

<b>Zeitschrift:</b>	Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerisches Nationalmuseum
<b>Band:</b>	58 (2001)
<b>Heft:</b>	1: Experimentelle Archäologie im 3. Jahrtausend nach Christus
<b>Artikel:</b>	Klassifizierung von Keramik durch Nachbrennen von Scherben
<b>Autor:</b>	Daszkiewicz, Magorzata / Schneider, Gerwulf
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-169606">https://doi.org/10.5169/seals-169606</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Klassifizierung von Keramik durch Nachbrennen von Scherben

von MAŁGORZATA DASZKIEWICZ und GERWULF SCHNEIDER

## *Einführung<sup>1</sup>*

Funde von Keramik bilden eine wichtige Quelle archäologischer Information. Dies beruht auf der Häufigkeit von Scherbenfunden, der guten Erhaltung im Boden und der besonderen Eignung als chronologische Leitfossilien, da Keramik wegen der relativ kurzen Lebensdauer kulturelle Veränderungen besonders schnell anzeigt. Die Bearbeitung von Massenfunden sogenannter Gebrauchsgeräte stösst schnell an Kapazitätsgrenzen, insbesondere dann, wenn die typologische Klassifizierung auch durch naturwissenschaftliche Methoden zur Klassifizierung der Waren, das heißt nach Material und Herstellungstechnik, untermauert werden soll. Eine Einführung in dieses Thema publizierte die Projektgruppe Keramik.<sup>2</sup>

Bei der Auswertung der Keramikfunde aus einer mittelalterlichen Stadt in Zentralpolen<sup>3</sup> wurde ein Modell entwickelt, mit dem sich die zu bearbeitenden 20 000 Scherben mit einer Kombination von makroskopischer Beobachtung und Labormethoden sinnvoll klassifizieren ließen.<sup>4</sup> Da Dünnschliffuntersuchungen und chemische Analysen nur in begrenztem Umfang möglich waren (120 Proben), wurden zuvor als repräsentativ angenommene 1458 Scherben zunächst durch Nachbrennen in sogenannte Rohmaterialgruppen aufgeteilt. Diese Scherben wurden weiter klassifiziert in Magerungsgruppen und Technologiegruppen. Erstere wurden durch Korngröße und Anzahl der Einschlüsse definiert, letztere nach dem Aussehen des frischen Bruchs unterschieden. Jeweils mehrere Scherben jeder so erhaltenen Gruppe wurden dann mit chemischen, mikroskopischen und technologischen Labormethoden analysiert, um die makroskopische Klassifizierung zu überprüfen und zu interpretieren. Es ergab sich, dass sich die ausgewählten diagnostischen Eigenschaften mit den wesentlich teureren Laboruntersuchungen sehr gut korrelieren ließen.

Durch Aufkleben der klassifizierten Fragmente auf Tafeln aus Karton wurde danach ein Katalog erstellt, auf dessen Basis durch Vergleich letztendlich alle 20 000 Scherben den gebildeten Gruppen zugeordnet wurden. Das entscheidende Ergebnis eines Technologiesprunges am Ende des 14. Jahrhunderts liess sich nur ablesen, wenn als Grundlage der Auswertung wenigstens die etwa 5000 Rand- und Bodenscherben betrachtet wurden. Geringere Probenzahlen vermittelten dagegen ein verzerrtes Bild der Statistik.<sup>5</sup>

Ein wesentlicher Vorteil der Anwendung des Nachbrennverfahrens zur Klassifizierung nach den Rohstoffen sind die gegenüber anderen Labormethoden geringeren Kosten, die eine Vorgruppierung grosser Probenzahlen möglich machen. Andererseits kann die Nachbrennmethode weder präzise chemische Analysen für Herkunftsbestimmungen noch Dünnschliffuntersuchungen für die genaue Beschreibung der nichtplastischen Bestandteile ersetzen. Von den mit Hilfe der nachgebrannten Proben gebildeten Gruppen reichen dann jedoch jeweils fünf bis 15 repräsentative Proben aus, um chemisch und mikroskopisch untersucht zu werden. Das systematische Nachbrennen von Scherbenserien wurde inzwischen mit der Anwendung auf sehr unterschiedliche Keramik – Neolithikum in Polen, römisches und germanisches Mitteleuropa, Mesopotamien, Sudan, Mexico – zu einer Routinemethode entwickelt.<sup>6</sup> Die Methode wird als MGR-Analyse (Matrix Grouping by Refiring) bezeichnet.

## *Labormethoden der Untersuchung archäologischer Keramik*

Die häufigste Frage, die mit der naturwissenschaftlichen Analyse archäologischer Keramik beantwortet werden soll, ist zweifellos die nach der Herkunft des Rohmaterials, das heißt, nach aller bisherigen Erfahrung, des Herstellungs-ortes der Keramik. Diesem Ziel dienen die mit archäologischen, makroskopischen Methoden vorgenommenen Einteilungen der Keramikfunde in Waren (*fabrics*, Keramik gleichen Materials und gleicher Herstellungstechnik) ebenso wie die chemischen oder mikroskopischen Analysen im Labor. Methoden der Altersbestimmung werden im Folgenden nicht diskutiert und solche der Herstellungstechnik nur am Rande gestreift, soweit sie die Brenntechnik betreffen.

Die am häufigsten angewandten Methoden der naturwissenschaftlichen Untersuchung archäologischer Keramik sind die chemische Analyse mit spektrometrischen Multielementverfahren (Röntgenfluoreszenzanalyse, Neutronenaktivierungsanalyse, Emissionsspektrometrie oder Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelter Plasma-Anregung) und die mineralogisch-petrographische Untersuchung von Dünnschliffen im Polarisationsmikroskop.

Die Untersuchung der Schwermineralzusammensetzung wird nur an sehr wenigen Institutionen durchgeführt. Alle diese Methoden setzen erfahrene Spezialisten voraus, was neben den Kosten die Anwendung begrenzt.

Verschiedene Tone und Magerungsarten mit unterschiedlichen Eigenschaften geben dem Töpfer die Möglichkeit, die Produkteigenschaften der Funktion der Gefäße anzupassen. Er kann also denselben Ton mit verschiedener Magerung verwenden, zum Beispiel Häcksel für grosse Vorratsgefässe, Kalkspat oder Basaltgrus für Kochtöpfe. In der gleichen Werkstatt, also bei gleicher Herkunft, sind daher durchaus sehr verschiedene Massen, das heisst mehr als eine chemische Gruppe zu erwarten. Andererseits kann auch bei verschiedener Herkunft der Keramik die Magerung gleich sein, so dass dann nur die Zusammensetzung der Matrix die Herkunft charakterisiert. So fanden sich zum Beispiel bei Grabungen in Nordost-Syrien kalkspatgemagerte Kochtöpfe auf der Basis lokaler Mergeltone neben importierten Kochtöpfen mit derselben Magerung, jedoch auf der Basis sehr verschiedener kalkarmer Tone.

Die polarisationsmikroskopische Analyse von Dünn schliffen liefert Informationen über die nichtplastischen Komponenten des keramischen Scherbens in Schluff- oder Sandkorngrösse, das heisst in Korngrössen über etwa 0,01 mm. Diese stellen die natürliche oder zugemischte Magerung dar und sind geologische Indikatoren für die Herkunft der Rohstoffe (ähnlich wie die Schwerminerale). Die Matrix der Scherben ist dagegen zu fein, um im Polarisationsmikroskop analysiert zu werden. Andererseits erfasst die chemische Zusammensetzung sowohl die Matrix als auch die feinen und groben nichtplastischen Bestandteile des Scherbens. Die chemische Zusammensetzung klassifiziert die Scherben daher nach der Zusammensetzung der vom Töpfer hergestellten Mischung, der keramischen Masse. Für die Charakterisierung des plastischen Anteils der Rohstoffe fehlt daher eine Methode, die die Unterschiede (oder die Gleichheit) der Scherbenmatrix aufdecken kann.<sup>7</sup> Dies macht jedoch das Nachbrennen von Scherbenfragmenten möglich, da die Farbe und das Sinter- bzw. Schmelzverhalten des Materials bei den in Frage kommenden Brenntemperaturen archäologischer Keramik unter etwa 1200 °C nicht von der Magerung abhängt. Die umfangreichste Information über die Zusammensetzung der Keramik bietet daher die Kombination aller drei Methoden.

Die Gruppierung von Scherben nach dem Nachbrennverhalten verlangt den makroskopischen Vergleich überbrannter Keramikfragmente, was eher im Erfahrungsbereich des Archäologen liegt als chemische oder mineralogische Daten. Die Methode beruht darauf, dass unterschiedliches Verhalten beim Brennen unter gleichen Bedingungen im wesentlichen nur von der Zusammensetzung der Matrix abhängt. Grundsätzlich ist dabei das Nachbrennen kleiner Fragmente bei einer einzigen Temperatur, oberhalb der originalen Brenntemperaturen, ausreichend. Die Nachbrennproben bieten so eine wichtige Ergänzung

zu den Daten der Zusammensetzung, die mit anderen Methoden erhalten werden. Das Nachbrennen von Proben bei verschiedenen Temperaturen liefert darüber hinaus auch Vergleichsmaterial für die Abschätzung originaler Brenntemperaturen. Im Falle oxidierend gebrannter Keramik kann das durch einfachen Vergleich der Brennfarben geschehen.

### *Durchführung der Nachbrände*

Von den Scherben werden mit einer Diamantsäge neun kleine, etwa 2 bis 4 mm dicke Scheibchen abgeschnitten (Abb. 1). Dafür werden Scherbenfragmente von etwa 3,5 mal 1,0 cm Grösse benötigt, falls die Keramik nicht extrem grobe Körner enthält. Während ein Scheibchen als Originalprobe (sample before refiring) zurückgelegt wird, wird jeweils eines der anderen, zusammen mit den Proben der zu vergleichenden Keramik, bei einer bestimmten Temperatur nachgebrannt. Dies geschieht in einem Elektroofen, also in voll oxidierender Atmosphäre, immer mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 200°C pro Stunde und einer Haltezeit von einer Stunde. Die Temperaturstufen 400°, 600°, 700°, 800°, 900°, 1000°, 1100°, 1200°C erfassen den für eine umfassende Interpretation notwendigen Bereich.<sup>8</sup> Wenn nur kleinere Scherben zur Verfügung stehen, müssen einige Temperaturstufen ausgelassen werden. Der Aufwand kann minimalisiert werden, indem nur bei einer Temperatur (1100° oder 1200°C) nachgebrannt wird. Je nach Grösse des Ofenraums (mit homogener Temperaturverteilung!) können bis zu vierhundert Proben gleichzeitig gebrannt werden.

Die Scheibchen werden nach dem Abkühlen in verschiedenen Licht und auch mit einer Lupe verglichen und zu Gruppen ähnlichen Verhaltens zusammengestellt. Zur Dokumentation werden die Scheibchen auf vorher beschrifteten Karton aufgeklebt. Die Abbildung kann fotografisch, durch Farbxerokopie oder mit einem Farbscanner (wie in Abb. 1)<sup>9</sup> geschehen.

Für Proben von plastischen Rohstoffen oder Mischungen werden jeweils drei Gramm der angefeuchteten Masse unter gleichem Druck zu Tabletten von 2 cm Durchmesser gepresst. Diese werden wie oben beschrieben bei den verschiedenen Temperaturen gebrannt.

### *Beispiele*

Abbildung 1 zeigt Beispiele für die Möglichkeiten der Interpretation von Brennserien. Die ersten sechs Reihen enthalten Brennproben verschiedener Tonrohstoffe. Sie zeigen die Farbveränderungen mit steigender Temperatur und oberhalb 1100°C die ersten Schmelzerscheinungen. Die drei wegen organischer Bestandteile grauen Tone R, B255 und B258 verlieren den grauen Farbanteil infolge des

Sample number	Sample before refiring	Sample after refiring in air							
		400°C	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1200°C
R									
B255									
B258									
B259									
4405									
4405 +NACI									
		700°C	800°C	900°C	1000°C	1050°C	1100°C	1150°C	1200°C
G967									
G968									
G969									
G970									
G971									
		400°C	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1200°C
M402									
M403									
M404									
M405									

by M. Daszkiewicz & E. Bobryk, Warsaw 1999



Abb. 1 Brennproben von Tonen und Nachbrennserien verschiedener Keramik (reduziert auf halbe Grösse).

Verbrennung des Kohlenstoffs. Die Veränderung von braun zu immer röter werdenden Tönen beruht auf den Veränderungen der Eisenhydroxide über verschiedene Stufen zum roten Eisenoxid Hämatit. Bis 700°C (entsprechend sehr niedrig gebrannter Keramik) sind die Brennfarben der drei Tone etwa gleich, ändern sich aber mit steigender Temperatur in Abhängigkeit von der Zusammensetzung. Die Brennfarben werden von den Eisen- und Calciumverbindungen bestimmt, sofern diese in der feinkörnigen Fraktion enthalten sind (wie zum Beispiel feinkörniger Calcit in Mergeltonen) und dadurch mit der Tonmineralmatrix reagieren können.

deutlich verschieden. Ton B259 bläht bei Temperaturen über 1100°C. Die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung sind nicht gross und bestehen vor allem in den das Brennverhalten kaum beeinflussenden Elementen Mg, Cr, Ni. Die Unterschiede beruhen wahrscheinlich auch auf einer unterschiedlichen Korngrößenverteilung und/oder etwas unterschiedlichen mineralogischen Zusammensetzung. Die MGR-Analyse kann also auch kleine Unterschiede aufdecken.

Zwischen 700° und 1000°C, das heisst bei den üblichen Brenntemperaturen archäologischer Keramik, entwickeln die sehr verschiedenen Tone zwar unterschiedliche Farben,

Nr.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr	Ni	Rb	Sr	Zr
<b>Ton aus Rheinzabern</b>														
R	64,8	0,73	16,7	5,45	0,05	2,33	6,56	0,57	2,74	135	64	166	202	184
<b>Tone aus Modena</b>														
B255	56,3	0,69	15,8	6,10	0,10	3,75	12,83	1,24	3,00	134	88	153	361	141
B258	61,7	0,75	17,9	8,04	0,09	5,02	1,23	1,65	3,47	236	186	187	181	153
B259	61,3	0,81	19,8	8,48	0,22	2,90	0,91	1,59	3,70	98	94	189	195	162
<b>Tonmergel aus Nordost-Syrien</b>														
4405	49,8	0,86	14,7	7,51	0,13	5,36	18,76	0,54	2,03	236	181	83	230	165
<b>Fundmaterial aus römischen Töpfereien in Walheim</b>														
G967	71,3	0,72	10,4	3,70	0,10	1,89	8,17	1,21	2,12	90	35	75	165	407
G968	65,3	0,64	9,3	3,56	0,08	2,02	15,48	1,20	1,99	61	30	60	277	358
G969	65,5	0,92	19,1	5,33	0,01	2,04	0,47	0,89	5,40	119	51	162	131	211
G970	62,5	0,88	18,7	7,37	0,02	2,19	1,21	0,95	4,96	114	45	145	182	196
G971	62,3	0,74	17,8	7,35	0,07	5,57	0,55	0,42	4,96	112	60	173	98	170
<b>Keltische und frühe germanische Keramik (Westgreussen, Mardorf )</b>														
M402	69,7	0,70	15,6	4,41	0,04	2,09	2,53	1,09	3,49	92	29	150	376	307
M403	55,2	0,60	15,4	6,99	0,11	3,57	12,83	0,62	4,27	127	65	129	251	122
M404	59,3	0,63	16,5	6,18	0,12	2,34	9,65	0,68	4,35	117	59	135	388	264
M405	63,2	1,83	16,7	8,69	0,05	1,24	2,29	0,69	1,73	231	104	115	414	377

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der Proben von Abbildung 1, bestimmt mit wellenlängendifpersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (Angaben in Oxidprozent bzw. ppm).

Die erste Probe (R) ist der im römischen Rheinzabern verwendete Terra Sigillata Ton mit etwa 7% Calciumoxid Gehalt (Tabelle 1). Höhere Gehalte wie bei Ton B255 aus Modena verhindern bei hohen Brenntemperaturen eine Rotfärbung, da Eisen in die nach dem Zerfall des Calcits neu gebildeten Calciumsilikate und Calciumaluminumsilikate (Diopsid, Gehlenit, Wollastonit) eingebaut wird. Der höhere Flussmittelgehalt (hier vor allem Calcium) bewirkt bei etwa 1200°C ein schnelles Schmelzen der letzten Probe zu einer olivgrünen Halbkugel. Die beiden calciumarmen und eisenreichen Tone B258 und B259 (Tabelle 1) aus der Region von Modena verhalten sich

aber erst bei den deutlich überbrannten Proben (bei 1100° und 1200°C) ist eine Unterscheidung aller vier Materialien eindeutig möglich. Das Beispiel der vier Tone zeigt, dass die Farbe die Rohstoffe charakterisiert, wenn man von gleichen Brennbedingungen ausgeht, das heisst in Abb. 1 innerhalb der senkrechten Reihen vergleicht. Gleiche Farben von Scherben mit unbekannten Brenntemperaturen müssen nicht gleiche Rohstoffzusammensetzungen anzeigen (z.B. Abb. 1: B258/900° und B259/800°).

Bei kalkreichen Tonen ändern sich die Brennfarben von rötlichen über gelbe Töne bis zu Olivgrün<sup>10</sup> (Abb. 1, Beispiel 4405 aus Nordost-Syrien). Grobe Kalkeinschlüsse

sind in Keramik im allgemeinen schädliche Bestandteile. Sind sie sehr zahlreich, führen sie zum Zerrieseln der Scherbe, wenn diese über etwa 650° bis 700°C gebrannt und dadurch Kalk (Calcit oder Aragonit, CaCO<sub>3</sub>) zu gebranntem Kalk (CaO) – beziehungsweise nach Wasseraufnahme zu gelöschem Kalk (Ca(OH)<sub>2</sub>) – zersetzt wurde.<sup>11</sup> Dies lässt sich durch den Zusatz von Kochsalz zur Masse verhindern, zum Beispiel durch die Verwendung von salzhaltigem Anmachwasser, wie dies in Palmyra in Syrien oder auf Djerba in Tunesien heute noch praktiziert wird. Die Brennfarbe wird dadurch schon bei niedrigeren Brenntemperaturen gelb (Abb. 1, Beispiel 4405+NaCl).

Die Farbveränderung gebrannter Scherben beim Nachbrennen entspricht den Farbveränderungen des Rohtons beim Brennen. Bis zum Erreichen der originalen Brenntemperatur ändern sich nur die Grauanteile, die beim oxidierenden Nachbrennen verschwinden. Die Temperatur, bei der dies geschieht, hängt von der Ursache der Graufärbung ab. Kohlenstoff, entweder von nicht ausgebrannten organischen Resten oder vom Brand im rauchenden Feuer herrührend, verbrennt im allgemeinen zwischen 400° und 600°C. Das schwarze Eisenoxid (Magnetit oder Hercynit), entstanden beim Brennen in reduzierender Atmosphäre, das heißt im vor allem während der Abkühlphase luftdicht verschlossenen Ofen, wird ebenfalls oxidiert, sofern die Keramik nicht gasdicht versintert ist.<sup>12</sup>

Die Farbe oxidierend gebrannter Scherben beginnt sich erst nach Erreichen der originalen Brenntemperatur zu verändern. Aus den Farben der Nachbrennserien lassen sich damit die originalen Brenntemperaturen der untersuchten Scherben abschätzen. Die Nachbrennserien können auch für andere oxidierend gebrannte Scherben (aus demselben Rohmaterial) dazu dienen, durch Vergleich Aussagen zur ursprünglichen Brenntemperatur zu machen.

Bei Temperaturen von 1100° und 1200°C, also bei Nachbrenntemperaturen, die bei archäologischer Keramik im allgemeinen oberhalb der originalen Brenntemperaturen liegen, lassen sich unterschiedlich zusammengesetzte Scherben erkennen. Insbesondere werden dabei auch Mischungen verschiedener Tone erkennbar (zum Beispiel G967 in Abb. 1). Das Beispiel stammt aus der Untersuchung des Fundmaterials aus römischen Töpfereien in Walheim (Kreis Ludwigsburg).<sup>13</sup> Das sehr inhomogene Material G967 stammt aus der Ofenwand und enthält als kalkreichen Anteil das gleiche Material wie eine Probe aus der Bediengrube (G968), wie die mikroskopische und die chemische Analyse bestätigen (Tabelle 1). Die roten, kalkarmen Anteile zeigen, dass in der Töpferei auch kalkarme Tone vorhanden waren. Sie entsprechen mikroskopisch und chemisch aber nicht den Scherben G969 und G970, die zueinander im Nachbrand oberhalb 1000°C sehr ähnlich sind. Diese beiden Scherben gehören zur selben chemischen Gruppe (Tabelle 1) und sind auch im Dünnschliffbild gleich. Die originale Brenntemperatur lag zwischen 800° und 900°C, was in Abb. 1 deutlich zu erkennen ist.

Ein anderes Material aus derselben Töpferei (G971) besitzt eine in der vorigen Gruppe nicht vorhandene Menge

aus Quarz mit etwas Feldspat, die beim Nachbrand durch den Farbkontrast sehr viel deutlicher erkennbar wird. Die andere Brennfarbe der bei 1200°C überbrannten Probe G971 zeigt, dass sie auch aus einem anderen Ton hergestellt wurde. Dies wäre bei unterhalb 1000°C gebrannten Keramikscherben, den typischen Brenntemperaturen dieser Keramik, an der Scherbenfarbe nicht zu erkennen. Die chemische Analyse und die mikroskopische Untersuchung bestätigen den Unterschied der beiden Gruppen.

Ein letztes Beispiel stammt aus einer Untersuchung früher germanischer (und keltischer) Keramik aus Mardorf (Kreis Marburg-Biedenkopf) und anderen Orten.<sup>14</sup> Wie bei den vorhergehenden Beispielen wurden auch diese vier Proben im Dünnschliff untersucht und chemisch analysiert (Tabelle 1). Die bis zu 1,5 mm grossen Einschlüsse in Probe M402 bestehen aus Feldspat und Quarz und nur sehr wenigen Kalkbröckchen. Bei den beiden Proben M403 und M404 sind die Einschlüsse davon offensichtlich verschieden. Die groben Bestandteile bestehen hier fast ausschliesslich aus Kalk, der bei Probe M404 im Gegensatz zu Probe M403 sicher nicht als Magerung zugegeben, sondern in Form kalkiger Aggregate schon im Ton vorhanden war. Die Kalkeinschlüsse bei M404 werden erst bei der Brennprobe von 600°C, nach dem Ausbrennen der dunkel färbenden organischen Bestandteile, deutlich sichtbar. Bei 700°C beginnen die Scherben M403 und M404 wegen des Zerfalls des Calcits zu zerrieseln. Chemisch sind beide Proben sehr ähnlich. Die Unterschiede sind vor allem in den durch die unterschiedlichen Kalkeinschlüsse bestimmten Elementen Mg, Ca und Sr offensichtlich. Dass auch die feine Matrix verschieden sein muss, zeigt sich an der unterschiedlichen Brennfarbe und lässt sich chemisch an den voneinander abweichenden Zr-Gehalten ablesen. Scherbe M405 von einem anderen Ort besitzt eine nur im Dünnschliff erkennbare Magerung aus Schamotte. Wie die Nachbrennprobe und die chemische Analyse zeigen, ist sie auch aus einem anderen Ton hergestellt als die drei anderen Scherben.

Die MGR-Analyse zeigt, dass die vier Proben des letzten Beispiels aus vier verschiedenen kalkarmen Tonen mit unterschiedlichen nichtplastischen Bestandteilen bestehen, wie das die kombinierte chemische Analyse und die Dünnschliffuntersuchung klar bestätigen.

### Schlussfolgerungen

Das Nachbrennen von kleinen Scherbenfragmenten bei verschiedenen Temperaturen bis 1200°C bietet eine Möglichkeit, grosse Scherbenserien mit begrenztem Aufwand nach der Rohmaterialzusammensetzung zu klassifizieren. Die gewonnenen Gruppen können dann mit weit geringeren Probenzahlen und Kosten chemisch und mikroskopisch charakterisiert werden. Für die Interpretation der Unterschiede zwischen den Gruppen und für die Zuordnung zu

Referenzgruppen zum Zweck der Herkunftsbestimmung der Keramik ist dies unerlässlich. Die durch den geringeren Aufwand ermöglichte grössere Probenbasis macht die aus den Untersuchungen gefolgerten statistischen Ergebnisse und die Antwort auf die archäologischen Fragen sicherer. Die Nachbrennmethode ersetzt nicht die Untersuchung von Dünnenschliffen zur genauen Beschreibung der nicht-plastischen Einschlüsse der Keramik und nicht die chemische Analyse, die objektive Daten für den Vergleich mit anderer Keramik (Referenzgruppen) liefert.<sup>15</sup>

Die nachgebrannten Scherbenfragmente sind aber auch bei kleinen Probenserien von mehrfachem Nutzen. Die Veränderungen der Proben mit der Temperatur bieten eine im Vergleich zu anderen Verfahren wenig aufwändige Möglichkeit, die ursprünglichen Brennbedingungen abzu-

schätzen. Das Nachbrennen ist auch das einfachste Verfahren, verschiedene oder gleiche Tonmatrix bei gemagerter Keramik zu erkennen, was chemisch oder mikroskopisch nicht direkt möglich ist: Die chemische Analyse charakterisiert nur die Mischung, die mikroskopische Analyse bestimmt nur die gröberen Bestandteile von Schluff- und Sandkorngrösse. Die Methode des Nachbrennens kann bei geringen Unterschieden der chemischen Zusammensetzung oder bei Nichtunterscheidbarkeit im Mikroskop als dritte Methode helfen, eine Entscheidung zu treffen. Für die makroskopische Beschreibung der Scherben und die Klassifizierung in Warengruppen ist von Vorteil, dass bei den nachgebrannten Proben Magerung und Tonmischungen deutlicher erscheinen und kalkhaltige Magerung durch das Zerrieseln der Scherben erkennbar wird.

#### ANMERKUNGEN

- <sup>1</sup> Die Anregung zu dieser Publikation verdanken wir Frau Dr. Katrin Roth-Rubi, Bern. Wir danken ihr auch für die kritische Durchsicht des Manuskripts.
- <sup>2</sup> PROJEKTGRUPPE KERAMIK, *Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik*, Publikation der Projektgruppe Keramik im Arbeitskreis Archäometrie der GDCH (Redaktion Gerwulf Schneider), in: *Acta Praehistorica et Archaeologica* 21, 1989, S. 7–39.
- <sup>3</sup> MAŁGORZATA DASZKIEWICZ, *Technologia wyrobu ceramiki płockiej XIV-XVI w* [Technologie der Herstellung der Keramik von Plock des 14.–16. Jhs.], 1992, unpublizierte Dissertation, Faculty of History, Warsaw University. – MAŁGORZATA DASZKIEWICZ, *Die mittelalterliche Keramik von Płock (Polen) als Beispiel für die Anwendungsmöglichkeiten physikalischer und chemischer Untersuchungen auf Massenfunde*, in: LUMIR POLACEK (Hrsg.) *Frühmittelalterliche Graphittonkeramik in Mitteleuropa – Naturwissenschaftliche Keramikuntersuchungen*, Internationale Tagungen in Mikulcice, Band 4, Brno 1998, S. 257–273.
- <sup>4</sup> Die Arbeiten begannen 1984; unabhängig davon kam Monica Bargielski Weimer in den USA aus denselben Gründen der Kostenersparnis zu einer ähnlichen Lösung (ROBERT L. RANDS / MONICA BARGIELSKI WEIMER, *Integrative approach in the compositional characterization of ceramic pastes*, in: HECTOR NEFF (ed.), *Chemical characterization of ceramic pastes in archaeology*, Madison/Wisconsin 1992, p. 31–38).
- <sup>5</sup> MAŁGORZATA DASZKIEWICZ, *Ein Vorschlag zur Klassifizierung keramischer Massenfunde unter stufenweiser Anwendung einfacher und aufwendiger Untersuchungsmethoden*, in: *Archäometrie und Denkmalpflege*, Kurzberichte 1995, Bochum, S. 75–77.
- <sup>6</sup> Dies geschieht in der Arbeitsgruppe M. Daszkiewicz und E. Bobryk von der Faculty of Chemistry der Warsaw University of Technology.
- <sup>7</sup> Die diversen Methoden der Charakterisierung der Tonmineralzusammensetzung führen nur bei sehr schwach gebrannter Keramik zu einer Aussage, da die Tonminerale durch den Brand zerstört werden.

- <sup>8</sup> Diese Temperaturstufen werden nach Bedarf der jeweiligen Frage angepasst. Bei gleichartig gebrannter Terra Sigillata, zum Beispiel, sind Temperaturen unter 800°C von geringem Interesse und dafür engere Intervalle z.B. von 50°C sinnvoll.
- <sup>9</sup> Für die Computerbearbeitung der Abbildung danken wir Frau Barbara Gostyńska, Archäologisches Museum Gdańsk, Polen.
- <sup>10</sup> Diese Farbveränderungen gebrannter Proben von vermuteten Rohstoffen für archäologische Keramik wurden von Frederick R. Matson benutzt, um die originalen Brenntemperaturen der Keramik abzuschätzen (FREDERICK R. MATSON, *A study of temperatures used in firing ancient Mesopotamian pottery*, in: R. H. BRILL (ed.), *Science and Archaeology*, Boston 1971, p. 65–79).
- <sup>11</sup> Mit zerkleinertem Kalkspat (grobem Calcit) oder mit Marmor gemagerte Kochtöpfe, wie sie in vielen Kulturen verwendet wurden, waren daher immer bei Temperaturen unter etwa 700°C gebrannt worden.
- <sup>12</sup> Wie zum Beispiel bei überbrannter Keramik oder bei schwarzen Glanztonüberzügen, wo Eisen in der Glasphase eingeschlossen und damit dem schnellen Zutritt von Sauerstoff entzogen ist. Die Ursache der Graufärbung ist für die Rekonstruktion der Brenntechnik von Bedeutung und kann mit Mössbauerspektroskopie weitergehend untersucht werden (MALGORZATA DASZKIEWICZ / JERZY RAABE, *Technology of firing of grey ware so called «Siwak» from late medieval. Płock*, in: P. VINCENCINI (ed.), *The Ceramics Cultural Heritage*, Techna Srl, 1995, p. 349–359).
- <sup>13</sup> Die Untersuchung erfolgt im Rahmen eines DFG-Projektes «Die Topographie des römischen Walheim» in Zusammenarbeit mit Dr. Johannes Lauber und Dr. Klaus Kortüm vom Landesdenkmalamt Baden-Württemberg.
- <sup>14</sup> Die Untersuchungen stehen im Zusammenhang mit einem von Dr. Michael Meyer, Humboldt-Universität Berlin, geleiteten und von der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen geförderten Forschungsprojekt «Naturwissenschaftliche Untersuchungen an früher ‹germanischer› Keramik in Hessen am Beispiel der Funde aus Mardorf, Kr. Marburg-Biedenkopf».
- <sup>15</sup> Die Ergebnisse der Nachbrennversuche bestehen in Tafeln mit Proben, deren Erscheinungsbild auch in einer Farbabbildung nur begrenzt wiedergegeben werden kann. Die Methode zur Klassifizierung nach dem Material ist daher vor allem für den Vergleich von Probenserien innerhalb eines Labors geeignet, ähnlich wie dies für relative Datierungsverfahren gilt. Für die Verwendung publizierter Daten, zum Beispiel von Referenzgruppen, sind präzise und richtige chemische Analysen und/oder objektive Beschreibungen der polarisationsmikroskopisch oder schwermineralanalytisch ermittelten Zusammensetzung erforderlich, deren Daten denen absoluter Datierungsverfahren entsprechen. Im Vergleich der Methoden für die Klassifizierung von Keramik nach dem Material benötigt das Nachbrennen einen Elektro-Laborofen und eine Diamantsäge (Letzteres für die schonendere und exaktere Probenahme). Für die mikroskopische Untersuchung ist ein Polarisationsmikroskop erforderlich, und im allgemeinen fallen Kosten für die Herstellung der Dünnschliffe an (die auf alle Fälle höher liegen als die Kosten für das Nachbrennen). Für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung ist der Investitionsaufwand um Größenordnungen höher, und nur wenige Labors haben die notwendige Erfahrung für die geforderten präzisen Analysen von Keramik. Letzteres gilt in noch grösserem Mass für Schwermineralanalysen. Der Zeitaufwand für die Untersuchung einer Probenserie lässt sich wegen der jeweils sehr speziellen Gegebenheiten weder angeben noch vergleichen.

#### ABBILDUNGSNACHWEIS

Abb. 1: Małgorzata Daszkiewicz

## ZUSAMMENFASSUNG

Das systematische Nachbrennen von kleinen Fragmenten archäologischer Scherben bei verschiedenen Temperaturen bis 1200°C dient drei Zielen. Durch den Vergleich des Brennverhaltens unter gleichen Bedingungen lassen sich die Proben nach der Materialzusammensetzung klassifizieren. Diese einfache Methode kann bei grossen Probenserien benutzt werden, um durch eine Vorklassifizierung die notwendige Probenzahl (und Kosten) für weitergehende chemische und mikroskopische Analysen zu reduzieren, ohne die statistische Basis für die Aussage unzulässig zu verkleinern. Das Nachbrennen kann jedoch die chemische Analyse für Herkunftsbestimmungen und die Dünnschliffuntersuchung für die Identifizierung der nichtplastischen Bestandteile nicht ersetzen. Die zweite Möglichkeit der Nutzung von Nachbrennserien ist die Abschätzung der ursprünglichen Brennbedingungen aus den sichtbaren Veränderungen. Eine weitere Anwendung ergibt sich daraus, dass die Farbe beim Nachbrennen nur von der Zusammensetzung der Tonmatrix bestimmt wird und daher eine wichtige Zusatzinformation zur chemisch und mikroskopisch ermittelten Zusammensetzung liefert.

## RÉSUMÉ

La cuisson secondaire de petits échantillons de tessons à des températures différentes allant jusqu'à 1200°C permet d'atteindre trois objectifs. Les différents comportements des échantillons soumis à des conditions identiques permettent de classer ces échantillons d'après leur composition. Cette méthode simple peut être appliquée à de grosses séries. Ainsi, en procédant à un classement préliminaire, elle permet de réduire le nombre d'échantillons (et donc les frais) qui devront être soumis à des analyses chimiques et microscopiques plus poussées, sans pour autant réduire les bases statistiques. Cependant, la cuisson secondaire ne peut en aucun cas remplacer l'analyse chimique pour déterminer l'origine des matériaux ou l'analyse en lame mince pour identifier les matériaux non-plastiques. La cuisson secondaire permet en outre d'obtenir des informations sur l'atmosphère de cuisson originelle. Enfin, la couleur que prend l'échantillon dépend de la matrice argileuse. Elle fournit donc des informations qui complètent celles obtenues à partir de l'analyse chimique et microscopique.

## RIASSUNTO

La cottura sistematica a diverse temperature fino a 1200°C di piccoli frammenti archeologici ha tre obiettivi. Il confronto della reazione alla cottura, eseguita a parità di condizioni, permette di classificare i campioni secondo la composizione del materiale. Questo metodo semplice può essere utilizzato nel caso di lunghe serie di campioni, per ridurre, mediante una classificazione preliminare, il numero di prove e i costi delle analisi chimiche e microscopiche più ampie, senza però diminuire in maniera inammissibile la base statistica necessaria alla valutazione. La cottura non può sostituire né l'analisi chimica, indispensabile per determinare la provenienza di un oggetto, né l'analisi di piccoli frammenti per identificare le componenti non plastiche. La serie di cotture offre inoltre la possibilità di valutare, in termini approssimativi e in base a delle modifiche visibili, le condizioni di cottura all'origine. Un'ulteriore applicazione della cottura viene stabilita dal fatto che soltanto la composizione dell'argilla determina il colore del prodotto. Viene così fornita un'importante informazione supplementare sulla composizione, che si aggiunge a quelle già raccolte, stabilite mediante delle analisi chimiche e microscopiche.

## SUMMARY

Systematic refiring of small fragments of archaeological sherd offers three possibilities of application. The behaviour during refiring up to 1200°C classifies the samples according to the composition of the plastic part of the raw materials. With large sample series, this unsophisticated method can be used for initial classification allowing a reduction in the number of samples to be analysed chemically and microscopically without reducing the statistical base. This method, however, can not replace chemical analysis for provenancing and thin section studies for the identification of the non-plastic inclusions. At the same time, the refired samples give an indication of the original firing conditions. Colours of the refired samples are determined by the composition of the matrix, independently of the coarse inclusions. Thus, refiring analysis provides important additional information on the composition, determined by chemical and microscopical analysis.