

Wie gleich ist derselbe?

Homogenität eines römischen Ziegels und Aussagegrenzen geochemischer Analytik aufgrund von Meßtechnik und Materialvarietät. Ein Beitrag zur Qualitätssicherung archäometrischer Arbeiten.*

von Jens Dolata und Ulrich Werr

Die Homogenität der Tonmasse eines römischen Ziegels zu bestimmen, ist eine wichtige Voraussetzung für die Interpretation von Analysedaten, die sich immer nur auf Teilmengen des Untersuchungsobjektes beziehen. Den folgenden exemplarischen Untersuchungen kommt deshalb für die Methoden archäometrischer Arbeiten zu römischer Baukeramik generelle Bedeutung zu.¹

Herstellung römischer Baukeramik

Römische Ziegel wurden im Handstreichverfahren hergestellt. Je nach Baukeramiktyp wurde bei der Aufbereitung der verwendeten Tone und Zuschlagstoffe unterschiedlicher Aufwand getrieben. Die Tonmassen für massive *lateres* weisen häufig Hohlräume und zonig verteilte Beimengungen, zum Teil sogar Sandnester ohne Bindung auf; insgesamt sind anders zusammengesetzte Schlieren und Bänder des Tones häufig noch im Ziegel zu erkennen. Auch durch das Schlagen der Tonmasse in Holzrahmen und das Streichen derselben sind solche Unregelmäßigkeiten bedingt. Die Homogenisierung der Tonmassen erfolgte mit größerer Sorgfalt bei feineren Baukeramiken wie den dünnen Putzhaftziegeln und modelgepreßten Zierziegeln, den Stirnziegeln und Akroteren und den frei-modellierten Spezialziegeln, den Schornsteinaufsätzen und Lüftungsziegeln. Geringere Materialstärke und die beabsichtigte Formgebung erforderten höhere Material- und Verarbeitungsstandards bei diesen Baukeramiktypen. Zwingend notwendig war die Einhaltung solcher Standards bei maßhaltigen Produkten wie Dachplatten und Rohren. Ein dichter Deckverband eines Ziegeldaches wurde nur mit normierten *tegulae* gleicher Größe, ein dichter Leitungsverband bei Wasserversorgungsleitungen aus Tonrohren mit Muffenverbindungen nur mit paßgenau normierten Rohrkalibern und Muffen gleicher Größe erzielt. Tatsächlich sind aus dokumentierten Konstruktionszusammenhängen auch derart standardisierte Produktionslose von *tegulae* bzw. Rohren gefunden worden.

In Mainz sind mit der Beschaffung von keramischen Baumaterialien für öffentliche Baumaßnahmen regelmäßig die Ziegeleien des obergermanischen Heeres betraut worden. Die quasi industrielle Produktion von Baukeramik in den Heeresziegeleien von Rheinzabern, Frankfurt-Nied, Groß-Krotzenburg oder Worms läßt bei den jeweiligen Produkten Werktraditionen der dortigen Ziegler erkennen. Diese Spezifika, die in der Auswahl der verwendeten Rohstoffe, deren Aufbereitungs- und Verarbeitungstechnik sowie in der Brenntechnik begründet sind, wurden von Spezialisten beherrscht und tradiert. Der *custos castelli figlinarum* Severus, der in einer Weiheinschrift aus dem Jahr 220 aus Mainz überliefert ist, ist ein solcher Ziegeleifachmann des obergermanischen Heeres.² Außer in den bekannten Heeresziegeleien wurde Baukeramik im nördlichen Obergermanien auch in kleineren Ziegeleien hergestellt. Fanden dabei keine gemauerten Ziegelöfen Verwendung, sondern wurde im Feldbrand produziert, ist der archäologische Nachweis der Produktionsstätten kaum jemals systematisch möglich; allein die Produkte lassen diese Herstellungsorganisation rekonstruieren. In privatem Kontext wurden in der Zivilstadt von Mainz und ihrem agrarisch strukturierten Umland

* Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise durch eine gemeinsame Bewilligung der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation und der Stiftung Rheinland-Pfalz für Kultur für das Projekt „Chemisch-physikalische Untersuchungen antiker römischer Ziegelstempel“ ermöglicht. Manuskript abgeschlossen 1998.

1 Vorbericht über die archäometrischen Untersuchungen römischer Baukeramik: Dolata (1996).

2 3. Nachtrag zu CIL XIII (Ber. RGK 40, 1959) Nr. 162. - Dolata (1994).

wohl regelmäßig und in erheblichem Umfang Ziegel im Feldbrand hergestellt. Form und Qualität solcher Ziegel sind, sogar im dokumentierten gleichen Produktionslos, von erheblicher Varietät.³

Ziegel für Homogenitätsuntersuchung

Einen „typischen“ römischen Ziegel auszuwählen, um daran die „typischen“ Produkteigenschaften römischer Baukeramik zu charakterisieren, ist aus den genannten Umständen heraus nur bedingt möglich. Die besten Voraussetzungen bietet Baukeramik mit militärischen Ziegelstempeln: Bei dokumentiertem Verwendungskontext können produkt-, zeit- und herstellungsprovenienzspezifische Aussagen gewonnen werden.⁴

Der hier untersuchte Ziegel (Kat.-Nr. 11) ist eine quadratische Platte von 38 cm Seitenlänge und 4,5–5,0 cm Dicke. Planmäßig wurden solche *lateres* in der Unterbodenkonstruktion von Hypokausten verbaut. Der Bildstempel mit *capricornus* nach rechts und Umschrift LEG(IONIS) XXII | P(RIMIGENIAE) P(IAE) F(IDELIS) wurde in hadrianischer Zeit⁵ in der Heeresziegelei von Frankfurt-Nied benutzt.⁶ Er kennzeichnet den *later* als Produkt einer *vexillatio* der damaligen Mainzer Legion. Der Fundort des Ziegels ist das Badegebäude im Legionslager auf dem Kästrich in Mainz.⁷ Der Ziegel kann als typisches Produkt für die Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied gelten.

Vergleichsziegel aus Frankfurt-Nied

Aus dem Gesamtprobenprogramm⁸ wurden geeignete Ziegel (Kat.-Nr. 1-10) ausgewählt, die im Vergleich mit dem zehnfach untersuchten Ziegel die Repräsentativität für die Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied absichern. Alle Ziegel tragen Stempel der *legio XXII Primigenia*. Die Ziegel stammen aus Brandgräbern der Gräberstraße von Mainz-Weisenau, bei denen das Grabinventar durch eine kistenförmige Setzung von Ziegeln in der Grabgrube geschützt war.⁹ Obgleich der Fundzusammenhang nicht mit dem originären Verwendungszweck der Ziegel übereinstimmt, kann aufgrund der Erhaltung der Ziegel dennoch eine Primärzusammengehörigkeit erschlossen werden: Bei den *lateres* sind keine Reste von Mörtel oder von Schmauchung bzw. Hitzeeinwirkungen festzustellen, die eine Verbauung in einem Hypokaustum nahelegen würden; bei den *tegulae* sind zumindest keine deutlichen Verwitterungsspuren auszumachen, die eine Witterungsexposition auf einem Dach vermuten ließen. Die Einheitlichkeit der Abmessungen läßt ein identisches Produktionslos annehmen, dem die sechs *lateres* und vier *tegulae* jeweils entstammen. Beide Gräber sind als geschlossene Funde für die Gruppengliederung der Nieder Produktion der *legio XXII Primigenia* von Bedeutung.¹⁰

3 Diese Einschätzung beruht auf der Materialaufnahme römischer Baukeramik im Landesmuseum Mainz, der Archäologischen Denkmalpflege Mainz und einer Vielzahl von Privatsammlungen.

4 Exemplarisch: Eisgrubgruppe der *legio XXII Primigenia*, Herstellungsprovenienz Groß-Krotzenburg, vgl. Dolata (1994a).

5 Baatz (1965) 148: „später“ [als die Gruppe der Namen- u. Namenbegleitstempel].

6 Wolff (1893) 286-287 Leg. XXII Pr. Typ B 24 (= Fig. 118 a,b).

7 Behrens (1917/18) 61 Abb. 28, 17 u. 17a. Die Betrachtung des konkreten Befundes, der damit möglichen Aussagen für die Baugeschichte der Mainzer Lagerthermen und der Einbindung des Stempeltyps in die bestehenden Modelle der Produktionsgeschichte und Chronologie der Heeresziegelei von Frankfurt-Nied bleibt einer späteren eingehenden Behandlung vorbehalten.

8 Bisher wurden über 600 Analysen römischer Baukeramik in Zusammenarbeit mit G. Schneider, Arbeitsgruppe Archäometrie am Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Freien Universität zu Berlin untersucht. Das Probenprogramm deckt, ausgehend vom Mainzer Fundmaterial, die gesamte Baukeramikproduktion kaiserzeitlicher obergermanischer Truppenkörper sowie jene des Bewegungsheeres ab und berücksichtigt die verschiedenen Herstellungsprovenienzen.

9 Stümpel (1965/66). - Stümpel (1967).

10 Die Besprechung beider Grabinventare wird an anderem Orte folgen. Die Auseinandersetzung mit der bestehenden Gruppengliederung obergermanischer Militärziegelstempel erfolgt unter Einbeziehung naturwissenschaftlich-technischer Untersuchungen. Speziell den Problemen der Produktionsdauer der Heeresziegelei von Frankfurt-Nied sowie den dafür relevanten Ziegelstempeln der Saalburggruppe (*legio VIII Augusta*) gilt hier das Augenmerk. Über Werkkontext und Datierung vergesellschafteter Funde handelt Huld-Zetsche (1979/80).

Probenpräparation und Analyse

Aus dem beschriebenen Ziegel (Kat.-Nr. 11) wurden mittels eines Diamanthohlbohrers zehn Proben ausgebohrt und diese Bohrkern folgendermaßen präpariert (Abb. 1).

1. Die besandete Unterseite wurde mit einer Diamantsäge abgetrennt; es ergibt sich ein Zylinder von 28 mm Durchmesser und einer Länge von ca. 30 mm.
2. Aus der Mitte des Zylinders wurde mit der Diamantsäge eine Scheibe von ca. 5,5 mm Stärke herauspräpariert.
3. Aus dieser Scheibe wurde ein Dilatometerstäbchen von 5,5 x 5,5 x 28 mm geschnitten, der Rest der Probe¹¹ wurde in einer Scheibenschwingmühle auf eine Korngröße kleiner als 63 µm zerkleinert.
4. Trocknung der Proben bei 110°C.
5. Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 51070¹² bei 1050°C.
6. Eine repräsentative Teilprobe (125 mg) wurde für chemische Analysen im Lithiumtetraborataufschluß in Lösung gebracht.¹³
7. Die chemische Analyse erfolgte mittels ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy) für die Hauptelemente gegen einen zertifizierten Tonstandard (ECRM 776-1)¹⁴, für die Spurenelemente gegen synthetische Standards¹⁵.

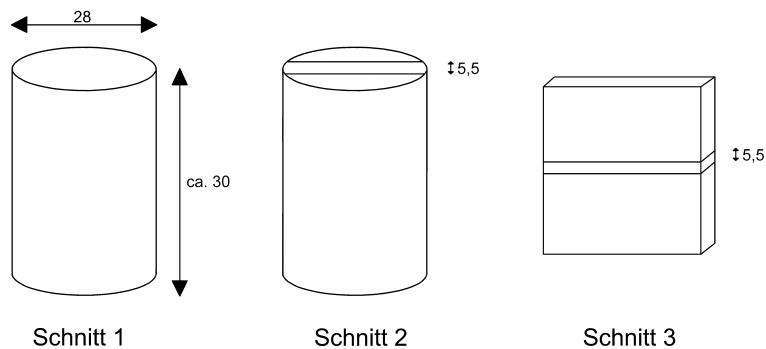


Abb. 1: Probenpräparation.

Im Folgenden wird ausschließlich die chemische Analyse betrachtet, um an diesem Beispiel die Probleme der Probennahme, Analyse und Homogenität zu beschreiben.

11 Außer den hier besprochenen ICP-Analysen zur Materialzusammensetzung werden von den zehn Homogenitätsproben auch Dehnungs-Schwindungs-Analysen (DSA) und Simultanthermoanalysen (STA) im Forschungsinstitut für anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik (FGK) in Höhr-Grenzhausen sowie Mineralphasenbestimmung mittels Röntgenbeugungsanalysen (RBA) und die petrographische Bestimmung von Dünnschliffen am Lehrstuhl für Angewandte und Technische Mineralogie am Institut für Geowissenschaften der J. Gutenberg-Universität in Mainz (R. H. F. Trettin) durchgeführt. Alle Untersuchungen sollen methodenkritisch vorgelegt werden.

12 DIN 51070: Prüfung keramischer Roh- und Werkstoffe, Chemische Analyse von feuerfesten Stoffen mit den Hauptbestandteilen Aluminiumoxid und Silicium (IV)-oxid, Blatt 9: Bestimmung der Gewichtsänderung beim Glühen.

13 Arbeitsvorschrift AV-AUFSCHL-LI des FGK, Höhr-Grenzhausen.

14 Zertifizierte Standards werden durch umfangreiche Ringversuche in verschiedenen Laboratorien in der Zusammensetzung analysiert, die Mittelwerte dieser Analysen werden im Zertifikat angegeben. Für die Hauptelemente steht so eine Vergleichssubstanz mit ähnlicher Zusammensetzung zur Verfügung, so daß der Einfluß von Matrixeffekten minimiert wird.

15 Hier ist die Vergleichssubstanz eine Einelementlösung mit genau definierter Konzentration.

Fehlerquellen

Betrachtet man die gesägten Schnitte, so fällt schon hier die Inhomogenität der Proben ins Auge: Helle Körner sind Magerungsmittel, die die Verarbeitbarkeit der feuchten Masse verbessern und die Trockenempfindlichkeit sowie die Brennschwindung verringern. An einzelnen Proben sind deutlich verschiedenfarbige Einschlüsse zu erkennen, deren Zusammensetzung stark von der Zusammensetzung der umgebenden Matrix abweichen kann (Abb. 2).



Abb. 2: Schnitte durch die Bohrkern Kat.-Nr. 11,3 und 11,4; 11,6; 11,9; 11,10 (von links nach rechts), alle M. 1:1.

Wird nun bei der Probennahme nur eine kleine Probe ausgebohrt (1g-Probe) und dabei zufällig ein solcher Einschlus angebohrt, so wird die scheinbare Zusammensetzung der Gesamtprobe verfälscht. Zu erkennen ist dies, wenn in einer Probe einige Nebenelemente oder Spuren im Vergleich zu anderen Elementen erhöht auftreten.¹⁶

Schlieren in den Proben werden durch die einfache Aufbereitung und Formgebung antiker Baukeramik hervorgerufen; Aufbereitungsmaschinen in der modernen Ziegelindustrie sind in der Lage, eine optisch schlierenfreie Masse herzustellen und harte Einschlüsse zu zerkleinern oder auszusondern. Die lagerstättenbedingten Schwankungen der Materialzusammensetzungen, also die natürlichen Inhomogenitäten der Tone, werden so weitgehend ausgeglichen. In römischer Zeit wurde der Ton zunächst mit viel Wasser eingesumpft und durch Treten oder Kneten etwas homogenisiert, dabei gleichzeitig mit evtl. zugegebenen Magerungsmitteln gemischt und entlüftet. Das Erscheinungsbild der Schnitte zeigt, daß die Ziegel im Handstreichverfahren auf einer besandeten Unterlage und aus einer sehr weichen Masse hergestellt wurden. Bei dieser Aufbereitung und Formgebung werden nur gröbere Verunreinigungen ab ca. 5 mm Durchmesser erkannt und können entfernt werden.

Weiterhin können systematische Fehler in der Probennahme bei Verunreinigungen durch das Probennahmegerät auftreten: Wird z. B. mit einem Hartmetallbohrer eine Probe ausgebohrt, so können die Spurengehalte an Wolfram und Kobalt erhöht sein, da der Hartmetallbohrer aus Wolframcarbidpulver mit einer Kobaltbindung besteht. Bemerkte werden solche Fehler nur bei einem Vergleich mit Proben aus anderen Probennahmeverfahren, die aber auch ihrerseits spezifische Verunreinigungen in die Proben einbringen, bei einem Diamantbohrer etwa Verunreinigungen durch die Bindung mit Cu, Zn, Sn. Um Kontaminationen abschätzen zu können, sollten nur ungereinigte Scherben zur Analyse herangezogen werden; bereits erfolgte Reinigungen, etwa durch HCl o.ä., müssen vermerkt werden.¹⁷ Diese Reinigungsmittel können einige Elemente, wie z. B. CaCO₃, lösen und so eine Zuordnung des untersuchten Objektes verfälschen.

Auch die Probenvorbereitung birgt weitere Fehlerquellen: das Aufmahlen der Proben in ungeeigneten Mühlen – Wolframcarbid-Einsätze in Scheibenschwingmühlen können Co-Verunreinigungen herbeiführen – oder eine ungeeignete Teilung der Proben, die eine nicht repräsentative Analyse bedingt.

¹⁶ Kat.-Nr. 11,3 ist ein solcher Ausreißer, vgl. die Abbildung des Schnittes und die Analysenergebnisse im Anhang.

¹⁷ Burmester, in: Schneider (Red.) u. a. (1989) 21.

Bei der Messung der Elementgehalte kommt eine letzte Fehlerkategorie zum Tragen: Die Streuung der Meßergebnisse durch gerätespezifische Unsicherheiten. Im vorliegenden Fall wurde mittels ICP gegen den Tonstandard ECRM 776-1 gemessen. Dabei wird die Intensität eines bestimmten Elementpeaks der Probe mit dem entsprechendem Peak des Standards, der eine exakt bekannte Zusammensetzung besitzt, verglichen. Durch einfache Dreisatzrechnung kann der Elementgehalt der Probe ausgerechnet werden. Alle Proben werden dreimal gemessen; es wird ein Mittelwert aus den drei Meßwerten angegeben, das maximal tolerierte Streuungsmaß beträgt dann konventionell 3%. Bei den Spurenelementen erfolgt der Vergleich gegen synthetische Standards, bei denen die tolerierten Standardabweichungen nach Konvention vom Konzentrationsbereich des Spurenelementes abhängen:

> 2000 bis 200 ppm	max. 1%
200 bis 20 ppm	max. 10%
< 20 ppm	> 10%

Das ermittelte Meßergebnis kann also nie den exakten unbekanntem Elementgehalt einer bestimmten Probe liefern, sondern nur einen Näherungswert, von dem aber bekannt ist, mit welcher Unsicherheit dessen Bestimmung behaftet ist. Der reale, aber unbekanntem Gehalt liegt dann innerhalb einer gewissen Spanne, die statistisch bestimmt werden kann. Meßwerte sollten daher immer mit den bekannten Meßunsicherheiten der Meßgeräte und den Abweichungen bei Mehrfachbestimmungen angegeben werden, damit erkennbar ist, ob eine Schwankung auf diese Parameter zurückgeführt werden kann oder ob es sich um tatsächliche Schwankungen in der Zusammensetzung des Untersuchungsobjektes handelt.

Meßergebnisse

Die Probennahme und Analyse der zehn Proben aus einem einzigen Ziegel wurde bereits beschrieben. Dabei wurden für die Hauptelemente (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , P_2O_5 , MnO) die im Anhang dargestellten Ergebnisse ermittelt (alle Angaben in Massenprozent) und zur Auswertung der Probe die statistischen Funktionen Mittelwert¹⁸, Standardabweichung¹⁹ und Variationskoeffizient²⁰ berechnet. Vor der Berechnung des Mittelwertes wurden die Meßwerte mit dem Testverfahren nach Dixon²¹ auf Ausreißer überprüft (Signifikanzniveau 99%). Lagen keine korrigierbaren Übertragungs-, Rechen- oder Schreibfehler vor, so wurden diese Werte bei den weiteren Berechnungen nicht mit einbezogen, die Ausreißerwerte sind in der Tabelle markiert. Im Vergleich der Analysen mit den Ziegeln der Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied ist es von großer Bedeutung, daß bei bestimmten Elementen Ausreißer gefunden wurden, da auch bei einer Einzelprobe von anderen Ziegeln mit solchen Ausreißern zu rechnen ist – die Gefahr von Fehlgruppierungen ist so zu verringern. Bei Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , Cr und Zr wurden Ausreißer nach unten eliminiert, der gemessene Na_2O -Gehalt lag in einem Fall deutlich zu hoch. Auffällig ist, daß alle angesprochenen Ausreißer nach unten bei Kat.-Nr. 11,3 auftreten, während bei dieser gleichzeitig der höchste SiO_2 -Anteil gemessen wurde. Da gleichzeitig mehrere Oxide in verringerten Konzentrationen festgestellt wurden, ist eine Zufälligkeit der Probe, hervorgerufen durch die Inhomogenität des Ziegels (zufälliger Probennahmefehler) zu vermuten.

Für die Elementoxide von Si, Al, Fe, Mg und K wurden Variationskoeffizienten von kleiner 10% festgestellt. Der höchste Variationskoeffizient wurde mit 113,1% bei P bestimmt; der Phosphorgehalt wird bei der Bodenlagerung durch Absorption der Phosphate stark verändert.²² Dieses

18 Der Mittelwert ist die Summe der Einzelwerte der Stichprobe geteilt durch ihre Anzahl. DIN 53804: Statistische Auswertungen, Teil 1: Meßbare (kontinuierliche) Merkmale, Satz 4.1.1: Arithmetischer Mittelwert.

19 Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. DIN 53804: Statistische Auswertungen, Teil 1: Meßbare (kontinuierliche) Merkmale, Satz 4.2.2: Standardabweichung.

20 Der Variationskoeffizient ist die Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert, angegeben in Prozent. So sind Vergleiche zwischen den Streuungen einzelner Elemente mit verschiedenen Konzentrationen leichter durchzuführen. DIN 53804: Statistische Auswertungen, Teil 1: Meßbare (kontinuierliche) Merkmale, Satz 4.2.3: Variationskoeffizient.

21 DIN 53804: Statistische Auswertungen, Teil 1: Meßbare (kontinuierliche) Merkmale, Satz 8.1: Ausreißertest nach Dixon.

22 Schneider, in: Schneider (Red.) u. a. (1989) 20. Die dort angesprochenen möglichen Veränderungen an Mn und Ba wurden hier nicht nachgewiesen.

Element wird daher konventionell nicht zur Klassifikation von Keramiken verwendet. Na_2O wurde mit einem Variationskoeffizienten von 40,6%, nach dem Eliminieren des Ausreißers von 18,3% berechnet. Dort wurde ein Ausreißer von 0,487% gegenüber einem Mittelwert von 0,230% beobachtet. Aber auch die weiteren Meßwerte zeigen noch große Schwankungen von 0,145 bis 0,274%.²³ Nach verschiedentlich publizierten Beispielen kann sich der Natriumgehalt von Keramiken ebenfalls durch die Bodenlagerung verändern.²⁴

CaO wurde ebenfalls in großen Schwankungsbreiten von 0,237 bis 0,760% festgestellt. Hier liegt kein Ausreißer vor, sondern die Streuung wird durch sich verändernde Zusammensetzungen der Keramik hervorgerufen. Für diese großen Schwankungsbreiten kommen drei Gründe in Frage: 1. CaO wurde durch eine zu niedrige Brenntemperatur und zu große Korngröße nicht vollständig in wasserunlöslicher Form eingebunden; Calciumoxid kann daher mit Wasser gelöst und ausgelaugt werden. 2. CaO wurde z. B. mit Kalkmergel als Magerungsmittel eingeführt, dieses Magerungsmittel wurde nicht homogen verteilt. 3. Bei der Probenahme gelangten Anteile von Mörtel in die Probe²⁵ oder bei der Bauverwendung des Ziegels wurde ein kalkhaltiger Mörtel verwendet, von dem ein Teil des kalkhaltigen Anmachwassers in den porösen Ziegel eindrang, so daß dort CaCO_3 angereichert wurde.

Auf Grund dieser Analyse können die Gehalte von SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO und K_2O als sichere Elemente für eine Klassifikation festgelegt werden. Die Elemente Phosphor und Natrium sollten nicht, die restlichen Hauptelemente nur mit entsprechender Vorsicht oder Gewichtung herangezogen werden.

Die Spurenelemente Cr, Ni, Cu, Zn, V, Ba, Zr und Sr wurden ebenfalls bestimmt. Hierbei stellten sich Cr, Ni, V, Ba, Sr und Zr als Elemente mit sehr geringen Variationskoeffizienten heraus (<12%). Kupfer und Zink dagegen werden mit sehr großen Schwankungsbreiten von 48% bzw. 84% festgestellt. Da dort mehrere erhöhte bzw. verringerte Konzentrationen nachgewiesen wurden, liegt kein Ausreißer vor, sondern die Konzentration dieser Spuren schwankt tatsächlich innerhalb des untersuchten Ziegels stark.

Vergleich mit Homogenitätsproben aus Augst/Kaiseraugst

Maggetti hat für die Untersuchungen der Grobkeramik aus Augst und Kaiseraugst ebenfalls Homogenitätsuntersuchungen an Ziegeln durchgeführt: An drei ungestempelten Flachziegeln aus einem Ziegelbrennofen in Kaiseraugst-Liebrüti wurden je zwei (Z79+83 und Z80+81) bzw. vier Proben (Z75-78) genommen.²⁶ Auch wenn diese Untersuchungen auf Grund einer abweichenden Beprobungstechnik und geringerer Probenzahl nicht unmittelbar vergleichbar sind, so läßt sich doch ein Vergleich der Variationskoeffizienten durchführen (Abb. 3).

Die untersuchte Baukeramik von Augst/Kaiseraugst ist deutlich homogener als der hier untersuchte Ziegel aus Frankfurt-Nied; selbst nach dem Eliminieren von Ausreißern sind die Variationskoeffizienten niedriger als die unserer Homogenitätsproben. Den Vergleich charakteristischer Spurenelemente zeigt die Übersicht in Abb. 4 (Rb wurde am FGK nicht bestimmt, V bei Maggetti nicht).

23 Die Bestimmung der Alkalien und Erdalkalien Natrium und Kalium ist mittels ICP z.T. schwierig, da die Peaks sehr breit und verzerrt sind. Die hier bestimmten Schwankungen sind sehr viel größer als die Meßunsicherheiten der Analyse; solch große Schwankungen werden durch den Ziegel selbst und nicht durch die Analyse verursacht.

24 Schneider in: Schneider (Red.) u. a. (1989) 20. Alkalien können in stark sauren Böden ausgelaugt werden. Der Ausreißer ist in diesem Fall aber ein stark erhöhter Wert. Gleichzeitig werden auch die Maximalwerte an K_2O und TiO_2 bestimmt, so daß ein Eintrag dieser Elemente über Verunreinigungen des Kornes wahrscheinlich ist.

25 Hier auszuschließen, da die Ziegel abgesäuert und die Oberflächen bei der Probenpräparation sorgfältig abgetrennt wurden.

26 Maggetti/Galetti (1993) 200; 222 Tab. 2.

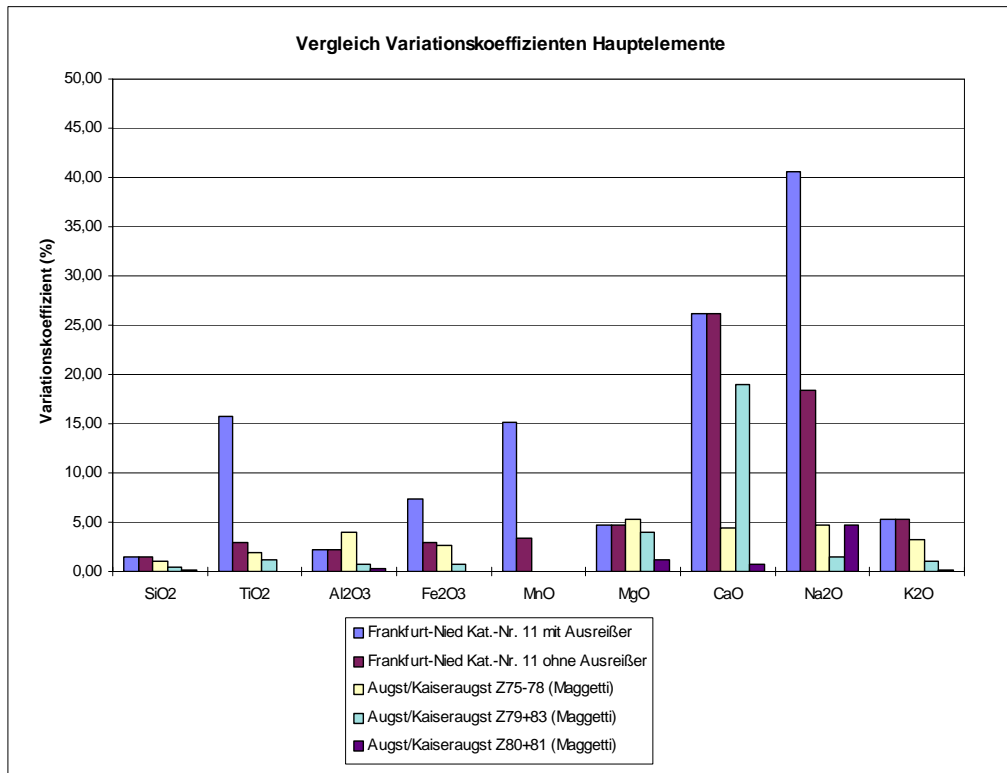


Abb. 3: Homogenitätsvergleich: Variationskoeffizienten der Hauptelemente.

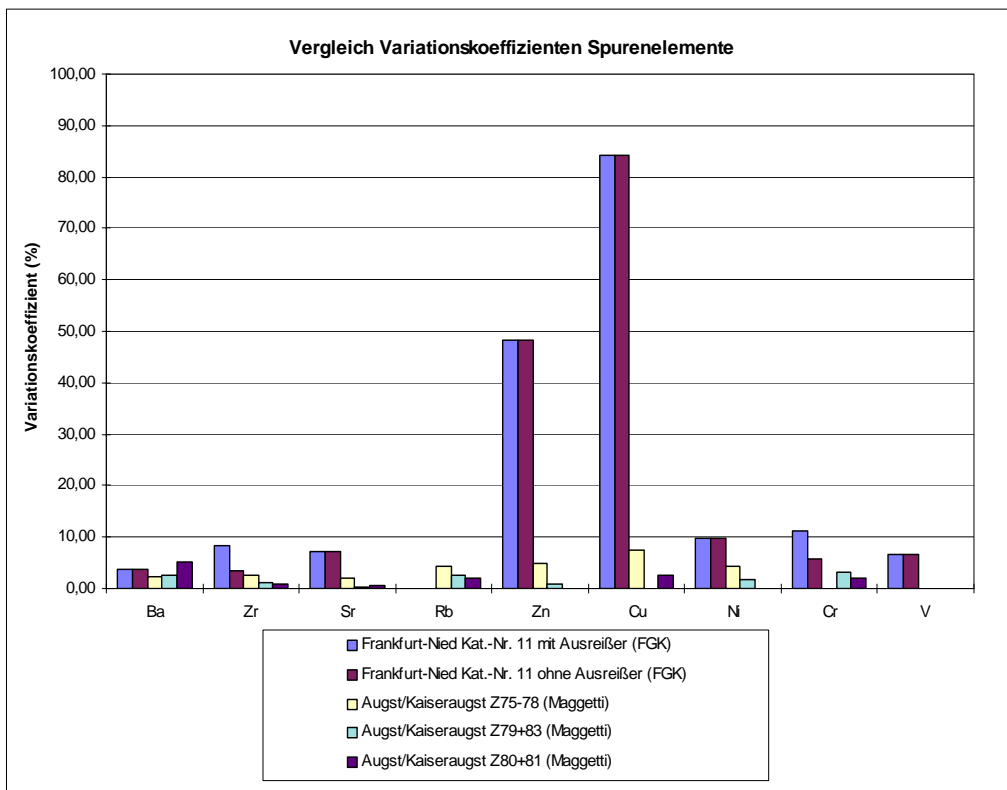


Abb. 4: Homogenitätsvergleich: Variationskoeffizienten der Spurenelemente.

Auch hier wird deutlich, daß der Ziegel aus Frankfurt-Nied deutlich inhomogener ist als die Vergleichsstücke aus Augst/Kaiseraugst. Charakteristisch für die Proben aus Frankfurt-Nied sind die Variationen bei Zn und Cu, die auch bei weiteren Proben aus Augst/Kaiseraugst nicht beobachtet werden können. Kritsotakis²⁷ hat diesen Befund für die Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied ebenfalls nachgewiesen. Da die Probenzahl für die Homogenitätsuntersuchung bei Maggetti ungleich geringer ist, sinkt auch die Wahrscheinlichkeit, daß bei der Probennahme ein Ausreißer auftritt. Dennoch wird deutlich, daß die Variationen in den Zusammensetzungen typisch für die jeweilige Herstellungsprovenienz sind, da jede Tonlagerstätte individuelle Schwankungen besitzt, die durch mehr oder weniger sorgfältige Aufbereitung der Tone nivelliert werden können. Um die Variationsbreiten der Referenzgruppen kennenzulernen und auch potentielle Ausreißer erkennen zu können, sollten für Produkte jeder Herstellungsprovenienz ähnliche Untersuchungen durchgeführt werden.

Die vorliegenden Analyseergebnisse erlauben es, die wahrscheinliche Zusammensetzung des gesamten Ziegels zu errechnen. In der Statistik wird diese Idealzusammensetzung als Grundgesamtheit bezeichnet. Dazu wird zunächst ein Signifikanzniveau festgelegt, d. h. es wird bestimmt, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Aussage zutreffen soll (Abb. 5). Üblich sind Aussagewahrscheinlichkeiten von 95% oder 99%. Für den untersuchten Ziegel ergeben sich bei einer Wahrscheinlichkeit von 99% die folgenden Konfidenzintervalle²⁸ (%-Angaben in Massenprozent):

Konfidenzintervalle der Haupt- und Spurenelemente			
SiO ₂	von	73,49%	bis 75,97%
Al ₂ O ₃	von	14,52%	bis 15,23%
Fe ₂ O ₃	von	3,58%	bis 3,85%
TiO ₂	von	1,62%	bis 1,73%
CaO	von	0,36%	bis 0,65%
MgO	von	0,82%	bis 0,91%
K ₂ O	von	2,00%	bis 2,25%
Na ₂ O	von	0,16%	bis 0,24%
P ₂ O ₅	von	0,00%	bis 0,61%
MnO	von	0,02%	bis 0,02%
Frankfurt-Nied Kat.-Nr. 11, alle %-Angaben in Massenprozent			
Cr	von	146 ppm	bis 167 ppm
Ni	von	46 ppm	bis 57 ppm
Cu	von	3 ppm	bis 56 ppm
Zn	von	46 ppm	bis 149 ppm
V	von	90 ppm	bis 104 ppm
Ba	von	392 ppm	bis 425 ppm
Zr	von	309 ppm	bis 335 ppm
Sr	von	115 ppm	bis 134 ppm

Abb. 5: Homogenitätsuntersuchung von Ziegel 11: Konfidenzintervalle der Elementgehalte.

Dies bedeutet, daß z. B. der SiO₂-Gehalt des gesamten Ziegels mit einer Sicherheit von 99% zwischen 73,49% und 75,97% liegt. Die Berechnung eines solchen Wertes ist eine quellensichernde Notwendigkeit. Wollte man den exakten SiO₂-Gehalt des Ziegels bestimmen, wäre es nötig, den gesamten Ziegel zu zerkleinern, zu homogenisieren und eine repräsentative Probe des gemahlten Materials zu analysieren. Daß dieser Weg nicht gangbar ist, versteht sich von selbst.

Es wird deutlich, daß die Oxide mit den größeren Schwankungsbreiten und entsprechend höheren Standardabweichungen auch breitere Konfidenzintervalle besitzen.

²⁷ Kritsotakis (1995).

²⁸ Die Berechnung des Konfidenzintervalls erfolgt nach der Formel: $W = t_{f,a} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$, wobei der unbekannte aber wahre Wert für die Grundgesamtheit μ im Intervall $\bar{x} - W \leq \mu \leq \bar{x} + W$ liegt. $t_{f,a}$ wird aus der Studentischen t-Verteilung für die gewünschte Aussagewahrscheinlichkeit und die Anzahl der Stichproben bestimmt, s ist die Standardabweichung der Stichprobe, n die Anzahl der Stichproben und \bar{x} der Mittelwert aus den Stichproben. DIN 53804: Statistische Auswertungen, Teil 1: Meßbare (kontinuierliche) Merkmale, Satz 6: Vertrauensbereiche für Parameter der Normalverteilung.

Vergleich mit Referenzziegeln aus Frankfurt-Nied

Zum Vergleich des oben besprochenen Ziegels wurden 10 weitere Ziegel der Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied herangezogen. Diese wurden ebenfalls in der oben beschriebenen Weise beprobt und analysiert. In Variationsdiagrammen wurden die Konfidenzintervalle, der Durchschnittswert (\times) und die Einzelwerte (\blacksquare) der Homogenitätsproben, die zu diesen Konfidenzintervallen geführt haben, sowie die Analyseergebnisse der Referenzziegel aus Frankfurt-Nied (\blacklozenge) nebeneinandergestellt. Für SiO_2 und Al_2O_3 ergibt sich das folgende Bild (Abb. 6):

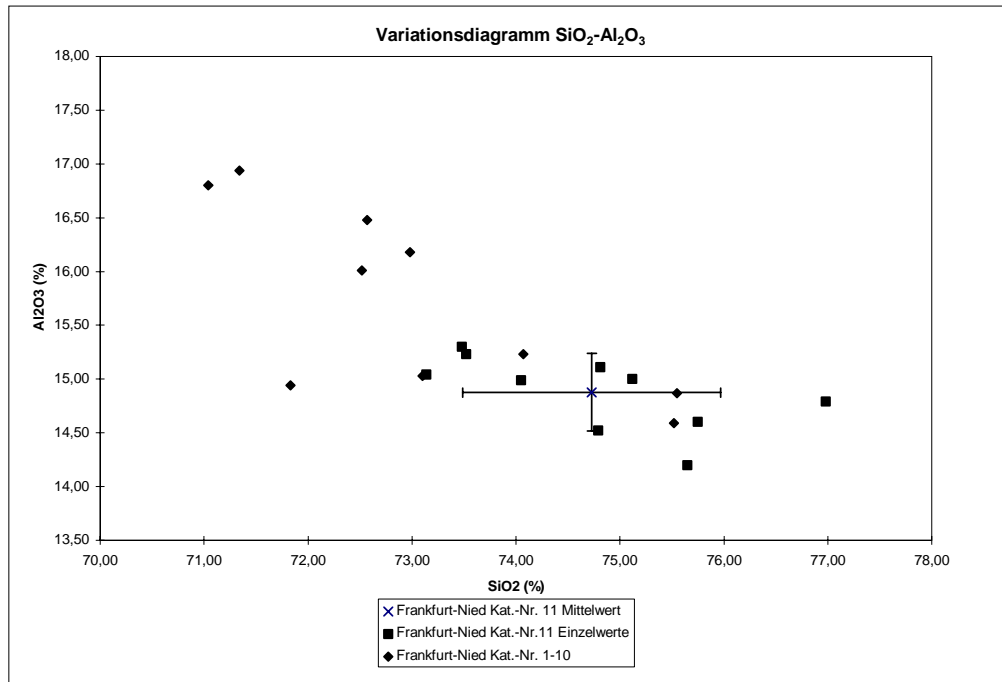


Abb. 6: Homogenitätsuntersuchung von Ziegel 1-11: Elementvariation.

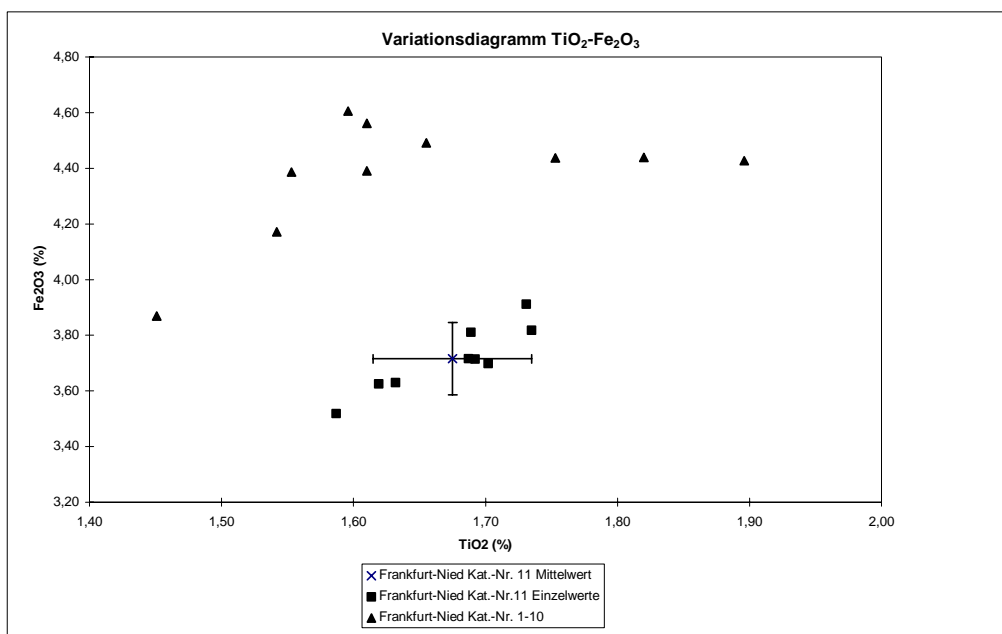


Abb. 7: Homogenitätsuntersuchung von Ziegel 1-11: Elementvariation.

Die Proben der Referenzziegel zeigen niedrigere SiO_2 -Gehalte, dafür ist der Al_2O_3 -Gehalt erhöht. Für eine sichere Abgrenzung anderer Gruppen müssen diese einen deutlich höheren oder niedrigeren SiO_2 -Gehalt bzw. Al_2O_3 -Gehalt aufweisen. Es wird deutlich, daß für die Definition „typischer Gehalte“ daher immer eine möglichst große Analysenanzahl zugrunde gelegt werden sollte.

Der Vergleich der Titan- und Eisenoxidgehalte (Abb. 7) zeigt, daß der gemessene Titangehalt des Homogenitätsprobenziegels wohl typisch für die Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied ist, der Eisenoxidgehalt dagegen geringfügig niedriger liegt als bei den Vergleichsziegeln.

Im Variationsdiagramm der Alkalien Na_2O und K_2O liegt das Konfidenzintervall der Homogenitätsprobe innerhalb jener der Vergleichsproben (Abb. 8).

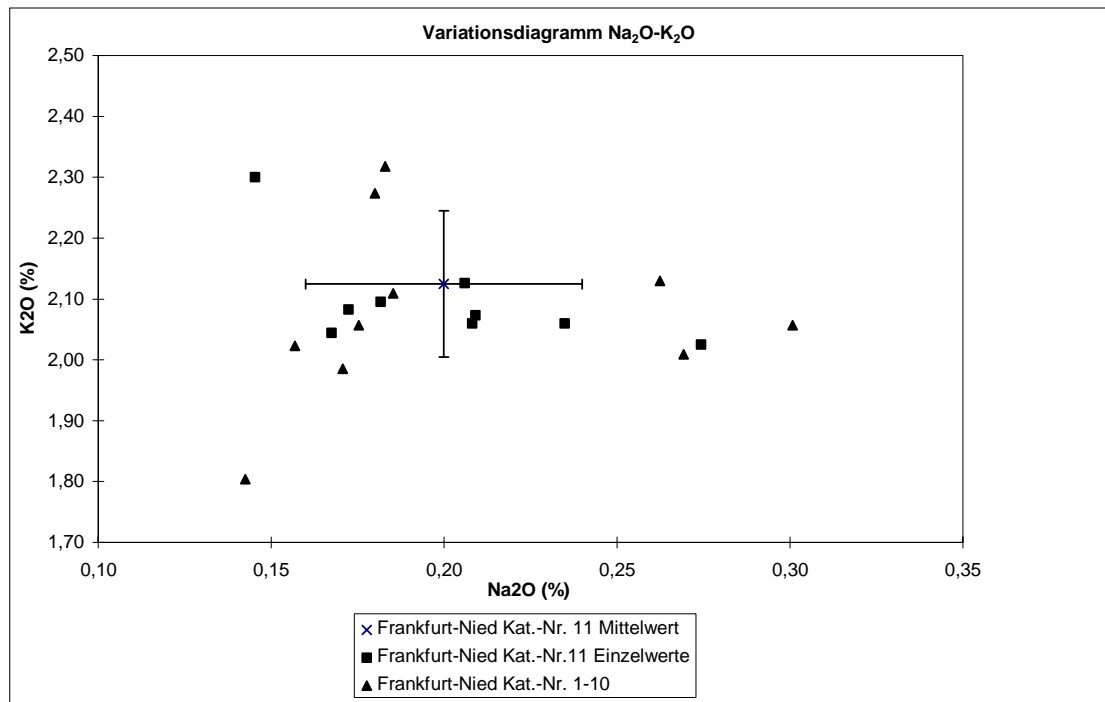


Abb. 8: Homogenitätsuntersuchung von Ziegel 1-11: Elementvariation.

Ergebnis

Mit der zehnfachen Beprobung und Analyse eines archäologisch-typischen Ziegels aus der Heeresziegelei von Frankfurt-Nied wurde dessen Inhomogenität aufgezeigt. Während die Oxide von Si, Al, Mg und K für die Herstellungsprovenienz Frankfurt-Nied als signifikant bezeichnet werden können, ist bei Ti, Fe und Mn mit einzelnen Ausreißern zu rechnen. Die größten Schwankungen sind bei CaO und Na_2O zu erwarten. Dieser Befund wird durch den Vergleich der Homogenitätsproben mit weiteren zehn Ziegeln aus der Frankfurt-Nieder Produktion bestätigt. Bei den Spurenelementen der Homogenitätsprobe wurde bei Zr und Cr ein Ausreißer beobachtet, bei Zn und Cu wurden große Schwankungsbreiten festgestellt. Die Unsicherheiten bei der Bestimmung von Kupfer und Zink sind möglicherweise typisch für diese Herstellungsprovenienz, da sie auch bei Vergleichsziegeln auftreten. Bei den von Maggetti untersuchten Ziegeln aus Augst/Kaiseraugst wurden sie nicht festgestellt.

Für jede Herstellungsprovenienz sollten Homogenitätsuntersuchungen durchgeführt werden, die aufzeigen, welche Elemente oder Oxide jeweils charakteristisch stark schwanken und daher bei der Gruppierung nur mit Vorsicht herangezogen werden dürfen.

Grundsätzlich wurden durch die Homogenitätsuntersuchungen die bisher angewandten Methoden der Materialauswahl, -beprobung, -aufbereitung und -analyse bestätigt. Für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung römischer Baukeramik konnte die Auswertung von Einzelproben

als bedingt repräsentativ gerechtfertigt werden. Bedingung ist dafür insbesondere die Bewertung der durch die Probe aufgeschlossenen Tonmasse in Bezug zur Form- und Herstellungstechnik des Ziegels. Nur durch eine ausreichende Probenmenge kann sichergestellt werden, daß im Falle der Grobkeramik auch Repräsentativität gewährleistet ist.

Die Homogenitätsuntersuchungen zeigen exemplarisch die Unsicherheiten in der Analytik auf; Unwägbarkeiten werden besser einschätzbar, sogar berechenbar. Eine differenzierte Analytik schafft die Grundlagen für eine differenzierte archäologische Interpretation. Ein begründet detailliertes Bild des antiken Ziegeleiwesens zu zeichnen, steht als Aufgabe an.

Katalog

Ziegel 1: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 4 (= Fig. 98 a, b). Baatz (1967) Namen- u. Namenbegleitstempelgruppe Zugmantel Typ L 55. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 1317 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 30 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 130 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F130. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 4 Taf. 31,4.

Ziegel 2: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 11 (= Fig. 63 a, b). AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2003 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 31 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 125 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F125. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 1 Taf. 31,1.

Ziegel 3: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ C 10 (= Fig. 150). Baatz (1967) Namen- u. Namenbegleitstempelgruppe Zugmantel Typ L 47. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2005 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 32 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 126 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F126. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 5 Taf. 31,5.

Ziegel 4: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 4 (= Fig. 98 a, b). Baatz (1967) Namen- u. Namenbegleitstempelgruppe Zugmantel Typ L 55. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2012 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 33 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 127 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F127. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 3 Taf. 31,3.

Ziegel 5: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ A 14 (= Fig. 66 a, b). Baatz (1976) Typ 1. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2013 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 34 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 128 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F128. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 2 Taf. 31,2.

Ziegel 6: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Typ nicht bei Wolff (1893) und bislang außer beim vorliegenden Stück nicht in Fundzusammenhängen beobachtet, die für die Definition von Stempelgruppen relevant sind; deshalb hier kein Nachweis der Einzelfunde. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2014 = 64/86 (FM 96-018). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 44 (Parz. 416), R.34.48705 H.55.38945 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 25.11.1964. Materialprobe FM 97-048 Nr. 35 = Analyse FGK Hör-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 129 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F129. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1965/66) Ziegelplattengrab Stempel 6 Taf. 31,6.

Ziegel 7: *tegula*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 2 (= Fig. 96 a, b). Zur Gruppenzugehörigkeit des Stempeltyps: Baatz (1973) Anm. 16: „Spätgruppe der Namenstempel und Namenbegleitstempel“. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 1146 = 65/14 (FM 96-019). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 48 (Parz. 414), R.34.48715 H.55.38935 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 12.05.1965. Materialprobe FM 97-048 Nr. 36 = Analyse FGK

Höhr-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 123 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F123. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1967) Ziegelplattengrab Stempel 4 Abb. 16a,4.

Ziegel 8: *tegula*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Ricken/Baatz (1965) Stockstädter Gruppe Salisberg Typ S 4, Baatz (1967) Stockstädter Gruppe Zugmantel Typ L 25. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 1327 = 65/14 (FM 96-019). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 48 (Parz. 414), R.34.48715 H.55.38935 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 12.05.1965. Materialprobe FM 97-048 Nr. 37 = Analyse FGK Höhr-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 121 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F121. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1967) Ziegelplattengrab Stempel 5 Abb. 16a,5.

Ziegel 9: *tegula*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 4 (= Fig. 98 a, b). Baatz (1967) Namen- u. Namenbegleitstempelgruppe Zugmantel Typ L 55. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 1339 = 65/14 (FM 96-019). FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 48 (Parz. 414), R.34.48715 H.55.38935 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 12.05.1965. Materialprobe FM 97-048 Nr. 38 = Analyse FGK Höhr-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 122 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F122. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1967) Ziegelplattengrab Stempel 3 Abb. 16a,3.

Ziegel 10: *tegula*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ C 8 (= Fig. 148 a, b, c). Zur Gruppenzugehörigkeit, den Typvarianten und deren Chronologie: Baatz (1971) Typ 4 a, b. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 2010 = 65/14 (FM 96-019), FO: Mainz-Innenstadt, Oberer Laubenheimer Weg 48 (Parz. 414), R.34.48715 H.55.38935 +/- 10 m. Befund: Brandgrab, FZ: 12.05.1965. Materialprobe FM 97-048 Nr. 39 = Analyse FGK Höhr-Grenzhausen. Materialprobe FM 94-227 Nr. 120 = Analyse G. Schneider, FU Berlin F120. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Stümpel (1967) Ziegelplattengrab Stempel 2 Abb. 16a,2.

Ziegel 11: *later*, Stempel der *legio XXII Primigenia*

Wolff (1893) Leg. XXII Pr. Typ B 24 (= Fig. 118 a, b). Zur Gruppenzugehörigkeit des Stempeltyps: Baatz (1965) 148: „später [als die Gruppe der Namen- u. Namenbegleitstempel], jedoch ist es schwierig eine genauere Datierung anzugeben“, Ziegelstempel Nr. 32 Abb. 5, 12. AO: Landesmuseum Mainz, Inv. ZS 1117 = 09. III. 1901 Linsenbergr, Inv.: Ankaufsbuch III, 157, 09.III.1901 Nr.1. FO: Mainz-Innenstadt, Römerwall, R.34.47180 H.55.39990 +/-25 m. Befund: Lagerthermen des Zweilegionenlagers auf dem Kästrich: „noch in der ursprünglichen Lage als Bodenbelag rechts vom Verschönerungsweg vom Bingertor nach dem Gautor“, „Der Ziegel lag flach auf dem Cementboden“, FZ: 23.02.1901. Materialproben: FM 97-048 Nr. 10 – 19, Analysen: FGK Höhr-Grenzhausen. Herstellungsprovenienz: Frankfurt-Nied. Publiziert: Behrens (1917/18) 61 Ziegelstempel der Legio XXII Pr. P. F. Nr.17 Abb. 28,17 u. 17a. Nicht in CIL XIII.6, auch kein Abklatsch vorhanden.

Abgekürzt zitierte Literatur

Baatz (1965) = D. Baatz, Limeskastell Echzell. Kurzbericht über die Grabungen 1963 und 1964. Saalburg-Jahrb. 22, 1965, 139-157 Beil. 2.

Baatz (1967) = D. Baatz, Die gestempelten Ziegel aus dem Bad des Zugmantel-Kastells. Saalburg-Jahrb. 24, 1967, 40-74.

Baatz (1971) = D. Baatz, Ziegelstempel. In: M. Blechschmidt/W. Strack, Neue Terra Sigillata-, Münz- und Ziegelfunde vom Limeskastell Inheiden (Kr. Gießen). Saalburg-Jahrb. 28, 1971, 26-28 Abb. 4-5.

Baatz (1973) = D. Baatz, Einige Funde obergermanischer Militär-Ziegelstempel in der Germania inferior. In: Archaeologie en Historie. Festschrift H. Brunsting (Bussum 1973) 219-224.

Baatz (1976) = D. Baatz, Ein Ziegelstempeltyp der 22. Legion aus Jagsthausen. Saalburg-Jahrb. 33, 1976, 95-96.

Behrens (1917/18) = G. Behrens, Ausgrabung römischer Gebäude im Kastellgebiet in den Jahren 1901 und 1903. Mainzer Zeitschr. 12/13, 1917/18, 46-66.

Dolata (1994) = J. Dolata, Custos Castelli Figlinarum. Mainzer Arch. Zeitschr. 1, 1994, 67-72.

Dolata (1994a) = J. Dolata, Ziegelstempel der legio XXII Primigenia Antoniniana. Abschlußarbeit zur Erlangung des Grades eines Magister Artium. Gutachter: Prof. Dr. D. Baatz, Zweitgutachter: Prof. Dr. H.-M. von Kaenel (Frankfurt 1994, unpubliziert).

Dolata (1996) = J. Dolata, Hin zu einer archäologischen Nutzenanwendung geochemischer Analytik römischer Baukeramik. Mainzer Arch. Zeitschr. 3, 1996, 105-125.

Huld-Zetsche (1979/80) = I. Huld-Zetsche, Römische Büstenlampen aus der Wetterau. Fundber. Hessen 19/20, 1979/80, 745-772.

Kritsotakis (1995) = K. Kritsotakis, Vergleichende chemisch-mineralogische Untersuchungen an römischen Ziegeln aus Straßburg, Mirebeau, Nied, Hedderheim, Okarben und Wagbach. In: R. Goguy/M. Reddé (Hrsg.), Le camp légionnaire de Mirebeau. Monogr. RGZM 36 (Mainz 1995) 268-310.

- Maggetti/Galetti (1993)** = M. Maggetti/G. Galetti, Die Baukeramik von Augusta Raurica – eine mineralogisch-chemisch-technische Untersuchung. Zur Herstellung und Verbreitung der in Kaiseraugst produzierten Ziegel der Legio Prima Martia. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 14, 1993, 199-225.
- Ricken/Baatz (1965)** = H. Ricken, Die gestempelten Ziegel aus dem Bad des Kastells Salisberg (Hanau-Kesselstadt). Für den Druck bearbeitet von D. Baatz. Saalburg-Jahrb. 22, 1965, 101-117.
- Schneider (Red.) u.a. (1989)** = A. Burmester/C. Goedicke/H. W. Hennicke/B. Kleinmann/H. Knoll/M. Maggetti/R. Rottländer/G. Schneider, Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik. Diskussionsergebnisse der Projektgruppe Keramik im Arbeitskreis Archäometrie in der Fachgruppe Analytische Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Acta Praehist. et Arch. 21, 1989, 7-39.
- Stümpel (1965/66)** = B. Stümpel, Mainz, Ob. Laubenheimer Weg – Fr. Naumannstr. In: Bericht des Staatlichen Amtes für Vor- und Frühgeschichte im Reg.-Bezirk Rheinhessen und im Kreis Kreuznach für die Zeit vom 1. Januar 1963 bis 31. Dezember 1964. Mainzer Zeitschr. 60/61, 1965/66, 174-175 Abb. 27 Taf. 31.
- Stümpel (1967)** = B. Stümpel, Mainz, Oberer Laubenheimer Weg. In: Bericht des Staatlichen Amtes für Vor- und Frühgeschichte im Reg.-Bezirk Rheinhessen und im Kreis Kreuznach für die Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 1965. Mainzer Zeitschr. 62, 1967, 185-187 Abb. 16 u. 16a Taf. 3.
- Wolff (1893)** = G. Wolff, Die römischen Ziegeleien von Nied bei Höchst a. M. und ihre Stempel. Archiv Frankfurter Gesch. u. Kunst (Folge 3) 4, 1893, 212-346 Taf. 1-6.

Abbildungsnachweise

Abb. 1; 3-8: Forschungsinstitut f. Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik, Höhr-Grenzhausen, U. Werr. **Abb. 2:** J. Ernst, Landesarchäologie, Mainz. Zeichnungen/Photos Tafelteil: E. Nalepa/G. Rupprecht, Landesarchäologie, Mainz.

Jens Dolata

Graduiertenkolleg Archäologische Analytik
Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt a.M.
Jetzt: Landesamt für Denkmalpflege Rheinland-Pfalz
Abteilung Archäologie
Große Langgasse 29
D-55116 Mainz
e-mail: Dolata@em.uni-frankfurt.de

Ulrich Werr

Forschungsinstitut für anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik GmbH
Heinrich-Meister-Str. 2
D-56203 Höhr-Grenzhausen
Jetzt: Fa. Rauschert GmbH
D-96332 Pressig
e-mail: U.Werr@Rauschert.de