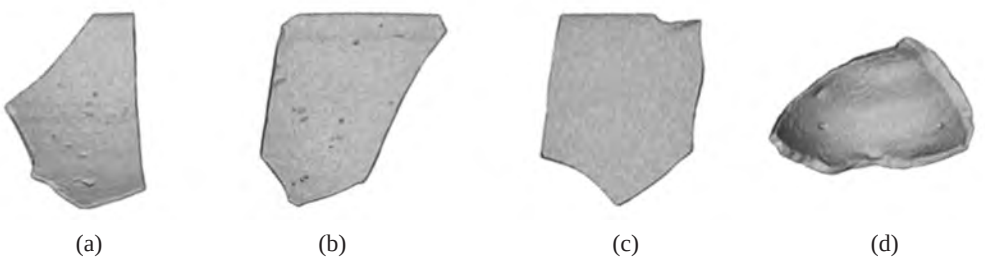


Abb. 22: Rekonstruktionen verschiedener Keramikfragmente (a) CT02188-1 (KFUG Inv.-Nr. 804) und (b) CT02188-4 (KFUG Inv.-Nr. 808) nordionischer, (c) CT02188-2 (KFUG Inv.-Nr. 844) attischer und (d) CT02188-3 (KFUG Inv.-Nr. 788) korinthischer Herkunft; Ansicht jeweils von innen (Visualisierung D. Jungblut)

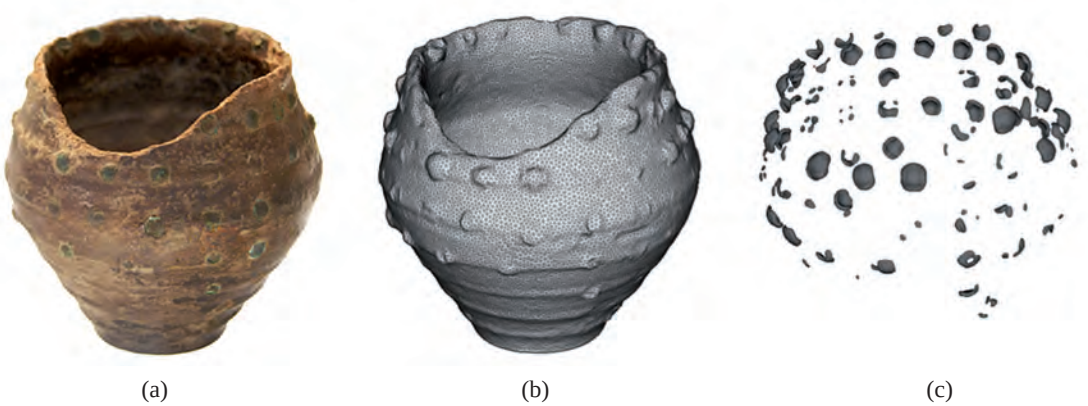


Abb. 23: Este-Becher CT03046 (UMJ Inv.-Nr. 25281): (a) Foto des Gefäßes mit Bronzeapplikationen; (b) Rekonstruktion der Oberfläche; (c) Rekonstruktion der Metallbeschläge (Foto UMJ, D. Modl; Visualisierung D. Jungblut)

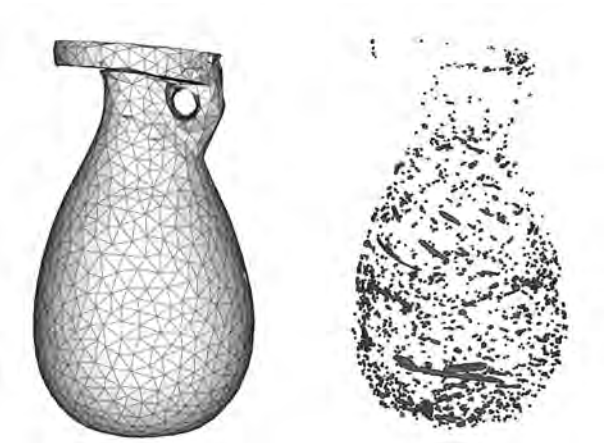


Abb. 24: Korinthisches Alabastron CT03214 (Privatsammlung): (a) Rekonstruktion der Oberfläche; (b) Rekonstruktion der in der Keramik enthaltenen Luftporen, die sich im Uhrzeigersinn spiralförmig nach oben drehen (Visualisierung D. Jungblut)

stelle durch eine bereits von außen zu erahnende, dünne Schicht eines modernen Ergänzungsmaterials (Gips) kaschiert wurde[59].

Des Weiteren können, ebenfalls durch geeignete Schwellwertsetzung bei der Segmentierung, die in den Keramiken vorhandenen Luftporen sichtbar gemacht werden, was hinsichtlich des Alabastron CT03214 untersucht wurde (Abb. 24). Hierbei wird die beim Töpferprozess verwendete Richtung der Drehscheibe gegen den Uhrzeigersinn sichtbar und legt, wie bei allen auf diese Weise untersuchten Gefäßen, einen Rechtshänder als Töpfer nahe.

4.3 Volumen- und Dichtebestimmung

Auf Basis dieser Rekonstruktionen können das Keramikvolumen und die Kapazität der Gefäße automatisch bestimmt werden.

Die Berechnung des Volumens der Keramik ermöglicht die Berechnung der physikalischen Dichte der Objekte, woraus sich Rückschlüsse auf die verwendeten Materialien, unterschiedliche Töpfertechniken und den Keramiktyp der Gefäße ziehen lassen. Zudem lassen sich durch die Berechnung der Kapazität der Gefäße Aussagen über die verwendeten Maßeinheiten in unterschiedlichen Zeitepochen treffen. Es konnte gezeigt werden, dass die Volumenbestimmung bei den untersuchten Gefäßen bis auf einen Milliliter genau ist und damit die Genauigkeit der üblichen archäologischen Methoden bei weitem übertrifft[60]. Von den rekonstruierten Gefäßen wurden jeweils die Kapazität und das Keramikvolumen inklusive der Lufteinschlüsse berechnet. Hierbei werden die Oberflächengitter durch Einfüllen kleiner Tetraeder in Volumengitter überführt, deren Volumina durch Aufsummieren aller Tetraedervolumen berechnet werden können (Abb. 25)[61].

Da die Gefäße unter Normalbedingungen sehr exakt gewogen werden können, lässt sich mit Hilfe des Keramikvolumens die so genannte Rohdichte berechnen.

Rohdichte = (Masse der Keramik) / (Volumen inklusive Lufteinschlüsse)

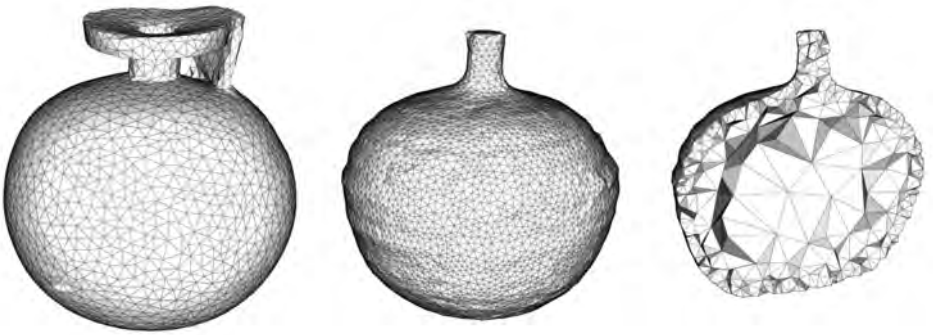
In der nachfolgenden Tabelle sind jeweils die Werte für die berechnete Kapazität, die Masse, das berechnete Keramikvolumen und die daraus resultierende Rohdichte der einzelnen Objekte aufgeführt (Tab. 8). Zudem wurde bei allen Gefäßen das Füllvolumen durch Einschütten von Reis bestimmt und die Abweichung zum berechneten Volumenwert der Kapazität bestimmt.

---

59 Zum Gefäßtypus (bauchiger Becher) vgl. Meffert a. O. (Anm. 58) 90–93; Variante mit Schulterknick; vgl. 774 Nr. 1397. 1403 Taf. 88. Engster Vergleich: A. M. Chieco Bianchi – L. Calzavara Capuis, Este. Le necropoli Casa di Ricovero, Casa Muletti Prosdocimi e Casa Alfonsi, MonAnt 51, Serie Monografica 2 (Rom 1985) 222 Nr. 216-12 Taf. 141, 12 (Nekropole Casa di Ricovero, Grab 216): Phase Este III D2.

60 Zur Messgenauigkeit s. Jungblut, Rekonstruktion, 168–175; zur herkömmlichen archäologischen Methode s. Kap. 5.

61 Zu einer weiteren Darstellung vgl. Karl et al., Insights, Abb. 6.



(a) (b) (c)

Abb. 25: Korinthischer Kugelaryballos CT04136 (KFUG Inv.-Nr. G 26): (a) Rekonstruktion der Oberfläche; (b) Kapazität in Form eines Phantomgefäßes; (c) Darstellung der Volumenberechnung in Form von Tetraeder (Visualisierung D. Jungblut)

Objekt	Kapazität (CT)	Kapazität (Reis)	Abweichung	Masse	Keramikvolumen	Rohdichte
CT01184	45 ml	44 ml	2 %	47,1 g	27 ml	1,7 g/ml
CT02183	123 ml	Nicht möglich		Nicht möglich		
CT02184	108 ml	112 ml	4 %	82,0 g	44 ml	1,9 g/ml
CT02185	102 ml	106 ml	4 %	71,6 g	40 ml	1,8 g/ml
CT02186	81 ml	84 ml	4 %	70,9 g	42 ml	1,7 g/ml
CT02187	56 ml	58 ml	4 %	63,4 g	37 ml	1,7 g/ml
CT02188-1	Keramikfragment			18,6 g	10 ml	1,9 g/ml
CT02188-2	Keramikfragment			7,8 g	4 ml	2,0 g/ml
CT02188-3	Keramikfragment			11,0 g	6 ml	1,8 g/ml
CT02188-4	Keramikfragment			21,2 g	11 ml	1,9 g/ml
CT03047	86 ml	Nicht möglich		72,7 g	55 ml	1,3 g/ml
CT03145	36 ml	36 ml	0 %	45,7 g	25 ml	1,8 g/ml
CT03155	74 ml	76 ml	3 %	37,8 g	23 ml	1,6 g/ml
CT03210	110 ml	114 ml	4 %	68,6 g	37 ml	1,9 g/ml
CT03211	61 ml	62 ml	2 %	52,9 g	30 ml	1,8 g/ml
CT03212	104 ml	107 ml	3 %	97,6 g	54 ml	1,8 g/ml
CT03213	56 ml	58 ml	4 %	59,0 g	32 ml	1,8 g/ml
CT03214	40 ml	39 ml	3 %	47,6 g	27 ml	1,8 g/ml
CT03244	92 ml	92 ml	0 %	214,1 g	110 ml	1,9 g/ml
CT03245	65 ml	67 ml	3 %	96,0 g	49 ml	2,0 g/ml
CT04136	244 ml	252 ml	3 %	128,8 g	71 ml	1,8 g/ml

Tabelle 8: Berechnung von Kapazität, Keramikvolumen und Rohdichte der rekonstruierten Objekte

Hierbei zeigt sich eine Abhängigkeit der Rohdichte vom verwendeten Keramiktyp (Tab. 9). Diese Zahlen sind allerdings mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten, da mit Ausnahme von korinthischen Gefäßen nur wenige Rekonstruktionen und damit Messwerte für die Rohdichte vorliegen. Für die Zukunft wäre es interessant, diesen Zusammenhang weiter zu untersuchen. Es scheint sich jedoch abzuzeichnen, dass die Rohdichte wie in der Mineralogie oder Geologie eine materialspezifische Eigenschaft ist, die damit auch eine relevante archäologische Information bildet, mit der es möglich ist, Keramiktypen oder Waren, die für bestimmte Herstellungszentren charakteristisch sind, mit einem zusätzlichen Attribut zu definieren.

Keramiktyp	Rohdichte
Ostgriechisch	ca. 1,3 g/ml
Protokorinthisch	ca. 1,6–1,7 g/ml
Korinthisch	ca. 1,7–1,9 g/ml
Nordionisch	ca. 1,9 g/ml
Attisch	ca. 2,0 g/ml
Modern	ca. 1,9–2,0 g/ml

Tabelle 9: Rohdichte in Abhängigkeit des jeweiligen Keramiktyps

Bei genauer Betrachtung der Tabelle 8 fällt auf, dass bei Gefäß CT02183 der durch Einfüllen von Reis bestimmte Volumenwert der Kapazität fehlt. Dieses Gefäß enthält zwei große mitgebrannte Tonklumpen, die wahrscheinlich beim Töpferprozess in das Gefäß gefallen sind. Da die Entfernung dieser harten Tonklumpen das Gefäß beschädigen würde, lässt sich das Füllvolumen dieses Objektes mit den üblichen Methoden nicht bestimmen. Entfernt man diese Tonklumpen mit Hilfe von *NeuRA2* digital, lässt sich die Kapazität des Gefäßes jedoch berechnen. Da eine übliche archäologische Volumenbestimmung des ostgriechischen Granatapfelgefäßes CT03047 ebenfalls nur unter Beschädigung der feinen Grate am Umbruch des Gefäßkörpers zur Mündung möglich wäre, fehlt der entsprechende Wert ebenfalls. Mit Hilfe der hier vorgestellten Rekonstruktionen lässt sich die Kapazität des Gefäßes jedoch berechnen.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass der durch die Reismethode bestimmte Wert häufig den CT-Volumenwert der Kapazität übertrifft. Dieses Phänomen lässt sich darauf zurückführen, dass sich der Reis in einem Gefäß mit großer Grundfläche besser verdichtet, als in dem 50 ml-Messzylinder (Innendurchmesser 2,15 cm; max. Messhöhe 13,2 cm) zur Volumenbestimmung, der für das Umfüllen und Messen der jeweiligen Reismenge in dieser Studie Verwendung fand[62].

5 FORMANALYSE

Mit einer industriellen CT wird eine komplette dreidimensionale Dokumentation des Objektes mit allen äußeren, aber auch inneren Strukturen erreicht: Im Falle der im Rahmen des Grazer CT-Projektes untersuchten griechischen Vasen, basierend auf den oben beschriebenen technischen Vorgaben und Einstellungen, innerhalb von nur 12 min Aufnahme und weiteren etwa 12 min zur Erstellung der Rekonstruktionsmatrix[63]. Im Gegensatz zur Dokumentation mittels eines 3D-Scanners, basierend auf dem Prinzip von strukturiertem Licht (auch als optischer 3D-Nahbereichsscanner bezeichnet) oder eines 3D-Laser-Scanners, ist die Dauer einer CT-Untersuchung nicht von der Komplexität des Objektes abhängig; ein gewisser Vorteil, wenn es um Erhebung einer Projektdauer oder um eine Kostenkalkulation geht. Mit der CT sind zusätzlich auch äußere Oberflächen darzustellen, die wohl einsehbar sind, doch manuell bzw. mit 3D-Scannern kaum bis gar nicht einmessbar sind (Abb. 26; vgl. Abb. 13). Der besondere Vorteil des 3D-Scannens mit strukturiertem Licht bei gleichzeitiger optischer Aufnahme der Oberfläche ist hingegen die digitale Einbindung der Texturierung, d. h. der Farbinformationen der sichtbaren Objektoberfläche, die mit einem Computertomografen natürlich nicht möglich ist[64]. Nur bei signifikantem Dichteunterschied des verwendeten Malschlickers, der Engobe, zum Keramikkörper wäre eine binäre Darstellung der bemalten Flächen mittels CT erzielbar (Abb. 6). Die Feinheit der CT-Auflösung

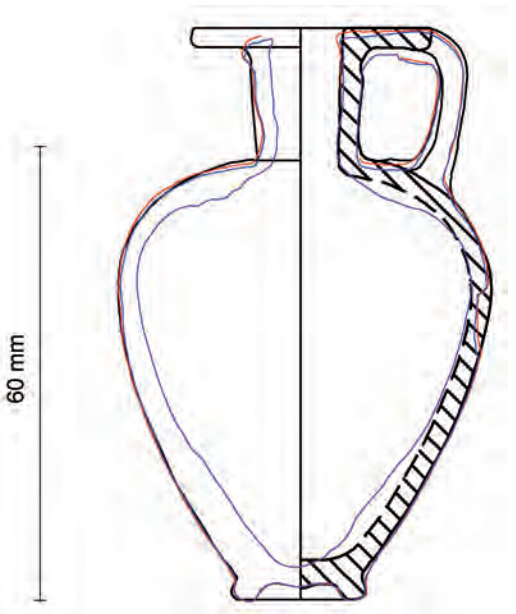


Abb. 26: Protokorinthischer Aryballos CT01184 (UMJ Inv.-Nr. 4214) mit Überlagerung der Profillinien aus der konventionellen Zeichnung (schwarz), aus den Daten der 3D-Vermessung mit strukturiertem Licht (rot) und aus der CT-Rekonstruktion (blau) (Grafik S. Karl)

62 Jungblut, Rekonstruktion, 222. Das Füllvolumen des Gefäßes CT04136 wurde im Rahmen der CVA-Publikation zur Grazer Institutssammlung ebenfalls vermessen, jedoch mit Sand und einem 100 ml-Messzylinder. Diese Messung ergab den Wert 248 ml, der somit mittig zwischen 244 ml (CT) und 252 ml (Reis/Messzylinder) fällt.

63 Zur Datenaufnahme und zur Auswahl der Objekte s. Kap. 2. und 3.1.

64 Ein Teil der Gefäße aus diesem CT-Projekt wurde parallel dazu mittels eines 3D-Scanners mit strukturiertem Licht aufgenommen (15.–17. Juli 2009). Zweck dieses Vorgehens waren sowohl der Methodenvergleich als auch Vorarbeiten zu einer zukünftigen Methodenkombination; s. dazu Kap. 8. Der Arbeitsgruppe Visualisierung und Numerische Geometrie (NGG) des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (Susanne Krömker, Julia Portl, Julia Freudenreich, Hubert Mara und Jens Fangerau) ist an dieser Stelle besonders zu danken. Zur 3D-Vermessung s. Beitrag von H. Mara und J. Portl in diesem Band.

bildet darüber hinaus auch die Binnenritzung der schwarzfigurig bemalten Keramikgefäße ab, die gerade für die stilistische Bestimmung dieser Ware von Bedeutung ist (Abb. 27). Bemalung und Ritzung werden zumeist nur durch aufwändige zeichnerische Abrollungen des Gefäßes in einem für eine archäologische Auswertung entsprechenden Informationsgehalt gewonnen (Abb. 28).

Durch die CT wird im Prinzip eine virtuelle dreidimensionale Kopie des Untersuchungsobjektes erzielt, die in der Folge – ohne das Original zu beeinträchtigen – untersucht werden kann. Maße, wie Wandstärken, Durchmesser etc., können aus den digitalen Daten an jeder beliebigen Stelle entnommen werden. Die Erfassung der inneren Kontur der Wandung, die entweder direkt als CT-Schnitt dargestellt oder manuell umgezeichnet werden kann, ermöglicht es bei vollständig erhaltenen Gefäßen mit enger Mündung, erstmals auch diese Information richtig darzustellen. Gerade die innere Kontur offenbart wesentliche herstellungstechnische Details. So zeigen z. B. korinthische Kugelaryballoi eine unterschiedliche innere Ausformung des Überganges der Gefäßschulter zum Hals, wobei es sich hierbei um Merkmale oder Phänomene handelt, die offenbar einem chronologischen Wandel unterliegen (Abb. 28–29)[65].

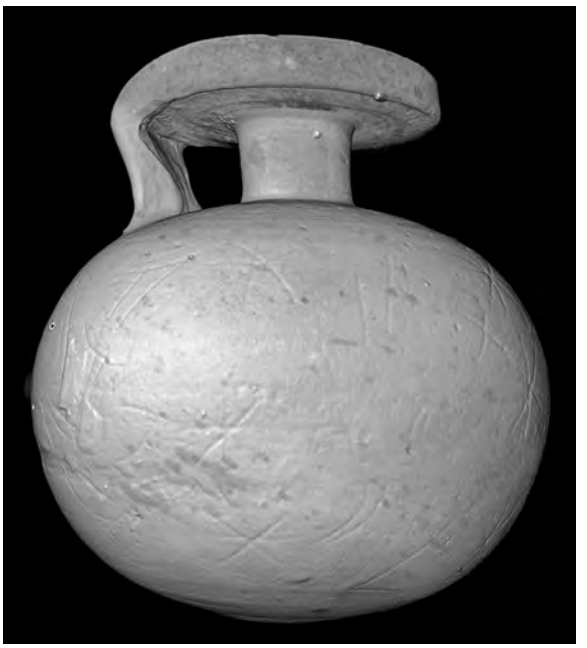


Abb. 27: Korinthischer Kugelaryballos des La-Trobe-Malers CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738) mit Binnenritzung der schwarzfigurigen Bemalungstechnik; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Die akkurate Darstellung des Gefäßprofils ist für formtypologische Analysen in der archäologischen Keramikforschung weiterhin unumgänglich. Die Verknüpfung des üblicherweise als Profil umgezeichneten Fragmentes aus einer archäologischen Grabung mit dem Profil eines ganz erhaltenen Gefäßes aus einem Museumsbestand bildet dazu eine wesentliche Grundlage[66]. Zusätzlich dienen Profilzeichnungen, die auch kleinste Unregelmäßigkeiten in der Gefäßwandung wiedergeben, der Festlegung des Herstellungsprozesses und unterstützen eine Formbeschreibung, die weniger die morphologischen Charakteristika des Objektes auflistet, als den Prozess seiner Entstehung zu rekonstruieren versucht[67].

Die aus den CT-Daten gewonnene, dreidimensionale Erfassung der inneren Oberfläche schafft gerade hinsichtlich der Bestimmung des Einfüllvolumens einen wesentlichen Vorteil gegenüber anderen Methoden. Bei Angabe einer Füllhöhe kann das Einfüllvolumen, die Kapazität des Gefäßes, automatisiert und exakt berechnet werden[68]. Seit dem Jahr 2002/2003 ist die Volumenmessung ein fixer Bestandteil in CVA-Publikationen von Deutschland und Österreich, da sie ein wichtiger Indikator ist, mögliche Standardisierungen in der Antike festzustellen. Konventionell wird das innere Volumen durch das Einfüllen fester Stoffe wie Styroporkügelchen, Reis oder Sand und Umfüllen in einen Messzylinder bzw. Abwiegen des Gewichtes mit anschließendem Umrechnen auf das Volumen gemessen[69]. Ein anderes Verfahren basiert auf der Rotationsgeometrie des Gefäßes und errechnet das Einfüllvolumen über eine digitalisierte zweidimensionale Formerfassung der Innenkon-

---

65 Zur Registrierung von Phänomenen s. B. Kaeser, Herstellungs- und Schicksalsspuren, Nachträge, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 65–72, bes. 71.

66 W.-D. Heilmeyer, Keramologie contra Vasenkunde? – Das CVA aus der Sicht eines Museumsleiters, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 17 f.

67 P. Perkins, Etruscan Bucchero in the British Museum, The British Museum Research Publication 165 (London 2007) 9.

68 Zur Berechnung s. Kap. 4.3.

69 Bentz – Böhr, Maßen; M. Bentz, Panathenäische Preisamphoren. Eine athenische Vasengattung und ihre Funktion vom 6.–4. Jahrhundert v. Chr., AntK Beih. 18 (Basel 1998) 31–40, bes. 32: „Bei den Messungen muss ein Unsicherheitsfaktor von etwa 0,5 l berechnet werden – in Einzelfällen sogar mehr.“ Vgl. A. Schöne-Denkinger in CVA Berlin 11, S. 8: „Bei mehrmaliger Messung traten bei größeren Gefäßen Differenzen bis zu 0,5 l auf, bei kleineren ca. 200–300 ml.“

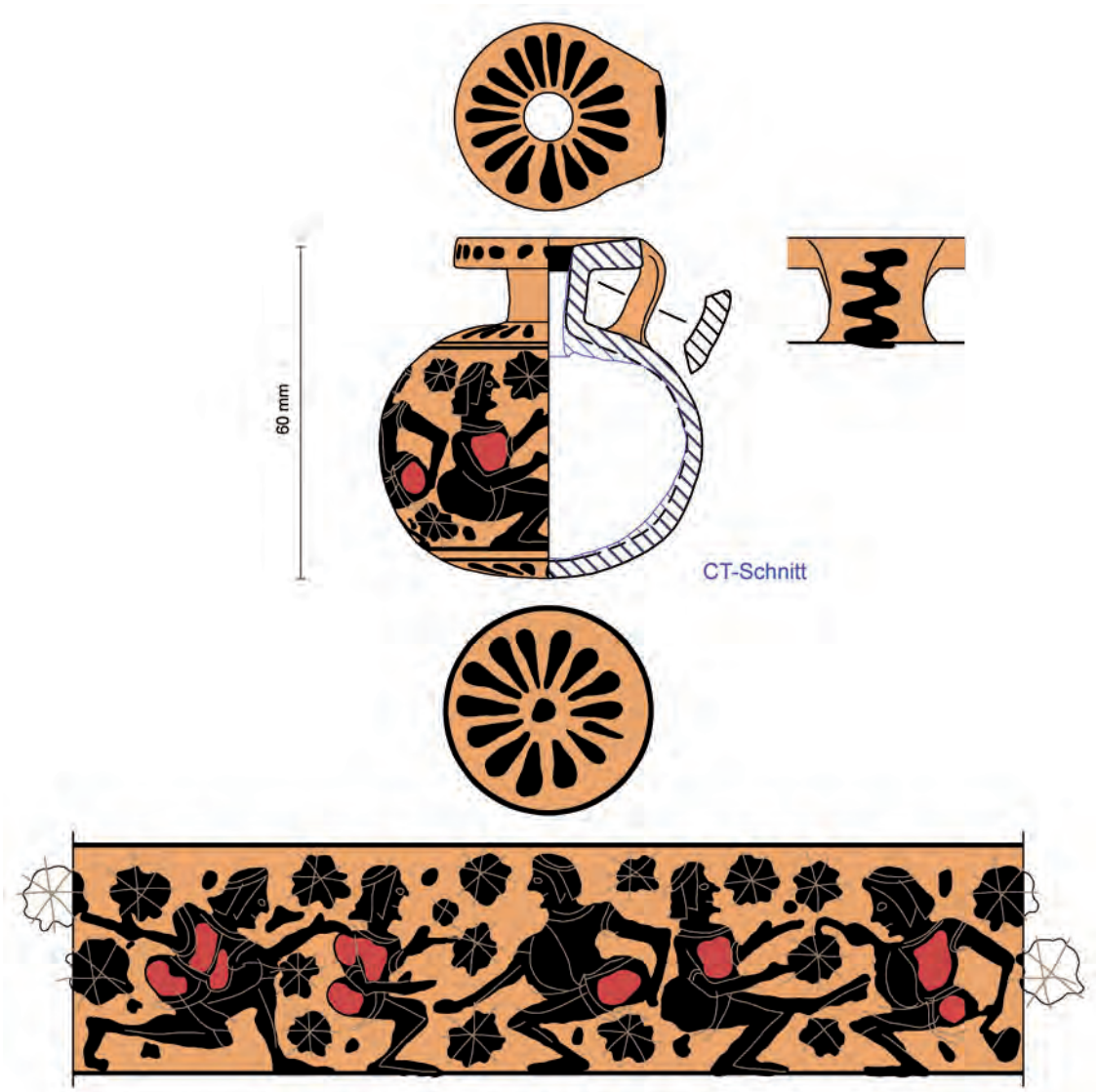


Abb. 28: Korinthischer Kugelaryballos des La-Trobe-Malers CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738) mit Darstellung von Komasten, konventionelle Zeichnung mit Innenkontur nach den CT-Daten (Grafik S. Karl)

tur auf mathematischem Weg[70]. Kritische Bemerkungen zu den Messunsicherheiten dieser herkömmlichen Volumenbestimmungen stammen von Manfred Hüttig. „Metrologie kann definiert werden als ‚die Wissenschaft vom Messen in Verbindung mit der Bewertung der Unsicherheit' [...].[71]" Wesentlich genauer ist eine Volumenberechnung aus einem 3D-Modell, auch wenn mittels Oberflächenscanner die Wandstärke bei Gefäßen mit enger Mündung über Werte an den einmessbaren Bereichen des Randes und des Bodens gemittelt werden muss[72]. Neben der Automatisierung und Genauigkeit der Messung bietet die CT in diesem Fall sicherlich ein schonenderes Vorgehen für das antike Objekt.

[70] C. Steckner, Das Samos-Projekt. Neue Wege der Informatikanwendung in der Archäologie, AiD 1989/1, 16–21. Im Internet wird am Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine (CReA) der Freien Universität Brüssel ein interaktives Programm für eine automatisierte Volumenbestimmung aus einer Profilzeichnung angeboten: http://lisaserver.ulb.ac.be/capacity.

[71] M. Hüttig, Methoden der Volumenbestimmung für antike Gefäße am Beispiel griechischer Transportamphoren, AM 114, 1999, 317–324, bes. 317. Von M. Bentz wird jedoch zu Recht darauf hingewiesen, dass diese Kritik „nicht zu einem für den Archäologen sinnvoll verwertbaren Ergebnis" führt (Bentz – Böhr, Maßen, 73 Anm. 1).

[72] Mara et al., Acquisition, 26 Abb. 9.

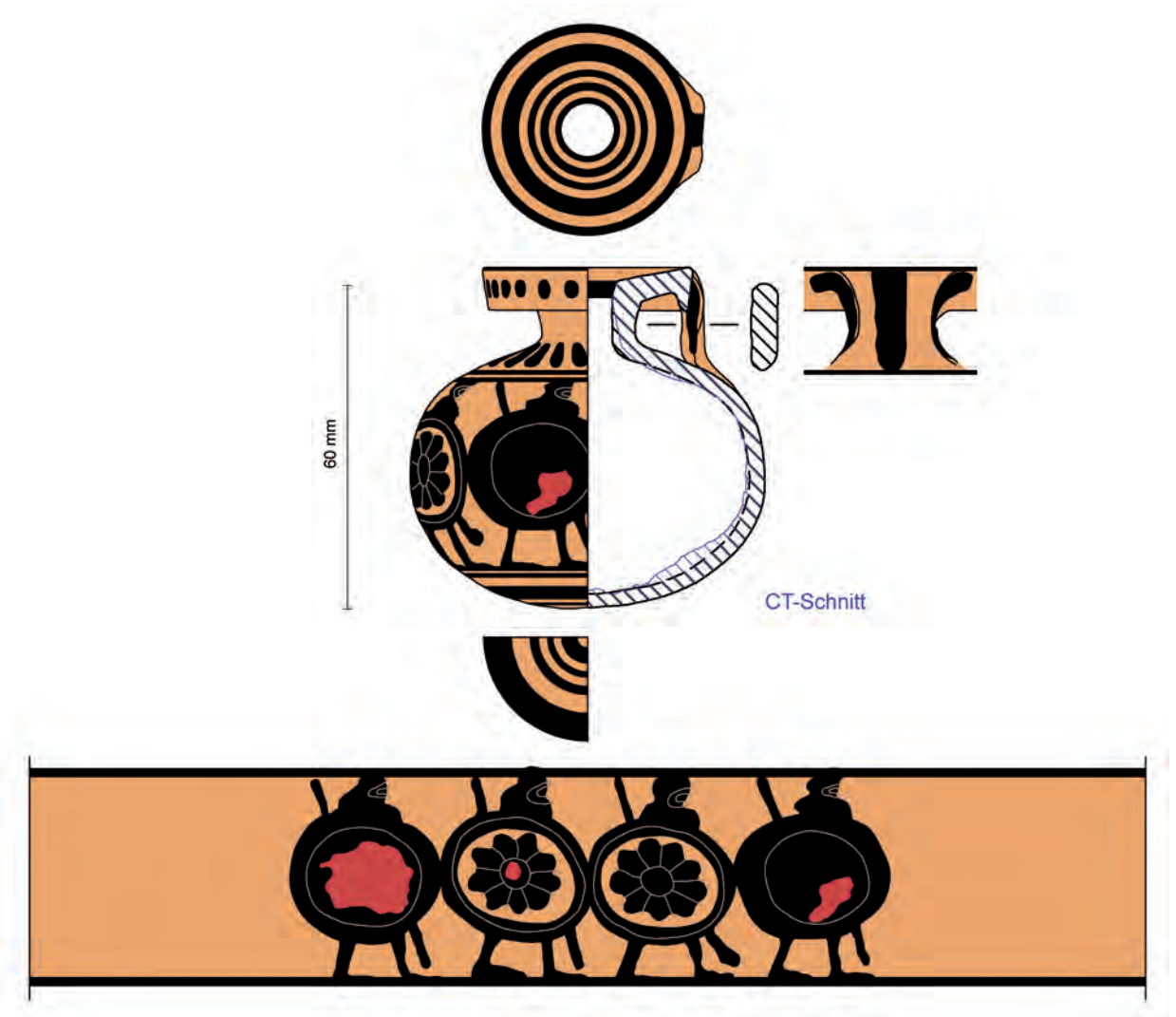


Abb. 29: Korinthischer Kugelaryballos CT02186 (UMJ Inv.-Nr. 4215) mit Darstellung eines Kriegerzuges, konventionelle Zeichnung mit Innenkontur nach den CT-Daten (Grafik S. Karl)

6 HERSTELLUNGSTECHNISCHE ANALYSE

In letzter Zeit werden technologische und archäometrische Studien immer mehr in den Mittelpunkt der Keramikforschung gerückt, um die einzelnen Arbeitschritte in den Werkstätten der Töpfer und Maler besser verstehen zu können. So lässt sich der Herstellungsprozess von der Gewinnung des Rohstoffes in der Tonlagerstätte bis zur Fertigstellung des Gefäßes rekonstruieren. Der Radiografie kommt hier allgemein eine besondere Bedeutung zu, denn sie ermöglicht die dafür notwendigen Einblicke in den Körper des Gefäßes, wie sie mit anderen Methoden – gerade bei Museumsobjekten – nicht oder nur eingeschränkt möglich sind[73]. Die Dokumentation eines Gefäßes mit Hilfe der industriellen CT bietet eine weit über röntgenografische Aufnahmen hinausgehende Klarheit im Detail.

Durch die Sichtbarmachung charakteristischer primärer Herstellungsspuren an der Oberfläche, die sich zumeist nur im Inneren geschlossener Gefäße vor dem sekundär erfolgten Abdrehen und Glätten im lederhar-

[73] Bei röntgenografischen Untersuchungen wurde dieser Aspekt stets betont: Tite, Pottery, 186: „Xeroradiography, which, through its method of recording the x-ray image, enhances the edges of inclusions, pores, and any joins within the pottery, provides a particularly powerful technique for investigating pottery forming methods [...]“; vgl. Middleton, Ceramics, 83–92; Berg, pots; zu weiterführender Literatur s. Kap. 1.1.

ten Zustand bewahrt haben, und durch die Darstellung spezifischer Gefügestrukturen in der Keramikmatrix selbst ergeben sich in den meisten Fällen ausreichende Erkenntnisse, den Fertigungsprozess des jeweiligen Gefäßes nachvollziehen zu können[74]. „The manufacturing process forms a basic part of this study, because in the process – including firing the pottery – the potters create all of the specific qualities and characteristics of a vessel which in turn can be studied by the archaeologist.[75]“ Die Feststellung individueller Merkmale an den Untersuchungsobjekten kann die zumeist auf stilistischen oder typologischen Methoden basierenden Zuweisungen der einzelnen Stücke zu bestimmten Töpferwerkstätten unterstützen.

Die Verwendung der schnell drehenden Töpferscheibe ermöglicht dem Töpfer, Gefäße in kürzerer Zeit und effizienter zu formen. Das Hochziehen der Wandung bei gleichzeitiger Rotation prägt dem Ton eine charakteristische Gefügestruktur ein, die sich in einer spiralförmigen Orientierung und Ausrichtung der inneren Luftporen und der nicht-plastischen Bestandteile in der Keramikmatrix kenntlich macht[76]. Bei den im Grazer CT-Projekt durchstrahlten Vasen verläuft diese Spiralisierung stets im Uhrzeigersinn nach oben, was auf eine gegen den Uhrzeigersinn bewegte Töpferscheibe beruht, und besitzt von Fall zu Fall einen leicht unterschiedlichen Anstiegswinkel (Abb. 24)[77]. Die Drehrichtung der Töpferscheibe gegen den Uhrzeigersinn, die eine rechtshändige Körperseitigkeit des Töpfers, d. h. eine Ausprägung der motorischen Fähigkeiten seiner rechten Hand nahelegt, ist bis heute die bevorzugte Rotationsrichtung der Scheibe[78]. An einigen Gefäßen ist diese Spirale deutlich durch Drehwülste im Bodenbereich zu erkennen; andere Exemplare gleicher Größe und Form sind hingegen in diesem Bereich nahezu glatt (z. B. CT02187). Die von außen eingedrückte und im Inneren des Keramikmaterials sich fortsetzende Spiralstruktur kann als herstellungstechnischer *fingerprint* des Töpfers bezeichnet werden (Abb. 30).

Gefäße werden oft in separaten Schritten hergestellt, auch z. T. unter Anwendung unterschiedlicher Techniken. Die im Zuge des Projektes untersuchten korinthischen Kugelaryballoi wurden alle aus einem Stück auf der schnell drehenden Töpferscheibe – mit aller Wahrscheinlichkeit vom Stock – in einer bauchigen Form hochgezogen; der Halsbereich – wie dies die diagonalen Stressfalten im Inneren zeigen – wurde stark zusammengezogen und der Mündungsteller so mit zwei Fingern nach außen geformt, dass eine zuweilen tief unterschnittene Lippe erzeugt wurde (Abb. 29)[79]. Nichtsdestoweniger lassen sich töpfertechnische Abweichungen an diesen Exemplaren trotz ihres *a priori* ähnlichen Aussehens feststellen[80]. Die Kugelaryballoi der frühkorinthischen Phase besitzen scharfkantige Übergänge von der Hals- zur Schulterzone. Diese wurden dadurch erzeugt, dass nach dem bauchigen Hochziehen die Wandung an ein rundes Stäbchen gepresst wurde und in der Folge mit dem Stäbchen von innen und einem kantigen Gegenstück von außen die Wandung des Halses zylindrisch in die Höhe geformt wurde. Eine solche Technik entspricht in etwa jener zur Herstellung protokorinthischer ovoider Aryballoi[81]. Ferner ist zu beobachten, dass die frühen Kugelaryballoi im unteren Bereich beträchtlich im lederharten Zustand abgedreht wurden (mittels Metallschlaufe?), wobei sich der Töpfer zusätzlich einer Zentrierhilfe bediente, die sich an einer kleinen kegelförmigen Vertiefung am Boden

---

74 Schreiber, Vase, 9–66. Zu den primären und sekundären Spuren s. weiters Rice, Pottery, 124–152; Rye, Pottery, 62–95; Tite, Pottery, 185–188; Berg, pots, 1179–1185.

75 Abbink, cycles, 25. Zur Keramikproduktion der archaischen Zeit s. Stissi, Pottery, 10–179; vgl. allgemein Scheibler, Töpferkunst, 71–133.

76 Die Untersuchung dieser charakteristischen Spiralstruktur wurde mittels medizinischer CT bereits bei Gefäßen der Nasca-Indianer angewendet; s. dazu B. Hoffmann-Schimpf – M. Tellenbach, Die Nutzung der Töpferscheibe durch die südamerikanischen Nasca-Indianer, VDR-Beiträge 2004/1, 99–104; L. Reiblich – M. Tellenbach, An die Mächte der Natur. Mythen der altperuanischen Nasca-Indianer, AW 33, 2002, 441–444.

77 T. Schreiber, The turn of the wheel, in: J. Frel – S. Knudsen Morgan (Hrsg.), Greek Vases in the J. Paul Getty Museum, Occasional Papers on Antiquities 1 (Malibu 1983) 149–153; Rye, Pottery, 74–80; zur Drehdrehung s. z. B. Rice, Pottery, 129 Abb. 5.7c. Zur Aussagekraft des Anstiegswinkels s. Berg, pots, 1179 f.

78 Diese Orientierung scheint (auch bei Linkshänder) auf Lern- und Lehrprozesse zurückzugehen; vgl. dazu H. Wallaert-Pêtre, Manual Laterality Apprenticeship as the First Learning Rule prescribed to Potters, in: L. R. Owen – M. Porr (Hrsg.), Ethno-Analogy and the Reconstruction of Prehistoric Artefact Use and Production, Urgeschichtliche Materialhefte 14 (Tübingen 1999) 185–206. Heutige Töpferscheiben mit elektrischem Antrieb einer eher preisgünstigen Kategorie verfügen nur über eine Drehrichtung; diese läuft standardmäßig gegen den Uhrzeigersinn.

79 Zur Herstellung eines Aryballos s. Schreiber, Vase, 88–91. J. V. Noble nahm noch an, dass Aryballoi aus zwei Teilen zusammengesetzt wurden, aus dem Körper und dem Mündungsteller; s. dazu J. V. Noble, The Techniques of Painted Attic Pottery (New York 1965) 25.

80 Für die Diskussion töpfertechnischer Details ist Ingolf Christian, HTBLVA Graz-Ortweinschule, zu danken.

81 Jansen, Scenes, 320 f.

Abb. 30: Korinthischer Kugelaryballos CT02185 (UMJ Inv.-Nr. 25278) mit im Uhrzeigersinn sich drehenden, spiralförmigen Drehwülsten im Bodenbereich; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

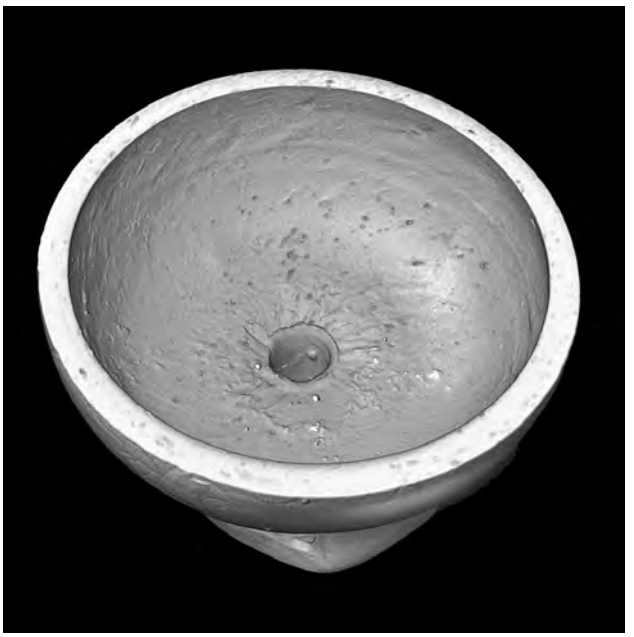


Abb. 31: Korinthischer Kugelaryballos des La-Trobe-Malers CT02187 (UMJ Inv.-Nr. 8738) mit deutlichem Grat im Inneren am Übergang von der Schulter zum Hals; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

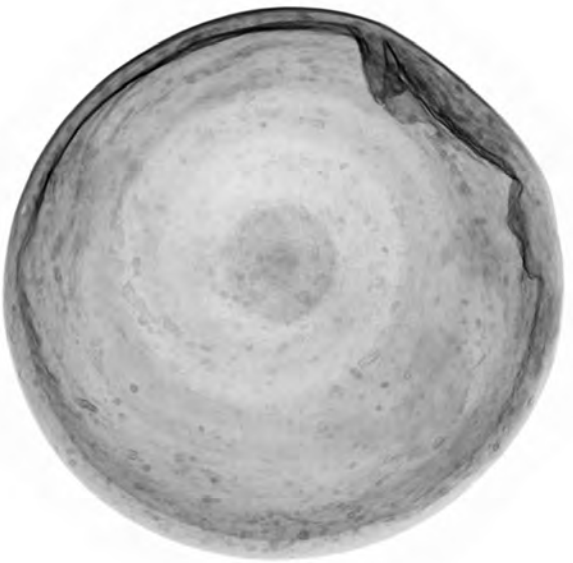


Abb. 32: Korinthischer Kugelaryballos CT03212 (UMJ Inv.-Nr. 25305) mit Ausflickung einer vermutlich schadhaften Stelle durch einen separat geformten Tonlappen; VRVis Volume Renderer (Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

zu erkennen gibt. In diesem Zustand war der Henkel, der aufgrund der perfekten Anpassung in einem relativ frühen Stadium an das frische Gefäß angarniert wurde, bereits angesetzt[82]. Am frühkorinthischen Kugelaryballos des La-Trobe-Malers erkennt man deutlich die Verwendung dieser technischen Hilfsmittel (Abb. 31; vgl. Abb. 27)[83].

Aber auch Missgeschicke bzw. Korrekturen des Töpfers enthüllt die CT. Beim Kugelaryballos CT03212 wurde eine Öffnung in der Wandung des Gefäßes im noch relativ feuchten Zustand mit einem linsenförmigen Tonlappen verschlossen. Möglicherweise entstand sie dadurch, dass eine fehlerhafte, den Brand gefährdende Stelle präventiv herausgeschnitten wurde. Von außen ist diese Einpassung aufgrund der Abdreharbeiten kaum zu erkennen und dadurch nahezu perfekt kaschiert worden (Abb. 32).

Während die Formung des Tones auf der Drehscheibe sich bei allen untersuchten Gefäßen über die spiralförmige Orientierung der Poren und sonstigen nicht-plastischen Bestandteilen bis hin in Bereiche mit geringster Wandstärke wie die Lippe eindeutig erschließt, zeigen die angesetzten Henkel eine lineare innere Struktur, die auf ein in die Längeziehen des Tones zu einem schmalen Band mit länglich ovalem Querschnitt zurückgeht[84]. Angarnierungen sind trotz der z. T. perfekten Ausführung, die kaum Luftporen an der Ansatzstelle (sog. Garniernaht) zeigt, am Wechsel dieses Gefügebildes deutlich zu erkennen; dies auch über die physikalisch-technisch bedingten Feldkamp-Artefakte hinweg, die gerade bei der getroffenen Positionierung der Gefäße im CT-Strahlengang an den Übergängen zwischen der Schulter, dem Hals und dem Mündungsteller auftraten[85].

Dagegen war die Untersuchung des ostgriechischen Granatapfelgefäßes CT03047 insofern überraschend, da sich dabei das völlige Fehlen dieser charakteristischen Gefügestruktur herausstellte[86]. Dieses Exemplar gehört zur der von J. Ducat zusammengestellten Gattung von Granatapfelgefäßen mit nahezu identischer Grundform; unterteilt in zwei Gruppen, die sich ausschließlich in der unterschiedlichen Ausführung der Mündung und ihres Überganges zum Gefäßkörper manifestiert[87]. Variationen innerhalb dieser zwei Gruppen betreffen im Weiteren nur die dekorativen Elemente wie Bemalung und Ritzung im oberen Gefäßdrittel. Herstellungstechnische Details sind zu dieser Gefäßgattung aus der Literatur kaum zu entnehmen; die Beurteilung reicht von „handgemacht“ bis zu „eseguito al tornio e rifinito a mano“[88].

Der Gefäßkörper des Grazer Stückes entstand in keiner Phase auf der Drehscheibe, sondern ist frei aufgebaut, mit aller Wahrscheinlichkeit unter Nutzung einer Negativform. Mehrere charakteristische Spuren an diesem Gefäß weisen auf diese technische Prozedur hin: So ist einerseits die Gefäßwandung gegenüber der kreisförmigen Außenkontur im horizontalen Querschnitt unregelmäßig stark ausgeprägt, andererseits verlaufen vertikale Risse an der Innenseite, die darauf zurückgeführt werden können, dass die vorbereitete Tonschicht in eine Negativform gepresst wurde und beim Trocknen und Brennen an diesen Stellen einriss. In dieser Form muss bereits die Knospe des Granatapfels kegelförmig eingetieft worden sein, da keine Spuren eines separaten Ansetzens dieses Teiles in der CT sichtbar sind. Der Schulterbereich wurde wie bei den korinthischen Kugelaryballoi händisch zusammengezogen und geschlossen. Nach dem Ansetzen des separat geformten,

---

82 Dies bestätigt u. E. auch die Darstellung eines korinthischen Töpfers auf einem der bekannten Penteskouphia-Täfelchen; Louvre MNB 2857: s. dazu Stissi, Pottery, 481 Nr. C103 Taf. 48a; Schreiber, Vase, 12 f. Abb. 2.8. Stissi sieht darin einen Töpfer, der vermutlich im Begriff ist, den Aryballos mit Ritzlinien zu versehen. Da aber der Töpfer mit der zweiten Hand gleichzeitig die Töpferscheibe in Schwung versetzt, ist dies eher unwahrscheinlich. Wohl richtig als „Töpfer beim Abdrehen (?)“ interpretiert: Scheibler, Töpferkunst, 79 Abb. 69. Das Abdrehen ist bei der Herstellung von Keramikgefäßen der aufwändigste und zeitintensivste Arbeitsschritt; eine Darstellung dieses Prozesses wäre somit verständlich.

83 Zum La-Trobe-Maler s. D. A. Amyx, Corinthian Vase-Painting of the Archaic Period (Berkeley 1988) 108 f. Die Angabe des an der engsten Stelle gemessenen inneren Durchmessers, der in etwa dem Querschnitt des verwendeten Stäbchens entspricht, könnte sich somit als relevante Information erweisen (beim Grazer Exemplar des La-Trobe-Malers: 6,8 mm).

84 Schreiber, Vase, 24. Henkel können auch mit einer profilierten Schlaufe aus einer Tonplatte herausgeschnitten werden: Schreiber, Vase, 36 f.

85 Zur Artefaktbildung s. Kap. 2.1.

86 Erstmals in Karl et al., Insights, Abb. 4 vorgestellt.

87 J. Ducat, Les vases plastiques rhodiens archaiques en terre cuite, BEFAR 209 (Paris 1966) 142–144 (Gruppe A und B); vgl. M. J. Maximova, Les vases plastiques dans l’Antiquité. Époque archaïque (Paris 1927) 89 f. 173; R. A. Higgins, Catalogue of the Terracottas in the Department of Greek and Roman Antiquities British Museum II (London 1959, Nachdruck 1975) 29 f. zu Nr. 1650.

88 W. Löwe, Die Kasseler Grabung 1894 in der Nekropole der archaischen Stadt, in: P. Gercke (Hrsg.), Samos – die Kasseler Grabung 1894 in der Nekropole der archaischen Stadt von Johannes Boehlau und Edward Habich, Kataloge der Staatlichen Museen Kassel 24 (Kassel 1996) 64 zu Nr. 45,29 Abb.; S. Boldrini, Le ceramiche ioniche, Gravisca 4 (Bari 1994) 46 zu Nr. 19 Abb. (Tarquinia 76-17162).

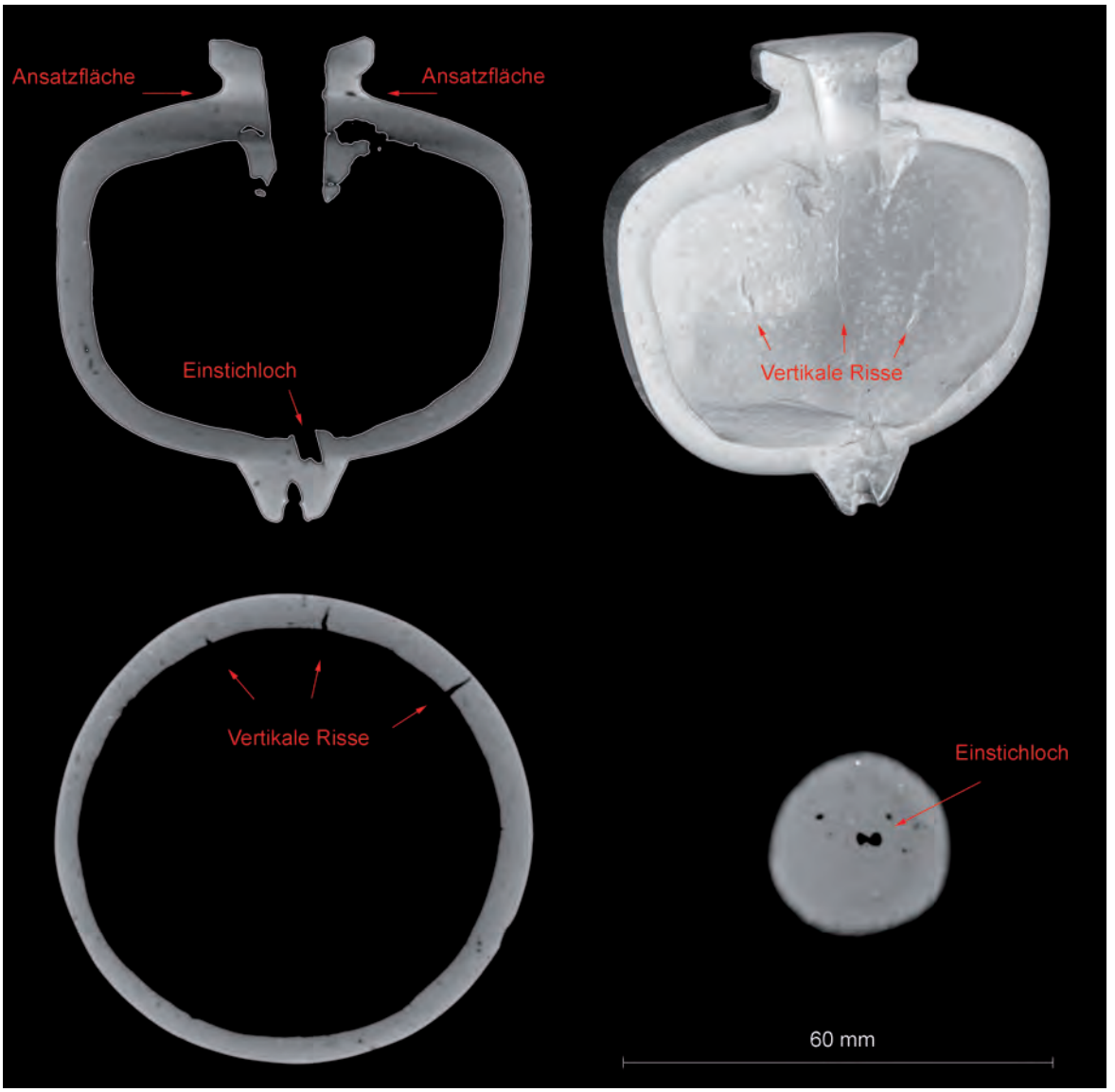


Abb. 33: Ostgriechisches Granatapfelgefäß CT03047 (KFUG Inv.-Nr. G 56) mit Spuren der Herstellungstechnik wahrscheinlich in einer Negativform; VG Studio MAX und VRVis Volume Renderer (Grafik S. Karl; Visualisierung ÖGI, J. Rosc)

zylindrischen Halsstückes wurde dieses samt der Gefäßwandung mit einem spitzen Gegenstand durchbohrt, sodass durch diesen Vorgang gratartige Reste weit in den Gefäßkörper hineingedrückt wurden. Zusätzlich befindet sich im Inneren ein Einstichloch des verwendeten Werkzeuges am Boden, wofür ein zugespitztes Holzstäbchen oder ein anderes Instrument zu vermuten ist. Scharfe Konturen an der oberen Gefäßhälfte weisen auf eine Nachbearbeitung im lederharten Zustand hin; weiters wurde die gesamte Oberfläche mit einem Schwamm bzw. einem adäquaten Gegenstand geglättet (Abb. 33).

Wie weit diese Beobachtung auch auf andere Gefäße dieser Gattung zutrifft, müssten weitere Forschungen – vor allem auch an Fragmenten – klären. Es spricht jedoch vieles dafür, dass dieser Typ wie auch die damit eng verwandten „Beingefäße“ grundsätzlich mittels Negativformen gewonnen wurden, ohne hier auf die Frage nach dem Produktionsort dieser Gattungen in Ostgriechenland näher eingehen zu können[89]. Bei Vergleichsstudien wird in Zukunft ein besonderes Augenmerk auf Terrakotten – auch die niedrige Rohdichte des Grazer Gefäßes spricht dafür – bzw. auf nicht auf der Drehscheibe hergestellte Gefäße von figuraler, vegetativer oder anderer Form zu richten sein[90].

[89] Ducat a. O. (Anm. 87) 134–139.

[90] Zur Rohdichte des Granatapfelgefäßes CT03047 s. Kap. 4.3.

7 STRUKTURANALYSE

Das Besondere von Untersuchungen mittels industrieller CT ist die hohe Mess- und Darstellungsgenauigkeit von Strukturen innerhalb der Keramikmatrix, die bei der am ÖGI benutzten Mikrofokus-Anlage v|tome|x C 240 D abhängig von der Objektgröße und der Aufnahmetechnik eine Auflösung von bis zu 5 µm erreichen kann. Bei den untersuchten Keramikgefäßen der Antike umfasst diese nach den im CT-Projekt definierten Voreinstellungen immerhin noch etwa 150–200 µm. Diese Genauigkeit ermöglicht Analysen des Scherbens, d. h. des Keramiktyps, hinsichtlich seiner Eigenschaften der Matrix (Struktur, Porenanteil, Porengröße etc.) und der nicht-plastischen Bestandteile bzw. der Magerung (Anteil, Partikelgröße, Sortierung etc.). Dass überhaupt innere Strukturen des Materials sichtbar werden, hängt mit der komplexen Mischung und Verbindung von Mineralien in der Keramikmatrix zusammen, die neben der Porosität Bestandteile unterschiedlich spezifischer Dichte umfasst, wie neben den Tonmineralen u. a. Quarze, Feldspate oder Eisenoxide[91]. Diese Partikel und Poren absorbieren die Röntgenstrahlen aufgrund ihrer Dichte unterschiedlich stark und bilden sich so in den CT-Projektionen lagemäßig sowie in ihrer Form und Größe – abhängig von der erzielten Auflösung – ab. Im CT-Projekt wurde hauptsächlich korinthische Keramik untersucht, die eine helle gelblich-grüne Färbung besitzt, die auf dem Tonmineral Smektit basiert, ohne erkennbare Magerung ist, und neben etwas Chlorit, Feldspat und Quarz vor allem einen hohen Anteil von Kalziumkarbonat enthält[92].

Porosität gehört zu den wichtigsten Eigenschaften der Keramik, die vom Töpfer für bestimmte Funktionen der Gefäße auch besonders manipuliert wurde[93]. Sie ist gekennzeichnet durch die Porengröße, die Porenverteilung, die Anzahl der Poren und den Grad der Verbindung der Poren untereinander. Poren in der Keramik resultieren grundsätzlich aus der Plastizität des Tones mit seinem variablen Wassergehalt, aber auch aus der Art und Menge der dem Ton beigemengten Magerung, der mineralogisch-chemischen Zusammensetzung, der individuellen Zubereitung des Töpfertones und schließlich aus dem Brennvorgang. Das Volumen der Poren sowie die Größe, Form und Orientierung der einzelnen Poren sind für Gefäße in vielerlei Hinsicht entscheidend. Diese Faktoren beeinflussen die Festigkeit, die Permeabilität, den Grad der Abnutzung, den Wärmekoeffizienten oder auch die Beständigkeit gegenüber starken Hitzeschwankungen[94]. Die exakte Porositätsmessung ist jedoch in der Archäometrie schwierig durchzuführen; meistens wird die so genannte offenbare Porosität (*apparent porosity*, AP) bestimmt, d. h. die Wassermenge, die ein Scherben aufnehmen kann, wobei Mikroporen in den Tonmineralkristallen dabei kaum Berücksichtigung finden[95].

Porositätsbestimmung gehört im Rahmen der „zerstörungsfreien Materialprüfung“ (ZfP) in der Industrie zur Defektdetektion, doch ist eine dreidimensionale Auswertung mit Hilfe kommerzieller Analyseprogramme aufgrund fehlender Verknüpfungen mit so genannten Dichte/Gradienten-Transferfunktionen zur Reduktion von technisch-physikalischen Ungenauigkeiten in der Rekonstruktionsmatrix der CT-Daten mit gewissen

---

91 Middleton, Ceramics, 78–83; vgl. auch Berg, pots, 1185–1187.

92 Zum korinthischen Ton s. I. K. Whitbread, Clays of Corinth. The study of a basic resource for ceramic production, in: C. K. Williams – N. Bookidis (Hrsg.), Corinth. The centenary 1896–1996, Corinth 20 (Princeton 2003) 1–13, bes. 7.

93 A. O. Shepard, Ceramics for the archaeologist, Carnegie Institution of Washington, Publication 609 (Washington 1956) 125–130; Rice, Pottery, 54–79; Rye, Pottery, 61 f.; Hamer – Hamer, Lexikon, 260 f.; Abbink, cycles, 56.

94 A. Hein – V. Kilikoglou, Assessment of ancient vessel design with the Finite Element Method (FEM), in: S. Y. Waksman (Hrsg.), Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics, Papers presented at EMAC ‘05, 8th European Meeting on Ancient Ceramics, Lyon 2005, BARIntSer 1691 (Oxford 2007) 9–12; A. Hein – V. Kilikoglou, Modeling of Thermal Behavior of Ancient Metallurgical Ceramics, Journal of the American Ceramic Society 90, 2007, 878–884; A. Hein – N. S. Müller – V. Kilikoglou, Great pots on fire: Thermal properties of archaeological cooking ware, und N. S. Müller – V. Kilikoglou – P. M. Day – A. Hein – G. Vekinis, The influence of temper on performance characteristics of cooking ware ceramics, in: K. T. Biró – V. Szilágyi – A. Kreiter (Hrsg.), Vessels: inside and outside, Proc. of the Conference EMAC ‘07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, Budapest 24.–27.10.2007 (Budapest 2009) 15–20; bzw. 145–150; A. Hein – N. S. Müller – P. M. Day – V. Kilikoglou, Thermal conductivity of archaeological ceramics: The effect of inclusions, porosity and firing temperature, Thermochimica Acta 480, 2008, 35–42.

95 Für die Berechnung der offenbaren Porosität (AP) braucht man vom Scherben das Volumengewicht (V: im destillierten Wasser 2 Stunden lang gekocht; 30 min abgekühlt auf Raumtemperatur und noch im Wasserbad gewogen), das gesättigte Gewicht (A: 15 min nach der Prozedur für V bei Raumtemperatur getrocknet) und das Trockengewicht (B: 18 Stunden bei einer Temperatur von 130 °C getrocknet, 1 Stunde im Ofen und 1 Stunde außerhalb des Ofens abgekühlt); s. dazu Abbink, cycles, 92. Die Formel lautet: (A-B)/(A-V) = AP [%]; vgl. auch Hamer – Hamer, Lexikon, 261.

Vorbehalten verbunden[96]. Dagegen gibt es für eine zweidimensionale Identifizierung von Poren (und von Einschlüssen) innerhalb eines radiografischen Bildes bereits mehrere Vorarbeiten, die speziell entwickelte Filtertechniken zur Segmentierung anwenden, um das Bild rauschfreier und kontrastreicher zu machen, Strahlungsaufhärtungen zu reduzieren sowie die unterschiedlich durchstrahlten Bereiche im Projektionsbild unter Verwendung eines Subtraktionshintergrundes zu glätten[97].

Um eine solche zweidimensionale Porositätsauswertung auf die im CT-Projekt untersuchten Objekte anzuwenden, wurden je vier Schnitte – eigentlich Schichten in der Dicke der jeweiligen Voxelgröße – aus den CT-Daten an definierten Stellen extrahiert, wobei die absoluten Grauwerte bei allen CT-Schnitten mittels derselben Berechnung über den zwei *peaks* für Luft und Keramik im jeweiligen Grauwerthistogramm gleich dargestellt wurden. Eine Segmentierung zu binären Bildern zur Porosität erfolgte schließlich durch Bildfilterung mittels Tontrennung und Kantenbetonung sowie abschließend durch eine Schwellwertsetzung, wobei alle Schritte mit denselben Werten ausgeführt wurden (Abb. 34)[98].

Aus den jeweils vier binären Bildern zur Porosität eines Objektes war es in einem weiteren Schritt nun möglich, prozentuell die sichtbare schwarze Fläche (d. h. die Poren) herauszurechnen, die vermutlich nur annäherungsweise die offenbare Porosität (AP) abhängig von der erzielten Auflösung (Voxelgröße) angibt, sicherlich jedoch im Verhältnis zueinander auf unterschiedlich hohe Porositäten in den untersuchten Keramiken hinweist. Diese Angaben können nun mit den durch die Oberflächenrekonstruktion gewonnenen Werten zur Rohdichte in ein Verhältnis gesetzt werden (Abb. 35)[99].

Neben den Poren sind in den CT-Daten auch hellgraue bis weiße Partikel zu erkennen, die auf Einschlüsse in der Keramik zurückgehen, die eine höhere spezifische Dichte als die umgebende Matrix (mittelgrau) besitzen. Das Magern des Töpfertones (mit Hilfe von sog. Zuschlagstoffen) ist eine weit verbreitete Praxis unter den Töpfern, womit die Verarbeitungsfähigkeit des Tones verbessert bzw. eine bestimmte Qualität des Gefäßes erreicht werden konnte[100]. Die Identifizierung der Magerung aber auch der im Ton bereits vorhandenen nicht-plastischen Bestandteile ist in der archäometrischen Keramikforschung gleichermaßen für Fragen der Herstellungstechnik wie auch für die Lokalisierung des Produktionsortes wesentlich. Um welche mineralogisch-petrografischen Teilchen es sich dabei handelt, geht aus der Röntgenprojektion nicht hervor. Zieht man in Betracht, dass z. B. Quarz (SiO_2; Dichte: 2,7 g/cm³) oder Kalkspat ($CaCO_3$; Dichte: 2,8 g/cm³) eine nahezu gleiche spezifische Dichte wie die Tonminerale von etwa 2,65 g/cm³ besitzen, verwundert es zunächst, dass diese im CT-Bild überhaupt sichtbar werden. „Temper particles and clays may differ only slightly in elemental composition and specific grafity, [...].[101]“ Doch dabei kommt ein ansonsten weniger geschätzter Aspekt positiv zum Tragen, der stark von der Auflösung der CT und der Detektion der Röntgenstrahlen abhängig ist: der so genannte partielle Volumeneffekt (*partial volume effect*). Durch die Mikroporen zwischen den einzelnen Tonmineralkristallen wird die Abschwächung der Röntgenstrahlen reduziert: es wird pro Pixel des Detek-

---

96 s. Kap. 2.3; vgl. H. Eisele, Automated defect detection and evaluation in X-ray CT images (techn. Diss. Universität Heidelberg 2002) <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/volltexte/2003/3106/pdf/diss.pdf> (18.3.2011).

97 A. Pierret – C. J. Moran – L.-M. Bresson, Calibration and Visualization of Wall-Thickness and Porosity Distributions of Ceramics Using X-radiography and Image Processing, JASc 23/3, 1996, 419–428; J. Lang – A. Middleton – J. Ambers – T. Higgins, Radiographic images, in: J. Lang – A. Middleton (Hrsg.), Radiography of Cultural Material (Burlington 2005) 20–48; Greene – Hartley, ceramics; Berg, pots, 1179; vgl. auch V. Rebuffel – S. Sood – B. Blakeley, Defect Detection Method in Digital Radiography for Porosity in Magnesium Castings, in: J. Völker – R. Link (Hrsg.), EC NDT 2006, Berlin, 25.–29.9.2006 <http://www.ndt.net/article/ ecndt2006/doc/We.2.5.3.pdf> (18.3.2011). Zur Bildsegmentierung s. M. Unger – T. Pock – H. Bischof, Continuous Globally Optimal Image Segmentation with Local Constraints, in: J. Perš (Hrsg.), Computer Vision Winter Workshop 2008, Moravske Toplice, Slovenia, February 4–6, Slovenian Pattern Recognition Society, Ljubljana, Slovenia <http://www.icg.tugraz.at/publications/pdf/cvww08seg.pdf> (18.3.2011).

98 Tontrennung und Kantenbetonung: Kantenstärke 2; Kantendeckkraft 4, Tontrennung 6. Schwellenwert 110.

99 Zur Rohdichte und zur Volumenbestimmung s. Kap. 4.3.

100 Shepard a. O. (Anm. 93) 131; H. Neff – R. L. Bishop – E. V. Sayre, A Simulation Approach to the Problem of Tempering in Compositional Studies of Archaeological Ceramics, JASc 15, 1988, 159–172; Rye, Pottery, 29–57; H. Neff – R. L. Bishop – E. V. Sayre, More Observations on the Problem of Tempering in Compositional Studies of Archaeological Ceramics, JASc 16, 1989, 57–69; Hamer – Hamer, Lexikon, 213. 404 f. Zu weiterführender Literatur s. auch die Anmerkungen unter der Besprechung der Porosität sowie M. Tite – V. Kilikoglou, Do we understand cooking pots and is there an ideal cooking pot?, in: V. Kilikoglou – A. Hein – Y. Maniatis (Hrsg.), Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics: papers presented at the 5th European Meeting on ancient ceramics (EMAC ‘99), Athens 1999, BARIntSer 1011 (Oxford 2002) 1–8.

101 C. Carr – E. B. Riddick, Advances in Ceramic Radiography and Analysis: Laboratory Methods, JASc 17, 1990, 35–66, bes. 44.

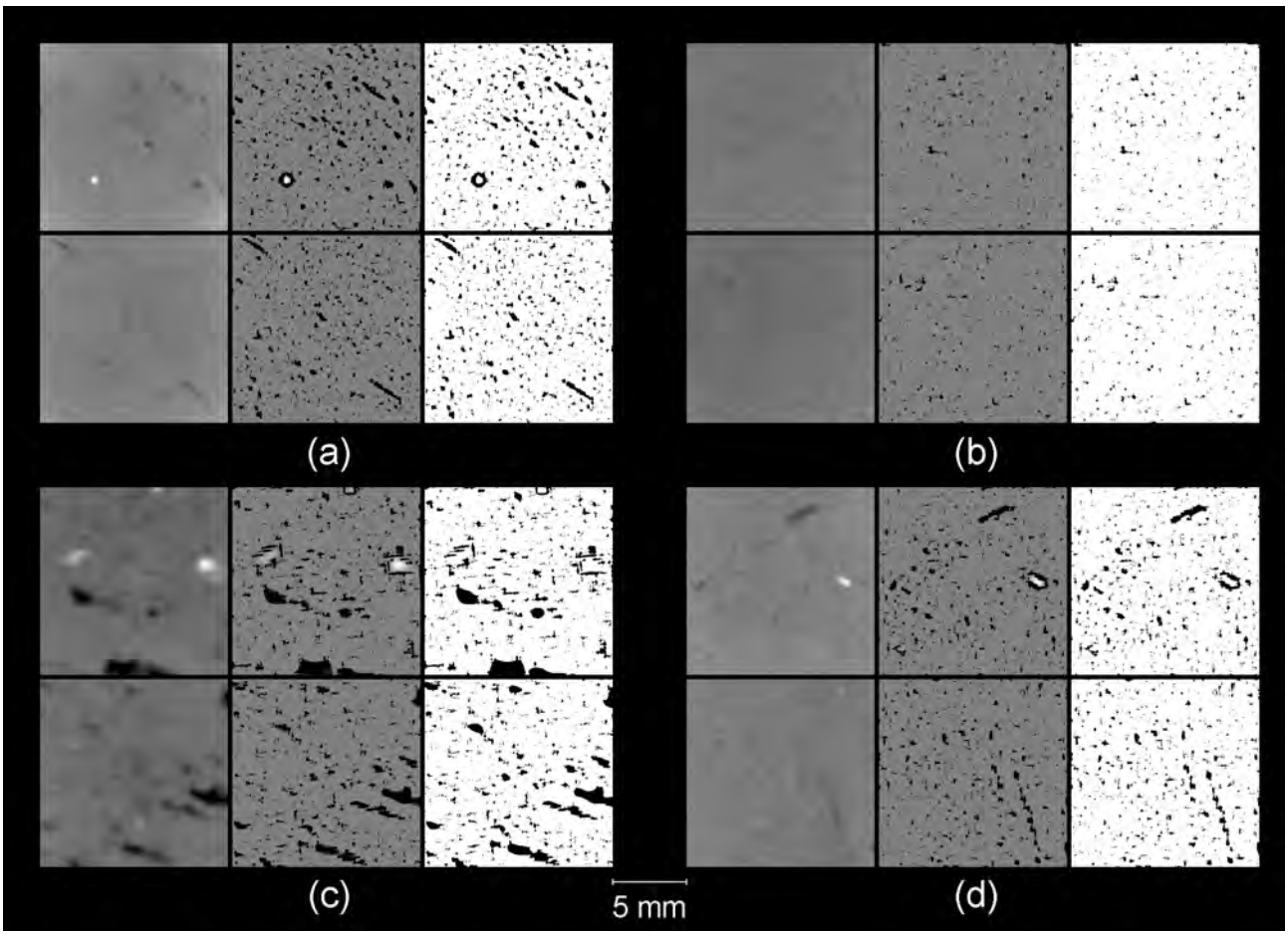


Abb. 34: CT-Schnittbilder mit binärer Darstellung der offenbaren Porosität: (a) protokorinthischer Aryballos CT01184 (UMJ Inv.-Nr. 4214); (b) attischer Augenkyathos CT02188-2 (KFUG Inv.-Nr. 844); (c) nordionische Vogelkotyle CT02188-1 (KFUG Inv.-Nr. 804); (d) ostgriechisches Granatapfelgefäß CT03047 (KFUG Inv.-Nr. G 56); VG Studio MAX und Scion Image (Grafik S. Karl)

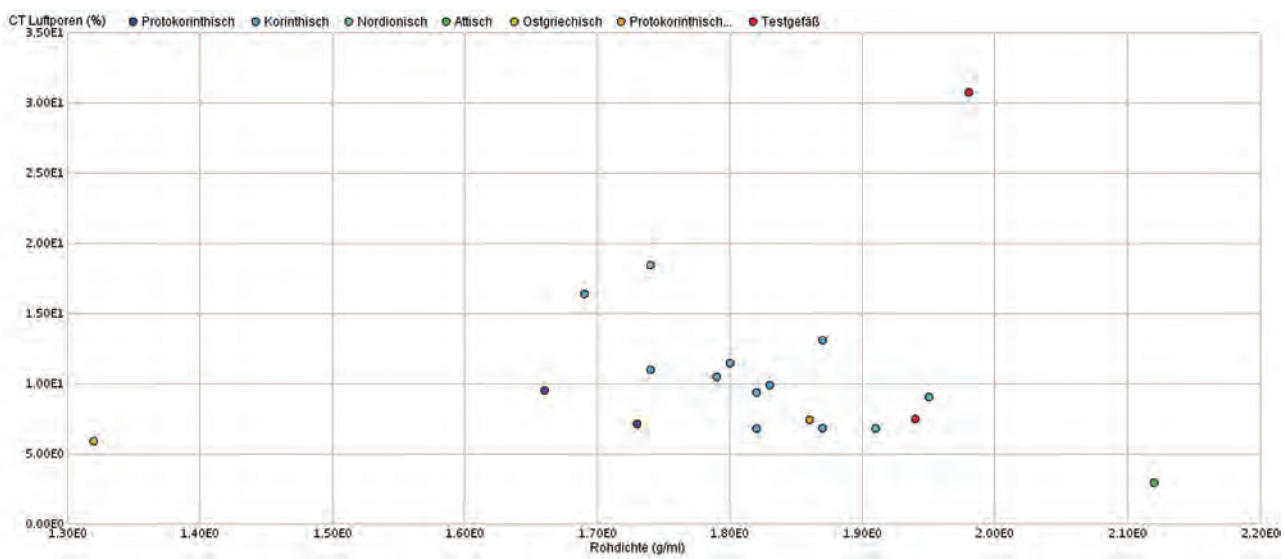


Abb. 35: Verhältnis der Rohdichte zur offenbaren Porosität bezogen auf die verschiedenen Keramiktypen der untersuchten Gefäße innerhalb des Grazer CT-Projektes; RapidMiner (Grafik S. Karl)

Abb. 36: Unterschiedlich gemagerte Keramikzylinder mit Kennzeichnung ihrer jeweiligen Magerungsart und Korngröße (fein/grob), 24 Stunden nach erfolgtem Brand (Foto S. Karl)

tors ein Mittelwert integrierter Röntgenquanten errechnet. Alle nicht-plastischen Bestandteile, die kompakter als die Tonteilchen sind, wie z. B. Quarzkörner, erscheinen im CT-Bild als hellere Punkte im Vergleich zur umgebenden Keramikmatrix; ihre signifikante Helligkeitsstufe gibt Hinweise auf die spezifische Dichte des durchstrahlten Partikels.

CT-Schnitte sind kein Ersatz für mineralogisch-petrografische Studien; doch es war überlegenswert, ob die einfach herzustellenden CT-Schnitte für eine in der archäologischen Keramikforschung bereits mit viel Erfolg angewandte, optische Scherbentypklassifikation einzusetzen sind. Bei dieser Methode geht es primär nicht um den Nachweis der Provenienz jedes einzelnen Stückes, sondern um eine möglichst klare und standardisierte Ansprache des Scherbentyps eines Keramikobjektes[102]. Dabei werden die Matrix und die Partikel an einer frischen Bruchfläche nach Anteil, Form, Größe etc. mit nicht mineralogisch-petrografischen Bezeichnungen nach Vergleichs- und Schätzbildern beschrieben.

Um dies zu überprüfen, vor allem um auch tatsächliche Eigenschaften zu den einzelnen Bestandteilen des Scherbens zu erhalten, wurden keramische Testzylinder (Dm 22,5 mm; H 14,5–15,5 mm) mit unterschiedlichen Magerungsarten in zwei verschiedenen Magerungsgrößen (fein: 0,1–0,2 mm; grob: 0,2–0,5 mm) unter Verwendung eines industriellen Tones aus Westerwälder Tonen und Magnesiumsilikat hergestellt. Zur Magerung wurde Schamott (1), Quarz (2), Muschelsand (3), Muskovit (4), Kalk (5), Marmor (6), Stroh (7), Flusssand (8), Keramikgrus (9) und Kalksandstein (10) sowie eine Mischung aus Quarz und Kalk (2:5) verwendet (Abb. 36).

Acht Zylinder (CT03071) wurden in einem einzigen CT-Durchgang zusammen mit einer Referenzprobe aus reinem Aluminium (SG: 2,7 g/cm³) aufgenommen (Auflösung 89,1 µm). Im CT-Schnitt sowie in der dreidimensionalen Auswertung lassen sich die unterschiedlichen Magerungsarten gut differenzieren (Abb. 37). Anschließend wurden aus jedem Zylinder je vier CT-Schnitte extrahiert und mittels eines Programms zur Bildanalyse (ImageTool Version 3.00) hinsichtlich morphologischer Strukturen und Dichtevariablen ausgewertet und über ein Clustering-Programm in Gruppen unterteilt[103]. Die dadurch definierten Gruppen korrespondierten mit wenigen Ausreißern, bedingt durch die am Rand auftretenden Strahlaufhärtungen, sehr gut mit den Ausgangsprodukten.

---

102 Den besten Überblick über die Methode liefert V. Gassner, Materielle Kultur und kulturelle Identität in Elea in spätarchaischer-frühklassischer Zeit. Untersuchungen zur Gefäß- und Baukeramik aus der Unterstadt, Velia-Studien 2 (Wien 2003) 23–34; vgl. die immer noch grundlegende Arbeit G. Schneider – A. Burmester – C. Goedicke – H. W. Hennicke – B. Kleinmann – H. Knoll – M. Maggetti – R. Rottländer, Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik, ActaPraehistA 21, 1989, 7–39; allgemein C. Orton – P. Tyers – A. Vince, Pottery in Archaeology, Cambridge Manuals in Archaeology [6](Cambridge 2001) 132–140. 231–242.

103 Karl et al., Insights. Zur Verwendung von ImageTool vgl. H. Herold, The „Polished Yellow“ ceramics of the Carolingian period (9th century AD): samples from Zalavár, South-West Hungary, in: S. Y. Waksman (Hrsg.), Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics, Papers presented at EMAC ‘05, 8th European Meeting on Ancient Ceramics, Lyon 2005, BARIntSer 1691 (Oxford 2007) 137–144; bes. 140.

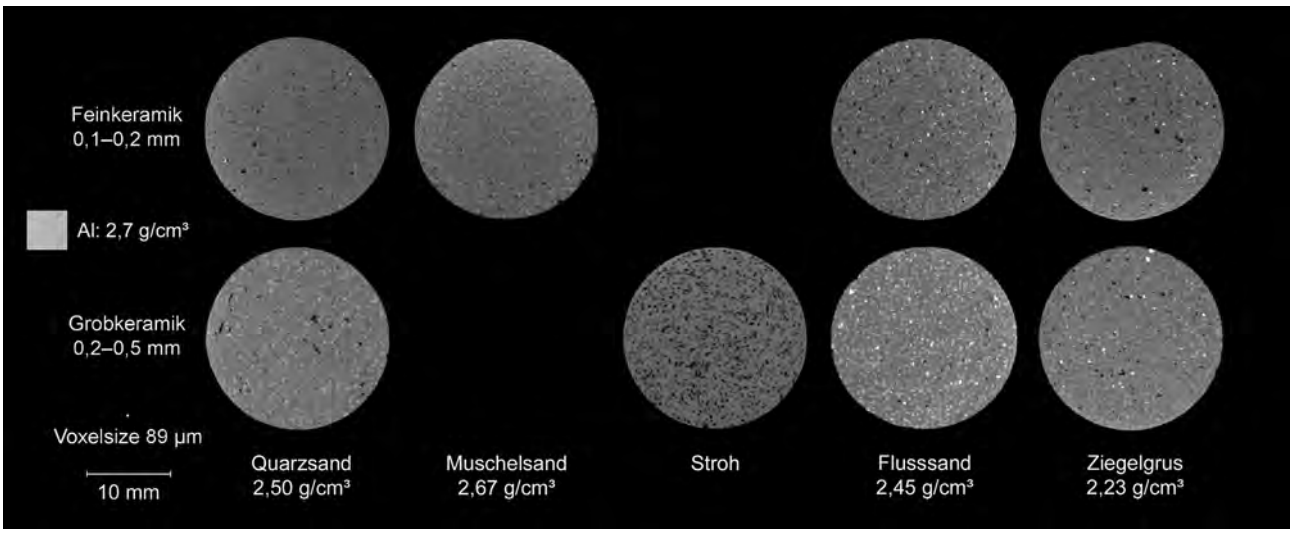


Abb. 37: CT-Schnittbilder durch acht unterschiedlich gemagerte Keramikzylinder (CT03071) mit einer beigelegten Referenzprobe aus reinem Aluminium; VG Studio MAX (Visualisierung S. Karl)

Im Vergleich zu einem Dünnschliff zeigt der CT-Schnitt trotz der wesentlich geringeren Auflösung ein gewisses Potential als archäometrische Methode in der Keramikforschung (Abb. 38)[104]. Der große Vorteil dabei ist, dass keine Materialprobe dem Objekt entnommen werden muss. Weiters gelingt es unterschiedliche Zusammensetzungen der Keramik innerhalb eines Gefäßes zu detektieren, die auf die Verwendung unterschiedlicher Töpfertone zurückzuführen sind. Im Vergleich zu allen anderen naturwissenschaftlichen Methoden, wie den chemischen und mineralogischen Beprobungen, ist eine CT nicht auf eine kleine Probenmenge beschränkt, sondern ermöglicht erstmalig die Analyse des gesamten Gefäßes im Mikrometerbereich.

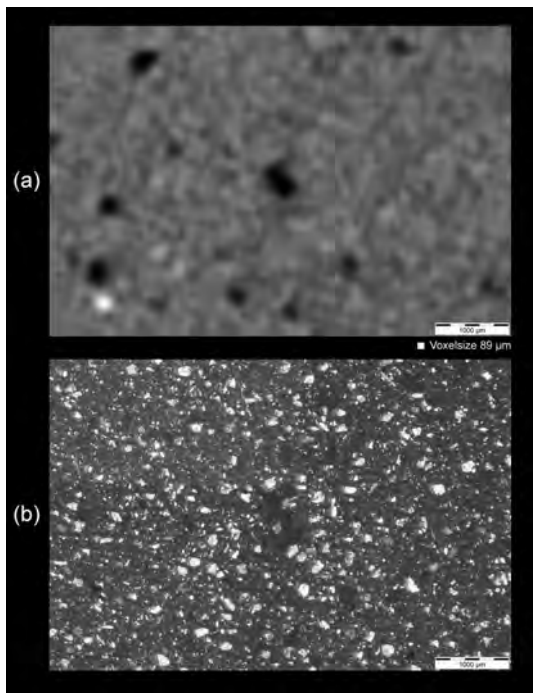


Abb. 38: Mit Quarz fein gemagerter Keramikzylinder CT03071-1 (Zylinder Nr. 2), Gegenüberstellung eines CT-Schnittes (a) und eines Dünnschliffes im Durchlicht (b) aus ungefähr demselben Bereich; VG Studio MAX und Fotomikrografie (Visualisierung S. Karl; Foto TU Graz, I. Egartner)

8 ZUSAMMENFASSUNG

Das Material Keramik erweist sich aufgrund seiner geringen Dichte und seiner Inhomogenität als geradezu ideal für radiologische Analysen. Wegen dieser Eigenschaften sind bei CT-Aufnahmen relativ geringe Intensitäten der Röntgenstrahlung erforderlich, sodass sich dadurch wie auch durch die Benutzung einer Mikrofokus-Anlage wie der v|tome|x C 240, die mit einer hohen Aufnahmegeschwindigkeit ausgestattet ist, die Belastungsdauer drastisch verkürzt. Alle diese Faktoren schlagen sich positiv auf eine sehr niedrige Strahlenexposition für die antiken Keramikgefäße nieder.

Durch die volumetrische Erfassung der Stücke können mit herkömmlichen Programmen Oberflächenmodelle generiert werden, die es erlauben, die Objekte von allen Seiten virtuell und somit berührungsfrei zu betrachten sowie in der Folge auszuwerten. In Zukunft wird die Kombination der CT-Daten mit der bereits in der Do-

[104] Für die Erstellung von Dünnschliffen der Keramikzylinder ist Dietmar Klammer und Isabel Egartner vom Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Graz zu danken.

kumentation griechischer Vasen bewährten Methode der kontaktlosen 3D-Vermessung mittels strukturiertem Licht neue Visualisierungsgebiete erschließen, in denen auch die Farbinformationen der bemalten Oberflächen erfasst und so vermittelt werden können[105].

Bei den CT-Untersuchungen hat sich gezeigt, dass griechische Gefäße auch von noch so standardisierter Form wesentlich individueller getöpfert wurden, als es auf den ersten Anblick anmutet. Gerade beim Erstellen typologischer Reihen, wie es in der Archäologie praktiziert wird, können technologische Kenntnisse essentielle Kriterien zur Differenzierung beisteuern. Ein Großteil der technischen Herstellungsmerkmale kann nur im Inneren der Gefäße erkannt werden, wodurch der CT bzw. der Radiografie als berührungslose und nicht invasive Methode, die solche Einblicke in das Körperinnere gewährt, ein bedeutsamer Aspekt zufällt.

Die Verwendung der CT-Daten für die optische Scherbentypklassifikation eröffnet eine gänzlich neue Perspektive in der musealen Keramikforschung, die hauptsächlich auf intakten Gefäßen basiert. Porosität und nicht-plastische Bestandteile in der Keramikmatrix lassen sich mit speziellen Analyseprogrammen für vergleichende Studien hinreichend gut aus den CT-Daten extrahieren. Wieweit eine solche Strukturanalyse von Keramiken in Zukunft effektiver wird – vor allem im dreidimensionalen Bereich –, hängt damit zusammen, ob spezielle Programme zur Segmentierung entwickelt werden. Auf diesem Sektor wird sich in nächster Zukunft jedoch einiges verbessern, da 3D-Analysen in der Industrie, sog. Defektdetektionen, für die Qualitätssicherung von immanenter Bedeutung sind und durch Forschungsprogramme stark gefördert werden.

Das Grazer CT-Projekt lässt erahnen, dass die aus CT-Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse den Informationsgehalt des Corpus Vasorum Antiquorum zukünftig bei systematischer Anwendung erheblich erweitern können. „Unter der Voraussetzung, daß man unter den CVA-Publikationen vor allen Dingen die Bereitstellung von Forschungsmaterial versteht, wiegt besonders das Fehlen dokumentarischer Informationen schwer.[106]“ Der Grundsatz einer CVA-Publikation ist, eine möglichst umfassende Dokumentation der darin vorgestellten Gefäße vorzulegen; computertomografische Untersuchungen liefern hinsichtlich dieser Zielsetzung schon heute einen gewichtigen Beitrag.

---

[105] Beispielhaft D. Pitzalis – P. Cignoni – M. Menu – G. Aitken, 3D enhanced model from multiple data sources for the analysis of the Cylinder seal of Ibni-Sharrum, in: M. Ashley – S. Hermon – A. Proenca – K. Rodriguez-Echavarria (Hrsg.), VAST 2008: The 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Braga, Portugal, December 2–5, 2008 (Aire-la-Ville 2008) 79–84.

[106] M. Schulz, Das CVA als Informationsquelle – ein Erfahrungsbericht, in: M. Bentz (Hrsg.), Vasenforschung und Corpus Vasorum Antiquorum – Standortbestimmung und Perspektiven, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 19–21; bes. 20.

DIE DOKUMENTATION HISTORISCHER RESTAURIERUNGEN ANTIKER KERAMIK AM BEISPIEL ZWEIER GEFÄSSE AUS DEM UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER INDUSTRIELLEN COMPUTERTOMOGRAFIE

Robert Fürhacker, Stephan Karl

1 EINLEITUNG

Die Untersuchung historischer Restaurierungen aus dem 18. bis 20. Jahrhundert ist einerseits für die Erforschung der Anfänge der Restaurierungsdisziplin und Konservierungswissenschaft von großer Bedeutung, andererseits können damit auch interessante archäologisch-forschungsgeschichtliche Fragen beantwortet werden[1].

Die Dokumentation historischer Veränderungen offenbart eine Biografie des Untersuchungsobjektes, das von der ersten Benutzung an bis heute einem Wechsel unterworfen ist, der sich auf verschiedenen Ebenen in funktionalen, symbolischen und wirtschaftlichen Veränderungen widerspiegelt und der u. a. auch auf das äußere Erscheinungsbild des Objektes nachhaltig einwirkt[2]. Historische Restaurierungen sind somit auch ein Teil der Objektgeschichte. Diese beginnt bei den in dieser Arbeit vorgestellten Gefäßen bereits in der Antike und sie setzt sich, nachdem sie in den Boden gelangten – und gewissermaßen für über 2000 Jahre unterbrochen wurde –, nach der Auffindung unter vollkommen veränderten Bedingungen fort[3].

Die umfangreichen Entdeckungen griechischer Vasen in Etrurien[4] lösten in ganz Europa eine wahre Euphorie für diese Gattung aus, in der die Grenzen zwischen Antiken, Pasticci und Nachbildungen in der Wahrnehmung ihrer Authentizität[5] verschwammen.

Der restauratorisch-konservatorische Umgang mit antiker Keramik[6] nach deren Auffindung bzw. Ausgrabung war und ist abhängig von verschiedensten Parametern. Im 18. und auch noch im 19. Jahrhundert dienten antike Gefäße der Repräsentation und sollten den Bildungsanspruch ihrer meist wohlhabenden Besitzer unterstreichen. Dafür waren fragmentierte und beschädigte Objekte nicht besonders geeignet[7]. Diesen Vorgaben

---

1 Bentz – Kästner, Vorwort, 7.

2 R. Dooijes – O. P. Nieuwenhuyse, Ancient Repairs: Techniques and Social Meaning, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 15–20, bes. 15 f.

3 Anzumerken ist, dass auch während der Bodenlagerung tiefgreifende physikalische und chemische Veränderungsprozesse stattfinden können, doch ist das Objekt direkten anthropogenen Einflüssen entzogen.

4 G. Dennis, Die Städte und Begräbnisplätze Etruriens (Darmstadt 1973, Nachdruck der Ausgabe Leipzig 1852) 292: „Das Meiste von diesem Töpferzeuge war in Trümmern gefunden und von einem im Solde der Fürstin stehenden Künstler zusammengekittet worden. Auf diese Art wieder hergestellte Artikel sind nicht unverkäuflich, in der That auch nicht wesentlich am Werthe verringert, wenn die Gemälde selbst nicht beschädigt sind; und selbst wenn diese unvollkommen wären, wenn nur der fehlende Theil nicht so groß ist, daß er die Schönheit und Bedeutung des Gegenstandes zerstört, oder der Art, daß er von einem geschickten Pinsel leicht ersetzt werden kann, so wird die Vase nicht bedeutend herabgesetzt werden. Gegenstände in sehr unvollkommenem Zustande werden bisweilen ungeheuer bezahlt. Der König von Baiern soll mehrere tausend Kronenthaler für ein Bruchstück einer patera gegeben, und für den fehlenden Theil, wenn er entdeckt würde, eben so viel geboten haben. Einige dieser Wiederhersteller sind so geschickt, daß sie unvollkommene Vasen für vollkommene gehen machen, und beinahe diejenigen täuschen, die am besten darüber urtheilen können. Die Brüche sind bisweilen nur durch Scheidewasser zu erkennen.“ – Zur neapolitanischen Vasenrestaurierung des frühen 19. Jahrhunderts s. Bourgeois, restauratori, 41.

5 Grundlegend zum Echtheitsbegriff und der Antikenrezeption Schidlofski, Antike.

6 Zum Thema historische Restaurierungen s. Pfisterer-Haas, Topf, und die Beiträge in Bentz – Kästner, Konservieren. Diesem Thema war zuletzt auch eine Ausstellung im J. Paul Getty Museum in Malibu gewidmet: Fragment to Vase: Approaches to Ceramic Restauration, December 18, 2008 – June 1, 2009.

7 Pfisterer-Haas, Topf, 12.

gemäß, war das Restaurierungsziel, den Gefäßen ein möglichst perfektes, unbeschädigtes Erscheinungsbild zu geben. Dafür wurde auch nicht vor tiefgreifenden Eingriffen zurückgeschreckt. Es stellte auch kein Problem dar, Scherben von unterschiedlichen Gefäßen zu einem mehr oder weniger harmonischen Ganzen zu kombinieren. So wurden an Originalscherben geschnitten, geschliffen, gesägt und gebohrt. Beispielsweise konnte ein Gefäßkorpus mit Henkel und Fuß anderer Gefäße ausgestattet oder verloren gegangene Fragmente aus Ton nachgeformt, gebrannt und in die Fehlstellen eingebaut werden. Der Phantasie war nur die Grenze der grundlegenden Formtreue gesetzt, d. h. es sollte eine Ähnlichkeit mit bereits bekannten antiken Gefäßformen gegeben sein. Selbiges galt auch für Fehlstellen im Dekor, der mehr oder weniger fantasievoll ergänzt und bereits Bekanntem manchmal mit einer erstaunlichen technischen Perfektion nachempfunden wurde.

Gerade in der Frühzeit der Restaurierung war die Wertsteigerung des Gefäßes ein wichtiger Faktor. Je „schöner“ und perfekter das Gefäß nach der Restaurierung aussah, umso profitabler war der restauratorische Eingriff. Es ist nachweisbar, dass ausgebildete Künstler mit der Restaurierung antiker Gefäße betraut waren, wie dies im besonderen Maße für die primären Herkunftsgebiete griechischer Vasen wie Kampanien oder Etrurien gilt[8]. In größeren Museen, wie dem Münz- und Antikenkabinett in Wien, das im frühen 19. Jahrhundert über eine der größten und bedeutendsten Vasensammlungen Europas verfügte, führten in der Kupferstech- und Zeichenkunst geschulte Mitarbeiter, wie Joseph Pacholik (1786–1867) oder der bekannte Maler der Biedermeierzeit Peter Fendi (1796–1842), Vasenrestaurierungen durch[9]. Dementsprechend qualitätsvoll im künstlerisch-technischen Sinne ist die Ausführung mancher dieser frühen Restaurierungen. Andererseits gibt es auch historische Restaurierungen, die aufgrund ihres Erscheinungsbildes eher an eine Ausführung durch wenig geübte Handwerker oder „Dilettanten“ denken lassen. Dies lässt sich nicht nur an Restaurierungen des 18. und 19. Jahrhunderts beobachten, sondern trifft ebenso auf im 20. Jahrhundert vorgenommene Eingriffe zu. Erst die Etablierung einer akademischen Restaurierungsausbildung im archäologischen Bereich in den letzten Jahrzehnten führte zur Definition restaurierungsethischer Prinzipien und internationaler Standards[10].

Die Dokumentation der vorgenommenen Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen war bis vor wenigen Jahrzehnten weder in Museen noch bei freiberuflich tätigen Restauratoren ein relevantes Thema. Häufig ist sogar unbekannt, wann, von wem und aus welchen Gründen eine Restaurierung vorgenommen wurde. Weder wurde der Vor- und Nachzustand der Funde schriftlich, zeichnerisch oder fotografisch festgehalten, noch die technische Vorgangsweise und die verwendeten Materialien dokumentiert. Speziell letztere – die angewendeten „Tricks und Kniffe“ und „Rezepte“ – waren oft ein gut gehütetes Wissen. So ist die relativ geringe Anzahl früher Publikationen zum Thema teilweise erklärbar[11].

Nicht nur für den deutschsprachigen Raum bemerkenswert früh wurden „allgemeine Grundsätze“ zur Restaurierung und Konservierung von Altertümern bereits im Jahre 1857 durch den k. k. Konservator für Steiermark Joseph Scheiger (1801–1886) in den Mitteilungen des Historischen Vereines für Steiermark publiziert[12]: Er weist bereits damals darauf hin, „keine solchen Arbeit zu beginnen, wenn man nicht sicher ist, derselben

---

8 Bourgeois, restauratori.

9 Zu Pacholik s. A. Bernhard-Walcher – F. W. Hamdorf, Zu den Anfängen der Münchner Vasensammlung im frühen 19. Jahrhundert, MJb 41, 1990, 7–22; bes. 10–19 (A. Bernhard-Walcher). Zu Fendi s. A. Bernhard-Walcher in: G. Düriegl (Hrsg.), Bürgersinn und Aufbegehren. Biedermeier und Vormärz in Wien 1815–1848, Ausstellungskatalog Wien 1987–1988 (Wien 1987) 208 f.

10 Janis, Restaurierungsethik, 150–178; V. Oakley, Ethical Considerations in the Conservation of Ceramics, Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, 2006/2, 49–56; ECCO Professional Guidelines, http://www.ecco-eu.org/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=30; ICOM Code of Ethics for Museums, http://icom.museum/fileadmin/user_upload/pdf/Codes/code2006_eng.pdf.

11 Wichtige Publikationen zum Thema Restaurierung archäologischer Keramik bis zum 1. Weltkrieg: O. Tischler, Das Ausgraben von Urnen und deren weitere Behandlung, Korrespondenz-Blatt der Deutschen Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte 14, 1883, 1–8; A. Voß (Hrsg.), Merkbuch, Alterthümer aufzugraben und aufzubewahren. Eine Anleitung für das Verfahren bei Ausgrabungen, sowie zum Konserviren vor- und frühgeschichtlicher Alterthümer (Berlin 1888, erweiterte und stark veränderte Auflagen: 1894 und 1914); F. Rathgen, Die Konservierung von Alterthumsfunden (Berlin 1898, erweiterte und umgearbeitete Auflagen: 1915 und 1926); englische Übersetzung: F. Rathgen, The Preservation of Antiquities. A handbook for Curators, translated by G. A. Auden and H. A. Auden (Cambridge 1905).

12 J. Scheiger, Ueber Reinigung der Alterthümer, MHVSt 7, 1857, 97–110. – Zur Person Scheiger s. F. Ilwof, Josef Edler von Scheiger, MHVSt 42, 1894, 231–256; Wurzbach XXIX (Wien 1875) 169–171 s. v. Scheiger, Joseph von Edler. Der k. k. Postdirektor Scheiger war ab 1851 k. k. Konservator für die Erforschung und Erhaltung der Baudenkmale im Grazer Kreis und ab 1855 für die gesamte Steiermark (bis 1872).

ohne Gefährdung des Gegenstandes gewachsen zu sein“ oder „den Grad der Reinigung nicht so weit zu treiben, dass der alte Gegenstand neu erscheine“ – ein auch heute noch in manchen Bereichen der Restaurierung nicht immer beherzigtes Grundprinzip. Auch der heute überaus wichtigen präventiven Konservierung wird ein Abschnitt mit den einleitenden Worten „Den Schluß dieser Andeutungen mögen, als innig verwandt, einige weitere über den Schutz bilden, der den gereinigten Gegenständen vor dem Rückfall in den früheren Zustand zu gewähren ist“ gewidmet.

Somit gab es zwar publizierte, an Beispielen vorgestellte Anleitungen zur Vorgangsweise bei der Restaurierung und Konservierung von Bodenfunden, doch war es bis in die 80er- und 90er-Jahre des 20. Jahrhunderts nur in wenigen Restaurierungswerkstätten üblich, an konkreten Fundobjekten vorgenommene Maßnahmen zu dokumentieren, obwohl bereits im Jahre 1964 in der „Charta von Venedig“ im Artikel 16 eine entsprechende Dokumentation vorgeschrieben und die Veröffentlichung empfohlen wurden.

Eine Restaurierungsdokumentation stellt somit einen Bericht dar, der es erlaubt, die vorgenommenen Interventionen auch später noch so genau wie möglich nachvollziehen zu können. Ist es nötig, den Fund neuerlich konservatorischen bzw. restauratorischen Maßnahmen zu unterziehen, dient die Dokumentation als Grundlage zur Entscheidungsfindung für die weitere Vorgehensweise[13].

Fehlt eine Restaurierungsdokumentation, so besteht die Möglichkeit anhand der direkt am Fundobjekt feststellbaren Spuren sowie mit Hilfe naturwissenschaftlicher Methoden und durch Archivstudien diese bis zu einem gewissen Grad zu rekonstruieren. Speziell der Einsatz der industriellen Röntgen-Computertomografie bietet in dieser Hinsicht Möglichkeiten, die noch vor wenigen Jahren unvorstellbar gewesen wären.

Anhand der Untersuchungsergebnisse von zwei antiken Gefäßen aus der Vasensammlung des Universalmuseums Joanneum in Graz, die bereits im 19. Jahrhundert Eingang in die Antikensammlung fanden, wird im Folgenden versucht, archäologische und restaurierungsgeschichtliche Aussagen zu treffen.

2 DIE VASENSAMMLUNG IM UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM IN GRAZ

„Unabdingbar für eine Rekonstruktion der Restaurierungs- und Sammlungsgeschichte des 18. und 19. Jahrhunderts sind in jedem Fall Archivstudien, die die technischen Beobachtungen flankieren müssen.[14]“ Um die Ergebnisse der hier dokumentierten historischen Restaurierungsmaßnahmen an zwei ausgewählten Gefäßen besser verstehen und kontextuell einbetten zu können, wurde diese Untersuchung zum Anlass genommen, die in der Keramikforschung nahezu unbekannte Vasensammlung im Universalmuseum Joanneum sammlungshistorisch erstmals aufzubereiten und in groben Zügen vorzustellen.

2.1 Sammlungsgeschichte – Entstehung und Entwicklung im Überblick

Es mag vielleicht auf den ersten Blick verwundern, dass gerade ein auf die Erforschung der steirischen Landesgeschichte ausgerichtetes Museum, wie das bereits im Jahre 1811 gegründete Landesmuseum Joanneum in Graz, das 2009 in „Universalmuseum“ Joanneum umbenannt wurde, auch über eine repräsentative Sammlung griechischer, unteritalischer und etruskischer Vasen verfügt.

Das Entstehen dieser Sammlung von diversen Fundgattungen aus dem Mittelmeerraum wie Inschriften, Reliefs, Skulpturen, Lampen, Metallobjekten, Gemmen, Terrakotten und eben auch Keramikgefäßen verdankt das Museum seinem Stifter Erzherzog Johann Baptist von Österreich (1782–1859) und dessen persönlichen Kontakten zu Personen aus dem europäischen Adel und dem Diplomatenkreis. Diese schufen mit ihren Schenkungen den Grundstock der nichtsteirischen Antikensammlung des Joanneums, wobei solche Erwerbungen natürlich nicht den ursprünglichen, von Erzherzog Johann persönlich verfassten Statuten vom 1. Dezember 1811 für ein auf die Geschichte Innerösterreichs bezogenes Museum[15] entsprachen.

---

[13] K. Faltermeier, Sinn und Zweck der Dokumentation, in: Österreichischer Restauratorenverband ÖRV – Schweizerischer Verband für Konservierung und Restaurierung SKR/SCR – Deutscher Restauratorenverband DRV (Hrsg.), Dokumentation in der Restaurierung, Akten der Vorträge der Tagung in Bregenz 23. bis 25. 11. 1989 (Salzburg 1994) 3–6.

[14] Bentz – Kästner, Vorwort, 8.

[15] JJb 1811, 6–11; bes. 6.

Abb. 1: Attisch schwarzfigurige Lekythos der Haimon-Gruppe, UMJ Inv.-Nr. 4182 (Foto UMJ, S. Karl)

Abb. 2: Frühprotokorinthischer kugeliger Aryballos, UMJ Inv.-Nr. 4190 (Foto UMJ, N. Lackner)

Der Anfang der griechischen Vasensammlung war dementsprechend bescheiden. Die ersten „Vasen“ waren hellenistische Balsamarien, damals als „Thränengefäße“ bezeichnet, aus Kampanien und Athen[16], die der Vorstand des Joanneumsarchives Joseph Wartinger (1773–1861)[17] in Empfang nahm. Im Jahre 1836 wurde durch den österreichischen Diplomaten und General Anton Prokesch von Osten (1795–1876) das erste figural bemalte Gefäß aus dem griechischen Altertum der klassisch-archaischen Zeit in die Sammlung des Joanneums eingereiht[18]. Dabei handelt es sich um eine attisch schwarzfigurige Lekythos mit einer kaminförmigen Mündung aus Athen, die der Haimon-Gruppe zuzuschreiben ist (Abb. 1)[19].

Der Botaniker Franz Unger (1800–1870)[20], von 1835 bis 1849 Professor für Botanik und Zoologie und Direktor des botanischen Gartens am Joanneum, erwarb im Frühjahr 1862 während einer botanischen Studienfahrt nach Zypern von einem Kunsthändler in Larnaka neben Münzen und einzelnen Keramikobjekten (darunter die später noch zu erwähnende fragmentierte Lampe UMJ Inv.-Nr. 4222) etwa 100 zyprische Kalksteinskulpturen mit der Fundortangabe „aus den Ruinen des alten Idalium (Dali)“ für das Joanneum[21]. Unger

---

16 JJb 13, 1824, 17; JJb 14, 1825, 15 f. Von diesen frühesten Schenkungen sind drei Balsamarien publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 166 f. Nr. 944–945. 950 Abb.

17 Zur Person Wartinger s. E. Hammer-Luza, Josef Wartinger (1773–1861). Der erste steirische Landesarchivar, in: J. Riegler (Hrsg.), Die Kunst des Archivierens, Steiermärkisches Landesarchiv (Graz 2007) 41–44.

18 JJb 25, 1836, 12. Zur Person Prokesch s. D. Bertsch, Anton Prokesch von Osten (1795–1876). Ein Diplomat Österreichs in Athen und an der Hohen Pforte. Beiträge zur Wahrnehmung des Orients im Europa des 19. Jahrhunderts, Südosteuropäische Arbeiten 123 (München 2005).

19 UMJ Inv.-Nr. 4182, unpubliziert. Form IV/1 nach U. Knigge, Der Südhügel, Kerameikos 9 (Berlin 1976) 33–38 Taf. 77. Zur kaminförmigen Mündung s. C. H. E. Haspels, Attic Black-Figured Lekythoi (Paris 1936) 137; H. Palmer, The Classical and Roman Period, in: C. W. Blegen – H. Palmer – R. S. Young, The North Cemetery, Corinth 13 (Princeton 1964) 162; D. C. Kurtz, Athenian White Lekythoi (Oxford 1975) 87. Zur Haimon-Gruppe s. jüngst C. Jubier-Galinier, L’Atelier des peintres de Diosphos et de Haimon, in: P. Rouillard – A. Verbanck-Piérard (Hrsg.), Le vase grec et ses destins, Ausstellungskatalog Mariemont – Avignon (München 2003) 79–89. Vgl. die Lekythen derselben Form und mit ähnlichen Darstellungen B. Schlörb-Vierneisel, Eridanos-Nekropole. Berichte über die Grabungen 1964 und 1965 südlich der Heiligen Straße, Gräber und Opferstellen hS 1–204, AM 81, 1966, 4–111, bes. 28 Grab 47 Nr. 1–12 Beil. 24, 1 (KER 8759); aus einem Grabkontext um 470/460 v. Chr.

20 Zur Person Unger s. A. Reyer, Leben und Wirken des Naturhistorikers Dr. Franz Unger. Professor der Pflanzen-Anatomie und Physiologie (Graz 1871).

21 JJb 51, 1862, 18; vgl. F. Unger – T. Kotschy, Die Insel Cypern ihrer physischen und organischen Natur nach, mit Rücksicht auf ihre frühere Geschichte (Wien 1865) 537 f. Die Statuen und Statuetten sind publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 21 Nr. 77–78; 25–39 Nr. 100–182 Abb.

wurde jedoch vor seiner Abreise vom Vorstand des Joanneumsarchives, seit 1861 Leiter des Münzkabinetts sowie des Kunst- und Antikenkabinetts, Josef von Zahn (1831–1916)[22] explizit und ausschließlich nur dafür ersucht, Münzen zu erwerben; der Ankauf von Antiken stellte ein zunächst unwillkommenes *surplus* dar.

Der Hauptteil der griechischen und unteritalischen Vasensammlung kommt erst in den frühen 1870er-Jahren und in den 1890er-Jahren in das Landesmuseum Joanneum. Es sind dies zumeist Gelegenheitskäufe, die von Zahn als preisgünstig eingestuft wurden; nur ausnahmsweise stellen sie kein „addendum" zum Erwerb einer größeren Münzsammlung dar.

Im Jahre 1871 wurde neben 288 Münzen und 475 Gipsabgüssen auch ein Konvolut von 15 kleinformatigen Gefäßen früharchaischer Zeitstufe und hauptsächlich athenischer Herkunft vom Steiermärkischen Kunstindustrieverein angekauft[23]. Dazu zählt u. a. der frühprotokorinthische kugelige Aryballos (Abb. 2)[24]. Diese kleine Vasensammlung wurde bereits 1863 dem Museum angeboten, ohne dass ein Ankauf erfolgte. Sie gehörte lt. den Archivalien[25] dem bekannten Botaniker und ehemaligen Direktor des botanischen Gartens in Athen, Theodor von Heldreich (1822–1902)[26], der wegen des politischen Umbruches Griechenlands im Jahre 1862 seine Anstellung verloren hatte. Am 15. August 1863 schrieb Heldreich an Zahn[27]: „In Uebereinstimmung mit den in Ihrem verehrten Schreiben vom 27tn v. M. ausgesprochenem Wunsche, beehre ich mich Ihnen mit heutigen Lloyd-Dampfer unter der Adresse ‚An das K. K. Münz-Cabinete des Joanneum's' ein Kistchen H. nº 300 zu übersenden. Es enthält dasselbe (aus Versehen auf dem Endscheine als ‚Fossili' deklarirt,) die besprochenen antiken Münzen und Terra-cotta-Gegenstände: [...] Alles ist sehr sorgfältig verpackt worden und das Kistchen emballirt, sodaß ich hoffen darf, daß Alles ohne Schaden ankommen werde. Beim Auspacken werden Sie die Güte haben die nöthige Vorsicht anzuempfehlen, da die Vasen sehr zerbrechlich und manchmal eine in die andere eingeschachtelt verpackt sind. […] Die Vasen sind zwar meist klein und von den billigern, aber ihre Formen sind sehr mannigfaltig. Größere Vasen, besonders solche mit Figuren, werden immer seltener und theurer. Sollten Sie indeß später dergleichen für Ihr Museum oder für andere Liebhaber zu erwerben wünschen, so bin ich gern bereit sie gelegentlich zu verschicken, da ich mich an der Quelle befinde; […]." Sogar der Versandschein mit der Deklaration „fossili" (Abb. 3) hat sich im Archiv erhalten.

Im Jahre 1887 kommt es wiederum im Zuge eines Ankaufes einer Münzsammlung zu einer Erwerbung antiker Keramikgefäße. Als Karl Veltzé in Graz seine umfangreiche Privatsammlung an 367 Münzen zum Verkauf anbot, wurden auch 93 „Anticaglien", darunter 50 Keramikobjekte wie Terrakotten u. a. sowie insgesamt zehn Gefäße am 12. November 1887 mitgekauft[28]. Der Großteil der von Veltzé gesammelten Keramikgefäße ist zyprischen Ursprungs und stammt aus der Bronzezeit. Unter ihnen findet sich auch eine archaische Kanne mit Kleeblattmündung der White Painted IV Ware des 7. Jahrhunderts v. Chr. (Abb. 4), die aufgrund ihrer charakteristischen Technik und Bemalung einer Töpferwerkstatt in Amathus an der Südküste Zyperns zugeschrieben werden kann[29].

---

22 Zur Person Zahn s. P. Wiesflecker, Josef von Zahn (1831–1916). Der geadelte Archivdirektor und Schöpfer des steiermärkischen Landesarchivs, in: J. Riegler (Hrsg.), Die Kunst des Archivierens, Steiermärkisches Landesarchiv (Graz 2007) 45–48.

23 JJb 60, 1871, 21; UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1871, Nr. 3. 43. 136. Insgesamt wurden 16 Gefäße, darunter ein neuzeitlicher Trinkbecher, und vier protogeometrische Keramikperlen erworben. Von diesem Ankauf sind sechs Gefäße sowie die vier Perlen publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 129 Nr. 722–725; 164–166 Nr. 935–936. 939. 946–947; 183 Nr. 1050 Abb.

24 Katalog Archäologiemuseum, 164 Nr. 935 Abb.; Karl, Kugelaryballoi, 11. 21 Abb. 1 Taf. 1. Bereits in A. Essenwein, Katalog der vom steiermärkischen Vereine zur Förderung der Kunstindustrie veranstalteten ersten Ausstellung kunstgewerblicher Erzeugnisse älterer und neuerer Zeit (Graz 1865) 26 Nr. 187, erwähnt.

25 UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1862/1863, Nr. 187. 190. 215; K. 1863/1864, Nr. 26a. 27. 32. 59. 64. 81. 87. 95. 99. 105. 107. 147. 176; K. 1864/1865, Nr. 15; vgl. Tagespost vom 17. Nov. 1863: „Antike Kunst, gut erhaltene Salben- und Mischgefäße, sowie antike Münzen, von Ausgrabungen in Athen und Korinth zum Verkaufe bereit. Im hießigen Münz- und Antikenkabinet. Slg. eines ehem. königl.-griech. Beamten zu Athen, durch Staatsumwälzung schwer getroffen."

26 Zur Person Heldreich s. A. Baytop – K. Tan, Theodor von Heldreich (1822–1902) and his Turkish collections, Turkish Journal of Botany 32, 2008, 471–479.

27 UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1862/1863, Nr. 215.

28 JJb 76, 1887, 13; UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1887, Nr. 191.

29 Katalog Archäologiemuseum, 183 Nr. 1049 Abb. Das einzige Gefäße, das aus diesem Ankauf bisher publiziert wurde.

N.° 743.

POLIZZA DI CARICO.

Consegna il Sig. S. Heldreich

alla Società della Navigazione a Vapore del LLOYD AUSTRIACO di TRIESTE per essere spediti

a Graz ed al salvo arrivo consegnati

a 1 Sig. K. K. Münz Cabinet des Joanneums li seguenti oggetti:

DEI COLLI							NOLO	
QUANTITÀ	QUALITÀ	MARCA	NUMERO	CONTENUTO INDICATO	Peso in fanti di Vienna	Valore dichiarato in Fiorini	Fiorini	Soldi
1	Coll	H	300	fossili	33	—	2	40

Importo del nolo . . . . . F.
Sicurtà di Fior. al premio di % »
Rivalsa . . . . . »
Provvigione del 2 per Cento sull' importo della rivalsa . »
Per Polizze a Soldi 5 l'una, diritti di pesa e trasporto » 20

Corrisposto dal Ricevitore Totale F. 2 60

Da pagarsi dal Per la Società suddetta

Pirco il dì 14/8. 186 3

Abb. 3: Versandschein vom 14. August 1863 (UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1862/1863, Nr. 215)

Während sich bereits 1868 das Münzen- und Antiken-Kabinett, dessen Leitung am 9. Januar 1869 an Friedrich Pichler (1834–1911)[30] übertragen worden war, als eigene Abteilung vom Joanneumsarchiv getrennt hatte, begann mit dem Beschluss des organischen Statuts vom 21. Januar 1887 eine neue Ära des Landesmuseums Joanneum, in der die Führung des Museums und die einzelnen Sammlungen neu geregelt wurden[31]. Der Grundgedanke, auf dem das neue Statut basierte, sah eine Aufteilung des Joanneums in einzelne selbstständige Abteilungen vor, die mit ihren Sammlungen ein möglichst „umfassendes Bild der geschichtlichen und culturellen Entwicklung des Landes und seiner Bewohner“ geben sollen[32].

Trotz dieser auf die Steiermark fokussierten Richtlinien kam es zum Ankauf von griechischen Antiken, der sogar erstmals kein Anhang einer Münzerwerbung war[33]. Wiederum handelt es sich um zyprische Keramikgefäße, die nun im Gegensatz zur Sammlung von Veltzé gleichmäßiger über die Zeitperioden von der Bronzezeit bis zur Archaik gestreut sind.

Im Jahre 1891 schenkte der damalige Landeshauptmann Ladislaus Gundaker Graf von Wurmbrand-Stuppach (1838–1901) insgesamt sieben repräsentative Gefäße[34]. Darunter befanden sich neben zwei etruskisch rotfigurigen Kolonettenkrateren (s. unten) auch der apulisch rotfigurige Glockenkrater eines Malers, der nach seinem Aufbewahrungsort im Universalmuseum Joanneum in Graz von Alexander Cambitoglou und Arthur Dale Trendall im Rahmen ihres Standardwerkes zur apulisch rotfigurigen Vasenmalerei von 1978 als Grazer Maler bezeichnet wurde (Abb. 5)[35].

---

30 Zur Person Pichler s. A. Kernbauer, Friedrich Pichler (1866–1905), in: W. Höflechner (Hrsg.), Beiträge und Materialien zur Geschichte der Wissenschaften in Österreich, Publikationen aus dem Archiv der Universität Graz 11 (Graz 1981) 264–283.

31 JJb 76, 1887, 55–59.

32 Der Münzen- und Antiken-Sammlung kam als letzter Punkt auch folgende Aufgabe der Präsentation zu: „Antiken nichtsteierischer Länder, soweit sie vorhanden sind, oder dem Museum geschenkweise zukommen“.

33 JJb 80, 1891, 38; UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1891, Protokoll 1891, Nr. 146. Aus diesem Ankauf sind zwei Kannen publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 183 Nr. 1047–1048 Abb.

34 JJb 80, 1891, 38.

35 Katalog Archäologiemuseum, 186 Nr. 1068 Abb. mit weiterführender Literatur. Jüngst S. Karl, Apulisch-rotfiguriger Glockenkrater des Grazer-Malers, in: K. Peitler – M. Mele – B. Porod – D. Modl (Hrsg.), Lebensspuren. Die bedeutendsten Objekte der Archäologischen Sammlungen und des Münzkabinetts, SchSt 24 (Graz 2011) 112 f. Nr. 48 Abb.

Abb. 4: Zyprisch archaische Kanne mit Kleeblattmündung der White Painted IV Ware, UMJ Inv.-Nr. 4188 (Foto UMJ, N. Lackner)

Abb. 5: Apulisch rotfiguriger Glockenkrater des Grazer Malers, UMJ Inv.-Nr. 4611 (Foto UMJ, N. Lackner)

Die zwei etruskischen, laut den Jahresberichten des Joanneums aus Orvieto stammenden Kolonettenkratere besaß Wurmbrand-Stuppach aus dem Besitz des im Jahre 1889 verstorbenen Generalkonsuls in Venedig Alexander von Warsberg (1836–1889)[36]. Beide Kratere lassen umfassende historische Restaurierungen erkennen, deren enge Verwandtschaft in der technischen Ausführung sogar eine Provenienz aus derselben Restaurierungswerkstatt nahelegt. Während ein Krater, der in der Folge noch eingehender behandelt wird, mit Köpfen in Profilansicht bemalt ist[37], weist der zweite Krater florale Ornamente auf[38] (Abb. 6).

Im Jahre 1896 kam es zu zwei bemerkenswerten Ankäufen vom Kunsthändler Jakob Fürst in Graz[39]. Beide gehen auf Wilhelm Gurlitt (1844–1905) zurück, der seit 1890 als Kurator der prähistorischen Sammlung und dem Antikenkabinett vorstand. Bei dieser Akquisition ist besonders der hohe Anteil kampanisch-rotfiguriger Gefäße zu erwähnen, sowie eine paestanisch-rotfigurige Oinochoe aus der Werkstatt des Asteas und Python[40]. Zu diesem Ankauf gehören auch zwei attische Schalen, darunter eine schwarzfigurige Augenschale des Caylus-Malers (Abb. 7)[41].

Aus dem Nachlass des 1897 verstorbenen Grazer Chirurgen und Universitätsprofessors Karl Rzehaczek (1816–1897) wurden im Jahre 1898 von dessen Witwe zwölf antike Keramikgefäße sowie weitere Altertümer dieser sehr heterogenen Privatsammlung dem Landesmuseum Joanneum überlassen[42]. Neben einem frühkorin-

---

36 Zur Person Warsberg s. Wurzbach LIII (Wien 1886) s. v. Warsberg, Alexander Freiherr, 98 f.

37 Zum untersuchten Krater UMJ Inv.-Nr. 4612 s. Kap. 5.

38 UMJ Inv.-Nr. 4613, unpubliziert.

39 JJb 85, 1896, 41; UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1896, Nr. 21. 26. 131 mit erhaltenen Quittungen.

40 Zu den kampanisch-rotfigurigen Vasen s. A. D. Trendall, The Red-figured Vases of Lucania, Campania and Sicily I. II (Oxford 1967) 269 Nr. 278 Taf. 108, 5–6; 279 Nr. 370 Taf. 114, 3–4; 368 Nr. 41 Taf. 140, 5–6; 465 Nr. 117 Taf. 182, 4; zur paestanischen Oinochoe s. Katalog Archäologiemuseum, 185 Nr. 1057 Abb.

41 Katalog Archäologiemuseum, 180 Nr. 1030. 1032 Abb. Zur Grazer Augenschale vgl. die Parallele in Kopenhagen, Nationalmuseum (6063): CVA Copenhague 3 III H Taf. 115, 2a–b; ABV 634.22; CVA-Online 331791.

42 JJb 87, 1898, 41; UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1898, Nr. 13. Zur Person Rzehaczek s. ÖBL IX (Wien 1988) s. v. Rzehaczek, Karl, 353 f. (F. Spath). Zwei Objekte aus dieser Schenkung sind publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 165 Nr. 938; 181 Nr. 1035 Abb.

Abb. 6: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4613 (Foto UMJ, N. Lackner)

Abb. 7: Attisch schwarzfigurige Augenschale des Caylus-Malers, UMJ Inv.-Nr. 8648 (Foto UMJ, N. Lackner)

thischen Kugelaryballos des La-Trobe-Malers[43] gehört zu dieser Erwerbung auch eine etruskische Kanne der Bucchero-pesante-Ware, nach einem damals erstellten Verzeichnis „in Chiusi gefunden“. Dieses aus zahlreichen Einzelfragmenten zusammengesetzte Bucchero-Gefäß wird in der Folge noch eingehender vorgestellt[44].

Der letzte Ankauf von griechischen bzw. italischen Gefäßen hängt mit der Erforschung der hallstattzeitlichen Kulturen im Südostalpenraum sowie deren Kontakte zu den antiken Hochkulturen, vorrangig zu Etrurien, und mit der Teilnahme des Landesarchäologen Walter Schmid (1875–1951)[45] an einem vom „kaiserlich deutschen archäologischen Institute in Rom veranstalteten etruskischen Kurse in Mittelitalien“ in den Monaten Mai und Juni 1913 zusammen[46]. Eine Subvention des Landesmuseumsvereines „Joanneum“ ermöglichte ihm Ende des Jahres 1913 den Aufbau einer Vergleichssammlung mit Gefäßen der etruskischen Bucchero-Ware, wobei es sich dabei vor allem um glatte Gefäße aus Bucchero sottile bzw. übergangszeitlichem Bucchero ohne weiteren Relief- oder Ritzdekor handelt. Insgesamt wurden laut Akten[47] 15 Gefäße aus kampanischen Nekropolen über den römischen Kunsthandel erworben[48].

Die letzten acht Gefäße wurden dem Landesmuseum Joanneum im Jahre 1939 im Zuge der Auflassung einer für Unterrichtszwecke als Anschauungsmaterial zusammengetragenen Antikensammlung von der „Nibelungenschule“ in Graz geschenkt. Aus diesem Bestand sind besonders drei attisch geometrische Objekte, darunter ein Kantharos der mittelgeometrischen Phase II, erwähnenswert[49].

---

43 Der Kugelaryballos wurde bereits 1971 publiziert: A. Seeberg, Corinthian Komos Vases, BICS Suppl. 27 (London 1971) 34 Nr. 184; Katalog Archäologiemuseum, 165 Nr. 938 Abb. mit weiterführender Literatur.

44 Zum untersuchten Gefäß UMJ Inv.-Nr. 8749 s. Kap. 4.

45 Zur Person Schmid s. W. Modrijan, Walter Schmid zum Gedenken!, SchSt 2, 1953, 5–8.

46 JJb 102, 1913, 25. 27.

47 UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1913, Schreiben vom 31. Dez. 1913.

48 Aus diesem Ankauf sind vier Objekte publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 180 Nr. 1028–1029; 184 Nr. 1051–1052 Abb.

49 Aus der Sammlung der Nibelungenschule ist bisher nur der Kantharos publiziert: Katalog Archäologiemuseum, 179 Nr. 1026 Abb.

2.2 Ausstellung und Lagerung

Die anfangs sehr bescheidene Vasensammlung wurde – als ursprünglicher Teil des Joanneumsarchives seit der Gründung des Joanneums im Jahre 1811 bis zum Beginn der Neuaufstellung sämtlicher archäologischer Sammlungen im Schloss Eggenberg im Jahre 1961 – im Lesliehof, dem Stammhaus des Landesmuseums, in der Raubergasse im Stadtzentrum von Graz gezeigt[50]. Natürlich standen die wenig zahlreichen griechisch-römischen Altertümer aus dem Mittelmeerraum stets im Schatten der prähistorischen und provinzialrömischen Sammlung aus dem eigenen Lande. Der Ankauf der zyprischen Kalksteinskulpturen im Jahre 1862 unter Zahn, dem damaligen Leiter der Sammlungsbereiche Münzkabinett sowie Kunst- und Antikenkabinett (1861–1869), erweiterte den Bestand nichtsteirischer Altertümer, führte jedoch zu keiner wesentlichen Änderung hinsichtlich der Strukturierung oder der Inhalte der ausgestellten Sammlung. So waren z. B. die Vasen hauptsächlich wegen ihrer gemeinsamen Erwerbung dem Münzkabinett angeschlossen.

Abb. 8: Die Antikensammlung in der Neuaufstellung von 1913, Kasten mit griechischen Objekten (UMJ, AArchMk, Fotoarchiv)

Erst im Jahre 1869 kam es mit der Schaffung einer eigenen Abteilung, dem Münzen- und Antiken-Cabinet, unter der Leitung von Pichler (1869–1890) zu einer Neueinrichtung und Aufstellung der gesamten Antikensammlung nach systematischen Klassen[51]. Die ägyptische, persisch-babylonische und die griechische Sammlung wurde im ersten Stock des Lesliehofes im Eingangszimmer neu platziert und museal der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Obwohl die griechische Abteilung laut Pichler damals bereits 90 Posten umfasste, befanden sich nur wenige griechische oder italische Vasen in dieser Ausstellung[52].

Eine Neuaufstellung erfolgte bei einer Umstrukturierung der Abteilungen des Landesmuseums Joanneum mit gleichzeitiger Neubesetzung der Leitung der nun als „Prähistorische Sammlung und Antiken- und Münzen-Cabinet“ bezeichneten Abteilung im Jahre 1890, wobei die Kuratoren die Verantwortung für die Sammlungsbestände übernahmen. So hatten die Ordinarii an der Karl-Franzens-Universität Graz, der Historiker Luschin von Ebengreuth die Leitung des Münzenkabinetts (bis 1912) und der Archäologe Gurlitt die der prähistorischen Sammlung und des Antikenkabinetts (bis 1905) inne[53]. Unter der Führung von Gurlitt begann die erstmalige Inventarisierung der Antikensammlung, die der Amanuensis und spätere zweite Kustos Otto Fischbach bis zu seinem plötzlichen Tod am 10. März 1897 durchführte[54]. Die Altertümer aus Griechenland und Ägypten waren weiterhin im ersten Stock, im Saal I und II an der zum Hof hin orientierten Nordostecke des Lesliehofes untergebracht[55].

Zu einer weiteren Neuaufstellung kam es im Jahre 1913, kurz nachdem Schmid die Leitung der prähistorischen Sammlung und des Antikenkabinetts (1912–1951) übernahm. Dabei wurden die von außerhalb Steiermarks stammenden Antiken wie die babylonischen, ägyptischen, zyprischen, etruskischen und griechischen Gegenstände im ersten Raum, dem Saal I, zu einer Gruppe vereinigt und in vier Kästen aufgestellt[56]. Der

---

50 JJb 1811, 8: Die öffentliche Präsentation der erworbenen Objekte war in den auf Erzherzog Johann zurückgehenden Statuten des Landesmuseums verankert, in denen auch „die Modalitäten der Benützung des Musäums“ geregelt wurden.

51 JJb 58, 1869, 21.

52 F. Pichler, Das historische Museum des Joanneums (Graz 1869) 10.

53 JJb 79, 1890, 55.

54 R. Mell, Prähistorische Sammlung, Münzen- und Antiken-Kabinett, in: A. Mell (Hrsg.), Das steiermärkische Landesmuseum Joanneum und seine Sammlungen. Zur 100jährigen Gründungsfeier des Joanneums (Graz 1911) 300 f.

55 Kuratorium des Landes-Museums, Das steiermärkische Landes-Museum „Joanneum“ in Graz. Eine kurze Übersicht seiner Entstehung, seiner Einrichtungen und Sammlungen (Graz 1902) 55 f.

56 JJb 102, 1913, 25.

Abb. 9: Lagerung der Vasensammlung in den Unterschränken der Schausammlung von ca. 1970 bis 2005 (Foto UMJ, R. Fürhacker)

Abb. 10: Das neue Archäologiemuseum des Universalmuseums Joanneum, Vitrine mit dem Krater des Grazer Malers (Foto UMJ, N. Lackner)

Rest, der aus Platzgründen nicht mehr in den Kästen untergebracht werden konnte, wurde in deren Unterschränken deponiert. Diese Aufstellung, die in einer frühen Fotografie überliefert ist (Abb. 8), blieb bis in das Jubiläumsjahr 1961 unverändert[57].

Im Jahre 1961 begannen die Arbeiten zur Neuaufstellung der archäologischen und numismatischen Sammlungen und deren schrittweise stattfindender Umzug aus dem Stadtzentrum an die westliche Peripherie von Graz, namentlich in das Schloss Eggenberg, wo im dortigen Schlosspark im Jahre 1965 das Lapidarium eröffnet werden konnte. Diesem folgte im Jahre 1971 die prähistorische und provinzialrömische Schausammlung in den dazu neu adaptierten Räumlichkeiten des Schlosses. Die Bestände der griechisch-römischen Antike wie auch die Orientalia und Aegyptiaca wurden erst wieder im Jahre 1982 in einer kleinen Auswahl im sog. Münz- und Antikenkabinett der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Der Großteil der griechischen und italischen Vasensammlung (Abb. 9) wurde in die Vitrinen-Unterschränke der provinzialrömischen Schausammlung verlagert.

Mit der Schließung der Schausammlungen in Eggenberg in den Jahren 2004/05 begannen die Arbeiten an einer systematischen Registrierung und digitalen Erfassung sämtlicher Antiken aus der abgebauten Schausammlung und deren Unterschränken als Vorarbeiten für die Errichtung eines neuen Archäologiemuseums im Schlosspark von Eggenberg. Erst durch diese grundlegende Erfassung aller Objekte wurde erstmals der tatsächliche Umfang der Vasensammlung am Universalmuseum Joanneum bekannt. Er umfasst knapp über 200 Einzelobjekte. Das neue Archäologiemuseum, in dem auch ausgewählte griechische und italische Gefäße ihren Platz fanden, wurde im Jahre 2009 eröffnet (Abb. 10).

2.3 Informationen zu Restaurierungsmaßnahmen

Gerade die historischen Restaurierungen und neuzeitlichen Veränderungen verbinden die antiken Gefäße des Universalmuseums Joanneum mit einer eigenen „nachantiken“ Geschichte, die eng mit ihrer Erwerbungs- und Ausstellungsgeschichte verknüpft ist. Da die Vasensammlung stets ein Schattendasein in den großen Sammlungsbeständen des Joanneums führte, blieb sie auch zum größten Teil von späteren Restaurierungen mit zumeist fehlender oder unzureichender Dokumentation verschont. So beherbergt das Joanneum heute einige Gefäße, die äußerst interessante Restaurierungen, aber auch Übermalungen und Ausschmückungen im Zeitgeschmack des 19. Jahrhunderts zeigen. Zum Beispiel weist eine durchgehend rezent schwarz übermalte Bauchlekythos der unteritalischen Glanztonware des 4. Jahrhunderts noch eine zusätzliche Bemalung auf, bei der

[57] Über dieses Kulturen übergreifende Konzept bemerkte Modrijan in den 1960-er Jahren: „Man legte damals auf eine allgemeine Orientierung noch besonderen Wert, die heute im Zeichen der großen Reisemöglichkeiten in den Hintergrund treten kann.“ W. Modrijan, Das Museum für Vor- und Frühgeschichte und die Münzensammlung, in: B. Sutter (Hrsg.), Festschrift 150 Jahre Joanneum, 1811–1961, Joannea 2 (Graz 1969) 95–119, bes. 98.

jede zweite vertikale Rippenzone des Gefäßbauches ziegelrot bemalt wurde[58]. Diese ziegelroten Flächen wurden schließlich mit einer Art von Lilienpflanze in schwarzer Farbe dekoriert (Abb. 11).

Aus den Archivalien und den gedruckten Jahresberichten des Joanneums gehen nur ausnahmsweise Informationen über restauratorische bzw. konservatorische Maßnahmen für das 19. Jahrhundert hervor, so z. B. zum bekannten Strettweger Kultwagen[59]. Bei den Antiken des Mittelmeerraumes fehlen solche Daten komplett. Prinzipiell standen die Keramikgefäße der antiken Mittelmeerkulturen kaum im Mittelpunkt des Landesmuseums Joanneum und waren – wie oben dargestellt – über eine lange Zeitperiode überhaupt der Öffentlichkeit verschlossen. So können bei fast allen Gefäßen eindeutig jene restauratorischen Eingriffe, die bereits im Zuge der Erwerbung vorhanden waren, von jenen, die im 20. Jahrhundert im Landesmuseum Joanneum durchgeführt wurden, aufgrund ihrer materialtechnischen Ausführung unterschieden werden. Der überwiegende Teil der historischen Restaurierungen kann ausschließlich über die jeweilige Erwerbungsgeschichte und über den Befund an den Objekten selbst rekonstruiert werden.

Abb. 11: Bauchlekythos der unteritalischen Glanztonware mit moderner Übermalung, UMJ Inv.-Nr. 4198 (Foto UMJ, S. Karl)

Ein einziges Exemplar aus dem Bestand der Mittelmeerraum-Antiken besitzt einen Hinweis auf eine museumsinterne Restaurierungsmaßnahme. Es handelt sich dabei um eine hellenistische Lampe, die im Jahre 1862 vom oben erwähnten Botaniker Unger erworben wurde[60]. In schwarzer Tusche wurde auf deren Unterseite vermerkt: „Prof. Unger, aus Larnaka, Cypern, restaur. v. Borbély[61].“ Der Institutsdiener im Joanneum, spätere Zimmerwärter/Hausinspektor Franz Borbely ergänzte jedoch diese Lampe entweder eigenverantwortlich oder unter Anweisung der Leitung des Kunst- und Antikenkabinetts im Joanneum ohne die ehemals vorhandene Lampenschnauze, wodurch das Erscheinungsbild der ursprünglichen Lampe für den heutigen Betrachter empfindlich gestört wird (Abb. 12). Obwohl nicht direkt dem Kunst- und Antikenkabinett des Museums angehörig – Borbely war im Jahre 1862 Institutsdiener in der Joanneumsbibliothek –, ist mit ihm dadurch der erste namentlich bekannte Restaurator antiker Objekte in der Steiermark fassbar[62].

Der Großteil der griechischen und italischen Gefäße besitzt hingegen überhaupt keine sichtbaren restauratorischen bzw. konservatorischen Maßnahmen. Das geht sogar so weit, dass sich manche Stücke noch annähernd im Zustand ihrer Auffindung befinden. In einer frühkorinthischen konischen Oinochoe[63], die im Jahre 1901 ohne weitere Angaben angekauft wurde, befand sich noch immer das Erdmaterial, das im Zuge der Bodenlagerung in das Gefäß eingedrungen war. Die Erde war u. a. von zahlreichen kleinsten Fragmenten von

---

58 UMJ Inv.-Nr. 4198, unpubliziert. Beim ursprünglichen Gefäß handelt es sich um eine Bauchlekythos der Form Morel 5416; vgl. z. B. die Bauchlekythos mit zusätzlicher Palmettenstempelung CVA Genève 1 IV D Taf. 35, 3 (MF 277).

59 Zur Restaurierungsgeschichte des Strettweger Wagens s. M. Egg – U. Lehnert – R. Lehnert, Die Neurestaurierung des Kultwagens von Strettweg in der Obersteiermark, Restaurierung und Archäologie 3, 2010, 5–8.

60 UMJ Inv.-Nr. 4222, unpubliziert.

61 UMJ, AArchMk, Jahresakten, K. 1861/1862, Nr. 240. Laut Akt vom 6. Sept. 1862 übergab Unger „eine antike Lampe aus Larnaka, den Pegasos auf der Vorderseite, restaurirt in gebräuntem Gyps von dem Joanneums-Zim(m)ermeister J. [recte F.] Borbeli.“

62 Zur Anstellung s. Adreß- und Geschäfts-Handbuch der Landeshauptstadt Graz für die Jahre 1867 und folgende. Letzterwähnung im Grazer Adressbuch von 1893 als „landschaftl. Hausinspector, Raubergasse 10“. – Borbely besaß in den frühen 1860er-Jahren bereits als Fachmann soweit einen Ruf, dass ihm im Jahre 1864 sogar die Restaurierung der ornamentalen und konstruktiven Teile der Reliquienschreine im Grazer Dom, bedeutende Werke der italienischen Frührenaissance, unter der Aufsicht des Oberingenieurs und Architekten Karl Schaumburg und des Konservators Scheiger anvertraut wurde. Zu den Reliquienschreinen im Grazer Dom s. A. von Steinbüchel, Die Reliquienschreine der Kathedrale zu Graz (Wien 1858); R. Kohlbach, Der Dom zu Graz (Graz 1948) 67–78, bes. 76.

63 UMJ Inv.-Nr. 8925, unpubliziert.

Abb. 12: Hellenistische Lampe mit Darstellung des Pegasos und einem Restaurierungshinweis auf der Unterseite, UMJ Inv.-Nr. 4222 (Foto UMJ, S. Karl)

Abb. 13: Reste der Schneckenschalenfragmente aus der frühkorinthischen konischen Oinochoe, UMJ Inv.-Nr. 8925 (Foto UMJ, S. Karl)

Schneckengehäusen durchsetzt. Eine zoologische Bestimmung dieser Schalenbruchstücke ergab insgesamt vier verschiedene Schneckenarten: *Monacha cartusiana, Ceciloides acicula, Xerotricha conspurcata, Tochoidea pyramidata* (Abb. 13)[64]. Während drei davon mehr oder weniger im gesamten Mittelmeerraum verbreitet sind, ist die zu den Heideschnecken gehörende Art *Xerotricha conspurcata* eine nur im westmediterranen Gebiet heimische Art. Damit lässt sich der ansonsten unbekannte Fundort dieser korinthischen Kanne eingrenzen.

3 DIE DOKUMENTATION HISTORISCHER RESTAURIERUNGS- UND KONSERVIERUNGSMASSNAHMEN

3.1 Fragestellungen

Steht ein antikes Gefäß in seinem „historisch gewachsenen Zustand“[65] vor uns, stellt sich in restauratorischer Hinsicht die Frage: Wer hat damit was, wann, wo, wie, warum und womit gemacht?

Wer hat wann und wo die erste Restaurierung vorgenommen, bzw. bei mehrfacher Bearbeitung, welche Restauratoren haben diese wann und wo durchgeführt? Waren es Freischaffende oder Mitarbeiter eines Museums? Handelt es sich um ein Objekt einer bereits im 19. Jahrhundert bestehenden Sammlung, ist die Frage zu stellen, ob die Restaurierung stattfand, bevor oder nachdem es Teil des Sammlungsinventars wurde[66]?

Warum wurde die Restaurierung vorgenommen und wer war der Auftraggeber? War es der Ausgräber, ein Händler, ein privater Sammler oder eine öffentliche, nicht profitorientierte Institution (Museum, Universität, etc.)? Ging es, wie bei Händlern anzunehmen, um Wertsteigerung, oder wie bei privaten Sammlern zu vermuten, um Repräsentation, Wertanlage oder reine Sammelleidenschaft? Sollte die Restaurierung museal-wissenschaftlichen Anforderungen[67] entsprechen? All diese Vorgaben führten zu unterschiedlichen

---

64 Für die Bestimmung der Schneckenschalenfragmente im Jahre 2006 ist Karl Edlinger, NHM Wien und Karl Adlbauer, UMJ, Abteilung Zoologie zu danken.

65 Unter „historisch gewachsenen Zustand“ versteht man alle Spuren, die an einem Objekt ablesbar sind. Dies sind Spuren der Herstellung und Spuren der Veränderungen von der Fertigung bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt, die auf physikalische, chemische und anthropogene Einflüsse zurückzuführen sind. Einflussfaktoren sind einerseits Gebrauch und Abnutzung, Umbauten, Reparaturen und Restaurierungen, etc., sowie andererseits beispielsweise Klimaeinflüsse, Temperatur, Strahlung und Feuchtigkeit aber auch Korrosion und Materialermüdung.

66 Es ist aufgrund archivalischer Quellen davon auszugehen, dass im 18. und 19. Jahrhundert die erste Restaurierung antiker Gefäße häufig in einer gewissen Nähe zum Fundplatz bzw. im Land der Ausgrabung vorgenommen wurde. Das Beispiel der in Kapitel 2 vorgestellten Lampe (UMJ Inv.-Nr. 4222) (Abb. 12) aus den frühen 1860er-Jahren zeigt aber, dass dies nicht immer der Fall war.

67 Die Vorgaben der Wissenschaft änderten sich im Laufe der Zeit und waren bzw. sind immer wieder neuen Moden unterworfen. Eine Reihe von berühmten Vasen in öffentlichen Sammlungen ging so durch einen mehrstufigen „Transformationsprozess“, der heute

Restaurierungskonzepten und damit zu einem unterschiedlichen Ergebnis, das von ‚wie neu' bis zu einem torsoartigen Erscheinungsbild führen konnte[68].

War die mit der Restaurierung betraute Person ein ausgebildeter Künstler, Kunsthandwerker, Handwerker, angelernter (Museums-) Mitarbeiter oder ein (akademisch) ausgebildeter Restaurator?

Wie, d. h. mit welcher Methode wurde das Objekt restauriert und mit welchen Materialien wurden Klebungen, Ergänzungen, Retuschen, etc. ausgeführt?

Die, wenn auch oft nur zum Teil mögliche Beantwortung dieser Fragen dient der Restaurierungsforschung. Sie bietet bei systematischer – z. B. chronologischer oder werkstattspezifischer – Auswertung der Ergebnisse die Möglichkeit, auch archäologische Fragen nach Fundort und -zeit, etc., bzw. allgemeine Fragen zur Provenienzforschung zu beantworten. Die Basis dafür ist eine umfassende Datensammlung, auch wenn „ein zentrales Hindernis bei der Erforschung der Altrestaurierungen der nur noch geringe Bestand an gut konservierten Vasen des 19. Jhs." ist. „Die meisten großen Museen haben ihren Vasenbestand sukzessive restauriert und dabei den älteren Zustand nur unzureichend dokumentiert.[69]"

Für die Rekonstruktion einer fehlenden Restaurierungsdokumentation stehen neben archivalischen Studien, makro- und mikroskopische Methoden, naturwissenschaftliche Analysen[70], radiologische Verfahren, UV-Fotografie[71], Infrarotreflektografie, Endoskopie[72], etc. sowie der Vergleich mit publizierten historischen Anleitungen und Rezepturen zur Verfügung[73].

3.2 Industrielle Röntgen-Computertomografie

Für diesen Beitrag wurde neben stereomikroskopischen Untersuchungen der Schwerpunkt auf die industrielle Röntgen-Computertomografie (CT) gelegt, deren Ergebnisse einen tiefen Einblick in die inneren Strukturen des zu untersuchenden Gegenstandes erlauben. Im Folgenden sollen jene Punkte hervorgehoben werden, die der CT bei restauratorischen bzw. konservatorischen Untersuchungen einen besonderen Stellenwert gegenüber anderen Methoden gibt[74]. Im Gegensatz zur zweidimensionalen Röntgen-Durchleuchtung bietet die CT den großen Vorteil einer räumlichen Erfassung des Objekts. Dreidimensionale Visualisierungen erleichtern das Erkennen von restauratorischen Zusammenhängen; und die hohe Auflösung ermöglicht die Feststellung feinster innerer Strukturen. So lässt sich an dem Anschein nach vollständigen Gefäßen deren Fragmentierung erkennen und ergänzte Bereiche unterscheiden sich aufgrund differierender Dichte bzw. innerer Beschaffenheit von den originalen Keramikscherben. Sichtbar werden auch Gefäßmontagen aus Fragmenten unterschiedlicher Keramikart. Neuzeitliche Klebstoffe, Kitt- bzw. Ausgleichsmassen, Grundierungen, Überzüge und Übermalungen können sich aufgrund ihrer Dichtewerte abheben und mit einem 3D-Visualisierungsprogramm dargestellt werden. Weiters können nicht sichtbare, bei der Restaurierung beispielsweise aus statischen Gründen eingebrachte Fremdkörper wie Metall- oder Holzteile festgestellt und allgemein unterschiedliche restaurierungstechnologische Details erkannt werden.

---

leider oft nur noch durch Zeichnungen und historische Fotos bedingt nachvollziehbar ist; ein Beispiel einer tyrrhenischen Halsamphora abgebildet in vier Restaurierungsphasen von ca. 1923 bis 1973 in H.-P. Müller, Griechische Keramik am Antikenmuseum der Universität Leipzig: Sammlungs- und Restaurierungspolitik am Beispiel einer universitären Lehr- und Studiensammlung, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 69–75, bes. Abb. 4–7.

68 Zu den sich im Laufe der Zeit wandelnden Auffassungen im Umgang mit Kulturgut: R. Buchholz – H. Homann (Hrsg.), Ein Berufsbild im Wandel. Restaurieren heißt nicht wieder neu machen, Ausstellungskatalog ²(Mannheim 1997).

69 Bentz – Kästner, Vorwort, 8.

70 Friedmann – Bente, Restaurierungen.

71 Siehe den Beitrag von B. Vak in diesem Band; Bourgeois, restauratori, 42 Taf. 3, 3–4; 4, 1–3.

72 Mittels Endoskopie lässt sich die Oberfläche fast geschlossener Hohlräume, wie sie enghalsige Gefäße (z. B. Lekythen) aufweisen, untersuchen. Da bei historischen Restaurierungen der nicht oder nur schwer einsehbare Innenbereich, wie auch der Boden, meist unbearbeitet bzw. unretuschiert blieb, lassen sich so relativ einfach Aussagen zum Zerscherbungsgrad, Lage der Bruchkanten, Klebe- und Überzugsmaterial etc. treffen.

73 A. Hoffmann, Restaurierungen archäologischer Keramik im Zeitraum von der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bis zu den 1960er Jahren, Institut für Technologie der Malerei an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart (unpubl. Dipl. Stuttgart 1995) 8–86.

74 Zur Methode und zu den technischen Grundlagen der industriellen Röntgen-Computertomografie und ihre Anwendung speziell bei Keramikobjekten s. den Beitrag S. Karl – D. Jungblut – J. Rosc in diesem Band.

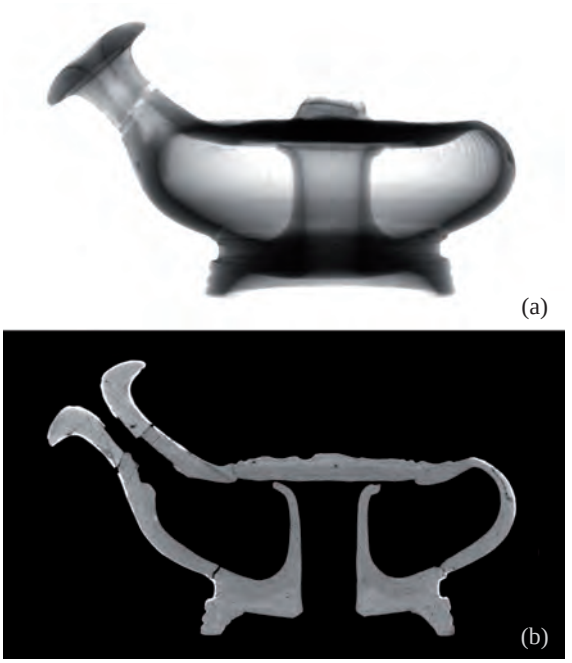


Abb. 14: Guttus KFUG Inv.-Nr. G 2 mit modern angesetzter Mündung; (a) Röntgenbild; (b) CT-Schnitt (x|argos|compact) (Aufnahme und Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Abb. 16: Kolonettenkrater (UMJ Inv.-Nr. 4613) in der Computertomografieanlage x|argos|compact am Gießerei-Institut Leoben (Foto S. Karl)

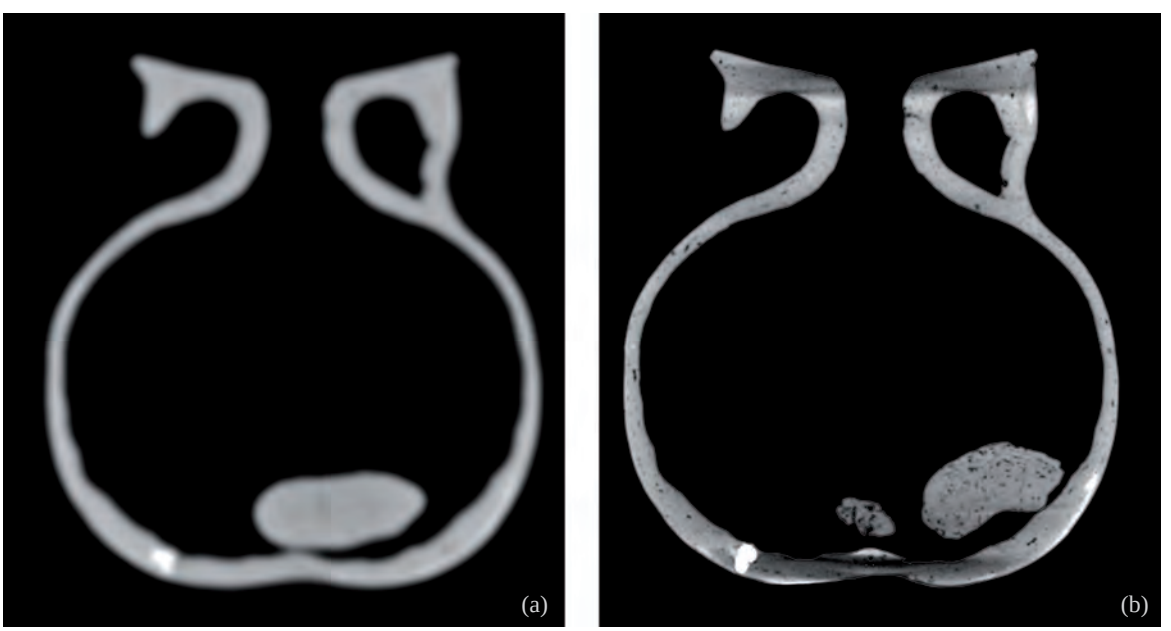


Abb. 15: Korinthischer Kugelaryballos UMJ Inv.-Nr. 25306, virtuelle Profilschnitte; (a) medizinische CT (Siemens Somatom Sensation Cardiac 64); (b) industrielle CT (v|tome|x C 240 D) (Visualisierung S. Karl)

Der Vergleich einer Durchleuchtungs- und einer CT-Schnittaufnahme eines Guttus aus dem Bestand der Sammlung des Instituts für Archäologie der Karl-Franzens-Universität Graz (Abb. 14) zeigt Details, die auf dem Röntgenbild nicht zu erkennen sind[75]. Erst die CT klärt u. a. den Umstand, dass es sich beim Ausguss um eine vermutlich im 19. Jahrhundert vorgenommene Ergänzung aus Keramik und nicht um ein abgebrochenes und wieder angeklebtes Originalfragment des Guttus handelt[76]. Der signifikante Dichteunterschied der angesetzten Mündung ist im Gegensatz zur Röntgenaufnahme im CT-Schnitt klar erkennbar; und es zeigen sich weitere klärende Details, wie der mit geraden Kanten abgeschnittene Ausgussstumpf.

Die Gegenüberstellung der mittels medizinischer[77] (Abb. 15 a) und industrieller (Abb. 15 b) CT hergestellten virtuellen Profilschnitte eines korinthisch-archaischen Kugelaryballos[78] illustriert den signifikanten Vorteil der höheren Auflösung (Tab. 1).

Die Durchführung der CT-Untersuchungen an den in diesem Artikel vorgestellten Gefäßen fand am 10. Dezember 2009 am Österreichischen Gießerei-Institut (ÖGI) in Leoben statt (Abb. 16)[79].

Objekt	ÖGI-ID	CT-Anlage	voxelsize (mm)	Dim X	Dim Y	Scan Time (sec)	Voltage (kV)	Current (µA)	X-Ray Filter	X-Ray Filter Thickness (mm)
UMJ Inv.-Nr. 4612	CT03247	x|argos|compact	0,259	1390	1440	72	320	2600	Cu+Al	0,5+1,5
UMJ Inv.-Nr. 8749	CT03248	v|tome|x C 240 D	0,261	1015	512	1954	181	235	Cu+Al	1,0+1,0

Tabelle 1: Parameterwerte, Filterung und Voxelgröße der CT-Untersuchungen von den in dieser Studie vorgestellten Gefäßen

4 ETRUSKISCHES GEFÄSS DER BUCCHERO-PESANTE-WARE

4.1 Archäologische Beschreibung und Bestimmung

Bei diesem Objekt (UMJ Inv.-Nr. 8749) handelt es sich um ein Gefäß der nordetruskischen Bucchero-Ware, gemeinhin als Bucchero pesante bezeichnet[80]. Typisch dafür ist neben dem reduzierend, dunkel gebrannten Scherben und der schwarz polierten Oberfläche vor allem der Reliefdekor, der aus einem Matrizenabform-

---

75 KFUG Inv.-Nr. G 2. Katalog Institut, 75 f. Abb. 66–67. Wir danken für die Publikationsmöglichkeit. Die Röntgen- und die CT-Schnittaufnahme wurden am 7. Sept. bzw. am 11. Nov. 2010 mittels der CT-Anlagen v|tome|x C 240 D und x|argos|compact am ÖGI Leoben vorgenommen.

76 Der Guttus wurde lt. Katalog Institut, 75 „1876, aus Capua“ erworben und dürfte, wie historische Fotografien zeigen, seit damals keinen weiteren Restaurierungsmaßnahmen unterzogen worden sein. Zur archäologischen Auswertung und restauratorischen Untersuchung s. den Beitrag von M. Christidis in diesem Band.

77 Die medizinische CT wurde am Diagnosticum Graz Süd West am 4. Feb. 2009 durchgeführt; Visualisierung der Daten aus der medizinischen CT mittels MagicView Danube Version V2.00 (Siemens AG Österreich): Fensterwerte nach NNH-Ohr: Mitte 700, Weite 3400.

78 UMJ Inv.-Nr. 25306, unpubliziert. Im Inneren des vollständig erhaltenen Gefäßes befinden sich zwei mitgebrannte, nicht an der Innenwandung anhaftende Tonklumpen.

79 Den Mitarbeitern des ÖGI G. Geier, D. Habe und J. Rosc danken wir für die Zusammenarbeit und Unterstützung.

80 Bucchero wird traditionell in drei Warengruppen unterteilt: Bucchero sottile, übergangszeitliches Bucchero und Bucchero pesante. Sechs chronologische Phasen können in diesen Gruppen definiert werden; s. dazu J. Gran-Aymerich, Observations générales sur l’évolution et la diffusion du bucchero, in: M. Bonghi Jovino (Hrsg.), Produzione artigianale ed esportazione nel mondo antico. Il bucchero etrusco, Atti del Colloquio Internazionale, Milano 10 – 11 Maggio 1990 (Mailand 1993) 19–41, bes. 21–23. – Zur zentral- und nordetruskischen Bucchero-pesante-Ware s. G. Batignani, Le Oinochoai di bucchero pesante di tipo „chiusino“, StEtr 33, 1965, 295–316; L. Donati, Bucchero decorati con teste plastiche umane. Zona di Vulci, StEtr 35, 1967, 619–632; Donati, vasi; L. Donati, Vasi di bucchero decorati con teste plastiche umane. Zona di Orvieto, StEtr 37, 1969, 443–462; Camporeale, collezione, 36–138; bes. 77–97; Perkins, Bucchero, 6 f.; bes. 15 f. 22. 31–33. 38 f. 53 f. 62. 64–66. 68–70; P. Tamburini, Dai primi studi sul bucchero etrusco al riconoscimento del bucchero di Orvieto: importazioni, produzioni locali, rassegna morfologica, in: A. Naso (Hrsg.), Appunti sul bucchero. Atti delle giornate di studio, Archeologia – Atti di Convegni e Seminari (Udine 2004) 179–222. Speziell zur Bucchero-pesante-Ware von Chiusi s. O. Dräger in: M. Iozzo (Hrsg.), Materiali dimenticati memorie recuperate. Restauri e acquisizioni nel Museo Archeologico Nazionale di Chiusi (Chiusi 2007) 33–37 Nr. 15–16. 18–19; 41 f. Nr. 22–23; 45 f. Nr. 28; 50 Nr. 32; von Vulci s. B. Belelli Marchesini, Appunti sul bucchero vulcente, in: A. Naso (Hrsg.), Appunti sul bucchero. Atti delle giornate di studio, Archeologia – Atti di Convegni e Seminari (Udine 2004) 91–147. Ein bedeutender Fundkomplex stammt aus

Abb. 17: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) Front mit Kopf A; (b) Henkelseite (Foto R. Fürhacker)

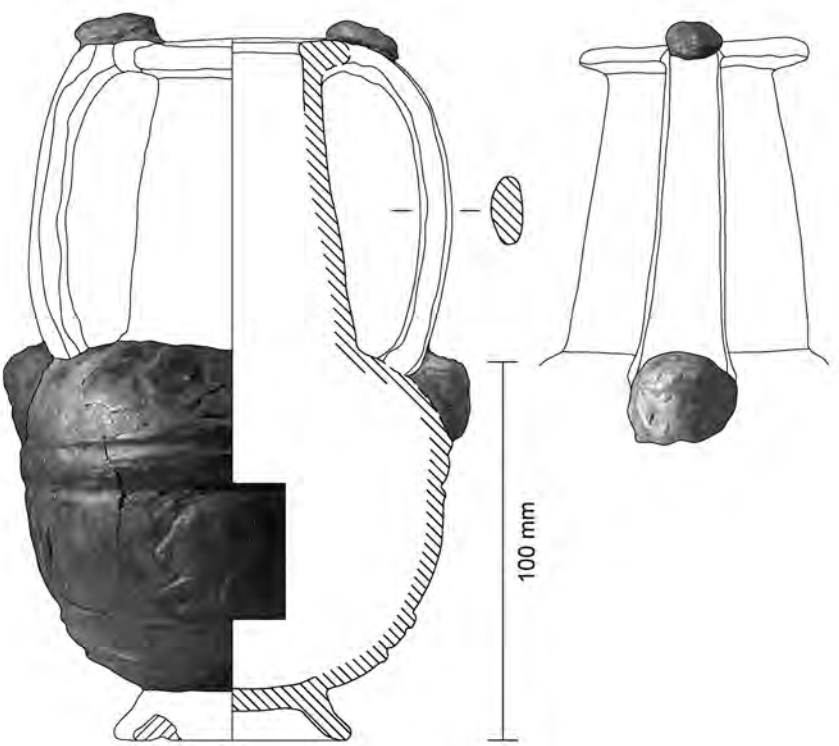


Abb. 18: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749 (Grafik S. Karl)

verfahren gewonnen wurde. Diese Verzierung ist für Chiusiner bzw. Orvietaner Werkstätten charakteristisch. Beim Grazer Exponat (Abb. 17), das aus dem Besitz des 1897 verstorbenen Chirurgen Karl Rzehaczek stammt, ist als „Fundort“ Chiusi überliefert[81].

Beschreibung

Maße: H 18,5 cm; B 12,3 cm; WSt 0,45–0,5 cm; RDm 5,2 cm; BDm 5,8 cm.
Das Gefäß besteht aus mehreren zusammengesetzten Einzelfragmenten, wobei zahlreiche Fehlstellen ergänzt sind. Die Oberfläche ist z. T. übermalt[82]. Auf der Unterseite des Gefäßes befinden sich Sinterspuren.
Das Gefäß (Abb. 18) setzt sich aus einem annähernd kugeligen Gefäßkörper mit einem hohen nach oben zulaufenden Hals und einem nach außen gebogenen waagrechten Rand (max. Dm 6 cm) sowie einem profiliertem niedrigen trompetenförmigen Standring zusammen. Am Rand und auf der Schulter sind zwei vertikale Bandhenkel mit langovalem Querschnitt (B 1,5–2 cm; Dicke 0,8 cm) angesetzt, die mit ihrem Reliefdekor über das Gefäß hinausreichen (H mit Henkel inkl. Applikationen 19,2 cm). Das Gefäß besitzt an den Henkelseiten, an der Schulter und am Bauch Reliefdekor. Der Rand, der Hals und der Standring sind glatt. An den Henkelansätzen am Rand und auf der Schulter ist je ein Frauenkopf in Frontalansicht angesetzt. Die Schulterzone umzieht ein Band aus Rippen, das vom sich darunter befindenden Fries durch zwei umlaufende Wulstringe getrennt wird. Im Fries ist folgende Abfolge von Bildmotiven nach rechts zu erkennen: ein männlicher langbärtiger Profilkopf nach links mit langen Lockensträhnen (Kopf A), eine unten offene Schlaufe mit geritzten seitlichen Voluten, ein männlicher langbärtiger Profilkopf nach rechts mit kurzem Nackenhaar (Kopf B), eine Schlaufe, ein dritter Profilkopf wie der vorhergehende (Kopf C) und eine dritte Schlaufe. Unter dem Fries folgen wieder zwei Wulstringe.
Die Oberfläche ist außen gut geglättet und poliert; auf der Innenseite des Halses sind feine Drehrillen zu erkennen.
Auf der Unterseite ist das Zeichen X eingeritzt[83].
Scherben: FarbeOF: 2.5 Y 3/1 (schwarzdunkelgrau); mittelhart.

Als Reliefdekor weist dieses Gefäß vier verschiedene Matrizentypen auf: unten offene Schlaufen, ein männlicher Reliefkopf nach links mit langen geritzten Lockensträhnen (Kopf A), ein männlicher Reliefkopf nach rechts mit kurzem Nackenhaar (Kopf B und C) und Frauenkopf-Attaschen an den Henkeln. Diese Matrizen stammen durchwegs aus dem Repertoire der Chiusiner Werkstätten, ihre Anbringung am Gefäß ist jedoch ungewöhnlich und geht mit Sicherheit auf die historischen Restaurierungsmaßnahmen zurück. Eine wesentlich regelmäßigere Abfolge von bärtigen männlichen Reliefköpfen nach links (mit Ausnahme des geritzten Haarbandes von identischem Typ) und unten offenen Schlaufen zeigt ein Kelch im Fitzwilliam Museum von Cambridge[84]. Das Schlaufenmotiv mit je zwei seitlichen geritzten Voluten hat seine engsten Parallelen an Gefäßen aus Chiusi aber auch aus Orvieto[85].

Bei den Frauenkopf-Attaschen, die im Zuge der Restaurierung an den Übergängen vom Henkel zum Gefäßkörper angesetzt wurden, sind Vergleiche aufgrund ihres Erhaltungszustandes schwer zu erbringen. Applikationen von Frauenköpfen in Frontalansicht sind besonders an Gefäßen aus Chiusi beliebt, wie z. B. bei den bekannten Tragebecken[86]. Die Frauenkopf-Attaschen am Grazer Gefäß entsprechen nach der Klassifikation von L. Donati am ehesten der Gruppe A, die sich durch ein kleines Format (ca. 2 cm) sowie Kopfformen mit einem dreieckigem bis ovalem Gesicht und einer abgeplatteten Schädelkalotte auszeichnen[87]. Die Elemente des Reliefdekors können anhand der Vergleiche in die 2. Hälfte des 6. Jahrhunderts v. Chr. datiert werden.

---

neueren Grabungen in der Cannicella-Nekropole von Orvieto: F. Prayon und Mitarbeiter, Orvieto. Tübinger Ausgrabungen in der Cannicella-Nekropole 1984–1990. Vorläufiger Bericht, AA 1993, 5–99.

81 s. Kap. 2.1.

82 Zum Zustand der Gefäße im British Museum schreibt z. B. Perkins, Bucchero, 10: „The vast majority of the vessels have been treated with a blackening compound of some kind to improve the traditional black colour and sheen of the bucchero.“

83 Ritzzeichen in Form eines X sind öfters nachgewiesen; s. z. B. Camporeale, collezione, 124 Nr. 134 Taf. 31.

84 CVA Cambridge 1 Taf. 42, 7 (1/19), angeblich aus Falerii; vgl. eine Halsamphore aus Arezzo CVA Tübingen 6 Taf. 11, 6; 12, 1–3 Beil. 3, 1 (S./692).

85 Zum Schlaufenmotiv vgl. aus Chiusi S. Boriskovskaja, Bucchero-Keramik, in: G. Schade (Hrsg.), Die Welt der Etrusker. Archäologische Denkmäler aus Museen der sozialistischen Länder, Ausstellungskatalog Berlin (Berlin 1988) 82 Nr. B. 2.21 Abb. (Ermitage B 1365); O. Dräger in: Iozzo a. O. (Anm. 80) 33 f. Nr. 16; 50 Nr. 32; Donati, vasi, 347 Nr. 236 Abb. 5c (Chiusi 916). Vgl. aus Orvieto L. Donati, Vasi di bucchero decorati con teste plastiche umane. Zona di Orvieto, StEtr 37, 1969, 456 Nr. 56 Taf. 113b (Orvieto 42); K. Geppert, Oinochoen, in: Prayon a. O. (Anm. 80) 68–70 Abb. 94, 2; 96–98; 100, 1.

86 Donati, vasi, 337 f. 351; Perkins, Bucchero, 22.

87 Donati, vasi, 323–330.

Die Gefäßform ist dagegen ungewöhnlich und eine merkwürdige Schöpfung[88]. Das Gefäß ahmt in einer Kombination einerseits eine Gruppe von kleinformatigen Halsamphoren mit gebauchtem Körper, schlankem Hals sowie mit breiten Reliefhenkel – die sog. Nikosthenischen Amphoren – nach und andererseits Halsamphoren mit dreigliedrigen Henkeln, die in einer halbkreisförmigen aufgerichteten Frauenkopf-Attasche enden[89]. Beide Formen dieser Halsamphoren sind in der Bucchero-pesante-Ware generell selten. Es ist festzuhalten, dass das Repertoire der Gefäßformen in der Bucchero-pesante-Ware von Chiusi relativ groß ist und aus dem archäologisch bekannten Material kein zwingendes Argument gefunden werden konnte, die aus mehreren Fragmenten zusammengesetzte Grazer Halsamphore – mit Abzug der Frauenkopfapplikationen – aus dem antiken Formenspektrum auszuschließen. Aufgrund der sichtbaren historischen Restaurierungen, galt es bei diesem Exemplar zu überprüfen, wie tiefgehend diese in das Gefäß eingriffen und inwieweit sich dadurch eine Neuschöpfung bildete.

4.2 Dokumentation der historischen Restaurierung

Optische Untersuchungen

Es lässt sich auf den ersten Blick erkennen, dass mit dem Gefäß „etwas nicht stimmt“. Die für Drehscheibenkeramik typische Rotationssymmetrie wird durch kleinere und größere Unregelmäßigkeiten empfindlich gestört.

Eine eingehende optische Untersuchung der Oberfläche, des Bodens und des Gefäßinneren bestätigt diesen ersten Eindruck. Das Gefäß ist aus rund 50 Keramikfragmenten zusammengesetzt, deren unterschiedliche Oberflächenstruktur vermuten lässt, dass sie nicht nur von einem Gefäß stammen. Die Klebungen und Kittungen wurden sehr unregelmäßig ausgeführt. Es ist aufgrund der zum Teil flächigen Überkittung der Oberfläche, die speziell im Halsbereich inklusive der Keramikscherben überschliffen wurde, nicht klar ersichtlich, ob und welche Fragmente zusammengehören (Abb. 19).

Auch der Mündungsrand weist Schleifspuren auf. Reliefköpfchen wurden jeweils am oberen und unteren Henkelansatz attaschenförmig angebracht, wobei die verwendete Kittmasse bestehend aus Gips, Kohlenstoffschwarz und pflanzlichen Ölen[90] nur grob verstrichen wurde (Abb. 20).

Das Gefäß ist zur Vereinheitlichung der optischen Erscheinung flächig mit einer dünnen Lackschicht überzogen. Der Boden und das Gefäßinnere wurden ausgespart.

Der Blick in das Innere des Gefäßes zeigt ein recht häufiges Phänomen: Es wurde bei der Restaurierung enghalsiger Gefäße wenig Wert auf das Erscheinungsbild der inneren Oberfläche gelegt. So haften hier große Klumpen der bräunlich-schwarzen Kittmasse am Boden und an der Wandungsinnenseite. Glänzender Klebstoff[91] quillt aus den Klebefugen und bildet Blasen. Der zum Überzug der Außenseite verwendete Lack läuft an einer Stelle in breiter Bahn in den innen ansonsten keinen Überzug aufweisenden Gefäßhals (Abb. 21).

---

88 K. Knoll, Zwei Pasticci der Dresdner Vasensammlung – eine attische Schale mit Maske und ein Votivkopf als Vase, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 63–67, bes. 67.

89 T. B. Rasmussen, Bucchero Pottery from Southern Etruria, Cambridge Classical Studies ²(Cambridge 2006) 74 f. Typ 1g bzw. Tamburini a. O. (Anm. 80) 190 Form I Typ 1. Halsamphoren mit breiten Reliefhenkeln: aus Chiusi CVA Compiègne 1 Taf. 21, 2 (Cat. 921); aus Arezzo CVA Tübingen 6 Taf. 11, 6. 12, 1–3 Beil. 3, 1 (S./692). Halsamphoren mit Henkelattaschen: aus Orvieto M. Eichberg, Hydria und Amphoren, in: Prayon a. O. (Anm. 80) 64–67 Abb. 89–91; Perkins, Bucchero, 15 Nr. 14 Abb. (1814.7-4.461).

90 Die Ergänzungs- bzw. Kittmasse wurde am Naturwissenschaftlichen Labor des KHM (Martina Grießer) mittels Polarisationsmikroskopie und Elektronenmikroskopie hinsichtlich der anorganischen Bestandteile sowie mittels Gaschromatografie-Massenspektrometrie hinsichtlich organischer Bestandteile untersucht. Nach dem Untersuchungsbericht vom 10. März 2011 konnten neben den Hauptbestandteilen (Gips und Kohlenstoffschwarz) Zusätze von Kalzit und vereinzelt auch Ocker nachgewiesen werden; bei den organischen Stoffen pflanzliches Öl mit Spuren von Kiefernharz, aber auch Phthalate, d. h. synthetische Komponenten, die mit aller Wahrscheinlichkeit als „Raumluftschadstoff“ aus den aus Pressspanplatten gefertigten Aufbewahrungsschränken der ehemaligen Sammlung in die Kittmasse eindrangen.

91 Die Gaschromatografie-Massenspektrometrie-Analyse der transparenten Klebemasse ergab ein Pflanzenöl (eventuell Leinöl), Phthalate und eine Reihe unbekannter Komponenten, die nicht in die Klasse der Naturöle, -harze oder -wachse fallen (Untersuchungsbericht vom 10. März 2011, Martina Grießer, KHM). Es könnte sich um eine sehr frühe Verwendung synthetischer Komponenten vom Ende des 19. Jahrhunderts handeln.

Abb. 19: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) Detailansicht des Halsbereichs; (b) Detailansicht der Gefäßschulter; (c) Detailansicht des unteren Gefäßbereichs (Foto R. Fürhacker)

Am Boden haften die Reste einer sinterartigen, vermutlich aus verdichteten Erdpartikeln bestehenden ockerfarbenen Kruste, die sich während der Deponierung der Keramik im Boden angelagert hat. Diese liegt teilweise über einem mittig eingeritzten „X“ (Abb. 22).

Dünne Lagen dieser Kruste sind auch an einigen Stellen im unteren Wandungsbereich des Gefäßes erkennbar, doch großteils wurden sie bei der restauratorischen Bearbeitung entfernt. Deren Reste lassen jedoch eine interessante Beobachtung zu: Einige der in der Frieszone sichtbaren eingetieften Linien wurden durch die aufgelagerte, gelbliche Schicht in die bereits gebrannte Keramik eingeritzt. Bei anderen Linien, die vor dem Brand angefertigt wurden, befindet sich die gelbliche Auflage in deren Vertiefung. Dies lässt sich besonders gut im Vergleich zweier Voluten erkennen (Abb. 23).

Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass Teile der Verzierung mit großer Wahrscheinlichkeit erst im Rahmen der Restaurierungsmaßnahmen angefertigt wurden.

Inwieweit dies auch auf die bärtigen Profilköpfe zutrifft, lässt sich aufgrund der optischen Untersuchung nicht mit Sicherheit feststellen. Auffällig ist der stilistische Unterschied zwischen den beiden vollständigen Köpfen (Abb. 24), wobei der vom Betrachter aus gesehen, nach rechts gewendete Kopf B im Halsbereich vier senkrechte Linien aufweist, die – nach deren optischen Erscheinungsbild zu schließen – erst in den gebrannten Ton geritzt wurden (Abb. 25). Erschwert wird die Untersuchung dieses Kopfes durch den Umstand, dass die Halslinien und jene Linien, die Auge und Haaransatz markieren, teilweise mit der Ergänzungs- bzw. Kittmasse verstrichen wurden. Dies trifft auf den nach links gewendeten Kopf A in etwas geringerem Maße zu. Vom dritten Kopf C sind nur geringe Ansätze (Hals und Bart) erkennbar.

Abb. 20: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; überschliffene Gefäßmündung mit den am Übergang zu den Henkeln angesetzten Köpfchen (Foto R. Fürhacker)

Die an den Henkelenden angeklebten bzw. mit der Kittmasse angesetzten Köpfchen weisen Bruchkanten im Halsbereich auf und stammen mit hoher Wahrscheinlichkeit von anderen Keramikobjekten. Die Bruchkanten passen sich der Gesichtsform an und dies legt nahe, dass sie vor dem Anfügen in die gewünschte Form gebracht wurden (Abb. 26). Die sich stark unterscheidenden Gesichtszüge wirken durch eine dünne sinterartige, vermutlich während der Bodenlagerung entstandene Kruste etwas verschwommen.

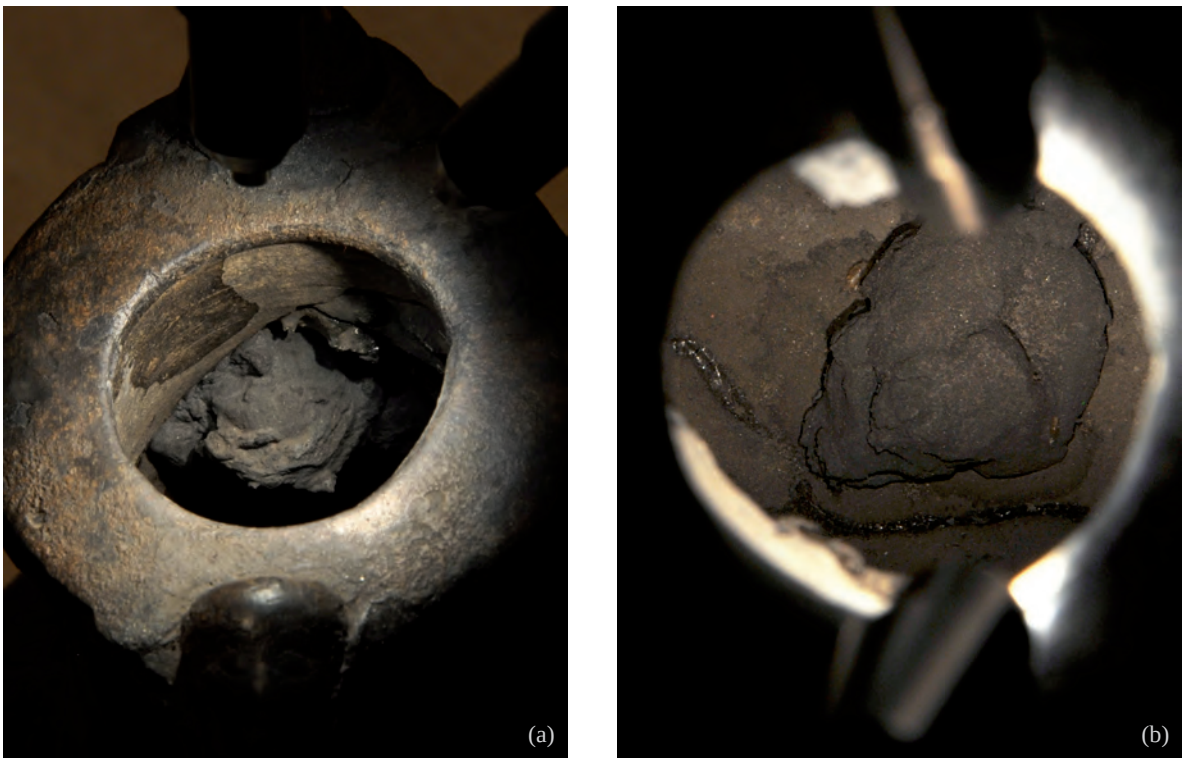


Abb. 21: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) Inneres des Gefäßhalses mit nicht versäuberter Kittungsmasse und nach innen geronnener Lackspur; (b) Innen am Gefäßboden liegender Kittungsmasseklumpen und glänzende Klebefugen (Foto R. Fürhacker)

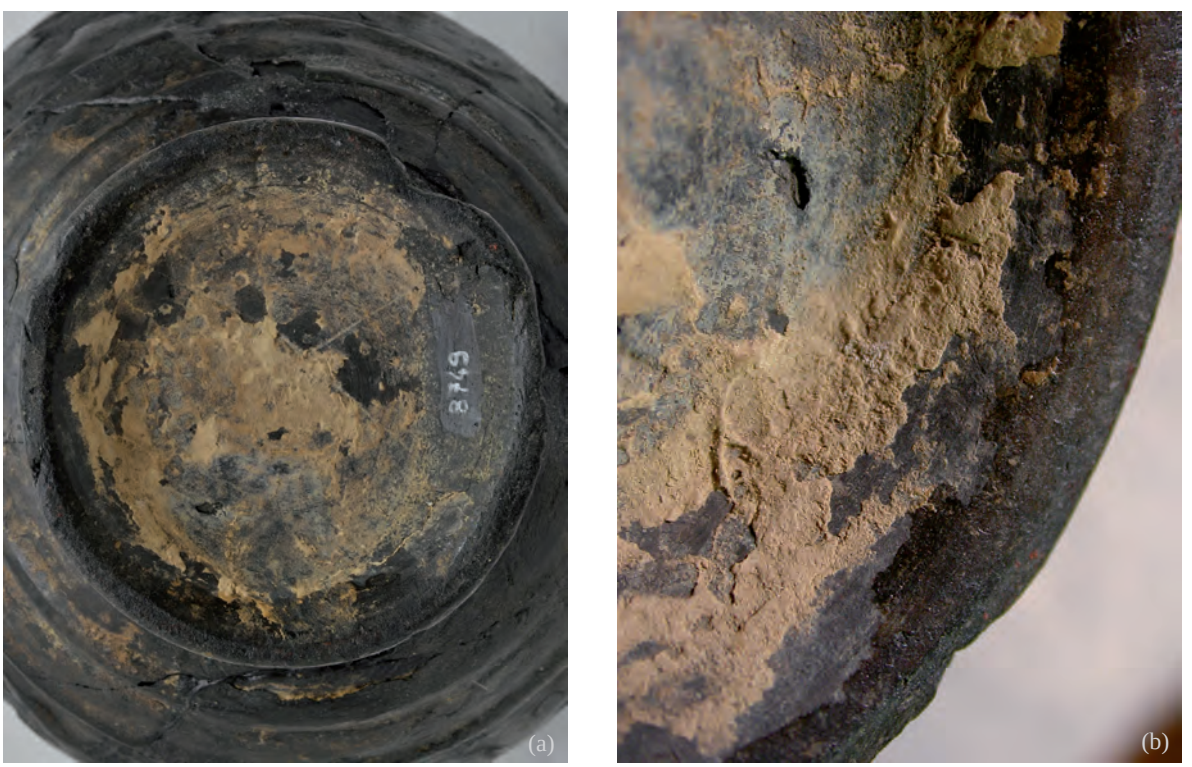


Abb. 22: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) Boden mit sinterartiger Auflagerung und einem darunter liegenden eingeritzten „X“; (b) Ausschnitt des Bodens, Grenzkante der dunklen Lackschicht im Randbereich (Foto R. Fürhacker)

Abb. 23: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) in die gebrannte Keramik eingeritzte Volute, die zum Teil die Auflagerung durchbricht; (b) in das ungebrannte Gefäß eingetiefte Volute, in deren Vertiefung die Auflagerung liegt (Foto R. Fürhacker)

Abb. 24: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; Profilköpfe aus der Frieszone: (a) Kopf A, (b) Kopf B (Foto R. Fürhacker)

Abb. 25: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; Frieszone: Nach rechts gewendeter Kopf B mit in den gebrannten Scherben eingeritzten Halslinien im Detail (Foto R. Fürhacker)

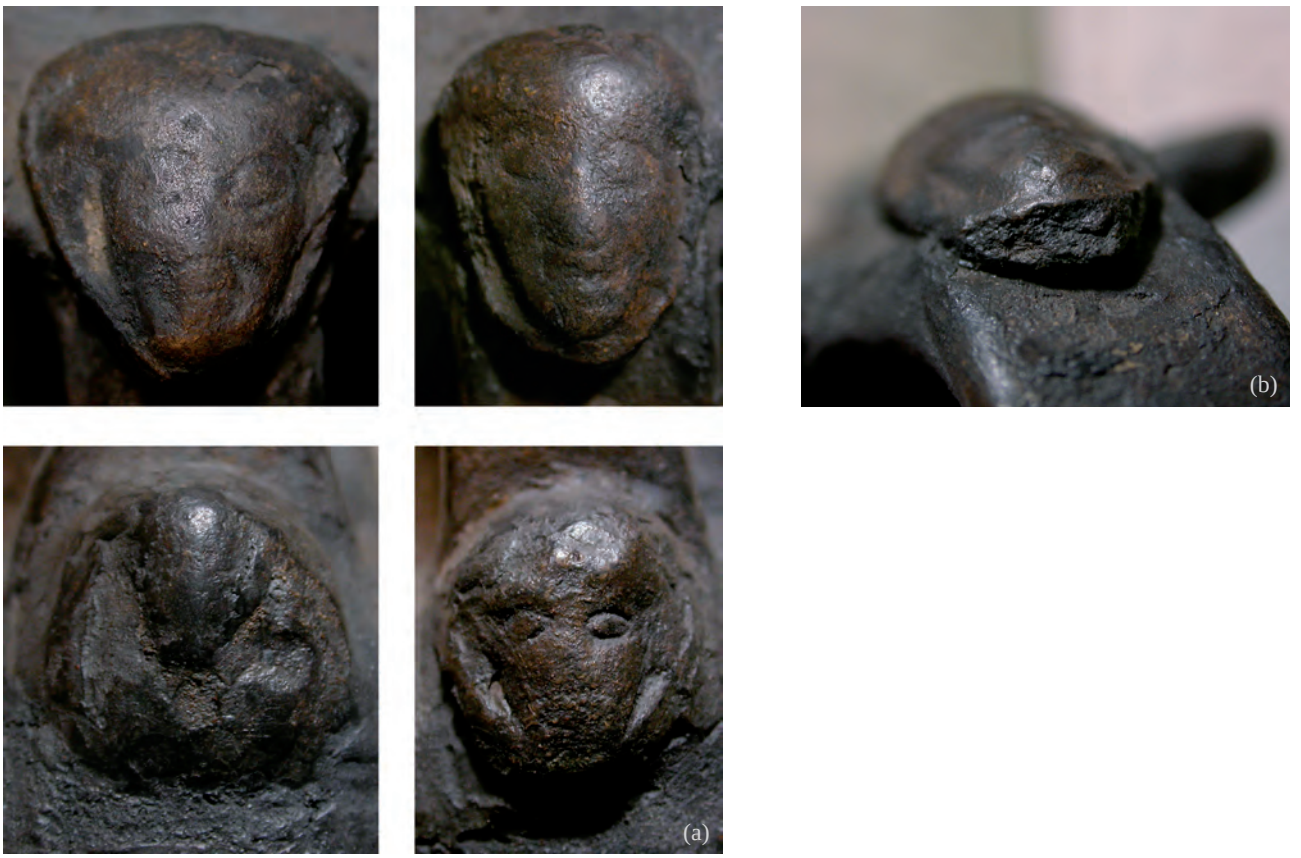


Abb. 26: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) an den Henkelansätzen angeklebte bzw. angekittete Köpfchen; (b) Bruchkante im Halsbereich eines Köpfchens (Foto R. Fürhacker)

Abb. 27: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; senkrechte axiale CT-Schnitte durch das Gefäß, frontal und von rechts (Visualisierung S. Karl)

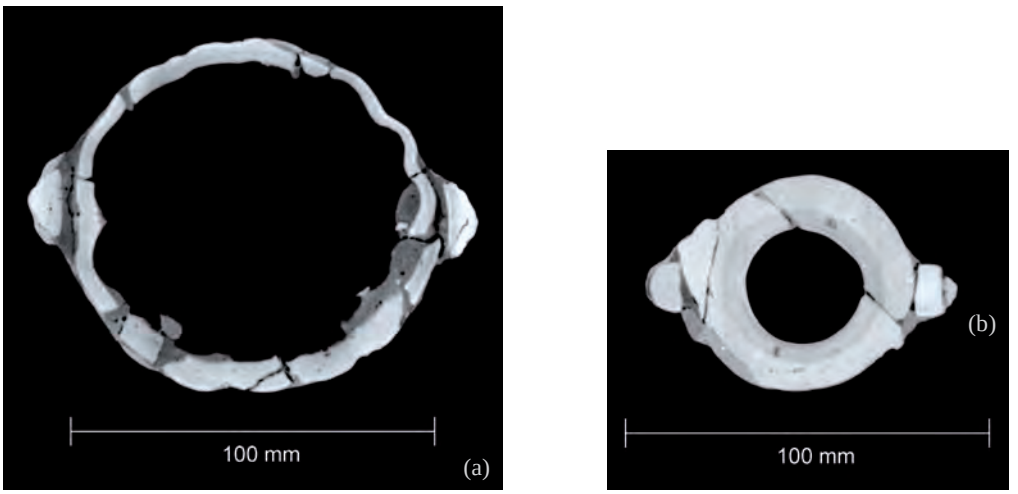


Abb. 28: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) waagrechter CT-Schnitt durch das Gefäß, von oben, auf Höhe der unteren Henkelansätze; (b) waagrechter CT-Schnitt durch die Mündung des Gefäßes, von oben (Visualisierung S. Karl)

Computertomografische Untersuchung

Die Untersuchung mittels industrieller CT und die Visualisierung der Daten bestätigen die Vermutung, dass wir es mit einem Pasticcio zu tun haben (Abb. 27–28).

Die CT-Schnitte geben Aufschluss über die Vorgangsweise des Restaurators. Es wurden aus einem vermutlich größeren Fundus Teile ausgewählt, die sich für die Erzeugung der gewünschten Gefäßform eignen. Auf die Wandstärken der einzelnen Fragmente wurde wenig Rücksicht genommen. Unregelmäßigkeiten wurden mit der Ergänzungsmasse ausgeglichen.

Da im CT-Schnitt unterschiedliche Dichtewerte durch unterschiedliche Helligkeitsgrade dargestellt werden, ist erkennbar, dass die einzelnen Scherben eine unterschiedliche Dichte, Magerung und Porigkeit aufweisen und somit von unterschiedlichen Gefäßen stammen.

Besonders interessant ist der Umstand, dass die Ergänzungsmasse eine signifikant geringere Dichte als die Keramik aufweist, was bei der Verwendung von Gips oder einer mörtelähnlichen Masse nicht der Fall wäre.

Visualisierungsprogramme ermöglichen es, aus den mittels Computertomografie gewonnenen Daten ein virtuelles 3D-Modell herzustellen. Ein durch dieses Modell gelegter senkrechter Schnitt, der das Gefäß virtuell aufschneidet, zeigt an der Innenwandung eine vollkommen unversäuberte Oberfläche (Abb. 29). Das heißt, die Ergänzungs- bzw. Kittmasse wurde nicht an die Ebene der Innenwandung angeglichen und größere Stücke der Ergänzungsmasse kleben innen an Boden und Wandung bzw. quellen zwischen einigen Keramikfragmenten hervor.

Der Umstand der geringen Dichte der Ergänzungsmasse ermöglicht es, diese mit dem Computer „wegzurechnen“ bzw. die Scherben freizustellen, sodass sie im Raum zu schweben scheinen (Abb. 30). So kann die Zusammengehörigkeit der einzelnen Fragmente abgeklärt werden.

Es lässt sich erkennen, dass eine Reihe von Scherben aus der unteren Gefäßhälfte mit dem Bodenstück Passungen aufweisen. Diese Passungen sind relativ genau geklebt (Abb. 31). Das Gefäßfragment diente als Ausgangsbasis für die Herstellung des Pasticcios und zeigt Teile einer Frieszone, wobei Ansätze von zwei Köpfen erhalten sind. Einer der beiden, von dem Hinterkopf und Bart erhalten sind (Kopf B), wurde mit einer Scherbe ergänzt, in die der Rest des Kopfes inklusive oberer Gesichtshälfte eingeschnitten wurde (Abb. 32). Für den Gefäßaufbau wurden bis auf das größere Mündungsfragment eher kleine Scherben mit unterschiedlicher Wandstärke, Oberflächenstruktur und Dichte verwendet.

Einige Fragmente haben eine mehr oder weniger rechteckige Form, was darauf schließen lässt, dass sie für die Einpassung zurechtgeschnitten bzw. -gebrochen wurden. Besonders trifft dies auf das Fragment mit dem nach links gewendeten Kopf A zu (Abb. 33).

Abb. 29: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; virtuell senkrecht aufgeschnittenes Gefäß (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Abb. 30: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; virtuell aufgeschnittenes Gefäß mit freigestellten Scherben (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Abb. 31: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; (a) Außenwandung des Gefäßes mit virtuell freigestellten Fragmenten (Visualisierung ÖGI, D. Habe); (b) Kennzeichnung der zusammengehörigen Scherben des Gefäßunterteiles (Foto und Nachbearbeitung R. Fürhacker)

Abb. 32: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; Außenwandung des Gefäßes mit virtuell freigestellten Scherben: nicht anpassendes Fragment mit nachgeschnittenem Gesicht, den bärtigen Kopf B ergänzend (Visualisierung S. Karl)

Abb. 33: Etruskisches Gefäß der Bucchero-pesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; Außenwandung des Gefäßes mit freigestellten Fragmenten (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

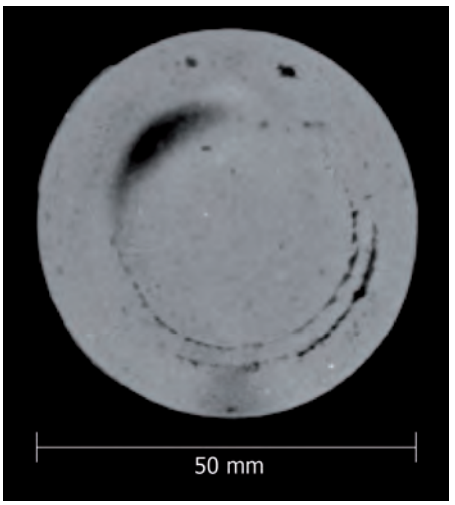


Abb. 34: Etruskisches Gefäß der Buccheropesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; waagrechter CT-Schnitt im Übergang vom Standring zum Gefäßkörper mit herstellungstechnisch bedingten konzentrischen Rillen (Visualisierung S. Karl)

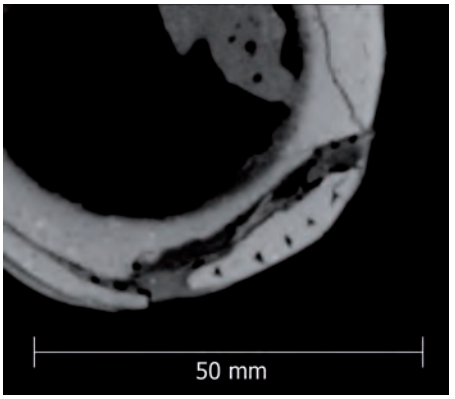


Abb. 35: Etruskisches Gefäß der Buccheropesante-Ware, UMJ Inv.-Nr. 8749; waagrechter CT-Schnitt durch eine nicht zum Gefäßunterteil gehörige Einzelscherbe mit einer Reihe kleiner, regelmäßiger dreieckiger Hohlräume (Visualisierung S. Karl)

Die Computertomografie ermöglicht auch herstellungstechnische Beobachtungen im Inneren von Gefäßen bzw. in der Keramikstruktur. Das Bucchero-Gefäß zeigt beispielsweise konzentrische Rillen im Standringansatz (Abb. 34), die für das Anfügen des Standrings am getöpferten Gefäßkörper für eine bessere Haftung angebracht wurden.

Durch die CT können auch neue interessante Fragen aufgeworfen werden. Dies trifft hier beispielsweise auf die Beobachtung einer regelmäßigen Reihe von kleinen, ca. 2 mm großen dreieckigen Hohlräumen zu. Diese lassen sich in einem horizontalen CT-Schnitt knapp über dem Standring in einer eingebauten, nicht zum Gefäßunterteil gehörigen Einzelscherbe beobachten (Abb. 35). Eine Erklärung dafür konnte bisher nicht gefunden werden.

Rekonstruktion der Restaurierungsschritte

Ausgangspunkt war ein größerer, aus mehreren zusammengehörigen Scherben zusammengesetzter Gefäßteil. Dieser besteht aus einem Bodenfragment und Bereichen der aufgehenden Wandung. Segmente einer Frieszone zeigen u. a. Teile zweier bärtiger Männerköpfe (B und C).

Auf der Außenseite aufliegende, ockerfarbene, sinterartige Erdkrusten wurden bis auf jene im Bodenbereich weitgehend abgenommen.

Das Restaurierungskonzept sah vor, diesen Gefäßteil zu einem Ganzgefäß einer bestimmten zweihenkeligen Form mit umlaufendem Fries und Schulterrippen zu ergänzen. Für den Aufbau wurden reduziert gebrannte Einzelscherben anderer Gefäße ausgewählt.

Die verwendeten Scherben wurden nach ihrer Form ausgewählt und teilweise durch Schneiden und Brechen in eine zweckmäßige Form gebracht. Beispielweise wurden die Fragmente für den unteren Bereich des Gefäßhalses waagrecht beschnitten. Andere Fragmente weisen eine auffällig rechteckige Form auf, was gegen „natürlich“ gebrochene Scherben spricht. Speziell trifft dies auf das Fragment mit dem Kopf A zu, der auffällig zentral in der Bildmitte liegt. Die vier Köpfchen an den Henkelansätzen wurden ebenso in die gewünschte Form gebracht.

Die einzelnen Fragmente wurden miteinander verklebt, wobei beispielsweise zum Teil vermutlich antike Schulterfragmente mit Rippen für den Aufbau der Gefäßschulter verwendet wurden. Henkelfragmente bilden die Henkel, etc.

Die Außenseite einiger Scherben wurde vor oder nach deren Einbau in das Gefäß überarbeitet. In einige Fragmente der Schulterzone wurde ein Rippendekor geschnitten. Die Scherbe, die den Männerkopf B vervollständigt, erhielt ein eingeritztes Auge und das Seitenprofil mit Stirn und Nase sowie der Haaransatz wurden ergänzt. Weiters wurden die beiden zwischen Schulter und Fries liegenden waagrechten Wulstringe in die Gefäßwandung geschnitten bzw. geschliffen.

Fehlstellen wurden mit einer Ergänzungs- bzw. Kittmasse geschlossen. Diese wurde zum Teil auch über den Scherben verstrichen, um bis zu einem gewissen Grad Unregelmäßigkeiten auszugleichen.

Das Gefäß wurde mit einem dünnflüssigen Lack überzogen. Dies führte zu einer dunkleren Färbung und zu einer optischen Nivellierung der unterschiedlichen Farbnuancen von Scherben und Ergänzungsmasse.

Spätere Veränderungen

Im Rahmen der Inventarisierung des Fundes am damaligen Landesmuseum wurde am Boden ein ca. 5 mm breiter und 15 mm langer Streifen einer grauen Farbe aufgebracht. Dafür dürfte ein Teil der sinterartigen Auflage entfernt worden sein. Auf diesen unbeschrifteten Streifen wurden im Zuge der Registrierungstätigkeit im Jahre 2005/06 mit weißer Tusche die Ziffern der Inventarnummer „8749“ geschrieben.

Fragen und Antworten

Wer hat restauriert? Aufgrund fehlender Vergleiche und mangelnder historischer Forschung ist es nicht möglich, diese Restaurierung einer bestimmten Person oder einer bekannten Werkstatt zuzuordnen. Die Ausführung weist auf das Vorhandensein einschlägiger Erfahrungen hin und es ist aufgrund der zwar versierten, aber etwas unsorgfältigen Ausführung von einem handwerklichen Hintergrund auszugehen.

Wo wurde restauriert? Die Vorgangsweise, aus Teilen verschiedener Keramiken ein vollständig erscheinendes Gefäß herzustellen, ist aus dem Mittelmeerraum, speziell aus Italien bekannt[92]. Eine geographische Eingrenzung des Gebiets ist ohne Einbeziehung archivalischer Quellen aufgrund fehlender Vergleichsuntersuchungen zurzeit nicht möglich. Der überlieferte „Fundort“ Chiusi könnte der Ort des Erwerbs und auch der Werkstatt sein.

Wann wurde restauriert? Da sich das Gefäß seit 1898 im vorliegenden Zustand in der Sammlung des Joanneums befindet, muss die Restaurierung vor diesem Zeitpunkt vorgenommen worden sein. Die Analyse der verwendeten Materialien konnte vorerst keine weiteren Hinweise für eine genaue zeitliche Einordnung liefern.

Warum wurde restauriert? Es handelt sich hier nicht um ein restauriertes Gefäß, sondern um eine Neuschöpfung aus Fragmenten unterschiedlicher antiker Gefäße – vermutlich für den Antikenhandel. Ob ein antikes Gefäß vorgetäuscht werden sollte oder den potentiellen Interessenten bekannt war, dass es sich zwar um ein Gefäß aus antiken Teilen handelt, diese aber ursprünglich keine Einheit gebildet haben, lässt sich schwer feststellen. Vielleicht handelt es sich um eine bewusst angebotene, preislich günstige Alternative zu den hochpreisigen griechischen Vasen, die als Souvenir von einer Italienreise in den Norden mitgenommen werden konnte?

Für wen wurde restauriert? Falls es sich um ein Produkt für den Antikenhandel handelt, ist anzunehmen, dass dieses Pasticcio nicht für einen archäologisch gebildeten, sondern eher für einen weniger anspruchsvollen Kundenkreis angefertigt wurde.

Womit wurde restauriert? Laut naturwissenschaftlicher Untersuchung wurde eine organisch gebundene und mit mineralischen Pigmenten (Kohlenstoffschwarz und Ocker) eingefärbte Gipsmasse für die Ergänzungen bzw. Kittungen verwendet. Der Klebstoff konnte bis auf das Vorhandensein von pflanzlichen Ölen und möglicherweise synthetischer Komponenten nicht näher spezifiziert werden.

4.3 Diskussion

Archäologische Aspekte

Dass das etruskische Gefäß der Bucchero-pesante-Ware kein Fundobjekt im eigentlichen Sinne darstellt, wie es im Erwerbungsprotokoll als in Chiusi gefunden bezeichnet wird, belegen die ersten archäologischen Beobachtungen und hinlänglich die Dokumentation der historischen Restaurierungen mittels industrieller Röntgen-Computertomografie. Beim Grazer Objekt handelt es sich nicht um eine Halsamphore, sondern im Unterteil um eine Oinochoe, die im Zuge der Restaurierung mit Einzelfragmenten anderer Gefäße zu diesem Kunstprodukt neu geschaffen wurde. Dieses untere Ausgangsstück stellt eine Oinochoe vom Typ A bzw. B nach der Einteilung von Gabriella Batignani dar[93]. Repräsentativ für beide Typen sind die mit umlaufenden

[92] Zum Beispiel: Knoll a. O. (Anm. 88).

[93] Batignani a. O. (Anm. 80). Typ A: wahrscheinlich aus Orvieto CVA Louvre 23 Taf. 42, 6–7 (C 630); aus Orvieto CVA Erlangen 1 Taf. 43, 7–8; 44, 1–3 Beil. 5, 6 (K 12); aus Orvieto Camporeale, collezione, 77–87 Nr. 52–56 Taf. 17–18. Typ B: aus Chiusi Perkins, Bucchero, 65 Nr. 256 (1867.5-8.845).

Wulstringen gerahmte Reliefzone am Bauch und die plastischen Rippen auf der Schulter, während eine genauere Zuweisung aufgrund der fehlenden ursprünglichen Mündungszone nicht mehr möglich ist. Das am Grazer Exemplar angefügte und z. T. an der Lippenaußenseite beschnittene Randfragment, das noch den Ansatz eines Vertikalhenkels zeigt, ist mit einem dafür eigens zugerichteten Einzelscherben zu einer runden Mündung verbunden. Dieses zu Zweidrittel im Durchmesser erhaltene Randstück mit Teil der Halswandung (erh. Höhe 4,9 cm; max. Dm 6 cm) besitzt ein sehr ähnliches Profil wie die schlanken Olpen mit hoch gezogenem Henkel, wie sie ebenfalls aus dem Territorium von Chiusi bekannt sind[94]. Es ist davon auszugehen, dass das Endprodukt noch aus weiteren Einzelteilen anderer Gefäße, vor allem im Mittelteil, zusammengesetzt wurde, doch wäre auch nach einer zeitintensiven restauratorischen Freilegung eine weitere Identifizierung dieser in der virtuellen Rekonstruktion bereits als wenig signifikant erkennbaren Scherben archäologisch kaum sinnvoll. Daher kommt dem Erhalt dieses Pasticcio als kulturhistorisches Zeugnis aus einer Zeit der frühen Wertschätzung etruskischer Bucchero-Keramik trotz seiner zugegebenermaßen handwerklich einfachen Restaurierung eine größere Bedeutung zu.

Restauratorische Aspekte

Allgemein ist die Frage zu stellen, ob es sich bei diesem Gefäß um eine Restaurierung handelt. Zwar wurden restauratorische Vorgangsweisen angewandt, doch das dahinter liegende Konzept entspricht nicht jenem üblicher keramischer Restaurierungsmaßnahmen. Hier wurde nicht die Lesbarmachung eines fragmentierten antiken Gefäßes durch Zusammensetzen, Kleben und Ergänzen, sondern die Herstellung eines bis dahin nicht existenten Gefäßes angestrebt. Dies ist kein restauratorischer, sondern ein kreativ-schaffender bzw. künstlerischer Vorgang einer Assemblage, für deren Ausführung restauratorische Methoden angewandt wurden. Doch es ist davon auszugehen, dass hier nicht vorrangig die Schaffung eines zeitgenössischen Kunstwerks verfolgt wurde, sondern die Nachahmung eines antiken Gefäßes mit antiken Teilen im Vordergrund stand.

Für die Ergänzung und Kittung des Gefäßes wurde eine auf organischen Bindemitteln basierende Ergänzungsmasse verwendet. Diese lässt sich aufgrund ihrer im Vergleich zu gebrannter Keramik geringeren Dichte bei der Visualisierung der CT-Daten einfach separieren, sodass nur noch die Keramikfragmente sichtbar sind. In der modernen Keramikrestaurierung werden fast ausschließlich Gips und gips- bzw. mörtelähnliche, d. h. mineralische Ergänzungsmaterialien verwendet. Deren Dichte unterscheidet sich nur wenig von der Dichte keramischer Materialien, was die virtuelle Freistellung der Originalfragmente bei CT-Untersuchungen erschwert. Eine gute Alternative wäre die Verwendung von Ergänzungsmassen auf Wachsbasis[95].

Besteht für die archäologische Untersuchung die Notwendigkeit einer genaueren Identifizierung der für die Herstellung des Pasticcios verwendeten Fragmente, besteht die Möglichkeit die genaue Form der Scherben virtuell zu erschließen und falls erforderlich mit „rapid prototyping“-Technologien dreidimensionale 1:1-Modelle herzustellen.

---

94 I. Pecchiai, Catalogo dei buccheri del museo civico di Fiesolo, StEtr 35, 1967, 487–514, bes. 508 Nr. 59 Taf. 86 e (822).

95 T. Brugnoni – R. Fischer, Fehlstellenergänzung auf Wachsbasis – “Archeo Stucco”, Arbeitsblätter für Restauratoren 2000/2, Gruppe 4, 107–110; C. Taras, Einige zusätzliche Bemerkungen zum Beitrag „Fehlstellenergänzung auf Wachsbasis – Archeo Stucco”, Arbeitsblätter für Restauratoren 2001/1, Gruppe 4, 111 f.

5 ETRUSKISCH ROTFIGURIGER KOLONETTENKRATER IM VOLTERRANER STIL

5.1 Archäologische Beschreibung und Bestimmung

Dieser Kolonettenkrater (UMJ Inv.-Nr. 4612) stammt zusammen mit einem zweiten (UMJ Inv.-Nr. 4613) aus dem Besitze des im Jahre 1889 verstorbenen Generalkonsuls in Venedig Alexander von Warsberg. Beide Kratere gehören auf den ersten Blick zu einer in Nordetrurien hergestellten Gattung der rotfigurigen Kolonetten- oder Stabhenkelkratere, die zumeist mit Darstellungen von Profilköpfen dekoriert sind und deren Werkstätten und Maler die Keramikforschung mit Volterra verbindet[96]. Bei den Grazer Stücken wird Orvieto, ein umbrischer Ort in Zentraletrurien, als Herkunft überliefert[97]. Während der vorgestellte Krater den für diese Gattung charakteristischen Profilkopf aufweist (Abb. 36), ist der zweite Krater ausschließlich floral bemalt und bisher stilistisch ohne Vergleich (Abb. 6).

Beschreibung

Maße: H 30 cm; B 29,9 cm; WSt 0,5–0,9 cm; RDm 23,8 cm; BDm 9 cm.

Das nahezu vollständig erhaltene Gefäß (Abb. 37) ist aus mehreren größeren Fragmenten zusammengesetzt. Kleine Absplitterungen und Ausbrüche am Rand und in der Wandung sind ergänzt. Der Fuß ist in jüngerer Zeit gebrochen und geklebt. An einigen Stellen der Oberfläche sind Abplatzungen festzustellen. Das gesamte Gefäß inklusive des antiken Dekors ist stark übermalt.

Die Gefäßform besteht aus einem annähernd halbkugeligen Gefäßbecken mit einem hohen konkaven Halsteil und einem nach außen gebogenen Rand sowie einem durch einen Absatz vom Becken getrennten, glockenförmigen profilierten Standring (max. Dm 11 cm). An den nach außen gezogenen Henkelplatten am Rand und am oberen Bereich des Gefäßbauches sind zwei vertikale geschwungene Doppelhenkel mit rundem Querschnitt (Dm je 1,7 cm) angesetzt, die unten bogenförmig nach außen schwingen und oben seitliche Zapfen besitzen.

Die Oberfläche ist außen geglättet. Auf der Innenseite des Beckens sind feine Drehrillen und flache Drehwülste erkennbar. Der untere Teil des Gefäßbeckens ist mit einem körnigen, gelblichen bis gelblichbraunen Überzug versehen.

Für die Bemalung wurde ein im Zuge des Brandes matt dunkelbraun verfärbter Tonschlicker verwendet, der unterschiedlich stark und z. T. streifig aufgetragen ist. Die Bemalung ist mit breiten Pinselstrichen ausgeführt.

Auf der nach innen geneigten Oberseite des Randes befindet sich ein Ornamentstreifen aus einer breiten Zickzacklinie mit schraffierten Zwickeln, der im Bereich der Henkelplatten durch je eine gerahmte Palmette unterbrochen wird. An der Kante der Lippe und unter dem Rand sind eine Reihe von schrägen Strichen und darunter ein waagrechter Strich aufgemalt. Die Halszone ist auf beiden Seiten der Henkel mit einem zweiteiligen Ornamentfeld ausgefüllt: im oberen größeren Teil ein Rautenmuster mit einzelnen Zwischenpunkten, darunter ein Fries bestehend aus drei Metopenfeldern mit Andreaskreuzen und Zwischenpunkten, die durch je zwei senkrechte Striche getrennt sind (Seite A). Auf der anderen Seite ist dieses Fries leicht verändert (Seite B): in den äußeren Metopenfeldern werden die üblichen Andreaskreuze von zwei gegenständigen Halbkreisbögen ersetzt, die mit einem waagrechten Strich verbunden sind und oben wie auch unten je einen Punkt besitzen. Der Bereich unterhalb der Halszone ist inklusive des Standringes bis auf die ausgesparten Bildfelder durchgehend bemalt. In diesen Bildfeldern befindet sich auf beiden Seiten je ein nach links gerichteter Kopf zwischen gerahmten Palmetten. Unter den Henkelansätzen werden die Bildfelder durch je eine abstrahiert gezeichnete Palmette begrenzt. Die Henkelaußenseiten sind bemalt. Innen ist nur der obere Bereich, die Halszone des Gefäßes, bemalt.

Scherben: FarbeOF: 10 YR 5/2–6/3 (gräulichbraun bis blassbraun); sehr hart.

Obwohl beide Kolonettenkratere im Prinzip den Volterraner Werkstätten zuzuweisen wären, weichen sie doch in einigen Punkten von den bekannten Gefäßen dieser Gattung ab. Die Oberfläche der Beckeninnenseite ist bis zum Hals mit einem gelblichen bis gelblichbraunen Überzug bedeckt; die sichtbare Keramikoberfläche ist ungewöhnlich dunkel und zeigt an der Außenseite einen gräulich- bis blassbraunen Farbton; die Ornamente vor allem des zweiten Kraters (Abb. 6) wirken befremdlich und sind ohne Bezug auf eine Symmetrie zum Gefäßkörper angelegt[98]. Zusätzlich wird eine archäologische Beschreibung und Bestimmung aufgrund der of-

---

96 Zur Gattung der etruskisch-rotfigurigen Kolonettenkratere mit Darstellungen von Profilköpfen s. T. Dohrn, Zur Geschichte des italisch-etruskischen Porträts, RM 52, 1937, 119–139; EVP, p. 123–132; Montagna Pasquinucci, Kelebai; M. Cristofani, La ceramica a figure rosse, in: M. Martelli (Hrsg.), La ceramica degli Etrusci (Novara 1987) 49 f.; M. Harari, An Etruscan Bowl Decorated with a Woman's Head in Floral Surround, in: A. Cambitoglou – E. G. D. Robinson (Hrsg.), Classical Art in the Nicholson Museum, Sydney (Mainz 1995) 204 f.

97 s. Kap. 2.1.

98 Zur Beschreibung der Keramikart und der inneren Bemalung, die nur in den seltensten Fällen auch den unteren Beckenteil umfasst, s. Montagna Pasquinucci, Kelebai, 1 f. 30. Innen komplett bemalt ist z. B. der Krater CVA Tübingen 6 Taf. 39, 1–4; Montagna Pasquinucci, Kelebai, 106 Nr. 112 Abb. 138–140 (S./10 2458).

Abb. 36: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Seite A; (b) Seite B (Foto R. Fürhacker)

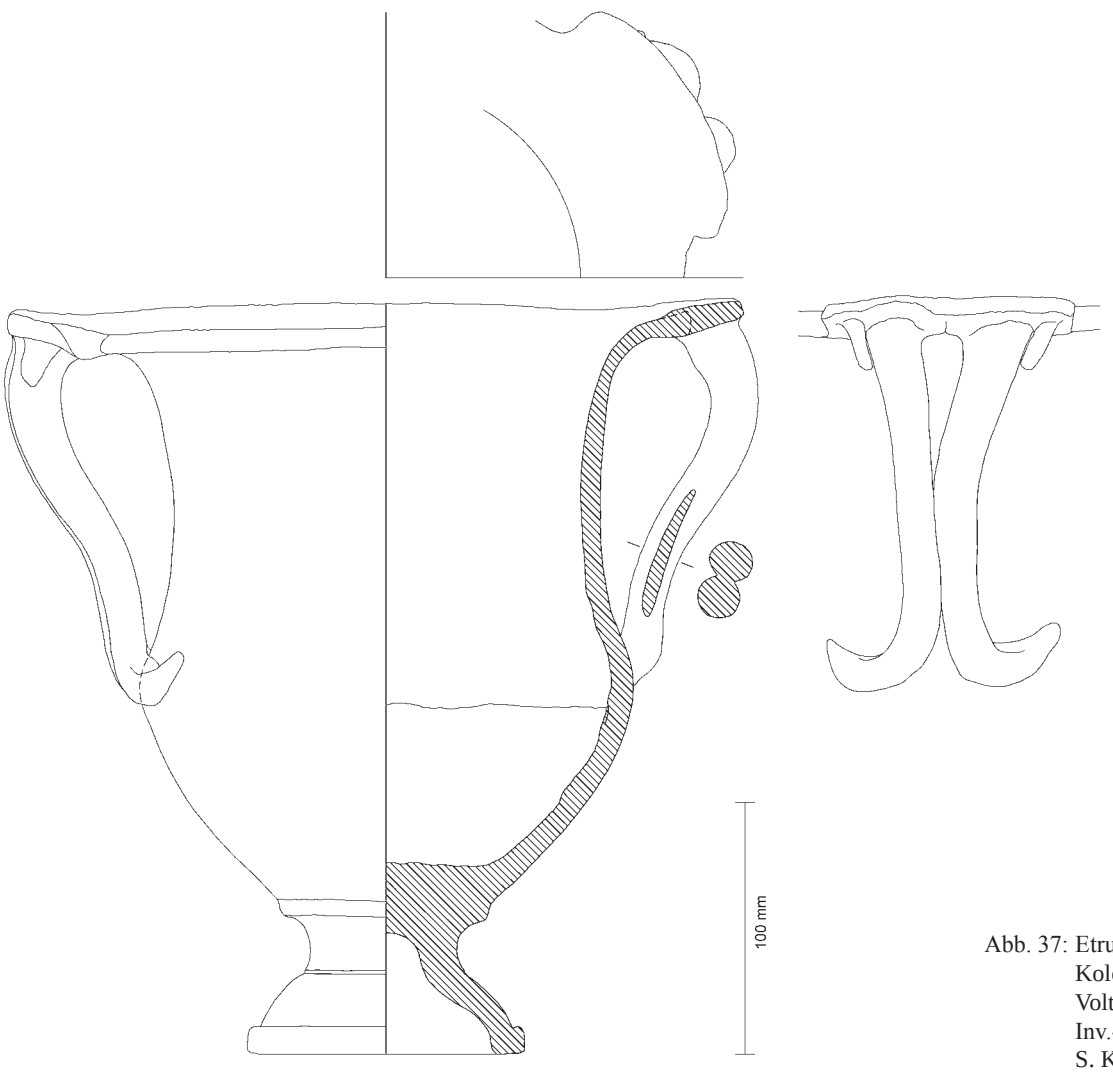


Abb. 37: Etruskisch-rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612 (Grafik S. Karl)

fensichtlichen kompletten Übermalung der Gefäße erschwert. Eine TL-Analyse, die auch am zweiten Grazer Krater dieser Gattung durchgeführt wurde, widerlegte den zunächst bestehenden Verdacht einer modernen Nachbildung[99].

Aufgrund der übereinstimmenden Merkmale ergibt sich, dass offenbar beide Kratere aus derselben Töpferwerkstatt stammen. Während weiterhin das zweite Stück UMJ Inv.-Nr. 4613 mit seinen eigentümlichen floralen Ornamenten in der Bildhauptzone des Gefäßes ohne Parallele ist, so ist mit dem hier vorgestellten Krater (UMJ Inv.-Nr. 4612) mit der Darstellung eines im üblichen Schema vom Betrachter aus nach links gewendeten männlichen Kopfes ein fragmentierter Krater im Museum Guarnacci von Volterra aus einem Grab der Nekropole Casone von Monteriggioni vergleichbar[100]. Vor allem die sekundären Verzierungselemente am Hals und am Rand stimmen mit dem Grazer Exemplar überein, auch wenn diese beim Krater in Volterra in ihrer Strichstärke feiner ausgeführt sind. Die zusätzlichen Metopenfelder mit den durch einen Strich verbundenen halbkreisförmigen Motiven finden sich u. a. ebenfalls an Krateren aus Monteriggioni, so z. B. an einem Krater aus der *tomba dei Calini Sepus*, der sich mit anderen Gefäßen aus diesem Grabkontext in der Antikensammlung der Staatlichen Museen von Berlin befindet[101]. Die *tomba dei Calini Sepus* gehört zu den wenigen bekannten Fundkontexten dieser Vasengattung Nordetruriens, bei dessen Entdeckung im Jahre 1893 u. a. eine Anzahl von nicht weniger als 33 Kratere dieses Typs zum Vorschein kam. Weitere bedeutende Grabkontexte stammen aus der Nekropole Portone bei Volterra (Grabung 1873–1874), aus der Nekropole Benacci bei Bologna (1874) und aus Pozzo della Chiana südlich von Arezzo (1962)[102]. Sie belegen, dass die Kratere als Behälter für den Leichenbrand der Verstorbenen dienten. Das Verbreitungsgebiet dieser Gattung beschränkt sich im Kern auf die Provinzen Pisa (mit Volterra), Siena und Arezzo in der Region Toskana[103]. Außerhalb dieses Gebiets liegen Funde aus Bologna und Monzuno in der Region Emilia-Romagna, Perugia und Civitella d'Arna in der Region Umbria sowie Populonia an der livornesischen Küste vor. Die bei den Grazer Krateren überlieferte Herkunft aus Orvieto kann daher bestenfalls den Erwerbungsort bezeichnen. Die Volterraner Kratere werden allgemein in das späte 4. bis zur Mitte des 3. Jahrhunderts v. Chr. datiert.

Beim Grazer Krater UMJ Inv.-Nr. 4612 bleiben jedoch Fragen offen. Ungewöhnlich ist die Darstellung des gerade noch am Schulteransatz sichtbaren Kleidungsstückes, das in dieser mit Punktborten verzierten Form bei den bekannten Gefäßen nicht auftritt, und auch insofern nicht richtig erscheint, da diese Gewandborten nicht von der linken Schulter über die Brust führen. Zusätzlich fehlen seitlich neben dem Kopf die kleinen Voluten, die bei dieser Gattung standardmäßig von den das Bildfeld rahmenden, großen Palmetten als organische Fortsätze in die Bildzone hineinreichen[104]. Zusätzlich ist die Physiognomie der Köpfe gegenüber den Darstellungen auf den anderen Krateren verändert: Sie haben das düstere Erscheinungsbild, den betrübten Gesichtausdruck, verloren und wirken mit ihren übertrieben groß gezeichneten Augen karikaturhaft. Ob diese Eigentümlichkeiten ausschließlich auf die historischen Übermalungen des Gefäßes zurückzuführen sind, oder ob damit eine weitere Werkstatt dieser Gefäßgattung in Nordetrurien fassbar wird, war Ausgangspunkt dieser Studie[105].

---

99 Die TL-Analysen wurden durch Rudolf Erlach, Universität für angewandte Kunst Wien, durchgeführt, wobei jeweils eine Probe am Boden und am Rand am 12. Jan. 2009 entnommen wurde. Lt. Mitteilung vom 24. Feb. 2011 ergaben die Messungen folgendes TL-Alter für den Krater UMJ Inv.-Nr. 4612 (P 977): 2475 ± 680 a. Die TL-Analysen fanden vor den CT-Untersuchungen statt.

100 Montagna Pasquinucci, Kelebai, 25 f. 53 Nr. 26 Abb. 44 f.

101 Montagna Pasquinucci, Kelebai, 71 Nr. 53 Abb. 79 f.

102 Volterra: E. Fiumi, Contributo alla datazione del materiale Volterrano. Gli scavi della necropoli del Portone degli anni 1873–74, StEtr 25, 1957, 367–415. – Bologna: E. Brizio, Tombe e necropoli Galliche della provincia di Bologna, AttiMemBologna, Ser. 3, Bd. 5, 1886/1887, 461–481. – Pozzo della Chiana: P. Bocci, Crateri Volterrani inediti del Museo di Arezzo, StEtr 32, 1964, 89–103, bes. 89–94 Taf. 20 f.

103 Verbreitung nach Montagna Pasquinucci, Kelebai, und Neufunde aus der römischen Villa von Aiano-Torraccia bei Campiglia: M. Cavalieri – G. Baldini – M. D'Onofrio – A. Giumlia-Mair – N. Montevecchi – M. Pianigiani – S. Ragazzini, San Gimignano (SI). La villa di Torraccia di Chiusi, località Aiano. Dati ed interpretazioni dalla V campagna di scavo, 2009, FastiOnlineDocuments&Research <www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2010-206.pdf>, 10 Abb. 8; M. Cavalieri, La villa romana di Aiano-Torraccia di Chiusi, III campagna di scavi 2007. Il progetto internazionale „VII Regio. Il caso della Val d'Elsa in età romana e trado antica", FastiOnlineDocuments&Research <www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2008-110.pdf>, 7 Abb. 11.

104 Sogar so einfach bemalte Kratere wie Montagna Pasquinucci, Kelebai, 33 Nr. 1 Abb. 1 f., besitzen noch zumindest rudimentäre Volutenfortsätze.

105 Zur Problematik von antiken und modernen Verzeichnungen s. Schidlofski, Antike, 264–266.

5.2 Dokumentation der historischen Restaurierung

Optische Untersuchungen

Der erste Eindruck lässt aufgrund der kräftigen, teilweise künstlich plakativ wirkenden Farbgebung an eine Nachbildung des 19. Jahrhunderts bzw. ein vollkommen überfasstes antikes Gefäß denken. Bei etwas genauerer Betrachtung können Klebefugen, ergänzte bzw. überkittete und übermalte Bereiche festgestellt werden (Abb. 38–39).

Die Untersuchung von Innenwandung und Boden restaurierter Gefäße lässt häufig Details erkennen, die an den „Schauflächen" der Außenwandung aufgrund einer, unter Umständen flächigen Übermalung oder Lackierung nicht oder nur schwer ablesbar sind. Aufgrund der offenen Form des Kraters, wurde in diesem Fall auch die Innenwandung des Gefäßes im Rahmen der historischen Restaurierungsmaßnahmen beinahe vollständig übermalt. Vorher wurde der Bodenbereich mit einer, eine körnige Oberflächenstruktur zeigenden Masse ausgestrichen. Die untere Zone der Innenwandung ist mit einer gelblichen Farbe, die obere Zone bräunlich übermalt (Abb. 40 a). Es lässt sich jedoch in einem kleinen Bereich die originale Farbgebung erkennen. Hier ist dem antiken Gefäßmaler ein Tropfen brauner Engobe von der Halszone in die untere, antik lasierend gelbbraun bemalte Zone geronnen (Abb. 40 b).

Im oberen Teil der Innenwandung sind auf ergänzten Bereichen, aber auch auf den Originalfragmenten grobe, weitgehend parallele, ca. 1 mm breite Kerben unterschiedlicher Längen erkennbar (Abb. 41). Dabei handelt es sich um die Spuren eines raspelähnlichen Werkzeuges, das bei der Restaurierung für die Entfernung von überschüssiger Ergänzungsmasse verwendet wurde. Dabei wurde in manchen Bereichen auch die originale Keramikoberfläche beschädigt.

Diese Spuren können auch an der Außenwandung festgestellt werden. An einer Stelle lässt sich erkennen, dass bei der Ergänzung des Gefäßes das Fragment eines anderen Gefäßes in die Ergänzungsmasse eingebettet wurde. Auch dieses zeigt Spuren der Raspel, doch ist ein schmaler Streifen einer sich stark von jener des Kraters unterscheidenden antiken Bemalung erhalten. Diese Fremdscherbe war direkt nach Abschluss der historischen Restaurierung nicht sichtbar, doch wurde in späterer Zeit die Bemalung einiger ergänzten Stellen, vermutlich durch unsachgemäße Reinigung mit Bürste und Wasser abgelöst, sodass hier die Fremdscherbe zum Vorschein kam. Es zeigt sich auch die Struktur des Ergänzungsmaterials. Dabei handelt es sich um eine feine, leicht sandige, mörtelähnliche Masse, deren Grundfarbe der Scherbenfarbe des Gefäßes weitgehend gleicht. Beim beigemengten Sand handelt es sich um rötlich-gelbe Partikel, eventuell feiner Keramikgrus. Es sind Schwindungs- bzw. Trockenrisse erkennbar, was vermutlich erklärt, warum nicht zugehörige Keramikfragmente eingebettet wurden. Dies sollte beim Trocknen bzw. Abbinden der Ergänzungen die Schwindung minimieren (Abb. 42).

Abb. 38: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Ansicht von oben; (b) Ansicht von unten (Foto R. Fürhacker)

Abb. 39: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Seite B, oberer Bereich der Außenwandung – Rautenmuster; (b) Oberer Bereich der Außenwandung – Henkel; (c) Seite A, untere Bereich der Außenwandung mit nach links gewendetem Kopf; (d) Untere Bereich der Außenwandung unter Henkel (Foto R. Fürhacker)

Abb. 40: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) ergänzter und flächig braun übermalter oberer Bereich der Innenwandung; (b) Innenwandung: Detail der Übergangszone von der unteren lasierend gelblichbraunen Engobe zur oberen dunkelbraunen Engobe, von der ein Tropfen in die untere Zone gelaufen ist (Foto R. Fürhacker)

Abb. 41: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; Detail der Innenwandung: Spuren eines raspelähnlichen Werkzeuges auf Ergänzung und Keramik (Foto R. Fürhacker)

Abb. 42: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Spuren eines raspelähnlichen Werkzeuges auf Keramik; rechts eine in die Ergänzungsmasse eingebettete Fremdscherbe mit Resten einer rot-schwarzen antiken Bemalung und Schwingungsrissen in der Ergänzungsmasse; (b) Durch unsachgemäße Reinigung beschädigte Oberfläche eines ergänzten und bemalten Bereichs (Foto R. Fürhacker)

Abb. 43: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; textile Struktur (Abdruck?) in der eine Fehlstelle füllenden Ergänzungsmasse rechts über dem Kopf der Seite A (Foto R. Fürhacker)

Abb. 44: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Detail senkrechter Linien unter einem Henkel; abgesplitterte Scherbenränder wurden beim Nachmalen der Linien mit übermalt; (b) Detail des Rautenmusters; seitlich der Ränder der nachgemalten Linien sind zum Teil Reststreifen der etwas breiteren und blasseren Originallinien sichtbar (Foto R. Fürhacker)

Abb. 45: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; Detail der linken Palmette auf Seite A; originale Binnenlinien (Foto R. Fürhacker)

Ergänzte Fehlstellen wurden nach dem groben Raspeln überschliffen und die gesamte Oberfläche mit einem lackartigen Überzug versehen. Dies führte zu einer intensiveren Farbigkeit und einer Vereinheitlichung des optischen Erscheinungsbildes der Oberfläche.

Im oberen Bereich des Kopfes von Seite A ist unter der Übermalung eine textile Struktur zu erkennen (Abb. 43). Es handelt sich wahrscheinlich um einen textilen Abdruck in der Ergänzungsmasse einer Fehlstelle. Theoretisch könnte es auch ein in die Fehlstelle eingebrachtes Textilstück sein.

Die Außenwandung und der Rand sind mit einer braunen, zum Teil lasierend aufgetragenen Engobe bemalt. Unter dem Binokular lässt sich sehr gut erkennen, dass diese antike Bemalung häufig mehr oder weniger exakt mit einer deckenden mittel- bis dunkelbraunen Farbe nachgemalt wurde. Der Restaurator hat sich weitgehend an der antiken Bemalung orientiert. Abgesplitterte Scherbenränder wurden übermalt und in ergänzten Fehlstellen die antike Bemalung rekonstruiert (Abb. 44).

Einige Linien wurden nicht nachgezogen, so z. B. die Binnenlinien von zwei Palmetten, die sich rechts und links des Kopfes auf Seite A befinden[106]. Aufgrund der fehlenden Übermalung lässt sich hier der originale Duktus der Linienführung des antiken Malers nachvollziehen (Abb. 45). Es wurde eine relativ flüssige Engobe

[106] Trotz ihrer Ähnlichkeit unterscheiden sich die beiden Köpfe in Details: Das Profil von Kopf A wurde mit gerundeter Nasenspitze gemalt. Der Kopf auf Seite B hat eine spitze Nase. Weiters zeigt der Kopf auf Seite A im Halsbereich ein Kleidungsstück in V-Form und jener auf Seite B ein Lambda-förmiges.

Abb. 46: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Kopf der Seite A mit weitgehend antiker Profilkontur; (b) Kopf der Seite B (Foto R. Fürhacker)

Abb. 47: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) Seite A; (b) Seite A mit Markierung der als originale Linienteile bzw. Flächen erkannten Bereiche (Foto und Nachbearbeitung R. Fürhacker)

verwendet. Das führte dazu, dass sich an dem Punkt, von dem der Pinsel nach dem Ziehen einer Linie wieder abgehoben wurde, die Engobe zu einem dunklen Punkt konzentrierte. Liegt die Engobe dünn auf, ergab dies nach dem Brand einen rötlich-orangen Farbton, wurde sie dicker aufgetragen, erscheint sie leicht rötlich-dunkelbraun. Dies gab der antiken Bemalung eine gewisse Plastizität.

Auch die beiden Köpfe (Abb. 46) weisen unübermalte Linien auf, so wurde bei beiden Köpfen nur rund die Hälfte der Haarlinien nachgezogen. Bei Kopf A befindet sich zwischen dem Profil ab der Nase nach unten und der linken Palmette eine der wenigen nicht übermalten engobierten Flächen des Gefäßes, sodass hier die Profilkontur des Kopfes großteils unverändert erhalten blieb. Die Augen und Augenbrauen beider Köpfe wurden nachgezogen, doch es lässt sich erkennen, dass die Übermalung nur wenig vom Original abweicht. Dies kann jedoch für die vermutlich eine Bekleidung darstellenden Linien und Punkte im Halsbereich nicht bestätigt werden. Hier ist keine antike Untermalung erkennbar.

Abb. 48: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volteraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; in einem zweiten Restaurierungsvorgang geklebter Standfuß; Bohrung der Thermolumineszenzuntersuchung rechts von der Inventarnummer (Foto R. Fürhacker)

Es wurden die bei der optischen Untersuchung festgestellten Details grafisch festgehalten, indem die nicht übermalten Bereiche in fotografischen Aufnahmen digital eingezeichnet werden (Abb. 47).

Der fragmentierte Fuß des Gefäßes weist Klebungen auf (Abb. 48), die sich von jenen der Erstrestaurierung deutlich unterscheiden. Die dunkle Farbe des Klebstoffs ist auf seine durch Alterung entstandene Verbräunung zurückzuführen. Bei dieser Klebemaßnahme wurde der Fuß mit dem Gefäßkörper erneut verklebt.

Das Innere des hohlen Gefäßfußes ist nicht wie die Außenwandung mit der lackähnlichen Schicht überzogen und weist geringe Spuren einer sinterartigen Auflagerung auf. Auch geringe Reste von Erdauflagen sind erhalten. Am tiefsten Punkt sind durch ein Werkzeug entstandene Schablinien erkennbar. Neben der Bohrung, die für die Thermolumineszenzuntersuchung (s. o.) vorgenommen wurde, befinden sich geringe weißliche Spuren. Es könnte sich um die Reste einer abgenommenen Beschriftung handeln.

Computertomografische Untersuchung

Die CT-Schnitte des Kraters zeigen, dass dieser beinahe vollständig erhalten ist und aus rund 30 zusammengehörigen Bruchstücken zusammengefügt wurde (Abb. 49). Es gibt einige Fehlstellen, die mit nicht zugehörigen Keramikfragmenten verschiedener Größe und unterschiedlichem Keramikgefüge gefüllt wurden. Deren Außen- und Innenflächen liegen zum Teil unter dem Niveau der Originaloberfläche, sodass das fehlende Volumen mit einer Ausgleichsschicht an die Originaloberfläche angepasst wurde (Abb. 50).

Größere Ausbrüche und Fehlstellen lassen sich innen im Bodenbereich des Gefäßes feststellen, was das flächige Aufbringen der gelblich-körnigen Ausgleichsschicht erklärt. In einer dieser Fehlstellen liegt unter der Ergänzungsmasse ein dünnes plättchenförmiges Objekt mit einer etwas höheren Dichte als jener der Keramik. Für eine genaue Ansprache ist die Auflösung der CT zu gering.

Im Gegensatz zu den überaus genau geklebten Scherbenpassungen am Gefäßoberteil ist die Passung zwischen Fuß und Gefäßkorpus auffällig ungenau. Der Spalt wurde im Randbereich durch Aufbringen einer millimeterdicken Kittmasse ausgeglichen. Im Inneren befindet sich ein relativ großer Hohlraum (Abb. 51).

Es lassen sich interessante Herstellungsspuren feststellen. So wurde auf die aufgerauten Kontaktflächen zwischen Fuß und Gefäßkörper vermutlich im lederharten Zustand Tonschlicker aufgetragen und in diesen zur besseren Haftung jeweils eine Spirale eingedreht. Die Töpferscheibe lief dabei gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 52).

An dieser Schwachstelle zwischen Gefäßkorpus und Fuß löste sich der Fuß zu einem späteren Zeitpunkt und zerbrach in fünf Fragmente, was zu einer weiteren Restaurierungsmaßnahme führte.

Abb. 49: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; im virtuellen CT-Profilschnitt Bruchkanten, ergänzte Fehlstellen und die inhomogene Keramikstruktur des Kraters (Visualisierung R. Fürhacker)

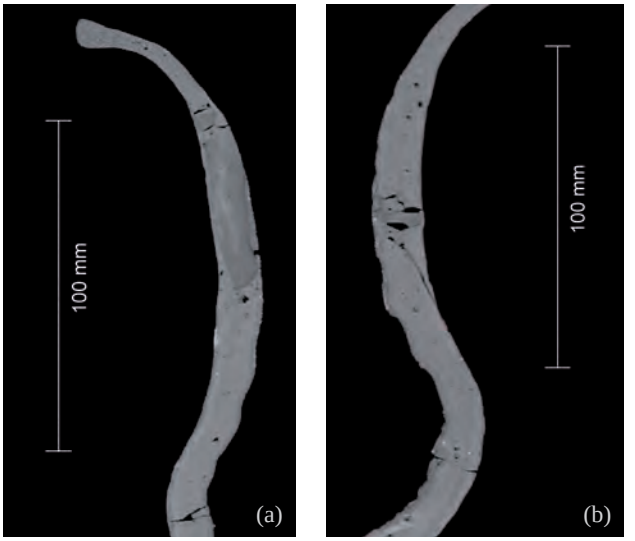


Abb. 50: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; (a) vertikaler CT-Schnitt durch eine mit zwei Fremdscherben ergänzte Fehlstelle im oberen Halsbereich; (b) vertikaler CT-Schnitt durch eine mit einer kleinen, antik bemalten Fremdscherbe ergänzte Fehlstelle in der mittleren Halszone (Visualisierung R. Fürhacker)

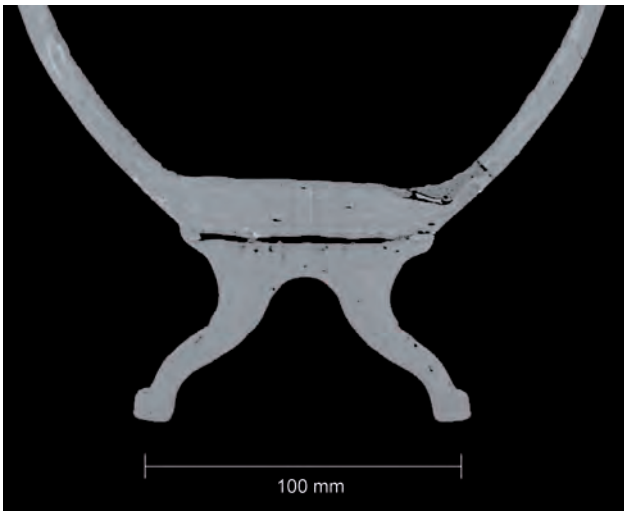


Abb. 51: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; vertikaler CT-Schnitt: breiter Spalt zwischen Gefäßkörper und eventuell nicht zugehörigem Fuß; ergänzte Fehlstelle im Bodenbereich mit blättchenförmigem Fremdkörper (Visualisierung R. Fürhacker)

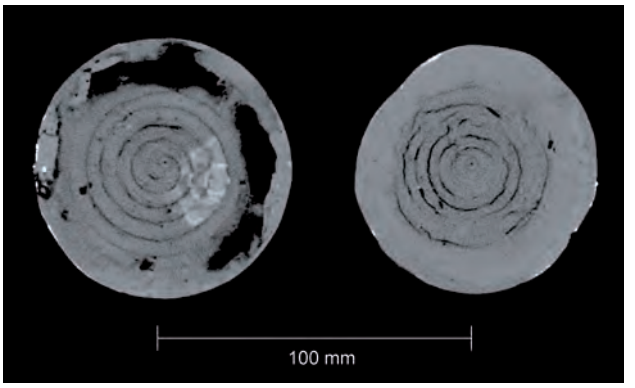


Abb. 52: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; zur besseren Haftung in den auf die Kontaktflächen zwischen Fuß und Gefäßkörper aufgetragenen Tonschlicker gedrehte Spiralen; Töpferscheibe gegen den Uhrzeigersinn laufend (Visualisierung R. Fürhacker)

Es besteht die Möglichkeit, dass der vorhandene Fuß ursprünglich nicht zum Gefäßoberteil gehört hat, auch wenn der Originalfuß vermutlich ähnlich aussah. Aber es lässt sich nicht ausschließen, das Gefäßoberteil und Fuß doch zusammengehören, jedoch die Passung sehr ungenau ist. Die innere Tonstruktur der beiden Teile ist unterschiedlich. Der Fuß besteht aus einer relativ homogenen Tonmasse mit einigen größeren Lufteinschlüssen und der Gefäßkorpus zeigt speziell zum dickwandigen Boden hin eine starke Inhomogenität, d. h. die Tonmasse weist in der CT sich schlierenartig abzeichnende, dichtere Zonen auf. Im Bereich der dünneren Gefäßwandung ist dieses Phänomen vermutlich aufgrund der automatischen Durchmischung des Tones während des Hochziehens der Wandung beim Töpfern weniger stark ausgeprägt. Der Umstand, dass diese Dichteunterschiede im Fuß nicht auftreten, ist kein klarer Hinweis auf eine fehlende Zugehörigkeit, da dieser separat getöpfert wurde und dafür der Ton womöglich besser durchgeknetet war. Die erkennbaren Inhomogenitäten könnten ein Hinweis auf die Verwendung von zwei miteinander vermischten Tonen sein – eines dichteren und eines weniger dichten. Die Verwendung derartiger Tonmischungen ist in der modernen Keramikerzeugung üblich, da sich durch das Mischen verschiedener Rohtone die Eigenschaften des Endprodukts, wie z. B. Plastizität oder Sintertemperatur beeinflussen lassen.

Die 3D-Visualisierung der CT-Daten lässt an der Oberfläche des Gefäßes die neuzeitlichen Übermalungen interessanterweise etwas heller hervortreten. Dieses Phänomen ist auf die höhere Dichte der bei der Übermalung verwendeten Farbe zurückzuführen. Auch ergänzte Bereiche sind gut erkennbar (Abb. 53).

Weiters bietet die Visualisierung die Möglichkeit, in das virtuell rekonstruierte Gefäß eine virtuelle Lichtquelle einzubringen und das Licht durch die feinen Klebefugen an die Oberfläche dringen zu lassen (Abb. 54). So kann die Bruchstruktur der Gefäßscherben in einer Falschfarbendarstellung gut erfasst und auf Fotos eingezeichnet werden (Abb. 55).

Die mit weißer Farbe in den Gefäßfuß geschriebene Inventarnummer zeichnet sich aufgrund ihrer höheren Dichte in der CT klar ab (Abb. 56). Eine Analyse[107] dieser Substanz an einem anderen Objekt derselben Inventarisierungsphase ergab als Farbpigment Zinkweiß.

Rekonstruktion der Restaurierungsschritte

Die rund 30 vorhandenen Fragmente des Gefäßes wurden sehr sorgfältig geklebt.

In die Fehlstellen wurden größere und kleinere Keramikscherben anderer Gefäße eingesetzt und die verbliebenen Hohlräume mit einer Ergänzungsmasse geschlossen.

Da die ausgehärtete bzw. abgebundene Ergänzungsmasse und vermutlich auch die in die Fehlstellen eingesetzten Scherben nicht bündig mit der Gefäßoberfläche abschlossen, wurden diese mit einem raspelähnlichen Werkzeug an die Oberfläche angepasst. Dabei wurde mit wenig Sorgfalt vorgegangen und die originale Oberfläche mehrfach beschädigt, wie weitgehend parallele, ca. 1 mm breite und ca. 0,5 mm tiefe Kerben unterschiedlicher Längen an der Innen- und Außenwandung zeigen.

Nach dem groben Anpassen der Oberfläche wurden im Bodenbereich des Gefäßinneren eine körnige Ausgleichsmasse verstrichen und sonstige noch vorhandene Unebenheiten, kleine Fehlstellen und Sprünge mit einer feinkörnigen Kitt- bzw. Ausgleichsmasse geschlossen und geglättet bzw. geschliffen.

Im Gefäßinneren wurde der Bodenbereich mit einer gelblichen Farbe flächig überstrichen und der obere Teil der Mündung bräunlich bemalt.

In einem weiteren Arbeitsgang wurden an der Außenwandung die ergänzten Stellen farblich an die gelbliche Grundfarbe des Gefäßes angepasst, ein Großteil der braunen bzw. rötlichbraunen antiken Bemalung mit einem breiten Pinsel nachgezogen und flächige Bereiche nachgemalt. Dafür wurde eine deckende, dunkelbraune Farbe verwendet. Nicht alle antiken Linien und Flächen wurden nachgemalt bzw. übermalt, sondern nur jene, deren farbliche Intensität nicht den Vorgaben des Auftraggebers bzw. den Vorstellungen des Restaurators entsprach.

Abschließend erhielt die Außenwandung des Gefäßes einen lackartig glänzenden, farbliche Inhomogenitäten abschwächenden Überzug.

Es ist anzumerken, dass die verschiedenen Arbeitsschritte mit unterschiedlicher Sorgfalt durchgeführt wurden. Speziell die groben Raspelspuren passen nicht zur exakten Passgenauigkeit der Klebung, der perfekt aus-

[107] s. den Beitrag S. Karl – D. Jungblut – J. Rosc in diesem Band.

Abb. 53: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; die höhere Dichte der bei der Restaurierung verwendeten Farbe lässt die Übermalungen in der Visualisierung heller hervortreten; mit Ergänzungsmasse und Fremdscherben geschlossene Fehlstellen zeichnen sich ab (Visualisierung R. Fürhacker)

Abb. 54: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; Falschfarbendarstellung der Bruchstruktur mittels virtueller Lichtquelle im Gefäßinneren – das Licht dringt durch die Klebefuge an die Gefäßoberfläche (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Abb. 55: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; Seite A mit eingezeichneten Brüchen (Foto und Nachbearbeitung R. Fürhacker)

Abb. 56: Etruskisch rotfiguriger Kolonettenkrater im Volterraner Stil, UMJ Inv.-Nr. 4612; sich durch hohe Dichte in der CT-Visualisierung weiß abzeichnende, vermutlich bleiweißhältige Inventarnummer am Gefäßfuß (Visualisierung R. Fürhacker)

geführten Nachbearbeitung der Ergänzungen und der relativ genauen Übermalung. Dies könnte ein Hinweis auf Arbeitsteilung sein.

Spätere Veränderungen

Zu einem unbekannten Zeitpunkt, vielleicht bereits im Museum hat sich der Fuß des Gefäßes gelöst, ist in mehrere Teile zerbrochen und wurde mit einem heute stark verbräunten Klebstoff geklebt. Eine naturwissenschaftliche Analyse des Klebstoffs könnte Hinweise zur Datierung dieser Maßnahme geben. Weiters wurde an ergänzten Bereichen vermutlich mit einer groben Bürste und Wasser die farbliche Oberflächenretusche aber zum Teil auch das Ergänzungsmaterial abgetragen, sodass nun an einigen dieser Stellen in die Ergänzungsmasse eingebettete Fremdscherben an der Oberfläche liegen. Am Gefäßboden wurde mit Zinkweiß sorgfältig die Inventarnummer „4612.“ aufgebracht. Im Jahre 2009 wurden für eine Thermolumineszenzuntersuchung (s. o.) in den Gefäßoberteil und den Fuß mit einem 2 mm-Bohrer ein ca. 5–8 mm tiefes Loch gebohrt.

Fragen und Antworten

Wer hat restauriert? Aufgrund fehlender Vergleiche und mangelnder historischer Forschung ist es nicht möglich, diese Restaurierung einer bestimmten Person, einer bestimmte Werkstatt oder einer gewissen Tradition zuzuordnen. Die Ausführung der Restaurierung weist auf das Vorhandensein einschlägiger Erfahrungen bei der bzw. den ausführenden Person(en) hin. Es ist wohl von einem handwerklichen Hintergrund auszugehen. Aufgrund der unterschiedlichen Qualität der einzelnen Restaurierungsschritte, kann angenommen werden, dass arbeitsteilig gearbeitet wurde, was eher auf einen freiberuflichen Hintergrund schließen lässt. Aufgrund einiger Merkmale, wie die Verwendung von nicht zugehörigen Scherben zur Schließung von Fehlstellen, der Einsatz eines raspelähnlichen Werkzeuges für die Überarbeitung der Ergänzungen, der Vorgangsweise bei der Übermalung, etc. ließen sich Restaurierungen aus der gleichen Werkstatt vermutlich relativ einfach identifizieren.

Wo wurde restauriert? Eine geographische Zuordnung ist ebenfalls aufgrund fehlender Vergleiche schwierig. Die Verwendung von antiken Fremdscherben zur Schließung von Fehlstellen könnte ein Hinweis auf den

mediterranen Raum sein, da eine solche Vorgangsweise zumindest aus dem deutschsprachigen Bereich bisher nicht bekannt ist. Bei dem überlieferten „Fundort“ Orvieto könnte es sich um den Platz des Erwerbs und eventuell auch den Sitz der Werkstatt handeln.

Wann wurde restauriert? Aufgrund historischer Quellen muss die erste Phase der Restaurierung vor 1889 vorgenommen worden sein. Allgemein ist der Restaurierungsstil typisch für das 19. Jahrhundert. Eine Analyse der verwendeten Materialien könnte weitere Hinweise liefern.

Warum wurde restauriert? Das hinter der Restaurierung stehende Konzept bestand darin, ein optisch ansprechendes Objekt zu erzeugen. Dies war wichtiger als die zum Teil vermutlich nicht besonders gut erhaltene originale Bemalung sichtbar zu belassen. Die Hinzufügung von ursprünglich nicht Vorhandenem wurde nicht wie heute als problematisch, sondern vermutlich als Bereicherung oder Verbesserung gesehen.

Für wen wurde restauriert? Aufgrund der Übermalungen und der Hinzufügung von Neuem (Gewand der Profilköpfe) ist davon auszugehen, dass der Auftraggeber keinen wissenschaftlich-archäologischen Hintergrund besaß. Vielleicht wurde das Gefäß für einen Händler restauriert, der eine vielleicht zwar historisch interessierte, jedoch archäologisch wenig gebildete Klientel bediente.

Womit wurde restauriert? Eine chemische Analyse der verwendeten Klebstoffe, der Ergänzungsmaterialien und des lackartigen Überzugs steht aus. Ob es sich bei den verwendeten Fremdscherben um antike Fragmente handelt, ist schwer festzustellen. Jedoch ein an der Außenwandung sichtbares kleines Fragment mit farbintensiver Engobierung stammt mit hoher Wahrscheinlichkeit von einem antiken Gefäß.

5.3 Diskussion

Archäologische Aspekte

Die Dokumentation der historischen Restaurierungen zeigt, dass die Vermutung einer durchgehenden modernen Übermalung des Gefäßes nur zum Teil berechtigt war. Aber auch der Verdacht, dass mit diesem Objekt und dem zweiten Grazer Krater (UMJ Inv.-Nr. 4613) eine soweit archäologisch unbekannte Werkstatt dieses Gefäßtypus zu identifizieren wäre, ist nicht haltbar. Beide Kratere wurden mit aller Wahrscheinlichkeit in derselben Restauratorenwerkstatt (in Orvieto?) bearbeitet und besitzen Zugaben und Veränderungen, die mit dem originalen antiken Befund nichts zu tun haben. So gehen neben den flächigen Übermalungen und breiten Nachzeichnungen der ursprünglich z. T. feiner angelegten Ornamentlinien, sowohl die Verzierungen mit Punktborten, die an den Kleidungsstücken sichtbar sind, als auch das Fehlen der seitlichen Volutenfortsätze, die durch ein Höhersetzen der unteren bemalten Sockelzone unter der rezenten Malschicht zum größten Teil verschwanden, auf den Restaurator zurück. Am Krater sind gerade noch die stark verblassten oberen Enden dieser kleinen Voluten unter den pastosen Übermalungen zu erkennen. Die graubraune Farbe der Keramikoberfläche an der Außenseite sowie die auffallende Härte der Keramikoberfläche hat ebenfalls seinen Ursprung in der Restaurierung, da das Gefäß bis auf die Innenseite des Fußes und im Inneren des Gefäßbeckens mit einer Lackschicht überzogen wurde, wohl um der Gefäßoberfläche ein einheitliches Aussehen zu geben. Auch der irritierende körnige gelbliche Überzug im Inneren ist nicht antik und kaschiert Brüche und Ergänzungen im unteren Bodenteil. Mit Abzug dieser modernen Zusätze lässt sich jedoch das Gefäß ohne weitere Probleme in dem bekannten Repertoire Volterraner Kratere unterbringen.

Wie weit der separat angefertigte und im Zuge der historischen Restaurierung erneut angesetzte Fuß, dessen Form für diese Gefäßgattung charakteristisch ist, ursprünglich zu diesem Krater gehörte oder zu einem anderen Krater gleicher Form und Größe, kann ohne Öffnung der Klebestelle wohl nicht eindeutig beantwortet werden. Der in der CT sichtbare Hohlraum zwischen Gefäßkörper und Fuß – mit den typischen spiralförmigen Rillen an beiden Ansatzflächen – ist möglicherweise ein Indiz für die zweite Variante.

Restauratorische Aspekte

Die Untersuchung des zweiten, optisch sehr ähnlichen und vermutlich in der gleichen Werkstatt restaurierten Gefäßes (UMJ Inv.-Nr. 4613) könnte weitere Erkenntnisse zur Arbeitsweise des Restaurators bzw. der Restauratoren liefern.

Weiters ist der Fuß des zweiten Gefäßes nicht abgebrochen und so könnten mittels CT-Untersuchung Informationen zum inneren Aufbau der Verbindung zwischen Gefäßkörper und Fuß gewonnen werden. Dies dürfte wiederum für die Klärung der Frage bezüglich der Zugehörigkeit des Fußes zum hier vorgestellten Gefäß hilfreich sein.

6 ZUM UMGANG MIT HISTORISCHEN RESTAURIERUNGEN

Eine historische Restaurierung[108] lässt sich aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten, und je nach Standpunkt verändert sich ihre Wertigkeit. Aus rein archäologischer Sicht sind Ergänzungen und Übermalungen häufig störend, da sie interessante Informationen des Objekts verdecken können. Ein forschungsgeschichtlicher Standpunkt, ob mit museologischem, archäologischem oder restauratorischem Hintergrund, sieht in historischen Restaurierungen eine Quelle zur Erforschung der Objektbiografie, sowie historischer, soziologischer und wirtschaftlicher Zusammenhänge. Werden konservatorische Aspekte in den Vordergrund gestellt, kann sich eine vormalig an einem Objekt vorgenommene restauratorische Maßnahme als Problem darstellen, die dessen Erhaltung substantiell gefährdet.

Die ethischen Richtlinien für Museen (ICOM) und die „professional guidelines“ der European Confederation of Conservator-Restorers’ Organisations (ECCO) weisen auf die Wichtigkeit der kulturellen bzw. physischen Integrität und Authentizität von Sammlungsobjekten hin. Das bedeutet, dass Veränderung am gegenwärtigen Zustand nur unter besonderen Voraussetzungen vorgenommen werden dürfen[109]. Ästhetische Kriterien und wissenschaftliches Interesse sind dafür in der Regel nicht ausreichend, d. h. Eingriffe, die nicht der Substanzerhaltung dienen, sollen weitgehend vermieden werden. Neurestaurierungen aus vorwiegend ästhetischen Gründen widersprechen auch dem Artikel 9 der Charta von Venedig von 1964, der besagt: „Die Restaurierung ist eine Maßnahme, die Ausnahmecharakter behalten sollte [...]. Sie gründet sich auf die Respektierung des überlieferten Bestandes und auf authentische Dokumente“.

Aus heutiger Sicht erscheint Punkt 6 der 1956 festgelegten CVA-Publikationsrichtlinien[110], der die Basis für die Zerstörung einer großen Anzahl historischer Restaurierungen antiker Keramik gelegt hat, veraltet. Es ist anzunehmen, dass damals deren Bedeutung und Informationsgehalt noch nicht erkannt wurden. Jedoch auch in den Guidelines von 2009 werden mit der Formulierung „restorations should be removed“, diese Aspekte wenig berücksichtigt, auch wenn mit den Worten „[...] but where they need to be retained for the purposes of museum display care must be taken to see that they are fully described, and ideally indicated in some way on the photograph (dotted outlines, etc.)“ eine sinnvolle Alternative geboten wird[111]. Im Protokoll des „CVA-Meetings of the international Directors“, Oxford 2009, wird auf die historische Bedeutung von frühen Res-

---

108 Eine allgemein gültige Definition des Begriffs „historische Restaurierung“ gibt es nicht, doch werden häufig solche des 18. und 19. Jahrhunderts damit bezeichnet.

109 Janis, Restaurierungsethik, 137: „Die Kategorie der Authentizität (Echtheit/Eigentlichkeit) bezeichnet, beginnend von seinem Ursprung, den Zustand des Originals zu jedem beliebigen Zeitpunkt seiner jeweiligen Veränderung, m. a. W. den jeweils gewordenen bzw. vorgefundenen Zustand. Ungeachtet seiner Veränderung (z. B. durch natürliche Alterung, Gebrauch oder Beschädigungen) bleibt das Kulturgut authentisch. Anders ausgedrückt: Das Kulturgut enthält eine Gesamtheit von Informationen, die sich aufgrund unzureichender Kenntnisse in Gänze nicht unmittelbar erschließen, sondern möglicherweise erst zu einem späteren Zeitpunkt entschlüsselt bzw. ausgewertet werden können. Im Zuge der Alterung und aufgrund anderer Einflüsse (z. B. Gebrauch, Restaurierung, Vernachlässigung) kommt es unwiderruflich und in sehr unterschiedlicher Geschwindigkeit zum „Schwinden“ der Originalität. In dem Maße wie die Ursprünglichkeit verloren geht, nimmt zwar ihr zumindest relativer Anteil an der Fülle von Informationen ab, die die Authentizität des jeweiligen Objektes ausmacht. Hinzu kommen aber neue Informationen, die sich aus den vielfältigen Veränderungen durch Alterung, Schäden, menschliche Eingriffe usw. (z. B. Gebrauchsspuren, neue Funktion) ergeben und wiederum entschlüsselt und interpretiert werden müssen“; zu ICOM und ECCO s. Kap. 1.

110 C. Dugas – H. Metzger, Colloque International sur le Corpus Vasorum Antiquorum (Lyon, 3–5 juillet 1956), Centre National de la Recherche scientifique (Paris 1956) 12: „Le vase doit être nettoyé avant d’être photographié et les restaurations, dans la mesure du possible et sous réserve des précautions indispensables, supprimées.“; vgl. B. Bourgeois, Lasimos and CVA-Conservation, Corpus Vasorum Antiquorum – Meeting of International directors, Oxford, 28 November 2009 <http://www.beazley.ox.ac.uk/cva/authors/conservation.pdf> (18.3.2011).

111 Sir John Boardman’s Guidelines 2009; http://www.beazley.ox.ac.uk/cva/authors/guidelines.htm.

taurierungen hingewiesen und eine Überprüfung der Richtlinien angeregt[112]. Auf einen sensiblen Umgang mit restaurierten Antiken wird auch von Ursula Kästner hingewiesen und konkrete Direktiven formuliert[113]. Sollte sich aus konservatorischen Gründen doch eine neuerliche Restaurierung als nötig erweisen, wird speziell auf die „Analyse“ und detaillierte Dokumentation des Befundes sowie die Aufbewahrung von im Zuge einer Zerlegung abgenommener Ergänzungen, Zusätzen oder Pasticci hingewiesen. Zu ergänzen wäre weiters die Archivierung von Proben der historischen Restaurierungsmaterialien (Klebstoffe, Kitte, Lacke, Farben, etc.).

In der Gegenwart stehen mit modernen Untersuchungsmethoden wie der UV-Fotografie, naturwissenschaftlichen Analyseverfahren und der Computertomografie Techniken zur Verfügung, über die viele archäologisch relevante Informationen gewonnen werden können, ohne sichtbare Veränderungen am Objekt vorzunehmen. So lässt sich die Zerstörung historischer Restaurierungen vermeiden.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In vielen seit dem 18. oder 19. Jahrhundert bestehenden archäologischen Sammlungen befinden sich antike Keramikgefäße aus dem Mittelmeerraum, die durch Schenkung oder Erwerb Teil des Bestandes wurden. Oft sind Fundort, Fundumstände, Vorbesitzer, restauratorische Maßnahmen, aber auch die genauen Umstände ihrer Eingliederung in die Sammlung vollständig oder zum Teil unbekannt.

Manche Fragen lassen sich durch Archivstudien erhellen, doch viele Informationen können nur, wie an den vorgestellten Beispielen gezeigt wird, durch eine umfassende Autopsie der Fundstücke, u. a. unter Verwendung radiologischer Verfahren gewonnen werden.

So wie sich antike Vasenmalereien aufgrund typischer Merkmale bestimmen, einordnen und gewissen Malern oder Schulen zuweisen lassen, besteht bei vorerst anonymen Restaurierungen die Möglichkeit, diese aufgrund unterschiedlicher Restaurierungskonzepte, technischer Vorgangsweisen, verwendeter Materialien sowie Stil und Qualität der Ausführung unterschiedlichen Personen, Werkstätten oder Traditionen zuzuordnen. Doch „eine systematische – z. B. chronologische oder werkstattspezifische – Auswertung der Techniken kann erst nach einer größeren Materialerhebung erfolgen[114]“.

Ausgangspunkt jeder Untersuchung ist eine detaillierte und systematische Analyse der am Objekt vorgenommenen historischen Restaurierung(en) und die umfassende Dokumentation der Ergebnisse. Informationen zur Provenienz, zum Umfeld der Restaurierungswerkstätten, im Besonderen dem Ausgrabungswesen, dem historischen Antikenhandel und dessen Klientel (Sammler, Museumskuratoren, etc.) können durch Archivstudien erschlossen werden.

Da viele Beispiele früher Vasenrestaurierungen des 19. Jahrhunderts bei späteren Restaurierungsmaßnahmen häufig undokumentiert zerstört oder überarbeitet wurden, sind die Voraussetzungen für eine systematische Bestandsaufnahme nicht optimal. Gerade bedeutende Objekte aus wichtigen Sammlungen haben häufig mehrere Restaurierungsphasen durchlaufen. Doch dieser Umstand soll keine Entmutigung darstellen, denn speziell in Regionalmuseen und universitären Sammlungen aber auch in größeren Museen, wie dem Kunsthistorischen Museum Wien haben sich restaurierungsgeschichtlich bedeutende Beispiele historischer Restaurierungen bis heute erhalten.

Moderne Untersuchungsmethoden wie die Computertomografie erlauben einen quasi zerstörungsfreien Informationsgewinn. Doch muss darauf hingewiesen werden, dass die Anwendung radiologischer Verfahren neben den unbestrittenen Vorteilen auch Nachteile hat. Röntgenstrahlung führt zu unsichtbaren Veränderungen in der Keramik und zu Abweichungen bei der Thermolumineszenzdatierung, was bei Objekten unklarer Zeitstellung die Probenentnahme für eine TL-Datierung vor einer Strahlenbelastung unbedingt voraussetzt[115]. Weiters sind Fragen der Objektgröße, der Scandauer und des Transports zu berücksichtigen.

---

[112] Unter anderem die Ergebnisse der von Bourgeois durchgeführten Untersuchungen an historischen Restaurierungen des 19. Jahrhunderts und ihr Plädoyer für deren Erhaltung haben ein Umdenken angeregt: Bourgeois, restauratori.

[113] U. Kästner, Konservieren oder Restaurieren, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 11–14, bes. 13.

[114] Bentz – Kästner, Vorwort, 8.

[115] s. den Beitrag S. Karl – D. Jungblut – J. Rosc in diesem Band.

Eine Frage bleibt jedoch offen: Wie lassen sich die an dreidimensionalen Keramikgefäßen festgestellten archäologischen und restauratorischen Beobachtungen anschaulich und umfassend dokumentieren? Da die allgemein übliche Praxis der zweidimensionalen Dokumentation mittels Zeichnung und Foto eine unüberwindliche Hürde darstellt, sind dreidimensionale Dokumentationsformen zu entwickeln, die alle an Keramikgefäßen erkennbaren Informationen räumlich erfassen. Gerade die komplexe Bemalung antiker Keramikgefäße bietet sich für eine solche Vorgangsweise an, und es bestünde die Möglichkeit, neben den Bildmotiven auch herstellungstechnische Details, (Profil-)Schnitte, Vorzeichnungen, antike Reparaturen, Gebrauchs- und Alterungsspuren, Bruchkanten, Ergänzungen, neuzeitliche Übermalungen, etc. dreidimensional zu dokumentieren bzw. zu kartieren. Dafür ist eine dreidimensionale Erfassung des Objekts mittels 3D-Scan, 3D-Rekonstruktion mit Fotosequenzen oder Computertomografie Voraussetzung. Die Möglichkeiten einer Publikation von 3D-Dokumentationen auf Datenträgern oder im Internet (z. B. als 3D-pdf) sind zu untersuchen[116].

[116] M. Strobl – R. Berndt – V. Settgast – S. Havemann – W.-D. Fellner, Publishing 3D Content as PDF in Cultural Heritage, in: K. Debattista – C. Perlingieri – D. Pitzalis – S. Spina (Hrsg.), VAST 2009: The 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, St. Julians, Malta, September 22–25, 2009 (Aire-la-Ville 2009) 375–382.

EIN GUTTUS AUS DER ORIGINALSAMMLUNG DES INSTITUTS FÜR ARCHÄOLOGIE DER UNIVERSITÄT GRAZ

ANWENDUNGEN NATURWISSENSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGEN

MARIA CHRISTIDIS

1 BESCHREIBUNG[1]

Der Guttus steht auf profiliertem Fuß mittlerer Größe (Abb. 1)[2]. Der untere Teil des Standringes ist durch eine verdoppelte Rille dreigeteilt, während der Oberteil konkav ist. Der im Querschnitt elliptische Körper hat seine maximale Ausdehnung in der Mitte des Bauches. Der röhrenförmige Ausguss ist schräg nach oben gezogen, die gerundete Lippe ist stark nach außen gewölbt. Ungefähr im Winkel von 90° zum Ausguss liegt der Henkelansatz eines Ringhenkels. Im Boden befindet sich ein tiefer Tubus.

Die untere Hälfte des Körpers ist glatt belassen, die obere Hälfte besitzt senkrechte, feine Riefen, die oben durch eine umlaufende Rille abgeschlossen sind. Der Bereich unterhalb der Tülle bleibt glatt, am Henkelansatz sind flachere Riefeln ausgebildet.

An der Oberseite befindet sich ein Medaillon mit einem flachen Relief, eingerahmt von zwei Rillen (Abb. 2). Das Medaillon zeigt eine Kampfszene; eine auf einem Pferd reitende männliche Figur kämpft gegen eine gestürzte Amazone.

Der Guttus ist schwarz übermalt. Bodenplatte und Standfläche sind orange/beige. Die Schräge zwischen Bodenplatte und innerem Tubus und ein weiterer in kleinem Abstand umlaufender Ring sowie die Innenseite des Standringes sind mit schwarzer Engobe versehen[3].

Die Erwerbungsgeschichte des Objektes ist nicht genau nachzuvollziehen. In den alten Akten des Archäologischen Instituts sind nur wenige Informationen zu finden[4]. Bei diesen wird Capua als Fundort erwähnt. Im zweiten Inventarbuch werden der Fundort, der Preis und die alte Inventarnummer, jedoch mit Fragezeichen, angeführt[5]. Als Fundort wird auch hier Capua genannt.

---

1 Für Auskünfte, Diskussionen und Hinweise bedanke ich mich sehr bei G. Giudice, J. Kraschitzer, M. Lehner, A. Lezzi-Hafter und G. Schwarz. Bezüglich Restaurierungsfragen ergeht mein Dank an R. Fürhacker. Für die Korrektur des Textes bin ich H. Dourdoumas sehr dankbar. Der Guttus Inv.-Nr. G 2 ist bereits publiziert: Katalog Institut, 75–77 Nr. 50 Abb. 66 f.

2 Maße: L mit Ausguss: 13,1 cm; H: 4,8 cm; H mit Ausguss: 7,6 cm; H Fuß: 1,7 cm; Dm Körper: 10,6 cm; Dm Fuß: 7,2 cm; Dm Medaillon: 4,7 cm; Dm Mündung (außen): max. 3,4 cm.

3 Die Standfläche ist durch Beanspruchung (Schmutz und Abrieb) dunkler als die Bodenplatte.

4 Das Gefäß wurde bei den Neuerwerbungen des *Archäologischen Cabinets* im Jahr 1876 in die Sammlung aufgenommen: „B. Originalien IV. Römische Alterthümer c. Thongefäße, Terrakotten, Glassachen. 60. Runde schwarze Lampe aus Capua mit Reliefdarstellung. Gekauft“. Interessant ist die Bezeichnung des Gefäßes als „Lampe“.

5 Im Inventarbuch G wird das Gefäß als „Guttus“ bezeichnet, indem es wahrscheinlich das Wort „Lampe“ korrigierte. „Altes Inventar: IV c60 ? Material: Ton. Fundort: Capua? Preis: 8 fl.?“. Das zweite Inventarbuch wurde von F. Gosch, damals wissenschaftliche Hilfskraft, im Jahr 1911/12 geschrieben; vgl. S. Karl, Zwei 1871 in Graz erworbene Marmorfragmente aus Ephesos. Ein Beitrag zur österreichischen Kriegsmarine in der Levante und zu ihrem Kontakt mit der Antike, in: B. Brandt – V. Gassner – S. Ladstätter (Hrsg.), Synergia. Festschrift für Friedrich Krinzinger I (Wien 2005) 113–118, bes. 113. Im Inventarbuch sind außerdem zwei kleine (ca. 2 × 2 cm) Fotos, Profil und Ansicht von oben, und eine kleine Profilskizze enthalten.

Abb. 1: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Profilansicht (Foto J. Kraschitzer)

Abb. 2: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Ansicht von oben (Foto J. Kraschitzer)

2 BENENNUNG DER GEFÄSSFORM

Die lateinische Bezeichnung „Guttus“ ist in der antiken Literatur bezeugt und bezeichnet ein Gefäß, das Wein oder Öl beinhaltet[6]. Es wird festgestellt, dass sein Inhalt sukzessiv und tropfenweise ausgegossen wird[7]. Als Material wird unter anderem auch Ton verwendet[8]. Weder wird das Erscheinungsbild der Gutti in den antiken Quellen beschrieben, noch werden Gefäße dieser Art in bildlichen Quellen gezeigt[9]. Aus diesem Grund ist eine Identifikation des Begriffes „Guttus“ mit dem Grazer und anderen Gutti fraglich[10]. Von der Forschung wird jedoch konventionell der Name „Guttus“ verwendet.

Unter diesem Begriff wird heute ein Gefäß auf niedrigem oder hohem Fuß, mit elliptischem, rundem oder eckigem, meistens geriefeltem Gefäßkörper, mit einer Tülle (hoch oder niedrig trompetenförmig oder in Form eines Löwenkopfes) und einem am Körper angesetzten Ringhenkel in einem Winkel von ca. 90° zu der Tülle, beschrieben.

3 ERHALTUNGSZUSTAND

Während der Bearbeitung des Gefäßes wurden Unregelmäßigkeiten entdeckt, die zu einigen Bedenken geführt haben. Zuerst war die Form der Mündung besonders auffällig (Abb. 1). Die Tülle mit der abfallenden Lippe und der verhältnismäßig kleinen Öffnung zeigt eine ungewöhnliche Form. Mündungen dieser Art konnten bei Gutti in der Literatur nicht gefunden werden[11]. Die genaue Auseinandersetzung mit dem Gefäß ließ außerdem erkennen, dass unterhalb der schwarzen Oberfläche und zwischen dieser und dem tongrundigen Körper des Gefäßes eine dünne helle, z. T. weiße Schicht zum Vorschein kam. Beide, aber vor allem die zweite Beobachtung, gaben Anlass für eine genauere Untersuchung.

Die in der Folge durchgeführte makro- und mikroskopische Analyse[12] hat die Existenz der hellen Schicht bestätigt. Diese ist an der Mündung (Abb. 3), am Fußring (Abb. 4) und an der Bruchkante des Ringhenkels (Abb. 5) vorhanden. An der Bruchkante des Ringhenkels ist die weiße Masse durch Verschmutzungen grau verfärbt. Weiße Stellen wurden auch am Medaillon entdeckt; sie weisen aber im Gegensatz zu den übrigen Stellen eine wachsartige Substanz auf (evtl. Paraffin).

Erst aufgrund von Absplitterungen am Bauch des Guttus (Abb. 6) trat die ursprüngliche Oberfläche in Erscheinung, die von der schwarzen Übermalung farblich deutlich abweicht. Die authentische Engobe ist braun, heller und matter als die Oberfläche (very dark grey, Munsell Soil color charts HUES 5YR 3/1). An einigen kleinen abgeplatzten Stellen der Engobe ist der ziegelfarbene Ton erkennbar. Am konkaven Teil des Fußes kommt bei einer Absplitterung in der Oberfläche unter der Ausgleichsschicht rote Farbe zum Vorschein[13] (Abb. 4). Es handelt sich um rote Engobe, die Gutti dieser Gattung gewöhnlich zeigen[14]. Mit dieser Farbe sind der konkave und der glatte Teil des Fußes versehen. Faktum ist, dass die sichtbare schwarze Oberfläche

---

6 RE VII (1912) 1953 f. s. v. Guttus (R. Zahn). Jentel, gutti, 28. M. Ulizio, Due Forme vascolari di uso non comune: I Gutti e gli Askoi della collezione Faina di Orvieto, in: Italia antiqua. Storia dell’Etruscologia tra archeologia e storia della cultura. Atti del II corso di perfezionamento. L’arte e la produzione artigianale in Etruria (Orvieto 2006) 279–306, bes. 284 f., fasst die Funktionen bei den verschiedenen antiken Autoren zusammen: Als Gießgefäß zur Opferung: Plin. nat. 16, 185; Hor. s. 1, 6, 118; als Gefäß zum Einschenken auf dem Speisetisch: Varro ling. 5, 124; oder zum Servieren von Speiseöl: Gell. 17, 8, 5; in der Palästra für die Athleten zum Einreiben mit Salböl: Iuv. 3, 262; 11, 158.

7 „*minutatim*“, Varro ling. 5, 124.

8 Aus Buchenholz, Plin. nat. 16, 185; aus Metall, Gell. 17, 8, 5; aus Horn bzw. aus Rhinozeroshorn, Mart. 14, 52 f.; Iuv. 7, 130.

9 Wie z. B. Lekythoi vor Grabstelen, Aryballoi, die von Athleten verwendet wurden, oder Schalen, Kratere etc. bei Symposien.

10 Selbst die antiken Quellen sind problematisch. Die ältesten bekannten Texte stammen aus dem 1. Jh. v. Chr. M. O. Jentel bemerkt, dass die Bezeichnung, den die Töpfer für diese Gefäße verwendet haben, ein aktueller, lokaler Dialekt in Apulien und Lukanien, und nicht die lateinische Bezeichnung „Guttus“ war; vgl. Jentel, gutti, 28.

11 Die Mündung ist meistens profiliert. Gutti mit trichterförmiger Mündung: CVA Louvre 15 Taf. 16, 2–12; 17–18; 19, 1–12; 20, 1–6. 8–14; Morel, Céramique, Nr. 8140, 8141 Taf. 208–209; Jentel, gutti, Taf. 19–73.

12 Die makro- bzw. stereomikroskopischen und radiologischen Untersuchungen zur historischen Restaurierung und Herstellung des Guttus wurden von R. Fürhacker durchgeführt und dokumentiert.

13 Eine Absplitterung war bereits im Profilfoto des zweiten Inventarbuches (vgl. Anm. 5) sichtbar.

14 CVA Genf 3 Taf. 38, 3; CVA Louvre 15 Taf. 29, 16–22; 30, 1–9. 12–14. 18; CVA Tarent 4 Taf. 48, 1–6.

Abb. 3: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Detail an der Mündung (Foto R. Fürhacker)

Abb. 4: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Detail am Fuß (Foto R. Fürhacker)

Abb. 5: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Detail am Henkel (Foto R. Fürhacker)

Abb. 6: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Detail der Oberfläche (Foto R. Fürhacker)

neuzeitlichen Ursprungs ist, deren genaue Beschaffenheit jedoch nur durch noch ausstehende naturwissenschaftliche Untersuchungen identifiziert werden kann.

Die anschließenden bildgebenden Verfahren (Röntgen, Abb. 7, und vor allem Computertomografie[15], Abb. 8) konnten Erklärung für manche dieser Unklarheiten anbieten.

Zuerst wurden gewisse Ungereimtheiten bezüglich der Oberfläche geklärt. Die Oberfläche, d. h. die schwarze Übermalung, ist in den Bildern zwar nicht sichtbar – entweder aufgrund ihrer Materialbeschaffenheit oder weil sie zu dünn ist. Hingegen ist die darunter liegende weiße Ausgleichsmasse sehr deutlich zu erkennen (Abb. 8). Diese umfasst einen großen Teil des Körpers, ausgespart sind die Unter- und Innenseite des Fußes, der Tubus und das Medaillon. Deutlich ist die ungleiche Dicke der Ausgleichs- bzw. Kittmasse zu sehen. Besonders stark ist sie im Bereich des Ausgusses, des Ringhenkels sowie im oberen Teil des Fußes. Die „neue“ Ausgleichsschicht ist wahrscheinlich mit einem hohen Bleiweißanteil versetzt, was die hohe Dichte in der CT erklären würde. Diese Ausgleichsmasse wurde auf der originalen Oberfläche aufgetragen und war eine Art Grundierung für die schwarze Übermalung[16].

Im Besonderen die CT erlaubt jedoch auch einen Einblick in die Materialbeschaffenheit selbst. Die Substanz der Mündung besitzt eine höhere Dichte als der Gefäßkörper; darüber hinaus ist ihre Wandstärke größer

[15] Die radiologischen Untersuchungen wurden am Österreichischen Giesserei-Institut in Leoben von D. Habe durchgeführt und die Ergebnisse in Kooperation mit R. Fürhacker analysiert und interpretiert. Über die Computertomografie als Methode in der Untersuchung historischer Restaurierungen von Keramik vgl. R. Fürhacker – S. Karl in diesem Band, zum Guttus bes. Kap. 3.2 Tabelle 1.

[16] Die genaue Zusammensetzung der Kittmasse ist wegen fehlender naturwissenschaftlichen Untersuchungen noch nicht bekannt.

Abb. 7: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; Röntgen-Bild (ÖGI, D. Habe)

Abb. 8: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; CT-Bild, Profil-Schnitt (Visualisierung und grafische Bearbeitung R. Fürhacker)

Abb. 9: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; CT-Bild, Profil – Detail (Visualisierung und grafische Bearbeitung R. Fürhacker)

Abb. 10: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; 3D-CT-Bild, horizontaler Schnitt – untere Hälfte, innen (Visualisierung R. Fürhacker)

als der Ausgussansatz am Körper (Abb. 9). Der ursprüngliche Ausguss war in einem etwas steileren Winkel angebracht, wie die Fortführung der Kanten des Ansatzes deutlich macht.

Die Vorgangsweise lässt sich wie folgt rekonstruieren: die offenbar fehlende Mündung wurde aufgrund des damaligen Kunstverständnisses ergänzt[17]. Die Bruchfläche wurde geschliffen und eine neue Mündung aufgesetzt. Darüber wurde die Ausgleichs- bzw. Kittmasse aufgetragen und abschließend schwarz übermalt[18]. Die neue Mündung ist, wahrscheinlich aufgrund der Fragilität dieser Stelle, später noch einmal gebrochen. Sie wurde erneut geklebt, allerdings ohne eine entsprechende Retuschierung des Bruches. Dies erfolgte wohl nach dem Erwerb im Jahre 1876 und vor dem Erfassen im Inventarbuch (1911/12)[19].

Solche Mündungen mit ausfallender Lippe und enger Öffnung zeigen unteritalische Vasen, wie Alabastra oder Flaschen, sowohl im rotfigurigen als auch im Gnathia Stil[20]. In all diesen Fällen ist die Mündung mit schwarzer Engobe versehen. Durch die Abplatzung an der Mündung kann man jedoch nicht nur die weiße Kittmasse erkennen sondern auch den Tongrund darunter und somit eine schwarze Engobe ausschließen. Die Frage, ob die Mündung antik oder modern ist, kann so aber nicht beantwortet werden. Eine abschließende Klärung des Alters der Mündung kann auch eine allfällige Thermolumineszenzuntersuchung nur mehr mit Einschränkungen bringen[21].

Auch ein zweiter Bruch, der vor der Untersuchung nur zu vermuten war, hat sich nunmehr bestätigt (Abb. 8). Er liegt im Ansatzbereich des Fußes (Abb. 10) und verläuft glatt und durchgehend um den ganzen Fuß. Der Bruch wurde nicht ganz perfekt geklebt; auch hier wurde anschließend mit Ausgleichsmasse nachgebessert und übermalt. An jener Seite des Guttus, an der sich der Ringkenkel befindet, fehlt an dieser Bruchlinie ein kleines Fragment. Diese Lücke wurde ebenfalls mit weißer Kittmasse aufgefüllt.

---

17 Pfisterer-Haas, Topf, 12 f. Abb. 2.1–2.2. Die Restauratoren der Neuzeit hatten den zeitgenössischen Kunstliebhabern möglichst perfekte und vollständige Objekte zu liefern. Intakte Einzelteile, sowohl antike als auch neu gebrannte Keramikscherben, wurden zusammengesetzt (Pasticcio). Bourgeois, restauratori, 42 f.: der fehlende Henkel der Amphora MTC 1012 wurde durch eine neu in niedriger Temperatur gebrannte Keramikscherbe ersetzt. Zuerst wurde das neue Fragment vorsichtig geklebt und dann übermalt. Diese Restaurierung ist im 19. Jh. geschehen. M. Sannibale, The Vase Collection of the Gregorian Etruscan Museum. An Attempt to reconcile History of Restoration, Philological Aims and Aesthetics, in: Bentz – Kästner, Konservieren, 49–55, bes. 49 f.

18 Eine antike Scherbe aus Leipzig wurde mit Gips überzogen und modern bemalt; vgl. Pfisterer-Haas, Topf, 16 Abb. 2.6.

19 Das Foto (Ansicht von oben) im zweiten Inventarbuch zeigt den Guttus mit gebrochener, geklebter, aber unretuschierter Mündung. Da das Foto sehr klein ist, kann nur die Bruchkante erkannt werden. (s. auch Anm. 4. 5).

20 Alabastra: CVA Capua 4 Taf. 2, 6–7; CVA Frankfurt am Main 3 Taf. 49, 8–10; CVA Neapel 3 Taf. 69, 3. 12–13; CVA Würzburg 4 Taf. 50, 1–4; L. Forti, La ceramica di Gnathia (Neapel 1965) Taf. 2 b; Morel, Céramique, 402 Nr. 7134a 1 Taf. 201. Flaschen: Morel, Céramique, 402 Nr. 7132 Taf. 200.

21 Die Ergebnisse der Thermolumineszenzuntersuchung würden verfälscht sein, da die Struktur des Keramikmaterials durch die Bestrahlung verändert wurde; vgl. R. Erlach in diesem Band, 92–95.

Auch an der Schulter gegenüber dem Ausguss ist ein Fragment abgesplittert, durch Kittmasse ergänzt und anschließend, wie an den anderen Stellen, schwarz übermalt worden (Abb. 8).

Da der Körper des Grazer Guttus vollständig geschlossen ist, lässt er keinen Blick in sein Inneres zu. Mittels der CT kann aber auch die Innenkontur gesichtet werden. Der innere Tubus ist annähernd gerade und biegt im oberen Bereich nach außen um. So lässt er einen Spalt für eine effiziente Luftbewegung, die zum Ausschenken notwendig ist, frei. Zusätzlich wird jene Stelle sichtbar, an der der Gefäßkörper mit dem Ansatz des ursprünglichen Ausgusses verbunden war (Abb. 8 f.)[22].

Die CT-Bilder erlauben außerdem einige Rückschlüsse auf den Herstellungsprozess. So ist auch das Zusammenfügen des Medaillons mit dem Körper deutlich zu erkennen[23]. Dieser Teil ist als letztes Element aufgesetzt worden, als das Gefäß bereits in lederhartem Zustand war. Beide Teile – das Medaillon und das restliche Gefäß – waren ungefähr in dem gleichen, halbtrockenen Zustand, als sie miteinander verbunden wurden[24], und sind aus dem gleichen Ton hergestellt.

Die CT-Bilder geben auch Hinweise auf die Beziehung des Henkels zum Gefäß (Abb. 11). Der Henkelstumpf gehört zum Originalbestand des Gefäßes. In diesem Bereich wurde reichlich Ausgleichsmasse auf der Oberfläche als Grundierung aufgetragen. Nach der Restaurierung des Gefäßes im 19. Jh. ist der obere Teil des Henkels abgebrochen und fehlt jetzt[25].

Die weiße Ausgleichsmasse kam besonders großzügig am Ausguss und am Henkel, im Bereich des Bruches zwischen Fuß und Körper sowie an der gerippten Schulter im Bereich der abgeplatzten Oberfläche zum Einsatz (Abb. 12).

4 FORM

Gutti mit schwarzer Engobe wurden in Athen seit Anfang des 4. Jhs. produziert[26]. In der hellenistischen Zeit lebt die Form weiter, es entstehen aber auch neue Varianten[27]. Gutti wurden auch im italischen Raum produziert, in Etrurien[28], Apulien[29], Kampanien[30] und Sizilien[31]. Die Gestalt ist anders als bei den attischen Beispielen.

---

22 Die Gutti wurden in zwei Phasen (vgl. Anm. 23) und in zwei Techniken hergestellt. Der Körper des Gefäßes wurde auf der Töpferscheibe gedreht. Im Bereich zwischen Schulter und Bauch wurde ein Loch für den Ausguss gebohrt. Dieser war röhrenförmig und wurde am Rand des Loches befestigt; vgl. Jentel, gutti, 24.

23 In der zweiten Phase der Herstellung des Guttus wurde das Medaillon an der oberen Seite des Gefäßes fixiert. Das Medaillon ist eine Tonplatte, die mithilfe einer Matrize gefertigt worden war. Nach der Platzierung des Medaillons ist dieses mit Tonschlicker auf dem Körper der Vase befestigt worden; Jentel, gutti, 25.

24 Jentel, gutti, 25, bemerkt, dass das Medaillon und das Gefäß halbwegs trocken sein müssen. Falls das Medaillon feucht und weich ist, kann es an der Wandung einstürzen.

25 Das Foto im zweiten Inventarbuch zeigt den Guttus mit gebrochenem Henkel (s. auch Anm. 5).

26 Der Körper der attischen Gutti ist rund und steht auf einem niedrigen Fuß. Der Ringhenkel ist in der Regel geriefelt. Markant für das neue Gefäß ist die Mündung, die aus dem Gefäßkörper senkrecht herausragt. Die Gutti wurden aus den schon seit dem 5. Jh. bestehenden Askoi weiterentwickelt; vgl. Agora 12, 160 Abb. 11 Taf. 39.

27 Agora 29, 172–175 Abb. 71 Taf. 83 f.

28 Die Gutti aus Etrurien besitzen einen bauchigen, runden Körper auf zylindrischem schmalem Fuß und haben ihre Blütezeit im 3. Jh. v. Chr.; vgl. Jentel, gutti, 27. 39–80 Nr. ET I – ET IV. Morel, Céramique, 420 Nr. 8111–8112 Taf. 208.

29 Die apulischen Gutti werden anhand ihres Profils und Fußes in vier Kategorien unterteilt. Gutti mit hohem Fuß, „à reservoir", Gutti mit mittlerem und niedrigem Fuß; vgl. Jentel, gutti, 27. 95–446. – H. Herdejürgen hat die Gutti in zwei Kategorien eingeteilt: Gutti mit niedriger Tülle und Fuß und diejenigen mit hoher Tülle und Fuß; vgl. H. Herdejürgen, Zur Funktion der sog. Calenischen Gutti, in: Ancient Greek and related pottery. Proceedings of the international vase symposium. Amsterdam 12–15 April 1984 (Amsterdam 1984) 282–288, bes. 285–288.

30 Gutti mit schwarzer Engobe und Reliefmedaillon werden als calenisch bezeichnet. Der Name wird von der kampanischen Stadt Cales abgeleitet und die Gefäße dieser Gattung werden den dortigen Werkstätten zugewiesen; vgl. R. Pagenstecher, Die calenische Reliefkeramik, JdI Ergh. 8 (Berlin 1909). Pagenstecher a. O. 128. 137, unterteilt die Gutti anhand ihrer Form in zwei Gruppen: Die Gutti mit niedrigem Fuß und Tülle seien kampanisch, diejenigen mit hohem Fuß und Ausguss apulisch. Diese Unterteilung wurde später nicht mehr durchgeführt. Die Gutti mit gewöhnlich langem Ausguss und seitlichem Ringhenkel sind im Gegensatz zu den attischen Askoi unteritalische Erzeugnisse; die unteritalischen Gutti imitieren attische Askoi; vgl. G. M. A. Richter, Calenian Pottery and Classical Greek Metalware, AJA 63, 1959, 240–249, bes. 242 f. Anm. 16.

31 Gutti-Pyxiden zeigen einen ziemlich hohen Bauch und eine kleine stilisierte Löwenkopfmündung; vgl. Jentel, gutti, 27 und 83–92 Nr. GP I – GP II; Morel, Céramique, 425 Nr. 8181a–8182a Taf. 211.

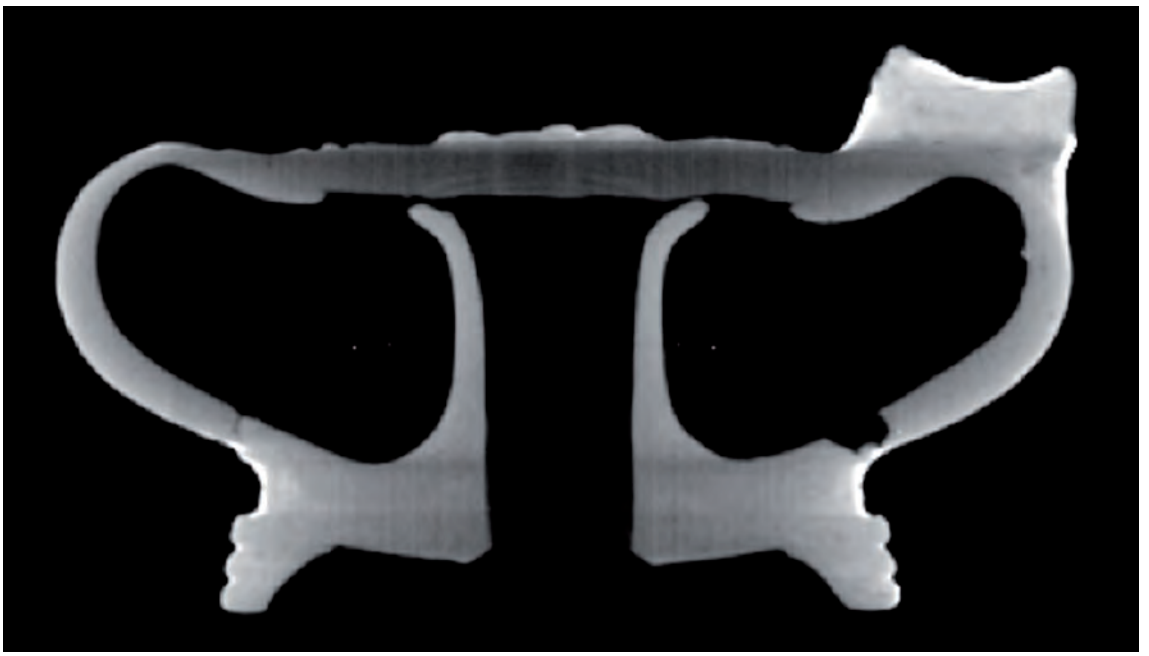


Abb. 11: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; CT-Bild, Profil-Schnitt (Visualisierung und graphische Bearbeitung R. Fürhacker)

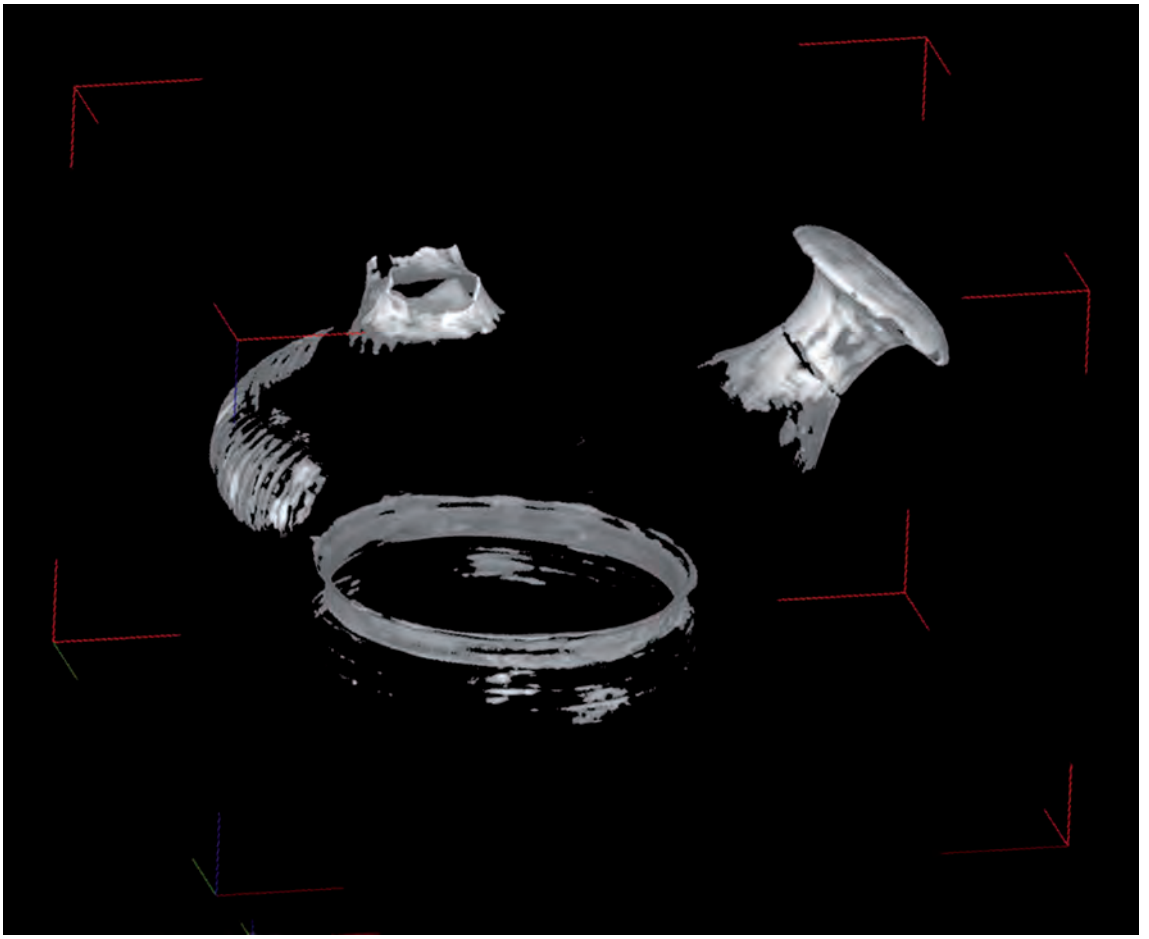


Abb. 12: Guttus, Institut für Archäologie, KFUG, G 2; 3D-CT-Bild, Visualisierung der Ausgleichsmasse (Visualisierung ÖGI, D. Habe)

Von J. P. Morel werden die Gutti anhand ihrer Form in acht Kategorien unterteilt[32]. Ein Vergleich des Grazer Guttus mit Morels Exemplaren zeigt, dass er der Gruppe Nr. 8140 bzw. 8141 angehört[33]. Die Gefäße dieser Gruppe besitzen einen betonten Bauch, der maximale Durchmesser befindet sich in der Mitte des Bauches. Die Ausgusstülle ist schräg nach oben gerichtet. Der Fuß ist mittelhoch und kräftig. Der obere, konkave Teil ist glatt und mit roter Engobe, der untere Teil dagegen ist profiliert und mit schwarzer Engobe versehen. Der Grazer Guttus besitzt zusätzlich einen inneren Tubus. Die Form ähnelt im Besonderen den Exemplaren Nr. 8141d 2 und Nr. 8141f 1 bei Morel[34]. Vor allem bei dem ersten Gefäß sind Körper und Fuß dem Grazer Exemplar sehr ähnlich, nur besitzt es keinen inneren Tubus wie das zweite Beispiel.

Eine dem Guttus ähnliche Gefäßform ist der Askos[35]. Beim Askos handelt es sich um eine kleine Gefäßform mit niedrigem Ringfuß, langem oder rundem Bauch, schräger oder nahezu senkrechter röhrenförmiger Mündung und Bügelhenkel[36]. An der Oberseite zeigen einige ein Relief[37]. Rotfigurige[38] sowie mit schwarzer Engobe bemalte Askoi[39] in unterschiedlichen Formen werden in Athen jeweils seit der Mitte sowie dem zweiten Viertel des 5. Jhs. produziert, aber ebenso in Unteritalien hergestellt[40].

Morel fasst Gutti und Askoi mit Relief in einer Kategorie zusammen, teilt diese jedoch in Untergruppen[41]. Typische Merkmale der Differenzierung sind die Form des Henkels, die Gestaltung des Bauches und der Tülle. Der Guttus besitzt einen Ringhenkel; Henkel und Mündung liegen in einem Winkel von ca. 90° zueinander[42]. Charakteristisch für einen Askos ist der Bügelhenkel; dieser sitzt an der Stelle, an der der Ausguss mit dem Körper zusammenstößt, reicht bogenförmig quer über den Körper bis zu der gegenüberliegenden Seite des Gefäßes[43]. Auch ist der Bauch der Gutti gewöhnlich geriefelt, während jener der Askoi glatt ist. Ein anderes Unterscheidungskriterium zwischen beiden Gefäßarten liegt in der Gestaltung der Tülle. Bei den Gutti ist die Tülle schräg nach oben gerichtet, während bei den Askoi der Ausguss annähernd senkrecht nach oben weist. In der Forschung werden diese Begriffe aber gelegentlich miteinander vermischt[44].

---

32 Morel, Céramique, 421–426: Diese sind fast vollständig geschlossene Gefäße. Anhand des Profils und der Existenz einer zweiten Öffnung hat der Autor folgende Kategorien erstellt: Nr. 8110 Taf. 208: Gutti mit rundem oder eckigem Körper und Öffnung am Boden, um das Gefäß mit Flüssigkeit zu befüllen; Nr. 8120 Taf. 208: Gutti mit Hals und ohne Bodenöffnung; Nr. 8130 Taf. 208: Gutti mit rundem Körper und abgerundeter, sowie senkrechter Wandung; Nr. 8140 Taf. 208: mit rundem, aber nicht sphärischem Körper; Nr. 8150 Taf. 210: mit Öffnung an der oberen Seite; Nr. 8160 Taf. 210: Gutti wie Nr. 8150 aber mit bauchigem Körper; Nr. 8170 Taf. 210: maximaler Durchmesser im oberen Teil des Körpers; Nr. 8180 Taf. 211: Gutti mit eckigem Bauch.

33 Morel, Céramique, 421–423 Taf. 208–209.

34 Der innere Tubus stellt keine Füllöffnung dar wie bei den Beispielen Nr. 8110; vgl. Morel, Céramique, 422.

35 DNP II (1997) 10 f. s. v. Askos (I. Scheibler). Seine griechische Bezeichnung bedeutet Weinschlauch aus Leder. Der Name „Askos“ geht auf die Episode aus dem Mythos des Wettkampfes zwischen Apollon und Marsyas zurück. Plat. Euthyd. 285d; Nonn. Dion. 19, 317 f.; vgl. RE XIV 2 (1930) 1991 s. v. Marsyas 6 (R. Laquer).

36 Nr. 8200: Askoi Schlauchform; Nr. 8300: Ring-Askoi; Nr. 8400: linsenförmige Askoi; vgl. Morel, Céramique, 426–433 Taf. 213–215.

37 G. M. A. Richter – M. J. Milne, Shapes and names of Athenian vases (New York 1935) 17 f. Abb. 112–113; Jentel, gutti, 27 f. und 384–446 Nr. AP XV–XIX. Bei den Askoi sind Schulter und Körper glatt.

38 Agora 30, 55–57 Nr. 1149–1186 Taf. 109–112; J. Beazley, An askos by Macron, AJA 25 1991, 325–327.

39 Agora 12, 157–160 Nr. 1166–1191 Taf. 39. In hellenistischer Zeit läuft die Form mit Veränderungen weiter: vgl. Agora 29, 171 Nr. 1126–1130 Taf. 83.

40 K. Schauenburg, Askoi mit plastischem Löwenkopf, RM 83, 1976, 261–271.

41 Morel, Céramique, 418 f. Taf. 208–215: Nr. 8100: Gutti (anse latérale) und Nr. 8200: Askoi (anse supérieure).

42 Der Ringhenkel eines Guttus befindet sich immer rechts vom Ausguss, von der Seite des Ausgusses betrachtet. Der Guttus wurde eher von Rechtshändern verwendet, da für Linkshänder die Stelle des Henkels und des Ausgusses sehr unbequem ist. Dieses Problem gibt es allerdings nicht bei der Verwendung von Askoi; vgl. Jentel, gutti, 24 Anm. 21; M. Ulizio, Due Forme vascolari di uso non comune: I Gutti e gli Askoi della collezione Faina di Orvieto, in: Italia antiqua. Storia dell'Etruscologia tra archeologia e storia della cultura. Atti del II corso di perfezionamento. L'arte e la produzione artigianale in Etruria (Orvieto 2006) 279–306, bes. 291 Anm. 46.

43 Vgl. Ulizio a. O. (Anm. 42) 293; N. Camerin, Un gruppo di askoi e gutti a vernice nera con decorazione plastica dalla necropoli spinetica di Valle Trebba, Musei Ferraresi 16, 1988/89, 9–26, bes. 16 Anm. 34; E. Simon, Führer durch die Antikenabteilung des Martin-von-Wagner-Museums der Universität Würzburg (Würzburg 1975) 207.

44 U. Rüdiger, „Askoi“ in Unteritalien, RM 73/74, 1966/67, 1–9, bes. 3 Anm. 12; CVA Bochum 2 Taf. 75, 11: In der Überschrift ist das Gefäß als Askos bezeichnet, in der Beschreibung der Form ist der Name „Guttus“ verwendet. CVA Reading Taf. 36, 11–13: Das Gefäß wird als „Guttus (Askos)“ bezeichnet.

5 PROVENIENZ UND DATIERUNG

Das Medaillon zeigt eine Kampfszene aus der Amazonomachie. Die gleiche Szene ist auch auf Gutti in Genf, Zürich und Amsterdam sowie auf einem Model in Paestum zu sehen[45].

Die Form des Guttus, die Szene auf dem Medaillon in Kombination mit der Fundortangabe „Capua“ können als Hinweise für die Annahme des Grazer Guttus als kampanisches Produkt gelten[46].

Die Annahme R. Pagenstechers[47], dass die kampanischen Gutti spätere Erzeugnisse als die apulischen sind und zwar in das 3. bzw. an den Beginn des 2. Jhs. v. Chr. gehören, ist heute überholt. Jentel[48] datiert die apulischen Gutti in die zweite Hälfte des 4. Jhs. Dadurch, dass die apulischen und kampanischen Gutti in Form und Reliefdekor keine großen Unterschiede zeigen, könnten beide Typen gleichzeitig datiert werden: in die 2. Hälfte des 4. Jhs. v. Chr.[49]. Auch für den Grazer Guttus ist eine Datierung in diese Zeit anzunehmen.

6 RESÜMEE

Die Anwendung erweiterter naturwissenschaftlicher Methoden hat gezeigt, dass auch eine sehr ausführliche archäologische Untersuchung eines Objekts alleine nicht zu vollständigen Ergebnissen führen kann. Durch die mikro- und makroskopische Untersuchung wurden Details, die mit freiem Auge nicht zu sehen sind, erkannt. Die zwei bildgebenden Verfahren, Röntgenaufnahmen und vor allem die industrielle 3D-Computertomografie, erlauben nun genauere Aussagen und bestätigen gewisse Hypothesen. Die Kombination beider Methoden lieferte mit Unterstützung einer speziellen Software ein dreidimensionales Bild, so dass das Gefäß in seinem vollen Umfang wahrgenommen werden konnte, auch mit seiner Innenkontur. So lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf den Herstellungsprozess und auf technologische Besonderheiten ziehen: Fuß, Henkel, Tülle und Medaillon wurden getrennt getöpfert.

Bei der CT-Untersuchung wird jedes Material entsprechend seiner Dichte abgebildet. Heterogene bzw. fremde Substanzen, die auf rezente Restaurierungen hinweisen, konnten so identifiziert werden. Teile des Guttus, die im 19. Jh. zur Vervollständigung des Objektes hinzugefügt wurden, wurden erkannt. Die neu eingesetzte Tülle, die Grundierungsmasse und die Übermalung der Oberfläche sind Komponenten, die das Erscheinungsbild des Objektes markant veränderten bzw. sogar verfälschten.

---

45 CVA Genf 1 Taf. 38, 5; CVA Zürich 1 Taf. 55, 7 f.; Amsterdam, Allard Pierson Museum Inv.Nr. 8594, P. G. P. Meyboom, Amazonomachies on „calenian“ Gutti, in: Enthousiasmos. Essays on Greek and related pottery presented to J. M. Hemelrijk. Allard-Pierson Series 6 (Amsterdam 1986) 193–202, bes. 200 Abb. 8 f. – Model aus Paestum: G. M. A. Richter, Calenian Pottery and Classical Greek Metalware, AJA 63, 1959, 240–249, bes. 243 Taf. 51 Abb. 1; Jentel, gutti, Taf. 4 Abb. 9 a; Meyboom a. O. 201 Abb. 11. – Moderner Abdruck dieses Motivs: Richter a. O. Abb. 2; Jentel, gutti, Taf. 4 Abb. 9 b.

46 CVA Göttingen 1 Taf. 47, 7 f. Zwei Reliefmedaillons in Göttingen zeigen das gleiche Motiv wie der Grazer Guttus, jedoch mit Protagonisten in vertauschten Rollen. Beide Exemplare stammen aus Capua.

47 Pagenstecher a. O. (Anm. 30) 2 f. 105. 155.

48 Jentel, gutti, 30–33.

49 M. Bentz in: CVA Göttingen 1, S. 63 Taf. 47, 7 f.

PILOTSTUDIE ZUR VISUALISIERUNG UND UNTERSUCHUNG VON ANTIKEN VASEN*

Leonid Dimitrov, Milos Šrámek, Emanuel Wenger,
Claudia Lang-Auinger, Elisabeth Trinkl

Vasen und Keramiken allgemein sind wichtige Zeugnisse und Informationsquellen aus der Antike. Ihre Untersuchungen nehmen daher einen bedeutenden Platz in der archäologischen Forschung ein. In dieser Pilotstudie präsentieren wir eine leistungsfähige Methode zur Visualisierung, Vermessung und Analyse von Vasen. Das Objekt wird dabei mittels eines industriellen Computertomographen erfasst, aus den CT-Daten ein Volumenmodell erstellt, vermessen, analysiert und graphisch dargestellt.

1 METHODE

Archäologische Objekte, wie z. B. Vasen sind fragil, sehr oft unvollständig erhalten und extrem kostbar, da einmalig. Daher sind konventionelle Methoden zur Vermessung und Materialbestimmung in vielen Fällen nicht geeignet. Ein Aufnahmeverfahren, das berührungsfrei, mit hoher Genauigkeit und schnell arbeitet, ist die industrielle Computertomographie (CT). Die CT wurde ursprünglich für die Humanmedizin entwickelt, um nichtinvasiv Einblicke in den menschlichen Körper zu liefern. Industrielle CT-Scanner zum Testen von Materialien arbeiten mit höheren Röntgenintensitäten und längeren Bestrahlungszeiten als jene, die in der Humanmedizin zum Einsatz kommen. Dadurch ergeben sich wesentlich höhere Auflösung, Genauigkeit und Eindringtiefe. Objekte wie z. B. Vasen können vollständig durchleuchtet und komplett berührungsfrei erfasst werden[1].

Das Ergebnis eines CT-Scans ist eine Serie von ebenen Schnitten (Abb. 1). Diese Schnitte haben eine gewisse Dicke und lassen sich zu einem 3D-Volumenmodell aufschichten. Somit liefert der Tomograph volumetrische Daten, das heißt, 3D-Daten, die ein Objekt vollständig repräsentieren[2]. Es wird nicht nur die äußere Oberfläche des Objektes erfasst, sondern das ganze Objekt mit seinen inneren Hohlräumen, Inhomogenitäten im Material und sonstigen unsichtbaren Teilen. Die dabei vorkommenden 3D-Bildpunkte werden Voxel genannt (ihnen entsprechen im 2D-Fall die Pixel). Diese Voxel können als kleine Quader, in manchen Fällen auch als Würfel angesehen werden. Jedes Voxel ist mit einem numerischen Wert behaftet, der einen Absorptionswert in Bezug auf Röntgenstrahlen repräsentiert. Diesen Wert kann man zur Visualisierung als Grauwert interpretieren und so eine sogenannte Falschfarbendarstellung erzeugen.

---

* Im Rahmen einer Projektpräsentation wurden Teile der hier vorgestellten Daten bereits 2006 publiziert: Dimitrov et al., Visage.

1 Vgl. auch S. Karl – D. Jungblut – J. Rosc in diesem Band.

2 M. Levoy, Display of Surfaces from Volume Data, IEEE Computer Graphics and Applications 8(3), 1988, 29–37; R. A. Drebin – L. Carpenter – P. Hanrahan, Volume rendering, SIGGRAPH Computer Graphics 22(4), 1988, 65–74; P. Novotny – L. I. Dimitrov – M. Šrámek, Enhanced voxelization and representation of objects with sharp details in truncated distance fields, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 16(3), 2010, 484–498.

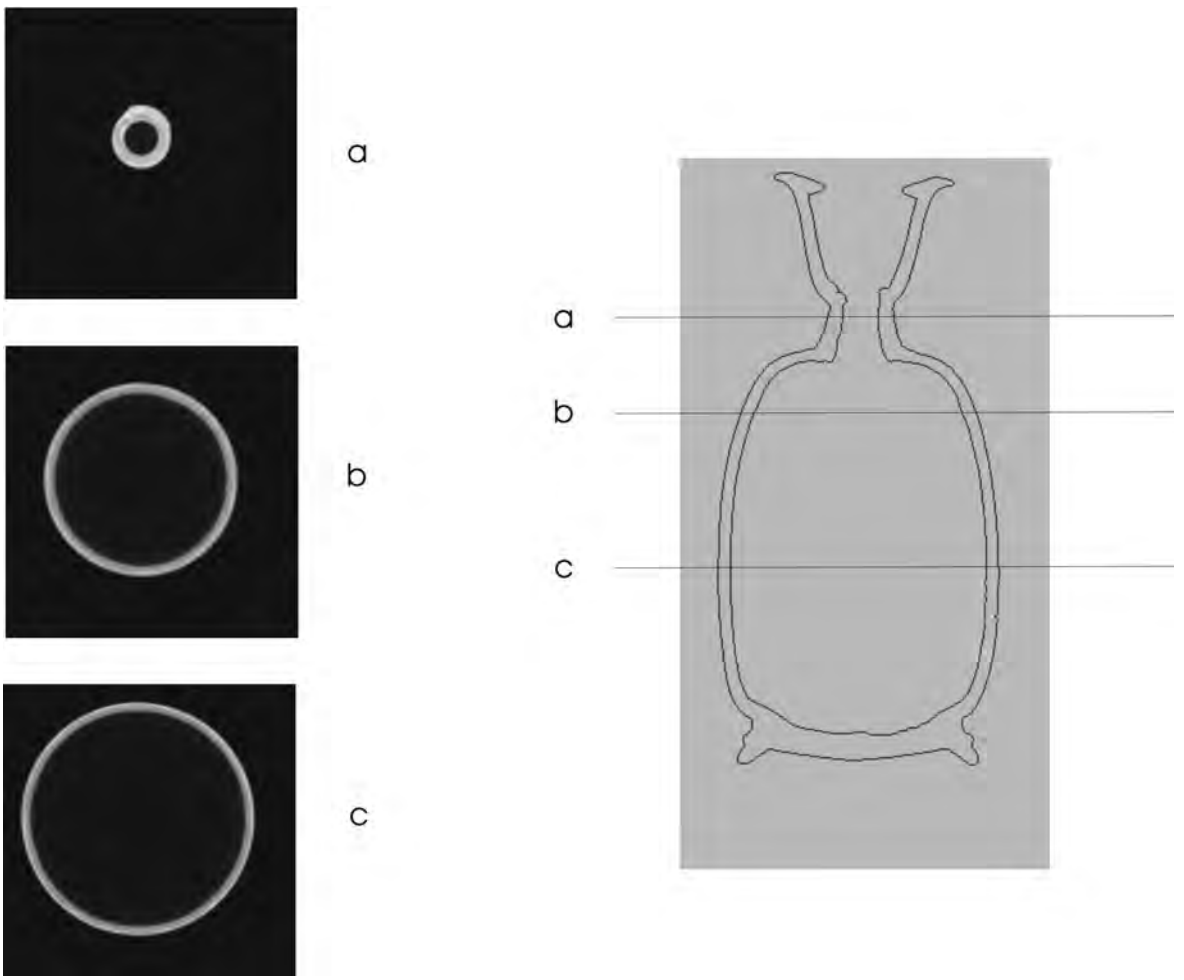


Abb. 1: Drei Beispiele für tomographische Schnittbilder des Testobjektes (Vase) an den Positionen a, b und c (© VISCOM, ÖAW)

Abb. 2: Süditalische Bauchlekythos. Wien, Privatbesitz (© IKANT, ÖAW, Foto N. Gail)

2 PILOTSTUDIE

Die Pilotstudio wurde an einer Bauchlekythos aus Ton (Abb. 2) – stammend aus Süditalien aus dem dritten Viertel des 4. Jhs. v. Chr. – durchgeführt.

Bauchlekythos, Gnathia-Ware
Wien, Privatbesitz
Höhe: 15,9 cm.
Beschreibung: Der schlanke Gefäßkörper sitzt auf einem breiten zweigeteilten Standring, bestehend aus einem profilierten unteren Teil und einer Kehle. Der Hals ist kurz, die glockenförmige Mündung lädt weit aus. Der Henkel fehlt.
Das Bild auf der Vorderseite zeigt einen nach links knienden, nackten androgynen Eros, vor ihm ein Schwan. Die Szene wird seitlich von je einer üppigen Ranke mit Blüten begrenzt. – Unter dem Bild läuft ein in Weiß aufgesetzter Laufender Hund zwischen je zwei geritzten Linien; auf der Schulter liegt ein Eierstab mit geritzten Schalen, wiederum zwischen je zwei geritzten Linien. Zungenstab am Hals.
Vergleiche: Allgemein zur Gnathia-Ware s. J. R. Green, Some Gnathia Pottery, Greek Vases in the Getty 3, 1985, 115–138. – Zum Bildthema s. W.-D. Albert, Zu den Darstellungen des Eros in Unteritalien (Amsterdam 1979) 60–62: Eros kauert vor einer sitzenden Frau, die Sandale bindend; 92 f.: kauernder Eros mit Ente. Fliegende, stehende und sitzende Eroten sind gut belegt, kniende bzw. hockende eher selten; die Kombination von Tier und Eros ist häufig, aber unterschiedlich dargestellt. Allgemein zum Eros und dessen Bedeutung in der unteritalischen Vasenmalerei s. R. Hurschmann, Die Macht der himmlischen Kraft: Eros, in: Die Lebenden und die Seligen. Unteritalisch-rotfigurige Vasen der Dresdner Skulpturensammlung (Dresden 2003) 77–90. Zur Entwicklung verschiedener Typen der Darstellung des Eros s. M. Bentz – F. Rumscheid, Griechische Vasen aus Unteritalien aus der Sammlung des Archäologischen Instituts der Georg August-Universität (Göttingen 1987) 52 f. Vgl. auch Bauchlekythos London, British Museum 1906.1-19.1, CVA British Museum 1 IV Dc Taf. 4, 11; CVA-Online 9010616 und Alabastron Lecce, Museum 1301, CVA Lecce 1 Taf. 6, 3 f.; CVA-Online 9002233: Eros jagt eine Gans. – Zur Ranke vgl. Malibu, J. Getty Museum 86.AE.446, CVA Malibu 5 Taf. 277, 1–3; CVA-Online 1002399. In dem überreichen Pflanzengewirr auf vielen unteritalischen Vasen des 4. Jhs. zeigt sich eine „dionysische Glückseligkeit“, in der die Grenzen zwischen der göttlichen und menschlichen Sphäre aufgehoben sind; R. Hurschmann, Die Seligen in ihrer Welt und im Reich der Götter, in: Die Lebenden und die Seligen. Unteritalisch-rotfigurige Vasen der Dresdner Skulpturensammlung (Dresden 2003) 91–103.

Gescannt wurde die Bauchlekythos mit der Industriescanneranlage der Fachhochschule Oberösterreich in Wels. Dort stand ein Rayscan 250E 3D-CT-System mit zwei Röntgenröhren (225 kV und 450 kV) und einer Detektorauflösung von 1024*1024 pixel für die Aufnahmen zur Verfügung. Die Datenmenge für die gescannte Vase umfasste etwa 1 GB bei einer Auflösung von weniger als 0,2 mm.

Der Datensatz wurde durch die Softwarepakete f3d, ISEG, und VORTEX aufbereitet und visualisiert. Diese Softwarepakete sind alle Entwicklungen der Kommission für Wissenschaftliche Visualisierung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. F3d[3] besorgt die Vorverarbeitung und Aufbereitung der Scannerdaten. ISEG[4] ist ein Programm zur interaktiven Segmentierung der Daten. Mit diesem Programm bestimmt man, was man darstellen möchte. VORTEX[5] ist ein umfassendes Visualisierungsprogramm für volumetrische Daten.

3 DOKUMENTATION UND VISUALISIERUNG

Der volumetrische Datensatz kann sowohl für verschiedenartigste Visualisierungen als auch Vermessungen herangezogen werden. Aus den Daten des Scanners wird ein virtuelles digitales Modell erstellt, das eine exakte und komplette Kopie der Vase darstellt. Die Visualisierungsmöglichkeiten sind daher sehr vielfältig. Man verfügt über eine vollständige Repräsentation der Vase, die nicht nur aus den sichtbaren Oberflächen besteht, wie es etwa bei Methoden mit Laserscannern der Fall ist.

---

3 M. Šrámek – L. I. Dimitrov, f3d – a file format and tools for storage and manipulation of volumetric data sets, in: 1st International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (Padova, Italy, June 19–21, 2002) (Los Alamitos 2002) 368–371.

4 M. Šrámek, ISEG – A system for interactive segmentation of 3D tomographic data sets, in: J. Rozman (Hrsg.), Proc. of 12th International Conference Biosignal ’94 (Czech Republic, 1994) (Brno 1994) 48–51.

5 L. I. Dimitrov, Object-oriented design and implementation of VORTEX: a C++-class library with Tcl-interface for volume visualization, in: E. Wenger – L. I. Dimitrov (Hrsg.), Proceedings of the 6th International Workshop on Digital Image Processing and Computer Graphics (DIP-97), Applications in Humanities and Natural Sciences, Proc. of the International Society for Optical Engineering 3346 (Wien 1998) 155–166.

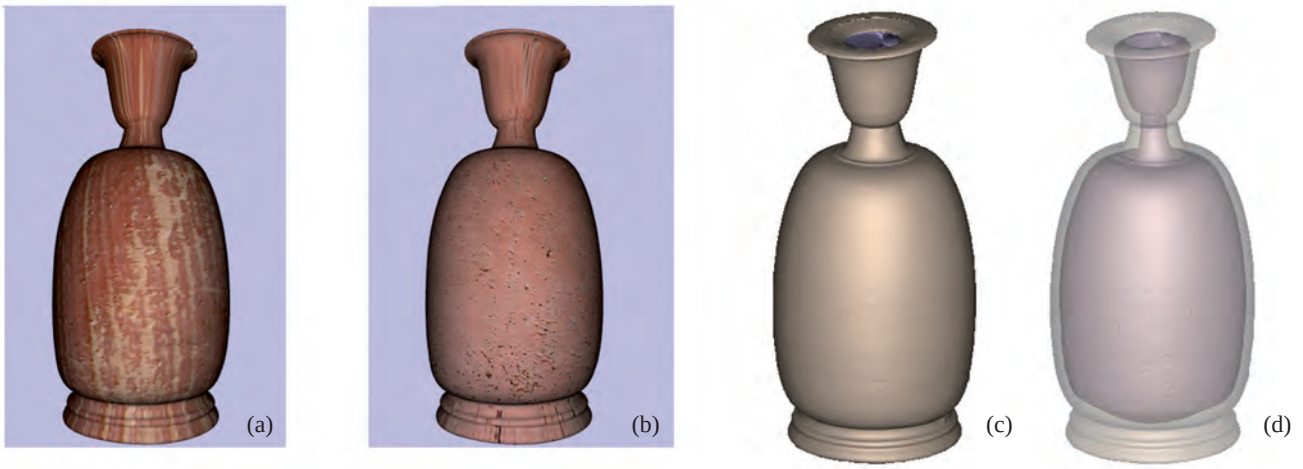


Abb. 3: Aus dem Volumenmodell rekonstruierte Vase; (a) und (b) mit Marmortexturen, (c) untexturierte Darstellung (d) Transparenzdarstellung (© VISCOM, ÖAW)

Nahezu eine Routineaufgabe ist es, aus dem volumetrischen Modell beliebige Ansichten des Objektes zu erstellen. Abb. 3 a–b zeigen zwei solche Darstellungen mit fiktiven Texturen. Um ein realistisches Farbbild der Vase zu generieren, müsste man ein Foto der Vase selbst hernehmen und dieses auf die Vase als Textur projizieren. In Abb. 4 a sieht man eine Darstellung des Vasenprofils und eine akkumulierte Darstellung aller Profile in Abb. 4 b.

Eine weitere interessante Möglichkeit ist, die Vase mit beliebigen klar definierten Ebenen schneiden oder beliebige Stücke aus der Vase herausnehmen zu können (Abb. 5 a–b). Abb. 5 c zeigt eine Darstellung des Inneren der Vase. Das digitale Modell kann auch als Ausgangspunkt für eine maßgetreue Erstellung einer Kopie mittels Stereolithographie genutzt werden.

4 ARCHÄOLOGISCHE SCHLÜSSE

Neben den visuellen Darstellungen kann man aus dem Volumenmodell jegliche Maßzahlen der Vase gewinnen. Dazu gehören neben Höhen- und Längenmaßen das Fassungsvolumen, die Wandstärken und auch die verbrauchte Materialmenge. Diese quantitative Größen sind mit anderen Methoden oft gar nicht oder nur sehr aufwändig ermittelbar.

Ein interessantes und bisher unbekanntes Ergebnis der Vasenanalyse war die Entdeckung, dass am Testobjekt wohl in moderner Zeit eine unprofessionelle Restaurierung am Vasenhals durchgeführt wurde. In dem Datensatz wird deutlich sichtbar, dass der Vasenhals verdreht ist, krumm aufgesetzt wurde und dass zwischen Mündung und Hals ein Spalt liegt (Abb. 6). Vor allem die eckige Einarbeitung im Bereich des Bruches (Abb. 6 rechts) offenbart den modernen Eingriff. Der Gefäßhals verlor auf Grund des Bruches und der Restaurierungsmaßnahmen offenbar stark an Höhe[6]. Das Klebemittel zeichnet sich im CT-Bild deutlich ab, es weist eine geringere Dichte als die Keramik auf und ist daher im Bild heller. Es füllt den oben erwähnten Spalt zwischen Hals und Mündung und quillt zum Teil auch darüber hinaus und bedeckt die Oberfläche. Daran schließt die Frage an, ob die hier aufgesetzte Mündung überhaupt zugehörig ist; es könnte sich auch um die Mündung eines verwandten Gefäßes handeln, die hier, einem Pasticcio vergleichbar, aufgesetzt wurde, bevor das Gefäß in die heutige Sammlung kam.

Diese Befunde wären mit anderen Methoden wohl unentdeckt geblieben bzw. die äußeren Anzeichen hätten nicht schlüssig erklärt werden können. Die Pilotstudie hat bewiesen, dass die hier präsentierte Methode großes Potential hat und sich zur Analyse und Visualisierung von Vasen und anderen Keramiken bestens eignet.

[6] Ein ursprünglich längerer Hals entspricht auch eher dem Proportionsschema der unteritalischen Bauchlekythen.

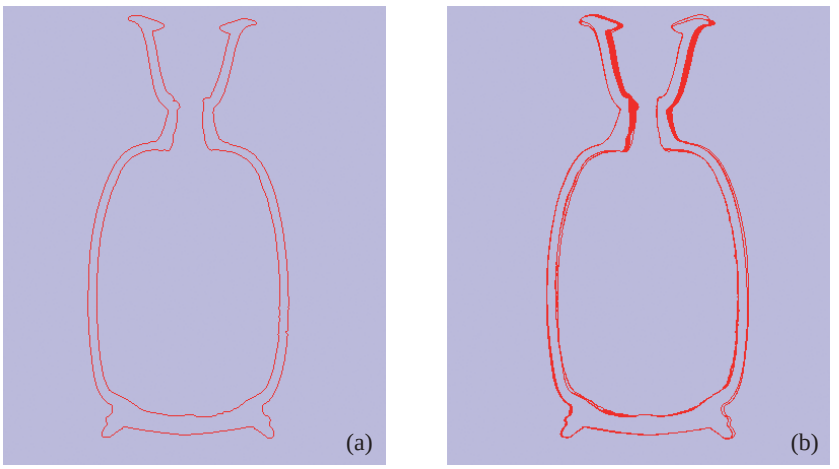


Abb. 4: Profildarstellungen des Testobjektes; (a) zeigt ein individuelles Profil, (b) Überlagerung aller Profile (© VISCOM, ÖAW)

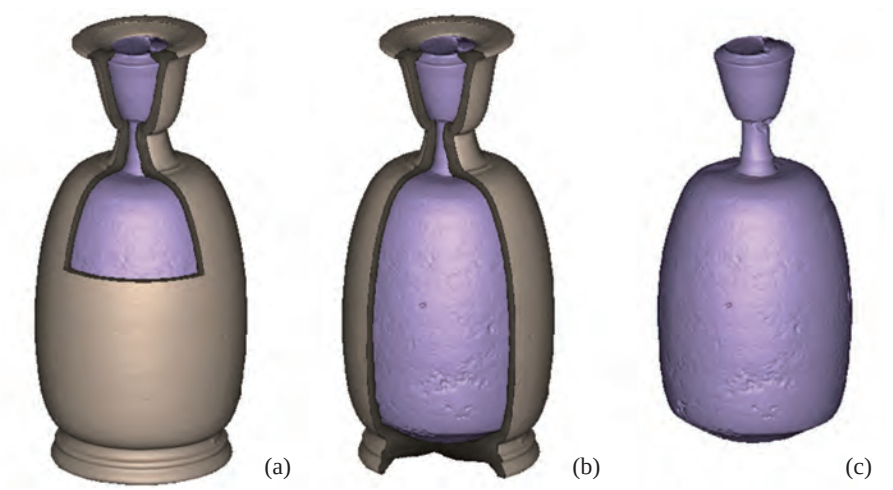


Abb. 5: (a–b) Schnittdarstellungen; (c) das Innere der Vase als 3D-Objekt dargestellt (© VISCOM, ÖAW)

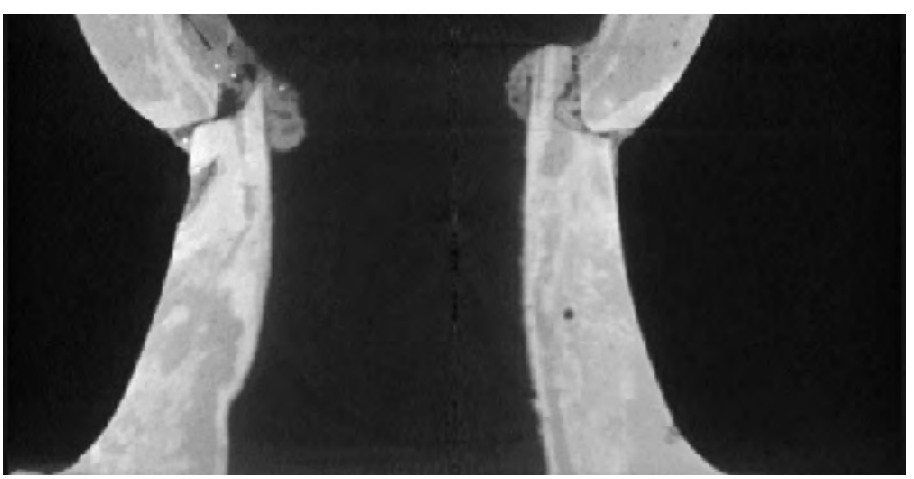


Abb. 6: Schnitt durch den Vasenhals, an dem klar eine unprofessionelle Reparatur der Vase zu erkennen ist (© VISCOM, ÖAW)

REFLEXIONSMESSUNGEN AN ATTISCHEN GEFÄSSEN KLASSISCHER ZEIT – EINE VORSTUDIE

Paul Kammerer, Franz Mairinger,
Ernestine Zolda, Elisabeth Trinkl

Während um die Farbigkeit in der antiken Skulptur und Architektur eine nahezu jahrhundertelange Diskussion tobte[1], stellte sich dieselbe Frage im Falle der Vasen nahezu niemals. Dafür gibt es unterschiedliche Ursachen. Nicht nur, dass den Vasen lange Zeit hindurch untergeordnete Bedeutung beigemessen wurde und sie über den Rang dekorativer Aufstellungsstücke selten hinauskamen, es kommt auch der im Vergleich zu den Steinmonumenten unterschiedliche Erhaltungszustand dazu. Die Farbigkeit der Keramik ist darüber hinaus zumeist beständiger als bei der Aufbringung von Farbaufträgen auf Stein. Dies gilt jedoch nur bei mitgebrannten Materialien, bei der Verwendung von Kaltfarben auf Keramik treten vergleichbare Probleme wie bei den Farben auf Stein auf.

Im Rahmen der Bearbeitung attisch rotfiguriger Gefäße und weißgrundiger Lekythen für den Band CVA Wien 5[2] stellten wir auch die Frage nach der Beschaffenheit und der Authentizität der auf den Vasen verwendeten Pigmente. Gemäß den restauratorischen Richtlinien des Kunsthistorischen Museums[3] kam nur eine zerstörungsfreie Methode in Frage, die ohne Eingriffe in die antike Substanz und ohne jede nur mögliche Beeinträchtigung des Objektes auskommt[4]. Es war in erster Linie unser Ziel abzuklären, ob – unter diesen kurz umrissenen Bedingungen – unter zu Hilfenahme naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden die Malfarben auf den untersuchten Vasen, wenn möglich, näher zu bestimmen sind und die antike Substanz von allfälligen rezenten Zugaben unterscheidbar ist. Dafür wählten wir Reflexionsmessungen mittels eines Spektrometers[5]. Wir sind uns der Vorläufigkeit dieser Messungen bewusst, möchten uns diesbezüglich jedoch an B. Kaesers Aussage zur Sinnfrage genauer Beobachtungen von Herstellungs- und Benutzungsspuren anschließen: „Den schließlichen Sinn mancher Daten kann man nicht immer im Voraus abschätzen. Sinn ergibt sich, wenn es gelingt, mit den Daten etwas zu machen, was über diese Daten hinausgeht. Dazu müssen die Daten zunächst einmal vorliegen und zwar zahlreich.[6]“

---

1 A. Prater, The Rediscovery of Colour in Greek Architecture and Sculpture, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, 23–36.

2 Die Untersuchungen wurden innerhalb des FWF-Projektes Nr. 18213 im Jahre 2006 durchgeführt; wir danken allen Verantwortlichen der Antikensammlng für ihre Unterstützung. Folgende Zwischenberichte liegen vor: Mara et al., Acquisition; H. Mara – E. Trinkl – P. Kammerer – E. Zolda, 3D-Acquisition and Multi-Spectral Readings for Documentation of Polychrome Ceramics in the Antiquities Collection of the *Kunsthistorisches Museum* Vienna, in: Proc. of the International Cultural Heritage Informatics Meeting 2007 (ICHIM ‘07). Toronto, October 2007 <http://www.archimuse.com/ichim07/papers/mara/mara.html>. – Innerhalb des Bandes CVA Wien 5 ist es nicht vorgesehen, die hier vorgestellten Messungen zu präsentieren und zu diskutieren. Dies wird deswegen hier nachgeholt; dieser Artikel versteht sich als Ergänzung zu einigen in CVA Wien 5 besprochenen Gefäßen. Deshalb werden die einzelnen Gefäße weder ausführlich diskutiert noch mit vollständiger Bibliographie vorgestellt. Es wird nur insofern auf die Darstellung, auf Gefäßformen bzw. technische Besonderheiten eingegangen, wie es im Rahmen der Untersuchung der Farben relevant ist.

3 Vgl. B. Vak in diesem Band.

4 Deswegen sollte die Entnahme von Proben unterbleiben und eine sog. zerstörungsfreie Methode gewählt werden. Untersuchungen, die im Hause selbst durchgeführt werden können, ist darüber hinaus gegenüber auswärtigen der Vorzug zu geben, um die möglichen Gefahren für das antike Objekt beim Transport zu minimieren.

5 Die Bestimmung von Elementen mittels RFA ist präziser, stand uns aber im Jahre 2006 nicht zur Verfügung. Für die Verwendung von RFA bei griechischen Gefäßen vgl. z. B. D. A. Scott, The Application of Scanning x-Ray Fluorescence Microanalysis in the Examination of Cultural Materials, Archaeometry 43(4), 2001, 475–482. Von den hier besprochenen Gefäßen wurden die Lekythen KHM ANSA IV 1874 und IV 3218 im Jahre 2010 mittels RFA in den Labors des KHM untersucht. Die Ergebnisse sind noch nicht vollständig ausgewertet und werden zu einem späteren Zeitpunkt vorgelegt werden; vgl. B. Vak in diesem Band.

6 B. Kaeser, Herstellungs- und Schicksalsspuren, Nachträge, CVA Deutschland Beih. 1 (München 2002) 65–72, bes. 71.

1 EINLEITUNG

1.1 Pigmente in der kunstgeschichtlichen Forschung

In der kunstgeschichtlichen Forschung sind heute naturwissenschaftliche Untersuchungen der verwendeten (Mal-)Materialien anerkannte Methoden bei Datierungsfragen von Gemälden, Skulpturen und Buchmalereien, auch Hinweise auf die Kunstlandschaft können in bestimmten Fällen gewonnen werden. Vor allem die analytische Erfassung der in den Malfarben enthaltenen Pigmente und Bindemittel kann einen *terminus post* oder *ante quem* für die Entstehungszeit solcher Kunstwerke liefern, da Farbmittel obsolet wurden bzw. neue Materialien zur Verfügung standen. Obwohl die Identifizierung der verwendeten Pigmente und des Malaufbaus eine stilkritische Untersuchung nicht ersetzen kann, bietet sie vielfach Möglichkeiten zeitgenössische oder spätere Kopien, Nachahmungen und Fälschungen zu erkennen. Die moderne instrumentelle Analyse gestattet die zerstörungsfreie Identifizierung der Pigmente (ohne Probenahme).

Voraussetzung für die kunsthistorische Auswertung solcher Analysen sind eingehende materialhistorische Kenntnisse und das Studium der einschlägigen Quellenschriften und Werkstattbücher[7].

Während die analytische Erfassung der Pigmente im allgemeinen „punktuelle“ Ergebnisse liefert, eröffnet die moderne bildgebende Strahlendiagnostik, die Möglichkeit die gesamte Oberfläche eines Kunstwerks zu erfassen, was der ganzheitlichen Betrachtungsweise des Kunsthistorikers entgegenkommt. So ist die bildgebende Untersuchung von Kunstwerken mittels Röntgenstrahlen seit nunmehr fast hundert Jahren eine Standardmethode der Stilkritik geworden, liefert sie doch Einblicke in den Entstehungsprozess und Erhaltungszustand von Gemälde und Skulpturen. Für Fragen von Hinzufügungen von fremder Hand können vielfach Untersuchungen der Oberfläche mit langwelliger UV-Strahlung herangezogen werden.

Eine besondere Bedeutung kommt den bildgebenden Untersuchungen mit infraroten Strahlen zu, da in diesem Strahlenbereich bestimmte Malschichten transparent werden. Dadurch kann, sofern eine weiße Grundierung vorliegt, vielfach die Unterzeichnung, der Bildplan des Malers, sichtbar gemacht werden. Moderne digitale Kameras mit (gekühlten) infrarotempfindlichen Sensoren (GaInAs, PtSi) liefern hervorragende Ergebnisse. So konnten in zwei FWF-Projekten[8] durch Anwendung von Strahlendiagnostik und Methoden der digitalen Bildverarbeitung neue Einblicke in den Schaffensprozess des Künstlers gewonnen werden. Dazu wurde vorerst die spektrale Durchlässigkeit und die Remission einer großen Zahl von Pigmentaufstrichen zwischen 190 und 2500 nm durch Registrierung der Spektren bestimmt. Diese gestatten die näherungsweise Voraussage über die Sichtbarkeit von Unterzeichnungen von gotischen Tafelgemälden des 15. Jhs.[9].

Entscheidend für die Optimierung des Aufnahmesystems war die Berücksichtigung von Parametern, wie Dicke der Malschicht, die darin enthaltenen Pigmente sowie deren Korngrößenverteilung. Auch ein Algorithmus zur Erkennung der verwendeten Zeicheninstrumente (Haar-, Borstenpinsel, Holzkohle, schwarze Kreide) wurde entwickelt.

Es wurde nunmehr in vorliegender Arbeit versucht, die bei diesen oben erwähnten Projekten erhaltenen Reflexionsspektren von Pigmenten auch in der archäologischen Forschung einzusetzen.

1.2 Pigmente in der Antike – ein Überblick

Die Beschäftigung mit Malfarben und die Untersuchung von Pigmenten sind auch in der archäologischen Forschung seit geraumer Zeit ein wichtiger Forschungsbereich. Bereits zu Beginn des 19. Jhs. ging man einerseits vor allem von der Wandmalerei aus und widmete sich andererseits intensiv der Kenntnis von Farbmitteln bei den antiken Schriftstellern[10]. Darüber hinaus stellte die mögliche bzw. vorhandene Polychromie an antiker Skulptur und Architektur über lange Zeit eine heiß umstrittene Frage dar[11].

---

7 H. Kühn, Farbmaterialien, Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken, Band 1 (Stuttgart 1984) 7–54.

8 FWF-Projekte P14445 (Bildanalyse: Auf- und Umbau von Graphenpyramiden) und P15471 (Computeranalyse von Unterzeichnungen in IR Reflektogrammen).

9 F. Mairinger, Gemälde naturwissenschaftlich untersucht. Zur Beurteilung von Authentizität, Parnass Sonderh. 7 (1992) 20–27.

10 E. Berger, Die Maltechnik des Altertums (München 1904). Zu den bei Theophrast beschriebenen Pigmenten s. Th. Katsaros – Y. Bassiakos, The colors of Theophrastus: Sources, Characterization and Application, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, 201–209.

11 Zur Verwendung der Polychromie und über den Einsatz von Farben in der Malerei und an der Plastik vgl. A. Rouveret – S. Dubel – V. Naas (Hrsg.), Couleurs et matiéres dans l’Antiquité: textes, techniques et pratiques (Paris 2006).

In der darauffolgenden Zeit ebbte das Interesse an dieser Thematik ein wenig ab, um erst wieder in der zweiten Hälfte des 20. Jhs. aufzuflammen, als man verstärkt begann, naturwissenschaftliche Untersuchungen – auch an antiken Objekten – durchzuführen. Natürlich gab es in der Zwischenzeit auch entsprechende Einzeluntersuchungen zu Fragen der Polychromie von Skulpturen, die sich aber in erster Linie kunstgeschichtlichen Aspekten widmeten[12].

In jüngerer Zeit sind es vor allem die von V. Brinkmann an Skulpturen und von R. Posamentir überwiegend an Stelen und Reliefs durchgeführten Untersuchungen, die sich mit verschiedenen Methoden und unter unterschiedlichen Gesichtspunkten der antiken Polychromie widmen. Bei ihnen kommen nun auch systematisch durchgeführte aktuelle naturwissenschaftliche Methoden zum Einsatz[13].

Ebenso von kunsthistorischen Überlegungen ausgehend war es in Anknüpfung an W. Noll et al.[14] vor allem I. Wehgartner, die sich über die in der weißgrundigen Technik verwendeten Pigmente Gedanken machte[15]. An sie schließt wiederum U. Koch-Brinkmann mit der auf weißgrundige Lekythen und deren Zusammenhang mit der Tafelmalerei konzentrierten Untersuchung an[16]. Das Ende der Produktion der weißgrundigen Keramik am Ende des 5. Jhs. ist jedoch keinesfalls das Ende vielfarbiger Darstellungen auf Keramik. Wirklich polychrome Gefäße sind eigentlich erst ein Markenzeichen der Spätklassik. In diesem Zusammenhang ist vor allem an die sog. Kertscher Vasen[17] einerseits und andererseits an die vielfarbigen griechischen und italischen Gefäße des 4. Jhs.[18] zu denken.

Die literarischen Quellen helfen bezüglich der Verwendung von Farben auf Vasen nur beschränkt weiter. Die antiken Schriftsteller wie Plinius und Vitruv, die ausführlich über Farben und Materialien in den verschiedenen künstlerischen Bereichen handeln, sind für Einschätzungen bezüglich der griechischen Keramik wenig hilfreich, da sich ein technologischer und auch ästhetischer Wandel vollzogen hat. Etwas anders sieht es mit Theoprast aus; seine Lebenszeit (372–286) knüpft unmittelbarer an die Entstehungszeit der jüngsten Stücke an, die in diesem Rahmen untersucht wurden. Darüber hinaus widmet er sich in „Περί Λίθων“ jenen Fragestellungen, die in unserem Zusammenhang relevant sind, insbesondere welches Material für welche Farbe verwendet wird. Außerdem werden in seinem Text Herstellung und Verwendung von Pigmenten beschrieben; manche wurden oft mit großem Aufwand künstlich hergestellt, andere aus fernen Ländern importiert[19].

Bisher gelten vor allem in Folge der Forschungen von Wehgartner und Koch-Brinkmann zur Farbigkeit der weißgrundigen Keramik folgende Materialien als belegt[20]:

Kräftiges, intensives Rot – Hämatit (Eisenoxid, α-Fe_2O_3)[21]
Hellrot – Zinnober (Cinnabarit, Quecksilbersulfid)
Gelb, in Varianten von Hellbraun bis Dunkelbraun – Gelber Ocker (Goethit, α-FeOOH mit wechselnden Anteilen an Kaolin und kristalliner Kieselsäure)

---

12 z. B. G. M. A. Richter, Polychromy in Greek Sculpture, with Special Reference to the Archaic Gravestones in the Metropolitan Museum, AJA 48, 1944, 327–336.

13 V. Brinkmann, Die Polychromie der archaischen und frühklassischen Skulptur, Studien zur antiken Malerei und Farbgebung 5 (München 2003); R. Posamentir, Bemalte attische Grabstelen klassischer Zeit, Studien zur antiken Malerei und Farbgebung 7 (München 2006).

14 W. Noll – R. Holm – L. Born, Die Malerei auf polychromen attischen Lekythoi als Dokument antiker keramischer Technik, N. Jahrb. Min. Abh. 122, 1974, 119–144; W. Noll – K. Hangst, Grün- und Blaupigmente der Antike, Neues Jahrb. für Mineralogie, Mh. 12, 1975, 529–540; zusammenfassend bei R. E. Jones, Greek and Cypriot Pottery (Athen 1986) 809–811 Tabelle 9.10a.

15 Wehgartner, Keramik, 22. Zusammenfassend auch I. Wehgartner, Neue Untersuchungen zur weißgrundigen Lekythenbemalung, in: Ancient Greek and Related Pottery, Proceedings of the 3rd Symposion Copenhagen 1987 (Kopenhagen 1988) 640–651; I. Wehgartner, Color on Classical Vases, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, 89–96.

16 Koch-Brinkmann, Bilder.

17 D. A. Scott – Y. Taniguchi, Archaeological Chemistry: a Case Study of a Greek Polychrome Pelike, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, 235–244. U. Kästner, Farbuntersuchungen, in: U. Kästner – M. Langner – B. Rabe (Hrsg.), Griechen, Skythen, Amazonen (Berlin 2007) 58 f.

18 Daran knüpfen die polychromen Gefäße des Hellenismus nur beschränkt an, da sie ausschließlich in Mattfarbe gefertigt sind; E. Zerboudakis, *To chroma stin ellinistiki keramiki kai tin koroplastiki*, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, 221–230. Vgl. auch TonArt, 60–67.

19 Theophrast, Περί Λίθων, 50–69. Katsaros – Bassiakos a. O. (Anm. 10).

20 s. oben Anm. 14 f.; die chronologische Komponente ist in dieser Aufzählung nicht berücksicht.

21 Auf den weißgrundigen Lekythen ist rotes Pigment, jedoch in unterschiedlichen Schattierungen, das häufigste; vgl. oben Anm. 15.

Grün – Malachit (Kupferkarbonat); Grünspan, basisches Kupferacetat[22] (künstlich hergestellt)
Blau – Ägyptisch Blau (ein Calziumkupfersilikat, $CaCuSi_4O_{10}$; künstlich hergestellt)[23]
Violett – Kupferrot?[24]
Rosa – organischer Farblack? Ausmischung aus Rot und Weiß?[25]
Schwarz/Grau[26]

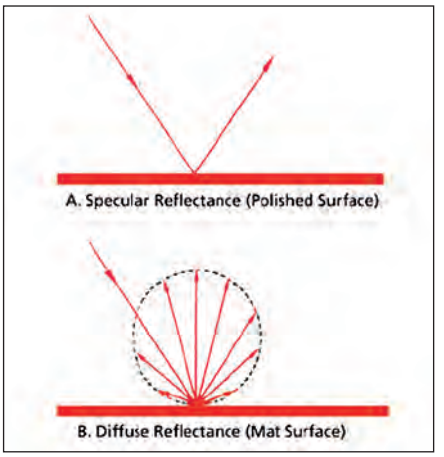


Abb. 1: Schematische Darstellung der Reflexion an einer spiegelnden und einer rauen Oberfläche (© Perkin Elmer)

2 METHODE

Während die visuelle Erfassung von Farbempfindungen subjektiv und bei Farbensembles umgebungsabhängig ist, ist die Lichtreflexion eines Objektes eine physikalische Eigenschaft, die – unabhängig von äußeren Bedingungen – messbar ist. Um die Reflexion von elektromagnetischer Strahlung zu messen, werden Methoden der Spektroskopie herangezogen. Bei einer Spektralvermessung wird die Strahlungsabsorption oder -remission einer Probe in Abhängigkeit von der Wellenlänge (oder deren reziproker Wert der Wellenzahl) beobachtet und das Ergebnis als Graph, dem sogenannten Spektrum, dargestellt. Die dabei eingesetzten Methoden gehen jedoch weit über die eingeschränkte menschliche Sehwahrnehmung hinaus. Der zu untersuchende Spektralbereich wird dabei abhängig von der Wellenlänge in verschiedene Wellenlängenbereiche eingeteilt. Je nach Wellenlänge und zu untersuchenden Eigenschaften werden unterschiedliche Geräte und Methoden eingesetzt[27].

Seit der Verfügbarkeit der entsprechenden technischen Messgeräte, werden spektroskopische Untersuchungen auch in der Archäologie verwendet, um Materialien unterscheiden und klassifizieren zu können[28].

Für die Untersuchung von festen opaken oder semitransparenten Oberflächen – wozu auch die Oberflächen der gegenständlichen Gefäße zu rechnen sind – eignet sich die (diffuse) Reflexionsspektroskopie. Dabei wird die Abhängigkeit der Reflexion (genauer gesagt des Reflexionsgrads) eines Materials von der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung untersucht. Bei einer glatten Oberfläche wird das einfallende Licht größtenteils regulär, d. h. „spiegelnd“, reflektiert, bei einer rauen Oberfläche ist die Reflexion diffus (Abb. 1). Das Ergebnis der Messung ist ein Reflexionsspektrum. Aus dem Vergleich der so erhaltenen Spektren mit den Spektren von Standards lassen sich in günstigen Fällen die verwendeten Pigmente identifizieren.

Als Gerät wird üblicherweise ein optisches Spektrometer verwendet, wozu auch das in dieser Studie verwendete Perkin-Elmer Lambda 900 UV-VIS-NIR zählt. Das Lambda 900 ist ein zweistrahliges Spektrometer, bei dem die Lichtintensität von zwei Lichtstrahlen verglichen wird, wobei der erste Strahl von einem Referenzobjekt mit dem zweiten von dem zu messenden Objekt verglichen wird. Mit der Verwendung der „Integrationskugel“ kann die diffuse Reflexion gemessen werden (Abb. 2). Der messbare Bereich des Perkin-Elmer Lambda 900 liegt zwischen 190 und 2500 nm und deckt somit nahes Infrarot, sichtbares Licht (etwa 380–780 nm) und nahes Ultraviolett ab.

Ziel der Untersuchung war es, mit Hilfe des Spektrometers Reflexionsspektren von ausgewählten pigmentierten Stellen auf den antiken Vasen zu messen. Die aus den Messungen resultierenden Spektren sollen mit anderen Messungen oder Referenzspektren verglichen werden, um Übereinstimmungen und Unterschiede bei den verwendeten Farbpigmenten feststellen zu können.

---

22 *ioz* bei Theophrast; Katsaros – Bassiakos a. O. (Anm. 10) bes. Abb. 6 Taf. 39, 3. Malachit wird bei Theophr. (26 u. 6) und Diosk. (5, 89) als χρυσοκόλλα (Goldleim) bezeichnet. Μαλάχη (Malve) bei Plinius (37, 114); Molochitis bezeichnet ein äußerst sattes Grün. – Erst seit dem Humanismus wird von Malachites gesprochen; H. Lüschen, Der Name der Steine (Thun 1968).
23 Vitruv 7, 11, 1 (Die angegebene Rezeptur ist fehlerhaft, es fehlt der Kreideanteil).
24 Wehgartner, Keramik, 29.
25 Vgl. Kapitel 4.4.
26 Wehgartner, Keramik, 22 mit Anm. 18; vgl. Kapitel 4.6.
27 W. Schmidt, Optische Spektroskopie – Eine Einführung (Weinheim 2000).
28 A. Mark Pollard – C. Heron, Archaeological Chemistry, The Royal Society of Chemistry ²(Cambridge 2008).

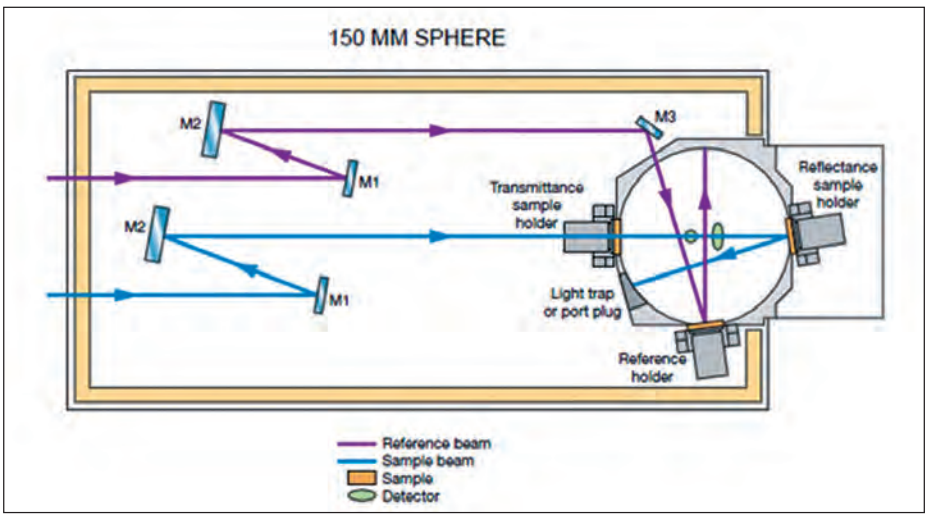


Abb. 2: Schematische Darstellung des Strahlengangs unter Verwendung einer „Integrationskugel“ (© Perkin Elmer)

3 MESSUNGEN

Insgesamt wurden[29] an 17 Gefäßen zwischen vier und neun Einzelmessungen vorgenommen, insgesamt 105 Einzelmessungen. Eine Einzelmessung in 5 nm Schritten[30] dauert im Bereich zwischen 190 und 2500 nm etwa 10 Minuten. Die Anzahl der Messungen pro Objekt ergibt sich aus der Bandbreite der auf diesem Gefäß vorhandenen unterschiedlichen Farbaufträgen. Um eine Referenz zum Trägermaterial zu haben, wurde an jedem Objekt auch eine tongrundige Stelle gemessen. Es muss erwartet werden, dass der Tongrund bei nur mäßig dick aufgetragener bzw. wenig dick erhaltener Farbschicht durchscheint.

Die Messdaten wurden mit einem Spectralon™ kalibriert[31].

3.1 Positionsbestimmung der Einzelmessung im 3D-Modell

Da bereits von jedem der Gefäße ein 3D-Modell bestand[32], mussten die einzelnen Messpunkte des Spektrometers nicht separiert verortet werden. Jeder Messpunkt konnte in Verbindung mit einer einmaligen Messung mit dem 3D-Laser direkt im 3D-Modell des Gefäßes kartiert werden[33].

Der Messstrahl tritt in einem Bereich von etwa 5 × 8 mm aus (Abb. 3)[34]. Deshalb können kleinflächig aufgetragene bzw. erhaltene Pigment mit unserer Versuchsanordnung nur mit beschränkter Genauigkeit gemessen werden. Der erfasste Bereich reicht über den zu messenden Bereich (ROI, s. u.) hinaus, was eine zusätzliche Überlagerung mehrerer Elemente zur Folge hat. Die Wahl der Einzelmessungen erfolgte unter dieser Prämisse.

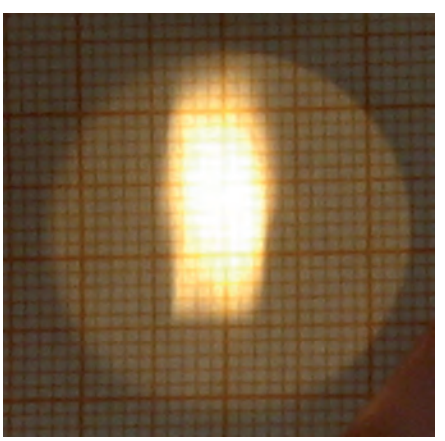


Abb. 3: Projektion des Messstrahls am Austrittspunkt auf ein mm-Papier (Foto P. Kammerer)

[29] Die Messungen wurden im Juli 2006 im Kunsthistorischen Museum durchgeführt.

[30] Dieses relativ weite Intervall führt jedoch zu Überlagerungen bzw. Unschärfen in den Spektralkurven, die eine präzise Bestimmung eines Elementes schwierig machen. Kürzere Intervalle hätten in jedem Fall größere Genauigkeit der Kurven gebracht – sie sind jedoch auch mit einer essentiell längeren Messdauer verbunden.

[31] Um verfälschende Hintergrundstrahlung auszuschließen, fanden alle Messungen unter einer lichtdichten Abdeckung statt.

[32] s. H. Mara – J. Portl in diesem Band.

[33] Mara et al., Acquisition.

[34] Der gemessene Bereich bei den im KHM vorgenommenen RFA-Messungen beträgt hingegen 150 µm; vgl. B. Vak in diesem Band.

Bei allen Messungen wurde versucht, den gemessenen Bereich möglichst nahe an die Austrittspupille des Messstrahles heranzurücken. Abhängig von der Gefäßkrümmung und von der Lage des Messpunktes am Gefäß selbst ist dies unterschiedlich gut möglich. Da sich die Entfernung zur Eintrittspupille auf die Intensität des reflektierten Strahles auswirkt, sind die Einzelmessungen nur relativ miteinander zu vergleichen. Der reflektierte Strahl wird abgesehen von der rauen Oberfläche durch die Gefäßkrümmung gestreut, womit eine abermalige Abnahme der Intensität der Messung einhergeht. Die gemessenen Werte sind deswegen nicht schlüssig quantifizierbar[35].

3.2 Gemessene Objekte

Da bei einer Spektralmessung besonders die aufgtragenen Pigmente von Interesse sind, lag der Schwerpunkt der Messungen auf weißgrundigen Lekythen, die sich oft durch ihre reiche Farbigkeit auszeichnen. Darüber hinaus wurden Messungen an Bauchlekythen des späten 5. Jhs. bzw. der ersten Hälfte des 4. Jhs. v. Chr. durchgeführt sowie an einem polychromen Kopfgefäß[36].

Gefäßform	Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung, Inventarnummer
Weißgrundige Lekythos	IV 143, IV 1969, IV 1874, IV 3218, IV 3744, IV 3745, IV 3746, IV 3747, IV 3748, IV 4402, IV 4592
Bauchlekythos	IV 975, IV 1442, IV 1774, IV 1784, IV 3766
Kopfgefäß	IV 1872

Tabelle 1: Auflistung der Gefäße, an denen im Rahmen der Vorstudie Spektralmessungen vorgenommen wurden

Das Erkennen und Bestimmen von Malfarben bzw. Pigmenten wird zusätzlich dadurch erschwert, dass sich das heutige Erscheinungsbild der Farbigkeit nicht mit dem antiken Erscheinungsbild decken muss. Physikalische und chemische Einflüsse verändern die Pigmente. Die Ursachen dafür sind vielfältig: z. B. Bodenlagerung oder auch die Reaktionen auf diverse Umgebungsbedingungen nach der Ausgrabung der antiken Objekte[37]. Auch die unterschiedliche Behandlung der bemalten Objekte bereits in der Antike kann sich drastisch auf den Erhaltungszustand und das Erscheinungsbild der Farbigkeit auswirken: Bei freistehenden Objekten sind beispielsweise oft starke Abwitterungen zu berücksichtigen; das sich daraus ergebende überwiegend weiße Erscheinungsbild von Skulpturen und Architektur führte zum lange Zeit gültigen ästhetischen Diktat[38]. Schadensbrand oder intentioneller Sekundärbrand, z. B. bei der Kremation eines Toten[39], trugen ebenfalls bereits zur Zeit der Benutzung der Gefäße zur oft drastischen Veränderung des farblichen Erscheinungsbildes bei[40].

3.3 Einzelmessungen

Die einzelnen Gefäße werden im Folgenden kurz vorgestellt und die Messergebnisse vollständig präsentiert. Neben ausgewählten farblich akzentuierten Flächen (ROI – *region of interest*) wurde bei jedem Gefäß eine Messung am Tongrund und bei den meisten auch am Glanzton vorgenommen. Wegen beschränkter zeitlicher und finanzieller Mittel konnten keine Mehrfachmessungen an ein und demselben Objekt durchgeführt werden.

---

35 Diese Rahmenbedingungen lassen es nicht zu, nur in Spuren vorhandene Pigmente zu detektieren.

36 Im Rahmen dieser Studie wurden nur Objekte berücksichtigt, die zur Publikation in dem sich zu diesem Zeitpunkt in Arbeit befindenden CVA-Band vorgesehen waren. Reicher farbige gestaltete Vasen bzw. farbig gefasste Objekte anderer Materialgruppen in der Antikensammlung des Kunsthistorischen Museums wurden deswegen nicht berücksichtigt. Die in Anm. 5 angesprochenen, laufenden RFA-Messungen können eine breitere Materialbasis berücksichtigen.

37 Bereits das normale Tageslicht hat auf manche Farben zersetzende bzw. verändernde Wirkung. Andererseits ist z. B. auf pompeianischen roten Fresken der Zinnober nicht durch Lichteinwirkung zu Metazinnober geworden; Anal. Chem. 2006, 78, 7484–7492. – Vgl. Anm. 59 zu Grün von ANSA IV 3748.

38 s. oben Anm. 11–13. Auch wenn die Farbe heute fehlt, lässt aber gerade der Verwitterungsprozess ursprünglich farbige Partien der Oberfläche erkennen, da an ihnen der Prozess weniger Weit fortgeschritten ist; es entsteht ein ‚Positivabdruck'. – In der rotfigurigen Technik ist ein abgewitteter Farbauftrag häufig an der matten Oberfläche des Glanztons zu erkennen.

39 V. Sabetai, Marker Vase or burnt offering? The Clay Loutrophoros in Context, in: A. Tsingarida (Hrsg.), Shapes and Uses of Greek Vases (7th–4th Centuries B.C.) (Brüssel 2009) 291–306.

40 I. Wehgartner, Color on Classical Vases, in: Tiverios – Tsiafakis, Color, bes. 95; s. Anm. 57.

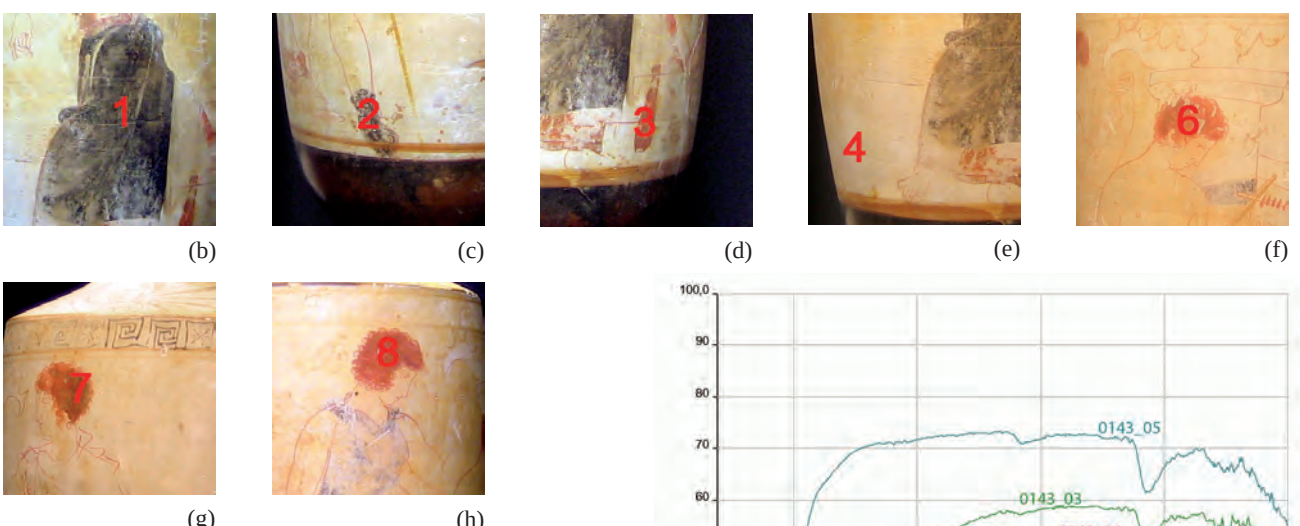
3.3.1 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 143

ARV² 1383.1; Para 486; Add² 371; CVA-Online 217802.
CVA Wien 5 Taf. 81.
Gruppe R
410/400 v. Chr.

Die ungebrochen erhaltene Lekythos KHM ANSA IV 143 (Abb. 4 a) zeigt die Zusammenkunft am Grab, vermutlich in „Anwesenheit“ des jungen Verstorbenen, der durch eine Lyra als Mann der Elite charakterisiert wird. Die Oberfläche ist tlw. – offenbar infolge der Bodenlagerung – stark gelb verfärbt, die aufgesetzten Pigmente (rot und schwarz) sind jedoch relativ gut erhalten.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	schwarz	Peplos der Frau links	Pigment	Abb. 4 b
2	schwarz	Schuh des Mannes rechts	Pigment	Abb. 4 c
3	rot	Tänie am Grab[41]	Pigment	Abb. 4 d
4	weiß	Grundierung		Abb. 4 e
5	weiß?	Chlamys Mann rechts, verblasst	Pigment?	
6	hellrot	Haar Mann sitzend mittig	Pigment	Abb. 4 f
7	hellrot	Haar Mann rechts	Pigment	Abb. 4 g
8	hellrot	Haar Frau links	Pigment	Abb. 4 h
9	schwarz	Henkel	Glanzton	

Abb. 4: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 143 (© KHM)



Die Messungen 6–8 zeigen vergleichbare Ergebnisse, jene von Nr. 3, das ebenfalls Rot abbildet, unterscheidet sich davon deutlich (Abb. 5).

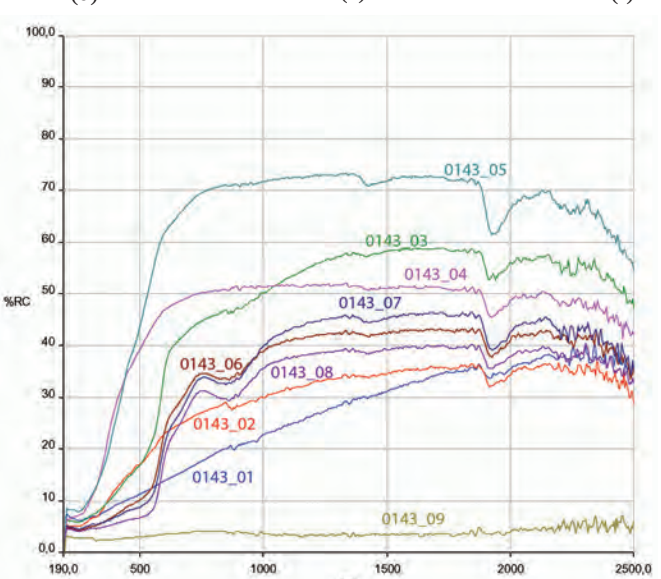


Abb. 5: Spektren der auf der weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 143 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[41] Die farbige Fläche ist wohl zu klein, um mit unserer Versuchsanordnung ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erhalten; zu *ROI* s. oben 181 .

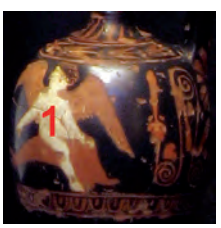
3.3.2 Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 975

Sacken – Kenner, Sammlungen, 221 f. Nr. 111.
CVA Wien 5 Taf. 62, 1–4.
Erstes Viertel 4. Jh.

Die Bauchlekythos KHM ANSA IV 975 (Abb. 6 a) mit der Darstellung einer Sitzenden (Aphrodite?) und dem auf einem Delphin reitenden Eros ist gebrochen und geklebt. Die Körper beider Figuren sind in Weiß gefasst. Das für den Mantel der Frau aufgesetzte Pigment ist abgerieben, die entsprechende Stelle erscheint heute tongrundig (Abb. 7).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	weiß	Körper Eros	Schlicker	Abb. 6 b
2	tongrundig	Frau, Mantel	Pigment?	Abb. 6 c
3	tongrundig	Unterseite		
4	schwarz		Glanzton	

Abb. 6: Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 975 (© KHM)



(b)

(c)

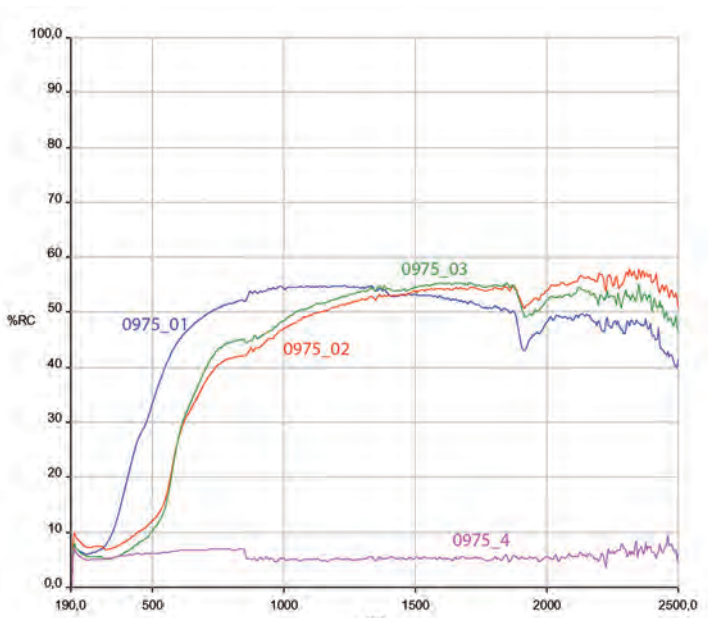


Abb. 7: Spektren der auf der attisch rotfigurigen Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 975 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

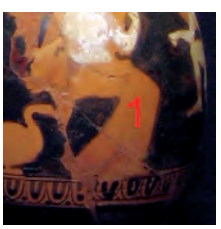
3.3.3 Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1442

E. v. Sacken, Neuere Erwerbungen der Antikensammlung des A. h. Kaiserhauses, AEM 3, 1879, 126–152, bes. 137 (d).
CVA Wien 5 Taf. 57.
410/400 v. Chr.

Die Bauchlekythos KHM ANSA IV 1442 (Abb. 8 a) ist gebrochen und geklebt. Auf ihr ist die Szene einer Liebeswerbung in Gegenwart von Eros dargestellt. Der Mann ist in rotfiguriger Technik ausgeführt, die Körper der Frau und von Eros sind weiß gefasst. Diese Auflage ist fleckig erhalten. Der Mantel der Frau stellt sich heute tongrundig dar (Abb. 9).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Frau, Mantel	Pigment?	Abb. 8 b
2	weiß	Eros, Körper	Schlicker	Abb. 8 c
3	tongrundig	Unterseite		
4	schwarz		Glanzton	

Abb. 8: Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1442 (© KHM)



(b)

(c)

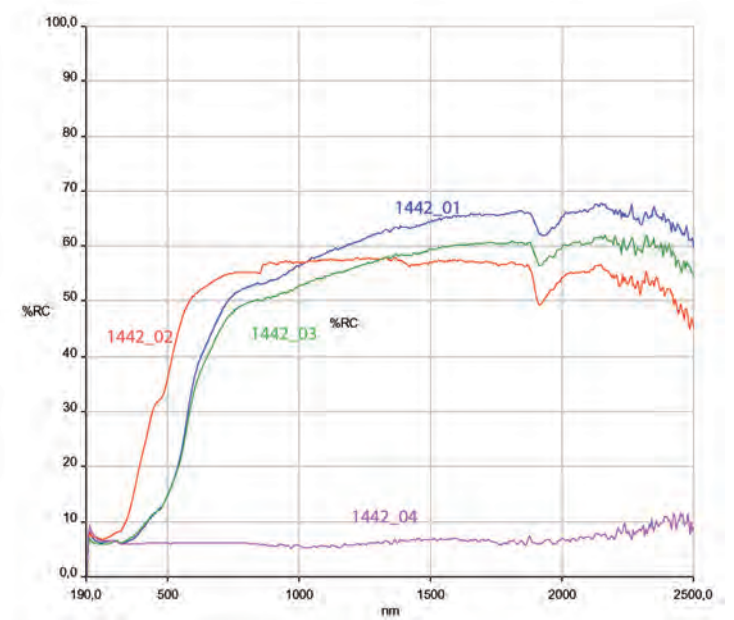


Abb. 9: Spektren der auf der attisch rotfigurigen Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1442 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

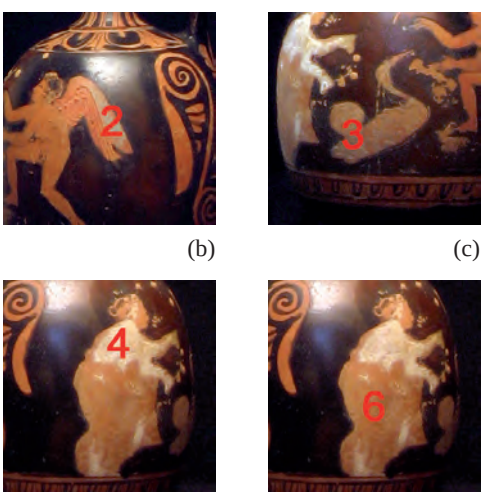
3.3.4 Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1774

R. v. Schneider, Neuere Erwerbungen der Antikensammlung des Österreichischen Kaiserhauses in Wien. 1880–1891, AA 1892, 170–174, 173 Nr. 191.
CVA Wien 5 Taf. 60.
Um 400 v. Chr.

Die kleine Bauchlekythos KHM ANSA IV 1774 (Abb. 10 a) ist vollständig erhalten. Es liegen lediglich kleinflächige oberflächige Abreibungen bzw. Abplatzungen vor. Das rotfigurige Bild einer Frau mit Eros wird durch aufgesetzten Schlicker mit Goldauflage und durch blaues Pigment bereichert. Der Körper der Frau ist weiß gefasst, der umgeschlungene Mantel heute tongrundig (Abb. 11).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Unterseite		
2	blau	Eros, Flügel	Pigment	Abb. 10 b
3	blau	Vogel	Pigment	Abb. 10 c
4	weiß	Frau, Oberkörper	Schlicker	Abb. 10 d
5	schwarz		Glanzton	
6	tongrundig	Frau, Mantel	Pigment?	Abb. 10 e

Abb. 10: Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1774 (© KHM)



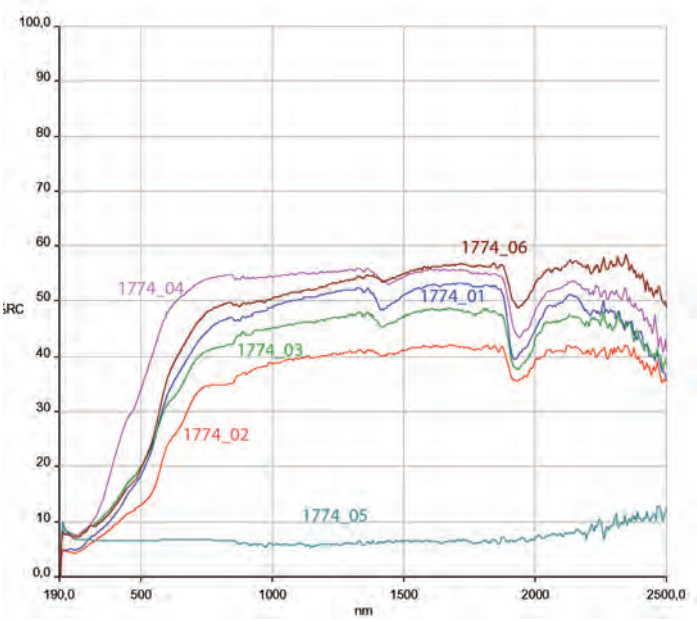


Abb. 11: Spektren der auf der attisch rotfigurigen Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1774 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

3.3.5 Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1784

R. v. Schneider, Neuere Erwerbungen der Antikensammlung des Österreichischen Kaiserhauses in Wien. 1880–1891, AA 1892, 170–174, bes. 173 Nr. 189.
CVA Wien 5 Taf. 62, 5–10.
Erstes Viertel 4. Jh.

Die kleine Bauchlekythos KHM ANSA IV 1784 (Abb. 12 a) mit der vielfach belegten Darstellung einer Frau mit Eros ist ungebrochen. Das für die Körper verwendete Weiß und die in Schlicker aufgesetzten Details (inklusive der Vergoldung des Flügels) sind gut erhalten. Der heute tongrundig erscheinende, um den Unterkörper und Beine geschlungene Mantel war ursprünglich wohl auch farbig akzentuiert (Abb. 13).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	weiß	Eros, Körper	Schlicker	Abb. 12 b
2	tongrundig	Unterseite		
3	schwarz		Glanzton	
4	gold[42]	Eros, Flügel	Schlicker mit Goldauflage	Abb. 12 c
5	tongrundig	Frau, Mantel	Pigment?	Abb. 12 d

Abb. 12: Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1784 (© KHM)

(b)

(c)

(d)

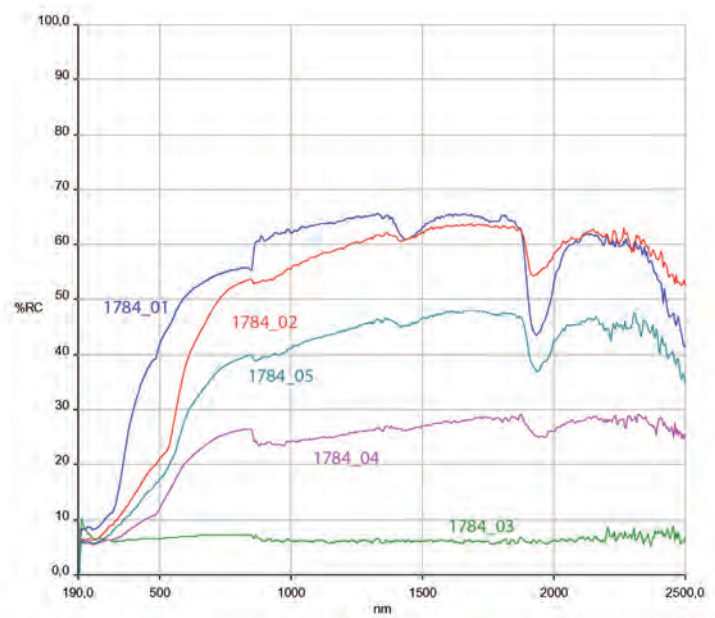


Abb. 13: Spektren der auf der attisch rotfigurigen Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1784 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[42] Beispiele für Goldauflage s. Wehgartner, Keramik, 19 mit Anm. 42.

3.3.6 Kopfgefäss Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1872

R. v. Schneider, Oinochoe aus Eretria, ÖJh 1, 1898, 143–148, Abb. 45 Taf. IV.
CVA Wien 5 Taf. 29.
Ende 5. / Anfang 4. Jh.; Pasticcio?

Die Maske des Dionysos bzw. einer Mänade ist in eine Oinochoe der Form 2 eingesetzt (Abb. 14 a)[43]. Die weiße Grundierung des Gesichts ist nur fleckig erhalten; im Haar sind Reste roter Farbe zu erkennen. Blätter und Trauben im Haar zeigen sich heute mit blauer Fassung; hierfür würde man sich jedoch eher eine grüne Färbung erwarten (Abb. 15). Die ungewöhnliche Gefäßform lässt auch Fragen nach der Authentizität der sichtbaren Farben aufkommen.[44]

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material
1	blau	Blattkranz links	Pigment
2	blau	Blattkranz rechts	Pigment
3	tongrundig	Unterseite[44]	
4	weiß	Gesicht	Schlicker

Abb. 14: Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1872 (© KHM)

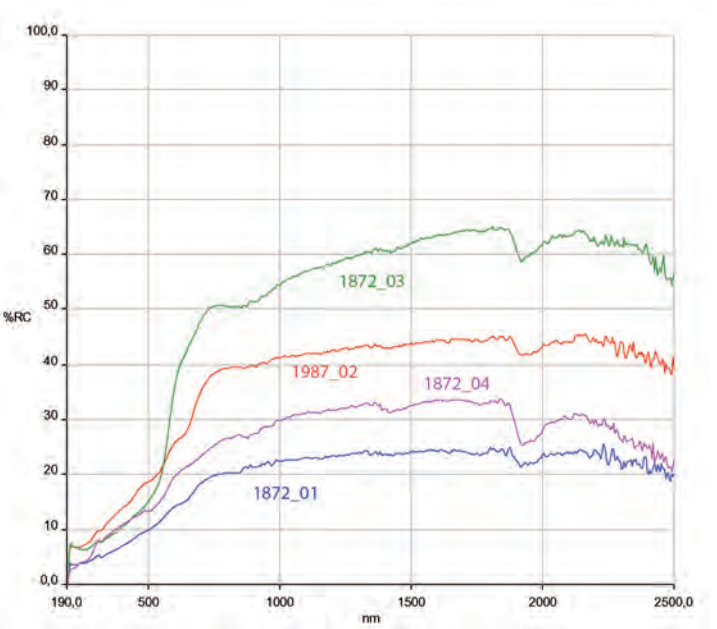


Abb. 15: Spektren der auf dem Kopfgefäß Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1872 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[43] Zur Fertigung vgl. B. Vak in diesem Band.
[44] Da der Gefäßkörper und die Maske aus verschiedenen Teilen bestehen, hat die tongrundige Unterseite, die dem Teil der Kanne angehört, für die Pigmente der Maske keine Relevanz.

3.3.7 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1874

ARV² 1702.9ter; CVA-Online 275653.
In der Art des Providence-Malers
2. Viertel 5. Jh. v. Chr./rezente Eingriffe

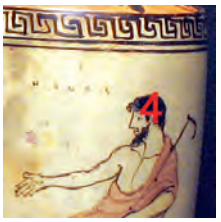
Die weißgrundige Lekythos KHM ANSA IV 1874 (Abb. 16 a) ist mehrfach gebrochen, die Klebungen sind retuschiert. Auch im Bild selbst, das sich heute als sitzender Mann mit Stock präsentiert, gibt es rezente Eingriffe[45], die die in verdünntem Schlicker ausgeführte Darstellung verunklären. Das Gewand ist in rotem Pigment aufgesetzt (Abb. 17).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Gefäßfuß		
2	weiß	Grundierung		Abb. 16 b
3	rot	Mantel	Pigment	Abb. 16 c
4	schwarz	Haar	Asphalt[46]	Abb. 16 d
5	schwarz	Henkel	Glanzton	

Abb. 16: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1874 (© KHM)

(b)

(c)



(d)

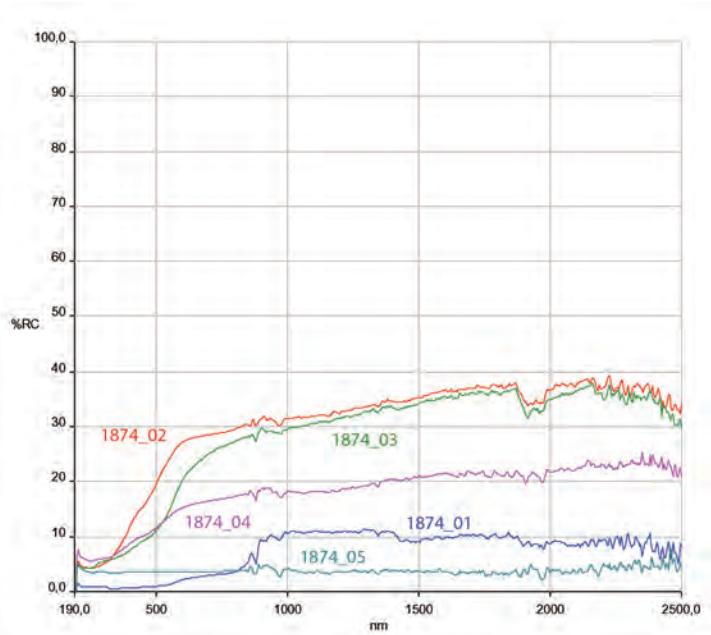


Abb. 17: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1874 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

45 Die rezenten Eingriffe im Bild werden durch ihre derbere und etwas unsicher wirkende Strichführung charakterisiert.

46 F. Mairinger: Die mikroskopische Untersuchung zeigt Asphalt als Werkstoff für die Darstellung des Haars; daraus ergibt sich zumindest für diesen Teil des Gefäßes zwingend ein moderner Eingriff.

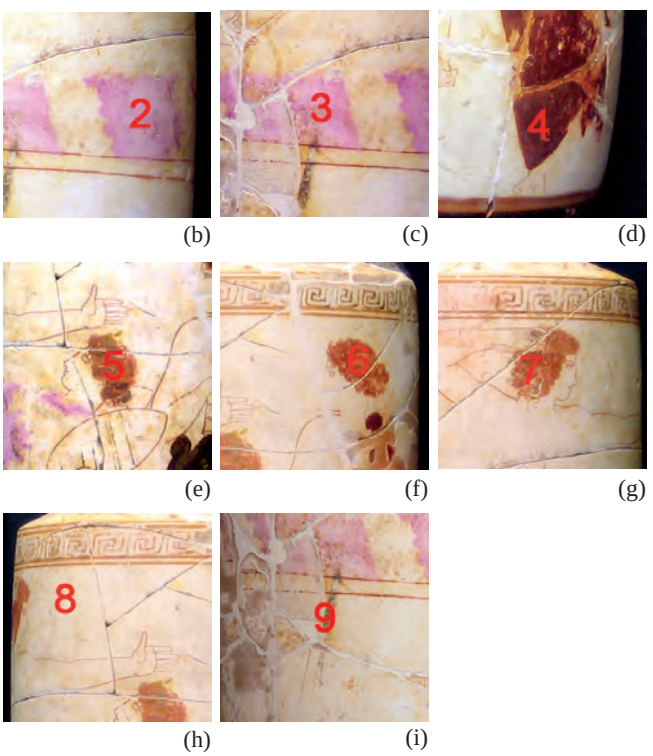
3.3.8 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 1969

ARV² 1382.133; Para 485; CVA-Online 217798.
CVA Wien 5 Taf. 79.
Schilf-Maler
420/410 v. Chr.

Die weißgrundige Lekythos KHM ANSA IV 1969[47] zeigt eine Prothesis (Abb. 18 a). Sie ist vielfach gebrochen und geklebt, die Oberfläche – insbesondere im Bereich der Bruchflächen – teilweise bis zum Tongrund abgerieben. Von der farbigen Fassung sind ein kräftiges dunkelrotes am Mantel der rechts stehenden Frau, ein etwas verblasstes Rot am Haar aller dargestellten Personen sowie ein durchscheinendes rosafarbiges Pigment am Leichentuch erhalten.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Tongrund		Abb. 18 b
2	rosa	Leichentuch	Pigment	Abb. 18 c
3	rosa	Leichentuch	Pigment	Abb. 18 d
4	dunkelrot	Frau rechts, Mantel	Pigment	Abb. 18 e
5	rot	Tote, Haar	Pigment	Abb. 18 f
6	rot	Frau rechts, Haar	Pigment	Abb. 18 g
7	rot	Frau mittig, Haar	Pigment	Abb. 18 h
8	weiß	Grundierung		
9[48]	grau	Tänie	Pigment	Abb. 18 i

Abb. 18: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1969 (© KHM)



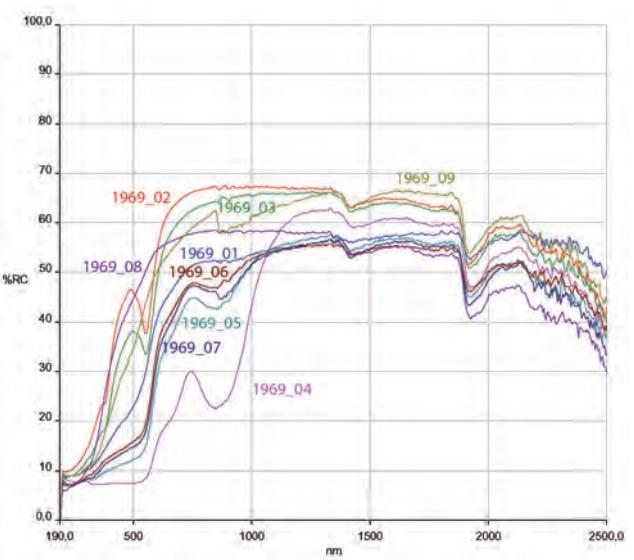


Abb. 19: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 1969 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

Alle Rottöne (Abb. 19), egal ob sie hellrot (5–7) oder dunkelrot (4) erscheinen, zeigen im Spektrum große Ähnlichkeiten. Die Messkurven der rosa Farbe (2–3) heben sich deutlich von den Kurven der roten Pigmente ab[49].

---

47 Auf eine Messung am Glanzton wurde wegen des stark gebrochenen Zustands an diesem Gefäß verzichtet.
48 Die farbig dekorierte Stelle ist in diesem Fall wohl zu klein, um eine saubere Messung des Pigments zu bekommen; vgl. oben.
49 Vgl. Kapitel 4.4.

3.3.9 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3218

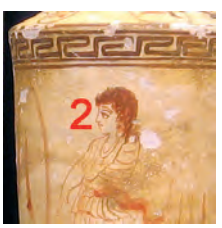
CVA Wien 5 Taf. 82.
Pasticcio?/rezente Bemalung.

Die weißgrundige Lekythos KHM ANSA IV 3218 (Abb. 20 a) ist im Vergleich mit anderen Gefäßen gleicher Form und Technik aus mehreren Gründen auffällig. Obwohl das Gefäß oberflächlich intakt wirkt, bestehen auf Grund der Proportionen, der Gestaltung des Fußes und des schief aufgesetzten Halses Zweifel an der Zusammengehörigkeit der einzelnen Teile des Gefäßes. Darüber hinaus ist die weißgrundige Bildzone auffällig wenig hoch. Die Darstellung selbst weist ikonographische Ungereimtheiten auf, ebenso der das Bild unter dem Schulterknick abschließende Mäander; auch die Schulterpalmetten sind mehr als ungewöhnlich. Diese Indizien zwingen uns, die Authentizität der Lekythos zu überdenken.

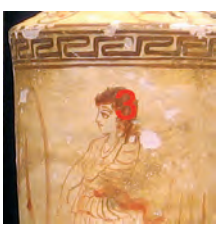
Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	weiß	Grundierung		Abb. 20 b
2	weiß	Grundierung		Abb. 20 c
3	rot	Figur rechts, Haar	Pigment	Abb. 20 d
4	rot	Figur links, Haar	Pigment	Abb. 20 e
5	rot	Grabbau, Tänie	Pigment	Abb. 20 f
6	schwarz	Körper	Glanzton	
7[50]	tongrundig	Lippe des Gefäßes, Oberseite		

Abb. 20: Weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3218 (© KHM)

(b)



(c)



(d)

(e)

(f)

[50] Da die Zusammengehörigkeit der einzelnen Teile des Gefäßes nicht vollständig gesichert ist, ist die Messung des Tongrundes an der Oberseite der Lippe als Referenz für die anderen Messungen an diesem Gefäß nur mit Einschränklungen relevant.

Die Spektren aller Messpunkte im Bereich der Bildzone (Abb. 21), sowohl das aufgelegte Pigment als auch die Grundierung (1–5)[51], zeigen bei ca. 1450 nm ein deutliches Tal[52].

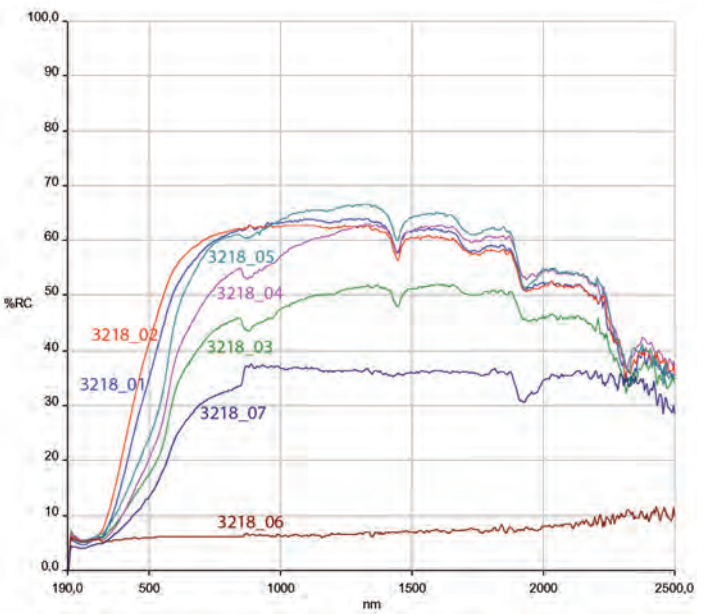


Abb. 21: Spektren der auf der weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3218 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[51] Die Messungen an der Glanztonoberfläche (Nr. 6) im unteren Bereich des Körpers und an der Lippe (Nr. 7) zeigen dieses Charakteristikum nicht. Dies könnte eventuell ein Indiz für die Nicht-Zusammengehörigkeit der Einzelteile sein. Allerdings liegen alle anderen fünf Messungen (1–5) auf der weißgrundigen Oberfläche, d. h. die Auffälligkeiten im Spektrum könnten auf die Grundierung zurückzuführen sein.

[52] In diesem Punkt muss die Interpretation in Mara et al., Acquisition, Abb. 10 (ebenso bei H. Mara – B. Breuckmann – C. Lang-Auinger, Multi-Spectral High-Resolution 3D-Acquisition for Rapid Archaeological Documentation and Analysis, in: Proc. of 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO '09), Glasgow, Scotland, United Kingdom, 2009 [2009] 1205–1209, bes. Abb. 1), revidiert werden; dort wurde das Tal in der Reflexionskurve als charakteristisch für das an dieser Lekythos verwendete rote Pigment angesprochen. Vgl. Kapitel 4.3.

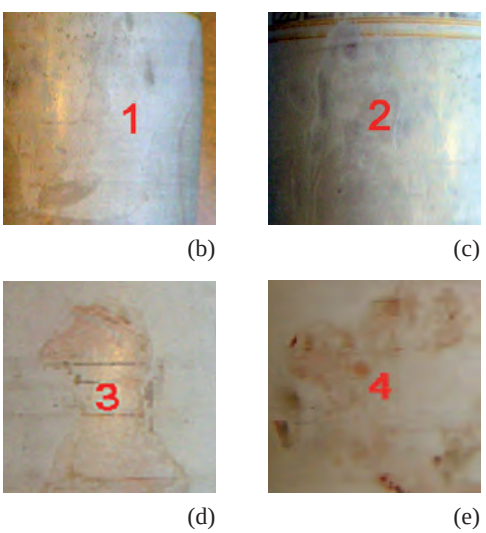
3.3.10 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3744

CVA Wien 5 Taf. 70.
Drittes Viertel 5. Jh.

Obgleich die Lekythos KHM ANSA IV 3744 mit der Darstellung einer Charonszene (Abb. 22 a) ungebrochen und in gutem Zustand ist, sind die Farben leider stark verblasst (Abb. 23).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	weiß	Grundierung		Abb. 22 b
2	braun	Mann links, Haut	Pigment?	Abb. 22 c
3	rot	Figur mittig, Mantel	Pigment	Abb. 22 d
4	rot	Charon, Gewand	Pigment	Abb. 22 e
5	tongrundig	Gefäßlippe, Oberseite		

Abb. 22: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3744 (© KHM)



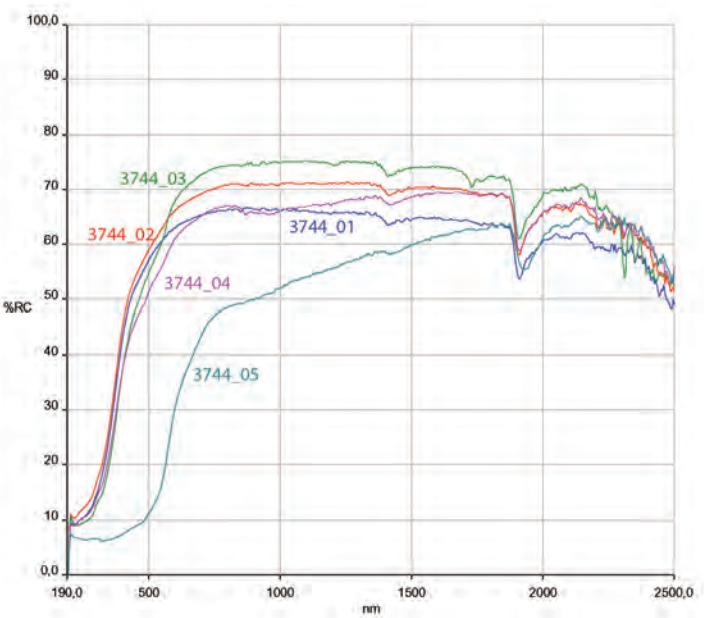


Abb. 23: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3744 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

3.3.11 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3745

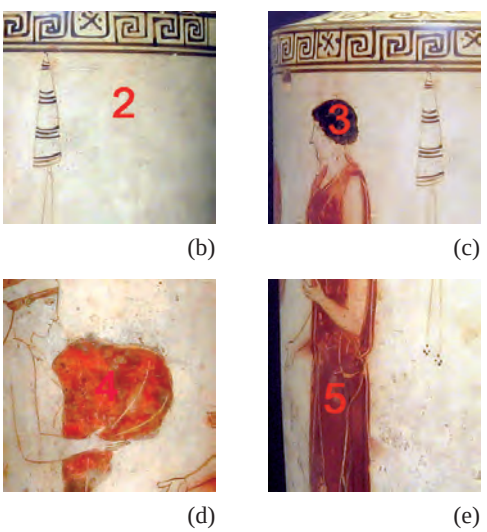
ARV² 998.163; CVA-Online 213985.
CVA Wien 5 Taf. 68.
Achilleus-Maler[53]
445–440 v. Chr.

Die gut erhaltene Schulterlekythos KHM ANSA IV 3745 (Abb. 24 a) mit Einsatzbehälter zeigt eine Mantelübergabe im Frauengemach. Die in Schlicker ausgeführte Zeichnung ist durch den Einsatz von Rot, offenbar in zwei verschiedenen Tönen, akzentuiert.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Gefäßfuß		
2	weiß	Grundierung		Abb. 24 b
3	schwarz	Mädchen, Haar	Schlicker	Abb. 24 c
4	rot	Mantel	Pigment	Abb. 24 d
5	dunkelrot	Mädchen, Gewand	Pigment	Abb. 24 e
6	schwarz	Henkel	Glanzton	

Auffällig ist der *peak* der Messung 5 bei ca. 750 nm (Abb. 25).

Abb. 24: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3745 (© KHM)



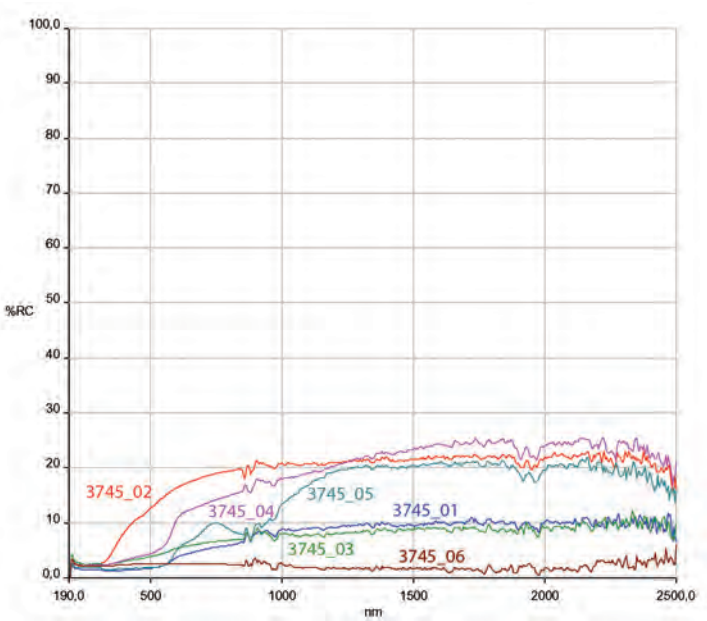


Abb. 25: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3745 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[53] Zu Stil und Maler vgl. 3.3.12.

3.3.12 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3746

ARV² 998.164; Add² 313; CVA-Online 213987.
CVA Wien 5 Taf. 69.
Achilleus-Maler
445-440 v. Chr.

Auf der ungebrochenen und mit Ausnahme weniger Abplatzungen an der Oberfläche sehr gut erhaltenen weißgrundigen Lekythos KHM ANSA IV 3746 ist ein Frauengrab (Abb. 26 a) abgebildet. Das Motiv ist zwar selten, jedoch nicht singulär[54]. Die Strichzeichnung erfolgte in verdünntem Schlicker, die Mäntel sind in rotem, die Tänien in rotem und schwarzem Pigment aufgesetzt. Auf Grund des hervorragenden Erhaltungszustands können wir die hier verwendeten Pigmente als authentisch und charakteristisch für etwa die Mitte des 5. Jhs. ansehen.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Gefäßfuß		
2	weiß	Grundierung		Abb. 26 b
3	weiß	Grundierung		Abb. 26 c
4	rot	Mann, Mantel	Pigment	Abb. 26 d
5	rot	Frau, Mantel	Pigment	Abb. 26 e
6	schwarz	Mann, Koteletten	Glanzton	Abb. 26 f
7	schwarz	Frau, Haar	Glanzton	Abb. 26 g
8	schwarz	Gefäßkörper	Glanzton	
9	schwarz	Grabbau, Tänie	Pigment	Abb. 26 h

Abb. 26: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3746 (© KHM)

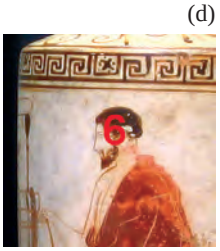
Auffällig ist der *peak* bei ca. 750 nm bei Messung 4 (Abb. 27).

(b)

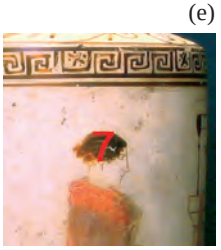
(c)

(d)

(e)



(f)



(g)

(h)

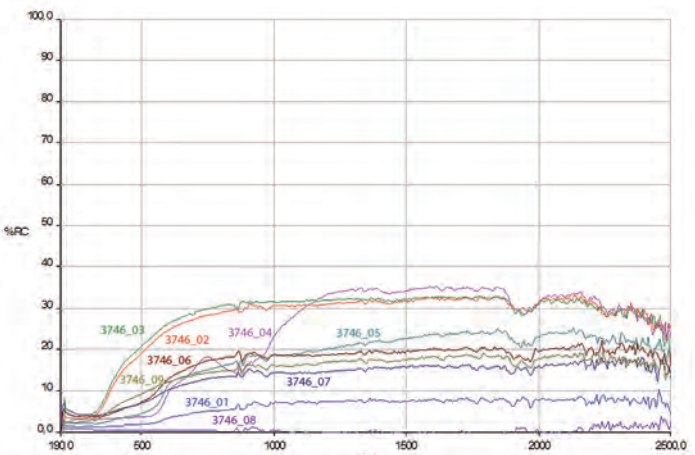


Abb. 27: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3746 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[54] Oakley, Achilles, 6; CVA Wien 5, S. 111.

3.3.13 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3747

ARV² 1377.30; CVA-Online 217690.
CVA Wien 5 Taf. 80.
Schilf-Maler
420/410 v. Chr.

Die auf der ungebrochenen Lekythos KHM ANSA IV 3747 dargestellte Szene mit der Begegnung von Besucher und Verstorbenem am Grab wirkt gut erhalten (Abb. 28 a), da Fehlstellen in Bild und Dekor retuschiert sind. Die farbigen Flächen, schwarz und rot in verschiedenen Tönen, sind tlw. fleckig, dürften aber mit großer Wahrscheinlichkeit dem Original zugehörig sein (Abb. 29).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	tongrundig	Gefäßlippe, Oberseite		
2	schwarz	Figur rechts, Mantel	Pigment	Abb. 28 b
3	rot	Figur links, Haar	Pigment	Abb. 28 c
4	hellrot	Grabstele, Aufsatz	Pigment	Abb. 28 d
5	weiß	Grundierung		Abb. 28 e
6	rot	Mann, Mantel, Saum	Pigment	Abb. 28 f

Abb. 28: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3747 (© KHM)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

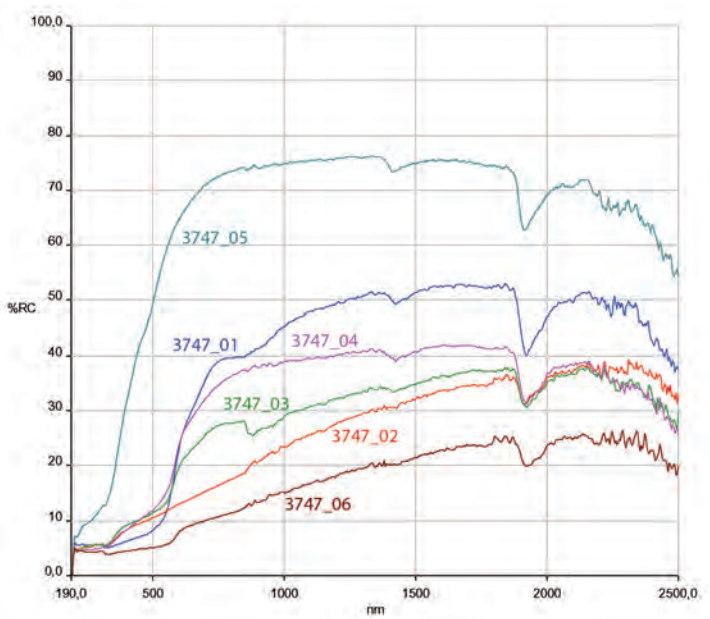


Abb. 29: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3747 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

3.3.14 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3748

ARV² 1372.16; Add² 370; CVA-Online 217615.
CVA Wien 5 Taf. 74–75.
Frauen-Maler
430/420 v. Chr.

Die weißgrundige Lekythos KHM ANSA IV 3748 ist in viele große Fragmente gebrochen und geklebt, einige Bruchstücke fehlen, ebenso der Gefäßfuß (Abb. 30 a). Die Darstellung der Prothesis einer Frau ist jedoch überwiegend gut erhalten. Die Zeichnung ist in rotbrauner Mattfarbe ausgeführt, für die Textilien und Details wurde dunkelrotes, schwarzes und heute violett erscheinendes Pigment verwendet.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	schwarz	Henkel	Glanzton	
2	rot	Frau links, Haar	Pigment	Abb. 30 b
3	rot	Frau mittig, Haar	Pigment	Abb. 30 c
4	violett	Fächer	Pigment	Abb. 30 d
5	violett	Frau mittig, Gewand	Pigment	Abb. 30 e
6	grau[55]	Frau links, Chiton	Pigment	Abb. 30 f
7	dunkelrot	Frau links, Mantel	Pigment	Abb. 30 g
8	grün[56]	Leichendecke	Pigment	Abb. 30 h
9	weiß	Grundierung		Abb. 30 i

Abb. 30: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3748 (© KHM)

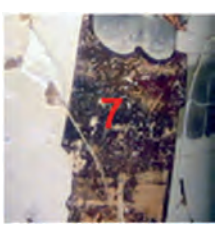
(b)

(c)

(d)

(e)

(f)



(g)

(h)

(i)

55 Ob das Grau hier auch dem von Noll und Wehgartner beschriebenen umgewandelten Grünpigment entspricht, entzieht sich derzeit unserer Kenntnis; Wehgartner, Keramik, 22 mit Anm. 18.

56 Wehgartner, Keramik 22 Anm. 18: Das als grünes Pigment verwendete Kupferhydroxychlorid verwandelt sich unter Einwirkung von Schwefelwasserstoff zu schwarzem Kupfersulfid.

Auffällig ist der *peak* zwischen 850 und 900 nm, der bei allen Messungen an diesem Gefäß festzustellen ist, sogar am Henkel (Abb. 31); könnte das ein Hinweis auf die Restaurierungsmaßnahmen sein?

In sehr ähnlicher Farbe erscheinen der Fächer (Messung 4) und das Übergewand (Messung 5) der mittleren Person; der Farbton wird hier als „violett“ beschrieben, um auch sprachlich eine Unterscheidung von hell- bzw. dunkelrot herbeizuführen. An beiden Farbflächen sind die diffus verwaschenen Ränder auffällig; bei anderen Farbflächen ist dies ansonsten nicht der Fall. Die „violetten“ Flächen erinnern tlw. an die von Wehgartner und Noll beschriebenen durch die Hitzeeinwirkung verfärbten Kupferverbindungen[57]. In der Kurve des Spektrometers zeichnet sich jedoch kein markanter Unterschied zu den anderen auf diesem Gefäß gemessenen Rottönen ab.

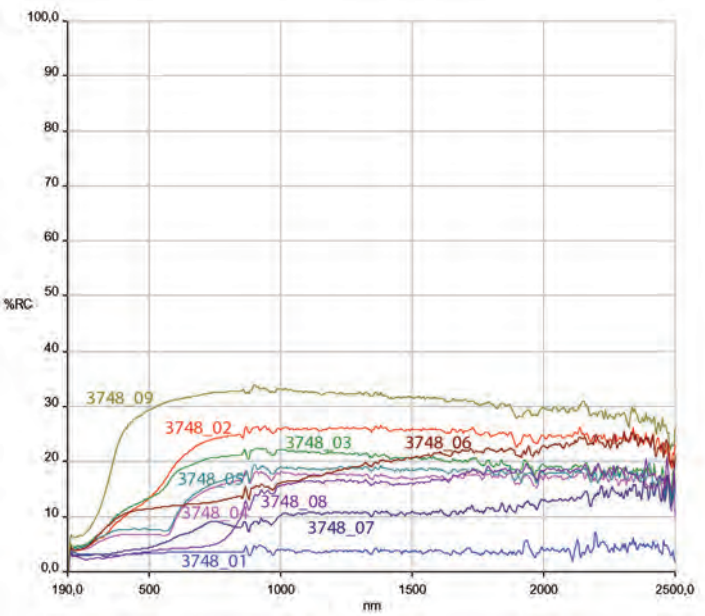


Abb. 31: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3748 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

[57] M. Svoboda, Technical Study and Reconstruction of a Huge White-Ground Lekythos from the Antikensammlung, Berlin, in: CVA Deutschland Beih. 3 (München 2007) 123–128, bes. 127.

3.3.15 Rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 3766

CVA Wien 5 Taf. 64.
Zweites Viertel 4. Jh. v. Chr.

Die Bauchlekythos KHM ANSA IV 3766 zeigt – in einer ungewöhnlichen Szene – Eros zwischen zwei Frauen (Abb. 32 a). Das Gefäß ist ungebrochen, die Oberfläche allerdings teilweise stark berieben, sodass viel von der farblichen Gestaltung verloren ist.

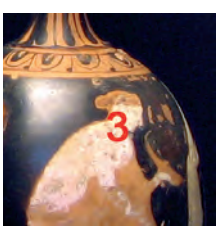
Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	weiß	Eros, Körper	Schlicker	Abb. 32 b
2	rosa	Frau rechts, Mantel	Pigment	Abb. 32 c
3	weiß	Frau links, Hals	Schlicker	Abb. 32 d
4	blau	Frau links, Mantel	Pigment	Abb. 32 e
5	blau?	Frau links, Mantel; Pigmentrest?	Pigment	Abb. 32 f
6	tongrundig	Unterseite		
7	schwarz		Glanzton	

Die Kurve der Messung 2 sticht deutlich von den anderen Kurven ab (Abb. 33).

Abb. 32: Attisch rotfigurige Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3766 (© KHM)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

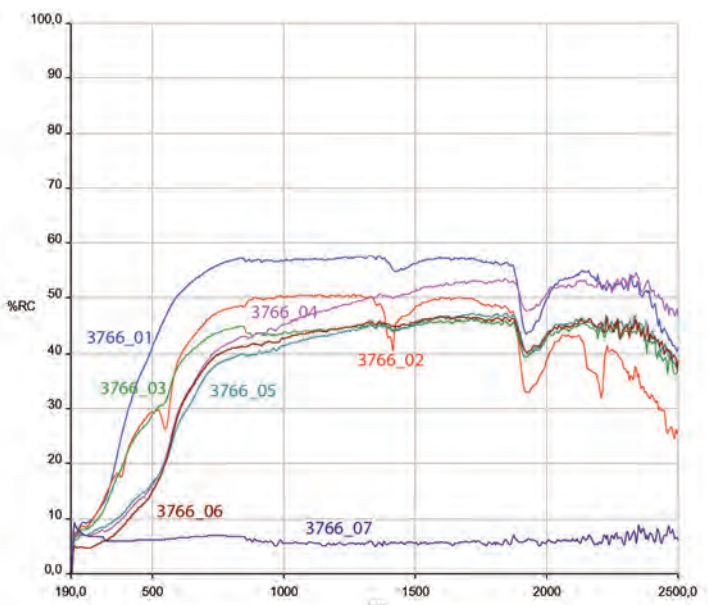


Abb. 33: Spektren der auf der attisch rotfigurigen Bauchlekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 3766 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

3.3.16 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 4402

K. Masner, Katalog der Archäologischen Ausstellung Wien. 22. Mai bis 31. August 1893 (Wien 1893) 80 Nr. 1031.
Karlsruher Maler
Zweites Viertel 5. Jh. v. Chr.

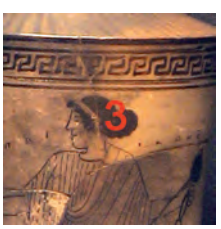
Die Lekythos KHM ANSA IV 4402 ist verbrannt, gebrochen und geklebt (Abb. 34 a); die Darstellung zeigt eine spinnende Frau. Die in Schlicker ausgeführte Zeichnung (an wenigen Stellen retuschiert) war ursprünglich wohl durch die Verwendung eines Pigments am Mantel akzentuiert. Es stellt sich die Frage, ob die Brandeinwirkung und vor allem die nur geringen Reste des Pigments eine nähere Bestimmung erlauben (Abb. 35).

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	grau	(verbrannt)	Grundierung	Abb. 34 b
2	hellgrau	(verbrannt)	Grundierung	Abb. 34 c
3	schwarz	Frau, Haar (verbrannt)	Schlicker	Abb. 34 d
4	weiß?	Frau, Mantel (verbrannt); Farbrest?	Pigment?	Abb. 34 e

Abb. 34: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 4402 (© KHM)

(b)

(c)



(d)

(e)

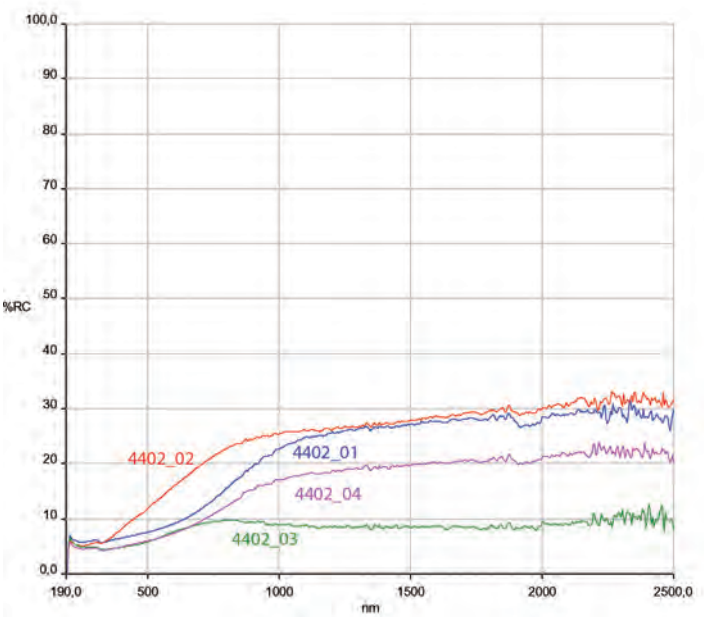


Abb. 35: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 4402 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

3.3.17 Weissgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum Antikensammlung IV 4592

CVA Wien 5 Taf. 78.
Drittes Viertel 5. Jh. v. Chr.

Die Lekythos KHM ANSA IV 4592 ist mehrfach gebrochen und stark restauriert (Abb. 36 a). Die Oberfläche ist teilweise bis auf den Tongrund abgerieben, die Pigmente sind stark verblasst (Abb. 37). Die Lekythos dürfte ursprünglich vermutlich eine Szene von zwei Personen am Grab getragen haben.

Messpunkt	Farbe	Kurzbeschreibung	Material	
1	rot	Gefäßfuß	Miltos[58]	
2	tongrundig	Gefäßlippe, Oberseite		
3	weiß	Grundierung		Abb. 36 b
4	weiß	Grundierung		Abb. 36 c
5	rot	Frau, Haar	Pigment	Abb. 36 d
6	rot	Mann, Haar	Pigment	Abb. 36 e

Abb. 36: Attisch weißgrundige Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 4592 (© KHM)

(b)

(c)

(d)

(e)

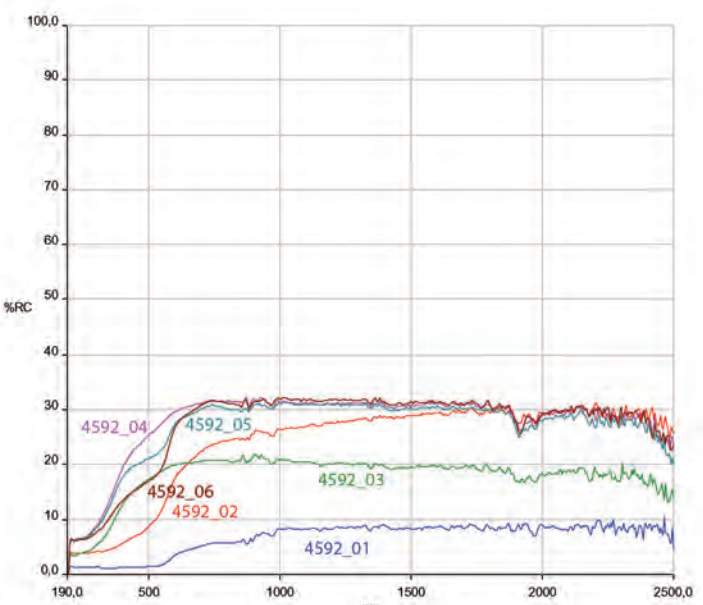


Abb. 37: Spektren der auf der attisch weißgrundigen Lekythos Wien, Kunsthistorisches Museum, Antikensammlung IV 4592 durchgeführten Reflexionsmessungen (© ÖAW)

58 M. S. Walton – E. Doehne – K. Trentelman – G. Chiari – J. Maish – A. Buxbaum, Characterization of Coral Red Slips on Greek Attic Pottery, Archaeometry 51(3), 2009, 383–396.

4 VERGLEICH DER EINZELMESSUNGEN

Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe einer Spektralvermessung die Farbigkeit auf antiken Vasen zerstörungsfrei näher zu bestimmen bzw. sie von allfälligen rezenten Hinzufügungen zu unterscheiden. Die in der Kunstgeschichte schon seit längerem verwendete bildgebende Untersuchung mittels infraroten Strahlen, die bestimmte Malschichten transparent werden lässt und bei einer weißen Grundierung den Bildplan des Künstlers sichtbar macht, sollte auch bei Vasen mittels Reflexionsspektren die archäologische Forschung unterstützen.

4.1 Hellrot im Vergleich

Wie schon vielfach betont, ist Rot die beliebteste zusätzlich aufgetragene Farbe auf den griechischen Vasen, nicht nur auf den in diesem Artikel besprochenen Gefäßen.

In Abb. 38 werden die Reflexionskurven von hellrot erscheinenden Pigmenten auf zwei weißgrundigen Lekythen zueinander in Vergleich gesetzt (vgl. 3.3.9[59] und 3.3.13). Das mit freiem Auge erkennbare ähnliche farbige Erscheinungsbild spiegelt sich im sichtbaren Bereich der Spektralkurven zwischen 400–700 nm wider. Im nahen Infrarotbereich (NIR) lassen kleine Unterschiede in den einzelnen Banden zwar den gleichen Ausgangsrohstoff (Pigment) vermuten, doch weisen z. B. unterschiedliche Wassereinschlüsse auf eine Veränderung der Ausgangssubstanz hin. Das Grundverhalten des Pigments ändert sich nicht, Brennvorgänge oder Lagerbedingungen können jedoch unterschiedliches Verhalten erzeugen, das sich in den kleinen Abweichungen der Spektren niederschlägt[60].

4.2 Gegenüberstellung Dunkelrot und Hellrot

In Anschluss an Kapitel 4.1 sind in Abb. 39 die Graphen zu sehen, die hellrot erscheinende Pigmente mit jenen, die dunkelrot erscheinen, vergleichen. Alle Messungen wurden auf weißgrundigen Lekythen durchgeführt.

Hellrot: 143_06, 143_07, 143_08 (vgl. 3.3.1); 1874_03 (vgl. 3.3.8); 1969_05, 1969_06, 1969_07 (vgl. 3.3.9); 3745_04 (vgl. 3.3.11); 3747_06 (vgl. 3.3.13).

Dunkelrot: 1969_04 (vgl. 3.3.9). 3745_05 (vgl. 3.3.11); 3746_04 (vgl. 3.3.12); 3748_07 (vgl. 3.3.14).

Ein Vergleich der Spektren zu Reflexionskurven des vermuteten reinen Pigments könnte Hinweise auf eine Zinnober- oder Hämatitverwendung[61] bringen. Es wird zwar keine 100%ige Übereinstimmung geben, doch sollte die Grundform mit den Maxima und Minima ident sein, auch wenn den Reflexionskurven unterschiedliche Messschritte[62] zugrunde liegen.

4.3 Gegenüberstellung von Weiß als Grundierung und Weiß als Dekor

Die Reflexionen von weißen Flächen wurden von uns in verschiedenen Varianten gemessen (Abb. 40), einerseits als Grundierung der weißgrundigen Lekythen andererseits als Aufhöhung der Körper in rotfigurigen Szenen (Pfeifenton).

Grundierung: 143_04 (vgl. 3.3.1); 1874_02 (vgl. 3.3.7); 1969_08 (vgl. 3.3.8); 3218_01, 3218_02 (vgl. 3.3.9)[63]; 3744_01 (vgl. 3.3.10); 3745_02 (vgl. 3.3.11); 3746_02, 3746_03 (vgl. 3.3.12); 3747_05 (vgl. 3.3.13); 3748_09 (vgl. 3.3.14).

Pfeifenton: 975_01 (vgl. 3.3.2); 1442_02 (vgl. 3.3.3); 1774_4 (vgl. 3.3.4); 1784_01 (vgl. 3.3.5).

---

59 3218_3 und 3218_4 wurden mittels RFA als Mischung von Umbra und Zinnober identifiziert. Wir danken M. Grießer und ihrem Team dafür, hier Teilergebnisse verwenden zu dürfen; vgl. Anm. 5 und Anm. 62.

60 Es spricht jedoch Vieles dafür, dass es sich bei den beiden untersuchten Stellen auf der Lekythos Wien, KHM ANSA IV 3218 um einen rezenten Auftrag handelt.

61 J. Torrent – V. Barrón, Diffuse Reflectance Spectroscopy of Iron Oxides, Encyclopedia of Surface and Colloid Science (New York 2002) 1438–1446; S. Pagés-Camagna, Non or micro-destructive fine characterisation of blue pigments using a range of complementary elementary and structural analytical techniques, in: Chemistry for the Conservation of Cultural Heritage: Present and Future Perspectives Perugia, Italy, March 19th–22nd, 2006 (Abstract).

62 s. oben Kap. 3.

63 Die Grundierung dürfte zu einem großen Teil rezent sein.

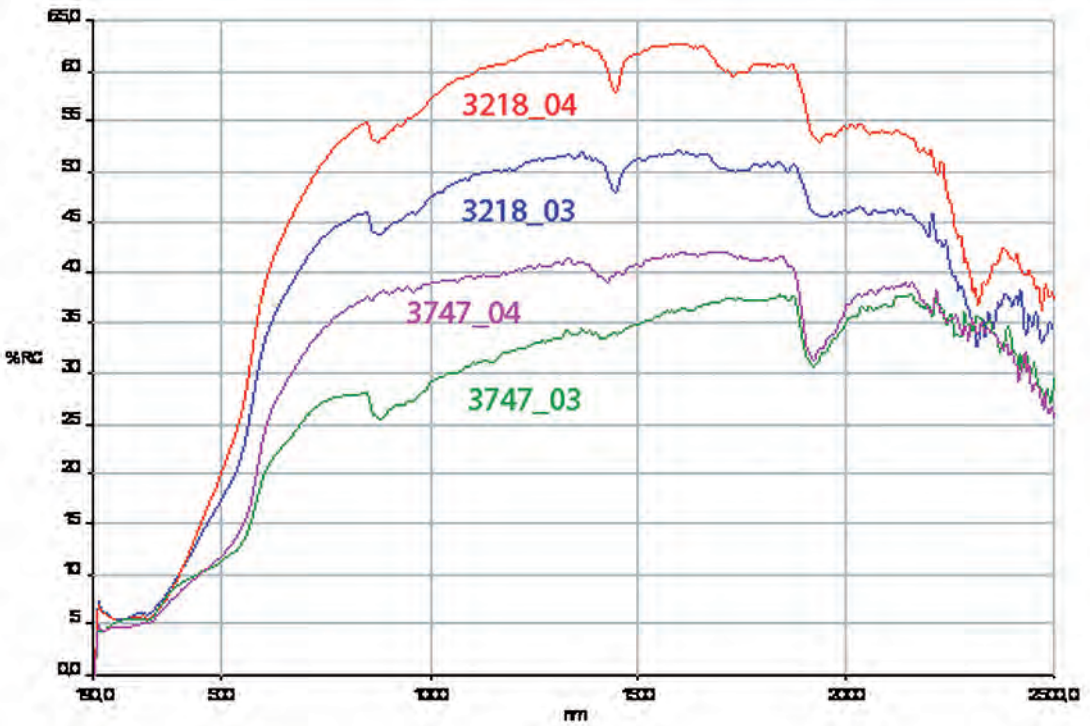


Abb. 38: Spektren der Reflexionsmessungen von hellrotem Pigment auf zwei weißgrundigen Lekythen im Vergleich (© ÖAW)

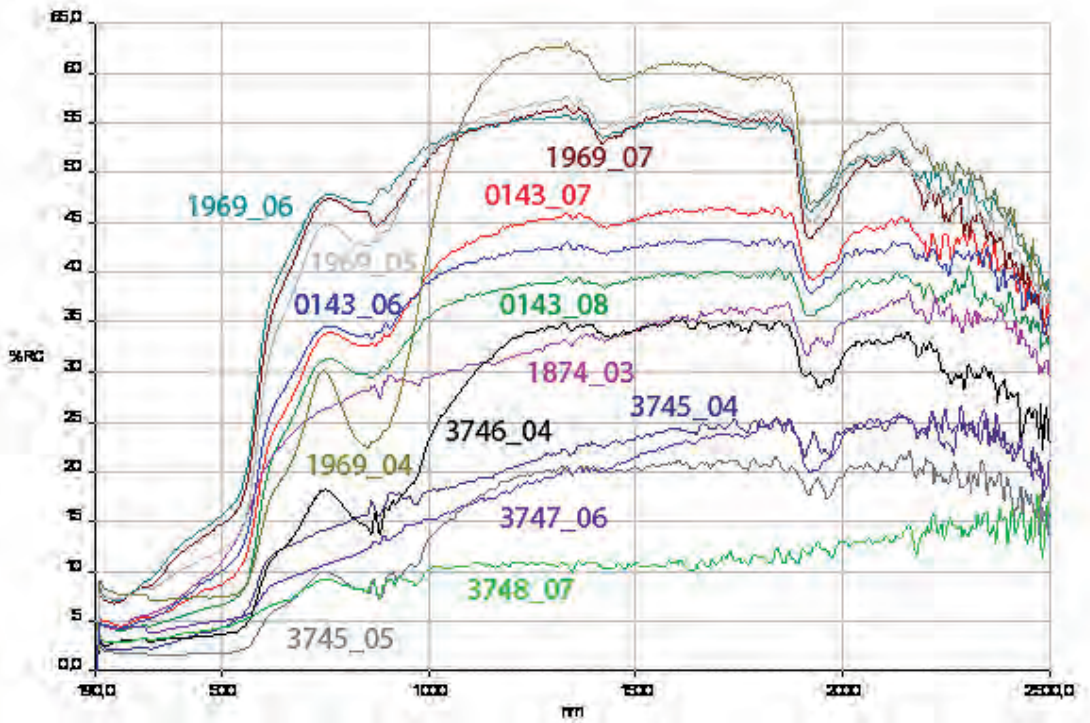


Abb. 39: Spektren der Reflexionsmessungen von rotem Pigment (hell- und dunkelrot) auf sieben weißgrundigen Lekythen im Vergleich (© ÖAW)

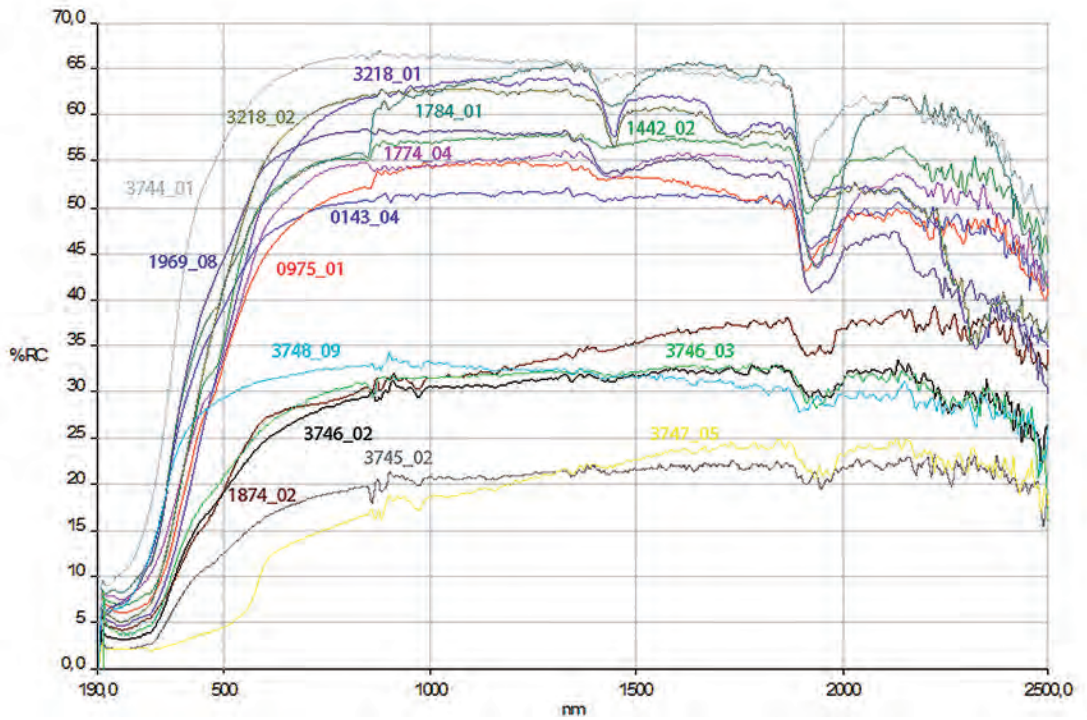


Abb. 40: Spektren der Reflexionsmessungen der Grundierung auf neun weißgrundigen Lekythen und des Pfeifentons auf vier rotfigurigen Bauchlekythen (© ÖAW)

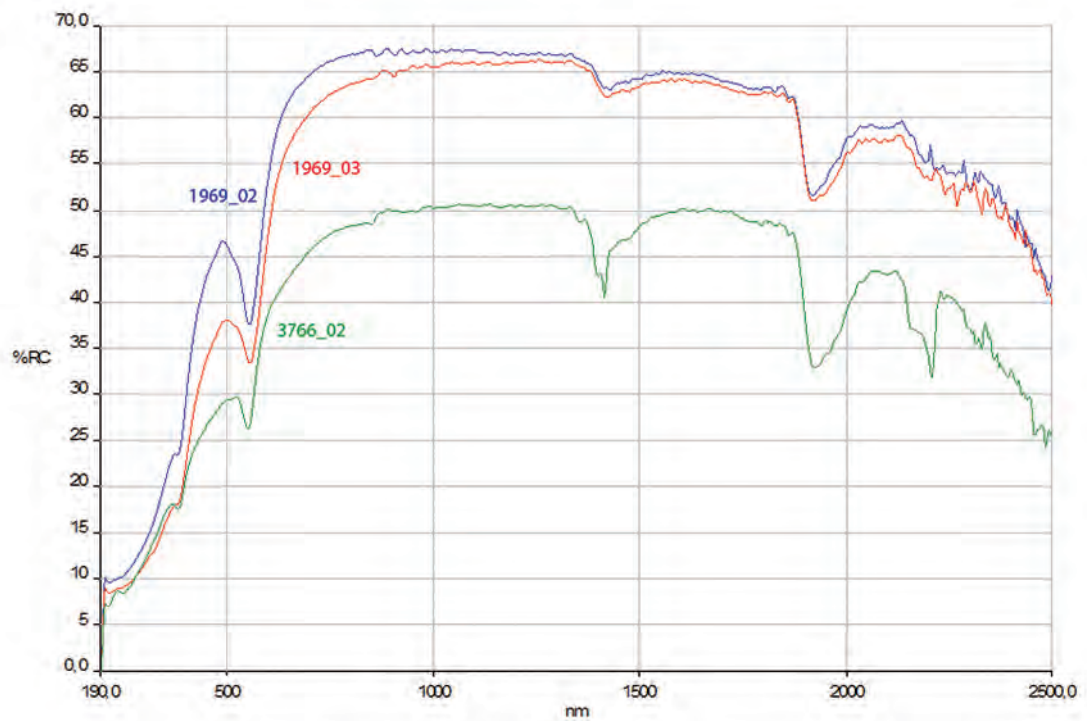


Abb. 41: Spektren der Reflexionsmessungen von rosafarbigem Pigment auf einer weißgrundigen Lekythos und einer attischen Bauchlekythos im Vergleich (© ÖAW)

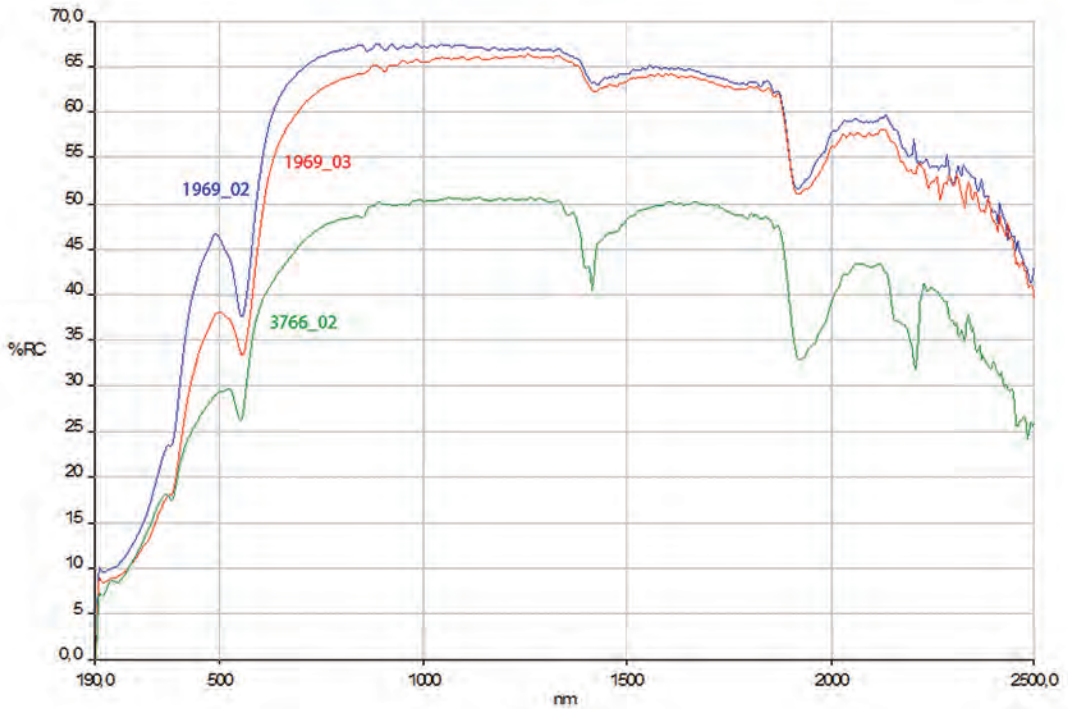


Abb. 42: Spektren der Reflexionsmessungen von blauem Pigment im Vergleich (© ÖAW)

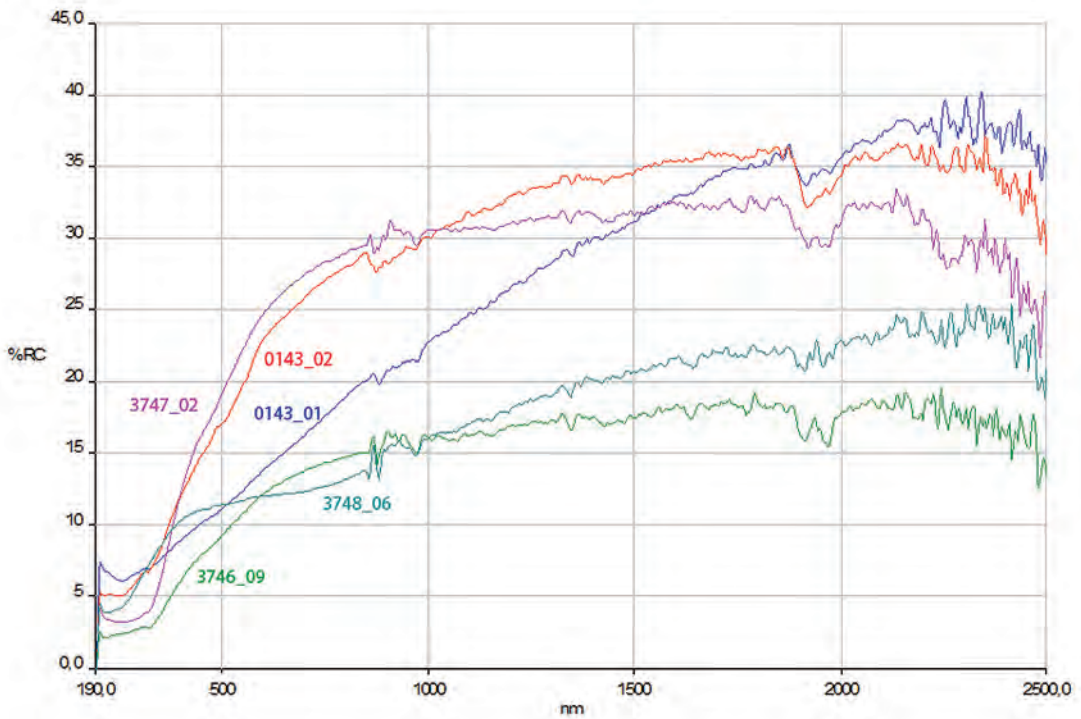


Abb. 43: Spektren der Reflexionsmessungen von grauem/schwarzem „Pigment“ auf weißgrundigen Lekythen im Vergleich (© ÖAW)

Es stellt sich die Frage, ob die schon mehrfach festgestellten chronologisch bedingten Unterschiede bei der Zusammensetzung der Grundierungen der weißgrundigen Lekythen[64] auch mittels Reflexionsmessungen zu erkennen sind. Darüber hinaus ist der Vergleich relevant, ob es sich beim weißen Schlicker, der für die Akzentuierung der Figuren eingesetzt wird, um dasselbe Material wie bei den Grundierungen von weißgrundigen Lekythen handelt.

4.4 Rosa im Vergleich

Rosafarbiges Pigment wurde auf einer weißgrundigen Lekythos (vgl. 3.3.8) und einer rotfigurigen Bauchlekythos (vgl. 3.3.15) gemessen (Abb. 41).

Das Spektrum der rotfigurigen Bauchlekythos (3766_02) zeigt gegenüber den zwei anderen im NIR-Bereich zusätzliche Banden, die sich im sichtbaren Bereich nicht auswirken. Hier könnte es sich um eine Mischung handeln.

Wehgartner vermutete für die erst ab dem letzten Drittel verwendete „zartlila“ Farbe einen organischen Ursprung[65]. Die hier mit „rosa“ bezeichneten farbigen Stellen scheinen uns mit der beschriebenen Farbe von Wehgartner vergleichbar.

4.5 Blau im Vergleich

Blaufarbiges Pigment wurde auf drei Gefäßen gemessen (Abb. 42): auf zwei Bauchlekythen (vgl. 3.3.4 und 3.3.15) und auf dem Kopfgefäß (vgl. 3.3.6). Auffällig ist vor allem, dass die eindeutig als Weinblätter dargestellten Appliken am Kopfgefäß heute blau erscheinen. Aus arbeitstechnischen Überlegungen ist davon auszugehen, dass gleichfarbige Flächen an demselben Gefäß mit demselben Pigment hergestellt wurden. Insofern ist der Vergleich der Gefäße (für alle liegen je zwei Messungen vor) untereinander von Interesse.

Die mikroskopische Begutachtung[66] des Kopfgefäßes und einer der beiden Bauchlekythen (ANSA IV 1774) macht in jedem Fall deutlich, dass es sich bei dem verwendeten Pigment um Ägyptisch Blau[67] handelt. Auffällig ist, dass die Qualität des Pigments auf dem Kopfgefäß als gut, auf der Lekythos jedoch als mäßig zu bezeichnen ist.

In diesem Bereich bestätigt die Spektraluntersuchung die Verwendung des Pigments „Ägyptisch Blau“.

4.6 Schwarz im Vergleich

Auf manchen weißgrundigen Lekythen kommt auch graue/schwarze Dekoration (Abb. 43) zum Einsatz, die eindeutig kein mitgebrannter Schlicker ist: 0143_01, 0143_02 (vgl. 3.3.1); 3746_09 (vgl. 3.3.12); 3747_02 (vgl. 3.3.13); 3748_06[68] (vgl. 3.3.14).

Die unterschiedlichen Spektren lassen nicht idente Materialien vermuten. Zum Einen zeigt das Spektrum von 3748_06 ein „Plateau mit Abbruch“ zum Anderen jenes von 0143_01 einen schräg geraden Anstieg. Beide Beispiele sind mit dem sichtbar linearen bzw. kurvigen Verlauf signifikant unterschiedlich zu den anderen Kurven.

Weitere Untersuchungen zur genauen Bestimmung des Materials sind noch in Arbeit.

---

64 T. Friedrich, Drei attisch-weißgrundige Lekythen (Diplomarbeit FH Technik und Wirtschaft Berlin, 2005); R. Attula – T. Friedrich, Zur Restaurierung von drei weißgrundigen Lekythen in Greifswald; in: Bentz – Kästner, Konservieren, 141–145.

65 J. Wehgartner in: Tiverios – Tsiafakis, 95. Auch auf der Canosa-Ware ist die rosa Farbe organischen Ursprungs: D. A. Scott – M. Schilling, The Pigments of the Canosa Vases: A Technical Note, Journal of the American Institute for Conservation 30(1), 1991, 35–40.

66 Bestimmt durch F. Mairinger. – Auf einer Bauchlekythos in Berlin ist das Blau mit Baryt/Bariumsulfat ($BaSO_4$) vermischt, dabei könnte es sich jedoch um einen rezenten Auftrag handeln; U. Kästner, Farbuntersuchungen, in: U. Kästner – M. Langner – B. Rabe (Hrsg.), Griechen, Skythen, Amazonen (Berlin 2007) 58 f.

67 F. Davidovits, Notes of the Nature of *Cretan Anularia* and Vitruvius' Recipe for Egyptian Blue, in: Colour in the Ancient Mediterranean World, BARIntS 1267 (Oxford 2004) 16–21. Vgl. auch Anm. 23.

68 Auf demselben Gefäß ist eine grünlichgraue Fläche (3748_08); könnte das dasselbe Pigment sein?

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die wichtige Frage, ob mit der durchgeführten Spektralvermessung Rückschlüsse auf jüngere Hinzufügungen gewonnen werden können, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Die Spektralmessung kann aber als gute Ergänzung zur RFA (Energiedispersive Röntgenfluoreszenz Analyse) gesehen werden, mit der Haupt- und Spurenelement-Zusammensetzungen gefunden werden können. Keine Aussage gibt sie über chemische Verbindungen, die in Pigmenten (Mischungen) vorkommen.

Die hier vorgelegten Messungen können nur eine Vorstudie für eine intensive Beschäftigung mit den farbigen Auflagen auf griechischer Keramik sein. Weiter reichende Analysen werden erst nach einer größeren Anzahl von Messungen möglich werden. Besonders wichtig ist der Vergleich mit Reflexionskurven von sauberen Pigmenten, die für die Kolorierung der Vasen in Frage kommen, der noch aussteht.

Da die Messungen mittels eines Spektrometers aber zerstörungsfrei und rückstandslos sind, scheinen uns vergleichbare Messungen an Pigmenten der griechischen Keramik ein lohnender Weg für zukünftige Untersuchungen zu sein.

ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARIES

Thomas Mannack, Greg Parker
The Digital CVA – Status 2010

The development of *Corpus Vasorum Antiquorum* (*CVA*) for over 90 years necessitated new approaches. Indexes to a printed work of such size and complexity are difficult to keep up-to-date. Using the digital archive of Athenian figure-decorated vases created in 1978, *CVA* has been made accessible on the internet, free of charge, since 1998 (www.beazley.ox.ac.uk). Presently, this site has approximately 20,000 registered users and contains data on all vases published to date in *CVA*; it also contains data on other Attic vessels, both those included in *ABV*, *ARV*, and *Paralipomena*, and those not attributed by Beazley. CVA-Online is powered by XDB (eXtensible DataBase), a flexible database for text and images that was developed in the Beazley Archive. It enables users to perform searches using a combination of user-defined search fields; registered users also have access to a photo-album function. The database capacity is currently 4 Terabytes (TB), but it is estimated that a capacity of 8 TB will be required by 2020. File protection is of utmost importance; maintaining backups is a priority as is developing protective measures against attempts to make illegal copies, for example by applying watermarks to available images. Development continues steadily. Curators, with password protected access, can upload their portfolio and a print-on-demand function is being developed.

Hubert Mara, Julia Portl
Aufnahme und Dokumentation von Gefäßen mittels hochauflösender 3D-Scanner

3D-Scanner werden zunehmend in vielen Bereichen zur Dokumentation von archäologischen Funden eingesetzt. Optische 3D-Scanner bieten sich dafür besonders an, da sie transportabel und vom Bedienkonzept ähnlich zu Photoapparaten sind. Darüber hinaus arbeiten sie berührungsfrei, strahlungslos und erfassen die Farbe von Oberflächen. Für den Einsatz in den österreichischen CVA-Projekten wurden industrielle 3D-Scanner eingesetzt, da die damit gewonnenen hochauflösenden 3D-Modelle zusätzlich Methoden zur Dokumentation und Auswertung ermöglichen.

In diesem Kapitel werden zu Beginn die praxisrelevanten Eigenschaften von optischen 3D-Scannern vorgestellt. Die weitgehend automatisierbaren Arbeitsschritte, die zur Erfassung von rotationssymmetrischen Gefäßen nötig sind, werden vorgestellt. Da manuell gefertigte Objekte in den seltensten Fällen eine perfekte Symmetrie haben, werden die Möglichkeiten zur Berechnung von Profilschnitten und Silhouetten aus 3D-Modellen gezeigt. Im Gegensatz zu den Rastergraphiken von digitalisierten Handzeichnungen, werden die berechneten Profile als Vektorgraphik exportiert und ermöglichen damit eine einfache Finalisierung zur Publikation.

Zusätzlich können orthographische, maßstabsgetreue Ansichten erstellt werden. Mit Hilfe von geometrischen Hilfskörpern, wie der Kugel und dem Konus können die 3D-Modelle transformiert werden. Die Ergebnisse dieser Transformationen entsprechen Abrollungen der Gefäßoberflächen. Abschließend werden exemplarische Ergebnisse zur Volumenschätzung von 3D-Modellen geschlossener Gefäße gezeigt. Bei Vorhandensein von Einsatzbehältern werden aus Röntgenbildern und den Rotationsachsen der 3D-Modelle die Volumina dieser Behälter errechnet.

Bettina Vak
In Search of the Original. The Scientific Diagnosis of Figured Painted Attic Pottery in the Antiquities Collection of the Kunsthistorisches Museum, Vienna, using Applications and Illustrations

This paper will address on two particular issues based on the work of vessels from the collection of the Kunsthistorisches Museum, Vienna, for CVA Wien 5 and 7: the visualization of barely visible or concealed parts of the image; and the differentiation between original substance and modern amendments including their technical classification.

The images, which more often than not, are rendered in low-temperature colours on white-ground *lekythoi*, are often difficult to recognize because of (less than perfect) storage conditions. In order to visualize these images, we selected the following approach: the surface is photographed in single exposures with the aid of a stereomicroscope and is reconstructed with the aid of an image-processing software program. Because of this, single portions (including non-antique parts of the image, for example) can be embodied separately. The stereomicroscope and image-processing software programs are well-proven for their ability to capture the finest of line-weights, even for the visualization of sketches. The precise documentation of painted vases described in the preceding steps will contribute a great deal to the future study of painters and the relationships between workshops.

Even the use of non-visible light (in the infrared and ultraviolet range) can reveal the often near-perfect restorations from previous centuries, but only the application of scientific methods will allow for a qualitative determination. For example, X-ray fluorescence analysis enables selective substance analysis and is particularly suitable for heavier inorganic pigments.

Based on the case studies discussed, it appears that, most of the time, only a combination of different investigative and analytical processes will lead to a satisfactory outcome.

Stephan Karl, Daniel Jungblut, Jördis Rosc
with a contribution from Rudolf Erlach
Non-contact and Non-invasive Investigation of Ancient Ceramics Using Industrial X-ray *Computer Tomography*

In cooperation with the Austrian Foundry Research Institute (ÖGI) in Leoben and the Goethe Center for Scientific Computing (G-CSC) at the University of Frankfurt, a study was conducted to address the documentation of ceramic vessels using high-resolution computer tomography (CT); their aim was to evaluate the possibilities and limitations of this technique in the context of the archaeological study of ceramics. The objects being examined were vessels and vessel fragments from the collections of the Universalmuseum Joanneum in Graz and the Institute of Archaeology at the University of Graz.

The low density and heterogeneous nature of ceramic substances proves to be ideal for CT examinations. The radiation exposure, as demonstrated by optimal performance, can be classified as low. TL-dating for the purposes of verifying authenticity is guaranteed even after a CT examination, taking the threshold values into consideration. More than any other method, the industrial CT achieves, without contact and in a non-invasive manner, a fully three-dimensional image of an object including all external and internal structures. The information created by the CT volumetric reconstruction-matrix, which provides a virtual three-dimensional visualization of the object based on the respective densities of a data-element (*voxel*), can be measured and evaluated using commercial software programs in a contact-free manner. In order to prepare the CT generated model for more efficient post-processing, a Surface Reconstruction Method (SRM) was developed. This method generates a surface model which provides a simple method for calculating the vessel's capacity and ceramic volume. Foreign material (such as inclusions in the clay, modern ingredients, etc.) and even air holes within the ceramic body can be made visible by setting corresponding threshold parameters. This will provide information regarding the pottery fabric, production techniques and restoration measures of the vessel. The high accuracy of this method, which is in the micrometer-range, allows for archaeometric comparisons of thin sections without the need for a material sample to be taken.

Robert Fürhacker, Stephan Karl
The Documentation of Historic Restorations of Ancient Pottery, A Case Study of Two Vessels from the Universalmuseum Joanneum, Graz, with Special Emphasis on Industrial Computer Tomography

The branch of restoration history is relatively recent in the study of ancient ceramics. The Universalmuseum Joanneum, with its more than 200-year history, is home to many ceramic vessels, some of which were substantially reworked in the 19th century. After outlining the history of the Joanneum Museum's ceramic collection, two of its vessels in particular will be studied from an archaeological and conservational point of view; the vessels have been examined in detail with conventional methods as well as with the help of industrial computer tomography (CT).

The first case study comes from Etruria: a vessel of *Bucchero 'pesante'*-ware decorated with relief heads. As a result of the CT scan, the vessel revealed itself as a pasticio of fragments that did not originally belong together. This means that in principle the vessel is no longer a restoration in which the goal is being able to 'read' or discern the fragmented vessel, rather, it must be viewed as a new creation. With the CT-image it is possible to distinguish, in a non-destructive manner, between the ancient and modern matter. Modern interventions are also clearly evident in the second case study: a *column-krater* rendered in the Volterra style and whose status is also now far from being considered antique as a result of its being almost completely over-painted.

Starting with a larger material base will allow comparable detailed studies of restoration measures, different restoration concepts and perhaps even of individual persons and workshops (as in the case of ancient vase painting) to be recognized. The application of modern methods of investigation allows us to place an object not only in its archaeological context, but also to reconstruct the more recent transformative processes that are also a part of the object's history.

Maria Christidis
A Guttus from the Original Collection of the Institute of Archaeology at the University of Graz. Applications of Scientific Research

The focus of this paper is a black-glazed guttus which ports a relief medallion and which is kept at the Institute of Archaeology, University of Graz. When handling the vessel it appeared to be unbroken, however, it was found to contain typological as well as surface-material inconsistencies which made a detailed inspection necessary. Two imaging methods, X-ray and computer tomography (CT) were used after a microscopic examination had been made. As a result it was discovered that certain parts of the vessel contained an over-painted, non-ceramic leveling layer. The CT scan images also reveal the interior contour of the vessel, which would otherwise not have been visible. It becomes clear that the wall thickness of the individual fragments varies. The typological ambiguities are the result of earlier restoration measures whereby the spout was patched twice.

Moreover, the CT scan images reveal the density of the material, which differs from one vessel fragment to the other. Therefore, the imaging techniques provide insight into the original manufacturing technology of so-called unbroken, original, closed-form containers. In this case it revealed the separated production of base, handle and spout, and proved the mounting of the medallion as the last step.

Leonid Dimitrov, Milos Šrámek, Emanuel Wenger, Claudia Lang-Auinger, Elisabeth Trinkl
Pilot Study for the Visualization and Analysis of Ancient Vases

This paper briefly summarizes a pilot study conducted in 2006 that gauged the potential of industrial computer tomography (CT) for the investigation of ancient ceramics. Developed for human medicine, computer tomography provides a non-invasive insight into the human body; this technology can also be applied to inanimate objects, providing a substantial gain of information.

Computer tomographs have been developed with a higher x-ray intensity and a longer exposure time for the testing of inanimate matter in particular. Such industrial computer tomographs would be harmful to the human body, yet inorganic objects such as vases can be thoroughly scrutinized with great accuracy in a non-

destructive, contact-free manner. The individual CT scans are connected to a three-dimensional image of the object that includes the surface as well as the material itself. As a result, any desired dimensions (such as height and volumetric capacity) can be extracted, as can section drawings.

A squat, rounded-bellied lekythos of Gnathia-ware was our test-object. An unprofessional restoration of its neck could only be detected after a CT scan had been performed.

Paul Kammerer, Franz Mairinger, Elisabeth Trinkl, Ernestine Zolda
Colour Spectrum Analysis – a Preliminary Study

Within the scope of processing vessels for the CVA Wien, KHM 5, 17 objects were examined using reflection spectroscopy, particularly in the presence of coloured pigments. Under favorable conditions, this non-invasive and non-destructive method of measurement allows for the identification of a substance and/or pigments by comparing it with standard spectra.

There are two main reasons for the preoccupation with pigments: on the one hand, the appearance of a colour today can vary greatly from its original, ancient appearance due to external influences; on the other hand, it should be determined whether spectroscopy can distinguish between the antique (original) and modern (extant patch) pigments. In our test arrangement the signal strength is generally low due to scattering caused by the curved surface; in addition, the relatively large size of the area to be examined complicates the analysis. Nevertheless, it is clear that areas appearing similar to the naked eye sometimes display different results and/or spectrum ranges, so that one must assume a difference in materials.

For the exact identification of individual pigments however, further measurements and more detailed investigations must be conducted.

Englische Übersetzungen: Catherine Leisser