

## 2 Archäologische Einordnung, Beschreibung des Probenmaterials und Probenvorbereitung

### 2.1 Archäologischer Überblick

#### 2.1.1 Die Römer in Mainz<sup>1,2,3,4</sup>

Die Siedlungsgeschichte der Gegend um Mainz weist bis in die Altsteinzeit des Gravettien zurück. Auch aus der Jungsteinzeit, Bronze- und Hallstattzeit lassen sich Siedlungen nachweisen.

Die Römer betraten erstmals 58 v. Chr. das Rheinland, als Cäsar die Sequaner über den Rhein zurückdrängte. Ab spätestens 13/12 v. Chr. besteht auf dem Kästrich in Mainz ein Zweilegionenslager. Im SW schloss daran eine halb-militärisch geprägte Lagervorstadt an. Das zivile Mogontiacum, so der lateinische Name des Lagers, entwickelte sich im NO und O zwischen Legionenslager und Rhein. Dem Legionenslager gegenüber auf der anderen Rheinseite befand sich das Brückenkopfkastell Mattiacorum, das seit Tiberius durch eine feste Brücke mit dem Lager verbunden war. In Mainz finden sich auch mehrere Hafenanlagen, die älteste lässt sich dendrochronologisch auf das Jahr 23 n. Chr. datieren<sup>3</sup>. Zusammen mit Xanten diente Mogontiacum als Ausgangspunkt für die Eroberungsfeldzüge nach Germanien. Drusus d. Ä. begann hier seinen Feldzug, auf dem er bis zur Elbe vorstieß, wo er 9 v. Chr. bei einem Reitunfall ums Leben kam. Ihm zu Ehren wurde bald danach auf Betreiben der dort stationierten Truppen in Mainz das Drususdenkmal (der sog. Eichelstein), ein Gedenkgrab nach italischem Vorbild, errichtet<sup>2</sup>. Auch die Strafexpeditionen des Germanicus (14 - 16 n. Chr.) nahmen u.a. ihren Ausgang in Mainz. Nach der verheerenden Niederlage des Varus 9 n. Chr. beschränkten sich die Römer in Germanien mehr auf die Sicherung der Grenzen als auf Eroberungen. Als Antwort auf die Übergriffe der Chatten begannen die Römer 88/89 n. Chr. mit dem Bau des obergermanisch-rätischen Limes. Seit Ende des 1. Jhdts war Mainz Hauptstadt der Provinz Germania Superior, ab dem 4. Jhd. n. Chr. der neu gebildeten Provinz Germania Prima. Ab dem 2. Drittel des 3. Jhdts n. Chr. kommt es immer häufiger zu Einbrüchen von germanischen Stämmen durch den Limes in die römischen Provinzen. Nach dem Fall des Limes um 260 n. Chr. gingen die rechtsrheinischen Gebiete verloren und Mainz wurde wieder Frontstadt<sup>3</sup>. Zu dieser Zeit wurde auch die Stadtmauer gebaut, die sich an das Militärlager anschloss. Nach Abzug der Truppen wurde das Lager abgerissen und die Stadtmauer an dieser Stelle geschlossen. Schwere Germaneneinfälle führten im 4. Jhd. n. Chr. mehrmals zur Ver-

wüstung der Siedlung. Der Hunneneinfall 451 n. Chr. gilt als Ende der römischen Geschichte von Mainz<sup>5</sup>.

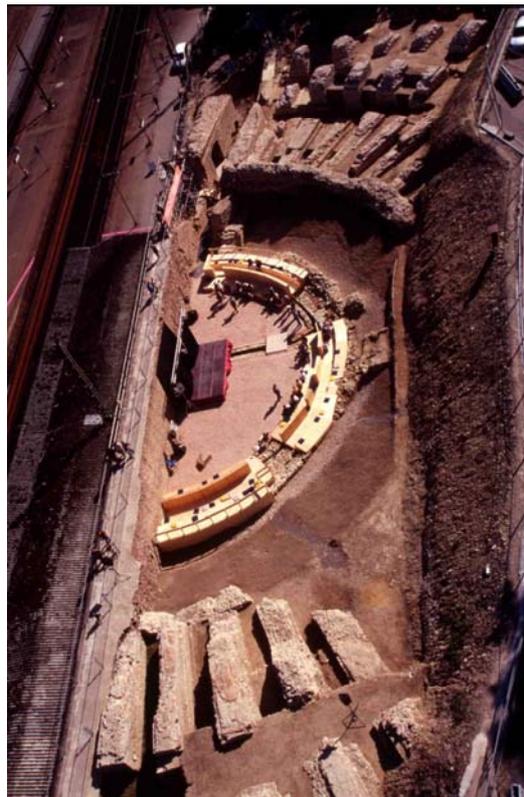
Von der Anwesenheit der Römer in Mainz zeugen heute noch neben dem Drusus Denkmal ein Gräberfeld, das Bühnentheater am Südbahnhof, der Tempel der Isis und Magna Mater in der Lothar-Passage, sowie Villen und Reste der Stadtmauer und des Aquäduktes.

Während des Bestehens des Militärlagers waren dort verschiedene Truppen stationiert. Am längsten, und deshalb als Mainzer Hauslegion bezeichnet, war die legio XXII Primigenia von 43 bis 368 n. Chr. mit Unterbrechungen in Mainz. In Mainz waren auch die legiones XIII Gemina, XV Primigenia, XVI Gallica, XIV Gemina, IIII Macedonica, I Adiutrix und XXI Rapax stationiert<sup>18</sup>. Nach 368 n. Chr. sind mobile Truppen entlang der Reichsgrenzen im Einsatz, so auch in Mainz. Das Heer in den Provinzen war nicht nur für militärische Aufgaben zuständig, sondern erfüllte auch die Funktionen der Polizei, des Zolls und der Steuererhebung. Daneben war es auch für die Ausführung öffentlicher Bauten zuständig.

Da die legio XXII Primigenia am längsten in Mainz stationiert war und viele der in dieser Arbeit untersuchten Ziegel den Stempel dieser Legion tragen, soll hier kurz auf die Geschichte dieser Legion eingegangen werden<sup>6</sup>. Die Stationierung dieser Legion zusammen mit der legio IIII Macedonica in Mainz erfolgte anlässlich der Neuordnung des Heeres vor dem bellum Britannicum im Jahre 43 n. Chr.<sup>4</sup>. Eine weitere Heeresreform erfolgte 69/70 n. Chr. nach den Wirren des Vierkaiserjahres, auf Grund derer die legio XXII aus Mainz abgezogen wurde. Wohl ab 96/97 n. Chr. erfolgte dann die zweite Stationierung dieser Legion in Mainz. Nach Abzug der legio XIV Gemina aus Obergermanien war die legio XXII Primigenia die alleinige Besatzung in Mainz. Es wurde angenommen, dass sie nach der Schlacht von Magnentius gegen Constantius in Mursa 351 n. Chr. aufgelöst wurde. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass die Legion vollständig aus Mainz abgezogen und damit ein wichtiger Brückenkopf am Rhein ohne Schutz gelassen wurde. Auch wird berichtet, dass Iulianus 357 n. Chr. eine Rheinbrücke für seinen Feldzug bauen ließ. Es muss also auch weiterhin ein Lager in Mainz bestanden haben. Nach dem Angriff des Rando, dem Sohn des Alemannenkönigs, kommt es erneut zu einer Reform des Heeres. Bei den folgenden Bauten zur erneuten Befestigung der Rheingrenze ist die legio XXII Primigenia nicht mehr vertreten.

Eines der eindrucksvollsten Bauten in Mainz war das Bühnentheater. Es liegt in der Nähe des Drususdenkmals und wurde vermutlich für die jährlich stattfindenden Feiern zu Ehren des Drusus genutzt. Hierher kamen Vertreter gallischer civitates und Abordnungen der germanischen Truppenverbände, um dem im Heer sehr beliebten Feldherrn zu gedenken. Beim Bau des Südbahnhofs in Mainz 1883 - 85 stieß man erstmals auf die Mauern des Theaters. Aber erst zu Beginn des

20. Jhdt.s erkannte man, dass es sich um ein römisches Bühnentheater handelte. Freigelegt wurden seitdem das Proscenium, die Scenae frons (Hinterwand der Bühne), das Postscenium, in dem sich vermutlich die Umkleideräume der Schauspieler befanden, sowie ein kleines Stück des Orchesterraumes und der Zuschauerränge. Mit etwa 10.000 Zuschauerplätzen ist das Mainzer Theater das größte bisher bekannte römische Theater nördlich der Alpen. Die Bauzeit des Theaters ist unbekannt. Jedoch gehen Archäologen davon aus, dass es wie das steinerne Drususmonument in iulischer Zeit erbaut wurde<sup>7</sup>. Möglicherweise hatte es einen Vorläufer aus Holz.



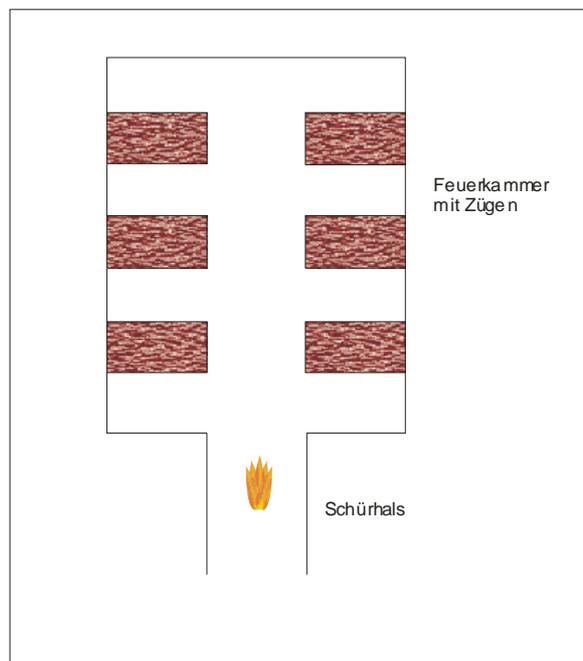
**Abb. 2.1:** Römisches Bühnentheater am Mainzer Südbahnhof (Luftbildaufnahme).

### 2.1.2 Römische Baumaterialien und Herstellung römischer Ziegel

Als größte Leistung der Römer in der Architektur darf man wohl die Erfindung des Kalkmörtels (von lat. caementicium) bezeichnen, die es den Römern ermöglichte, Kuppelbauten ohne stützende Mittelsäulen zu errichten<sup>9</sup>. Der Mörtel bestand aus einer Mischung von feinkörnigem Sand, Kalk und Wasser. Zur Festigung und um ein Schrumpfen und Rissbildung beim Aushärten zu vermeiden, wurden Bruchstücke von Tuff oder Ziegeln beigegeben. Diese Mischung wurde dann in eine Holz-

konstruktion gegossen und ausgehärtet. Oft wurden auch wie im Bühnentheater in Mainz zwischen den Mörtel Lagen aus Ziegel gelegt (sog. Ziegeldurchschusslagen)<sup>9</sup>.

Auch sonst kamen Ziegel in römischen Bauten häufig zum Einsatz. Von Augustus wird gesagt, er habe Rom als Stadt der Ziegel übernommen und sie als Stadt des Marmors hinterlassen (Suet. Augustus 28). Dabei dienten die Ziegelmauern als Träger, die dann mit Marmor verkleidet wurden. Ziegel wurden aus lokalem Ton hergestellt, der von groben Verunreinigungen wie Steinen befreit, durchgewalkt und in Holzformen gestrichen wurde. Oft wurden die Ziegel dann mit einem Stempel des Herstellers (bei militärischen Ziegeleien mit dem Zeichen der entsprechenden Legion, Kohorte, etc.) versehen. Auch findet man Wischspuren oder andere Verzierungen. Anschließend ließ man die Ziegel trocknen, um eine Verformung beim Brennen zu verhindern. Beim Brennen wird der Ziegel von außen nach innen erhitzt. Würde das im Ton enthaltene Wasser erst jetzt entweichen, müsste es durch die trockenen Schichten nach außen gelangen und würde die Oberfläche des Ziegels sprengen. Da die Dauer der Trocknung rein empirisch bestimmt wurde, werden bei Brennöfen häufig solche Fehlbrände gefunden. Da sie am Ort ihrer Herstellung verbleiben, ermöglichen sie den Archäologen durch eine chemische Analyse, in Bauten gefundene Ziegel einer Ziegelei zu zuweisen. Nach dem Trocknen wurden die Ziegel bei 750 – 900°C gebrannt. Solche Brennöfen wurden z.B. in Augst und Rheinzabern gefunden<sup>10</sup>. Der Ofen wurde häufig in eine Lehmschicht eingegraben oder aus luftgetrockneten Ziegeln gebaut. Erst während der ersten Benutzung wurden die Wände des Ofens gebrannt.



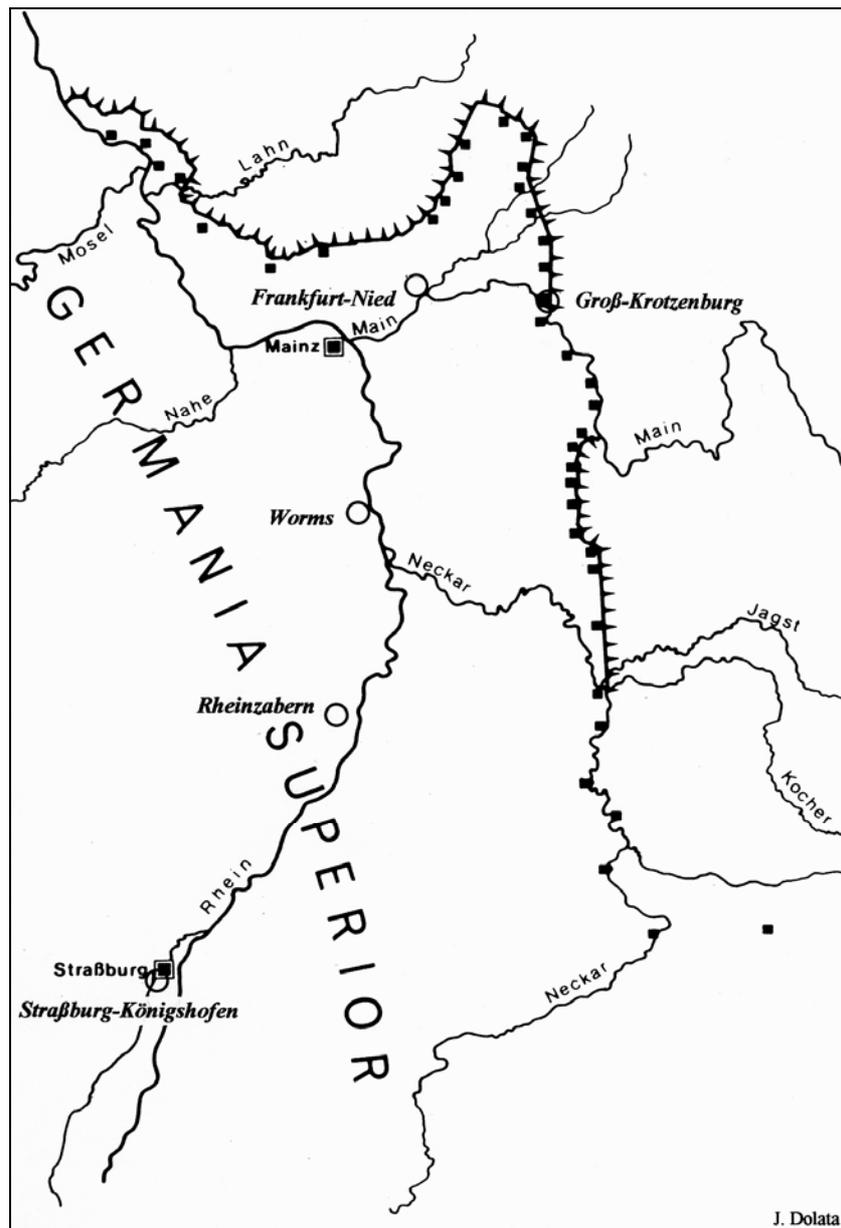
**Abb. 2.2:** Aufsicht auf einen Ziegelbrennofen mit einfachem Mittellang, Seitenzügen und Schürhals wie er in Augst gefunden wurde<sup>10</sup>.

Ein Brennofen bestand aus einem Schürhals, in den das Brennmaterial eingebracht wurde, einer Feuerkammer und einer Brennkammer. Als Heizmaterial wurden Holz, Kohle oder Stroh verwendet<sup>11</sup>. Die Feuerkammer bestand meistens aus einem Mittelgang, von dem Züge in rechtem Winkel abgingen. Die Trennmauern waren ebenfalls aus Ziegeln gebaut und durch ein Tunnelgewölbe oder Bögen verbunden. Feuer – und Brennkammer waren entweder durch einen Rost getrennt oder das Brenngut wurde direkt auf die Gewölbe der Feuerkammer gelegt<sup>10</sup>. Für die Brennkammer werden verschiedene Konstruktionen diskutiert. Zum einen könnte es sich um eine Kuppel handeln, wie man sie von Töpfereiöfen kennt. Daneben gibt es auch Anhaltspunkte, dass die Kammer nur Wände hatte und erst beim Brennen abgedeckt wurde oder dass das Brenngut außen einfach mit einer Schicht Lehm verschmiert wurde.

Bei archäologischen Ausgrabungen findet man unterschiedliche Ziegel. Häufig gefundene Typen sind die für Dacheindeckungen verwendeten tegulae (Dachplatten) und imbrices (Hohlziegel, mit denen die tegulae verbunden wurden), sowie lateres (einfache Ziegel).

### 2.1.3 Organisation der Ziegelproduktion und Ziegelstempel

Abgesehen von einigen Ausnahmen wurden öffentliche Bauten in den Provinzen, anders als in Rom, nicht von privaten Produzenten sondern von Heeresziegeleien mit Baumaterial beliefert. Deshalb wurden Teile der Legionen, die so genannten vexillationes, zum Ziegeln abkommandiert. Diese Abteilungen des Heeres behielten wahrscheinlich trotz des zivilen Einsatzes militärische Kommandostrukturen bei, um im Ernstfall auch militärisch einsetzbar zu sein. Hinweise darauf liefern Ziegelstempel der cohors I Sequanorum et Rauracorum equitata sowie eine Weihinschrift, die im Kastell Miltenberg gefunden wurden<sup>12</sup>. Die Ziegeleien befanden sich häufig an Flüssen, um den Transport vom Herstellungsort zum Ort der Verwendung zu erleichtern. Bekannte Heeresziegeleien in Obergermanien lagen in Straßburg-Königshofen, Rheinzabern, Worms, Frankfurt-Nied und Groß-Krotzenburg (Abb. 2.4). Auf Grund der großen Ziegelfunde in Mainz wurde lange Zeit auch dort eine Ziegelei postuliert. Wie J. Dolata in Zusammenarbeit mit G. Schneider aber zeigen konnte, stammen die in Mainz gefundenen Ziegel ebenfalls aus den oben genannten Produktionen<sup>12</sup>.



**Abb. 2.3:** Karte der römischen Provinz Germania Superior mit dem Verlauf des Limes, den Legionslagern Straßburg und Mainz sowie den Heeresziegeleien in Straßburg-Königshofen, Rheinzabern, Worms, Frankfurt-Nied und Groß-Krotzenburg.

Die Sitte, die Ziegel vor dem Trocknen zu stempeln, wird nördlich der Alpen um die Mitte des 1. Jhdt.s n. Chr. eingeführt. Da bis jetzt bei Grabungen noch kein Stempel (signacula) gefunden wurde, wurden diese wahrscheinlich aus Holz gefertigt. Dies erklärt auch die Variationen der Stempel in Höhe und Breite, wie man sie bei den Ziegelstempeln der legio XXII Primigenia in der Rheinzaberner Produktion findet<sup>6</sup>.

Die Ziegelstempel enthalten neben dem Namen der ziegelnden Legion oder des ziegelnden Privatmannes sehr selten auch den Namen des Herstellungsortes. Namen und Beinamen der Legion ermöglichen bei bekannter Stationierungszeit dieser Truppe eine archäologische Einordnung des Bauwerkes, in dem die entsprechenden Ziegel verwendet wurden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, ob es sich um eine primäre oder sekundäre Verwendung des Baumaterials handelt. Treten gewisse Stempel in einem Bauwerk lokal begrenzt auf, ist es auch möglich, dass die entsprechenden Ziegel erst durch Reparaturmaßnahmen in den Gebäudekomplex gelangten.

Im Gegensatz zu der oben erwähnten sehr homogenen Gruppe der Rheinzaberner Ziegelstempel kennt man von der legio XXII Primigenia in Frankfurt-Nied unterschiedliche Gruppen von Stempeln, wie sie von D. Baatz ausführlich besprochen wurden<sup>6</sup>. Dies deutet auf einen längeren Produktionszeitraum in dieser Ziegelei hin als das in Rheinzabern der Fall war. Eine eigenständige Produktionsserie der legio XXII Primigenia stellen die Ziegel mit Ziegelstempel der so genannten Flörsheimer Gruppe dar. Durch Vergleiche mit Gefäßkeramik bekannter Herkunft und gefundenen Fehlbränden aus dem Tafelacker von Worms ließ sich Worms als Herstellungsort dieser Ziegel identifizieren<sup>13</sup>. Die entsprechende Ziegelei konnte allerdings noch nicht gefunden werden. Auch die Ziegel aus der Therme in Boppard, die Stempel der gleichen Gruppe tragen, konnten geochemisch der Ziegelei in Worms zugeordnet werden.

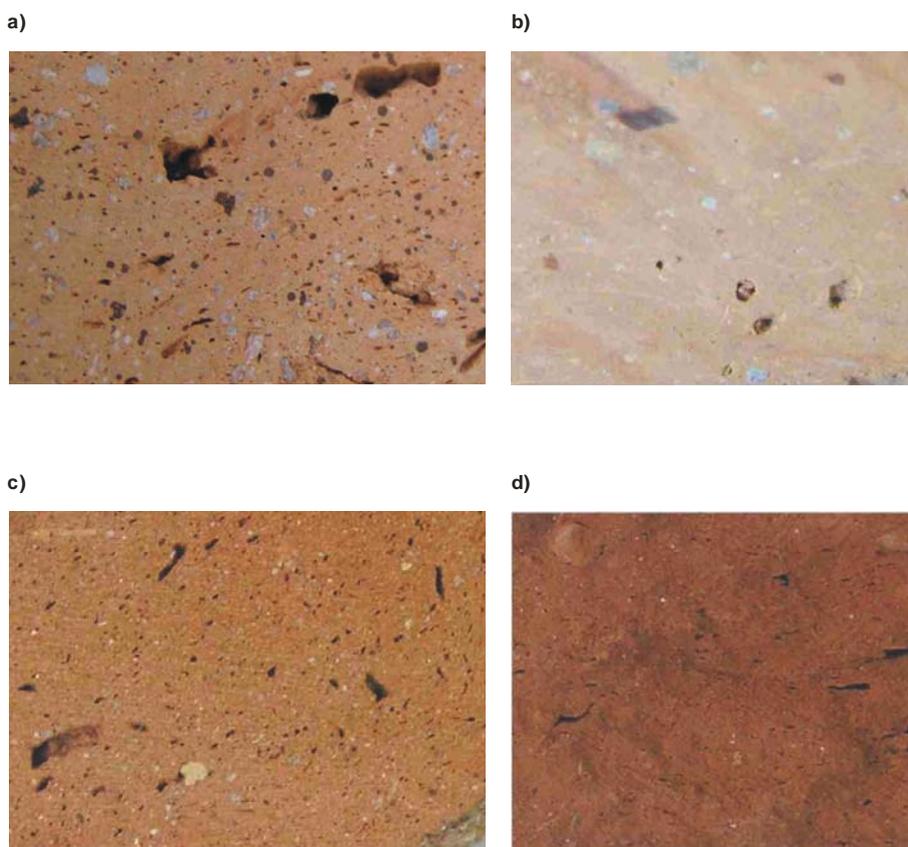


**Abb. 2.4:** Ziegelstempel der legio XXII Primigenia, Flörsheimer Gruppe, Boppard Typ 1, geborgen aus Pfeiler 3 aus den Substruktionen der östlichen Zuschauerränge des Bühnentheaters in Mainz.

## 2.2 Beschreibung des Probenmaterials

Bei den Proben handelt es sich um 116 Proben, die bereits mit RFA analysiert und den Herstellungsorten Frankfurt-Nied, Rheinzabern und Worms zugeteilt wurden. Zudem wurden noch weitere 41 Ziegelproben von verschiedenen Fundorten sowohl mit RFA als auch mit ICP vermessen. Des Weiteren wurden noch 58 Proben aus dem Bühnentheater in Mainz mit ICP untersucht.

Bei den Proben handelt es sich um Material, das auch makroskopisch sehr unterschiedlich ist. So sind die Ziegel, die dem Herstellungsort Frankfurt-Nied zugewiesen werden konnten, porös und enthalten viele grobkörnige Einschlüsse (Abb. 2.5a). Die Ziegel aus Rheinzabern und Worms erscheinen mit bloßem Auge homogener und weniger porös (Abb. 2.5b / c). Vergleicht man den gestempelten Ziegel aus dem Bühnentheater in Mainz (Abb. 2.5d) mit den Proben der Herstellungsorte Frankfurt-Nied, Rheinzabern und Worms, so lässt er sich auf Grund der Porosität und der Art der Einschlüsse am ehesten Worms zuordnen.



**Abb. 2.5:** Ziegeloberflächen von **a)** Probe G175, die der Produktion in Frankfurt-Nied zugewiesen werden konnte, **b)** H294 aus der Produktion in Rheinzabern, **c)** H839 wurde in Worms produziert, **d)** 607: Ziegelprobe aus dem Mainzer Bühnentheater. 

Des Weiteren wurden einige Proben als Dünnschliffe mikroskopisch untersucht. Diese Methode dient vor allem Mineralogen und Geologen zur Charakterisierung von Proben. Dazu wird das Probenmaterial mit Spezialharz auf einen Glasträger aufgebracht und auf eine Dicke von etwa 20 µm geschliffen. Mit Hilfe eines Durchlichtmikroskops können dann einzelne Mineralphasen identifiziert werden. Im polarisierten Licht können verschiedene Minerale anhand der Farbe und der Lichtbrechung unterschieden werden. Betrachtet man die Probe unter Verwendung von gekreuzten Polarisatoren lassen sich optisch einachsige von optisch zweiachsigen Mineralen unterscheiden. Die Interferenzfarben, die dabei beobachtet werden können, geben einen weiteren Hinweis auf das vorliegende Mineral.

Die Farbe der Ziegel wird zum einen durch den Eisengehalt des verwendeten Tons, zum anderen durch die Bedingungen beim Brand bestimmt. Unter Luftzufuhr bilden sich die roten Oxide des Fe(III) wie z.B. der Hämatit  $Fe_2O_3$ . Unter Reduktionsbedingungen erhält man dagegen die dunklen Oxide des Fe(II) wie Magnetit  $Fe_3O_4$  oder Eisenmonoxid  $FeO$ . Bei manchen Proben wie F105 und F108 (Tab. 2.1) finden sich solche dunklen so genannten Reduktionskerne. Farblich sind die Ziegel aus allen hier untersuchten Produktionen sehr ähnlich. Das zeigt, dass die von den Römern abgebauten Tonlagerstätten einen ähnlichen Eisengehalt besitzen. Dies konnte auch durch chemische Analysen bestätigt werden.

**Tab. 2.1:** Im Dünnschliff gefundene Merkmale, die die mechanischen Eigenschaften des Ziegels beeinflussen und durch die Herstellung bedingt sind. Die Farben wurden nach internationalen Farbkarten, Munsell Soil Charts, bestimmt. Unter „Toneinschlüsse“ sind auch die teilweise auftretenden randlichen Verfärbungen aufgeführt.

| Probe | Porengröße | Korngröße | Farbe      |                                     | Herstellung |
|-------|------------|-----------|------------|-------------------------------------|-------------|
|       |            |           | Matrix     | Toneinschlüsse                      |             |
| G149  | < 5 mm     | < 1,5 mm  | 5 YR 5/8   | —                                   | Rheinzabern |
| G150  | < 8 mm     | < 1,2 mm  | 5 YR 5/8   | 2.5 R 4/8                           | Rheinzabern |
| G152  | < 1,2 mm   | < 1,1 mm  | 5 YR 5/8   | 2.5 R 2.5/2                         | Rheinzabern |
| G153  | < 1,2 mm   | < 1,1 mm  | 5 YR 5/8   | 5 YR 6/8                            | Rheinzabern |
| G158  | < 4 mm     | < 2 mm    | 5 YR 5/8   | 5 YR 6/8                            | Rheinzabern |
| F105  | < 1,5 mm   | < 1 mm    | 2.5 YR 4/8 | oben 7.5 YR 5/8<br>unten 7.5 YR 3/4 | Worms       |
| F106  | < 6 mm     | < 0,5 mm  | 2.5 YR 4/8 | 10 R 4/8 bzw.<br>7.5 R 7/4          | Worms       |

| Probe | Porengröße | Korngröße | Farbe      |                                   | Herstellung    |
|-------|------------|-----------|------------|-----------------------------------|----------------|
|       |            |           | Matrix     | Toneinschlüsse                    |                |
| F108  | < 2 mm     | < 1 mm    | 5 YR 5/6   | Rand 7.5 YR 7/4<br>sonst 5 YR 3/2 | Worms          |
| G131  | < 4 mm     | < 0,5 mm  | 7.5 YR 5/8 | —                                 | Worms          |
| G143  | < 9 mm     | < 1 mm    | 10 YR 6/1  | oben 10 R 5/1<br>unten 7.5 YR 4/6 | Worms          |
| F121  | < 1,2 mm   | < 1,2 mm  | 5 YR 5/8   | Rand 7.5 YR 5/8                   | Frankfurt-Nied |
| F122  | < 1,5 mm   | < 1,2 mm  | 5 YR 5/8   | 2.5 YR 5/8                        | Frankfurt-Nied |
| F124  | < 1 mm     | < 1 mm    | 5 YR 5/8   | 2.5 YR 5/8                        | Frankfurt-Nied |
| G006  | < 2 mm     | < 1 mm    | 5 YR 5/8   | 2.5 YR 5/8                        | Frankfurt-Nied |
| G022  | < 2 mm     | < 2 mm    | 5 YR 5/8   | 7.5 YR 7/4                        | Frankfurt-Nied |
| G163  | < 8 mm     | < 1 mm    | 5 YR 5/8   | 10 R 3/4                          | Frankfurt-Nied |

Die Toneinschlüsse sind oft in Form von andersfarbigem Ton im Ziegelkörper zu beobachten. Anhand der Form von Schlieren und Poren kann man auf die Art der Verarbeitung des Tons schließen. In den untersuchten Ziegeln findet man längliche Poren (Abb. 2.6a), die durch das Einstreichen des Tons in den Rahmen zur Formgebung entstehen, da der Ton dabei nicht ausreichend gewalkt wurde. Auch die Schlieren von andersfarbigem Ton, in diesem Fall von eisenärmerem Ton (Abb. 2.6b), erhalten ihre Form durch das Einstreichen des Tons in den Rahmen.

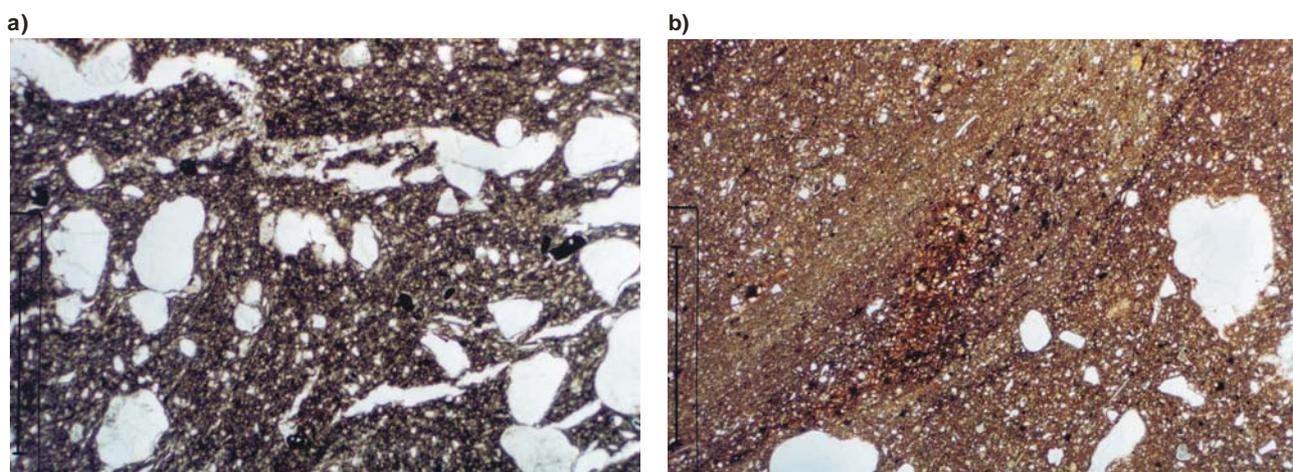
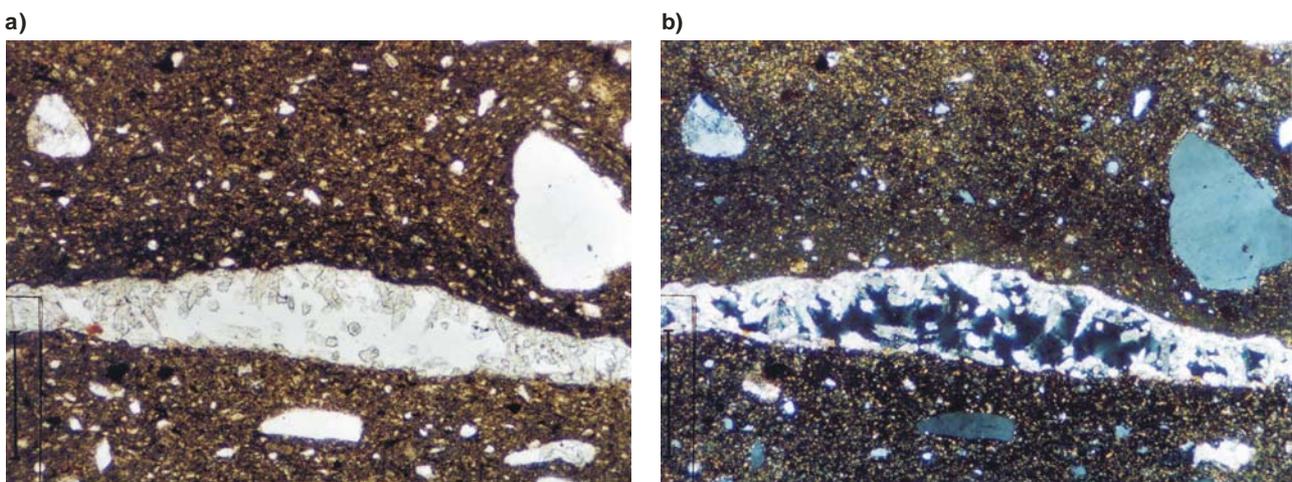


Abb. 2.6: a) Poren im Ziegel F124 aus der Produktion in Frankfurt-Nied; b) Schlieren aus eisenärmerem Ton

in der Matrix des Ziegels G150, hergestellt in Rheinzabern. 1 mm

Bei den hier untersuchten Ziegeln handelt es sich um Grobkeramik, d.h. um poröses Material. Da die Brenntemperatur nicht hoch genug war, um Glasphasen zu bilden und die Oberfläche zu verschließen, kann während der Bodenlagerung Wasser in den Ziegel eindringen. Auf diese Weise können Ionen in dem Ziegel mobilisiert werden. Außerdem kann das Wasser gelöste Bestandteile aus dem umgebenden Mauerwerk in den Ziegelkörper eintragen. Die Salze kristallisieren dann in den Poren des Ziegels aus (Abb. 2.7). In einer Pore der Probe G153, die in Rheinzabern hergestellt wurde, konnten sekundär gebildete Calciumcarbonat - Kristalle gefunden werden. Solche Kristalle fand auch Benjamin Cappi bei der Untersuchung der Materialeigenschaften von Ziegeln des Mainzer Bühnentheaters<sup>14</sup>. Diese Prozesse können die chemische Analyse verfälschen, da sich die ausgewaschenen Ionen im Tonkörper ab- und in den Poren oder an der Oberfläche anreichern. Solange die abgeschiedenen Salze aus dem Ziegel selbst stammen, kann diese lokale Konzentrationsänderung durch eine ausreichend große Probenmenge kompensiert werden. In dieser Arbeit wurde deshalb immer etwa 5g Probenmaterial aus den Ziegeln entnommen und homogenisiert.

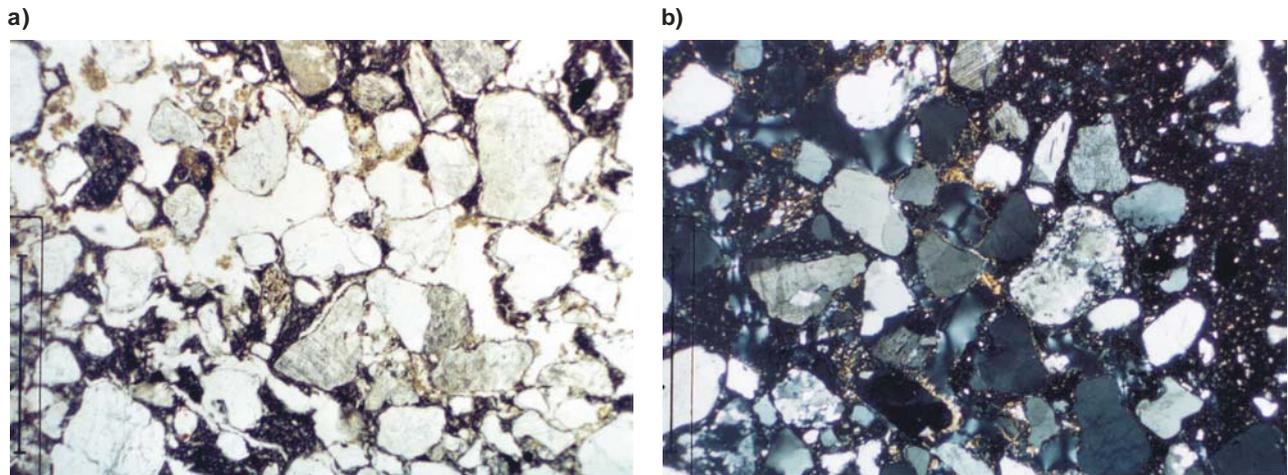


**Abb. 2.7:** Aufnahme von sekundär gebildeten  $\text{CaCO}_3$  - Kristallen in den Poren der Probe G153, hergestellt

in Rheinzabern. **a)** mit einem Polarisator, **b)** mit gekreuzten Polarisatoren.  $\left| \frac{250 \mu\text{m}}{\quad} \right|$

Auch ist der bei der Ziegelherstellung verwendete Ton sehr inhomogen. Wie in Abb. 2.6b zu sehen ist, wechseln Bereiche mit grobkörniger Magerung mit solchen, in denen nur feine Körner zu sehen sind, ab. Besonders auffällig ist dies bei den Ziegeln, die in Frankfurt-Nied hergestellt wurden. Bei diesen Proben treten ganze Bänder von Magerung auf, was dazu führt, dass die Ziegel instabil gegen mechanische Belastung werden. Im Dünnschliff sieht man, dass in diesen Bereichen praktisch keine Tonmatrix vorhanden ist, die die Körner aneinander binden könnte (Abb. 2.8). Auch die

Lage der Bänder in den Ziegeln deutet auf ein Einstreichen der Tonmasse in den Holzrahmen zur Formgebung der Ziegel hin.

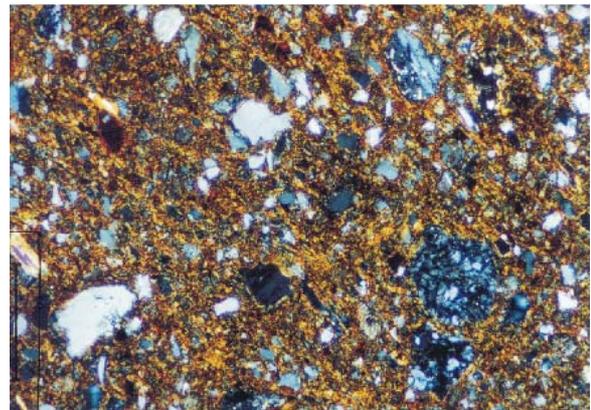
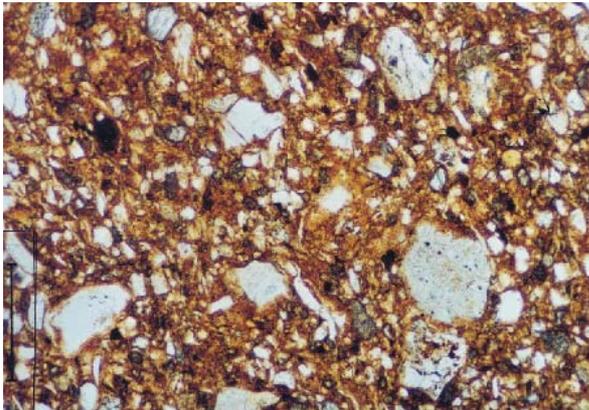


**Abb. 2.8:** Dünnschliff eines Bereichs der Probe F124, in dem fast ausschließlich Magerung zu finden ist

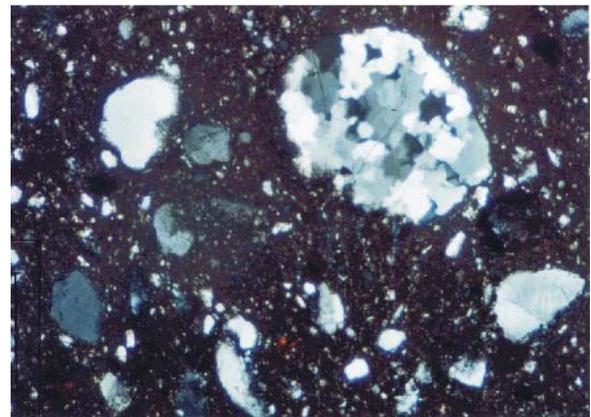
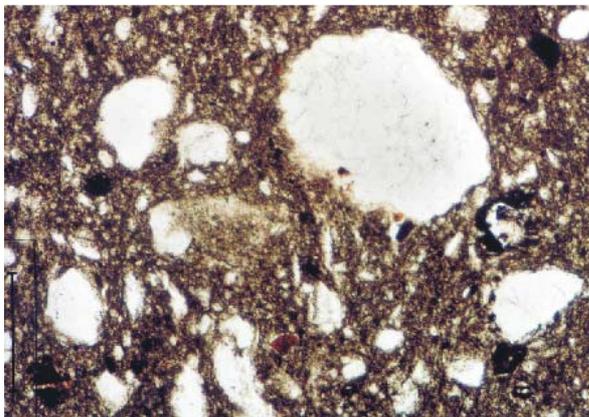
a) mit nur einem Polarisator, b) mit gekreuzten Polarisatoren. 1 mm

Die Magerung besteht aus gerundeten Körnern, was auf ein sekundäres Sediment schließen lässt. Sie besteht hauptsächlich aus Quarz und Alkalifeldspäten. Die Kanten der Körner wurden während des Transports, vermutlich in einem Fluss, abgeschliffen. Zwischen der Magerung erkennt man viele kleine Poren. Es ist davon auszugehen, dass diese Inhomogenität ein Merkmal der Tonlagerstätte ist, die in Frankfurt-Nied zur Herstellung von Baukeramik abgebaut wurde, da eine aufwendige Aufbereitung des Tons bei der Herstellung von Ziegeln nicht zu erwarten ist.

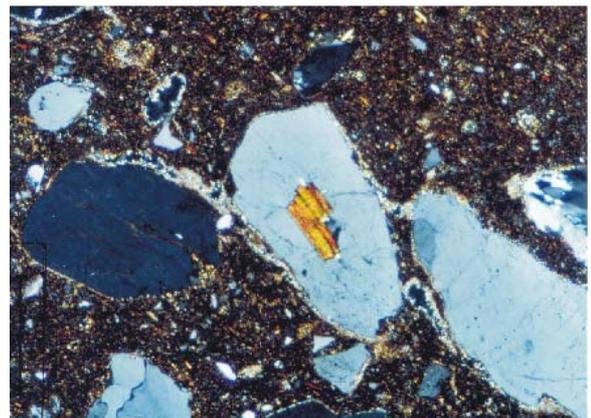
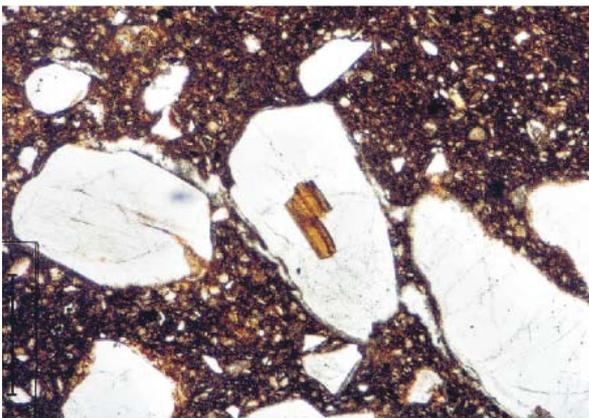
a)



b)



c)



**Abb. 2.9:** Aufnahmen von Dünnschliffen von Ziegelproben aus Worms, Frankfurt-Nied und Rheinzabern; **links:** unter Verwendung eines Polarisators, **rechts:** unter Verwendung gekreuzter Polarisatoren.

**a)** F105: Worms; **b)** F124: Frankfurt-Nied; **c)** G150: Rheinzabern.  $\left| \frac{250 \mu m}{\quad} \right|$

Die häufigste mineralische Komponente in der Magerung ist der Quarz. Quarze sind in der Regel frei von Einschlüssen<sup>15,16</sup>, können aber auch wie in Abb. 2.9c Einschlüsse von Glimmer wie den braunen Biotit aufweisen. Seltener findet man in den Proben auch Chlorit. In allen untersuchten Ziegeln finden sich Alkalifeldspäte, wobei die typische Gitterung des Mikroklin am ehesten ins Auge fällt (Abb. 2.9b). Plagioklase fehlen in den untersuchten Dünnschliffen völlig. In allen Ziegeln finden sich opake Einschlüsse, die sich im Dünnschliff nicht sicher identifizieren lassen. Es dürfte sich dabei um Erzminerale oder um Umwandlungsprodukte aus Eisenverbindungen handeln. In manchen Dünnschliffen ließen sich auch Epidot und die Schwerminerale Apatit, Turmalin und Zirkon nachweisen.

## 2.3 Probenvorbereitung

### 2.3.1 Experimentelle Durchführung

Da die Messergebnisse dieser Arbeit mit den RFA - Ergebnissen aus der Dissertation von Jens Dolata<sup>13</sup> verglichen werden sollten, erfolgte die Probennahme in der dort beschriebenen Weise. Die Ziegelsteine wurden noch vor Ort von dem Archäologen mit 24%iger technischer Salzsäure gereinigt, um organische Rückstände und Mörtelreste zu entfernen und damit den Ziegelstempel sichtbar zu machen. Anschließend wurde ein Bohrkern von ca. 5 cm Durchmesser aus dem Ziegelstein entnommen und von diesem 4 - 5 g Probe heraus gebrochen. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Reste der Ziegeloberfläche in der Probe enthalten waren. War dies doch der Fall, wurde die Oberfläche durch Abschleifen entfernt. Des Weiteren wurden Einschlüsse, die nicht statistisch über die Probe verteilt waren, durch Ausbohren entfernt, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. Anschließend wurden die Proben mit entionisiertem Wasser für 7 min im Ultraschallbad gereinigt und 5h im Trockenschrank bei 110°C getrocknet. Danach wurden sie in einer Achat-Kugelmühle auf eine Korngröße < 50 µm gemahlen, um die Proben zu homogenisieren. Für die Säureaufschlüsse wurde das Pulver bei 110°C über Nacht getrocknet und dann direkt aufgeschlossen.

Für die RFA - Messungen musste das Pulver zuerst noch bei 880°C für 1,5h geglüht und der Glühverlust bestimmt werden. Danach wurde aus 1g Probe und 4g einer 1:2 Mischung  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  :  $\text{LiBO}_2$  (Spectromelt<sup>®</sup> A12 von Merck) bei 1140°C in einer Pt-Kokille Schmelztabletten hergestellt, die dann mit WD-RFA vermessen werden konnten.

### 2.3.2 Einfluss der Probennahme auf die Ergebnisse

Über die Art der Probennahme herrschen in Fachkreisen unterschiedliche Ansichten. Teilweise werden alle gröberen Einschlüsse aus dem Probenmaterial vor dem Pulverisieren entfernt<sup>17</sup> (Probenbezeichnung ohne ‚w‘ im Namen in Tab. 2.2), andere verwenden das entnommene Probenmaterial ohne weitere Behandlung<sup>14</sup> (Probenbezeichnung mit ‚w‘ im Namen in Tab. 2.2). Es sollte nun untersucht werden, inwieweit die Probennahme sich auf die gemessenen Elementkonzentrationen auswirkt.

**Tab. 2.2:** Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Probennahme. Bei den Proben ohne ‚w‘ wurden Einschlüsse vor dem Pulverisieren entfernt; bei den Proben mit ‚w‘ wurden nur enthaltene Sandkörner aus der Probe gebrochen.

| Probe | SiO <sub>2</sub> [%] | TiO <sub>2</sub> [%] | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%] | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%] | MnO[%] | MgO[%] | CaO[%]  | Na <sub>2</sub> O[%] | K <sub>2</sub> O[%] |
|-------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|---------|----------------------|---------------------|
| F106  | 67,95                | 0,7051               | 13,307                             | 5,166                              | 0,0813 | 2,265  | 6,1534  | 0,960                | 3,408               |
| F106w | 69,45                | 0,6528               | 13,99                              | 4,628                              | 0,0807 | 2,09   | 5,3305  | 1,155                | 2,619               |
| F125  | 74,95                | 1,4861               | 15,108                             | 4,978                              | 0,0292 | 0,809  | 0,4642  | 0,270                | 1,904               |
| F125w | 76,00                | 1,6120               | 14,58                              | 4,641                              | 0,0281 | 0,7781 | 0,4496  | 0,2296               | 1,682               |
| F132  | 69,37                | 1,6995               | 19,098                             | 5,641                              | 0,0176 | 1,004  | 0,4930  | 0,400                | 2,276               |
| F132w | 78,15                | 1,7750               | 12,82                              | 4,315                              | 0,0154 | 0,5781 | 0,39835 | 0,2669               | 1,682               |
| F134  | 71,05                | 1,7868               | 18,566                             | 4,017                              | 0,0214 | 1,114  | 0,5563  | 0,253                | 2,631               |
| F134w | 70,13                | 1,8170               | 19,41                              | 3,631                              | 0,0219 | 1,151  | 0,85145 | 0,2972               | 2,695               |
| F135  | 75,94                | 1,6526               | 15,206                             | 3,846                              | 0,0210 | 0,725  | 0,4205  | 0,311                | 1,879               |
| F135w | 71,80                | 2,4125               | 19,08                              | 3,163                              | 0,0188 | 0,7089 | 0,5385  | 0,3299               | 1,953               |
| G026  | 72,73                | 1,8332               | 16,766                             | 4,715                              | 0,0197 | 0,773  | 0,5709  | 0,490                | 2,107               |
| G026w | 70,68                | 1,8405               | 19,39                              | 4,159                              | 0,0203 | 0,9228 | 0,6293  | 0,2423               | 2,111               |
| G038  | 76,99                | 1,6846               | 12,464                             | 5,329                              | 0,0637 | 0,601  | 0,4892  | 0,320                | 2,056               |
| G038w | 80,29                | 1,7965               | 10,48                              | 5,018                              | 0,0617 | 0,3636 | 0,43945 | 0,3111               | 1,236               |
| G071  | 65,90                | 0,5993               | 14,080                             | 5,241                              | 0,0556 | 2,559  | 6,5855  | 0,856                | 4,122               |
| G071w | 67,49                | 0,6208               | 15,8                               | 5,01                               | 0,0614 | 2,372  | 5,47    | 0,2767               | 2,903               |
| G130  | 67,98                | 0,7849               | 14,907                             | 5,248                              | 0,0656 | 2,198  | 4,2465  | 0,652                | 3,914               |
| G130w | 68,96                | 0,8162               | 15,85                              | 4,976                              | 0,0673 | 1,867  | 3,8525  | 0,773                | 2,834               |
| G163  | 76,94                | 1,8870               | 13,066                             | 5,622                              | 0,0502 | 0,440  | 0,3057  | 0,474                | 1,219               |
| G163w | 79,47                | 1,9490               | 11,74                              | 4,746                              | 0,0491 | 0,3882 | 0,30595 | 0,2527               | 1,097               |
| G166  | 76,02                | 1,6440               | 12,961                             | 6,041                              | 0,0900 | 0,548  | 0,6246  | 0,468                | 1,601               |
| G166w | 75,70                | 1,8645               | 13,4                               | 5,709                              | 0,0884 | 0,6056 | 0,59765 | 0,4646               | 1,568               |
| G167  | 79,71                | 1,1705               | 10,888                             | 4,953                              | 0,1157 | 0,531  | 0,5565  | 0,493                | 1,583               |
| G167w | 79,39                | 1,2960               | 10,01                              | 4,982                              | 0,1192 | 0,4071 | 1,799   | 0,5428               | 1,382               |
| H254  | 73,15                | 1,8093               | 13,829                             | 6,948                              | 0,0521 | 1,004  | 0,5617  | 0,305                | 2,338               |
| H254w | 75,70                | 1,9935               | 12,72                              | 6,553                              | 0,0539 | 0,6895 | 0,5219  | 0,3096               | 1,461               |
| H307  | 60,40                | 0,7144               | 17,396                             | 5,647                              | 0,0803 | 2,380  | 9,6219  | 0,574                | 3,184               |
| H307w | 64,33                | 0,6620               | 15,78                              | 4,721                              | 0,0683 | 2,463  | 8,742   | 0,646                | 2,592               |
| H317  | 56,80                | 0,7348               | 17,173                             | 5,850                              | 0,0873 | 2,787  | 12,5860 | 0,659                | 3,327               |
| H317w | 63,75                | 0,6222               | 14,71                              | 4,636                              | 0,0691 | 2,342  | 10,38   | 0,744                | 2,744               |
| H339  | 55,60                | 0,6042               | 15,181                             | 5,487                              | 0,1115 | 2,241  | 17,1408 | 0,610                | 3,027               |
| H339w | 60,01                | 0,5936               | 14,09                              | 4,791                              | 0,0991 | 2,093  | 14,85   | 0,7606               | 2,708               |

| Probe | SiO <sub>2</sub> /[%] | TiO <sub>2</sub> /[%] | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /[%] | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /[%] | MnO/[%] | MgO/[%] | CaO/[%] | Na <sub>2</sub> O/[%] | K <sub>2</sub> O/[%] |
|-------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|-----------------------|----------------------|
| H345  | 52,40                 | 0,7011                | 15,973                              | 5,491                               | 0,1161  | 2,699   | 18,9079 | 0,577                 | 3,135                |
| H345w | 57,80                 | 0,5978                | 14,34                               | 4,703                               | 0,1139  | 2,422   | 16,62   | 0,6934                | 2,71                 |
| H349  | 48,86                 | 0,7175                | 17,825                              | 6,332                               | 0,1068  | 2,891   | 18,7444 | 0,716                 | 3,811                |
| H349w | 61,42                 | 0,5813                | 13,19                               | 4,441                               | 0,0877  | 2,098   | 14,805  | 0,7188                | 2,661                |
| H354  | 56,56                 | 0,7814                | 18,071                              | 6,260                               | 0,0986  | 2,989   | 11,0737 | 0,693                 | 3,469                |
| H354w | 61,41                 | 0,6773                | 16,72                               | 5,218                               | 0,0828  | 2,556   | 9,5445  | 0,8204                | 2,969                |
| H365  | 59,83                 | 0,6659                | 16,335                              | 5,375                               | 0,0759  | 2,557   | 11,4758 | 0,685                 | 2,996                |
| H365w | 63,14                 | 0,6511                | 15,78                               | 4,721                               | 0,0683  | 2,463   | 9,7105  | 0,8232                | 2,639                |
| H875  | 64,99                 | 0,6648                | 15,899                              | 5,838                               | 0,0636  | 2,808   | 4,7796  | 0,813                 | 4,148                |
| H875w | 67,61                 | 0,6607                | 15,98                               | 5,238                               | 0,0623  | 2,266   | 4,2675  | 1,013                 | 2,902                |
| H883  | 68,52                 | 0,6654                | 13,276                              | 4,855                               | 0,0217  | 2,359   | 5,7248  | 0,933                 | 3,645                |
| H883w | 68,47                 | 0,6319                | 14,18                               | 4,647                               | 0,0592  | 2,272   | 5,8205  | 1,112                 | 2,807                |

Wie in Tab. 2.2 zu sehen ist, variieren viele der Hauptelementgehalte doch deutlich, besonders die von Fe und Al. Da viele der Einschlüsse eine deutlich rote Färbung zeigten, ist anzunehmen, dass es sich um Eisenminerale handelte. Da die Si Gehalte als Differenz der übrigen Hauptelemente zu 100% berechnet werden, addieren sich hier die Messfehler der anderen Elemente. Es war also zu prüfen, ob sich diese Proben bei der statistischen Untersuchung trotz der differierenden Ergebnisse noch in die gleichen Gruppen einordnen lassen würden.

**Tab. 2.3:** Statistische Zuordnung der Proben zu den Herstellungsorten bei unterschiedlicher Probennahme. Bei den Proben ohne ‚w‘ wurden die Einschlüsse vor dem Pulverisieren entfernt; bei den Proben mit ‚w‘ wurden nur Sandkörner aus der Probe gebrochen.

| Probe | Zuordnung | Probe | Zuordnung | Probe | Zuordnung |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| F106  | Worms     | G163  | FN        | H349  | RZ        |
| F106w | Worms     | G163w | FN        | H349w | RZ        |
| F125  | FN        | G166  | FN        | H354  | RZ        |
| F125w | FN        | G166w | FN        | H354w | RZ        |
| F132  | FN        | G167  | FN        | H365  | RZ        |
| F132w | FN        | G167w | FN        | H365w | RZ        |
| F134  | FN        | H254  | FN        | H875  | Worms     |
| F134w | FN        | H254w | FN        | H875w | Worms     |
| F135  | FN        | H307  | RZ        | H883  | Worms     |
| F135w | FN        | H307w | RZ        | H883w | Worms     |
| G026  | FN        | H317  | RZ        |       |           |
| G026w | FN        | H317w | RZ        |       |           |
| G035  | FN        | H339  | RZ        |       |           |
| G038w | FN        | H339w | RZ        |       |           |
| G130  | Worms     | H345  | RZ        |       |           |
| G130w | Worms     | H345w | RZ        |       |           |

Wie in Tab. 2.3 zu sehen ist, werden die Proben also durch die Entfernung der Einschlüsse nicht so stark verändert, dass sie statistisch einer anderen Provenienz zugeordnet werden. Somit spielt

die Probennahme für solche inhomogenen Materialien keine wesentliche Rolle. Bei Fein-keramik, bei der der Ton vor der Verwendung aufbereitet wurde und die damit engere Gruppen in der Statistik bildet, kann man von stärkeren Abweichungen ausgehen.

### 2.3.3 Einfluss der Reinigung mit konz. Salzsäure auf die Ziegel

Ziegeln, die auf einer Grabung geborgen werden, haften oft noch Reste des umgebenden Mauerwerks wie z.B. Mörtel oder organische Verunreinigungen aus dem Boden an. Deshalb reinigen Archäologen die Ziegel gründlich, um die in die Ziegeloberfläche eingepprägten Ziegelstempel dokumentieren zu können. Dabei werden die Ziegel über Nacht in Leitungswasser gelegt bis sie sich vollständig mit Wasser voll gesogen haben. Dann werden die Ziegel mit technischer 24%iger Salzsäure abgespült und erneut über Nacht gewässert. Ziegel, denen hartnäckige Verunreinigungen anhaften, werden sogar mehrmals mit Säure gewaschen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob sich die Ziegelzusammensetzung dabei merklich verändert. Dazu wurden drei Ziegel aus dem Bühnentheater in Mainz nach der Bergung mechanisch gereinigt. Dann wurden die Ziegel in drei Teile zerlegt. Ein Teil der Ziegel wurde nicht weiterbehandelt (834, 839, 842), ein Teil wie oben beschrieben gewässert und einmal mit Salzsäure gewaschen (835, 837, 840) und der dritte Teil mehrmals mit Säure gereinigt (836, 838, 841). In Tab. 2.4 sind nur die Elemente aufgeführt, die zum Vergleich von ICP und RFA herangezogen wurden.

**Tab. 2.4:** Vergleich der Zusammensetzung eines Ziegels bei unterschiedlicher Reinigung. 834-835, 837-839 und 840-842 stammen jeweils von einem Ziegel. Die erste Zeile jeder Zelle enthält die nur abgebürstete Probe, die zweite den einfach mit Säure gereinigten, die dritte den mehrfach gereinigten Ziegel.

| Element    | SiO <sub>2</sub> /[%] | TiO <sub>2</sub> /[%] | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /[%] | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /[%] | MnO/[%] | MgO/[%] |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|
| <b>834</b> | 65,03                 | 0,6574                | 15,25                               | 4,718                               | 0,0653  | 2,429   |
| <b>835</b> | 66,10                 | 0,6292                | 14,94                               | 4,528                               | 0,0624  | 2,273   |
| <b>836</b> | 66,87                 | 0,6095                | 14,57                               | 4,390                               | 0,0611  | 2,179   |
| <b>839</b> | 61,66                 | 0,6273                | 14,84                               | 4,997                               | 0,0946  | 2,650   |
| <b>837</b> | 60,71                 | 0,6438                | 15,37                               | 5,210                               | 0,0966  | 2,745   |
| <b>838</b> | 61,71                 | 0,6317                | 14,97                               | 5,000                               | 0,0954  | 2,659   |
| <b>842</b> | 65,97                 | 0,5372                | 12,78                               | 3,919                               | 0,0600  | 1,911   |
| <b>840</b> | 64,24                 | 0,5922                | 13,90                               | 4,355                               | 0,0655  | 2,151   |
| <b>841</b> | 64,89                 | 0,5735                | 13,65                               | 4,287                               | 0,0664  | 2,125   |

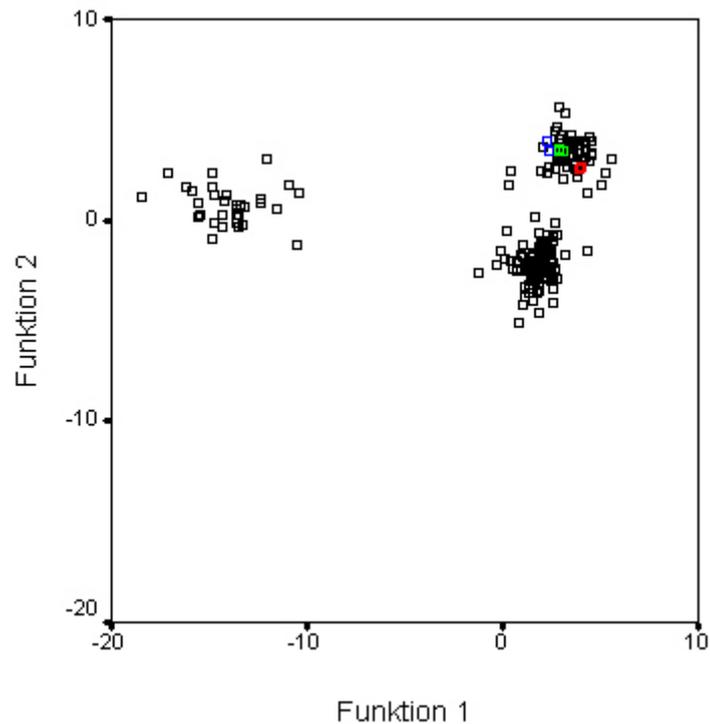
| Element    | CaO/[%] | Na <sub>2</sub> O/[%] | K <sub>2</sub> O/[%] | V/ $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]$ | Cr/ $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]$ | Ni/ $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]$ |
|------------|---------|-----------------------|----------------------|---|--|--|
| <b>834</b> | 8,067   | 0,9398                | 2,846                | 1201,97   | 114,61   | 53,01  |
| <b>35</b>  | 7,692   | 0,9347                | 2,841                | 793,47  | 108,77   | 50,36  |
| <b>836</b> | 7,649   | 0,9130                | 2,753                | 978,80  | 105,39   | 48,77  |

| Element | CaO    | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | V/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Cr/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Ni/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ |
|---------|--------|-------------------|------------------|---|--|--|
| 839     | 11,570 | 0,8154            | 2,752            | 1567,33                                       | 81,74  | 58,70  |
| 837     | 11,522 | 0,8202            | 2,887            | 1378,33                                       | 77,40  | 57,22  |
| 838     | 11,320 | 0,8083            | 2,798            | 1496,33                                       | 79,55  | 59,11  |
| 842     | 11,753 | 0,7814            | 2,291            | 1091,23                                       | 85,15  | 46,42  |
| 840     | 11,430 | 0,8300            | 2,435            | 1046,67                                       | 93,62  | 54,03  |
| 841     | 11,432 | 0,7437            | 2,233            | 1041,63                                       | 90,42  | 50,04  |

| Element | Cu/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Zn/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Sr/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Y/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Zr/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Nb/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ |
|---------|--|--|--|---|--|--|
| 834     | 40,4   | 219,0  | 294,9  | 28,66   | 93,5   | 15,72  |
| 835     | 40,9   | 215,7  | 275,6  | 28,18   | 116,6  | 14,91  |
| 836     | 37,7   | 206,9  | 271,8  | 26,17   | 95,5   | 14,34  |
| 839     | 41,8   | 99,0   | 366,8  | 23,42   | 83,5   | 15,83  |
| 837     | 42,1   | 102,3  | 350,0  | 23,08   | 86,8   | 15,19  |
| 838     | 42,7   | 99,1   | 362,9  | 23,50   | 94,8   | 15,48  |
| 842     | 34,9   | 76,7   | 347,5  | 19,59   | 83,1   | 13,01  |
| 840     | 42,3   | 88,5   | 363,1  | 21,20   | 80,2   | 14,14  |
| 841     | 37,7   | 84,0   | 313,6  | 21,19   | 82,2   | 13,73  |

| Element | Ba/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | La/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Ce/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Pb/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ | Th/ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$ |
|---------|--|--|--|--|--|
| 834     | 437,7  | 29,47  | 59,34  | 44,30  | 11,31  |
| 835     | 431,2  | 29,03  | 56,85  | 43,78  | 10,75  |
| 836     | 427,4  | 27,43  | 53,14  | 40,65  | 10,14  |
| 839     | 360,7  | 29,49  | 56,56  | 23,42  | 9,68   |
| 837     | 372,9  | 29,29  | 55,68  | 22,55  | 9,53   |
| 838     | 362,2  | 29,02  | 55,51  | 23,12  | 9,27   |
| 842     | 325,2  | 25,48  | 48,96  | 19,03  | 7,73   |
| 840     | 346,6  | 27,68  | 53,37  | 20,61  | 8,58   |
| 841     | 330,4  | 26,65  | 51,42  | 20,80  | 8,36   |

Die erhaltenen Variationen in den gemessenen Konzentrationen sind so gering, dass sie auf die Inhomogenität der Proben zurückzuführen sind und nicht auf Veränderungen durch die Reinigung. Auch lässt sich keine Systematik in den Konzentrationsschwankungen zwischen den Proben erkennen. Betrachtet man die Proben in der Auftragung der statistischen Zuordnung zu den Herstellungsorten, so liegen die Punkte der Proben praktisch übereinander.



**Abb. 2.10:** Zuordnung der unterschiedlich gereinigten Proben zu der Herstellungsprovenienz Worms (Diskriminanzanalyse und Berechnung der 1. und 2. Diskriminanzfkt. s. Kap. 5). Rot (834-836), blau (837-839), grün (840-842).

Dass die Zusammensetzung der Ziegel sich unter Einwirkung der Säure nicht ändert, lässt darauf schließen, dass die ursprüngliche Brenntemperatur höher als 900°C lag. Denn erst ab dieser Temperatur wird Ca vollständig in die Silikatmatrix eingeschlossen, so dass sich in der Bodenlagerung kein  $\text{CaCO}_3$  zurückbilden kann, das dann mit Säure ausgewaschen wird. Wie G. Schneider bei niedriger gebrannter Terra Sigilata zeigen konnte, sind hauptsächlich Verluste in diesem Element zu erwarten<sup>17</sup>. Bei den untersuchten Ziegeln konnte allerdings kein Säureeinfluss gefunden werden, weshalb die Ziegel unabhängig von ihrer Reinigung statistisch den Herstellungsorten zugeordnet werden können.

## Literaturverzeichnis

- [1] Klien, M.J. (Hrsg.); Die Römer und ihr Erbe, Verlag Philipp von Zabern; Mainz, **2003**.
- [2] Hrsg. Cüppers, Heinz; Die Römer in Rheinland-Pfalz, Theiss Verlag; Stuttgart, **1990**.
- [3] Witteyer, Marion; Mainz, Geschichte einer Stadt; S. 1021-1058; Hrsg. Dumont, Franz et al.; Verlag Phillip von Zabern; Mainz, **1998**.
- [4] Ziethen, Gabriele; Mainz, Geschichte einer Stadt; S. 39-76; Hrsg. Dumont, Franz et al.; Verlag Phillip von Zabern; Mainz, **1998**.
- [5] Streifzüge durch das sichtbare römische Mainz; Initiative römisches Mainz e.V.; **2001**.
- [6] Dolata Jens; Der Worms Gau, 20, S. 43 – 77; **2001**.
- [7] Rupprecht Gerd; Antike Welt, 31; **2000**.
- [8] Lechtman Heather N.; Ceramics and civilization, Vol.III, S. 81 – 128; **1987**.
- [9] White K.D.; Greek and Roman technology; Thomas and Hudson; London, **1984**.
- [10] Berger Ludwig; Ausgrabungen in Augst III; Ein römischer Ziegelbrennofen bei Kaiseraugst, Buchdruckerei Gasser & Cie AG; Basel, **1969**.
- [11] Brick; Roman tiles; British Archaeological Reports, 411, S. 40; **1979**.
- [12] Dolata Jens; Saalburg-Jahrbuch, 49, S. 93 – 94; **1998**.
- [13] Dolata Jens; Inauguraldissertation; Frankfurt a.M., **2000**.
- [14] Cappi, Benjamin; Studienarbeit; Höhr-Grenzhausen, **2004**.
- [15] Riederer, J.; Charakterisierung und Herkunftsbestimmung archäologischer Keramiken mit mikroskopischen Methoden; Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern, 50, S. 331 - 338; Jahrbuch **2002**.
- [16] Pichler, Hans; Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff; Enke Verlag; Stuttgart, **1987**.
- [17] persönliches Gespräch mit G. Schneider.
- [18] Boppert, W.; Militärische Grabdenkmäler aus Mainz und Umgebung; Verlag des römisch-germanischen Zentralmuseums; Mainz, **1992**.