

ARCHÄOKERAMOLOGISCHE KLASSIFIZIERUNG AM BEISPIEL KAISERZEITLICHER DREHSCHLEIBENKERAMIK AUS BRANDENBURG

Malgorzata Daszkiewicz, Gerwulf Schneider

EINFÜHRUNG

Die zahlreichsten Artefakte auf archäologischen Fundplätzen vom Neolithikum bis in die Neuzeit sind Keramikscherben. Sie sind in vielen Fällen Schlüssel für die Datierung ebenso wie Zeugnisse für Handel, technologische Entwicklung und Wechsel sozioökonomischer Strukturen. Für die Diskussion von Hypothesen gelten zwei Voraussetzungen: die Betrachtung aller oder fast aller Scherbenfunde und die Erfassung aller archäologisch oder naturwissenschaftlich bestimmbarer Merkmale eines Scherbens. Dies erklärt das Streben nach möglichst einfachen Klassifizierungsmethoden, um große Scherbenzahlen analysieren zu können, und die notwendige Kombination von Labormethoden, um die Informationsmöglichkeiten voll auszuschöpfen.

Die Kombination von Methoden liefert Erkenntnisse zu folgenden Eigenschaften:

- die geochemische Zusammensetzung des Scherbens,
- die mineralogische und petrographische Zusammensetzung der nichtplastischen Bestandteile,
- die Zusammensetzung der gebrannten Tonmatrix (ehemals plastischer Anteil),
- die keramischen Eigenschaften wie Porosität und Dichte,
- die funktionellen Eigenschaften der Gefäße wie Festigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit.

Keramik wird aus Tonen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften hergestellt. Daher wurden die Rohmaterialien besonders ausgewählt und durch Waschen, durch Mischen von Tonen oder durch Zusetzen grober oder feiner magernder Bestandteile bei zu fetten Tonen zu einer formbaren Masse vorbereitet, welche die Eigenschaften des keramischen Produktes bestimmt. Wegen der postulierten Verwendung am Ort vorhandener Rohstoffe für die lokale Keramik ist die Zusammensetzung der Scherben charakteristisch für die jeweiligen Herstellungsorte und ermöglicht so Herkunftsbestimmungen¹.

Um die Zusammensetzung des aus einer feinkörnigen Matrix und nichtplastischen Bestandteilen bestehenden Scherbens (Abb. 1) vollständig zu beschreiben, werden drei Untersuchungsmethoden angewendet: 1. Die chemische Analyse, zum Beispiel durch Röntgenfluoreszenz (WD-XRF), repräsentiert die Mischung und zeigt damit unterschiedliche Rohmaterialien, aber auch unterschiedliche Mischungen an. 2. Die mineralogische Zusammensetzung der Matrix, bestimmbar durch Röntgenbeugungsanalyse (XRD), lässt kaum Rückschlüsse auf die verwendeten Tone zu, da deren Minerale beim keramischen Brand zerstört werden. 3. Die Art und Menge der natürlichen oder zugesetzten nichtplastischen Bestandteile, die die Magerung bilden, kann dagegen im Polarisationsmikroskop an Dünnschliffen be-

¹ Zur Technologie, Klassifizierung und Herkunftsbestimmung archäologischer Keramik siehe z. B. Kingery/

Vandiver 1986; Rice 1987; Schneider 1989.

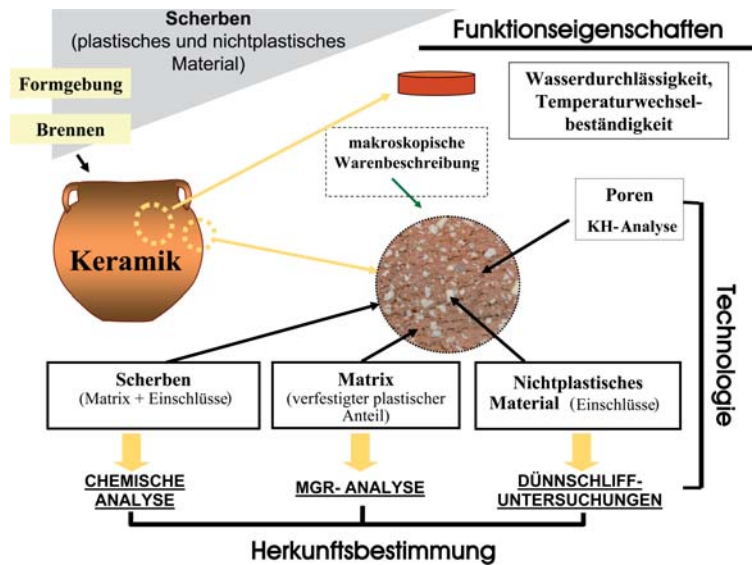


Abb. 1. Prinzip der archäokeramischen Analyse eines Scherbens.

stimmt werden. Sie gibt Hinweise auf die geologische Herkunft und auf die von den Töpfern für bestimmte Funktionen der Keramik oder zu verschiedenen Perioden verwendeten Rezepte für die Auswahl der Tone und Magerungszusätze.

Die technologische Analyse des Scherbens eröffnet eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung des Materials. Nicht nur die Materialzusammensetzung unterscheidet Gruppen von Keramik, sondern auch die verschiedenen Techniken der Präparation der Masse, der Formgebung, der Oberflächenbehandlung und des Brennens der Produkte. Die Klassifizierung in solche Gruppen kann helfen, in der Grabung Schichten unterschiedlicher Zeitstellung zu unterscheiden, zum Beispiel, wenn mit einer Änderung in der Bevölkerung neue Herstellungstechniken Eingang finden (Daszkiewicz/Raabe 1995; Daszkiewicz 1998). Technologische Untersuchungen können auch dazu dienen, Werkstätten innerhalb eines Töpferzentrums, wie zum Beispiel im römischen Rheinzabern, zu differenzieren (Daszkiewicz et al. 2001).

Wenn wir mit alter Keramik arbeiten, sollten wir uns immer vor Augen halten, dass das gleiche Produkt aus sehr verschiedenen Rohmaterialien und mit verschiedenen Techniken hergestellt werden kann. Verschiedene Werkstätten können für Gefäße unterschiedlicher Funktion zum einen dieselben Tone, aber verschiedene Magerung verwenden, auf der anderen Seite können Werkstätten zwar dieselbe Magerung, jedoch verschiedene Tone verwendet haben. Es ergeben sich so folgende Möglichkeiten:

- Keramik derselben Form und desselben Stils kann mit derselben Technik, aber aus unterschiedlichen Rohmaterialien hergestellt sein, also in verschiedenen Werkstätten oder verschiedenen geographischen Regionen.
- Keramik derselben Form und desselben Stils hat zwar dieselbe geochemische Zusammensetzung, wurde also aus denselben Rohstoffen hergestellt, jedoch verweisen unterschiedliche Herstellungstechniken auf verschiedene Traditionen².
- Keramik wurde in einer Werkstattregion aus denselben lokalen Rohtonen, aber für bestimmte Funktionen mit verschiedenen, ebenfalls lokalen Zusätzen hergestellt (dann würde die chemische Zusammensetzung unterschiedliche Herkunftsgruppen liefern).
- Keramik wurde in einer Werkstattregion aus denselben lokalen Rohtonen, jedoch mit importiertem Material für die Magerung hergestellt (dann würde deren mikroskopische Untersuchung einen Import anzeigen).

² Bei der Einwanderung von Töpfern in eine andere Region, werden diese wahrscheinlich die lokalen Rohstoffe verwenden und für die lokale Bevölkerung die lokalen

Formen übernehmen, aber am ehesten ihre technische Tradition beibehalten. Die fremden Einflüsse kann so am ehesten die technologische Analyse aufdecken.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass die Untersuchung alter Keramik sowohl die Zusammensetzung der Scherbenmatrix als auch der nichtplastischen Bestandteile einschließen muss. Dafür sind mindestens drei Analysemethoden anzuwenden:

1. Die chemische Analyse, die die geochemische Charakteristik der Mischung von Ton und Magerung anzeigt. Aus identischen Rohmaterialien nach dem gleichen Rezept hergestellte Keramik sollte innerhalb einer gewissen Streuung dieselbe Zusammensetzung von Haupt- und Spurenelementen haben.
2. Dünnschliffuntersuchungen sind in erster Linie erforderlich, um die Art (mineralogisch und petrographisch), die Form, die Menge und die Korngrößenverteilung der nichtplastischen Bestandteile zu ermitteln. Auch die feinkörnige Matrix gibt in ihrem mehr oder weniger durch den keramischen Brand veränderten Erscheinungsbild wichtige Informationen zur originalen Brenntemperatur und über sekundäre Veränderungen, zum Beispiel der aufgelösten oder eingelagerten Karbonate während der Bodenlagerung.
3. Die MGR (= Matrix Grouping by Refiring) -Analyse (Daszkiewicz/Schneider 2001), eine Methode, bei der unterschiedliches Brennverhalten durch Nachbrennen kleiner Fragmente bei Temperaturen weit oberhalb der originalen Brenntemperatur sichtbar wird. Die Unterschiede sind dabei zunächst nur durch die verschiedene Art der originalen Tonmatrix bestimmt (chemische, mineralogische und physikalische Zusammensetzung), während die nichtplastischen Bestandteile außer den Karbonaten nicht reagieren. Die Veränderung der sichtbaren Einschlüsse gibt wichtige Hinweise auf deren Art³. Durch Nachbrennen kleiner Fragmente in Stufen von 400 °C bis 1200 °C können die originalen Brenntemperaturen abgeschätzt werden⁴. Ein weiterer Vorteil der Nachbrennmethode ist die Möglichkeit, eine große Anzahl von Scherben nach dem verwendeten Ton durch Nachbrennen je eines einzigen kleinen Fragments bei 1200 °C nach dem Material sicher klassifizieren zu können.

Als Schlussfolgerung bleibt festzuhalten, dass eine einzige Methode, wie zum Beispiel die chemische Analyse von Scherben zwar wichtige Informationen liefern kann, dass aber diese sehr begrenzt sind. Es hängt von der Fragestellung ab, was für die Interpretation der Keramikuntersuchung von Bedeutung ist. Die Herkunft der Gefäße liefert zwar Informationen zu ökonomischen Fragen, eine neue Technologie mit lokalen Rohmaterialien mit oder ohne neue Formen kann jedoch auf eine Änderung der sozioökonomischen Struktur hinweisen. Die Kombination der Informationen ermöglicht damit eine sehr viel weitergehende Diskussion.

KLASSIFIKATION VON MASSENFUNDEN

Für gesicherte Aussagen zu zeitlichen oder räumlichen Veränderungen der Keramikproduktion muss die statistische Basis ausreichend sein. Daher muss eine große Zahl von Scherben untersucht werden, wobei neben der chemischen Analyse auch die Untersuchungen eine wichtige Rolle spielen, die Informationen zur Herstellungstechnologie geben können. Um den Aufwand zu begrenzen, hat sich eine Strategie bewährt, die mit einer einfachen Methode eine große Zahl von Scherben nach ihrer Zusammensetzung klassifiziert, indem alle Scherben zunächst makroskopisch nach dem Aussehen des frischen Bruchs (Dichte, Einschlüsse, Farbe) und mit Hilfe des Nachbrennverfahrens nach Ton, Magerung und

³ In den nachgebrannten Fragmenten sind Einschlüsse anderer Tonsorten oder nichtplastischer Bestandteile oft besser zu erkennen als in den originalen Scherben.

⁴ Die originale Brenntemperatur (bzw. die im Experiment nur bestimmbare Äquivalenttemperatur unter der Voraussetzung gleicher Brenndauer und -atmosphäre) wird angezeigt, wenn bei dem Fragment erste Veränderun-

gen sichtbar werden. Dies gilt wegen des oxidierenden Nachbrennens jedoch nicht für die Veränderung grauer Scherben. Das Verschwinden der Graufärbung hängt hier von der Temperatur ab, bei der der färbende Kohlenstoff verbrennt oder das reduzierte Eisenoxid reoxidiert werden kann. Es gibt damit andererseits entscheidende Hinweise auf die Art der Graufärbung.

Technologie sortiert werden. Erst in einem nächsten Schritt werden die aufwendigeren Labormethoden der chemischen Analyse und der Dünnschliffuntersuchungen eingesetzt. Wenn die hierfür ausgewählten Proben repräsentativ für die vorher bestimmten Gruppen sind, lassen sich die Ergebnisse der aufwendigeren Analysen auf die Gesamtheit aller Scherben übertragen.

Diese Strategie (down-up-sampling classification) wurde an einem Beispiel frühneuzeitlicher Keramik aus Polen angewendet (Daszkiewicz 1998). Dabei zeigte sich, dass bei einer Gesamtzahl von ca. 20 000 Scherben erst die Klassifikation aller 5000 Rand- und Bodenscherben das erwartete Ergebnis der mit einer Änderung der Bevölkerung einhergehenden Änderung der Technologie erbrachte (Daszkiewicz 1995). Die Beschränkung der Auswertung auf die mit Laboranalysen klassifizierten 150 Proben führte dagegen zu falschen Aussagen.

Die makroskopische Klassifizierung ist oft schwierig und nicht immer besteht die Möglichkeit, die Scherben ein zweites Mal zu begutachten. Für nachträgliche Korrekturen können Makrofotos der Scherbenbruchflächen, vor allem beim dann möglichen direkten Vergleich der Vergrößerungen auf dem Computerbildschirm, hilfreich sein. Diese Methode (RSM = reverse strategy by macro photography) wurde als Konsequenz der Schwierigkeiten bei Klassifizierung der Scherben einer ausgedehnten Oberflächenbegehung vorgeschlagen, wo die Möglichkeit einer zweiten Begutachtung der Scherben nicht bestand (Daszkiewicz et al. 2009).

Eine weitere Möglichkeit der schnellen Klassifizierung von Keramik nach der Materialzusammensetzung bieten neuerdings mobile Geräte zur Röntgenfluoreszenzanalyse (P-XRF), die ohne Probennahme vor allem am frischen Bruch die chemische Zusammensetzung von Scherben anzeigen. Sinnvollerweise sollten diese nur eingeschränkt repräsentativen Analysen entsprechend der down-up-sampling-Strategie mit der makroskopischen Klassifikation, der MGR-Analyse und mit konventionellen Analysen von entnommenen Proben kombiniert werden.

HERKUNFTSBESTIMMUNG MIT CHEMISCHEN ANALYSEN

Der erste Schritt ist die Klassifizierung der Keramik in Gruppen gleicher chemischer Zusammensetzung. Voraussetzung für Herkunftsbestimmungen ist dann, dass die Unterschiede innerhalb einer Gruppe von Keramik gegenüber den Unterschieden zu den Referenzgruppen, die zum Vergleich dienen, klein sind. Referenzgruppen sind mit demselben oder vergleichbaren Verfahren analysierte Scherben mit mehr oder weniger sicherer Herkunft, die eine einheitliche chemische Gruppe bilden. Die Sicherheit der Referenzgruppe bestimmt dann auch die Sicherheit der Herkunftsbestimmung (Schneider et al. 1979).

Die zu einer Referenzgruppe zusammengefassten Analysen sollen eine möglichst geringe Streuung aufweisen, wofür zunächst die Einzelanalysen möglichst präzise sein müssen. Darüber hinaus geht die einheitliche Zusammensetzung eines Scherbens (Probennahmefehler) und die mehr oder weniger weitgehende Standardisierung der Produkte in die Streuung der Referenzgruppe ein. Dies soll an einem Beispiel erläutert werden (Abb. 2): In dem zweidimensionalen Variationsdiagramm sind für jede Probe die Konzentrationen von Kalium und Titan eingetragen, zwei Elemente, die für viele Referenzgruppen besonders charakteristisch sind. Zwei Elemente genügen, um Unterschiede zwischen Gruppen zu erkennen, aber – und das ist sehr wichtig – sie reichen nicht aus, um die Zugehörigkeit einer Probe zu einer Gruppe zu beweisen. Für eine solche Zuweisung müssen nicht nur ein oder zwei, sondern alle analysierten Elemente übereinstimmen und dies muss an einer möglichst großen Anzahl von analysierten Elementen geprüft werden (wenigstens an 15 bis 20 Elementen).

Das Variationsdiagramm zeigt, dass die Gruppe der im römischen Rheinzabern hergestellten Gefäßkeramik und der Ziegel etwa in den Rahmen fällt, der durch die Analysen von geologischen Tonproben aus Rheinzabern und Umgebung gebildet wird und innerhalb dessen alle möglichen Mischungen dieser Tone liegen müssen. Magerungszusätze von aus Quarz (SiO_2) bestehendem Sand lassen durch den Verdünnungseffekt noch Werte in Richtung des Nullpunkts zu, da die Elemente Kalium und Titan im Quarz

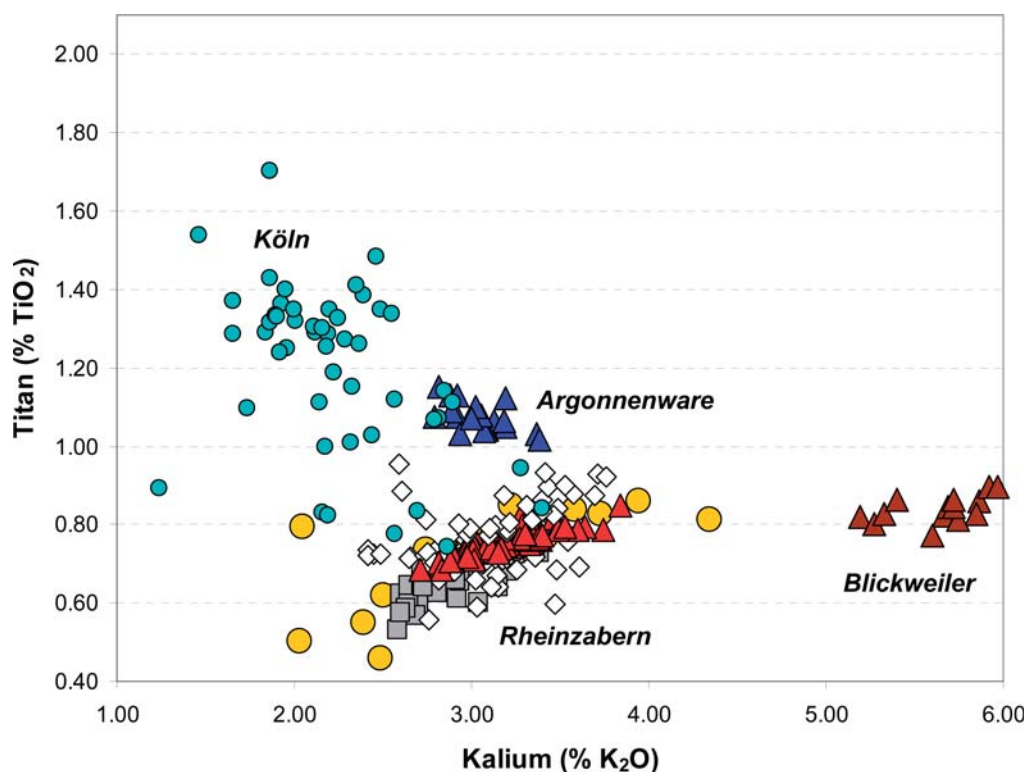


Abb. 2. Referenzgruppen bei Herkunftsbestimmungen mittels WD-XRF. Am Beispiel der Elemente Kalium und Titan sind die Streuungen der Analysen von geologischen Tonproben (gelbe Kreise), Sigillata (rote Dreiecke), Ziegeln (graue Quadrate) und anderen frühen und späten Produkten (offene Rauten) aus Rhein Zabern den Referenzgruppen für Argonnenware (dunkelblaue Dreiecke), Sigillata aus Blickweiler (braune Dreiecke) und römischer Keramik aus Köln (hellblaue Kreise) gegenübergestellt.

nicht enthalten sind. Dies erklärt auch die Gemeinsamkeitskorrelation der beiden Elemente, durch den die Werte etwa auf einer Geraden durch den Nullpunkt liegen. Die höheren Titanwerte der Argonnenware oder die höheren Kaliumwerte der Terra sigillata aus Blickweiler trennen diese Gruppen signifikant von den in Rhein Zabern aus lokalen Tönen herstellbaren Produkten. Dies gilt, wie oben gesagt, auch ohne Betrachtung weiterer Elemente. Die Streuung der standardisierten Terra sigillata⁵ ist deutlich geringer als die der übrigen Rhein Zaberner Keramik, wodurch sich die Sigillata besonders deutlich von anderen Gruppen trennen lässt. Die Analysen römischer Keramik aus Köln zeigen dagegen eine viel größere Streuung und sind in diesem Diagramm nur von der kaliumreichen Sigillata von Blickweiler eindeutig unterscheidbar.

Die im Diagramm eingetragenen, jeweils die Analyse einer Probe repräsentierenden Punkte beschreiben eine sichere Referenzgruppe für die lokalen keramischen Produkte in Rhein Zabern, die sowohl durch geologische Tonproben als auch durch Werkstattfunde gesichert ist. Die Referenzgruppen für Keramik aus den Argonnen (Avocourt), Blickweiler und Köln schließen neben archäologisch zugeordneten Proben jeweils auch einige sicher lokal hergestellte Funde ein; es wurden auch Proben durch Vergleich mit publizierten Analysen anderer Labors zugeordnet. Dies verdeutlicht, dass sichere Herkunftszuordnungen vor allem von der Güte der Referenzgruppen abhängen, die durch die Streuung der Analysewerte und die Auswahl repräsentativer Proben begrenzt werden. Die Voraussetzung ist immer die Analyse von möglichst vielen chemischen Elementen, die mit bestmöglicher Präzision (Wiederholungsgenauigkeit) und Richtigkeit (Treffgenauigkeit) bestimmt wurden.

Bei einfachen Problemen mit großen Unterschieden der Zusammensetzung aller in Frage kommenden Herkunftsorte (zum Beispiel Rhein Zabern, Blickweiler, Avocourt, Köln) sind die Anforderungen

⁵ Für die Sigillata wurden aus technischen Gründen kalkreiche Tone verwendet, die sich durch eine gleichbleibende Mischung der verfügbaren kalkarmen fetten Tonschichten des Tonlagers mit einem gewissen Anteil

von den mergeligen Schichten ergab. Die in der Werkstatt gefundenen Rohtone waren schon von den Töpfnern so gemischt worden (Schneider 1978).

kleiner als bei Problemen, wo nur sehr geringe Unterschiede in einem oder wenigen Elementen bestehen⁶. In den meisten Fällen sind für Herkunftsbestimmungen ausreichend sichere Analysen nicht ohne Entnahme kleiner Proben möglich, die durch Bohren als Pulver oder durch Aufmahlen kleiner Fragmente, jeweils nach vorheriger sorgfältiger Reinigung, erhalten werden.

Im Wesentlichen werden heute drei verschiedene Analyseverfahren zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung solcher Keramikpulver angewendet, die die gestellten Anforderungen erfüllen. Sie haben jeweils typische Vor- und Nachteile in der notwendigen Probengröße, der Art und Anzahl der in Keramik bestimmbaren Elemente und im Zeit- und Kostenaufwand:

- wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-XRF),
- optische Spektrometrie oder die Massenspektrometrie nach Anregung mit einem induktiv gekoppelten Plasma (ICP-OES oder ICP-MS),
- Neutronenaktivierungsanalyse (NAA).

Chemische Untersuchungen mit mobilen Geräten zur Röntgenfluoreszenzanalyse

Seit kurzem stehen für zerstörungsfreie Analysen ohne Probennahme mobile und tragbare Geräte für energiedispersive Röntgenfluoreszenz (p-ED-XRF) zur Verfügung. Die Analysewerte sind naturgemäß weniger aussagekräftig, da anstelle einer homogenisierten repräsentativen Pulverprobe nur wenige Stellen der Scherbenoberfläche oder des Bruchs analysiert werden und zudem wegen der geringen für jedes Element verschiedenen Informationstiefe (etwa zwischen 0,005 und 0,5mm) nur die Zusammensetzung der Oberfläche erfasst wird⁷. In ausführlichen Testmessungen wurden auch Proben der Brandenburger Drehscheibenkeramik einbezogen, die im Folgenden dargelegt werden sollen. Wiederholungsmessungen zeigten, dass die für die Tests gewählte Messzeit von zwei Minuten ausreicht⁸.

Die Messungen mit p-ED-XRF liefern bei Keramik verwertbare Konzentrationsdaten für etwa zwanzig Elemente. Von den aus der Erfahrung mit WD-XRF als besonders signifikant bekannten Elementen Ti, Mg, Ca, K, Cr, Ni, Rb, Sr, Zr fallen hier Mg, Cr und Ni wegen zu geringer Konzentrationen beziehungsweise zu schlechter Präzision aus. Auch die Elemente Si und Al sind nur mit großen Fehlern bestimmbar. Die Präzision ist darüber hinaus zum Beispiel bei Ti, Ca und K deutlich schlechter als bei WD-XRF⁹ und schränkt damit die Unterscheidbarkeit von Gruppen stark ein. Die mit p-ED-XRF durchgeführten Analysen von fünf Scherben von Drehscheibenkeramik bei Messungen an jeweils acht verschiedenen Stellen sollen als Beispiel dienen, wobei in Abbildung 3 zunächst nur Kalium und Titan betrachtet werden. Weitere elf Scherben wurden an jeweils vier Stellen gemessen und in die Schlussfolgerungen einbezogen. Bei allen Scherben wurden die Messungen sowohl auf den gereinigten inneren und

⁶ Unterschiede von Tonen und damit der daraus hergestellten Keramik können groß sein, z. B. zwischen kalkreichen und kalkarmen oder zwischen illitischen und kaolinitischen Tonen. Die Unterschiede von Tonen an verschiedenen Orten hängen in erster Linie von den geologischen Unterschieden ab, die sich vor allem auch in den Neben- und Spurenelementen zeigen. Der geochemische Fingerabdruck gilt meist für alle Schichten eines Tonlagers, auch wenn der Sand- oder Kalkgehalt stark variiert. Innerhalb geologisch relativ einheitlicher Regionen, wie z. B. in Brandenburg, sind die geochemischen Unterschiede in den tonigen Sedimenten nur gering. Nach der Erfahrung aus über 20000 Keramikanalysen für kulturhistorische Fragen bilden solche schwierigen Fälle die Hauptmenge.

⁷ Diese Oberflächenschicht wird bei der Präparation von Keramikpulvern durch vorheriges Abschleifen der Fragmente wegen der Bodenlagerungseffekte verworfen.

⁸ Die Variationskoeffizienten der Messung einer Messstelle (= relative Standardabweichungen in Prozent) wurden aus zehn Wiederholungen bestimmt und ergaben 0,74 % für Titan und 1,5 % für Kalium. Wegen der notwendigen Positionierung der Proben und der Messung mehrerer Stellen beträgt die benötigte Zeit pro Probe etwa zehn Minuten.

⁹ Die Variationskoeffizienten wurden bei WD-XRF aus wiederholten Präparationen von zwanzig Proben bestimmt und sind für Titan 0,9 %, für Calcium 1,7 % und für Kalium 1,1 %. Für p-ED-XRF ergaben sich die entsprechenden Variationskoeffizienten für die Mittelwerte aus vier Messungen, jeweils an verschiedenen Stellen des frischen Bruchs oder an Schnittflächen, kaiserzeitlicher Drehscheibenkeramik zu 3,0 % (Ti), 3,8 % (Ca) und 3,0 % (K). Dies wurde mit p-ED-XRF-Messungen an sechzehn Scherben ermittelt (Schneider/Daskiewicz 2010).

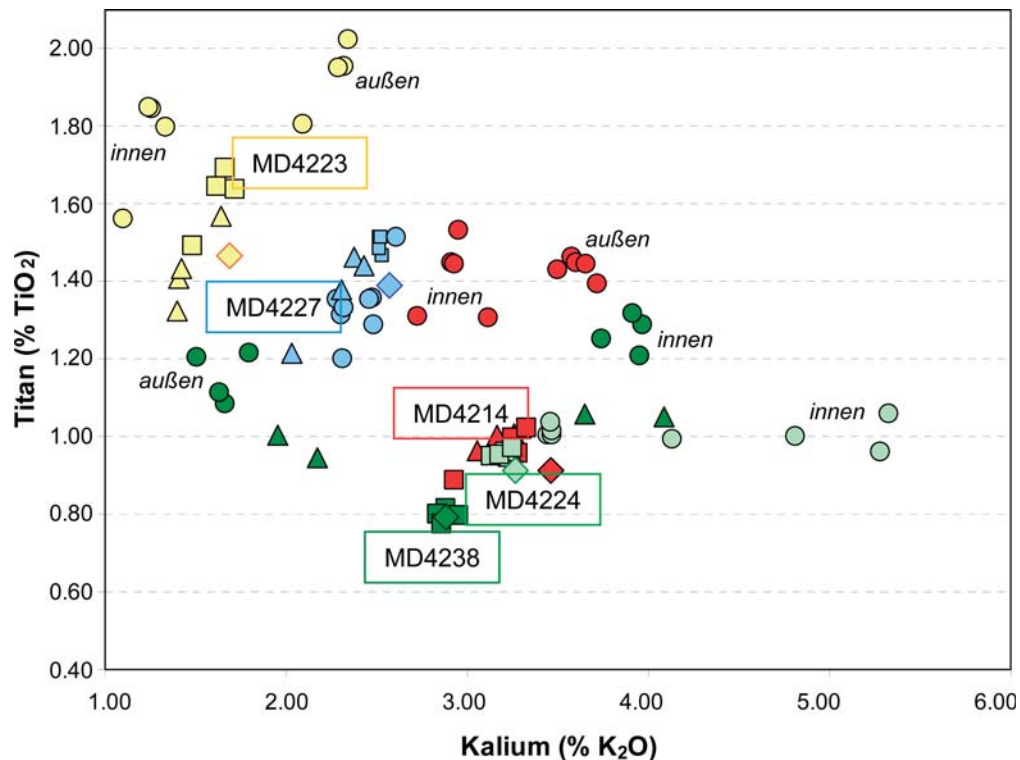


Abb. 3 Testmessungen mit p-ED-XRF am Beispiel von fünf Drehscheibenkeramikscherben aus Brandenburg. Die Messungen erfolgten jeweils an verschiedenen Stellen der Oberflächen (Kreise), an frischen Brüchen (Dreiecke) und an Schnittflächen (Quadrate). Die Analyseergebnisse mittels WD-XRF an Pulverproben sind zum Vergleich jeweils als Raute dargestellt.

äußeren Scherbenoberflächen als auch an frischen Brüchen und an mit der Diamantsäge geschnittenen Scherbenquerschnitten durchgeführt. Im Variationsdiagramm repräsentiert jeder Punkt eine Messung. In Abbildung 3 geben die Messungen der Schnittflächen bei Probe MD4238 (dunkelgrüne Quadrate), die mit dem WD-XRF-Wert (bei allen Proben jeweils als Rauten dargestellt) übereinstimmen, ein Beispiel für präzise und richtige Analyse für K und Ti. Bei derselben Probe sind jedoch sowohl die Messungen an frischen Brüchen (dunkelgrüne Dreiecke) als auch an der inneren und äußeren Oberfläche (dunkelgrüne Kreise) systematisch falsch. Statt etwa 2,9 % K_2O wird bei jeweils viermaliger Wiederholung an der Scherbenoberfläche außen mehr oder weniger reproduzierbar etwa 1,6 % und innen 3,9 % gemessen. Ähnliches gilt für Probe MD4214 (rot) wobei beide Oberflächenmessungen gegenüber dem Bruch oder den Schnittflächen systematisch zu hohe Titanwerte anzeigen. Bei Probe MD4224 (hellgrün) sind die Messungen auf der inneren Oberfläche für Kalium um 50 % zu hoch¹⁰.

Abbildung 3 ist direkt mit Abbildung 2 zu vergleichen, die denselben Maßstab hat. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Messungen einer Scherbe sind größer als die Streuung innerhalb einer mit WD-XRF analysierten Referenzgruppe. In Abbildung 2 repräsentiert jeder Punkt eine andere Scherbe. Messungen mit p-ED-XRF nur an den Scherbenoberflächen würden viele Scherben in falsche Gruppen klassifizieren.

Als Schlussfolgerung aus diesen und anderen Testmessungen wurden jeweils mindestens vier Messungen an Bruch und Schnittfläche als repräsentative Analyse für eine Scherbe angesehen. Auch die Mittelwerte dieser Messungen stimmen mit den WD-XRF-Werten von analysierten Pulverproben innerhalb der akzeptablen Fehlergrenzen meist nicht überein. Trotzdem ergab sich bei einer multivariaten

¹⁰ Für die bei einigen Scherben reproduzierbar höheren Kaliumwerte auf der Innenseite der Scherben könnten Asche oder andere kaliumreiche Topfinhalte verantwortlich sein. Für die bei vielen Scherben höheren Titangehal-

te auf beiden Oberflächen gegenüber den Bruch- oder Schnittflächen steht eine Erklärung noch aus. Ähnliche Effekte wurden auch bei fast allen anderen Elementen beobachtet (insbesondere bei Si, Al, Ca, P, V, Zn).

Auswertung der mit p-ED-XRF gemessenen Scherben von Drehscheibenware aus Brandenburg unter Verwendung von zehn Elementen etwa dieselbe Gruppierung der Daten wie sie im nächsten Kapitel diskutiert wird. Es ließen sich aber nicht alle Gruppen trennen. Demnach sind bei entsprechender Vorsicht die Messungen mit p-ED-XRF geeignet, Scherben nach der chemischen Zusammensetzung zu klassifizieren. Die Ergebnisse sollten dann aber an einigen repräsentativen Proben aus allen Gruppen mit anderen Methoden ergänzt und überprüft werden¹¹. Dies gilt insbesondere für Herkunftsbestimmungen durch Vergleich mit Datenbanken, die eine größere Anzahl von präzise und richtig bestimmten Elementen voraussetzen.

DREHSCHIEBENKERAMIK IN BRANDENBURG

In einem Pilotprojekt zur Klassifizierung kaiserzeitlicher Drehscheibenkeramik in Brandenburg¹² wurden alle drei genannten Methoden angewendet, um die Informationen zur Zusammensetzung der Scherben umfassend zu nutzen und um an diesem Beispiel die Vorteile der Kombination von Methoden zu zeigen. Insgesamt wurden 31 Scherben von sieben Fundorten archäokeramologisch untersucht¹³. Die ebenfalls durchgeführten Untersuchungen zur Herstellungstechnik sollen an anderer Stelle publiziert werden. Die Auswahl der Proben oblag M. Hegewisch und M. Meyer, die auch die Ergebnisse archäologisch interpretierten (siehe Beitrag in diesem Band). Eine Liste der untersuchten Proben ist in Tabelle 1 zusammengestellt.

MGR-Analyse

Für die Rohmaterialklassifizierung reichte eine abgekürzte MGR-Analyse durch Nachbrennen bei 1000, 1100, 1150 und 1200 °C aus. Wenn nur sehr kleine Fragmente zur Verfügung standen, wurden diese nur bei 1200 °C nachgebrannt. Alle nachgebrannten Fragmente wurden verglichen, in standardisierter Form wurde jedoch nur das Brennverhalten bei 1200 °C aufgelistet (Tab. 1). Unterschiedliche Matrixtypen ergeben sich aus dem Sinter- beziehungsweise Schmelzverhalten bei 1200 °C. Die ersten sechs Proben in Abbildung 4 sind aus verschiedenen Tönen hergestellt, wie das sehr unterschiedliche Brennverhalten bei 1000 °C und 1200 °C beweist. Sie entsprechen folgenden Matrixtypen:

- Probe MD4214 – Matrixtyp angeschmolzen (ovM = die Oberfläche der Probe ist angeschmolzen und die Kanten sind gerundet),
- Probe MD4215 – Matrixtyp leicht angeschmolzen (sovM = die Oberfläche ist angeschmolzen, die Form ändert sich nicht, die Kanten bleiben scharf),
- Probe MD4219 – Matrixtyp gesintert (SN = die Probe ist verdichtet und kann u. U. kleiner werden, wobei die Kanten scharf bleiben),
- Probe MD4220 – Matrixtyp gesintert (SN) wie Probe MD4219, aber verschieden in der Farbe,
- Probe MD4224 – Matrixtyp geschmolzen (MLT = die Form der Probe wird rund oder annähernd rund),
- Proben MD4232 und MD4236 – Matrixtyp überbrannt (ovF = die Probe ändert die Form, ohne Blähen und Anschmelzen). Diese beiden Proben zeigen gleiches thermisches Verhalten, sie sind also

¹¹ Wenn man etwa von einem Drittel der im Labor wiederholten Analysen ausgeht, wäre dies bei großen Scherbenserien eine stark ins Gewicht fallende Reduzierung des Aufwands.

¹² Für die Erlaubnis zur Entnahme von Proben für die diversen Untersuchungen danken wir dem Brandenburgi-

schen Landesamt für Denkmalpflege. V. Naumann vom Deutschen Geoforschungszentrum in Potsdam verdanken wir die Möglichkeit der Messungen mit WD-XRF.

¹³ Eine Karte und die Beschreibung der Fundorte findet sich bei Hegewisch und Meyer in diesem Band.

Fundort	Inventar- nummer	Proben- nummer	Aussehen	MGR-Farbe	MGR- Gruppe
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 33 SK 1996:409/	J 13955	MD 4239	sMLT	rotbraun	1,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 33 SK 1996:409/	J 13955	MD 4240	sMLT	rotbraun	1,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 33 SK 1996:409/	J 13955	MD 4241	sMLT	rotbraun	1,01
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 4040	MD 4218	ovM	rötlich-bräunlich	1,02
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 6053	MD 4222	ovM	rötlich-bräunlich	1,02
Wüste Kunersdorf, Lkr. MOL; SK 1986:80	G101/2/3	MD 4230	ovM	rötlich-bräunlich	1,02
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 4 (Teufelsberg) SK 1995:578/	J 19815	MD 4235	sovM	rötlich-bräunlich	1,03
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 33 SK 1996:409/	J 13978/20 J 13978/21	MD 4242	sovM/SN	rötlich-bräunlich	1,03
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 98	MD 4214	ovM	rötlichbraun	1,04
Ragow, Lkr. DS; SK 2004:1	187	MD 4225	ovM	rötlichbraun	1,04
Speichrow	1./3	MD 4228	ovM	rötlichbraun	1,04
Wüste Kunersdorf, Lkr. MOL; SK 1986:80	E98/6/3	MD 4229	sovM	rötlichbraun	1,05
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 759	MD 4215	sovM	bräunlich	2,01
Groß Machnow, Lkr. TF, Fpl. 6 SK 2006:1084/	194	MD 4224	MLTcrt	grünlichbraun	3,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 33 SK 1996:409/	P 0054	MD 4238	MLTcrt	grünlichbraun	3,02
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 930	MD 4216	ovF	bräunlich	4,01
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 975	MD 4217	ovF	bräunlich	4,01
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 5456	MD 4221	ovF	bräunlich	4,01
Ragow, Lkr. DS SK 2004:1	230	MD 4226	ovF	bräunlich	4,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 4 (Teufelsberg) SK 1995:578/	J 10919	MD 4232	ovF	bräunlich	4,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 4 (Teufelsberg) SK 1995:578/	J 19219	MD 4233	ovF	bräunlich	4,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 4 (Teufelsberg) SK 1995:578/	J 19820	MD 4236	ovF	bräunlich	4,01
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 30 SK 1996:406/	J 11870	MD 4237	ovF	bräunlich	4,01
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 2854	MD 4244	ovF	bräunlich	4,01
Bestensee, Lkr. DS, Fpl. SK 2008:647/	83/1/40+42-50	MD 4231	vsovM	braun	4,02
Briesnig, Lkr. SPN, Fpl. 4 (Teufelsberg) SK 1995:578/	J 19812	MD 4234	sovM	bräunlich	4,03
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 4699	MD 4219	SN	gräulich-beige	5,01
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	10800	MD 4223	SN	gräulich-gelb	5,03
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/		MD 4220	SN	beige	5,02
Göritz, Lkr. OSL, Fpl. 4 SK 1995:258/	Befund 2344	MD 4243	SN	gräulich-braun	6,01
Ragow, Lkr. DS; SK 2004:1	248/2/9	MD 4227	ovF	gräulich-beige	7,01

Tab. 1. Liste der analysierten Proben und Ergebnisse der MGR-Analyse. MLT Matrixtyp geschmolzen; ovF Matrixtyp überbrannt; ovM Matrixtyp angeschmolzen; sovM Matrixtyp leicht angeschmolzen; vsovM Matrixtyp sehr leicht angeschmolzen; MTLcrt Matrixtyp geschmolzen mit Kratern; sMLT Matrixtyp halb geschmolzen; SN Matrixtyp gesintert; DS Dahme-Spree-wald; MOL Märkisch-Oderland; OSL Oberspree-wald; Spree-Neiße; TF Teltow-Fläming.

vom gleichen Matrixtyp und haben darüber hinaus gleiche Farbe und Farbton. Dies zeigt, dass beide aus demselben Ton hergestellt worden waren. Sie gehören damit zur selben MGR-Gruppe (4,01).

MGR-Gruppen (Matrixgruppen) können als Werkstätten interpretiert werden. Ähnliche MGR-Gruppen lassen sich zu Ähnlichkeitsgruppen zusammenfassen, die mit Produktionszentren („Herkunft“) korrespondieren können. In Abbildung 4 lässt sich dies an den beiden Proben MD4219 und MD4220 zeigen, die aus ähnlichen, aber nicht gleichen Tönen gemacht sind. Daher sind hier die MGR-Gruppen 5,01 und 5,02 unterschieden. Rote Verfärbungen und rote Füllungen in Rissen der Probe MD4219, die besonders bei stärkerer Vergrößerung deutlich werden¹⁴, beruhen hier auf durch die Bodenlagerung verursachten Einlagerungen von Eisenoxiden oder -hydroxiden. Der geringe Unterschied der chemischen Zusammensetzung der beiden Proben (Tab. 2) ist daher zum Teil durch solche sekundären Bodenlagerungseffekte verursacht¹⁵.

Proben mit gleicher Matrix, aber verschiedenen Anteilen an nichtplastischen Einschlüssen gehören zur gleichen MGR-Gruppe. Sie können wegen Einschlüssen (Magerung) aber chemisch etwas verschieden

¹⁴ Hier helfen die eingescannten Bilder der Fragmente, die auf dem Computerbildschirm vergrößert und durch Verschieben auch direkt mit den Scans anderer Fragmente verglichen werden können.

¹⁵ Die gilt auch für die erhöhten Phosphorgehalte einiger Proben und sehr wahrscheinlich auch für deren erhöhte Bariumgehalte, in Probe MD4244 wahrscheinlich auch für die Zink- und Strontiumgehalte.

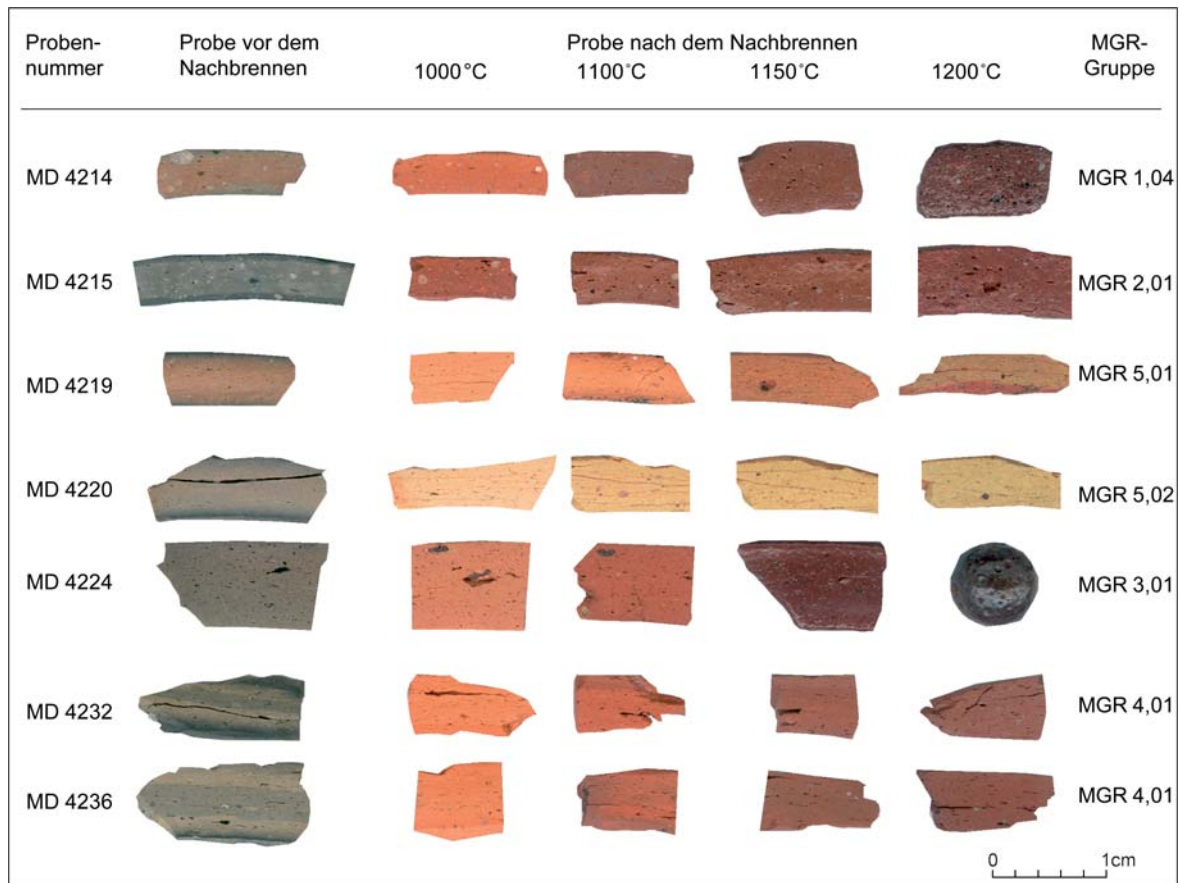


Abb. 4. Beispiele unterschiedlicher MGR-Gruppen (1–5) anhand von Keramikfragmenten vor dem Nachbrennen und nach dem Nachbrennen bei Temperaturen zwischen 1000 °C und 1200 °C.

sein, so wie die von den oben beschriebenen beiden Proben MD4232/MD4236 abweichende Probe MD4216, die derselben MGR-Gruppe 4,01 angehört (Tab. 2), also dieselbe Matrix besitzt. Die Einschlüsse bestehen aus Quarz und verändern die chemische Zusammensetzung in Richtung auf einen höheren Siliciumgehalt mit einem damit meist verbundenen höheren Zirconiumgehalt. Die Gehalte an den vor allem im Ton enthaltenen Elementen Aluminium, Eisen und Kalium müssen dadurch niedriger sein¹⁶.

Die aus der MGR-Analyse resultierenden Matrixgruppen zeigen, dass für die Drehscheibenkeramik sehr verschiedene Tone verwendet wurden. Eine Aussage, ob alle Tone aus ein und derselben geologischen Region stammen können, ist damit nicht zu treffen. Die chemischen Zusammensetzungen verweisen mit den für diese Frage charakteristischen Konzentrationen von Titan, Magnesium, Kalium, Chrom, Nickel und Rubidium, die nur in einem sehr begrenzten Bereich variieren, alle 31 Proben in dieselbe geochemische Region. Die Konzentrationen von Silicium, Aluminium, Eisen, Calcium und Strontium, die auch innerhalb eines Tonlagers sehr unterschiedlich sein können, zeigen größere Streuungen.

Die Gruppierung der chemischen Analysen mittels multivariater Clusteranalyse (Abb. 5) entspricht genau der davon unabhängigen Klassifizierung der Scherben nach den MGR-Analysen. Dies lässt sich mit den in Abbildung 6 in derselben Ordnung wie im Dendrogramm zusammengestellten nachgebrannten Fragmenten aller Proben und den chemischen Daten in Tabelle 2 nachvollziehen.

Gruppe 1 repräsentiert Tone mit höheren Kalkgehalten (2,4–8,1 % CaO), die beim Brennen der Keramik als Flussmittel wirken und daher ein früheres Schmelzen bewirken (sMLT bis ovM). Am weitestgehenden schmelzen die Proben der Untergruppe 1a (MGR 1,01) mit den höchsten Calciumgehalten.

¹⁶ Ein anderes Beispiel mit etwas unterschiedlicher Matrix bilden die beiden Proben MD4224 und MD4238, deren

Unterschied in Abbildung 10 besonders deutlich ist.

FO	MGR-Gruppe	Proben-nummer	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	V	Cr	Ni	Cu*	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb*	Ba	La*	Ce*	Pb*	Th*	GV	Summe
			Gewichtsprozent										ppm														%		
Chemische Gruppe 1a																													
Br 33	1,01	MD 4239	57,05	0,89	20,05	7,31	0,068	2,53	8,09	0,25	3,29	0,47	159	140	57	22	106	166	158	28	168	18	491	46	100	22	19	0,59	100,57
Br 33	1,01	MD 4240	57,86	0,94	19,60	7,08	0,076	2,63	7,65	0,27	3,46	0,44	156	133	57	28	105	168	173	31	173	17	509	39	86	21	10	0,61	100,81
Br 33	1,01	MD 4241	59,36	0,93	19,72	7,21	0,070	2,38	6,18	0,25	3,56	0,34	163	131	58	21	105	171	148	30	177	17	466	38	91	24	14	0,05	101,31
Chemische Gruppe 1b																													
G	1,02	MD 4218	58,90	1,00	21,16	7,66	0,077	1,98	4,20	0,19	3,52	1,32	160	138	60	26	100	161	158	32	182	20	900	37	87	28	12	2,97	99,97
G	1,02	MD 4222	58,34	1,00	21,10	7,58	0,083	2,22	5,12	0,17	3,42	0,96	137	136	59	28	116	158	158	34	181	20	751	63	96	24	15	3,74	99,43
WK	1,02	MD 4230	59,31	0,91	20,27	7,37	0,064	2,08	5,06	0,15	3,31	1,46	150	130	63	20	137	161	222	28	167	19	1265	47	76	24	17	3,12	99,44
Chemische Gruppe 1c																													
Br 4	1,03	MD 4235	60,25	0,97	20,76	7,74	0,058	1,93	3,54	0,15	3,46	1,14	158	142	60	28	90	170	132	31	173	19	635	31	79	26	15	2,73	99,58
Br33	1,03	MD 4242	58,97	1,05	22,59	8,19	0,072	2,14	3,02	0,15	3,54	0,28	165	155	67	72	102	164	103	33	193	21	515	40	91	37	17	5,25	101,33
Chemische Gruppe 1d																													
G	1,04	MD 4214	63,12	0,91	18,39	7,10	0,084	1,88	3,76	0,22	3,46	1,07	123	108	57	23	132	141	166	31	209	19	1587	24	83	26	15	2,99	99,03
Ra	1,04	MD 4225	63,67	0,91	17,86	6,88	0,323	1,82	2,38	0,36	2,95	2,85	130	112	62	38	124	129	191	36	217	18	1572	35	95	22	11	5,37	99,11
Sp	1,04	MD 4228	64,02	0,96	18,50	6,55	0,075	1,68	3,30	0,26	3,19	1,46	128	117	49	18	184	152	197	29	203	18	1853	41	87	23	16	5,81	99,45
WK	1,05	MD 4229	65,59	0,90	17,53	6,29	0,079	1,55	3,66	0,26	3,04	1,11	111	111	58	17	154	138	175	36	216	17	1277	54	97	22	13	2,72	99,71
Chemische Gruppe 2																													
G	2,01	MD 4215	63,13	0,85	20,38	7,32	0,045	1,73	2,34	0,10	3,31	0,80	156	137	61	14	107	142	124	32	187	18	984	42	75	24	15	4,39	100,08
Chemische Gruppe 3																													
GM	3,01	MD 4224	59,43	0,91	17,43	6,18	0,074	2,71	9,35	0,39	3,27	0,27	125	104	46	198	96	141	166	31	195	18	523	36	100	36	13	1,48	99,28
Br 33	3,02	MD 4238	65,12	0,79	14,86	5,34	0,070	2,19	8,19	0,41	2,88	0,14	108	95	42	22	63	130	155	27	232	15	434	34	63	12	8	0,74	100,57
Chemische Gruppe 4																													
Br 4	4,01	MD 4232	60,29	1,14	23,65	8,84	0,061	1,86	0,38	0,11	3,44	0,23	190	160	73	38	116	160	61	28	199	23	566	28	87	29	15	8,58	99,23
Br 4	4,01	MD 4233	59,60	1,08	24,31	8,68	0,029	2,19	0,36	0,10	3,35	0,30	190	160	75	34	148	170	56	24	187	21	536	25	67	26	19	7,53	99,33
Br 4	4,01	MD 4236	62,53	1,04	22,24	8,02	0,039	1,97	0,52	0,13	3,12	0,38	166	147	74	31	255	157	61	24	190	19	636	19	66	28	18	8,96	99,32
G	4,01	MD 4221	61,76	1,07	21,49	7,80	0,054	2,04	0,50	0,23	3,42	1,63	160	140	74	28	150	144	96	29	193	21	1085	34	76	28	21	6,49	99,13
Br 30	4,01	MD 4237	63,95	1,01	19,61	8,67	0,078	1,60	0,84	0,20	3,12	0,92	137	128	69	29	150	125	101	28	223	19	684	28	83	28	16	5,99	99,13
G	4,01	MD 4216	67,54	1,04	18,46	6,79	0,016	1,11	0,92	0,19	2,39	1,56	137	116	43	17	159	109	93	26	272	21	822	33	71	26	13	5,73	99,28
G	4,01	MD 4217	61,81	1,10	23,18	6,82	0,033	1,33	0,92	0,10	2,64	2,06	166	130	58	18	116	124	133	32	205	24	769	42	91	33	14	6,70	99,30
Ra	4,01	MD 4226	66,30	1,06	19,04	8,31	0,084	1,18	1,25	0,17	2,28	0,33	149	117	56	26	85	100	68	33	271	22	788	30	83	24	12	6,36	98,82
G	4,01	MD 4244	63,00	1,07	19,67	8,14	0,019	0,63	0,95	0,41	2,15	3,96	154	122	40	20	268	106	317	31	290	23	2540	40	94	30	15	5,99	100,51
Bs	4,02	MD 4231	67,52	0,97	17,15	6,25	0,056	1,68	1,08	0,50	3,58	1,22	110	104	49	19	93	125	96	37	244	19	782	35	89	23	14	5,66	99,41
Br 4	4,03	MD 4234	64,64	1,02	16,51	8,16	0,023	1,47	0,51	0,28	3,11	4,28	122	120	52	25	78	136	97	30	256	21	967	37	59	27	11	6,85	99,52
Chemische Gruppe 5																													
G	5,01	MD 4219	67,61	1,47	22,54	4,50	0,020	0,67	0,64	0,01	1,85	0,71	156	120	39	8	258	100	85	33	290	32	1350	40	98	32	14	7,34	99,46
G	5,02	MD 4220	71,38	1,55	21,11	2,57	0,018	0,37	0,67	0,03	1,28	1,09	139	101	29	<5	198	89	116	33	328	33	1750	25	65	33	16	6,74	98,87
G	5,03	MD 4223	73,32	1,47	19,15	3,23	0,014	0,59	0,35	0,05	1,69	0,24	142	110	25	<5	48	125	87	35	354	31	481	47	73	26	14	0,82	98,58
Chemische Gruppe 6																													
G	6,01	MD 4243	67,20	1,28	19,57	5,33	0,052	0,62	1,27	0,01	1,95	2,72	151	113	33	27	150	116	136	25	287	27	1657	31	62	27	14	6,54	100,56
Chemische Gruppe 7																													
Ra	7,01	MD 4227	69,34	1,39	20,64	2,99	0,027	0,94	1,94	0,05	2,57	0,11	104	98	26	<5	56	141	98	34	351	25	512	35	85	32	13	0,71	99,35

Tab. 2. Ergebnisse der chemischen Analysen mit WD-XRF, gültig für gegläute Proben (die Analysen können mit dem angegebenen Glühverlust GV auf bei 100 °C getrocknete Proben umgerechnet werden). Elemente in Klammern: Die Werte wurden auf Grund geringer Konzentrationen nur mit geringer Genauigkeit ermittelt. Br Briesnig; Bs Bestensee; G Göritz; GM Groß Machnow; Ra Ragow; Sp Speichrow; WK Wüste Kunersdorf.

Gruppe 1d (MGR 1,04 und MGR 1,05) ist innerhalb der Gruppe 1 durch etwas höhere Siliciumwerte unterschieden, die auf höheren Quarzgehalten im Schluff- oder Sandkorngrößenbereich beruhen.

Gruppe 2 ist durch einen weniger rötlichen Farbton der nachgebrannten Fragmente gegenüber Gruppe 1 charakterisiert und chemisch nicht eindeutig von Gruppe 1 zu trennen. Das für Tone oder Keramik oft charakteristische Verhältnis von Zirconium zu Silicium ist jedoch verschieden.

Gruppe 3 besitzt die höchsten Calciumgehalte, die sehr fein im Ton verteilt und weniger in Einschlüssen enthalten sind. Daher rührt die olivgrüne Farbe der bei 1200 °C geschmolzenen Nachbrände, die durch die Reaktion von Calciumcarbonat und Silikaten entsteht.

Gruppe 4 mit den höchsten Eisengehalten lässt sich in mehrere chemische Untergruppen aufteilen, die bei den nachgebrannten Fragmenten nicht erkennbar sind. In Tabelle 2 sind die Analysen etwa entsprechend der durch das Dendrogramm vorgegebenen Reihenfolge sortiert. Die erste Untergruppe von vier Proben ist durch höhere Aluminium, Chrom-, Nickel- und Rubidiumgehalte und niedrigere Zirconiumgehalte gekennzeichnet. Diese Untergruppe würde sich mit der Verwendung etwas reinerer Tone er-

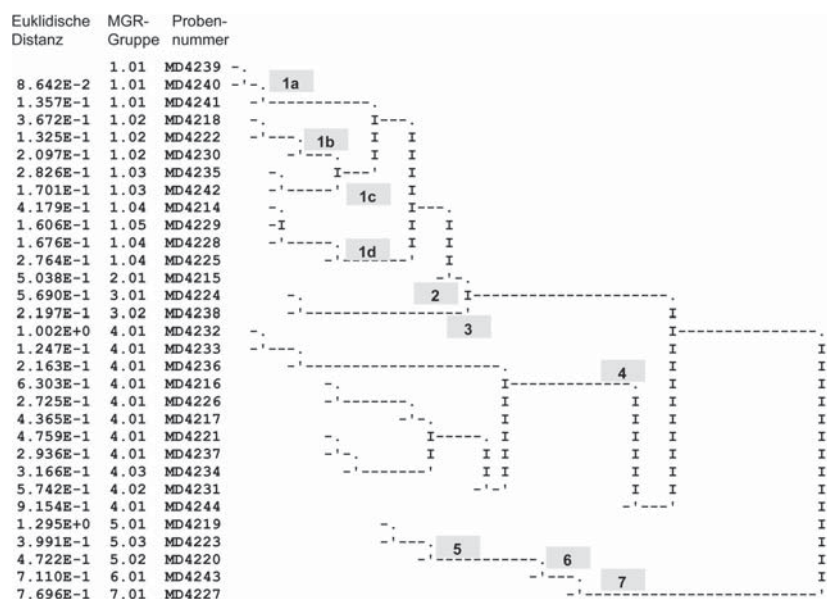


Abb. 5. Dendrogramm der chemischen Analysen. Ähnlichkeitsmaß: Euklidische Distanz, hierarchische Klassifikation mit dem Average Linkage-Verfahren unter Verwendung der logarithmierten Konzentrationen von SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , V , Cr , Ni , Rb , Sr , Y , Zr (Brookhaven Data Handling Programs). Die chemischen Gruppen entsprechen annähernd den MGR-Gruppen.

klären lassen, was sich jedoch mit den wenigen verfügbaren Dünnschliffen nicht bestätigen lässt¹⁷. Eine andere Untergruppe bilden die Proben mit einem Kaliumgehalt unter 3 % K_2O . Hierzu gehört Probe MD4244, die im Dendrogramm wegen der sekundär verursachten hohen Phosphor- und Strontiumwerte anders eingeordnet wird (Zink und Barium wurden im Dendrogramm nicht berücksichtigt). Inwieweit diese Untergruppen jeweils andere Tone oder nur verschiedene Schichten eines Tonlagers beschreiben, ist mit den wenigen Analysen nicht zu entscheiden.

Die Gruppen 5 und 7 sind durch geringe Eisengehalte gekennzeichnet, die die helleren Brennfärben bedingen. Mit den höheren Siliciumgehalten sind auch die Titan- und Zirconiumgehalte höher als in den anderen Gruppen.

Gruppe 6 ähnelt Gruppe 5.

Dünnschliffuntersuchungen

Dünnschliffe wurden aus finanziellen Gründen nur von sechs Proben angefertigt. Die drei Proben von Gruppe 4 (Abb. 7) zeigen schluffarme Tone mit einzelnen größeren Einschlüssen von gerundeten Quarzen. Die beiden Proben MD4221 und MD4232 sind an der Scherbenoberfläche durch Kohlenstoffeinlagerung im rauchenden Feuer schwarz verfärbt¹⁸. Im Foto ist jeweils ein größeres gerundetes Quarzkorn zu sehen, die Matrix ist frei von Quarzschluff, wie die Aufnahmen bei starker Vergrößerung zeigen. Die beiden Proben stammen von verschiedenen Orten, sind jedoch nach allen Untersuchungen ganz sicher aus dem gleichen Ton ohne jeden Magerungszusatz hergestellt. Probe MD4216 enthält deutlich mehr Quarzeinschlüsse. Durch die hier höhere Brenntemperatur ist die Matrix isotrop und einzelne eisenreiche Tonaggregate, die auch in den anderen Proben vorhanden sind, sind hier geschmolzen (zwei braune Einschlüsse in der Mitte).

¹⁷ Die klarere Differenzierung liegt an der wesentlich größeren und damit repräsentativeren Materialmenge bei der chemischen Analyse von einigen Gramm Keramikpulver gegenüber der geringen Fläche eines Dünnschliffs des Scherbenquerschnitts.

¹⁸ Die Aufnahmen erfolgten mit nicht vollständig gekreuzten Polarisationsfiltern, wodurch z.B. die Poren hier nicht schwarz, sondern hellgrau erscheinen.

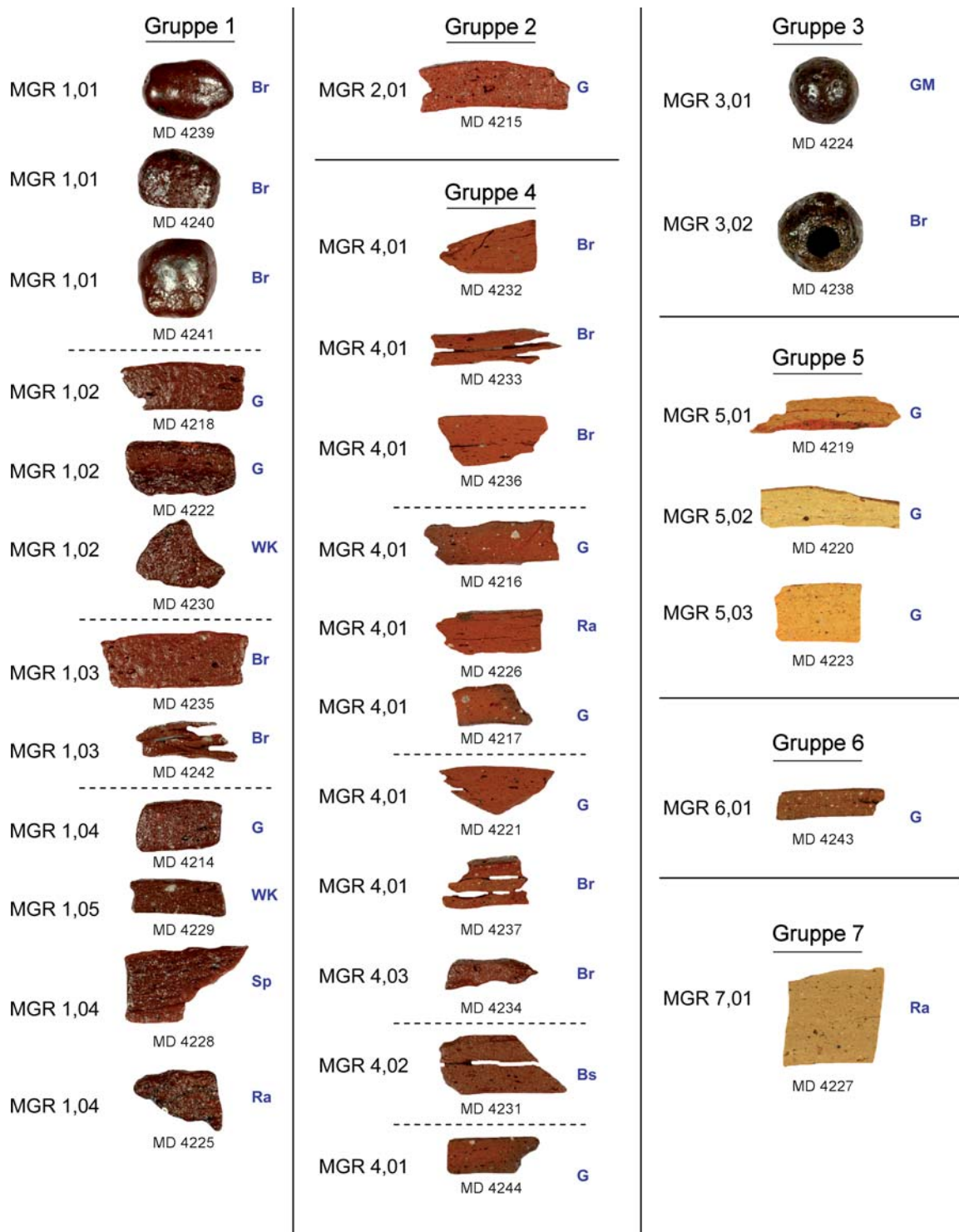


Abb. 6. Bei 1200 °C nachgebrannte Fragmente aller analysierten Proben, zusammengestellt nach chemischen Gruppen bzw. nach dem Dendrogramm. Die Abkürzungen in der jeweils rechten Spalte geben die Fundorte an: Br Briesnig; Bs Bestensee; G Göritz; GM Groß Machnow; Ra Ragow; Sp Speichrow; WK Wüste Kunersdorf.

Der Ton der Gruppe 1 ist ähnlich dem der Gruppe 4, schluffarm und mit runden Einschlüssen von Quarz (Abb. 8, oben) in einer isotropen Matrix. Das Mikrofoto zeigt vor allem bei stärkerer Vergrößerung die höhere Brenntemperatur der Probe MD4241. Demgegenüber ist Probe MD4224 der Gruppe 3 bei sehr viel niedrigerer Temperatur gebrannt. Der Ton enthält hier mehr Quarzeinschlüsse und eisenrei-

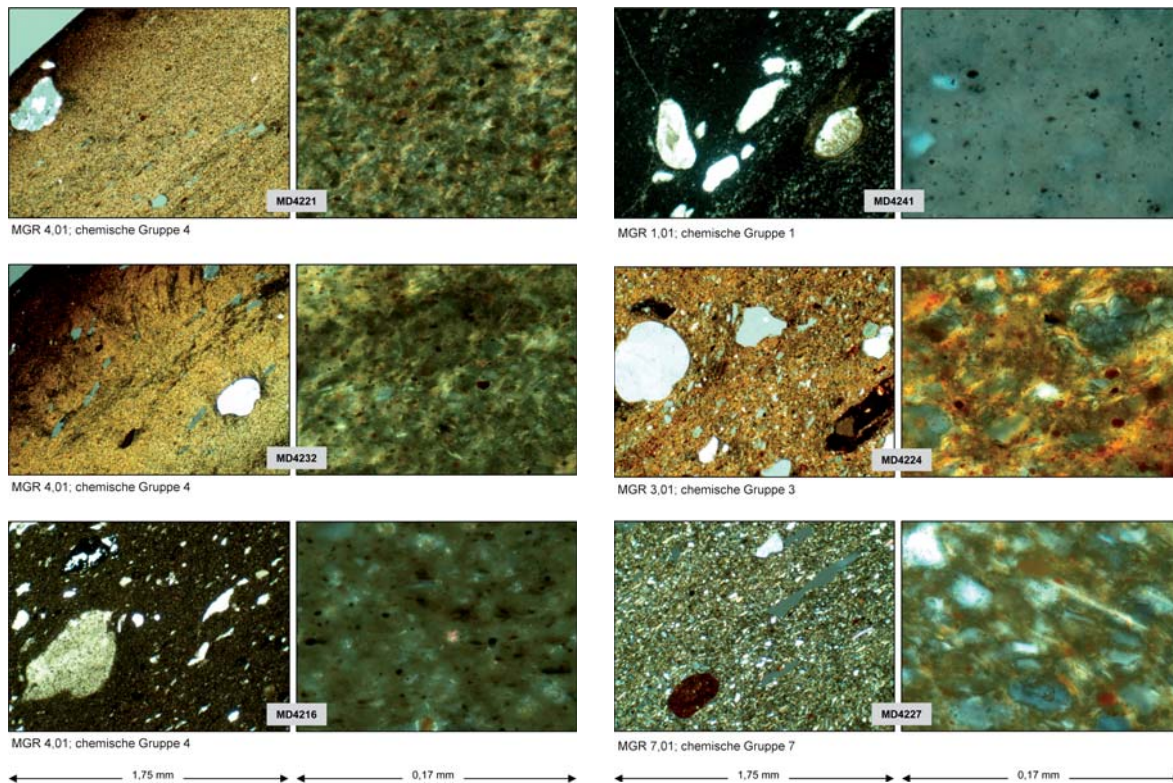


Abb. 7. Typische Mikrofotos von Dünnschliffen der MGR-Gruppe 4,01 (unvollständig gekreuzte Polarisationsfilter). Scherben von verschiedenen Fundorten.

Abb. 8. Typische Mikrofotos von Dünnschliffen der MGR-Gruppen 1,01, 3,01 und 7,01 (unvollständig gekreuzte Polarisationsfilter). Scherben von verschiedenen Fundorten.

che Tonaggregate (Abb. 8, Mitte), die bei den höher gebrannten Scherben MD4241 und MD4216 blasig aufgeschmolzen sind. Davon sehr verschieden ist der Dünnschliff der Gruppe 7 (Probe MD4227; Abb. 8, unten). Die Matrix enthält viel feinen Glimmer. Der hohe Anteil von Quarzschluff bedingt den hohen Siliciumgehalt der Probe. Feinsandeinschlüsse bestehen aus Quarz oder sind eisenreiche Tonaggregate.

Um zu prüfen, ob sich die Herkunftsgruppen makroskopisch an Scherbenquerschnitten erkennen lassen, wurden die für die MGR-Analyse mit der Diamantsäge geschnittenen Originalfragmente fotografiert (Abb. 9–11). Diese Klassifizierung nach sogenannten Waren (fabrics) kann auch vor Ort unter Zuhilfenahme einer Lupe am frischen Bruch vorgenommen werden. Die Scherbenquerschnitte variieren stark und die Gruppen sind nicht oder nur schwer zu erkennen. Ein Test zur Ritzhärtebestimmung zeigte, dass alle Proben der vierten Gruppe einheitlich Mohs-Härte 3 besitzen, während die Proben der ersten Gruppe geringere Härten aufweisen.

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Drehscheibenkeramik in Brandenburg

Die 31 untersuchten Scherben von sieben Fundorten in Brandenburg lassen sich zehn Herkunftsgruppen (1a–d, 2–7) zuordnen, die jedoch nicht mit den Fundorten zusammenfallen (Tab. 3). Die Tone dieser Gruppen unterscheiden sich in ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung, was sich auch deutlich im unterschiedlichen Brennverhalten ausdrückt. 24 Scherben sind aus eisenreichen und nach dem Brennverhalten kalkarmen Tonen hergestellt. Gehalte bis 8 % CaO müssen demnach in etwas größeren Kalkeinschlüssen enthalten sein, was in dem einzigen Dünnschliff der Gruppe 1 (MD4241) wegen der hohen Brenntemperatur nicht erkennbar ist. Zwei Proben (MD4224, MD4238), die bei 1200 °C grünlich-braune Brennfärbungen zeigen, haben höhere Kalkgehalte unterhalb der makroskopischen Sichtbarkeitsgrenze (Gruppe 3). Vier Scherben (MD4219, MD4223, MD4220, MD4227)

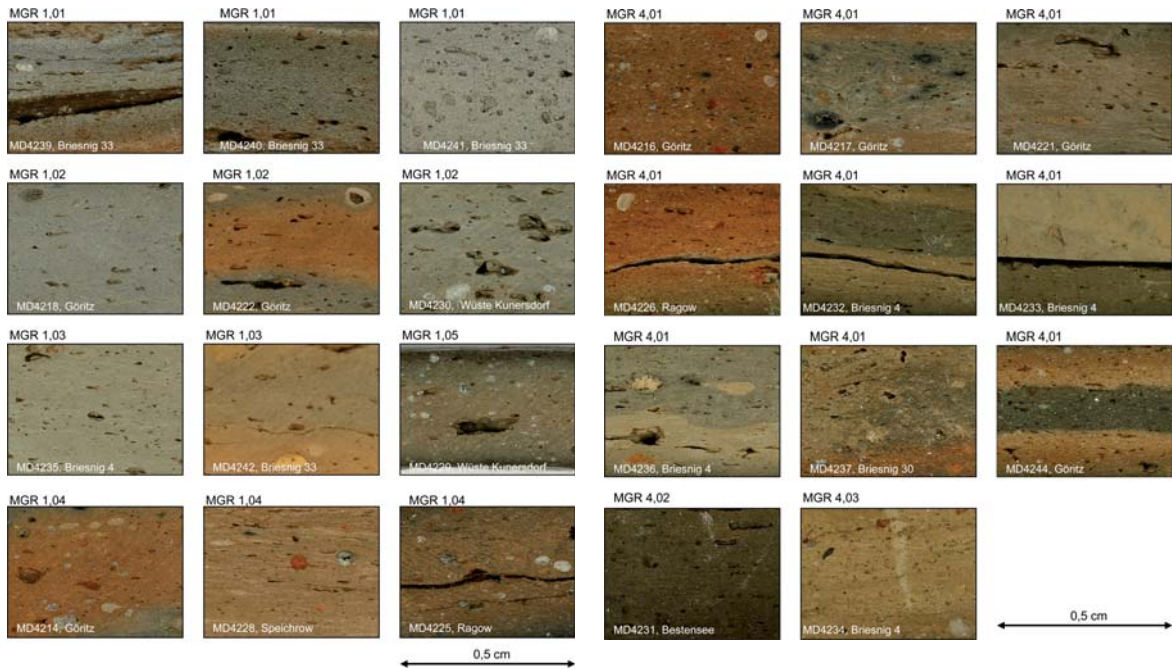


Abb. 9. Mit der Diamantsäge hergestellte Scherbenquerschnitte (MGR-Gruppe 1). – Makrofotos M. Baranowski.

Abb. 10. Mit der Diamantsäge hergestellte Scherbenquerschnitte (MGR-Gruppe 4). – Makrofotos M. Baranowski.

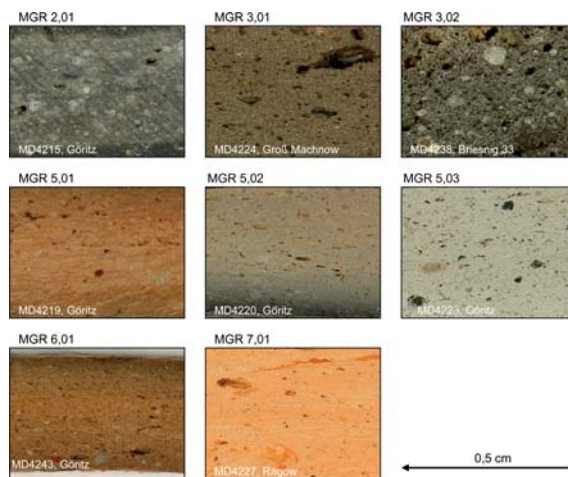


Abb. 11. Mit der Diamantsäge hergestellte Scherbenquerschnitte (MGR-Gruppen 2–3.5–7). – Makrofotos M. Baranowski.

Herkunftsgruppe	1a	1b	1c	1d	2	3	4	5	6	7						
MGR-Gruppe (Tone)	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	2,01	3,01	3,02	4,01	4,02	4,03	5,01	5,02	5,03	6,01	7,01
Bestensee									1							
Briesnig	3		2				1		4		1					
Göritz		2		1		1			4			1	1	1	1	
Groß Machnow							1									
Ragow				1					1							1
Speichrow				1												
Wüste Kunersdorf		1			1											

Tab. 3. Mengenverteilung der MGR-Gruppen auf die Fundorte.

sind aus hell brennenden eisenarmen Tonen gemacht (Gruppen 5 und 7). Geologisch sind die Tone der Gruppen 1 bis 4 einander ähnlich und stammen wahrscheinlich aus verschiedenen Tonlagern der Region. Die drei anderen Herkunftsgruppen (5–7) sind in der geochemischen Charakteristik dazu ähnlich, könnten jedoch auch Importe aus weiter entfernten Regionen repräsentieren.

Die Verteilung der MGR-Gruppen auf die sieben Fundorte zeigt Tabelle 3. Nur für die Fundorte Briesnig und Göritz wurde jeweils eine größere Anzahl von Scherben analysiert, die daher mit Vorsicht statistisch betrachtet werden können. An beiden Orten überwiegt die MGR-Gruppe 4,01, das heißt, hier wurden an verschiedenen Orten Scherben gefunden, die sicher in derselben Werkstatt hergestellt worden waren. Ähnliches gilt für andere MGR-Gruppen, die ebenfalls nicht auf einzelne Fundorte beschränkt sind. Für eine Häufigkeitsverteilung an unterschiedlichen Orten liegen zu wenige Analysen vor. Auch bei der Zusammenfassung der Fundorte Bestensee, Groß Machnow und Ragow zu einer Kleinregion lässt sich keine Tendenz erkennen. Hier sind fast alle Herkunftsgruppen vertreten. Da kein Vergleichsmaterial von ausgegrabenen Töpferwerkstätten oder sicher lokaler Keramik bekannt ist, lässt sich nicht sagen, wo die verschiedenen Werkstätten produziert hatten. Hier können nur statistisch relevante Probenzahlen oder Analysen geologischer Tonproben weiterhelfen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Kombination von drei unabhängigen Klassifizierungsmethoden zeigt, dass für die Herstellung der in dem Pilotprojekt untersuchten 31 Scherben von Drehscheibenware aus Brandenburg sehr unterschiedliche Tone verwendet wurden. Daraus lässt sich folgern, dass die Herstellung an wahrscheinlich mehr als fünf Orten erfolgte, wobei die Produkte mit ähnlicher Zusammensetzung an verschiedenen Orten gefunden wurden.

Vermutlich wurden einige Gefäße in spezialisierten Werkstätten (standardisierte Produktion, Produkte verteilt an verschiedenen Orten; MGR-Gruppe 4,01), andere Gefäße vielleicht lokal an bestimmten Orten hergestellt (nicht standardisierte Produktion; MGR-Gruppen 1,01–1,04). Einige Gefäße mit stärker abweichender Zusammensetzung stammen vielleicht aus einer anderen Region (MGR-Gruppen 5–7).

ANHANG ZU DEN METHODEN

MGR-Analyse

Für die MGR-Analyse werden kleine 1–3 mm dicke Scheibchen – eins für jede Temperatur – von den Scherben mit einer Diamantsäge unter Wasserspülung abgesägt und bei 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1150 und 1200 °C im elektrischen Laborofen in Luft bei einer Heizrate von 200 °C/h und einer Einwirkzeit von einer Stunde bei der Maximaltemperatur nachgebrannt. Diese nachgebrannten Fragmente werden für die Vergleiche zusammen mit einem nicht nachgebrannten Originalfragment auf Karton aufgeklebt. Für die Klassifizierung nach Matrixgruppen wird sowohl die Farbe als auch das Verhalten der Proben nach dem Nachbrennen auf 1100 °C und 1200 °C herangezogen und in standardisierter Form beschrieben.

Chemische Analyse

Mit WD-XRF (Gerät: RF-Spektrometer, Philips AXIOS) werden die Gehalte der zehn Hauptelemente, einschließlich Phosphor, als Oxide bestimmt (vgl. Tab. 2). Eventuelle erhöhte Gehalte an Schwefel und Chlor werden halbquantitativ erfasst. Darüber hinaus werden die Konzentrationen von fünfzehn Spurenelementen ermittelt, von denen jedoch sechs bei den vorliegenden geringen Konzentrationen nur mit geringer Genauigkeit bestimmt werden. Die Probenaufbereitung geschieht durch Pulverisierung kleiner Fragmente von mindestens ein bis zwei Gramm nach Entfernung der verunreinigten Oberflächen, möglichst bis etwa 1 mm Tiefe, und Reinigung mit destilliertem Wasser und Ultraschall. Die so gewonnenen Pulver werden auf 900 °C erhitzt (Heizrata 200 °C/h, Einwirkzeit bei höchster Temperatur: 1 h), mit einer Mischung aus Lithiumtetraborat und Lithiummetaborat in einem Pt/Au-Tiegel geschmolzen (Gerät: Merck Spectromelt A12) und in eine Pt/Au-Kokille zu dünnen Scheibchen ausgegossen. Die ermittelten Konzentrationen beziehen sich auf gegläute Proben, können jedoch mit Hilfe der in der Tabelle angegebenen Glühverluste (GV) auf eine trockene Basis umgerechnet werden. Für bessere Vergleichbarkeit der Analysen werden die Hauptelemente auf eine konstante Summe von 100 % normiert.

Dünnschliffuntersuchungen

Die Dünnschliffe von etwa 25 µm Dicke werden unter einem Polarisations-Mikroskop untersucht. Dabei sind bei geringen Vergrößerungen die inneren Strukturen der Keramik, einschließlich der Poren, sowie die Art, Struktur und Menge der groben nichtplastischen Einschlüsse (Magerung) zu erkennen. Stärkere Vergrößerungen dienen vor allem dem Vergleich der gebrannten Tonmatrix und der Abschätzung der Brenntemperaturen (isotrop oder anisotrop, Schluffanteil, Erkennen von Restanteilen von Karbonaten oder Feinglimmer).