

ÜBERLEGUNGEN ZUM WIRTSCHAFTSGESCHICHTLICHEN POTENZIAL DER EXPERIMENTELLEN KERAMIKARCHÄOLOGIE

ENTWURF EINES BETRIEBSMODELLS FÜR EINEN SPÄTANTIKEN SCHACHTOFEN DES MAYENER TÖPFEREIREVIERES

Anschaulich und nachdrücklich kennzeichnete Gunnar Fülle den Stellenwert der Keramik für die Wirtschaftsgeschichte: »If the field of ancient economy is a battlefield, arguments based on pottery research certainly belong with the best of the weapons«¹. Die Bedeutung der Keramik für die Wirtschaftsgeschichte unterstrich auch der Althistoriker Kai Ruffing. In seinem forschungsgeschichtlichen Überblick zur römischen Wirtschaft bescheinigte er den Studien zu den Amphoren und zur Terra-Sigillata-Produktion Ende des 20. Jahrhunderts »grundlegende Methoden für eine wirtschaftsgeschichtliche Analyse« erarbeitet und »jeweilige Grundpositionen« einer primitivistischen Sicht der römischen Ökonomie erschüttert zu haben².

Der britische Althistoriker John K. Davies setzte dagegen als Keynote-Speaker des internationalen Symposiums »Pottery Markets in the Ancient Greek World« andere Akzente und stellte die Problematik der Keramik als wirtschaftsgeschichtliche Quellengattung als strukturell und fundamental bedeutsam heraus: »And yet I have to be frank: from among the primary materials of all the specialist sub-disciplines of the Altertumswissenschaften, it is the ceramic material which I – and I suspect many others – find the hardest of all to use intelligently and constructively«³. Davies listete fünf Themen auf, zu denen Wirtschaftshistoriker in einer idealen Welt Informationen bei einer Beschäftigung mit Keramik bekommen müssten⁴. Gleich an erster Stelle taucht die Quantifizierung des Warenausstoßes für jeden identifizierbaren Töpfereistandort über verschiedene Zeithorizonte hinweg auf. Eine Quantifizierung der Arbeitszeit für einzelne Produktionsabschnitte wird ebenfalls gefordert. Der Autor wies nachdrücklich darauf hin, dass er sich der Gründe, die einer Realisierung seiner Desiderataliste im Wege stehen, durchaus bewusst sei. Dieses Eingeständnis nimmt seinem Ansatz jedoch nicht die richtungsweisende Bedeutung für zukünftige Forschungen. Mit der Aufstellung eines Desideratakatalogs, über dessen wirtschaftshistorische Relevanz bei Archäologen und Historikern ein grundsätzlicher Konsens bestehen dürfte, regt Davies dazu an, sich mit den methodischen Herausforderungen der Keramikarchäologie im Rahmen der Wirtschaftsgeschichte zu beschäftigen.

Der Klassische Archäologe Martin Bentz schickte seinem Quantifizierungsmodell der Töpfereiproduktion in Selinunt ebenfalls ausdrücklich die Feststellung voraus, dass »große Kommunikationsprobleme« zwischen Archäologen und Historikern bei der Wirtschaftsgeschichtsschreibung bestehen würden⁵. Die »gegensätzliche Haltung« zeigt sich aus seiner Sicht »besonders in der Einschätzung des Quellenwertes von Keramik«⁶. Die unterschiedlichen Einschätzungen zur Rolle der Keramik als wirtschaftsgeschichtliche Quellengattung sind Anlass genug, präziser zu bestimmen, welches Ökonomieverständnis man der Wirtschaftsarchäologie zugrunde legt. Auf dieser Basis können Keramikstudien mit einer wirtschaftshistorischen Zielsetzung eindeutiger formuliert und auf ihren wissenschaftlichen Ertrag hin evaluiert werden.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts Wirtschaftsarchäologie der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen wurde folgende Definition erarbeitet:

»Wirtschaftsarchäologie beschäftigt sich ausgehend von archäologischen Quellen mit der Erforschung der Elemente, allgemeinen Strukturen und spezifischen Handlungsmuster menschlichen Wirtschaftens in der Vergangenheit sowie der Darstellung der sich daraus ergebenden Interdependenzen, Interaktionen und Dynamik. Ziel wirtschaftsarchäologischer Untersuchungen ist die Gewinnung von Erkenntnissen, Einrichtungen, Verhaltensweisen und sonstigen Sachverhalten, die der planvollen Bedarfsdeckung des Menschen dienen«⁷. Diese Definition setzt einen Rahmen, der grundsätzlich weit genug ist, um praktisch alle Lebensbereiche des Menschen in wirtschaftsarchäologische Betrachtungen einbeziehen zu können. Damit entzieht sie sich den Beschränkungen und methodischen Problemen eines beschränkten neuzeitlichen Ökonomieverständnisses. Der weite Horizont dieses Verständnisses von Wirtschaftsarchäologie geht jedoch zu Lasten der methodischen Profilschärfe.

Wirtschaftliches Handeln zur »planvollen Bedarfsdeckung des Menschen« lässt sich in archäologisch-historischer Perspektive nicht analysieren, ohne Entscheidungsmöglichkeiten der historischen Akteure weitestgehend zu rekonstruieren, zu beurteilen und gegeneinander abzuwägen. Ökonomische Handlungen können dabei nicht isoliert auf ihre wirtschaftshistorische Relevanz hin untersucht werden, sondern müssen immer vor dem Hintergrund des systemischen Dreiecks von Produktion, Distribution und Konsum betrachtet werden⁸. Der Ansatz basiert auf der schlichten Prämisse, dass wirtschaftlichem Handeln immer Entscheidungen über den Umgang mit Ressourcen jedweder Art zugrunde liegen. Durch Vergleiche in räumlicher und zeitlicher Perspektive erhalten sie ihre wirtschaftsgeschichtliche Relevanz. Als Voraussetzung dafür gilt es, für möglichst alle als wirtschaftlich relevant betrachteten Handlungen eine Quantifizierung anzustreben und eine Bilanzierung ihrer ökonomischen Konsequenzen vorzulegen.

Die Definition von Tim Kerig stellt die qualitative Analyse der Strukturen gleichberechtigt neben die Quantifizierung wirtschaftlicher Leistungen⁹: »[...] bezeichne ich eine Archäologie als »Wirtschaftsarchäologie«, wenn sie auf die Erfassung, Darstellung und Erklärung vergangenen wirtschaftlichen Handelns zielt und dabei zugleich qualitativ an Struktur (im Sinne der natürlichen und gesellschaftlichen Bedingungen des jeweiligen Wirtschaftens) und quantitativ an Leistung (im Sinne der Gütermengen) interessiert ist«¹⁰.

Die Bedeutung der Archäologie bei der Gewinnung quantitativer Daten für die Wirtschaftsgeschichte ist unbestritten¹¹. Das gilt insbesondere für jene Gebiete und Epochen, wo es keine adäquate schriftliche Überlieferung gibt. Durch den Digitalisierungsschub der letzten Jahrzehnte können nicht nur immer größere Datenmengen verarbeitet werden, sondern der Zugang zur notwendigen Infrastruktur ist immer einfacher geworden. Die rasante Entwicklung darf jedoch nicht von bestehenden Defiziten ablenken. Die Edition und Erschließung geeigneter Forschungsdaten nach einheitlichen Standards, die Grundvoraussetzung für vergleichende Studien sind, ist noch stark entwicklungsfähig. Die Bemühungen um den Aufbau einer nationalen Forschungsdateninfrastruktur in Deutschland und die Einrichtungen eines Konsortiums für die materiellen Quellen menschlicher Geschichte machen den Handlungsbedarf exemplarisch sichtbar¹². Desiderata gibt es aber auch schon bei der Gewinnung forschungsrelevanter quantitativer Daten zum Ressourceneinsatz und -verbrauch. Im Falle der Keramik als wirtschaftsgeschichtlicher Quellengattung betrifft das insbesondere quantitative Daten zur Produktion von Küchen- und Gebrauchsgeschirr. Von keinem größeren Töpfereirevier in Europa, das über mehrere Jahrhunderte hinweg auch für den Export produzierte, liegen umfassendere Quantifizierungsversuche der Prozesskette rund um den Betrieb der Töpferöfen vor¹³, deren Datenbasis auch durch archäologische Experimente gestützt ist. Diese wären aber Voraussetzung, um Aussagen zur Produktivität des jeweiligen Töpfereistandes in diachroner Perspektive treffen zu können oder um Vergleiche zwischen Produktionseinheiten unterschiedlicher Töpfereistandorte zu gestatten.

Umfangreiche Studien zur Produktionsorganisation liegen für Terra-Sigillata-Manufakturen vor¹⁴. Allerdings steht die systematische Quantifizierung der Prozesskette oder zentraler Produktionsabschnitte dabei nicht im Vordergrund¹⁵. In den letzten Jahrzehnten entstanden ferner Studien¹⁶ zur Organisation von Werkstatt-

arealen für die Herstellung unterschiedlicher Warenarten. Bei ihnen richtete sich – unter Rückgriff auch auf ethnoarchäologische und ethnographische Daten – der Fokus auf die Identifikation von räumlichen und sozialen Strukturen und ebenfalls nicht auf die Quantifizierung von Arbeitsleistungen. Eine Inspirationsquelle für diesen Forschungsansatz war die Entwicklung der »Household Archaeology«¹⁷.

Dennoch zeigen verschiedene Einzelstudien, dass in der Archäologie ein Bedarf daran besteht, die Größenordnung des Warenausstoßes von Produktionsanlagen und -gebieten zu bestimmen¹⁸. Die zugrunde liegenden Kalkulationen basieren vorwiegend auf vereinfachenden theoretischen Überlegungen, was bei Modellbildungen auch methodisch zwingend und sinnvoll ist. Bei Entscheidungen zur Rekonstruktion technischer Betriebsabläufe – ob etwa davon auszugehen ist, dass nebeneinanderliegende Ofenanlagen auch immer für den gleichzeitigen Betrieb gedacht waren – wird häufiger auf ethnoarchäologische Studien¹⁹ zurückgegriffen als auf die Erkenntnisse aus archäologischen Experimenten.

Die geringe Bedeutung, die der systematischen Quantifizierung handwerklich-technischer Prozessketten zugemessen wird, ist erklärungsbedürftig. Der Verweis auf die Unsicherheiten, mit denen aufgrund von Überlieferungslücken alle Modellrechnungen mit quantitativen Daten behaftet sind, reicht als Begründung nicht aus. Schließlich muss sich jeder Versuch von Geschichtsschreibung mit den Folgen lückenhafter Quellenüberlieferung auseinandersetzen. Auch beanspruchen quantitative Forschungsansätze nicht, ausmessen oder berechnen zu können, wie die historische Realität wirklich war. Quantifizierungsmodelle wirtschaftlicher Verhältnisse, die auf transparenten und evaluierbaren Daten basieren, bieten jedoch die Möglichkeit, ökonomische Narrative zu überprüfen²⁰ und Vergleiche zwischen Produktionseinheiten anzustellen. Der Bearbeiter, der etwa ein Bergbauggebiet als protoindustrielles Revier anspricht, macht seine Interpretation leichter für Diskussion und Kritik zugänglich, wenn er in einer Modellrechnung offenlegt, wie er zu seiner Vorstellung vom Ausmaß des ursprünglichen Abbaus gekommen ist. Wer zum Beispiel das Aufkommen eines neuen Ofentyps als Fortschritt gegenüber älteren Anlagen interpretieren möchte, sollte für eine evaluierbare Aussage diesen Entwicklungsschritt auch in Zahlen ausdrücken können.

In der Technikgeschichte dominieren jedoch bis heute kultur- und sozialwissenschaftliche Ansätze gegenüber einer prozessorientierten Technikgeschichte. Akos Paulinyi und Volker Benad-Wagenhoff, die beide keine Verfechter eines technikdeterministischen Geschichtsbildes waren, warnten Ende der 1990er Jahre eindringlich vor den Folgen einer solchen Entwicklung²¹. Für die antike und frühmittelalterliche Wirtschaftsgeschichte kam hinzu, dass bis in die 1980er Jahre der Technik eine eher unbedeutende Rolle in diesem Rahmen zugewiesen wurde²². Mit der geänderten Einstellung änderte sich auch die Sensibilität für entsprechende technologische Befunde, wie sich am Beispiel der Wassermühle exemplarisch zeigen lässt²³. In den letzten Jahrzehnten haben archäologische Studien, die sich mit Wassermühlen beschäftigen, deutlich zugenommen²⁴.

Im Rahmen der Experimentellen Archäologie ist es möglich, durch die Rekonstruktion von Produktionsanlagen und handwerklich-technischer Prozessketten unter kontrollierten Bedingungen eine transparente und evaluierbare Datenbasis zu schaffen, die in die Entwicklung von Modellen zum Ressourcenkreislauf in Wirtschaftssystemen einfließen kann. Die Experimentelle Archäologie soll dabei nicht andere Forschungsansätze ersetzen, sondern ergänzen, um die Datenbasis zu erweitern. Dass das skizzierte Potenzial der Experimentellen Archäologie nicht nur eine theoretische Option ist, zeigen die Forschungsergebnisse zu den vorgeschichtlichen Wirtschaftskreisläufen im Salzrevier von Hallstatt²⁵. In langjährigen experimentalarchäologischen Studien gewonnene Daten konnten für die mathematische Modellierung der prähistorischen Wirtschaftsprozesse bereitgestellt werden²⁶. Eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung dieses Ansatzes waren Forschungsinfrastrukturen, die langfristig in diese Studien investieren konnten. Darüber hinaus gewährleisteten die guten Erhaltungsbedingungen für organische Artefakte im Salz, dass eine ungewöhnlich breite Materialbasis für quantitative Studien vorhanden war.

Geeignete Voraussetzungen für quantitative Studien zum Töpfereihandwerk auch unter Einbeziehung experimentalarchäologischer Daten bietet das vormoderne Industrieviertel zwischen Mayen und Andernach (Lkr. Mayen-Koblenz). In der Antike und im Mittelalter wurden hier Basalt und Tuff abgebaut²⁷. Ferner produzierten die Mayener Töpfereien seit etwa 300 n. Chr. für den Export. Großflächige Ausgrabungen der Produktionsstätten erschlossen ein Quellenmaterial, das einen Überblick über rund 1000 Jahre Arbeitspraxis und Entwicklung in der Ofen- und Keramiktechnologie eines Töpfereistandorts erlaubt²⁸. Durch archäometrische Untersuchungen konnte die Distribution der Mayener Produktion naturwissenschaftlich abgesichert werden²⁹. Langfristig bietet sich hier die Möglichkeit zu wirtschaftshistorischen Vergleichen mit anderen Töpfereistandorten in der historischen Keramiklandschaft, die sich von Trier und Speicher/Herforst über Mayen bis in die Rheinische Vorgebirgszone hinein erstreckt. Auf lange Sicht würde sich auch ein Blick auf die Wechselbeziehungen mit anderen wirtschaftlichen Bereichen und Strukturen im Industrieviertel anbieten³⁰. In Mayen existieren die Forschungsstelle Vulkanologie, Archäologie und Technikgeschichte (VAT) sowie das Labor für Experimentelle Archäologie (LEA) des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie, die langfristig in derartige Studien investieren können³¹. Die Voraussetzungen für wirtschaftsgeschichtliche Studien zum Töpferhandwerk in diachroner und vergleichender Perspektive unter Einbeziehung experimentalarchäologischer und quantifizierender Forschungsansätze sind also gegeben. Die experimentalarchäologischen Forschungen zum Töpfereiviertel in Mayen, die in Kooperation mit der Fachschule Keramik in Höhr-Grenzhausen und dem Institut für Ziegelforschung Essen e. V. durchgeführt werden, fokussieren auf die Ofentechnologie und auf Rohstoffnutzungs- und Produktstrategien³². Für die experimentalarchäologische Evaluierung der Ofentechnologie, die hier im Mittelpunkt stehen soll, wurden drei Ofentypen hinsichtlich ihrer Konstruktion ausgewählt. Ihre Konstruktionsprinzipien blieben über mehrere Jahrhunderte hinweg bestimmend für den Ofenbau bzw. ihr Aufkommen markierte wichtige Entwicklungsschritte der Mayener Keramikproduktion.

Ab dem späten 5. Jahrhundert waren stehende Schachtofen die etablierten und dominierenden Produktionsanlagen des Mayener Töpfereigewerbes. Die Langlebigkeit der dahinterstehenden Ofenbautraditionen lässt sich exemplarisch anhand der Ofenbefunde des Typs B1c nach Redknap aufzeigen. Um 480/490 trat diese Ofenbaukonstruktion erstmals in Mayen im Töpfereiareal Siegfriedstraße 53 auf (**Abb. 1**) und löste die bis dahin vorherrschenden Ofentypen mit gestreckt ovalen oder rechteckigen Grundformen ab³³. Das Konstruktionsprinzip kam die gesamte Merowingerzeit über in Mayen weiterhin zur Anwendung. Ein spätester Betriebsnachweis dieses Konstruktionstyps stammt vom Grundstück Siegfriedstraße 6-8 und datiert in das späte 8./9. Jahrhundert³⁴.

Ab etwa 800 ist mit dem Aufkommen des karolingischen Faststeinzeugs ein Entwicklungsschub der Keramiktechnologie in Mayen feststellbar. Diese Warenart ergänzte die bereits etablierten Ausprägungen wie z. B. Protosteinzeug, rot engobierte Ware oder rauwandig-tongrundige Keramik der Ware MD. Weiterentwickelte stehende Öfen waren ebenfalls im Gebrauch, aber man führte auch das Konstruktionsprinzip des liegenden Ofens ein. Schlüsselbefund ist der 1986 gefundene Ofen 9 aus dem Töpfereiareal Siegfriedstraße. Er wurde um 800/in der ersten Hälfte des 9. Jahrhunderts errichtet³⁵.

Das 12./13. Jahrhundert ist in Mayen durch die Produktion von Proto- und Faststeinzeug gekennzeichnet. Die neuen Warenarten sind als Reaktion auf geänderte Konsumentenwünsche zu verstehen. Als ein Versuch, die mit der Produktion einhergehenden technologischen Herausforderungen besser beherrschen zu können, lässt sich der Töpferofen 11/1986 interpretieren³⁶. Er repräsentiert die Grundform E nach Redknap und wurde um 1200 errichtet. Seine Erbauer vereinten Elemente des stehenden und liegenden Ofenbauprinzips³⁷.

Das Verständnis für die Langlebigkeit grundlegender Konstruktionsprinzipien bildet die Grundvoraussetzung für die experimentalarchäologische Evaluierbarkeit der Ofentechnologie im Töpferhandwerk. Anderenfalls



Abb. 1 Ausgangspunkt der Rekonstruktion war ein Schachtofen des Typs B1c nach Redknap aus der Siegfriedstraße 53 in Mayen (Lkr. Mayen-Koblenz). – (Foto GDKE Rheinland-Pfalz, Koblenz).

wäre es nicht möglich, mit vertretbarem ökonomischem Aufwand auch für längere Zeiträume relevante Aussagen zu erzielen. Mit diesen Ergebnissen können dann Studien zu Ofentypen verknüpft werden, die in einem kürzeren Zeitraum Betriebsrelevanz hatten, aber als technische Entwicklungsversuche anzusprechen sind.

Forschungsziel ist es, aus dem Experimentalbetrieb der Öfen transparente Daten zu gewinnen, die in die Entwicklung von Quantifizierungsmodellen einfließen können. Bei der Analyse der Daten wird jeder Ofen mit seinem Betriebspersonal als eigenständige Produktionseinheit angesehen. Die weitere Einbindung der Ergebnisse in übergeordnete sozial- und wirtschaftsgeschichtliche Zusammenhänge ist nachfolgenden Arbeitsschritten vorbehalten.

Im Folgenden soll eine erste Zwischenbilanz über die Studien an dem rekonstruierten Schachtofen aus der Siegfriedstraße 53 vorgestellt werden. Im Mittelpunkt steht die Auswertung der zwischen 2014 und 2018 durchgeführten Experimentalbrände (**Tab. 1**). Der 1,70 m hohe Ofen hatte am oberen Abschluss des Brennraums einen Durchmesser von 1,60 m³⁸. Die Brennraumwandung war mit in Lehm eingebetteten Wölb- und Wölbwandtöpfen errichtet worden. Zur Herstellung der um 500 vorrangig für den Export produzierten oxidierend gebrannten, rauwandigen Keramik benötigte man keine stationäre Kuppel. Es war absehbar, dass sich eine überwiegend oxidierende Brennatmosphäre auch durch eine temporäre Abdeckung erreichen ließ³⁹. Eine vorherrschend reduzierende Brennatmosphäre ist in Schachtofen⁴⁰ aufgrund der mangelnden Gasdichtigkeit der Brennanlage schwierig intendiert zu erzeugen und gelingt nur partiell. Durch die Konstruktionsweise der Schachtofen wird keine zusätzliche Einsetzöffnung für den Besatz benötigt. Dadurch können sie als »Toplader« von oben bestückt werden, was zu einer grundlegenden Erleichterung beim Ein- und Aussetzen des Ofens führt. Weitere Vorteile bestehen in der relativ schnellen Abkühlung nach Beenden der Heizphase. Die temporäre Abdeckung aus größeren Keramikfragmenten oder Deckschalen kann mehrfach verwendet werden (**Abb. 2**)⁴¹.

Bei den Versuchsbränden zwischen 2014 und 2018 zeigte sich, dass der Brennverlauf mit linearem Temperaturanstieg optimalerweise um die 15,5 Stunden andauert (**Tab. 1**)⁴². Daran schließt sich eine natürliche Abkühlungsphase von etwa 11 Stunden Dauer an. Die während eines Brandes maximal an einer Stelle im Feu-

	1. Experimentalbrand 2014	2. Experimentalbrand 2015	3. Experimentalbrand 2016	4. Experimentalbrand 2018
Datum	10.10.-11.10.2014	16.9.-17.9.2015	28.9.-29.9.2016	10.10.-11.10.2018
Ort	Labor für Experimentelle Archäologie (Mayer)	Labor für Experimentelle Archäologie (Mayer)	Labor für Experimentelle Archäologie (Mayer)	Labor für Experimentelle Archäologie (Mayer)
Messverfahren + Messart	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturmessung (9x Nickel-Chrom Typ K) • Kontrollmessung (2x Platin-Rhodium Typ S) • Messung: Kohlenstoffgehalt: (CO, CO₂, C-gesamt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturmessung (12x Nickel-Chrom Typ K) • Kontrollmessung (2x Platin-Rhodium Typ S) • Messung: Kohlenstoffgehalt (CO, C-gesamt), O₂, Ofendruck, Umgebungstemperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturmessung (12x Nickel-Chrom Typ K) • Kontrollmessung (2x Platin-Rhodium Typ S) • Messung: Kohlenstoffgehalt (CO, C-gesamt), O₂, Ofendruck, Umgebungstemperatur, Luftfeuchte 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturmessung (12x Nickel-Chrom Typ K) • Kontrollmessung (2x Platin-Rhodium Typ S) • Messung: Kohlenstoffgehalt (CO, C-gesamt), O₂, Ofendruck, Umgebungstemperatur, Luftfeuchte
Dokumentationsmethoden	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelmessung beim Einstapeln und Ausräumen • Fotografische Dokumentation (GoPro aller 2 Minuten) • Besatzliste • Fotografische Aufnahme der Gefäße vor und nach dem Brand • Wiegen vor und nach dem Brand • Brennprotokoll 	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelmessung beim Einstapeln und Ausräumen • Fotografische Dokumentation (GoPro aller 2 Minuten) • Besatzliste • Fotografische Aufnahme der Gefäße vor und nach dem Brand • Wiegen vor und nach dem Brand • Brennprotokoll 	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelmessung beim Einstapeln und Ausräumen der Referenzstücke • Fotografische Dokumentation (GoPro aller 2 Minuten) • Besatzliste • Fotografische Aufnahme der Gefäße vor und nach dem Brand • Wiegen vor und nach dem Brand • Brennprotokoll 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsetzprotokoll mit Verzeichnis der Lage der Referenzstücke im Ofen nach Quaranten • Fotografische Dokumentation (GoPro aller 2 Minuten) • Besatzliste • Fotografische Aufnahme der Gefäße vor und nach dem Brand • Wiegen vor und nach dem Brand • Brennprotokoll
	<p>Messgeräte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgasanalysegeräte: MSI Compact NF-D, Dräger • Gesamtkohlenwasserstoffmessgerät: FID 3005, Bernath Atomic • Drucksensumformer, Jumo • Bildschirmschreiber, Logoscreen 500, Jumo 	<p>Messgeräte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgasanalysegeräte: MSI Compact NF-D, Dräger • Gesamtkohlenwasserstoffmessgerät: FID 3005, Bernath Atomic • Drucksensumformer, Jumo • Bildschirmschreiber, Logoscreen 500, Jumo • Datalogger für Temperatur und Feuchte, Hydrolog D, Rotronic 	<p>Messgeräte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgasanalysegeräte: MSI Compact NF-D, Dräger • Gesamtkohlenwasserstoffmessgerät: FID 3005, Bernath Atomic • Drucksensumformer, Jumo • Bildschirmschreiber, Logoscreen 500, Jumo • Datalogger für Temperatur und Feuchte, Hydrolog D, Rotronic • Pyrometer zum Messen der Ofenwandtemperatur (außen), Thermophil R22, Bartec • Wärmebildkamera für Oberflächentemperatur, Messbereich -10 °C bis +400 °C, GTC 400 C, Bosch 	<p>Messgeräte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgasanalysegeräte: MSI Compact NF-D, Dräger • Gesamtkohlenwasserstoffmessgerät: FID 3005, Bernath Atomic • Drucksensumformer, Jumo • Bildschirmschreiber, Logoscreen 500, Jumo • Datalogger für Temperatur und Feuchte, Hydrolog D, Rotronic • Pyrometer zum Messen der Ofenwandtemperatur (außen), Thermophil R22, Bartec • Wärmebildkamera für Oberflächentemperatur, Messbereich -10 °C bis +400 °C, GTC 400 C, Bosch

Tab. 1 Übersicht aller Experimentalbrände der Jahre 2014, 2015, 2016 und 2018 mit Angabe der technischen Daten und Kommentaren. – (Tabelle G. Döhner).

	1. Experimentalbrand 2014	2. Experimentalbrand 2015	3. Experimentalbrand 2016	4. Experimentalbrand 2018
Rohstoff für Besatz	<p>Industriell aufbereitete Massen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Witgert 10sf • Witgert 11sf • Witgert 26sf • Witgert 15py-G • Creaton 591 	<p>Mayener Tone – Mat.-Ref.-Nr.:</p> <p>0001 – T.G. – Ton gelb</p> <p>0002 – T.W. – Ton weiß</p> <p>0003 – T.R. – Ton rot</p> <p>Industriell aufbereitete Masse:</p> <p>Witgert 10 SGf</p>	<p>Mayener Tone-Versatz:</p> <p>MV1: T.G. 70%+T.R. 30 %</p> <p>MV2: T.G. 70%+T.W. 30 %</p> <p>MV3: T.G. 60%+T.W. 20%+T.R. 20 %</p> <p>MV4: T.W. 50%+T.R. 50 %</p> <p>MV5: T.G. 70%+T.R. 30%+Sand 15 %</p> <p>MV6: T.G. 70%+T.W. 30%+Sand 15 %</p> <p>MV7: T.G.60%+T.W.20%+T.R.20%+ Sand15 %</p> <p>MV8: T.W.50%+T.R.50%+Sand 15 %</p> <p>Engobentests:</p> <p>Engoben aus Mat.-Ref.-Nr.: 0001,0002,0003,0004 (Döhner/Herdick/Axtmann 2018)</p> <p>»Platzhalter«:</p> <p>Industriell aufbereitete Masse</p> <p>Witgert 11sf02 Weiß</p> <p>Schamottierung 0-0,2 mm</p>	<p>Mayener Ton –Mat.-Ref.-Nr.:</p> <p>0004 Rot</p> <p>MV1: 0004R+10% Sand</p> <p>MV2: 0004R+15 % Sand</p> <p>Industriell aufbereitete Masse:</p> <p>Witgert 10s Aufbaumasse Rot</p> <p>Schamottierung 0-1 mm</p> <p>»Platzhalter«:</p> <p>Witgert 11sf02 Weiß</p> <p>Schamottierung 0-0,2 mm</p>
Gewicht Besatz (gebrannt)	386,57 kg	396,62 kg	323,51 kg	428,24 kg
Anzahl des Besatzes	334	537	381	292
Zusammenstellung/ Art	334 Rohlinge aus Industriemassen (offene und geschlossene Gefäße)	437 Rohlinge aus Mayener Tonen (offene und geschlossene Gefäße)	176 Rohlinge (124,71 kg) aus Masseversatz aus Mayener Tonen (offene und geschlossene Gefäße)	55 Rohlinge (46,30 kg) aus Mayener Ton und Masseversatz aus Mayener Ton
	100 Rohlinge aus industriell aufbereiteter Masse (offene und geschlossene Gefäße)	100 Rohlinge aus industriell aufbereiteter Masse (offene und geschlossene Gefäße)	205 »Platzhalter« (198,80 kg), (Gewichtsdurchschnitt = 969,77 g) (offene und geschlossene Gefäße)	10 Großgefäße als Rohlinge (161,80kg Gesamtgewicht – schwerstes Gefäß [Pithos] = 49,96 kg) (offene und geschlossene Gefäße)
	Höhere Anzahl an Gefäßen, aber geringeres Gewicht im Vergleich zum Experimentbrand 2014; Grund dafür ist der deutlich höhere Anteil an kleineren Schalen und Krügen bzw. der Anteil an größeren Amphoren; das Gewicht des Besatzes ist immer abhängig vom materialspezifischen Gewicht der eingesetzten Massen	Höhere Anzahl an Gefäßen, aber geringeres Gewicht im Vergleich zum Experimentbrand 2014; Grund dafür ist der deutlich höhere Anteil an großen Gefäßtypen der eingesetzten »Platzhalter«	Höhere Anzahl an Gefäßen, aber geringeres Gewicht im Vergleich zum Experimentbrand 2014; Grund dafür ist der deutlich höhere Anteil an großen Gefäßtypen der eingesetzten »Platzhalter«	227 »Platzhalter« (220,14 kg), (Gewichtsdurchschnitt = 969,77 g) (offene und geschlossene Gefäße)

Tab. 1 (Fortsetzung)

	1. Experimentalbrand 2014	2. Experimentalbrand 2015	3. Experimentalbrand 2016	4. Experimentalbrand 2018
Stapeltechnik	Ohne Stapel- und Brennhilfen eingesetzt, aufrecht stehend, gebördelt, liegend	Ohne Stapel- und Brennhilfen eingesetzt, aufrecht stehend, gebördelt, liegend; verkleinern der Zwischenräume der Speichentenne mit Scherbenbruch und großen Gefäßen	Ohne Stapel- und Brennhilfen eingesetzt, aufrecht stehend, gebördelt, liegend; verkleinern der Zwischenräume der Speichentenne mit Scherbenbruch und »Platzhalter«; die zugleich als »Opferschicht« dienen und das direkte Prallfeuer abfangen	Ohne Stapel- und Brennhilfen eingesetzt, aufrecht stehend, gebördelt, liegend; verkleinern der Zwischenräume der Speichentenne mit Scherbenbruch und »Platzhaltern«; Pithos liegend auf großen Scherben, soweit wie möglich über der zentralen Säule, um das Gewicht auf der Speichentenne besser zu verteilen
Abdeckungsart des Besatzes	gepresste Keramikschalen	gepresste Keramikschalen	gepresste Keramikschalen	gepresste Keramikschalen
Auslastung des Ofens	68 %	100 %	100 %	100 %
Trockenfahren/Temperrn (Anzahl vor dem Brand)	4	2	2	1
Anzahl der Brände in diesem Ofen insgesamt	1	2	3	4
Brenndauer in h (Heizphase)	10,5	16,0	15,5	15,5
Brenntemperatur_{max} (Messung der höchsten und niedrigsten Temperatur während einer Zeit-Temperaturmessung)				
Messintervall °C/min	60 min	5 min	1 min	2 min
Feuerungsraum_{max}	916,9 °C	1028,0 °C	963,5 °C	1115,0 °C
Feuerungsraum_{min}	893,8 °C	974,8 °C	822,9 °C	1083,0 °C
Brennraum_{max}	901,6 °C	1001,0 °C	957,5 °C	1035,0 °C
Brennraum_{min}	673,4 °C	743,1 °C	763,0 °C	729,1 °C
Haltezeiten	2 h bei 30,7 °C bis 107,0 °C	2 h bei 23,8 °C bis 103,4 °C	2 h bei 25,0 °C bis 135,9 °C	ohne Haltezeit – flache Kurve
Brennführung	linear, intendiert zwischen 50 °C und 80 °C pro Stunde	linear, intendiert zwischen 50 °C und 80 °C pro Stunde	linear, intendiert zwischen 50 °C und 80 °C pro Stunde	linear, intendiert zwischen 50 °C und 80 °C pro Stunde

Tab. 1 (Fortsetzung)

	1. Experimentalbrand 2014	2. Experimentalbrand 2015	3. Experimentalbrand 2016	4. Experimentalbrand 2018
Brennmaterial	Holz (bei 12-20% Restfeuchte)	Holz (bei 12-20% Restfeuchte)	Holz (bei 12-20% Restfeuchte)	Holz (bei 12-20% Restfeuchte)
Art/Gewicht	Hartholz (Buche): 151,00 kg Weichholz (Fichte): 210,00kg	Hartholz (Buche): 167,50 kg Weichholz (Fichte): 468,95kg	Hartholz (Buche): 101,40kg Weichholz (Fichte): 458,20kg	Hartholz (Buche): 50,00kg Weichholz (Fichte): 491,00kg
Gesamtgewicht	361,00kg	636,45kg	559,60kg	541,00kg
Energiewert (für Buche: $H_{U=}$ 4,0 kWh/kg) (für Fichte: $H_{U=}$ 4,5 kWh/kg)	1549,00 kWh	2780,28 kWh	2467,50 kWh	2409,50 kWh
Energiebilanz (kWh/pro kg Keramik) (nicht eingerechnet ist die Rohstoffentapie [brennbare Anteile im Rohstoff], da diese Werte zu vernachlässigen sind)	4,01 kWh/kg	7,01 kWh/kg	7,63 kWh/kg	5,63 kWh/kg
Kühlung in Stunden nach Beenden der Heizphase/Art der Kühlung	12,0 Feuerung verschlossen und verschmiert, anschließend natürliche Kühlung	10,5 Feuerung verschlossen und verschmiert, anschließend natürliche Kühlung	11,5 Feuerung verschlossen und verschmiert, anschließend natürliche Kühlung	11,25 Feuerung verschlossen und verschmiert, anschließend natürliche Kühlung
Brennatmosphäre	Überwiegend oxidierend	Überwiegend oxidierend; einzelne, kurze Reduktionsphasen	Überwiegend oxidierend; einzelne, kurze Reduktionsphasen	Überwiegend oxidierend; einzelne, kurze Reduktionsphasen
Besatz nach dem Brand/Brennergebnis	tongrundig, oxidierend; einige Gefäße mit Rußanhäufungen	tongrundig, oxidierend, jedoch mit zahlreichen Reduktionsstellen auf der Gefäßoberfläche, daher changierende, nicht einheitliche Oberfläche; Resultat der Stapeltechnik	tongrundig, teils engobiert, oxidierend, jedoch mit zahlreichen Reduktionsstellen auf der Gefäßoberfläche, daher changierende, nicht einheitliche Oberfläche; Resultat der Stapeltechnik	tongrundig, oxidierend, weniger Reduktionsstellen auf der Oberfläche, teilweise Besatz lockerer gestapelt, dadurch geringere Reduktionsphasen
Schadensbild (Besatz)	5 Fehlbrände (1,5%)	147 Fehlbrände (27,37%)	6 Fehlbrände (3,41%) »Platzhalter« nicht Teil der Statistik – nur Rohlinge berechnet	28 Fehlbrände (43,08%) »Platzhalter« nicht Teil der Statistik – nur Rohlinge berechnet

Tab. 1 (Fortsetzung)

Schäden am Ofen, Reparaturbedarf nach dem Brand	1. Experimentalbrand 2014 keine Schäden nach dem Brand	2. Experimentalbrand 2015 Rissbildungen an der Brennraumwand oberhalb der Feuerungsöffnung; Riss schließt sich nach Abkühlung wieder; Rissbildung im Verstrich der Speichertenne, hier besondere Aufmerksamkeitspunkte durch die Rissbildung höhere Temperaturen im Schieferkern entstehen können; vor nächstem Brand kleine Reparatur an der Speichertenne; zusätzlich wird der Innenraum neu verstrichen, d. h. zusätzlicher Lehmauftrag auf die geraute Oberfläche, um den Fingerstrich auszugleichen	3. Experimentalbrand 2016 Rissbildungen an der Brennraumwand oberhalb der Feuerungsöffnung; Riss schließt sich nach Abkühlung wieder; Verstrich im Brennraum mit kleineren horizontalen Rissen; Verstrich im Feuerungsraum wird erneuert; bei Unachtsamkeit während des Nachlegens von Brennmaterial und beim Schüren der Glut können mechanische Schäden am Verstrich entstehen – sowohl an der Innenwand des Feuerungsraumes als auch am Verstrich der zentralen Säule	4. Experimentalbrand 2018 Rissbildungen an der Brennraumwand oberhalb der Feuerungsöffnung; Riss schließt sich nach Abkühlung wieder; Rissbildung in der Brennraumwand entsteht durch Ableitung der Spannung während der thermischen Beanspruchung der Brennmanlage; aufgrund der Isolierung im Erdreich kann die Ableitung nur im freilegenden Bereich der Brennraumwand erfolgen (oberhalb der Feuerungsöffnung); keine Reparaturen notwendig
Bemerkungen/ Besonderheiten	Brennraum nicht ausgelastet; Brand diente vornehmlich der Festigung der Brennmanlage und dem Reduzieren der Restfeuchte in der Brennmanlage; Besatz oberhalb der Feuerungsöffnung zu dicht gesetzt; Temperatur in diesem Bereich unter 700 °C	Besatz aus aufbereiteten Mayener Tonen (Mat.-Ref.-Nr. 0001, 0002, 0003); keine Zuschlagstoffe zugesetzt, dadurch zu erwartendes hohes Schadbild; hohe Luftfeuchte, Gewitter, Starkregen; Stapeltechnik angepasst, oberhalb der Feuerungsöffnung lockerer gestapelt, darüber dichter gesetzte Lage, Flamme zog jedoch wieder nach hinten, im vorderen Bereich ausreichende Temperatur, jedoch keine gleichmäßige Temperaturverteilung	Die Aufbereitung der Mayener Tone zu einem Masseversatz sowie mit Quarzsand als Zuschlagstoff haben die materialspezifischen Eigenschaften der Tone und die Temperaturwechselbeständigkeit der Gefäße entscheidend verbessert; daher geringe Fehlbrandquote; die Brennmanlage ist für diese robuste Gebrauchskeramik optimal einzusetzen	Besatz bestehend aus Großgefäßen und »Platzhaltern«; weiterhin aus Gefäßen mit dem Mayener Ton 0004; auffallend ist, dass durch eine Stapeltechnik, die mehr Zwischenräume lässt (auch bedingt durch die Großgefäße), deutlich weniger Reduktionen auf der Gefäßoberfläche entstehen; das Brennen von Großgefäßen, die einen Teil des Besatzes bilden, ist in diesem Schachtofen ohne Einschränkung möglich; die Abkühlzeit bis zum Öffnen des Ofens sollte etwas länger sein, da sonst schneller Kühlrisse an den Großgefäßen entstehen: Der überdurchschnittlich hohe Anteil an Fehlbränden ist mit der eingesetzten Masse 0004 zu erklären, die extrem empfindlich beim Einsetzen in den Ofen ist, oft brechen kleinere Chips von Rand und Boden ab, Grund dafür ist die geringe Trockenbiegefestigkeit der Masse

Tab. 1 (Fortsetzung)



Abb. 2 Abdeckung des Schachtofens mit Keramikschalen und größeren Schalenfragmenten (Brand 2016). – (Foto RGZM).

erungsraum ($0,964\text{ m}^3$) erreichte Temperatur betrug 1115°C , während im Brennraum maximal 1035°C an einer Stelle erreicht wurden. Der Brennholzbedarf⁴³ bei voller Beladung betrug – je nach Zusammensetzung des Besatzes – zwischen 541 und 636 kg ⁴⁴. Berücksichtigt man die unterschiedlichen Anteile von Hart- und Weichholz, so lag der Energiewert zwischen $2409,50$ und $2780,28\text{ kWh}$ ⁴⁵. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Energieverbrauch eines Zweipersonenhaushaltes in einem Mehrfamilienhaus liegt in Deutschland pro Jahr bei etwa 2400 kWh ⁴⁶.

Je nach Art des Besatzes konnten bis zu 537 Gefäße unterschiedlicher Größe für einen Brand in den Brennraum ($1,636\text{ m}^3$) eingesetzt werden. Das Gewicht des Besatzes, das die Tenne am Ende des Brandes zu tragen hatte, lag zwischen 323 und 428 kg .

Eine technologische Bewertung des Schachtofens Mayener Bauart ist nur in Relation zur produzierten Warenart, also der oxidierend gebrannten, rauwandigen Keramik für den Export, sinnvoll durchführbar. Ofenkonstruktion und Warenbesatz bilden immer gemeinsam ein technologisches System. Das wird besonders anschaulich beim Blick auf die Stapeltechnik des Brennguts: Aus der Spätantike sind aus den Großgrabungen in Mayen nur zwei kleine Stapelhilfen, die wohl als Abstandhalter dienen, erhalten⁴⁷. Daraus ist abzuleiten, dass das lufttrockene Brenngut direkt aufeinander gestapelt wurde (**Abb. 3**). Was beim Blick in den Ofen chaotisch wirkt, verlangt ein hohes Maß an Erfahrungswissen. Die Flamme darf nie ungehindert aus dem Feuerungsraum durch den Brennraum nach oben gelangen, sondern muss beständig umgelenkt und geteilt werden. So entstehen zahlreiche kleine »Feuerzüge«, die möglichst gleichmäßig aus dem Ofen treten sollen. Das direkte Einstapeln der Gefäße übereinander limitiert auch die Höhe von Schachtofen. Es muss immer möglich sein, das Stapelgut bequem von oben einsetzen zu können. Damit gibt die durchschnittliche Armlänge des Brennmeisters letztlich auch die Höhe des Brennraumes vor. Die scheinbar willkürliche Anordnung der Gefäße im Brennraum folgt einem Prinzip: Die Applikationen und empfindlichen Gefäßteile dürfen nicht durch den Stapeldruck beschädigt werden. Eventuelle Lageveränderungen der Gefäße während des Brandes (z. B. Zerplatzen eines Gefäßes) dürfen sich nicht auf den gesamten Besatz auswirken. Dort, wo der Sauerstoff nicht oder nur unzureichend hingelangt, entsteht eine reduzierende Atmosphäre im Ofen, die bei entsprechender Dauer zu unterschiedlich intensiv schwarz gefärbten, partiellen Reduktionen auf den Gefäßoberflächen führen (**Abb. 4**). Diese entstehen besonders an den Stellen, wo Gefäße während des Brennens unmittelbare Berührungspunkte haben und dadurch den Wechsel der Ofenatmosphäre (oxidierend/reduzierend) nicht oder nur verzögert durchlaufen. In Temperaturbereichen ab 700°C kann



Abb. 3 Einsetzen des Brenngutes in den Schachtofen (Brand 2015). – (Foto RGZM).



Abb. 4 Links originaler Kleeblattkrug aus Mayen, rechts Kleeblattkrug aus dem Experimentalbrand 2016. – (Foto RGZM). – o.M.

beim Nachlegen des Brennmaterials ein Kohlenstoffüberschuss entstehen, der zur Reduktion führt. Die anschließende oxidierende Atmosphäre erreicht dann diese Bereiche nicht oder nur ungenügend, sodass eine Reoxidation nicht mehr stattfinden kann. Bei dem abgebildeten Original aus Mayen kann man noch Reste der ehemals changierenden Oberfläche erkennen. Depositionale und postdepositionale Prozesse haben die Oberfläche zusätzlich verändert, sodass das aufgefundene keramische Objekt nicht mehr dem Zustand entspricht, in dem es in den Nutzungskreislauf gelangte. Bei gut erhaltenen keramischen Oberflächen ist daher Vorsicht geboten, Reduktionen und Schwarzfärbungen ausschließlich als sekundäres Brandereignis oder Funktionsindiz zu interpretieren. Es erscheint plausibel, dass diese farblich changierenden Oberflächen erwünscht waren oder zumindest nicht als Makel empfunden wurden. Gleichzeitig wird deutlich, dass ein vorab exakt festgelegtes Dekor der Gefäßoberfläche mittels Reduktionsphase in Schachttöfen Mayener Bauart nicht möglich war. Eine gezielte Steuerung der Brenn-atmosphäre als Voraussetzung für planmäßig durch reduzierenden Brand erzeugte Oberflächen ließ sich nicht erzielen.

Diese Art des Stapelns ist nicht für alle Warenarten geeignet: Bei engobierten Waren droht die Gefahr des Zusammenklebens. Ebenso sind Gefäße, deren Tonmasse eine geringe Trockenbiegefestigkeit aufweist, eher untauglich. Solche Gefäße sind im lufttrockenen Zustand besonders empfindlich gegenüber mechanischen Beanspruchungen. Die Gefahr einer Beschädigung der Objekte bereits beim Einsetzen ist daher sehr hoch.

Die verschiedenen Experimentalbrände haben gezeigt, dass der Schachtofen Mayener Bauart kein Universaltool des Töpferhandwerks war, das für verschiedenste Produktionsanforderungen gleichermaßen gut geeignet war. Ein ideal geeignetes Warenspektrum für den Besatz dieses Ofentyps lässt sich wie folgt beschreiben: Aufgrund des feuerungstechnischen Wirkungsgrades sollten Gefäße eingesetzt werden, bei denen das Brennoptimum der Tonmassen zwischen 800-900 °C liegt. In diesem Bereich werden die Waren formstabil gebrannt, die Gefäßkörper werden aber nicht gezielt gesintert⁴⁸. D.h. die Gefäße, die frisch aus dem Brand kamen, wiesen eine klar erkennbare Wasseraufnahmefähigkeit und damit bedingte Wasserdurchlässigkeit auf. Durch

den praktischen Gebrauch konnten die Gefäßoberflächen bis zu einem gewissen Grad versiegelt werden⁴⁹. Experimente mit Keramikgefäßen aus Mayener Tonen, die im Schachtofen gebrannt wurden, belegten eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit, die diese Waren als Küchen- und Kochgeschirr besonders geeignet machten⁵⁰. Archäometrisch belegt sind Zuschläge von feldspatreichen Sanden bzw. Quarzsand⁵¹, die diese Materialeigenschaft noch erhöhten. Mit Blick auf die lokal verfügbaren geologischen Ressourcen wären auch Zuschläge von Tuff oder anderen Vulkaniten denkbar gewesen⁵². Dazu stehen entsprechende archäometrische und experimentalarchäologische Studien in diachroner Perspektive aber noch aus.

Die Temperaturwechselbeständigkeit der Tonmasse ist nicht erst beim Gebrauch des fertigen Produkts von Relevanz, sondern bereits bei der Herstellung. Schachtofen werden – wie auch Öfen mit stationärer Kuppel – natürlich gekühlt, indem das Schürloch zugesetzt wird (**Abb. 5**). Die vorgesetzten Schamottesteine im Bild dienen der Temperaturregulierung, indem verhindert werden soll, dass bei dieser Brennphase zu viel Sauerstoff in die Feuerung gelangt, da sonst ein unkontrollierter Temperaturanstieg die Folge sein könnte. Das Blech auf der rechten Seite kann zum temporären Schließen der Feuerungsöffnung eingesetzt werden, damit erreicht man einen Anstieg des Ofendrucks, der zu einem Temperatúrausgleich innerhalb des Brennraumes führt. Damit kann der Ofen auch über den Querschnitt des Schürloches gesteuert werden. In historischer Zeit wurden dafür z.B. größere Keramikplatten verwendet. Über der Schüröffnung sind die Schaulöcher 1 und 2 mit den Kontrollmesssonden (Platin-Rhodium Typ S) zu sehen. Links befindet sich die Kontrollöffnung zur Aufnahme der Messtechnik des IZF für die Bestimmung des Kohlen- und Sauerstoffgehalts sowie des Ofendrucks.

Anders als bei stationären Kuppeln, wo der zentrale Abzug ebenfalls geschlossen wird, bleibt der Brennraum bei Schachtofen – nur durch die temporäre Abdeckung geschützt – oben offen. Diese Art der Abdeckung führt daher nicht zu einem geschlossenen System mit verzögerter Kühlung, sondern während der Abkühl-



Abb. 5 Brand 2016. – Blick auf den Ofen und die Feuerung. – (Foto RGZM).

phase kann die kalte Luft oben über den heißen Besatz streichen⁵³. Warenarten mit einer entsprechenden Temperaturwechselbeständigkeit haben höhere Chancen, diese Art der »schnelleren« Kühlung schadlos zu überstehen⁵⁴.

Bis zu einer Temperatur von ca. 800 °C reagiert der Schachtofen sehr direkt auf das Zuführen des Brennmaterials. D. h., das Nachlegen von Holz führt nur zu einer kurzen Verzögerung und anschließend zu einem messbaren Temperaturanstieg. Das Halten von Temperaturen jenseits der 800 °C ist im Brennraum aber regelhaft mit einem hohen Brennstoffverbrauch verbunden⁵⁵.

Stellt man die Zufuhr des Brennmaterials in Abhängigkeit zur Temperatur in einem Diagramm dar, dann ist zu sehen, dass trotz hoher Taktung beim Nachlegen des Holzes der Temperaturanstieg verzögert ist und schließlich eine Art Plateauphase bildet, die zeigt, dass die zugeführte Energie faktisch nur noch für den Temperaturerhalt im Ofen ausreicht und nicht mehr zu einem spürbaren Anstieg der Temperatur führt. In der Töpfersprache spricht man auch gern vom »Hängen« des Ofens und meint damit den Temperaturbereich, wo die Energiezufuhr nicht mehr optimal zur Temperatursteigerung genutzt werden kann und das Nachlegen von Brennmaterial – aufgrund der Reduktionen im Wechsel mit Luftüberschuss im Ofen – eher zur Kühlung, also zum Absinken der Temperatur führt. Bei anderen Ofenkonstruktionen kann das in anderen Temperaturbereichen erfolgen, so können z. B. holzbefeuerte Steinzeugöfen ab 1150 °C dieses Phänomen aufweisen.

Im Falle des Mayener Schachtofens sahen sich die Brennmeister jedenfalls in der finalen Phase des Brandes vor diese Herausforderung gestellt. Deren Bewältigung erforderte besondere Konzentration und Erfahrung. Kommt es etwa infolge der notwendigerweise erhöhten Brennstoffzufuhr zu unkontrollierbaren Komplikationen im Brennraum, entsteht genau in dieser Phase eine erhöhte Gefahr für ein Scheitern des Fertigungsprozesses. So könnte man sich fragen, ob eine Modifizierung der Ofenanlage möglich gewesen wäre oder ob das überhaupt notwendig bzw. beabsichtigt war? Die Frage einer Modifizierung würde aus konstruktiver Sicht entweder zum Einsatz eines stehenden Ofens mit Kuppel führen, dessen Brennführung bis 1000 °C einfacher wäre, da die zentrale Abzugsöffnung in der Kuppel und deren veränderbarer Querschnitt einen »Kamineffekt« herbeiführt und ähnlich einer Esse zur Temperatursteigerung beiträgt. Oder man hätte den Durchmesser des Brennraumes signifikant verkleinert und dafür die Höhe des Brennraumes gesteigert. Dann würde auch hier das Prinzip einer Esse mit starkem Zug herrschen, ein Effekt, der zum Beispiel in der Metallurgie genutzt wird. Doch wie sinnvoll wären diese beiden Lösungen im Falle des hier evaluierten Schachtofens gewesen? Die Beantwortung bedarf noch einmal der Anmerkung, dass Ofenanlage und Warenspektrum als Einheit zu betrachten sind. Im Falle einer Reduzierung des Ofenquerschnitts würde die Brennführung signifikant darunter leiden. Der Temperaturanstieg wäre deutlich zu schnell und würde zu Fehlbränden führen. Die Temperaturverteilung in der Horizontalen ist innerhalb von Keramikbrennanlagen ebenso wichtig wie in der Vertikalen. Der Einsatz eines Kuppelofens wäre möglich, aber in Zeiten hoher Produktionsausstöße rauwandiger Küchen- und Kochkeramik mit hoher Temperaturwechselbeständigkeit für den Export waren leichte Bedienbarkeit und Bestückung offenbar Faktoren, die das Produktionssystem vereinfachten und daher gewünscht waren. Der spürbare Rückgang der Energieeffizienz ab 800 °C war hinnehmbar, zumal bei dieser Temperatur die gewünschte Brennendtemperatur für den Besatz erreicht und diese nur noch über einen Zeitraum von eins bis zwei Stunden zu halten war, damit alle Gefäße von der brennphysikalischen Atmosphäre im Ofen erfasst wurden. Man ist fast geneigt zu sagen, dass der Ofen vorgab, wann das Brennoptimum erreicht war. Führte die Entwicklung des Keramikmarktes zu einer erhöhten Nachfrage nach höher gebrannten, zumindest partiell gesinterten Warenarten, deren Brennendtemperatur deutlich jenseits von 800 °C lag, stieg die Motivation für die Weiterentwicklung etablierter Ofentypen. Es waren Ofenkonstruktionen notwendig, bei denen Brenntemperaturen jenseits von 1000 °C nicht nur erreicht, sondern bis zu einer nachhaltigen Wirkung auf das Brenngut gehalten werden konnten, ohne dabei die Stabilität der Brennanlage durch zu hohe thermische Beanspruchung zu gefährden.

Für die umfassende technologische Evaluierung eines rekonstruierten Töpferofens ist es zwingend erforderlich, ihn mit wechselndem Besatz unter unterschiedlichen Brennbedingungen zu erproben. Nur so entsteht ein zuverlässiges Bild über das Brennverhalten des Ofens sowie die Stärken und Schwächen in der Betriebsführung.

Ein besonderes Erkenntnispotenzial experimenteller Versuchsreihen sind Schlussfolgerungen zum Erhalt der Betriebsfähigkeit und zur maximalen Betriebszeit von Töpferöfen: Risse im Ofenkörper, die während des Brandes auftraten, ließen sich beim Mayener Schachtofen problemlos wieder verstreichen oder schlossen sich während der Abkühlungsphase. Unter einem offenen Schutzdach konnte der Ofen ohne größere Schäden den Winter überstehen. Vor einem erneuten Brand mussten lediglich größere Risse und Abplatzungen ausgebessert werden. Wir gehen heute von einer potenziellen Betriebszeit eines solchen Ofens von ca. 15 Jahren aus, wobei die Speichentenne, als das am stärksten beanspruchte Konstruktionselement, sicher mehrfach erneuert werden musste. Wichtigste Maßnahmen zum Erhalt sind das regelmäßige Brennen und die damit verbundenen Ausbesserungsarbeiten. Die Öfen hätte man grundsätzlich auch in der kalten Jahreszeit brennen können: Je größer das Temperaturgefälle zwischen Ofentemperatur und Umgebungsluft während des Brandes ist, umso besser das Zugverhalten des Ofens. Der kritische Punkt ist der Trocknungsgrad des eingesetzten Brenngutes. Wenn durch Witterungsumstände das Brenngut noch nicht vollständig jenen Grad an Lufttrockenheit erreicht hatte, der gewünscht war, hatten die Brennmeister noch einen gewissen Spielraum, hier nachzubessern. Die erste Haltephase während des Brennverlaufs, die in jedem Fall benutzt wurde, um noch verbliebenes Restwasser aus den Gefäßkörpern zu entfernen, konnte noch ausgedehnt werden. Solange die getrockneten Gefäße nicht dem Frost ausgesetzt werden, sind Brände auch in den Wintermonaten realisierbar. Vorstellbar wäre auch, dass beim Betreiben mehrerer Brennanlagen die Restwärme des Ofens nach dem Aussetzen zur Trocknung des ungebrannten Besatzes genutzt wurden.

Um die Ergebnisse langfristig in weitergehende sozial- und wirtschaftsgeschichtliche Analysen einfließen lassen zu können, soll ein erster Entwurf für ein Quantifizierungsmodell des Ofens als Kern einer Produktionseinheit vorgelegt werden.

Zum Verständnis und methodischen Gebrauch des Quantifizierungsmodells sollen einige grundsätzliche Anmerkungen vorausgeschickt werden. Ein Modell ist kein Abbild der Wirklichkeit und kann die reale Dynamik des Wirtschaftslebens nicht abbilden. Seine Stärke liegt aber gerade auch darin begründet, dass es Vorstellungen über komplexe Strukturen vereinfacht und anschaulich macht. Wie oben bereits erwähnt, wird mit einem Quantifizierungsmodell nicht angestrebt, historische Wirklichkeit berechnen zu können. Solche Modelle sind vielmehr Arbeitsmittel, die die Wissenschaftler zwingen, die Grundlagen von Interpretationen transparent und evaluierbar darzustellen. Darüber hinaus müssen sich die Forscher systematisch mit den einzelnen Faktoren des Produktionsprozesses auseinandersetzen. Ändern sie Kennzahlen ihrer Berechnungen, haben sie die Auswirkungen anschaulich vor Augen.

Bei unserer Modellrechnung verstehen wir unter Produktivität das Verhältnis von Ausbringung zu Einsatz (**Tab. 2**). Dabei ist der Einsatz die Arbeitsstunde und die Ausbringung das Produkt pro Arbeitsstunde. Wir gehen von einer Produktionseinheit von fünf Personen aus. Diese Zahl basiert auf unseren eigenen Produktionserfahrungen. Die Angehörigen der Produktionseinheit haben in unserem Modell jeweils einen Arbeitsschwerpunkt als Brennmeister, Dreher, Henkler, Heizer und Ressourcenverantwortlicher. Sie beteiligen sich jedoch alle auch an anderen notwendigen Arbeiten. Wir rechnen mit einer aktiven Produktionszeit von zehn Stunden pro Tag und mit einer sechstägigen Arbeitswoche. Um eine erste Größenordnung ermitteln zu können, gehen wir von einem Arbeitsjahr mit 48 Wochen aus. Für den Ofenbesatz kalkulieren wir zwei Ausbringungsarten: Ausbringungsart 1 ist ein Krug mit Henkel. Ausbringungsart 2 ist ein Kochtopf ohne Henkel. Die Ausbringungsarten machen je 50 % des Ofenbesatzes aus; zusammen 540 Gefäße. Es ist mit 10 % Aufschlag aufgrund von Dreh- und Trockenfehlern zu rechnen, also 54 Stück. Im Zuge der Herstellung

Herstellung Ofenbesatz	Kennzahlen zur Modellbildung
Ausbringung 1	Krug mit Henkel
Ausbringung 2	Kochtopf ohne Henkel
Ofenbesatz	540 Gefäße
Dreh- u. Trocknungsverlust	10%
Drehbedarf gesamt	594 Gefäße
Produktionseinheit	5 Personen
Ausbringung Dreher	10 Gefäße/h
Ausbringung Henkler	40 Henkel/h
Zeitaufwand Ofenbesatz	1 Woche
Arbeitswoche/Arbeitsjahr	6 Tage/48 Wochen
Trocknungszeit Besatz	8 Wochen
Alle drei Wochen ein Brand	8640 Gefäße im Brand pro Jahr und Produktionseinheit
Alle zwei Wochen ein Brand	12960 Gefäße im Brand pro Jahr und Produktionseinheit

Tab. 2 Kennzahlen für die Modellbildung als Berechnungsgrundlage für ein Produktionsjahr. Die Produktivitätskennzahlen beruhen auf archäokeramischen Erfahrungen mit der Produktion an Hand- und Fußdrehscheiben sowie Vergleichen mit handwerklich arbeitenden modernen Töpfereien. In die Kalkulationen zum Drehbedarf, der Trocknungszeit und zur Größe der Produktionseinheit flossen die Erfahrungen der Experimentalbrände der Jahre 2014, 2015, 2016 und 2018 ein. – (Tabelle M. Herdick).

einem Arbeitsjahr von 48 Wochen und einem Ofenbrand alle drei Wochen ergeben sich 16 Brände pro Jahr. Mit den zuvor definierten Produktionsmengen ergeben sich 8640 Gefäße pro Jahr. Bei einer Fehlbrandquote von maximal 6 % könnten dann rund 8122 Gefäße von dieser Produktionseinheit im Jahr in den Verkauf gehen. Zusammengefasst kann also eine Produktionseinheit die Gefäße für einen Ofenbesatz relativ zügig herstellen und somit sind auch regelmäßig wiederkehrende Ofenbrände während des Arbeitsjahres gewährleistet. Daher bleibt ausreichend Zeit für die Tongewinnung und -aufbereitung sowie die Brennstoffbeschaffung (Tab. 3).

Durch die Zusammenarbeit mehrerer Produktionseinheiten, der Nutzung von Synergieeffekten und stärkerer Arbeitsteilung konnte man die Produktivität noch steigern. So wären z.B. bei einem zweiwöchigen Brennturnus schon 12 960 Kochtöpfe und Krüge jährlich gebrannt worden.

Die gewonnenen Daten aus unseren Experimentalbränden können künftig auch noch für andere Modelle genutzt werden, die außerhalb der allgemeinen Produktivität von Töpfereien liegen. So können beispielsweise der Energiebedarf und der Ressourcenverbrauch berechnet werden. Anhand dieser Daten können Einflüsse des Menschen auf die Umwelt in definierten Mikrolandschaftsräumen veranschaulicht werden.

Anmerkungen

- 1) Fülle 1997, 111.
- 2) Ruffing 2015, 7-8.
- 3) Davies 2013, 11.
- 4) Davies 2013, 12.

eines Ofenbesatzes müssen demnach 594 Gefäße gedreht werden.

Für die Produktivitätskennzahlen eines Dreheres stützen wir uns auf Erfahrungswerte unserer Archäotöpferin Anna Axtmann, die über eine hohe Prozessroutine bei historischen Arbeitstechniken verfügt. Wir haben ihre Arbeitswerte verglichen mit Kennzahlen aus traditionell arbeitenden Töpfereien im Westerwald, wo an der elektrischen Töpferscheibe gearbeitet wird. Im Schnitt ist die Produktivität an Hand- und Fußdrehscheiben ein Drittel geringer. Bei beiden Ausbringungsarten können zehn Gefäße pro Stunde unter historischen Bedingungen produziert werden; also 100 Stück pro Arbeitstag. In sechs Tagen hätte also ein Dreher die Gefäßkörper für den Ofenbesatz drehen können. Parallel zu ihm hätte ein Henkler die 270 Krüge mit Henkeln versehen. Bei einer Produktivität von 40 Henkeln pro Stunde hätte er in sieben Stunden seine Arbeit für den Besatz erledigt.

Unter den Witterungsbedingungen in der Eifel gehen wir von einer Trockenzeit des Besatzes von durchschnittlich acht Wochen aus. In dieser Zeit kann aber weitergedreht und gebrannt werden. Bei

- 5) Bentz 2017, 19.
- 6) Bentz 2017.
- 7) Recker/Schefzik 2006, 268.
- 8) Kerig 2013, 142.

- 9) Kerig 2013, 145. Mit dieser Definition erfolgt keinesfalls eine Festlegung wirtschaftsarchäologischer Studien auf das Leitbild des an maximaler Effizienz orientierten Homo oeconomicus. Gerade aber um nachweisen zu können, dass wirtschaftliche Handlungen nicht auf größtmögliche Effizienz zur Erzielung eines maximalen monetären oder anderweitig darstellbaren materiellen Ertrags ausgerichtet waren, bedarf es immer der Quantifizierung der Resultate alternativer Entscheidungen. Nur so kann nachvollziehbar dargestellt werden, wenn eine wirtschaftliche Entscheidung nicht auf Gewinnmaximierung hin ausgelegt gewesen sein soll.
- 10) Die Bedeutung der Quantifizierung für wirtschaftsarchäologisch orientierte keramische Studien betonen auch von Kaenel/Helfert 2016, 440.
- 11) Ruffing 2015, 17-18.
- 12) Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e.V. Online: <https://www.nfdi.de/>. – NFDI Objects Online: <https://www.nfdi4objects.net/> (15.9.2021).
- 13) Hierzu und zum daraus resultierenden Forschungsbedarf: Herdick 2015.
- 14) Fülle 1997; 2000a; 2000b; Mees 2002; 2012; 2013; Polak 1998; Genin 2007; Schaad u. a. 2007.
- 15) Dabei bestehen hier zweifellos große Möglichkeiten. So könnte eine detaillierte Quantifizierung der notwendigen Arbeitsleistungen und Ressourcen für die Herstellung und den Brand der voluminösen Ofenbeladungen, wie sie ausgehend von den Töpfereirechnungen für La Graufesenque rekonstruiert worden sind, interessante Erkenntnisse versprechen. z. B. könnte herausgearbeitet werden, worin genau der ökonomische Mehrwert des erschlossenen Organisationsmodells der Produktion gegenüber anderen möglichen Betriebsformen lag. Zum Stand der Ofenforschung: Vernhet 1981; Picon/Vernhet 2008; Schaad 2007; 2010. Zur Quellengattung der Töpfereirechnungen s. auch: Marichal 1988; Hoerner/Scholz 2000; Dannell 2005. Zur Rekonstruktion von Terra Sigillata-Öfen und zur Frage der Beladung vgl.: Hissnauer/Reutti 2016, bes. 369-371.
- 16) Etwa Murphy/Poblome 2011; Murphy 2016; Hasaki 2006; 2011.
- 17) Vgl. Wilk/Rathje 1982; Hendon 2008; Beaudry 2015.
- 18) Bentz 2017; Willet/Poblome 2015; Prillwitz 2018, 328-330.
- 19) Die Ethnoarchäologie ist zweifellos geeignet, technische Handlungsmöglichkeiten vor Augen zu führen. Kritisch anzumerken bleibt, dass es in vielen Fällen an einer quellenkritischen Prüfung und kulturellen wie historischen Gesichtspunkten bei der Übernahme ethnoarchäologischer Daten fehlt. Kritisch zur Ethnoarchäologie: Gosselain 2016. Zum Verhältnis von Keramik- und Ethnoarchäologie allgemein: Vossen 1991; Costin 2000; Hegmon 2000; Stark 2003; Arthur 2003. Forschungsgeschichtlich grundlegend: Peacock 1982.
- 20) Anschaulich zur Bedeutung von Narrativen und Quantifizierungen bei der Analyse makroökonomischer Phänomene: Antipa/Bignon 2018.
- 21) Paulinyi 1995; Benad-Wagenhoff 1995; vgl. Herdick 2016, 228.
- 22) Schneider 2007, 147.
- 23) Grundlegend für die geänderte Sicht auf die Wassermühle: Wikander 1979; 1984; 1985.
- 24) Etwa Leveau 1996; Wilson 2000; 2003; Ad/Abd al-Salam/Frankel 2005; Ritti/Kessener/Grewe 2007; Spain 2008; Czysz 1993; 1994; Volpert/Peters/Schmid 1997; von Freeden 2002; Geilenbrügge 2017; Mangartz 2010; Wefers 2015; Schröder 2016; Höckmann 1994.
- 25) Kowarik/Reschreiter/Wurzer 2012; Kowarik u. a. 2015; Kowarik/Reschreiter 2014.
- 26) Kowarik/Reschreiter 2014, 165-166.
- 27) Mangartz 2008; Schaaff 2015.
- 28) Redknap 1999; Grunwald 2011; 2012a; 2012b; 2015a; 2015b; 2018.
- 29) Xu 2012.
- 30) Die Wechselbeziehungen zwischen Töpfereien und Landwirtschaftsbetrieben im Römischen Reich ist vielfach diskutiert worden. Weniger häufig scheinen Wechselbeziehungen mit anderen Gewerbebereichen und ökonomisch relevanten Infrastrukturen untersucht worden zu sein. Zur Thematik s. exemplarisch: Lewit 2013, 114-118.
- 31) Schaaff 2006; Herdick 2010.
- 32) Aktuelle Ergebnisse zu den Rohstoffnutzungs- und Produktstrategien: Döhner/Herdick/Axtmann 2018.
- 33) Döhner/Grunwald 2018, 66. 68.
- 34) Döhner/Grunwald 2018, 69-70.
- 35) Döhner/Grunwald 2018, 71-72.
- 36) Siehe den Beitrag Döhner u. a. »Unvollendete Technik«!? in diesem Band, Abb. 1a-b (Befund).
- 37) Döhner/Grunwald 2018, 74.
- 38) Gegenüberstellung von Befund- und Rekonstruktionsdaten: Hanning u. a. 2014, 428-429 Tab. 2.
- 39) Siehe den Beitrag Döhner/Herdick/Katschmarek in diesem Band, Kommentare und Abb. 6-9.
- 40) Unter Schachtofen verstehen wir einen »Stehenden Ofen« ohne Kuppel für den keramischen Brand.
- 41) Durch die Abdeckung entstehen einzelne Feuerzüge, aber kein zentraler Abzug wie bei stehenden Öfen mit Kuppel. Durch die sich überlappenden Keramischalen und Fragmente können die Anzahl und Position dieser einzelnen Feuerzüge grob bestimmt werden. Während des Brandes ist eine partielle Regulierung durch zusätzliches Abdecken oder Wegnehmen der Schalen möglich. Dabei ist immer Vorsicht geboten, sobald zu viel kalte Luft über die oberen Gefäßlagen durch Abnehmen der Abdeckung streicht, kann es zu Kühlrissen an den Gefäßen kommen. Außerdem kann dadurch das Temperaturgefälle während des Brandes im Ofen zunehmen und eine Steigerung der Brenntemperatur erschwert werden.
- 42) Siehe den Beitrag Döhner/Herdick/Katschmarek in diesem Band, Kommentare und Abb. 1-5.
- 43) Aus Mayen liegen keine archäobotanischen Analysen vor, die Informationen über Holzarten oder genutzte Waldformen geben. Welches Potenzial die Brennstofffrage u. a. bei Vergleichen zwischen Produktionsstätten unterschiedlicher Klimazonen hat, zeigt Leitch 2019.
- 44) Es wurde bewusst davon Abstand genommen, den Brennholzverbrauch in Stapelheiten wie Raummeter oder Cord anzugeben, da hier Holzbeschaffenheit und Stapeltechnik größere Spielräume beim Gewicht zulassen.

- 45) Berechnet nach Buchenholz 4,0kWh/kg und Fichte 4,5kWh/kg: Fuchs Forstservice Sauerland, Brennwerte, www.forstservicefuchs.de/pdf/Brennwerte.pdf (14.9.2021).
- 46) Entega Plus GmbH, Tipps & Tricks für einen niedrigen Stromverbrauch im 2-Personen-Haushalt, <https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-2-personen-haushalt> (14.9.2021): Wird ein Durchlauferhitzer für die Warmwasseraufbereitung benutzt, liegt der Verbrauch höher.
- 47) Hanning u. a. 2014, 431 Anm. 62.
- 48) In einzelnen kleineren Bereichen des Brennraumes kann es jedoch zu partiellen Teilversinterungen von Gefäßkörpern kommen, wenn lange genug die entsprechenden Temperaturen einwirken und die atmosphärischen Voraussetzungen gegeben sind. Eine planmäßige Produktion von Waren mit diesen Merkmalen ist so jedoch nicht möglich.
- 49) Der Gebrauch führt zu Einlagerungen (z. B. Lipide u. ä.) in der Gefäßwand, die einen abdichtenden Effekt haben können. Dieser Vorgang lässt sich auch planmäßig herbeiführen.
- 50) Döhner/Herdick/Axtmann 2018, 81-82.
- 51) Xu 2012, 34.
- 52) Schneider/Rother 1991, 203-204; Döhner/Herdick/Axtmann 2018, 80.
- 53) Bei den Temperaturkurven zeigen die Temperaturfühler in den Positionen T10, T11, T12 (Messfühler unterhalb des oberen Ofenabschlusses) einen schnelleren Temperaturabfall als jene, die näher am Feuerungsraum liegen. Bei Kuppelöfen mit geschlossenem Abzug kann es in der Abkühlungsphase sogar sein, dass unterhalb der Kuppel die Temperatur kurzfristig steigt, da die heiße Luft nach oben steigt.
- 54) Die hohe Fehlbrandquote (Tab. 1) bei dem Experimentalbrand 2016 erklärt sich daraus, dass zu Testzwecken nur gereinigte Tone ohne Zuschlagstoffe für den Besatz verwendet wurden.
- 55) Siehe den Beitrag Döhner/Herdick/Katschmarek in diesem Band, Kommentare und Abb. 10-11.

Literatur

- Ad/Abd al-Salam/Frankel 2005: A. Ad / S. Abd al-Salam / R. Frankel, Water-Mills with Pompeian-Type Millstones at Nahal Taninim. *Israel Explor. Journal* 55/2, 2005, 156-171.
- Antipa/Bignon 2018: P. Antipa / V. Bignon, Whither Economic History? Between Narratives and Quantification. *Rev. OFCE* 157/3, 2018, 17-36. DOI: 10.3917/reof.157.0017.
- Arthur 2003: J. Arthur, Ethnoarchaeology, Pottery, and Technology: Bridging Ethnographic and Archaeological Approaches. *Rev. Anthr.* 32/4, 2003, 359-378.
- Beaudry 2015: M. C. Beaudry, Households beyond the House: On the Archaeology and Materiality of Historical Households. In: K. R. Fogle / J. A. Nyman / M. C. Beaudry (Hrsg.), *Beyond the Walls: New Perspectives on the Archaeology of Historical Households* (Gainesville 2015) 1-22.
- Benad-Wagenhoff 1995: V. Benad-Wagenhoff, Wieviel technisches Wissen braucht unser Fach? Für eine prozessorientierte Technikgeschichte. *Bl. Technikgesch.* 57/58, 1995, 79-85.
- Bentz 2017: M. Bentz, Zur Rolle der Keramikproduktion in der griechischen Stadt klassischer Zeit. Ein quantitativer Ansatz am Beispiel von Selinunt. *Kölner u. Bonner Arch.* 7, 2017, 17-44.
- Costin 2000: C. L. Costin, The Use of Ethnoarchaeology for the Archaeological Study of Ceramic Production. *Journal Arch. Method and Theory* 7, 2000, 377-403.
- Czys 1993: W. Czys, Eine bajuwarische Wassermühle im Paartal bei Dasing. *Arch. Jahr Bayern* 1993, 125-128.
- 1994: W. Czys, Eine bajuwarische Wassermühle im Paartal bei Dasing. *Ant. Welt* 25/1-4, 1994, 152-154.
- Dannell 2005: G. Dannell, Recording the Loads at La Graufesenque? In: N. Crummy (Hrsg.), *Image, Craft and the Classical World. Essays in Honour of Donald Bailey and Catherine Johns. Monogr. Instrum.* 29 (Montagnac 2005) 81-84.
- Davies 2013: J. K. Davies, Ceramics and the Economic Historian: Mixed Messages and Unharmonised Agendas. In: A. Tsingarida / D. Viviers (Hrsg.), *Pottery Markets in the Ancient Greek World (8th- 1st Centuries B.C.)*. *Proceedings of the International Symposium Held at the Université Libre de Bruxelles*, 19-21 June 2008. *Études Arch.* 5 (Bruxelles 2013) 11-17.
- Döhner/Grunwald 2018: G. Döhner / L. Grunwald, Mayener Keramikproduktion und Töpferofentechnologie von der römischen Epoche bis in das Spätmittelalter. In: H. Stadler / L. Obojes (Hrsg.), *Keramik zwischen Werbung, Propaganda und praktischem Gebrauch. Beiträge vom 50. Internationalen Symposium Keramikforschung in Innsbruck 2017. Nearchos* 23 (Innsbruck 2018) 63-81.
- Döhner/Herdick/Axtmann 2018: G. Döhner / M. Herdick / A. Axtmann, Ofentechnologie und Werkstoffdesign im Mayener Töpfereiviertel um 500 n. Chr. *Exper. Arch. Europa* 17, 2018, 71-86.
- von Freeden 2002: U. von Freeden, Die Wassermühle: Ein antikes Erbe. In: W. Menghin / D. Planck (Hrsg.), *Menschen, Zeiten, Räume: Archäologie in Deutschland* [Ausstellungskat. Berlin, Bonn] (Stuttgart 2002) 331-333.
- Fülle 1997: G. Fülle, The Internal Organization of Arretine Sigillata Industry: Problems of Evidence and Interpretation. *Journal Roman Stud.* 87, 1997, 111-155.
- 2000a: G. Fülle, Die Organisation der Terra sigillata-Herstellung in La Graufesenque. *Die Herstellersignaturen. Laverna* 11, 2000, 44-70.
- 2000b: G. Fülle, Die Organisation der Terra sigillata-Herstellung in La Graufesenque. *Die Töpfergraffiti. Münster. Beitr. Ant. Handlungsgesch.* 19/2, 2000, 62-99.
- Geilenbrügge 2017: U. Geilenbrügge, Altdorf und Pommenich – Reste der ältesten Wassermühle in Mitteleuropa? In: G. Wiplinger / W. Letzner (Hrsg.), *Wasserwesen zur Zeit des Frontinus: Bauwerke – Technik – Kultur. 40 Jahre Frontinus-Gesellschaft. Tagungsband des internationalen Frontinus-Symposiums Trier*, 25.-29. Mai 2016. *BABESCH Suppl.* 4 (Leuven, Paris 2017) 407-416.
- Genin 2007: M. Genin (Hrsg.), *La Graufesenque (Millau, Aveyron). 2: Sigillées lisses et autres productions* (Pessac 2007).
- Gosselain 2016: O. P. Gosselain, To Hell with Ethnoarchaeology! *Arch. Dialog.* 23/2, 2016, 215-228.

- Grunwald 2011: L. Grunwald, Keramik für den europäischen Markt: die römischen und mittelalterlichen Töpfereien von Mayen/Eifel. *Beitr. Mittelalterarch. Österreich* 27, 2011, 25-34.
- 2012a: L. Grunwald, Anmerkungen zur Mayener Keramikproduktion des 9. bis 12. Jahrhunderts. Archäologische Nachweise – wirtschaftsgeschichtliche Aussagen – historische Einbindungen. In: L. Grunwald / H. Pantermehl / R. Schreg (Hrsg.), *Hochmittelalterliche Keramik am Rhein. Eine Quelle für Produktion und Alltag des 9. bis 12. Jahrhunderts. RGZM – Tagungen 13 (Mainz 2012)* 143-160.
- 2012b: L. Grunwald, Die römischen und frühmittelalterlichen Töpfereien von Mayen (Lkr. Mayen-Koblenz). Eine zwischenzeitliche Standortbestimmung. In: M. Grunewald / S. Wenzel (Hrsg.), *Römische Landnutzung in der Eifel. Neue Ausgrabungen und Forschungen. RGZM – Tagungen 16 (Mainz 2012)* 111-129.
- 2015a: L. Grunwald, Die spätmittelalterliche und neuzeitliche Keramikproduktion in Mayen in der Eifel. In: S. Glaser (Hrsg.), *Keramik im Spannungsfeld zwischen Handwerk und Kunst. Beiträge des 44. Internationalen Symposiums Keramikforschung im Germanischen Nationalmuseum, Nürnberg, 19.-23. September 2011 (Nürnberg 2015)* 63-76.
- 2015b: L. Grunwald, Produktion und Warendistribution der Mayener Ware in spätrömischer und frühmittelalterlicher Zeit. In: Ch. Later / M. Helmbrecht / U. Jecklin-Tischhauser (Hrsg.), *Infrastruktur und Distribution zwischen Antike und Mittelalter. Tagungsbeiträge der Arbeitsgemeinschaft Spätantike und Frühmittelalter. Stadt, Land, Fluss – Infrastruktur und Distributionssysteme in Spätantike und Frühmittelalter (Lübeck, 2.-3. September 2013). Stud. Spätant. u. Frühmittelalter 8 (Hamburg 2015)* 191-208.
- 2018: L. Grunwald, Mayen in der Eifel vom 6. bis in das 10. Jahrhundert. Historische Einbindung – Siedlungsstruktur – Wirtschaftsbedeutung. In: J. Drauschke / E. Kislinger / K. Kühtreiber / Th. Kühtreiber / G. Scharrer-Liška / T. Vida (Hrsg.), *Lebenswelten zwischen Archäologie und Geschichte: Festschrift für Falko Daim zu seinem 65. Geburtstag. Monogr. RGZM 150 (Mainz 2018)* 909-918.
- Hanning u. a. 2014: E. Hanning / G. Döhner / L. Grunwald / M. Herdick / A. Hastenteufel / A. Rech / A. Axtmann, Die Keramiktechnologie der Mayener Großtöpfereien: Experimentalarchäologie in einem vormodernen Industrieviertel. *Jahrb. RGZM* 61, 2014, 409-448.
- Hasaki 2006: E. Hasaki, Ancient Greek Ceramic Kilns and Their Contribution to the Technology and Organization of the Potter's Workshops. In: P. Tassios / C. Palyvou (Hrsg.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Ancient Greek Technology (Athen 2006)* 221-227.
- 2011: E. Hasaki, Crafting Spaces: Archaeological, Ethnographic and Ethnoarchaeological Studies on Spatial Organization in Pottery Workshops in Greece and Tunisia. In: M. Lawall / J. Lund (Hrsg.), *Pottery in the Archaeological Record: Greece and Beyond. Acts of the International Colloquium Held at the Danish and Canadian Institutes in Athens, June 20-22, 2008 (Aarhus 2011)* 12-28.
- Hegmon 2000: M. Hegmon, Advances in Ceramic Ethnoarchaeology. *Journal Arch. Method and Theory* 7/3, 2000, 129-137.
- Hendon 2008: J. A. Hendon, Living and Working at Home: The Social Archaeology of Household Production and Social Relations. In: L. Meskell / R. W. Preucel (Hrsg.), *A Companion to Social Archaeology (Manchester 2008)* 272-286.
- Herdick 2010: M. Herdick, Das Labor für Experimentelle Archäologie in Mayen (Lkr. Mayen-Koblenz). *Experim. Arch. Europa* 9, 2010, 15-22.
- 2015: M. Herdick, 1000 Öfen und was nun? – Keramikstudien, Technikgeschichte & Experimentelle Archäologie. In: L. Grunwald (Hrsg.), *Den Töpfern auf der Spur. Orte der Keramikherstellung im Licht der neuesten Forschung. Tagungsband des 46. Internationalen Symposiums Keramikforschung Mayen, 16. bis 20. September 2013. RGZM – Tagungen 21 (Mainz 2015)* 223-233.
- 2016: M. Herdick, Technikgeschichte. In: B. Scholkmann / H. Kenzler / R. Schreg (Hrsg.), *Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit: Grundwissen (Darmstadt 2016)* 224-230.
- Hissnauer/Reutti 2016: D. Hissnauer / F. Reutti, Previously Unknown Models of Rheinzabern Sigillata-Kilns and Their Relation to the Reconstruction of Rheinzabern Sigillata-Kiln No. 6. *Acta RCRF* 44, 2016, 363-372.
- Höckmann 1994: O. Höckmann, Eine Schiffsmühle aus den Jahren um 760 n. Chr. in Gimbsheim, Kr. Alzey-Worms. *Mainzer Arch. Zeitschr.* 1, 1994, 191-209.
- Hoerner/Scholz 2000: B. Hoerner / M. Scholz, »Töpferrechnungen« aus der Sigillata-Töpferei von Chémery-Faulquemont (Lothringen, Dép. Moselle). *Germania* 78, 2000, 39-75.
- von Kaenel/Helfert 2016: H.-M. von Kaenel / M. Helfert, Keramikforschung und Wirtschaftsarchäologie – Das Frankfurter Konzept. In: T. Kerig / K. Nowak / G. Roth (Hrsg.), *Alles was zählt... Festschrift für Andreas Zimmermann. Universitätsforsch. Prähist. Arch.* 285 (Bonn 2016) 431-451.
- Kerig 2013: T. Kerig, Wirtschaft: Struktur und Leistung in frühen Gesellschaften. In: M. K. H. Eggert / U. Veit (Hrsg.), *Theorie in der Archäologie: zur jüngeren Diskussion in Deutschland. Tübinger Arch. Taschenb.* 10 (Münster 2013) 139-190.
- Kowarik/Reschreiter 2014: K. Kowarik / H. Reschreiter, Interdisziplinäre Forschungen in und um das Salzbergwerk von Hallstatt. *Fines Transire* 23, 2014, 161-171.
- Kowarik/Reschreiter/Wurzer 2012: K. Kowarik / H. Reschreiter / G. Wurzer, Modelling Prehistoric Mining. *Mathemat. Model.* 7/1, 2012, 17-29.
- Kowarik u. a. 2015: K. Kowarik / H. Reschreiter / J. Klammer / M. Grabner / G. Winner, Umfeld und Versorgung des Hallstätter Salzbergbaus von der Mittelbronzezeit in die Ältere Eisenzeit. In: Th. Stöllner / K. Oeggl (Hrsg.), *Bergauf Bergab, 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen Ausstellungskat. Bochum, Bregenz (Bochum 2015)* 309-318.
- Leitch 2019: V. Leitch, Fuelling Roman Pottery Kilns in Britain and North Africa: Climatic, Economic and Traditional Strategies. In: R. Veal / V. Leitch (Hrsg.), *Fuel and Fire in the Ancient Roman World: Towards an Integrated Economic Understanding (Cambridge 2019)* 53-61.
- Leveau 1996: P. Leveau, The Barbegal Water Mill in Its Environment: Archaeology and the Economic and Social History of Antiquity. *Journal Roman Arch.* 9, 1996, 137-153.
- Lewit 2013: T. Lewit, The Mysterious Case of La Graufesenque? Stimuli to Large-Scale Fine Pottery Production and Trade in the Roman Empire. In: M. Fulford / E. Durham (Hrsg.), *Seeing Red: New Economic and Social Perspectives on Terra Sigillata. Bull. Inst. Class. Stud. Suppl.* 102 (London 2013) 111-120.

- Mangartz 2008: F. Mangartz, Römischer Basaltlava-Abbau zwischen Eifel und Rhein. Monogr. RGZM 75 = Vulkanpark-Forsch. 7 (Mainz 2008).
- 2010: F. Mangartz, Die byzantinische Steinsäge von Ephesos. Baubefund, Rekonstruktion, Architekturteile. Monogr. RGZM 86 (Mainz 2010).
- Marichal 1988: R. Marichal, Les graffites de La Graufesenque. Gallia Suppl. 47 (Paris 1988).
- Mees 2002: A. W. Mees, Organisationsformen römischer Töpfer-Manufakturen am Beispiel von Arezzo und Rheinzabern unter Berücksichtigung von Papyri, Inschriften und Rechtsquellen. Monogr. RGZM 52 (Mainz 2002).
- 2012: A. W. Mees, Die Verbreitung von Terra Sigillata aus den Manufakturen von Arezzo, Pisa, Lyon und La Graufesenque: Die Transformation der italischen Sigillata-Herstellung in Gallien. Monogr. RGZM 93 (Mainz 2012).
- 2013: A. W. Mees, The Internal Organisation of Terra Sigillata (Samian) Workshops. In: M. Fulford / E. Durham (Hrsg.), Seeing Red: New Economic and Social Perspectives on Terra Sigillata. Bull. Inst. Class. Stud. Suppl. 102 (London 2013) 66-96.
- Murphy 2016: E. A. Murphy, Roman Workers and Their Workplaces: Some Archaeological Thoughts on the Organization of Workshop Labour in Ceramic Production. In: K. Verboven / C. Laes (Hrsg.), Work, Labour, and Professions in the Roman World. Impact Empire 23 (Leiden, Boston 2016) 133-146.
- Murphy/Poblome 2011: E. Murphy / J. Poblome, Producing Pottery vs. Producing Models: Interpreting Workshop Organization at the Potters' Quarter of Sagalassos. In: M. L. Lawall / J. Lund (Hrsg.), Pottery in the Archaeological Record: Greece and Beyond. Acts of the International Colloquium Held at the Danish and Canadian Institutes in Athens, June 20-22, 2008 (Aarhus 2011) 30-36.
- Paulinyi 1995: A. Paulinyi, Wi(e)der eine neue Technikgeschichte(?)! Bl. Technikgesch. 57/58, 1995, 39-48.
- Peacock 1982: D. P. S. Peacock, Pottery in the Roman World: An Ethnoarchaeological Approach (London, New York 1982).
- Picon/Vernhet 2008: M. Picon / A. Vernhet, Les très grands fours à sigillées en Gaule, et notamment à La Graufesenque: observations techniques. In: Actes du Congrès de l'Escalade-Empuries, 1^{er}-4 Mai 2008 (Marseille 2008) 553-566.
- Polak 1998: M. Polak, Old Wine in New Bottles: Reflections on the Organization of the Production of Terra Sigillata at La Graufesenque. In: J. Bird (Hrsg.), Form and Fabric. Studies in Rome's Material Past in Honour of B. R. Hartley. Oxbow Monogr. 80 (Oxford 1998) 115-122.
- Prillwitz 2018: S. Prillwitz, Keramikhandwerk im Kontext: Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zu Tonmassen und Herstellungstechniken von Keramik in Tiryns mit Schwerpunkt auf den spätbronzezeitlichen Werkstattkontexten [Diss. Univ. Heidelberg 2018].
- Recker/Schefzik 2006: U. Recker / M. Schefzik, Wirtschaftsarchäologie: Gegenstand, Methode, Forschungsstand. In: B. Kasten (Hrsg.), Tätigkeitsfelder und Erfahrungshorizonte des ländlichen Menschen in der frühmittelalterlichen Grundherrschaft (bis ca. 1000). Festschrift für Dieter Hägermann zum 65. Geburtstag. Vierteljahrschr. Sozial- u. Wirtgesch. Beih. 184 (München 2006) 267-286.
- Redknap 1999: M. Redknap, Die römischen und mittelalterlichen Töpfereien in Mayen, Kreis Mayen-Koblenz. Ber. Arch. Mittelrhein u. Mosel 6, 1999, 11-401.
- Ritti/Kessener/Grewe 2007: T. Ritti / P. Kessener / K. Grewe, A Relief of a Water-Powered Stone Saw Mill on a Sarcophagus at Hierapolis and Its Implications. Journal Roman Arch. 20/1, 2007, 139-163.
- Ruffing 2015: K. Ruffing, Von der primitivistischen Orthodoxie zum römischen Basar: Die Wirtschaft des Römischen Reiches in der Forschung des ausgehenden 20. und des beginnenden 21. Jahrhunderts. In: R. Lafer / K. Strobel (Hrsg.), Antike Lebenswelten. Althistorische und papyrologische Studien, Altertumswiss. Stud. Klagenfurt 4 (Berlin 2015) 3-27.
- Schaad 2007: D. Schaad, Le »grand four« de La Graufesenque et un four à sigillées de Montans: étude comparative. Aquitania 23, 2007, 171-183.
- 2010: D. Schaad, Le grand four de La Graufesenque: histoire d'un four. In: Actes du congrès de Chelles, 13-16 mai 2010 (Marseille 2010) 417-432.
- Schaad u. a. 2007: D. Schaad / J. C. Balty / P.-A. Besombes / A. Bouquillon (Hrsg.), La Graufesenque (Millau, Aveyron). 1: Condatomagos, une agglomération de confluent en territoire rutène II^e s. a. C. - III^e s. p. C. (Pessac 2007).
- Schaaff 2006: H. Schaaff, Der Vulkanpark Osteifel – Wissenschaft und Tourismus in einem alten Steinbruch- und Bergwerksrevier. In: A. Belmont / F. Mangartz (Hrsg.), Mühlsteinbrüche. Erforschung, Schutz und Inwertsetzung eines Kulturerbes europäischer Industrie (Antike-21. Jahrhundert). RGZM – Tagungen 2 (Mainz 2006) 215-224.
- 2015: H. Schaaff, Antike Tuffbergwerke am Laacher See-Vulkan. Monogr. RGZM 107 = Vulkanpark-Forsch. 11 (Mainz 2015).
- Schneider 2007: H. Schneider, Technology. In: W. Scheidel / I. Morris / R. P. Saller (Hrsg.), The Cambridge Economic History of the Greco-Roman World (Cambridge, New York 2007) 144-171.
- Schneider/Rother 1991: G. Schneider / A. Rother, Chemisch-mineralogische Untersuchungen völkerwanderungszeitlicher Keramik vom Runden Berg. In: K. Roth-Rubi (Hrsg.), Der Runde Berg bei Urach. 9: Die scheinbendgedrehte Gebrauchskeramik vom Runden Berg (Sigmaringen 1991) 191-223.
- Schröder 2016: U. Schröder, Die Wassermühle des Rimburger vicus. Kölner u. Bonner Arch. 6, 2016, 35-44.
- Spain 2008: R. Spain, The Power and Performance of Roman Water-Mills: Hydro-Mechanical Analysis of Vertical-Wheeled Water-Mills. BAR Internat. Ser. 1786 (Oxford 2008).
- Stark 2003: M. T. Stark, Current Issues in Ceramic Ethnoarchaeology. Journal Arch. Res. 11/3, 2003, 193-242.
- Vernhet 1981: A. Vernhet, Un four de La Graufesenque (Aveyron): La caisson des vases sigillées. Gallia 39, 1981, 25-43.
- Volpert/Peters/Schmid 1997: H.-P. Volpert / J. Peters / W. Schmid, Die römische Wassermühle einer villa rustica in München-Perlach. Bayer. Vorgeschbl. 62, 1997, 243-276.
- Vossen 1991: R. Vossen, Ethnoarchäologische Analogien: Möglichkeiten und Gefahren. In: H. Lüdtko / R. Vossen (Hrsg.), Töpfereiforschung archäologisch, ethnologisch, volkskundlich. Beiträge des internationalen Kolloquiums 1987 in Schleswig. Töpferei- u. Keramikforsch. 2 (Bonn 1991) 21-38.
- Wefers 2015: S. Wefers, Die Mühlenkaskade von Ephesos. Studien zur Technikgeschichte und zur Versorgung einer spätantiken bis frühbyzantinischen Stadt. Monogr. RGZM 118 (Mainz 2015).
- Wikander 1979: Ö. Wikander, Water-Mills in Ancient Rome. Opuscula Romana 12, 1979, 13-36.

- 1984: Ö. Wikander, Exploitation of Water-Power or Technological Stagnation? A Reappraisal of the Productive Forces in the Roman Empire. *Scripta minora 1983-1984* (Lund 1984).
- 1985: Ö. Wikander, Mill-Channels, Weirs and Ponds. The Environment of Ancient Water-Mills. *Opuscula Romana* 15, 1985, 149-154.
- Wilk/Rathje 1982: R. R. Wilk / W. L. Rathje, Household Archaeology. *American Behav. Scien.* 25/6, 1982, 617-639.
- Willet/Poblome 2015: R. Willet / J. Poblome, The Scale of Sagalassos Red Slip Ware Production – Reconstructions of Local Need and Production Output of Roman Imperial Tableware. *Adalya* 18, 2015, 133-157.
- Wilson 2000: A. Wilson, The Water-Mills on the Janiculum. *Mem. Am. Acad. Rome* 45, 2000, 219-246.
- 2003: A. Wilson, Late Antique Water-Mills on the Palatine. *Papers Brit. School Rome* 71, 2003, 85-109.
- Xu 2012: W. Xu, Charakterisierung antiker Keramik und ihrer Herstellungstechniken mit mineralogischen Methoden am Beispiel Mayener Gebrauchskeramik [Diss. Univ. Mainz 2012]. <https://opencience.ub.uni-mainz.de/handle/20.500.12030/4718> (15.9.2021).

Zusammenfassung / Summary / Résumé

Überlegungen zum wirtschaftsgeschichtlichen Potenzial der Experimentellen Keramikarchäologie.

Entwurf eines Betriebsmodells für einen spätantiken Schachtofen des Mayener Töpfereireviere

Die Töpfereien waren in Mayen in der Spätantike ein exportorientierter Wirtschaftsfaktor. Zwischen 2014 und 2018 wurden umfassende Brennxperimente in einem rekonstruierten Mayener Schachtofen durchgeführt, der eines der grundlegenden Ofenbauprinzipien repräsentiert. Die Experimente erbrachten umfangreiche Erkenntnisse zu den Stärken und Schwächen dieser Ofenkonstruktion im Brennbetrieb. Darüber hinaus konnten grundlegende methodische Erkenntnisse für die zukünftige experimentalarchäologische Evaluierung von Ofenanlagen gewonnen werden. Auf Basis der ermittelten Leistungsdaten konnte ein Entwurf für die Quantifizierung der Produktivität eines Mayener Schachtofens aus der Zeit um 500 n. Chr. vorgelegt werden.

Reflections on the Economic-Historical Potential of Experimental Pottery Archaeology.

Design of an Operating Model for a Late Antique Shaft Kiln of the Mayen Pottery District

The potteries were an export-oriented economic factor in Mayen in Late Antiquity. Between 2014 and 2018, extensive firing experiments were conducted in a reconstructed Mayen shaft kiln representing one of the basic kiln construction principles. The experiments yielded extensive findings on the strengths and weaknesses of this kiln design in firing operations. In addition, fundamental methodological findings were obtained for the future experimental archaeological evaluation of kiln systems. On the basis of the determined performance data, a draft for the quantification of the productivity of a Mayen shaft kiln from the time around 500 AD could be presented.

Réflexions sur le potentiel économique-historique de l'archéologie expérimentale de la poterie.

Conception d'un modèle d'exploitation pour un four à cuve de l'Antiquité tardive du district potier de Mayen

Les poteries étaient un facteur économique orienté vers l'exportation à Mayen dans l'Antiquité tardive. Entre 2014 et 2018, des expériences de cuisson approfondies ont été menées dans un four à cuve Mayen reconstitué représentant l'un des principes de base de la construction des fours. Les expériences ont permis d'obtenir des résultats détaillés sur les forces et les faiblesses de cette conception de four en matière de cuisson. En outre, des résultats méthodologiques fondamentaux ont été obtenus pour la future évaluation archéologique expérimentale des systèmes de fours. Sur la base des données de performance déterminées, une ébauche pour la quantification de la productivité d'un four à cuve Mayen de l'époque autour de 500 après J.-C. a pu être présentée.

Schlüsselwörter / Keywords / Mots-clés

Mayen / Spätantike / Frühmittelalter / Experimentelle Keramikarchäologie / Schachtofen / Töpferei / Quantifizierung / Modellberechnungen / Wirtschaftsarchäologie / handwerklich-technische Prozessketten in der Keramikherstellung
 Mayen / Late Antiquity / Early Middle Ages / experimental ceramic archaeology / shaft kiln / pottery / quantification / model calculations / economic archaeology / craft-technical process chains in ceramic production
 Mayen / Antiquité tardive / Haut Moyen Âge / archéologie expérimentale de la poterie / four à cuve / poterie / quantification / calculs de modèles / archéologie économique / chaînes de processus artisanaux et techniques dans la production de poterie