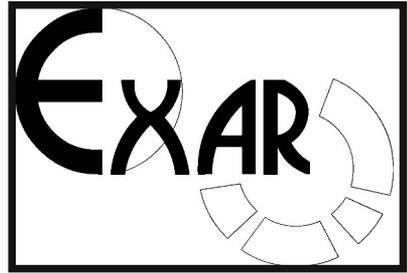


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA  
Jahrbuch 2018  
Heft 17

Herausgegeben von Gunter Schöbel  
und der Europäischen Vereinigung zur  
Förderung der Experimentellen  
Archäologie / European Association for  
the advancement of archaeology by  
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem  
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,  
Strandpromenade 6,  
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,  
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE  
IN EUROPA  
JAHRBUCH 2018

Unteruhldingen 2018

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Redaktion: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller,  
Erica Hanning

Textverarbeitung und Layout: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Bildbearbeitung: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Umschlaggestaltung: Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: S. Guber, M. Arz, O. Ostermann

#### Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter:  
<http://dnb.dbb.de>

ISBN 978-3-944255-11-8

© 2018 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

# Inhalt

*Gunter Schöbel*

Vorwort

8

## Experiment und Versuch

*Sonja Guber*

Prähistorische Bienenhaltung in Mitteleuropa – ein archäoimkerliches Projekt

10

*Hans Reschreiter, Michael Konrad, Marcel Lorenz, Stefan Stadler, Frank Trommer, Claus-Stephan Holdermann*

Keine Tüllenpickel im bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt! Aspekte der experimentellen Fertigung bronzezeitlicher Gezähe als Interpretationsbasis bergmännischer Spezialisierung

19

*Hannes Lehar*

Auf der Suche nach dem „dehnbaren“ Beton

34

*Martin Schidlowski, Tobias Bader, Anja Diekamp*

Mineralogische und chemische Charakterisierung römischer Estriche

43

*Klemens Maier, Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg, Alexander Hanser, Oskar Hörtnner*

Rezeptentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen

50

*Peter Kienzle*

Erfahrungen aus dem Betrieb der rekonstruierten kleinen Thermen in Xanten

59

*Gregor Döhner, Michael Herdick, Anna Axtmann*

Ofentechnologie und Werkstoffdesign im Mayener Töpfereirevier um 500 n. Chr.

71

*Frank Wiesenberg*

Glasperlenherstellung am holzbefeuerten Lehmofen

87

*Sayuri de Silva, Josef Engelmann*

Überlegungen und Rekonstruktion zum Drahtziehen im Mittelalter

101

## Rekonstruierende Archäologie

<i>Thorsten Helmerking</i> „Burn-out“ als Arbeitstechnik beim Einbaumbau?	111
<i>Karl Isekeit</i> Das Einbaumprojekt Ziesar	121
<i>Gabriele Schmidhuber-Aspöck</i> Römische Schiffe im Experiment. Schiffbau im LVR-Archäologischen Park Xanten	129
<i>Wolfgang Lobisser, Jutta Leskovar</i> Die experimentalarchäologische Errichtung der neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau im oberösterreichischen Machland	140
<i>Wolfgang Lobisser</i> Man muss das Eisen schmieden, solange es heiß ist! Das neue Modell einer keltischen Schmiede im MAMUZ in Niederösterreich	158
<i>Clio Felicitas Stahl</i> Gut gerüstet. Der Nachbau eines frühsarmatischen Schuppenpanzers aus Filippovka I unter Berücksichtigung technisch-konstruktiver Fragen	174
<i>Maren Siegmann</i> Die Spur der Fäden. Perlenensembles und ihre Aussagemöglichkeiten	186
<i>Thomas Flügen, Carsten Wenzel</i> Alten Mauern mit neuem „Glanz“ – Sanierung und Neupräsentation der „Kaiserpfalz Franconofurd“	199
<i>Andreas Klumpp</i> „Wie man guote kraphen mag machen“. Neue Experimente zur Herstellung mittelalterlicher Krapfen – erste Grundlagen	209

## Vermittlung und Theorie

<i>Peter Kienzle</i> Der Forscher – die Botschaft – der Besucher. Kommunikation an archäologischen Stätten	220
---	-----

<i>Sylvia Crumbach</i> Experimentelle Archäologie – Was für eine Frage?	230
<i>Claudia Merthen</i> Neuer Name – bewährtes Konzept. Das Potential von Citizen Science für die Experimentelle Archäologie	236
 Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2017	245
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	249

# Vorwort

Liebe Mitglieder des Vereins, liebe Leserinnen und Leser,

Die Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie in Europa EXAR tagte 2017 in Xanten auf dem Gelände der einstigen römischen Stadt Colonia Ulpia Traiana. Rund 400 Jahre lang war Xanten neben Köln, Trier und Mainz eine der größten und bedeutendsten römischen Städte in Germanien. Ein Glücksfall war, dass das Gelände der einstigen Römerstadt in Mittelalter kaum besiedelt wurde, sodass sich vieles im Boden gut erhielt. 1973 beschloss der Landschaftsausschuss des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) die Einrichtung des Archäologischen Parks auf dem Areal der ehemaligen Colonia, der am 8. Juni 1977 eröffnet wurde. Über 570.000 Besucher, darunter 40 Prozent Kinder, Jugendliche, Schüler unter 18 Jahren, haben den Archäologischen Park Xanten (APX) 2017 besucht, der damit zu den meistbesuchten Museen Deutschlands zählt. Es war ein idealer Ort für die 15. EXAR Jahrestagung vom 28. September bis 1. Oktober 2017. Ein besonderer Dank geht an Dr. Martin Müller, den Leiter des APX und an seine Mitarbeiter, die sich jederzeit bestens um uns kümmerten und hervorragende Voraussetzungen für die gelungene Durchführung der Tagung schufen. Zugleich gaben sie uns tiefe Einblicke in Organisation und thematische Orientierung des Parks.

Zwei Vortragstage und ein abschließender Exkursionstag, der uns durch den weitläufigen Archäologischen Park mit Römermuseum, Schiffswerft, Hafentempel und Amphitheater führte, füllten das dreitägige Programm. Rund 20 Vorträge

beleuchteten aktuelle Vorhaben der Experimentellen Archäologie aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Wie jedes Jahr konnte dabei ein breites Spektrum aus dem Bereich „Experiment und Versuch“, „Rekonstruktion“ sowie „Vermittlung und Theorie“ vorgestellt werden. Das 250 Seiten umfassende Jahrbuch fasst in 22 Beiträgen das Wichtigste der vergangenen Jahrestagung zusammen. Passend zum Ort der Zusammenkunft lag ein besonderer Schwerpunkt auf Experimenten und Versuchen zur Archäologie der Römischen Provinzen. Römische Bautechniken – genannt seien die Stichworte Opus Caementitium, Estriche und Beton – wurden ebenso thematisiert wie praktische Erfahrungen im Betrieb einer Therme und beim Nachbau eines Römerschiffes. In den Bereich der Mobilität zu Wasser führten uns neben dem römischen Schiffsbau zwei Einbaum-Experimente. Unterschiedliche Fragestellungen zur Rekonstruktion nahmen sich Vorträge zur neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau, Österreich, und zur Kaiserpfalz „Franconofurd“ an. Drei Berichte aus dem Bereich „Vermittlung und Theorie“ widmeten sich der Rezeption archäologischer Versuche und dem Potential von „Citizen Science“, bei der sich Bürgerinnen und Bürger an der Wissensbeschaffung und am Erkenntnisgewinn beteiligen. Ein Rückblick über die Vereinstätigkeiten aus der Feder von Frau Ulrike Weller rundet den aktuellen Band ab.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen

Prof. Dr. Gunter Schöbel  
Vorsitzender EXAR

## Ofentechnologie und Werkstoffdesign im Mayener Töpfereirevier um 500 n. Chr.

Gregor Döhner, Michael Herdick, Anna Axtmann

**Summary – Furnace Technology and Material Design in the Mayen Pottery District around 500 A.D.** *The focus of the first phase of the investigations about the Mayen ceramic technology was the reconstruction of an updraft kiln excavated at Siegfriedstr 53, which was built around 500 and used until 520/530 AD. Between 2014 and 2016, three experimental firings were carried out. One of the central findings was that the kiln construction reflects only a part of a complex technological system. The properties of the ceramic material, the stacking of the wares in the kiln, as well as the firing process all influence the firing just as much as the kiln construction. The verdict about the technological efficiency of the Mayen updraft kiln must be seen in relation to the coarse wares that were being produced there around 500 AD and were mainly destined for export. When looking at the relative amount of time and work needed for producing these types of wares, the updraft kilns were efficient. For other types of wares that needed to be fired at higher temperatures or in an alternating atmosphere, then this type of kiln is less suitable. In addition, the available clay resources were analyzed in terms of their technological properties and put in relation to their utilization in the respective period. The processing of the plastic raw materials into usable ceramic mass was also examined. This requires combining the analytical data from the raw resources and material with the effective behavior of the clays during throwing, drying and firing. The aim is the development of a generally applicable methodological tool based on the technological analysis of the resources and materials, which would allow one to draw conclusions about the form, function and statics of a typological spectrum of pots produced during a certain period. This includes recording and sampling the different clay deposits and in which time period they were exploited, as well as the addition of various aggregates to the raw materials. At the same time, analyses and test series concerning the adequacy of clay from Mayen for the production of engobes are also being undertaken.*

*Keywords: toploader kiln, clays, ceramics, pottery, resource exploitation strategy*  
*Schlagworte: Schachtofen, Tone, Keramik, Töpferei, Ressourcennutzungsstrategie*

In der Römischen Kaiserzeit entstand zwischen Mayen (Kreis Mayen-Koblenz) und Koblenz ein Industrieviertel von mitteleuropäischer Bedeutung, das überre-

gionale Absatzmärkte bis ins Mittelalter hinein behaupten konnte. Fernhandels-güter waren Basaltmühlen und Tuff, der als Leichtbaustein der Antike dient. Seit

etwa 300 n. Chr. produzierten auch die Mayener Töpfereien zunehmend für den Export (GRUNWALD 2015; GRUNWALD 2016). Archäometrische Untersuchungen ermöglichten die Rekonstruktion der mitteleuropäischen Absatzmärkte und den Nachweis der Imitation Mayener Ware in verschiedenen Regionen. Großflächige Ausgrabungen der Produktionsstätten in Mayen im letzten Drittel des 20. Jhs. erlauben einen Überblick über rund 1.000 Jahre Entwicklungsgeschichte der Ofentechnologie (GRUNWALD 2011). Ideale Voraussetzungen für eine Modellstudie zur Kontextualisierung eines Töpfereireviere von mitteleuropäischer Bedeutung in diachroner Perspektive in seinen wirtschafts-, technik- und sozialgeschichtlichen Dimensionen. Als Konsequenz daraus begannen 2014 auch experimentalarchäologische Studien zur Evaluierung der Keramiktechnologie der Mayener Töpfereien. Ziel dabei ist nicht der schlichte rekonstruierende Nachvollzug historischer Prozesstechniken eines einzelnen Standorts, sondern die Schaffung eines technikarchäologischen Wissensfundaments. Die erzielten Ergebnisse sollen zur Analyse anderer Produktionsstätten des Töpferhandwerks herangezogen werden können: sei es um Übereinstimmungen oder sogar verallgemeinerbare Regeln sichtbar zu machen, sei es um Abweichungen und Unterschiede hervorzuheben.

Der Forschungsansatz zur experimentalarchäologischen Evaluierung der Ofentechnologie lässt sich vor diesem Hintergrund wie folgt formulieren: Rekonstruktion und technologische Evaluierung von Ofentypen, die nach dem Stand der Forschung einen technikgeschichtlichen Entwicklungsschritt markieren und/oder in einer sozial- bzw. wirtschaftsgeschichtlichen Übergangszeit in Erscheinung treten.

Angewandt auf die Mayener Töpfereien legt das zunächst die Rekonstruktion und die experimentalarchäologische Untersu-

chung eines um 500 errichteten und bis 520/30 genutzten Schachtofens aus der Siegfriedstr. 53 nahe. Solche Schachtofen lösten in der 2. Hälfte des 5. Jahrhunderts in Mayen die üblichen Öfen mit gestreckt ovalen oder rechteckigen Grundformen ab. Die Notwendigkeit einer experimentalarchäologischen Analyse des Befundes erschließt sich erst durch die technikarchäologische sowie wirtschafts- und sozialgeschichtliche Kontextualisierung. Das grundlegende Bauprinzip des Schachtofens, als Stehender Ofen – mit einer konstruktiven Trennung zwischen dem Feuerungsraum für das Brennmaterial und dem Brennraum zur Aufnahme der Keramikwaren – lässt sich weit in die Vor- und Frühgeschichte des Mittelmeerraumes und des Alten Orients zurückverfolgen. Für die römischen Töpfereien von Mayen stellte der Ofentyp eine Neuerung dar, obwohl er in der Region bereits aus Fundzusammenhängen der Zeit um Christi Geburt bekannt war. In politischer und wirtschaftsgeschichtlicher Hinsicht war die Spätantike, in der die Betriebszeit des Untersuchungsobjekts liegt, eine Transformationsphase. Nach heutigem Forschungsstand handelte es sich dabei jedoch gerade im Untersuchungsraum nicht um einen Katastrophenhorizont, sondern um eine Übergangsphase mit bemerkenswerter Kontinuität auf dem Gebiet der Verwaltung, Wirtschaft und Technologie.

Die erste Phase der experimentalarchäologischen Evaluierung der Mayener Ofentechnologie begann 2014 mit der Rekonstruktion und dem Probebrand eben dieses Ofenbefundes. Der Scientific Community wurden die Resultate im Rahmen der EXAR-Tagung 2015 auf der Saalburg vorgestellt (HANNING ET AL. 2016). Dem Anspruch folgend, dass eine moderne Experimentelle Archäologie nicht auf den bloßen (einmaligen) Nachvollzug einer historischen Handwerkstechnik abzielen kann, erfolgten 2015 und 2016 weitere

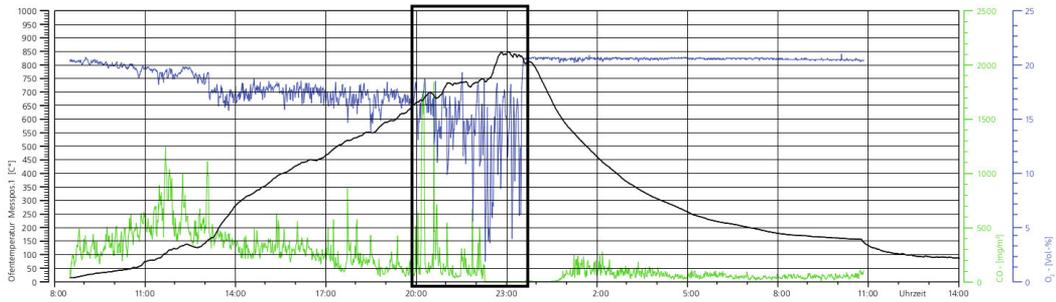


Abb. 1: Das Diagramm zeigt gut sichtbar eine reduzierende Phase, die durch starke Ausschläge der Sauerstoff (Zu- und Abnahme) und Kohlenmonoxidkurve gekennzeichnet ist. Zunächst reicht der vorhandene Sauerstoff nicht aus, um das eingebrachte Holz zu verbrennen. Die Kohlenmonoxidkurve zeigt starke Ausschläge nach oben. Die starken Ausschläge der Sauerstoffkurve nach unten zeigen den intensivierten Verbrennungsprozess an.– A prominent reduction phase is visible in the diagram, which is indicated by a decrease in the  $O_2$  and increase in carbon monoxide values. Initially there is not enough oxygen to completely burn the wood in the kiln. As a result, the carbon monoxide curve has strong positive peaks while the oxygen shows a sharp downward curve.



Abb. 2: Flammenauschlag (Reduktionsflamme) während einer reduzierenden Phase. Anhand solcher Merkmale informieren sich Töpfer auch ohne großen apparativen Aufwand über die unterschiedlichen Brenn Atmosphären in ihrem Ofen. – Flames during a reduction phase. According to such characteristics, it was possible for the potter to gain knowledge about the atmospheric conditions inside the kiln without the use of complicated modern equipment.

Versuchsbrände. Die Ergebnisse lassen sich beim derzeitigen Forschungsstand

(Stand 2017) für die Beurteilung des Leistungsspektrums des Bauprinzips „Schachtofen“ wie folgt zusammenfassen: a) Entgegen dem früheren Forschungsstand benötigt der Ofen keine stationäre Kuppel. Dafür sprachen bereits keramische Vorüberlegungen, die durch die Brennergebnisse bestätigt wurden. Die mit gepressten Keramikschalen simulierte Abdeckung des Brennguts mit Keramikbruch wirkt sich nicht nachteilig auf eine oxidierende Brennführung tongrundiger Keramik aus.

b) Ein oxidierender Brand beinhaltet auch immer reduzierende Phasen (Abb. 1-2). Dort wo der Sauerstoff nicht oder nur unzureichend hingelangt, entsteht eine reduzierende Atmosphäre im Ofen, die bei entsprechender Dauer zu unterschiedlich intensiv schwarz gefärbten Bereichen auf den Gefäßoberflächen führte. Für sich genommen kann diese Beobachtung keinen wissenschaftlichen Neuigkeitswert beanspruchen. Ihr wissenschaftliches Innovationspotenzial erschließt sich erst, wenn man es auf die konkreten zeitgenössischen Mayener Verhältnisse anwen-



*Abb. 3: Das Einstapeln der Waren ohne Stapelhilfen verlangt großes Erfahrungswissen. Das Brenngut muss so eingestapelt werden, dass Flamme und Brenngase so durch den Ofen geführt werden, dass eine gleichmäßige Temperaturverteilung gegeben ist und die Gefäße durch den Stapeldruck nicht beschädigt werden. – Stacking the pots without the help of supports takes quite a lot of practical experience. The wares have to be stacked in a manner that the flames and gasses can circulate through the kiln and create an even temperature but also crack due to uneven pressure on the pot walls.*

det. Aus der Spätantike sind aus den Großgrabungen in Mayen nur zwei kleine Stapelhilfen, die wohl als Abstandhalter dienten, erhalten. Daraus ist abzuleiten, dass das lufttrockene Brenngut direkt aufeinander gestapelt wurde. Was beim Blick in den Ofen chaotisch wirkt (*Abb. 3*), verlangt ein hohes Maß an Erfahrungswissen. Das Brenngut muss so eingestapelt werden, dass Flamme und Brenngase so durch den Ofen geführt werden, dass eine gleichmäßige Temperaturverteilung gegeben ist und die Gefäße durch den Stapeldruck nicht beschädigt werden. Auf diese Weise können rund 550 Gefäße des zeitgenössischen Formenspektrums eingestapelt werden. Die unter diesen Produktionsvoraussetzungen gefertigten rot-

schwarzen Oberflächen der ofenfrischen Gefäße haben ein lebendigeres Aussehen als Mayener Keramik aus archäologischen Komplexen (*Abb. 4*). Damit rückt die Frage nach taphonomischen Prozessen, die Erscheinungsbild und Eigenschaften von Keramik nach dem Brand beeinflussen langfristig auf die Forschungsagenda.

c) Zur Energiebilanz von Schachttöfen zur Keramikproduktion lässt sich folgende Feststellung treffen: Schachttöfen arbeiten in höheren Temperaturbereichen weniger energieeffizient. Das Halten von Temperaturen in höheren Bereichen, insbesondere jenseits der 800°C, ist im Brennraum regelhaft mit einem hohen Brennstoffverbrauch verbunden (*Abb. 5*). In diesem



*Abb. 4: Die Gegenüberstellung des im Experimentalbrand erzeugten Kleeblattkruges mit einem Original zeigt anschaulich den Einfluss der taphonomischen Prozesse auf das Erscheinungsbild. An der Replik sind gut die dunklen Oberflächenbereiche zu erkennen, die auf das ausreichende Einwirken einer lokal reduzierenden Atmosphäre während eines Brandes mit grundsätzlich oxidierender Atmosphäre zurückzuführen sind. – Comparison of an experimentally reconstructed and fired clover-shaped jug and an original specimen, which has been altered by taphonomic processes. The dark patches on the reconstructed jug's surface are the product of a localized reducing atmosphere in the kiln, although the atmosphere during most of the firing was oxidizing.*

Stadium unterliegen Brennanlagen einer extrem hohen thermischen Beanspruchung. Denn eine quantitative Erhöhung des Brennmaterials führt nur verzögert zu einer Temperatursteigerung, aber dafür zu einer erhöhten Reduktion im Brennofen. Der Grund dafür ist im Konstruktionsprinzip von Schachtofen zu sehen. Entscheidend ist der feuerungstechnische Wirkungsgrad bei holzbefeuerten Brennanlagen. Hier entstehen zwei Arten von Energieverlusten:

- Thermische Verluste durch Wärmeabgabe
  - Chemische Verluste durch unvollständiges Verbrennen
- Der thermische Verlust durch Wärmeabgabe an die Umgebung im Bereich der Brennraumöffnung ist nur begrenzt zu reduzieren, da sonst das Zugverhalten des Ofens beeinträchtigt wäre. Entscheidend für die Limitierung der Brennendtemperatur bei Schachtofen ist aber die Abhängigkeit der Verbrennungstemperatur vom Sauerstoffgehalt im Ofen sowie der Holzfeuchte, die bei 12%-14% liegt. Durch das Abdecken des Brenngutes fehlt es an ausreichendem Luftüber-

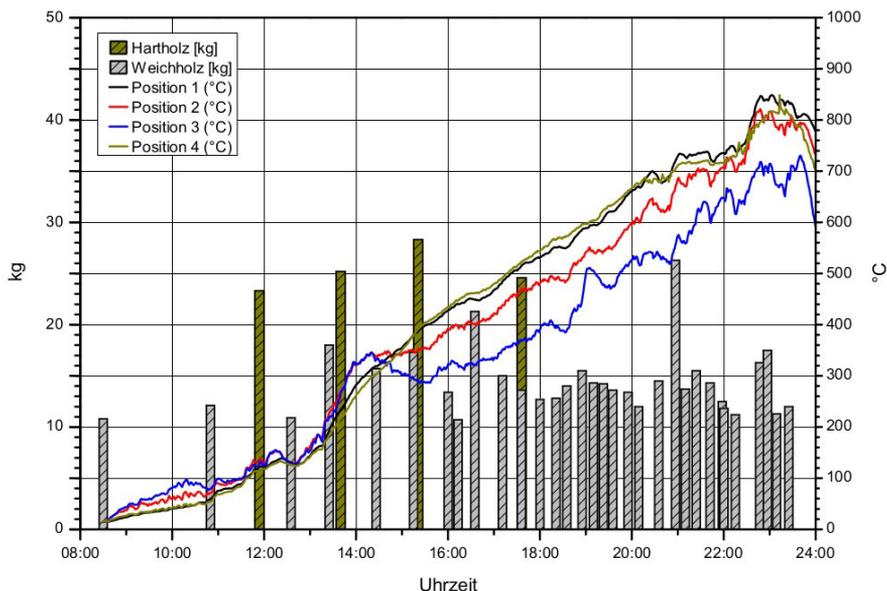


Abb. 5: Diagramm zur Brennstoffzugabe. Auffallend ist u. a., dass das Zuführen weiterer Holzmassen über 800°C nicht mehr zu einem signifikanten Temperaturanstieg führt. – Fuel diagram. Notable is that that additional amount of wood when the temperature in the kiln was above 800°C did not lead to a notable increase in temperature.

schuss innerhalb des Brennraumes zur Steigerung der Temperatur. Ein Weglassen der Abdeckung würde aber zu einem hohen thermischen Verlust durch Wärmeabgabe führen und zugleich zu einem so hohen Luftüberschuss, dass eine zusätzlich Abkühlung einsetzen würde. Die Konsequenz daraus ist, dass bei einer geringfügigen Erhöhung der Brennendtemperatur, auch bei längeren Haltezeiten, das Verhältnis zwischen zugeführter und nutzbarer Leistung überproportional ansteigt.

d) Ein abschließendes Urteil über die technologische Effizienz des rekonstruierten Mayener Schachtofens lässt sich nur in Relation zu dem robusten, rauwandigen Gebrauchsgeschirr fällen, das in der Zeit um 500 im oxidierenden Brand vorrangig für den Export produziert wurde. Das experimentalarchäologisch evaluierte Ofenbauprinzip erwies sich in der Be-

triebsführung als robust und vergleichsweise wenig störanfällig. Das notwendige Erfahrungswissen zur Steuerung des Brandes des um 500 n. Chr. bevorzugt für den Export hergestellten Keramikguts in einem Mayener Schachtofen hätte ein Arbeiter nach mehrmonatiger Einarbeitungszeit recht schnell erlernen können. Möglich wurde das durch den nahezu linearen Brennverlauf, der nur bei 80-120°C und bei der gewünschten Endtemperatur zwischen 800 und 900°C Haltezeiten aufweist (Abb. 6).

Aus den vorangegangenen Ausführungen, insbesondere zur Rekonstruktion der Stapeltechnik (b) und zur Bewertung der Anforderungen an die Brennführung (d), wird deutlich, dass die Ofenkonstruktion für sich alleine noch nicht als vollständiges technologisches System betrachtet werden kann. Die Eigenarten des ge-

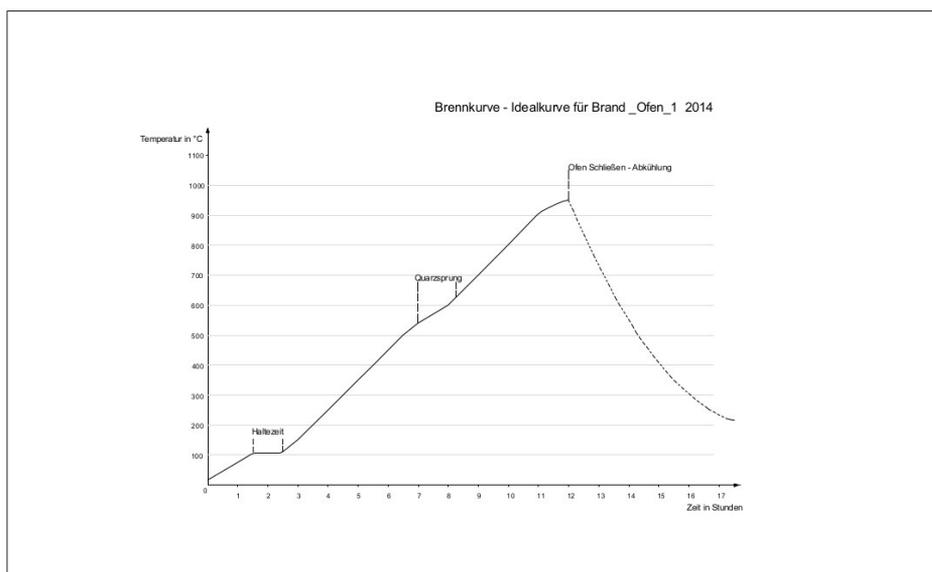


Abb. 6: Ideale Brennkurve mit Haltezeiten für die Produktion des Mayener Exportgutes um 500. 1. Haltezeit: Restwasser entweicht; 2. Haltezeit: Eine ausreichende Einwirkzeit der Endtemperatur ist entscheidend für die Qualität der Keramik. – Ideal firing schedule for the production of Mayen export wares from 500 A.D. First firing ramp is to allow for the evaporation of mechanically and chemically bound water: the second firing ramp is critical for the quality of the ceramic in that enough time elapses before the final temperature is reached.

wählten keramischen Produktionsgutes und ihre Anforderungen an die Stapeltechnik und den Brennprozess bestimmen mindestens ebenso sehr die Eigenarten des Brennverlaufs wie das für die Fertigung realisierte Ofenbauprinzip. Diese Feststellung ist nicht ohne Brisanz für die Archäologie, weil sowohl in der archäologischen Überlieferung wie auch bei der Befundvorlage in der Regel die Überreste der Ofenkonstruktion dominieren. Damit wird auch der technikgeschichtlich begrenzte Aussagewert von – ansonsten außerordentlich verdienstvollen – Übersichtswerken zu den mittelalterlichen und neuzeitlichen Töpfereiöfen in Mitteleuropa deutlich, wie sie von Barbara Weiser und Andreas Heege vorgelegt wurden (WEISER 2003; HEEGE 2008). Diese fokussieren

notgedrungen auf die typologische Gliederung der Ofenbefunde, die nach technologischen Maßstäben eigentlich nur das Skelett des Keramikproduktionssystems „Töpferofen“ darstellen; also nur einen Teil des Gesamtproduktionssystems ausmachen.

Vor diesem Hintergrund wird auch für den keramiktechnologischen Laien sichtbar, dass die Töpfer vor- und frühgeschichtlicher Zeit in technologischer Hinsicht weitaus mehr Entscheidungsspielräume zu bewältigen hatten als es die Betrachtung der isolierten Überreste der Ofenanlagen zu erkennen gibt. Herausforderung für eine zukunftsweisende Keramikarchäologie ist es, das potenzielle keramiktechnologische Nutzungsspektrum der lokal bzw. regional verfügbaren Rohstoffe

eines Töpfereistandes mit den Materialeigenschaften und Brennanforderungen des tatsächlich produzierten Warenspektrums in Verbindung zu bringen.

In der mitteleuropäischen Forschungs- und Publikationslandschaft fehlt es nicht an Einzelstudien und -beobachtungen, die den Abbau von Tonen, den Gebrauch verschiedener Tone oder deren Mischung an einem Produktionsstandort thematisieren. Sogar Nachweise für den Import besonderer mineralischer Produkte zur Herstellung keramischer Sonderformen sind bekannt. Tonaufbereitungsanlagen sind eine fest etablierte Größe bei der Ausgrabung und Befundvorlage von Töpfereistandorten.

Als Exempel für Untersuchungen eines römischen Tonabbaugebiets kann auf Augusta Raurica verwiesen werden (SCHMID, GROLIMUND 2001). Übergreifend kann derzeit festgehalten werden, dass römische Töpfereien ihren Rohstoffbedarf vorwiegend aus dem unmittelbaren und weiteren Nahbereich deckten. Nur wenn die Töpfereien ihren Standort in großen Metropolen mit einer entsprechenden Konzentration von Abnehmern hatten, erschien es offensichtlich ökonomisch sinnvoll, die Rohstoffe auch aus Entfernungen von mehreren Kilometern heranzuführen, wie es etwa für Köln überliefert ist (HANCOCK 1984). Der konkrete Nachweis des Masseversatzes von Tonen in einer Töpfereiwerkstatt mit archäometrischen Methoden ist beispielsweise aus dem römischen Bonn überliefert (SCHWEDT, MOMMSEN 2004). Archäometrische Indizien für die zeitgleiche Verwendung unterschiedlicher Tonmassen und die Aufbereitung von Tonen liegen auch für die Mayener Keramik vor (XU 2012, 41; KRITSOTAKIS 1986, 779). Dass es sich dabei nicht um isolierte Befunde handelt, zeigen die Ausführungen von Hans Mommsen in der Einführung in die Archäometrie von Günther A. Wagner: *„Das in Keramik gemessene Elementmuster repräsentiert im Normalfall nicht*

*dasjenige des ausgebeuteten Tonlagers, sondern, wie heute durch zahlreiche Analysen bekannt ..., dasjenige der Tonmasse. Das inzwischen 30 Jahre alte Herkunftspostulat (Weigand et al. 1977) sollte deshalb neu formuliert werden, indem das Wort „Rohmaterialquellen“ durch das Wort „Tonmasse“ ersetzt wird.“* (MOMMSEN 2007, 182).

Untersuchungen in der römischen Töpfersiedlung Schwabmünchen (Lkr. Augsburg) erbrachten den Nachweis, dass zur Herstellung von Reibschüsseln Dolomit zur Herstellung der Arbeitsoberflächen importiert wurde. Dolomit steht erst in den Alpen und nicht am Töpfereistandort an. Die nächstgelegene, verkehrsgünstig im Einzugsbereich des Lech befindliche Lagerstätte befindet sich bei Alterschrofen (Gde. Schwangau, Lkr. Ostallgäu). In Schwabmünchen wurden auch makroskopisch sichtbare Indizien für die Mischung von Tonen für die Herstellung von Reibschalen gefunden (SORGE 2001, 23). Dass Tonaufbereitungsanlagen von der archäologischen Forschung längst als wichtige Quellengattung bei der Untersuchung von Produktionsstätten der Töpferei erkannt worden sind, zeigen beispielsweise die „Guidelines for Best Practice“ von „Historic England“ für die Untersuchung von Töpfereien (HISTORIC ENGLAND 2015).

Die positiven Fallbeispiele können freilich nicht über vorhandene Defizite hinwegtäuschen. So werden Tonaufbereitungsanlagen bei Ausgrabungen vielfach immer noch stiefmütterlich behandelt und ohne dezidierte Fragestellung mit Blick auf das Werkstoffdesign antiker Töpfer untersucht. Um Masseversatz nachweisen zu können, müssen Tonaufbereitungsbecken in jedem Fall geschnitten, schichtweise beprobt und entsprechende archäometrische und keramiktechnologische Untersuchungen durchgeführt werden. Immer wieder bleibt dem Bearbeiter von Töpfereikomplexen nur der kurze Hinweis, dass



*Abb. 7: Carl-Heinrich-Grube der KTS Mülheimer Ton- und Schamottewerke. In dieser Grube werden heute ein Dutzend verschiedener Rohstoffe gewonnen. Unter Mitverwendung zugekaufter Rohstoffe entstehen im KTS-Weiterverarbeitungswerk ca. 50 Werkstoffe. – The clay pit from the KTS Mülheimer Ton- und Schamottewerke. This clay pit produces more than a dozen different raw materials. With the addition of external components, ca. 50 different types of construction materials are produced at the KTS-factory.*

ein entsprechender Befund vorhanden, aber z. B. nur durch ein einzelnes Foto dokumentiert wurde (HELFERT 2010, 41). Naturwissenschaftliche und keramiktechnologische Methoden werden bei der Untersuchung antiker und mittelalterlicher Töpfereien in Mitteleuropa noch zu selten eingesetzt, um gezielt der intendierten Aufbereitung von Tonmassen und ihrer Entwicklung in diachroner Perspektive nachzugehen. Beobachtungen zu diesem Fragenkreis fallen bislang in der Regel als Einzelbeobachtungen bei Studien zur Provenienzbestimmung von Keramik an. Was systematische Studien mit Fokus auf der Gewinnung von Tonrohstoffen und ihrer Verarbeitung zu keramischen Rohstoffen zum Verständnis menschlichen Verhaltens und zur Modellbildung beitragen können, zeigen vor allem englischsprachige Studien, die sich auch auf ethnoarchäologische und -archäometrische Ansätze stützen (ARNOLD 2000; ARNOLD 2017; COSTIN 2000; GOSSELAIN 1994; HEGMON 2000; STARK 2003). Impulse für sol-

che Arbeiten kamen nicht selten auch aus der Archäometrie, deren Vertreter Voraussetzungen und Interpretationen ihrer analytischen Ansätze evaluieren wollten (BUXEDA ET AL. 2003; CAU ONTIVEROS ET AL. 2014; NEUPERT 2000; POLITO ET AL. 2015; SILLAR 2000). Exemplarisch für den Erfolg dieser Forschungstradition steht das Lebenswerk von Dean E. Arnold, der auf der Basis ethnoarchäologischer Studien theoretische Modelle für die Entwicklung der Keramiktechnologie entwickelte (ARNOLD 1985; ARNOLD 2006; ARNOLD 2011). Seine darüber hinausgehende, herausragende Leistung bestand darin, den Gebrauchswert dieser Modelle sowohl bei der Untersuchung prähistorischer wie auch zeitgenössischer Töpfereiproduktion zu erproben (ARNOLD 2003; ARNOLD 2008). Karen G. Harry hat ebenfalls anschaulich demonstriert, wie diese ethnoarchäologischen Modelle als Inspiration bei der Bearbeitung keramiktechnologischer Fragen anderer Zeiträume und Epochen herangezogen werden können (HARRY 2011).



Abb. 8: Tone aus dem Mayener Stadtgebiet. – Clays from the city of Mayen.

Welche Aufgaben die Experimentalarchäologie bei der Evaluierung des Nutzungsspektrums von Tonen im Umfeld eines Töpfereizentrums leisten kann, zeigt etwa die von ihr initiierte Studie im Rahmen des „West Branch Projects“ in Südarizona an (HARRY 2010, 28-32).

Vor diesem Hintergrund soll der zweite Untersuchungsansatz für die Erforschung der Keramiktechnologie wie folgt formuliert werden:

Ermittlung des maximalen Nutzungsspektrums der verfügbaren Rohstoffe unter keramiktechnologischen Gesichtspunkten in Relation zur Nutzungspraxis der jeweiligen Betriebsepochen. Das erfordert, die Analysedaten aus den Roh- und Werkstoffuntersuchungen mit dem tatsächlichen

chen Dreh-, Trocken- und Brennverhalten zu verknüpfen. Langfristiges Ziel ist ein allgemein anwendbares Methodeninstrumentarium, das es ermöglicht, aus den keramiktechnologischen Rohstoffanalysen Argumente für ein mögliches Gefäßspektrum bezüglich Form, Statik, Größe und Funktion abzuleiten.

Dementsprechend wurde der Untersuchungsansatz 2015/2016 erweitert. Es begannen keramiktechnologische Versuche mit Tonen aus dem Mayener Raum, um das maximale Nutzungsspektrum der verfügbaren Rohstoffe zu ermitteln und Unterschiede zwischen den einzelnen Tonen für den Töpfereigebrauch zu ermitteln. Ein und dasselbe Tonvorkommen kann verschiedene Tone enthalten, wie der Blick in die Tongrube in Mülheim-Kärlich exemplarisch zeigt (Abb. 7), wo im unteren Bereich z. B. der sogenannte Blauton besonders gut zu erkennen ist, der bei der Herstellung der Urmitzer Ware Verwendung fand. Auch aus dem Stadtgebiet von Mayen konnten wir unterschiedliche Tone abbauen, deren Unterschiede schon visuell ins Auge fallen (Abb. 8).

Die Entstehung der Mayener Tonvorkommen steht in Zusammenhang mit den Aktivitäten des benachbarten Ettringer Bellerberg-Vulkans. Einer seiner Lavaströme staute die Nette auf, sodass im Mayener Becken ein See entstand, in dem sich mächtige Tone ablagerten. „Das Ausgangsmaterial für diese Seetone stammt aus der Verwitterungsrinde der Devon-schiefer und aus tertiären Tonen der Umgebung“ (MEYER 2013, 527). Bei keinem der von uns untersuchten Tone konnten Vulkanite nachgewiesen werden, die in der Literatur auch schon als Magerungsmittel der Mayener Keramik genannt wurden (SCHNEIDER, ROTHER 1991, 203-204). Nach neueren Untersuchungen soll es sich bei den dunklen Partikeln in der Mayener Keramik, die so angesprochen wurden, „um Schwerminerale in den San-



*Abb. 9: Links: Ton 0001 – Deutlich ist der Schaden zu sehen, der beim Hochziehen und anschließendem Weiten während der Formgebung (Drehen) entsteht. Rechts: Ton 0002 – Die hohe Trockenschwindung führte zu charakteristischen Trocknungsrisse bei Schalen. – Left: Clay 0001 – the cracks from raising and subsequent expanding of a thrown pot with this type of clay are apparent. Right: Clay 0002 – the high rate of shrinkage while drying lead to characteristic drying cracks when throwing shallow bowls.*

den“ handeln, die nicht vulkanischen Ursprungs sind (Xu 2012, 34-35.). Das bedeutet freilich nicht, dass Vulkanite nicht zumindest zeitweilig in Tonmassen der Mayener Töpfereien vorhanden waren. Deshalb sind für die Zukunft u. a. auch keramiktechnologische Studien zu ihrer Wirkung als Zuschlagsstoffe für die Mayener Rohstoffe geplant.

Für die Mayener Brennversuche 2015/16 wurden zunächst verschiedene Mayener Tone gereinigt und ohne Veränderung der materialspezifischen Eigenschaften eingesetzt. Die vorangegangene keramiktechnologische Analyse erbrachte folgende Ergebnisse:

Die aufbereiteten Mayener Tone konnten unmittelbar nach der Aufbereitung nur eingeschränkt zur Herstellung der scheibengedrehten Gefäße des zeitgenössischen Waren- und Formenspektrums für den Export genutzt werden. Alle Tone wiesen unterschiedliche Eigenschaften bei der Formgebung auf. Sie eigneten sich jeweils nur zur Herstellung bestimmter Segmente des zeitgenössischen Mayener Formenspektrums. Beispiele:

a) Der Ton 0001 (gelb; Polcher Str.) konnte bei der Formgebung auf der Drehscheibe nicht in die Höhe gezogen und an-

schließend geweitet werden. Dabei entstanden Risse in der Gefäßwandung.

b) Der Ton 0002 (weiß; Polcher Str.) war besonders plastisch und wies eine hohe Trockenschwindung auf, sodass flache, weite Schalen während des Trocknens typische Trockenrisse bildeten (Abb. 9).

Unter der Voraussetzung, dass es für die Töpfer in Mayen und anderenorts nicht sinnvoll war, eine größere Zahl von Tonmassen für ein spezifisches Waren- und Formenspektrum vorzuhalten, ist davon auszugehen, dass die antiken Mayener Töpfer bei der Entwicklung ihrer Tonmassen mit Masseversatz, also mit Mischungen der lokal verfügbaren Tone gearbeitet haben müssen.

Bei den Brennversuchen 2016 wurden Tests zum Masseversatz und zur Aufbereitung der Mayener Tone durch Zuschlagsstoffe durchgeführt. Die Tone wurden in einem festgelegten prozentualen Verhältnis zu einem Masseversatz zusammengeführt. Ferner wurden die Masseversätze in einer weiteren Testreihe mit 15% Quarzsand gemagert. Die Gleichbehandlung der Masseversätze bei der Zugabe von Quarzsand resultierte aus den Rohstoffanalysen und dem beobachteten Trocknungsverhalten sowie der geringen



Abb. 10: Inv.-Nr. 2015-412, Ton 0002 Weiß, Anzahl der Durchgänge: 3; Anmerkungen: Das Gefäß hat zwei Durchgänge überstanden und zerbrach beim dritten. Die Brüche erschienen an verschiedenen Stellen und üblicherweise vertikal. Der größte Schaden entstand durch eine flache Absplitterung der Gefäßwand; Inv.-Nr. 2016-075, Ton: MV4 / Weiß 50% – Rot 50%, Anzahl der Durchgänge: 10, Anmerkungen: Das Gefäß hat 10 Durchgänge ohne Schaden überstanden. – Inv.-Nr. 2015-412, Clay 0002 White, Number of passes: 3, Remarks: The vessel has survived two rounds and cracked during the third time. The cracks occurred in several places and usually vertically. The greatest damage was caused by a flat chipping of the vessel wall; Inv.-Nr. 2016-075, Clay: MV4 / White 50% – Red 50%; Number of passes 10; Remarks: The vessel has survived ten passes without damage.

Temperaturwechselbeständigkeit (TWB) der aufbereiteten Tone. Archäometrische Studien weisen die Quarzmagerung im Untersuchungszeitraum als technologischen Entwicklungsschritt für die Mayener Keramiktechnologie aus (XU 2012, 42). Gleichzeitig existieren solide Studien zur Wirkung von Quarz als Magerungsmittel archäologischer Keramik (KILIKOGLU ET AL. 1998; VEKINIS, KILIKOGLU 1998). Bereits das Dreh- und Trocknungsverhalten des Wareneinsatzes hatte sich signifikant geändert. Es konnten keine Trockenrisse festgestellt werden, auch das Brennverhalten erwies sich als stabil. Die Massen erwiesen sich gegenüber Temperaturschwankungen und Temperaturunterschieden sowohl während des Brandes als auch im Gebrauch der Gefäße als robust. Zur Überprüfung der Temperaturwechselbeständigkeit (TWB), der sowohl für das Brennen von Keramik als auch für die Anwendung als Kochgefäß eine besondere Bedeutung zukommt, wurden entsprechende Labortests durchgeführt

(Abb. 11, links). Dabei werden die Gefäße einzeln auf 500°C aufgeheizt und nach der Entnahme aus dem Ofen im Wasserbad bei 20°C abgeschreckt. Dieser Vorgang wird pro Gefäß und Gefäßform zehnmal wiederholt. Alle Testkörper, die aus den gemagerten Masseversätzen hergestellt wurden, durchliefen die Testreihe unbeschadet.

Mit Blick auf das maximale Nutzungsspektrum der verfügbaren Rohstoffe wurde auch der Frage nachgegangen, inwieweit die Mayener Tone zur Herstellung von Engoben geeignet sind. Im Römischen Reich wohlbekannt, waren sie doch im Untersuchungszeitraum zur Verzierung der Mayener Exportwaren von untergeordneter Bedeutung. Die keramische technologische Analyse erbrachte diesbezüglich bemerkenswerte Ergebnisse. Die Tone 0002 und 0003 erwiesen sich als engobentauglich (Abb. 11, links). 2016 konnte bei Bauarbeiten noch ein weiterer Ton geborgen werden. Naturwissenschaftliche Analysen zu diesem auffälli-



Abb. 11: Die Brenntafeln aus den Labortests zeigen exemplarisch die Engobentauglichkeit der untersuchten Tone. Links: Ton 0003 (rot; Geishecker Hof), rechts: Ton 0004 (Glanztön; Eichenweg). – The firing plaques from the laboratory tests exhibit the capability of the slip-glazes created from the different clays. Left: Clay 0003 (red, Geishecker Hof), right: Clay 0004 (luster clay, Eichenweg).

gen roten Ton stehen noch aus. Erste Engobentests wurden aber bereits durchgeführt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass dieser Ton bei Labortests im Hinblick auf die visuelle Anmutung Eigenschaften eines Glanztons besitzt (Abb. 11, rechts). Im Temperaturbereich von 1050°C bis 1100°C bildet der Ton als Engobe einen lackartig glänzenden roten Überzug.

Im Untersuchungszeitraum, am Übergang von der Spätantike zum Frühmittelalter, hatte das Engobepotenzial der regionalen Rohstoffe eine völlig untergeordnete Bedeutung für den Mayener Keramikexport. Grundsätzlich sind dafür zwei Erklärungsansätze denkbar: Kollektiventscheidung oder staatliche Lenkung der Warenproduktion hin zu einem standardisierten Exportgut. Siedlungsarchäologische Studien im Untersuchungsgebiet (GLAUBEN ET AL. 2009; GRUNWALD 1997) haben eindeutige Argumente für eine Kontinuität römischer Verwaltungsstrukturen geliefert. Die Verlagerung und Konzentration der Mayener Töpfereiareale von der Spätantike bis zum Beginn des Frühmittelalters legen viel mehr den Schluss einer staatlich gelenkten Ansiedlung nahe. Die fokussierte Nutzung des keramiktechnologischen Anwendungsspektrums der regionalen Tone

zur Fertigung eines klar definierten, hochwertigen Massenprodukts der Haushalts- und Küchenkultur interpretieren wir als Indiz, dass staatlicher Einfluss auch bei der Warenpalette für den Export wirksam wurde.

Das übergeordnete Forschungspotenzial des hier demonstrierten Untersuchungsansatzes besteht darin, dass man Untersuchungen zu Rohstoffnutzungs- und Werkstoffentwicklungsstrategien für Keramikprodukte in einem vielfach größeren Umfang in der Fläche anwenden kann als etwa für Edelmetalle oder Salz, deren Förderung und Veredelung von überregionaler Bedeutung auf wesentlich weniger Orte beschränkt war. Es erscheint daher sinnvoll und lohnenswert, entsprechende Studien zur Keramik verstärkt mit Blick auf ihre potenzielle Modellfunktion für das Verständnis menschlicher Rohstoffnutzungs- und Werkstoffentwicklungsstrategien zu entwickeln und zu erproben.

#### Literatur

- Arnold, D. E. 1985:** Ceramic Theory and Cultural Process. New Studies in Archaeology. Cambridge, New York 1985.  
**ARNOLD, D. E. 2003:** Ecology and Cera-

mic Production in an Andean Community. Cambridge 2003.

**ARNOLD, D. E. 2006:** The Threshold Model for Ceramic Resources: A Refinement. In: D. Gheorgiu (Hrsg.), *Ceramic Studies: Papers on the Social and Cultural Significance of Ceramics in Europe and Eurasia from Prehistoric to Historic Times*. BAR International Series 1553. Oxford 2006, 3-9.

**ARNOLD, D. E. 2008:** Social Change and the Evolution of Ceramic Production and Distribution in a Maya Community. *Mesoamerican worlds*. Boulder, Colorado 2008.

**ARNOLD, D. 2011:** Ceramic Theory and Cultural Process After 25 Years. *Ethnoarchaeology* 3/1, 2011, 63-98.

**ARNOLD, D. E. 2017:** Raw Material Selection, Landscape, Engagement, and Paste Recipes: Insights from Ethnoarchaeology. In: L. Burnez-Lanotte (Hrsg.), *Matières À Penser: Raw Materials Acquisition and Processing in Early Neolithic Pottery Productions*. Proceedings of the Workshop of Namur (Belgium), 29 and 30 May 2015. Paris 2017, 15-27.

**ARNOLD, P. J. 2000:** Working without a Net: Recent Trends in Ceramic Ethnoarchaeology. *Journal of Archaeological Research* 8, No. 2, 2000, 105-133.

**BUXEDA, J. ET AL. 2003:** Chemical Variability in Clays and Pottery from a Traditional Cooking Pot Production Village. Testing Assumptions in Pereruela. *Archaeometry* 45/3, 2003, 1-17.

**CAU ONTIVEROS, M. Á. ET AL. 2014:** Ceramic Ethnoarchaeometry in Western Sardinia: Production of Cooking Ware at Pabillonis. *Archaeometry* 57/3, 2014, 453-475.

**COSTIN, C. 2000:** The Use of Ethnoarchaeology for the Archaeological Study of Ceramic Production. *Journal of Archaeological Method and Theory* 7/4, 2000, 377-403.

**GLAUBEN, A. M. ET AL. 2009:** Mayen am Übergang von Spätantike zu frühem Mittelalter. In: *Der umkämpfte Ort – von der Antike bis zum Mittelalter*. Beihefte zur

Mediävistik 10. Frankfurt am Main 2009, 135-156.

**GOSSELAIN, O. 1994:** Skimming Through Potter's Agendas: An Ethnoarchaeological Study of Clay Selection Strategies in Cameroon. In: T. Childs (Hrsg.), *Society, Culture and Technology in Africa*. Philadelphia, Pennsylvania 1994, 99-107.

**GRUNWALD, L. 1997:** Das Moselmündungsgebiet zwischen Spätantike und Frühmittelalter. *Berichte zur Archäologie an Mittelrhein und Mosel* 5, 1997, 309-331.

**GRUNWALD, L. 2011:** Keramik für den europäischen Markt: die römischen und mittelalterlichen Töpfereien von Mayen/Eifel. *Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich* 27, 2011, 25-34.

**GRUNWALD, L. 2015:** Produktion und Warendistribution der Mayener Ware in spät-römischer und frühmittelalterlicher Zeit. In: C. Later, M. Helmbrecht, U. Jecklin-Tischheuser (Hrsg.), *Infrastruktur und Distribution zwischen Antike und Mittelalter: Tagungsbeiträge der Arbeitsgemeinschaft Spätantike und Frühmittelalter 8: Stadt, Land, Fluss – Infrastruktur und Distributionssysteme in Spätantike und Frühmittelalter* (Lübeck, 2.-3. September 2013). Hamburg 2015, 191-208.

**GRUNWALD, L. 2016:** Mayen in der Eifel und die Herstellung der „Mayener Ware“ von der Mitte des 4. bis in die 1. Hälfte des 6. Jh.s. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 46/3, 2016, 345-361.

**HANNING, E. ET AL. 2016:** Experimental Reconstruction and Firing of a 5/6<sup>th</sup> Century Updraft Kiln from Mayen, Germany. *Experimentelle Archäologie in Europa* 15, Jahrbuch 2016, 60-73.

**HANCOCK, R. G. 1984:** On the Source of Clay Used for Cologne Roman Pottery. *Archaeometry* 26/2, 1984, 210-217.

**HARRY, K. G. 2010:** Understanding Ceramic Manufacturing Technology: The Role of Experimental Archaeology. In: J. R. Ferguson (Hrsg.), *Designing Experimental Research in Archaeology: Examining*

Technology Through Production and Use. Boulder, Colorado 2010, 13-46.

**HARRY, K. G. 2011:** Building Ceramic Theory. A Twenty-Five Year Retrospective on Dean Arnold's Work. *Ethnoarchaeology* 3/1, 2011, 99-104.

**HEEGE, A. 2008:** Töpferöfen: die Erforschung frühmittelalterlicher bis neuzeitlicher Töpferöfen (6.-20. Jahrhundert) in Belgien, den Niederlanden, Deutschland, Österreich und der Schweiz [aus Anlass des 40. Internationalen Hafnerei-Symposiums in Oberzell, Bayern, 2007]. Basler Hefte zur Archäologie 4. Basel 2008.

**HEGMON, M. 2000:** Advances in Ceramic Ethnoarchaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory* 7, 2000, 129-137.

**HELFERT, M. 2010:** Groß-Gerau II: die römischen Töpfereien von Groß-Gerau, „Auf Esch“. Archäologische und archäometrische Untersuchungen zur Keramikproduktion im Kastellvicus. Frankfurter archäologische Schriften 11. Bonn 2010.

**HISTORIC ENGLAND 2015:** Archaeological and Pottery Production Sites: Guidelines for Best Practice. London 2015.

<<https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/archaeological-and-historic-pottery-production-sites/heag-019-pottery-production-sites.pdf>> (15.7.2017).

**KILIKOGLU, V. ET AL. 1998:** Mechanical Performance of Quartz-Tempered Ceramics: Part I: Strength and Toughness. *Archaeometry* 40/2, 1998, 261-279.

**KRITSOTAKIS, K. 1986:** Mineralogische und geochemische Untersuchungen zur Charakterisierung Rheinzaberner Terra Sigillata und rauhwandiger Keramik Mayener Art. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 33/2, 1986, 753-782.

**MEYER, W. 2013:** Geologie der Eifel. 4., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart 2013.

**MOMMSEN, H. 2007:** Tonmasse und Keramik: Herkunftsbestimmung durch Spurenanalyse. In: G. A. Wagner (Hrsg.), Einfüh-

rung in die Archäometrie. Berlin, New York 2007, 179-192.

**NEUPERT, M. A. 2000:** Clays of Contention: An Ethnoarchaeological Study of Factionalism and Clay Composition. *Journal of Archaeological Method and Theory* 7, No. 3, 2000, 249-272.

**POLITO, A. ET AL. 2015:** Ceramic Ethnoarchaeometry in Sicily: Recent Traditional Productions as a Tool for Understanding Past Manufactures. In: P. Militello, H. Oniz (Hrsg.), *Soma 2011: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Symposium on Mediterranean Archaeology*, held at the University of Catania 3-5 March 2011. BAR International Series 2695,1. Oxford 2015, 253-258.

**SCHMID, D., GROLIMUND, L. 2001:** Das Tonabbaugebiet von Augusta Raurica. *Rei Cretariae Romanae Fautorum Acta* 37, 2001, 137-39.

**SCHNEIDER, G., ROTHER, A. 1991:** Chemisch-mineralogische Untersuchungen völkerwanderungszeitlicher Keramik vom Runden Berg. In: K. Roth-Rubi, *Die scheibengedrehte Gebrauchskeramik vom Runden Berg. Der Runde Berg bei Urach IX*. Sigmaringen 1991, 189-223.

**SCHWEDT, A., MOMMSEN, H. 2004:** Clay Paste Mixtures Identified by Neutron Activation Analysis in Pottery of a Roman Workshop in Bonn. *Journal of Archaeological Science* 31, 2004, 1251-1258.

**SILLAR, B. 2000:** Dung by Preference: The Choice of Fuel as an Example of how Andean Pottery Production is embedded within wider Technical, Social, and Economic Practices. *Archaeometry* 42, No. 1, 2000, 43-60.

**SORGE, G. 2001:** Die Keramik der römischen Töpfersiedlung Schwabmünchen, Landkreis Augsburg. *Materialhefte zur bayerischen Vorgeschichte Bd. 83*. Kallmünz/Opf. 2001.

**STARK, M. T. 2003:** Current Issues in Ceramic Ethnoarchaeology. *Journal of Archaeological Research* 11/3, 2003, 193-242.

**VEKINIS, G., KILIKOGLU, V. 1998:** Mecha-

nical Performance of Quartz-Tempered Ceramics: Part II: Hertzian Strength, Wear Resistance and Applications to Ancient Ceramics. *Archaeometry* 40/2, 1998, 281-292.

**WEISER, B. 2003:** Töpferöfen von 500 bis 1500 n. Chr. im deutschsprachigen Raum und in angrenzenden Gebieten. *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters*, Beihefte 15. Bonn 2003.

**Xu, W. 2012:** Charakterisierung antiker Keramik und ihrer Herstellungstechniken mit mineralogischen Methoden am Beispiel Mayener Gebrauchskeramik. Universität Mainz 2012. Promotionsserver Universität Mainz, URN (urn:nbn:de:hebis:77-32647).

Abbildungsnachweis

Abb. 1a: IZF Essen/RGZM

Abb. 1b-3; 7-8; 10: Foto: RGZM

Abb. 4-5: Grafik G. Döhner/RGZM

Abb. 6: KTS

Abb. 11: A. Axtmann/RGZM

Autoren

Michael Herdick, Gregor Döhner, Anna Axtmann

Römisch-Germanisches Zentralmuseum

KB Experimentelle Archäologie

An den Mühlsteinen 7

56727 Mayen

Deutschland