

Zeitschrift: Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst
Herausgeber: Augusta Raurica
Band: 14 (1993)

Artikel: Die Baukeramik von Augusta Raurica : eine mineralogisch-chemisch-technische Untersuchung : zur Herstellung und Verbreitung der in Kaiseraugst produzierten Ziegel der Legio Prima Martia
Autor: Maggetti, Marino / Galetti, Giulio
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-395550>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.04.2026

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

Die Baukeramik von Augusta Raurica – eine mineralogisch-chemisch-technische Untersuchung

Zur Herstellung und Verbreitung der in Kaiseraugst produzierten Ziegel der Legio Prima Martia

Marino Maggetti und Giulio Galetti¹

Einführung

Problemstellung

Nachdem die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Auguster *Feinkeramik* aus den vier Herstellungszentren Kurzenbettli, Liebrüti, Osttor und Venusstrasse (Abb. 1) intensiv erforscht wurde², sollen in vorliegender Arbeit die Resultate der naturwissenschaftlichen Bearbeitung von insgesamt 155 Fragmenten von Auguster Baukeramik und 8 Tonproben vorgestellt werden (Abb. 1). Es handelt sich bei ersteren mehrheitlich um Bruchstücke von Dachziegeln, wobei die Beprobung in Zusammenarbeit mit T. Tomasevic-Buck in den Jahren 1980 (Gruppe 1), 1981 (Gruppen 2–6), 1982 (Gruppe 7), 1985 (Gruppe 8) und 1988 (Gruppe 9) erfolgte. Im einzelnen geht es um folgende Fundgruppen (Abb. 1 und 2; Tab. 1):

Gruppe 1: Gestempelte Flachziegel der Legio I Martia³ (Analysen Nr. Z1–Z65, n = 60; vgl. Tab. 1). Fundorte⁴: *Augst* und *Kaiseraugst* (verschiedene Fundstellen und -jahre), *Biel-Mett*⁵, *Windisch-Oberburg*⁶, *Frick*⁷.

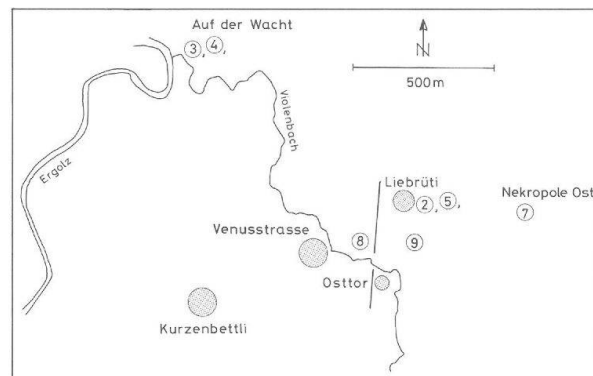


Abb. 1 Lage der Fundgruppen 2–5 und 7–9 in Augst/Kaiseraugst.

Gerasterte Kreisflächen: Töpferwerkstätten (vgl. Anm. 26).

Gruppe 2: Ungestempelte Flachziegel auf dem Boden des kleinen Ziegelbrennofens Kaiseraugst-Liebrüti 1974⁸ (Z66–Z83, n = 18).

1 Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität, Pérolles, CH-1700 Freiburg. – Wir danken Frau T. Tomasevic-Buck für die Bereitstellung der Proben, die anregenden Diskussionen und die Bereitschaft, eine solch interessante Problemstellung der archäometrischen Bearbeitung zu übergeben. Unser Dank geht auch ans Amt für Museen und Archäologie des Kantons Basellandschaft (J. Ewald) für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit. Dank gebührt Frau O. Marbacher für die speditive Mithilfe im Labor, Frau G. Pillar für das sorgfältige Tippen des Manuskriptes, Herrn J. Charrière für die tadellose Reinzeichnung und Herrn J. P. Bourqui für die exakte Herstellung der Dünnschliffe. Wir danken ganz speziell A. R. Furger für die grosse, zeitraubende redaktionelle Arbeit.

Die archäologischen Quellen und Literaturzitate in den Anmerkungen hat die Redaktion (A. R. Furger) zusammengestellt. Bei der Umsetzung und Ergänzung der Tabellen 1 und 2 halfen B. Rütli und S. Huck.

2 Alexander 1975; Jornet 1980; Jornet 1982; Jornet/Maggetti 1983; Jornet/Maggetti 1985; Jornet/Maggetti 1993.

3 Zu den Ziegeln der Legio I Martia in Augst/Kaiseraugst: Tomasevic-Buck 1977; Tomasevic-Buck 1982a. – Verbreitungskarten der Fundorte mit Ziegelstempel der Legio Prima Martia: R. M. Swoboda, Ein Ziegelstempel der Legio I Martia in Breisach. *Germania* 53, 1975, 177ff. Abb. 2; A. R. Furger, Römermuseum und Römerhaus Augst. *Kurztexte und Hintergrundinformationen. Augster Museumshefte* 10 (Augst 1989, 1987–) 73; G. Wesch-Klein, Breisach am Rhein: die gestempelten Ziegel aus den Grabungen 1983–1986. *Fundberichte aus Baden-Württemberg* 14, 1989, 387ff. Abb. 4; R. Fellmann, La Suisse gallo-romaine. *Cinq siècles d'histoire* (Lausanne 1992) 316ff. Abb. 281–282. – Zu weiteren Ziegeleien in Augst/Kaiseraugst: Berger, L., Ein römi-

scher Ziegelbrennofen bei Kaiseraugst, Ausgrabungen in Augst 3 (Basel 1969); A. R. Furger, Die Töpfereibetriebe von Augusta Rauricorum. *JbAK* 12, 1991, 259ff. bes. 279. – Zum Grabstein eines *signifer* der Legio I Martia aus Kaiseraugst: P.-A. Schwarz, L. Berger et al., Inschriften aus Augusta Rauricorum. *Katalog und Kommentare zu den Steininschriften aus Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst* (in Vorbereitung) KatNr. 15 (V. v. Falkenstein-Wirth) und Auswertungsteil (P.-A. Schwarz).

4 Für einige mitanalysierte Ziegel aus dem Kantonsmuseum Baselland in Liestal (Z47-Z56) war ursprünglich der Fundort Liestal angegeben; es handelt sich aber um Altfunde aus Augst/Kaiseraugst (vgl. Tab. 1; zu den spärlichen Indizien zu Liestals spätantiker Vergangenheit vgl. R. Marti, Zwei frühmittelalterliche Gräber und ihre Bedeutung für die Frühgeschichte Liestals. *Archäologie und Museum* 11 [Liestal 1988]). – Vgl. auch Funde aus Basel: R. d'Aujourd'hui, Basel-Münsterhügel. *Archäologie der Schweiz* 1, 1978, 156f. (mit Abb.); R. Moosbrugger-Leu, Der Grabungsbefund Augustinergasse 2. In: R. d'Aujourd'hui et al., *Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt. Jahresbericht 1978. Basler Zeitschrift für Geschichte und Altertumskunde* 79, 1979, 255f. bes. 348ff. Anm. 128 Abb. 37.

5 H.-M. von Kaenel, Das spätrömische Grab mit reichen Beigaben in der Kirche von Biel-Mett BE. *Archäologie der Schweiz* 1, 1978, 138ff. bes. 146; H. Lehner, Die Ausgrabungen in der Kirche Biel-Mett BE. *Archäologie der Schweiz* 1, 1978, 149ff.

6 Vgl. die Nachweise Anm. 3.

7 M. Hartmann, Eine valentinianische Befestigung auf dem Kirchhügel von Frick (Aargau). In: *Festschrift Walter Drack zu seinem 60. Geburtstag* (Stäfa/Zürich 1977) 104ff. Abb. 1.

8 Tomasevic-Buck 1982a, Abb. 6, unten; 10.

- Gruppe 3:** Ungestempelte Flachziegel aus der Ofenmauerung eines Töpferofens in Kaiseraugst-Auf der Wacht II, 1981⁹ (Z84–Z107, n = 24).
- Gruppe 4:** Ungestempelte Flachziegel aus der Ofenmauerung eines Brennofens unbekannter Verwendung in Kaiseraugst-Auf der Wacht II, 1981¹⁰ (Z108–Z112, n = 5).
- Gruppe 5:** Rundziegel (letzte Charge auf der Lochtenne liegend) des grossen Ziegelbrennofens Kaiseraugst-Liebrüti 1974¹¹ (Z113–Z121, n = 9).
- Gruppe 6:** Lehmproben aus der Ost-Nekropole Kaiseraugst-Im Sager 1981 und von Augst-Steinlerstrasse, Insula 35, 1981¹² (Z122–Z129, n = 8).
- Gruppe 7:** Gestempelte Flachziegel der Legio I Martia aus der Ost-Nekropole Kaiseraugst-Im Sager 1981¹³ (Z130–Z149, n = 20).
- Gruppe 8:** Ziegel-Überbrände Kaiseraugst-Liebrüti 1971 (Z150–Z157), Ofen- und andere Baukeramik Kaiseraugst-Liebrüti 1971–74 (Z150–Z160), total n = 11.
- Gruppe 9:** Flachziegel vom Gräberfeld Kaiseraugst-«Thommen» 1986 und aus den Ziegelbrennöfen Kaiseraugst-Liebrüti 1971¹⁴ (SF1) (Z161–Z168, n = 8).

Von nicht allen Stücken konnten, mangels genügendem Probengewicht, vollständige Analysen¹⁵ hergestellt werden. Aus diesem Grunde fehlen für viele Legionsziegel die Spurenelemente (Tab. 2).

Von folgenden Proben wurden Dünnschliffe hergestellt: Z10, Z13, Z19–20, Z23, Z29, Z45, Z47–51, Z54–58, Z60, Z66–74, Z77, Z79–121, Z130–141, Z143, Z145–159.

Die Untersuchung befasste sich mit folgender Fragestellung¹⁶:

1. Bilden die Legionsziegel der Gruppen 1 und 7 eine chemisch und mineralogisch einheitliche Gruppe? Gibt es Unterschiede zwischen den in Augst/Kaiseraugst gefundenen Proben und denjenigen der anderen Fundorte? Existieren naturwissenschaftliche Kriterien welche für eine lokale Herstellung dieser Legionsfabrikate sprechen?
2. Sind die Gruppen 2–5 und 9 selbständige Gruppen oder können sie zu einer einzigen zusammengefasst werden?
3. Wie unterscheiden sich die Gruppen 1–9 von der Augster Feinkeramik?
4. Wie war die Herstellungstechnik (Natur des Rohtones, Aufbereitung, Brenntemperatur)?

Chemische Homogenität der Ziegel

Zur Überprüfung dieses Aspektes, der gleichzeitig auch einen Hinweis auf die Qualität der Aufbereitung gibt, wurden an drei Flachziegeln der Gruppe 2 Mehrfachproben genommen (Z75–Z78, Z80+Z81, Z79+Z83). Mit Ausnahme von Z75, der leicht niedri-

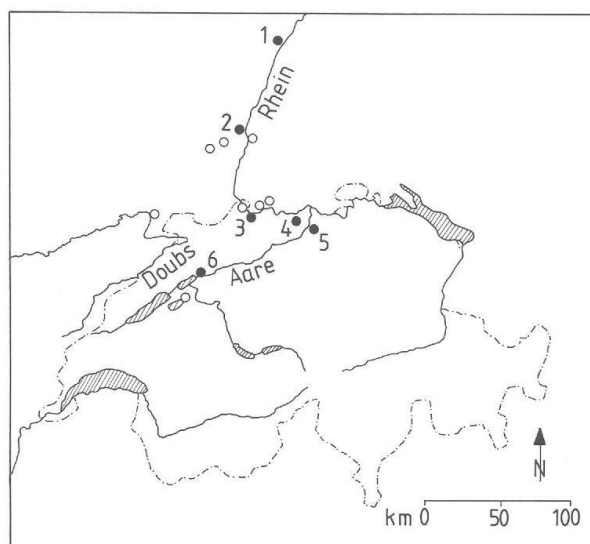


Abb. 2 Lage der Fundorte von gestempelten Ziegeln der Legio I Martia.

- Fundorte mit in dieser Arbeit nachgewiesenen Kaiseraugster Produkten: 1 = Strassburg; 2 = Biesheim; 3 = Augst/Kaiseraugst; 4 = Frick; 5 = Windisch-Oberburg; 6 = Biel-Mett. Die Stücke aus Strassburg (1) und Biesheim (2) wurden von T. Kilka (1985; 1987a) analysiert.
- weitere Fundorte (nicht analysiert)

gere SiO₂- und erhöhte CaO-, K₂O- und Rb-Werte aufweist, ist die Schwankungsbreite für alle untersuchten chemischen Parameter gering (Tab. 2). Die beprobten Ziegel sind demnach von sehr homogener Zusammensetzung.

- 9 Kaiseraugst, Auf der Wacht II, 3. Teil, Parz. 231, Grabung 1981.01: Töpferofen für Geschirrkemik. Vgl. T. Tomasevic-Buck, Ausgrabungen in Augst und Kaiseraugst im Jahre 1981, JbAK 8, 1988, 7ff. bes. 17f. Abb. 12–15 Plan 3; Furger (wie Anm. 3) 275 Kat.Nr. 37.
- 10 Kaiseraugst, Auf der Wacht II, 3. Teil, Parz. 237 («in der [modernen] Strasse»), Grabung 1981.01: Ziegelbrennofen oder Geschirrbrennofen oder Räucherzimmer? Vgl. Furger (Anm. 3) 277 Kat.Nr. 36.
- 11 Tomasevic-Buck 1982a, 11 und Umschlagbild; Abb. 6, oben.
- 12 Zum Gräberfeld Kaiseraugst-Im Sager vgl. Tomasevic-Buck 1982b; U. Müller, Das Gräberfeld Im Sager Ostteil. In: Ausgrabungen in Kaiseraugst im Jahre 1991. JbAK 13, 1992, 207ff. bes. 213ff. Abb. 7–39. – Grabung Augst-Steinlerstrasse, Parz. 1101: unpubliziert.
- 13 Areal «Tennisplätze und -halle», 400–500 m nordöstlich der Ziegelbrennöfen der Legio I Martia (moderne Überbauung «Liebrüti»). Vgl. Tomasevic-Buck 1982b.
- 14 Kaiseraugst-«Thommen»: U. Müller, Ausgrabungen in Kaiseraugst im Jahre 1986, JbAK 9, 1988, 227ff. bes. 231 Abb. 10–13 (mit gestempeltem Ziegel Abb. 12); Kaiseraugst-Liebrüti 1997: Grabungsdetails unpubliziert.
- 15 Zur Methodik siehe Maggetti et al. 1988.
- 16 Über die archäologische Problematik orientieren: Tomasevic-Buck 1977, 1982a und 1982b.

Einfluss der Bodenlagerung

Sekundäre Veränderungen der chemischen Zusammensetzung eines keramischen Objektes sind im nachhinein schwer zu fassen. Ein Kriterium, die grosse Schwankungsbreite einer chemischen Variable für die betrachtete Population, könnte nämlich auch mit der mangelnden Aufbereitung eines inhomogenen Rohstoffes erklärt werden. Hingegen ist die sekundäre Anreicherung von Phosphor¹⁷ problemlos zu identifizieren, da der P_2O_5 -Gehalt in natürlichen To-

nen den Grenzwert von 0,2 Gew.% nicht überschreitet¹⁸. Betrachtet man nun die entsprechenden Analysenwerte der Tabelle 2, so liegen von insgesamt 155 Keramikproben nur zwei Stücke (Z30 und Z54) knapp über 1 Gew.% P_2O_5 . Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Baukeramik während der Bodenlagerung keine grossen messbaren Veränderungen in ihrer chemischen Zusammensetzung erlitt – auch nicht die Proben aus den Gräberfeldern, wo ja Phosphor durch die Zersetzung der Knochen in reichem Masse zur Verfügung stand.

Chemische Klassifikation

Die Leistenziegel der Legio I Martia

Zum besseren Verständnis wurden die chemischen Analysen – unter Vernachlässigung des mobilen Phosphors (P_2O_5) und des gewichtsmässig untergeordneten Mangans (MnO) – der 60 analysierten Proben der *Fundgruppe 1* in vier Korrelationsdiagrammen dargestellt (Abb. 3). Dabei schält sich die erstaunliche *Homogenität* der Gruppe 1 heraus. Mit Ausnahme der Stücke Z11 (viel Aluminium, Abb. 3a), Z13 und Z28 (viel Kalium, Abb. 3d) und Z35 (hoher Eisengehalt, Abb. 3c) sind die Scherben von Augster Provenienz eng gruppiert. Die Ziegel von «nicht-Augster» Fundorten liegen dabei in der Punktwolke des Augster Komplexes – nur im K_2O -Gehalt sondern sich fünf Proben (Z50, Z51, Z55, Z56, Z63; Abb. 4d) ab. Aus gewichtsmässigen Gründen konnten nur von elf Ziegeln auch die Spuren gemessen werden. Deswegen wurde auf eine visuelle Darstellung dieser Elemente verzichtet.

Wie ist nun die Abbildung 3 zu interpretieren? Da sich die sog. «Ausreisser» nur in einem einzigen Element von den übrigen Proben signifikant unterscheiden, sind wir der Auffassung, dass dies kein stichhaltiger Grund ist, um sie aus der Gruppe auszuschliessen. Die Abweichungen können durch lokale Variationen des Rohstoffes bedingt sein. Diese Erklärungsmöglichkeit wird durch die Lage der gestempelten Flachziegel der *Fundgruppe 7* in denselben Diagrammen unterstützt (Abb. 4). Man erkennt sehr gut die homogene Gruppierung dieser Provenienzen, die aber – mit Ausnahme von Abbildung 4c, signifikant marginal zur Punktwolke (gerastetes Feld) der Gruppe 1 liegen. Es wird somit deutlich, dass der chemische Streubereich der Legio I Martia-Ziegel viel grösser ist und dass jede Ziegelcharge zwar aus einem homogen zusammengesetzten Rohstoff hergestellt wurde, der aber von Charge zu Charge differiert. Eine zusätzliche Stützung erfährt die Hypothese der lokalen chemischen Variabilität des Rohstoffes durch den Vergleich mit den Proben, die T. Kilka untersucht hat¹⁹. Wie Abbildung 5 zeigt, liegen diese Stücke von den Fundorten *Strassburg* und *Biesheim*²⁰ teils in, teils ausserhalb der Streubereiche der zwei bisher besprochenen Populationen. Weitere Korrelationsdia-

gramme können nicht vorgelegt werden, da T. Kilka weniger Elemente analysiert hat als wir.

Die Differenzen sind aber – im Vergleich zu den Stücken lokaler Provenienz – nicht so gravierend, um die 19 Proben von T. Kilka als gruppenfremd zu deklarieren. Wir sind der Auffassung, dass auch diese Stücke aus demselben Material (und wohl auch an demselben Ort) wie die Proben der Gruppen 1 und 7 hergestellt wurden. Die Hypothese, dass die am Rhein flussabwärts gelegenen Stützpunkte der Legio I Martia mit Liebrüti-Ziegeln beliefert wurden²¹, findet hier die naturwissenschaftliche Bestätigung. Hingegen ist die andere Hypothese zu verwerfen, wonach die Stützpunkte flussaufwärts von einer anderen Produktionsstätte beliefert wurden²², denn die Proben von *Biel-Mett* usw. gleichen in ihrer chemischen Zusammensetzung den übrigen Stücken.

Wenn nun zwar gewisse Variationen in der chemischen Zusammensetzung von Gruppe zu Gruppe bzw. von Fundort zu Fundort festzustellen sind, diese aber durch Variationen des Rohstoffes erklärt werden können und somit die Hypothese einer Fertigung aller untersuchten Flachziegel der Legio I Martia am gleichen Ort aus demselben Rohstoff gerechtfertigt erscheint, können die Analysen zur Definition einer neuen chemischen Referenzgruppe zusammengefasst werden (Tab. 3).

17 Duma 1971; Franklin/Vitali 1985; Freestone et al. 1985; Lemoine/Picon 1981; Maggetti et al. 1988; Picon 1976; Picon 1985; Rottländer 1980; Rottländer 1981–1983; Schneider/Hofmann 1976; Walter/Besnius 1989.

18 Koritnig 1978.

19 Kilka 1985; Kilka 1987a.

20 P. Biellmann, Les tuiles estampillées de la Ière Légion *Martia* trouvées à Biesheim/Oedenbourg. *Annuaire de la Société d'histoire de la Hardt et du Ried* 2, 1987, 9–14; R. Fellmann, Le site gallo-romain de Biesheim-Oedenbourg dans le cadre des camps et postes militaires dans la plaine méridionale du Haut-Rhin. In: Y. Le Bohec (Hrsg.), *Militaires Romains en Gaule civile. Collections du Centre d'Etudes Romaines et Gallo-Romaines n.s. 11* (Lyon/Paris 1993) 73–81 Abb. 4, M. – Vgl. auch Funde in Breisach: Swoboda (wie Anm. 3).

21 Vgl. Anm. 3.

22 Tomasevic-Buck 1977.

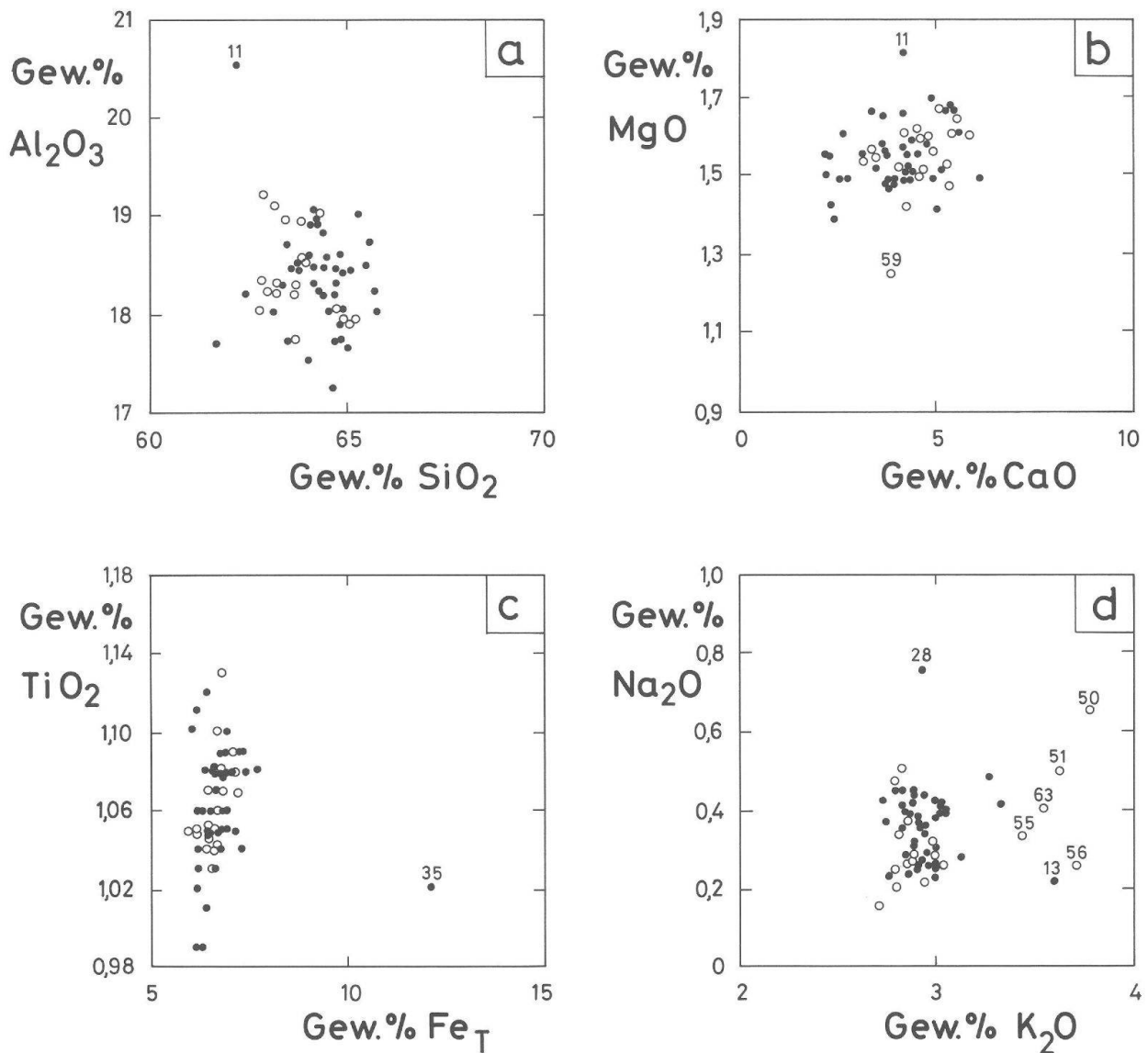


Abb. 3 Chemischer Vergleich der gestempelten Ziegel der Legio I Martia (Fundgruppe 1, n = 60).

- Fundort Augst/Kaiseraugst
- Fundorte ausserhalb Augst. Bei den Ausreissern ist die Analysen-Nr. (ohne Präfix Z) angegeben.

Zum Herstellungsort der Legionsziegel und der übrigen Baukeramik

Im Gegensatz zur engen Scharung der Legionsziegel streuen die Analysen der übrigen Baukeramik stark (Abb. 6 und 7). Eine Sonderstellung kommt dabei der Probe Z160 zu, die sich in fast allen Diagrammen deutlich von den restlichen Proben absondert. Sie hat z.B. viel weniger SiO_2 , aber viel mehr CaO als die übrigen Stücke. Wir haben sie daher in der folgenden Diskussion weggelassen. Analysiert man die Abbildung 6 im Detail, so wird eine Zweiergruppierung der Baukeramik sichtbar. Dies wird besonders deutlich beispielsweise in der Abbildung 6a, wo eine Al_2O_3 -reiche und SiO_2 -ärmere Materialgruppe (= vorwiegend

gestempelte Legionsziegel) von einer Al_2O_3 -ärmeren, SiO_2 -reicheren Materialgruppe unterschieden werden kann. Dieselbe Zweiteilung kann, wenn auch viel weniger ausgeprägt, in den Korrelationsdiagrammen der Spurenelemente beobachtet werden (Abb. 7). Einige Proben kommen immer wieder ins Feld der Legionsziegel zu liegen und haben demnach eine gleichartige chemische Zusammensetzung. Zu diesen gehören:

- die Rundziegel der Fundgruppe 5 (von der Lochtenne im grossen Kaiseraugster Ziegelbrennofen),
- der Tubulus Z158 (Fundgruppe 8, Überbrand vom Ziegelbrennofen Kaiseraugst-Liebrüti)
- und Z161, Z162, Z164–168 der Fundgruppe 9 (Nekropole Kaiseraugst-«Thommen» und Ziegelei Kaiseraugst-Liebrüti).

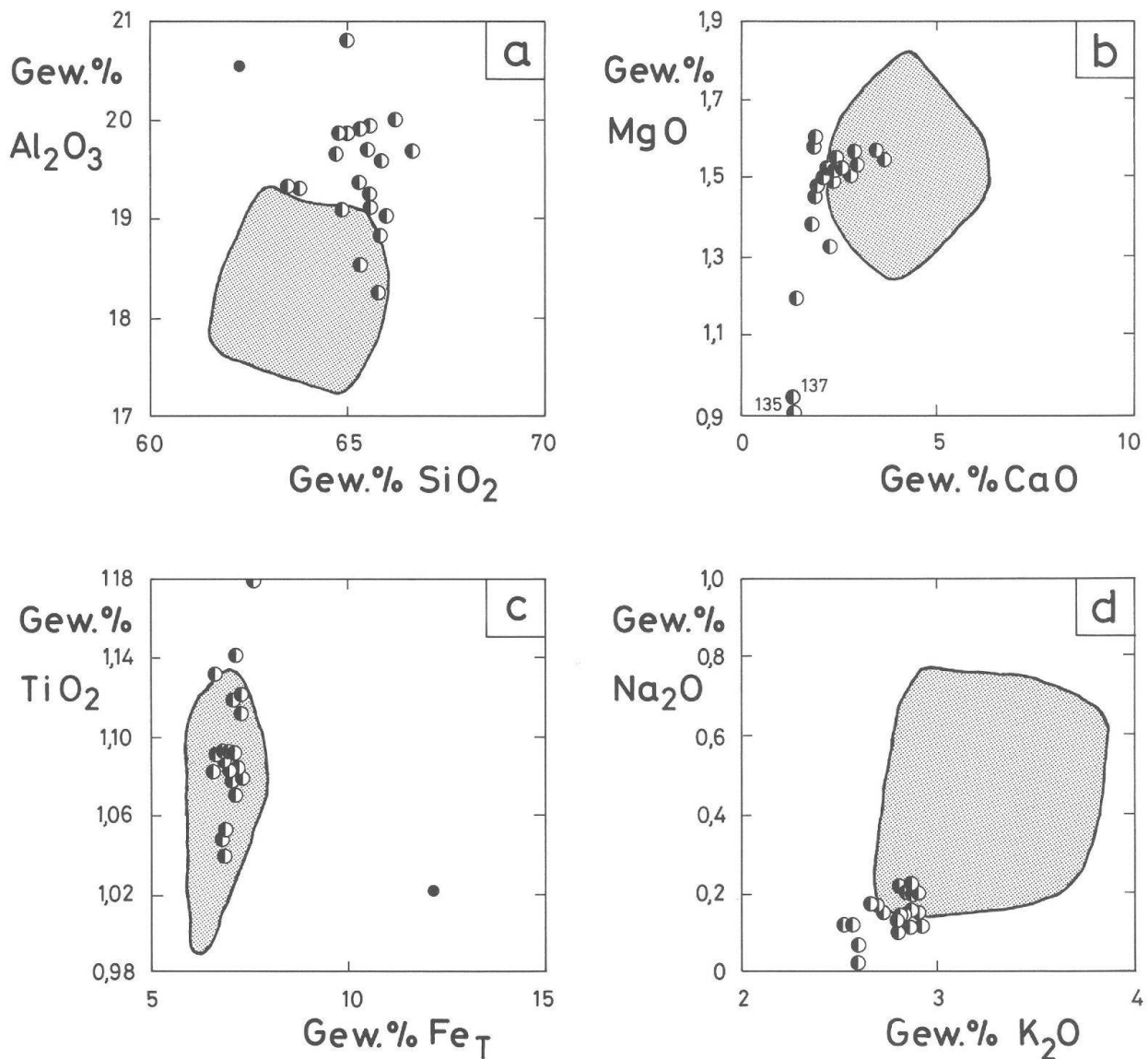


Abb. 4 Analysen der gestempelten Ziegel der Legio I Martia von der Kaiseraugster Nekropole «Im Sager» (Fundgruppe 7) im Vergleich mit denjenigen der Fundgruppe 1.

Rasterfläche: Fundgruppe 1 (n = 59; Abb. 3)
 ○ Fundgruppe 7 (n = 20; Abb. 6)
 ● Ausreisser der Fundgruppe 1.

Eine lokale Produktion dieser Stücke kann nicht bezweifelt werden, ganz sicher nicht im Fall der Rundziegel, die eindeutig die nicht ausgeräumten Reste des letzten Brandes darstellen²³. Wenn nun diese Produktion chemisch gänzlich mit der Zusammensetzung der Legionsziegel übereinstimmt (Tab. 3), ist zu folgern, dass die *besprochene* Legionsware auch in Liebrüti hergestellt worden ist. Damit wird die u.a. von T. Tomasevic-Buck²⁴ und L. Berger²⁵ mehrmals geäußerte Hypothese einer Augster Produktion der Legio I Martia-Ziegel naturwissenschaftlich zweifelsfrei abgesichert.

Auch die restliche Baukeramik ist an Ort und Stelle hergestellt worden, wie dies die Lage der grauen Überbrände der Fundgruppe 8 zeigt, die eng grup-

piert im Feld der übrigen Baukeramik liegen. Eine Auflösung der Punktwolke spezifisch nach den Fundgruppen ist nicht durchführbar. Aus der Interpretation der Abbildungen 6 und 7 schält sich also folgendes heraus: Die römische Baukeramik von Augst/Kaiseraugst kann zwei *chemischen Materialgruppen* zugeordnet werden.

23 Gruppe 5. Tomasevic-Buck 1982a, 11 und Umschlagbild.

24 Vgl. Anm. 3.

25 R. Laur-Belart, Führer durch Augusta Raurica, 5. erweiterte Auflage, bearbeitet von L. Berger (Basel 1988) 17 Abb. 8 und 168ff. Abb. 174–176.

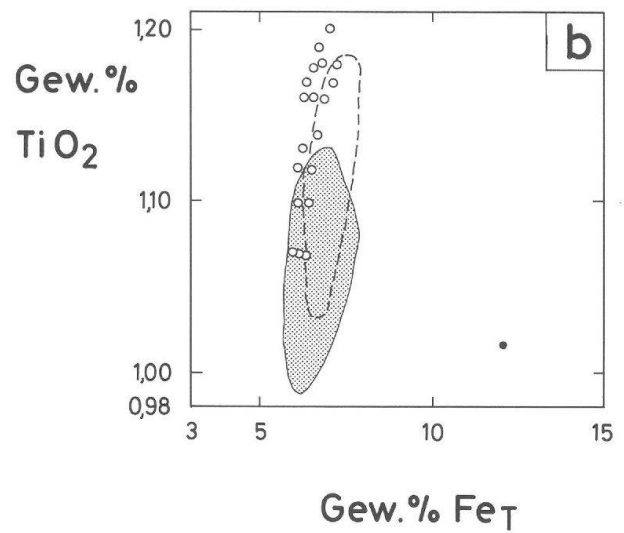
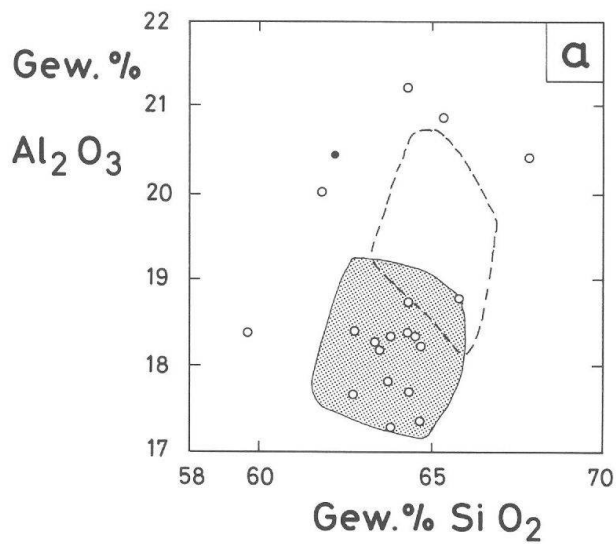
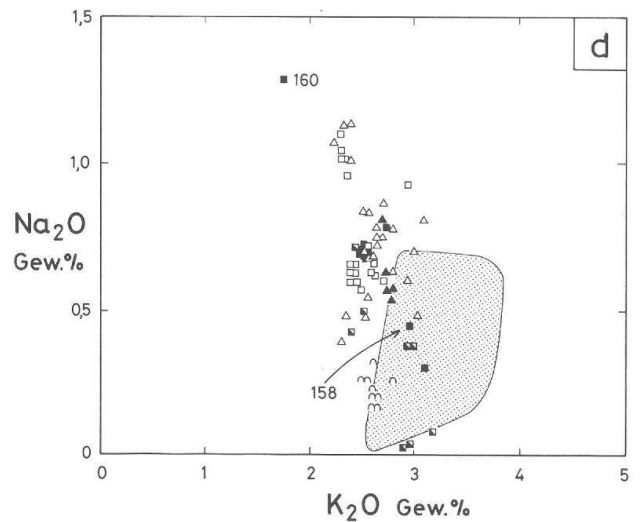
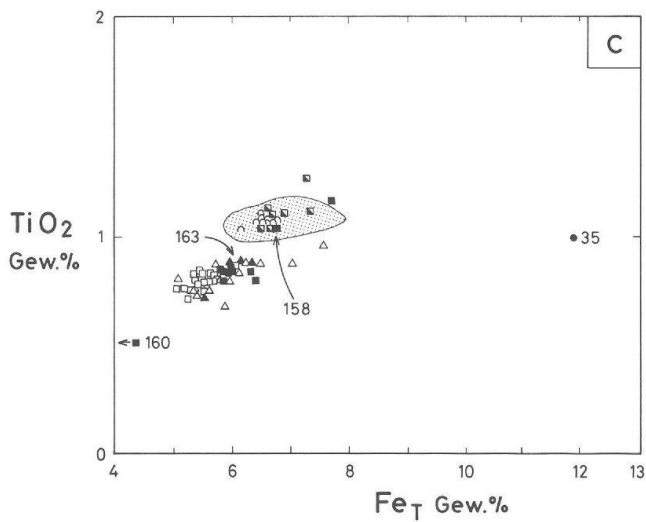
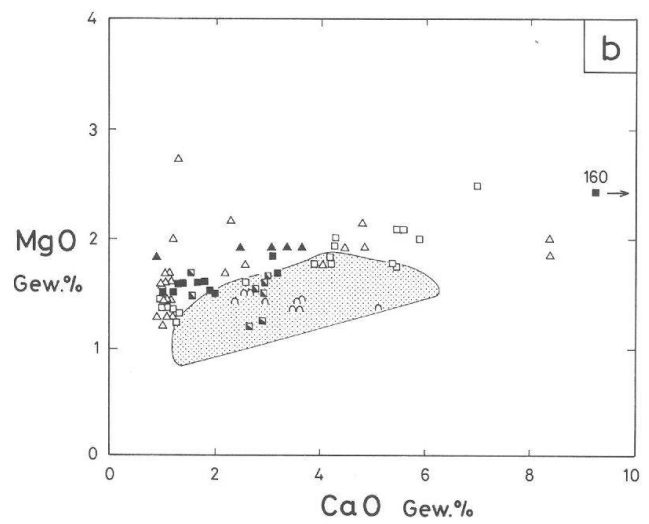
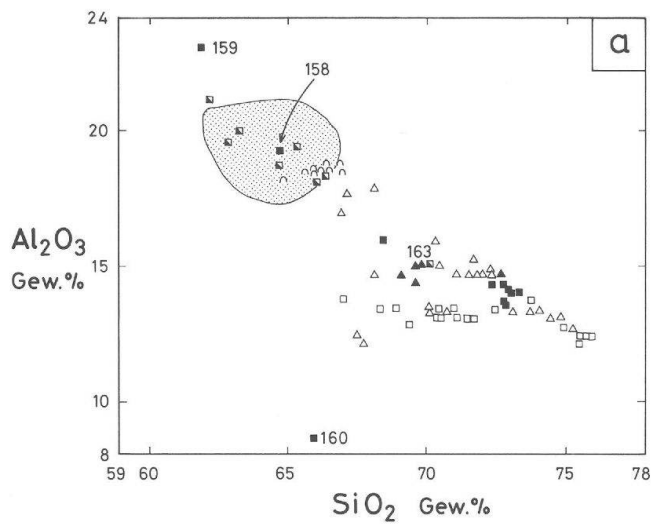


Abb. 5 Ziegel Legio I Martia. Vergleich der Fundgruppe 1 mit der Fundgruppe 7 und den von T. Kilka (1985; 1987a) analysierten Proben.

Rasterfläche: Fundgruppe 1 (n = 59; Abb. 3)
 ----- umrandet: Fundgruppe 7 (n = 20; Abb. 6)
 ○ von T. Kilka analysierte Proben aus Strassburg und Biesheim (n = 19)
 ● Ausreisser der Fundgruppe 1.



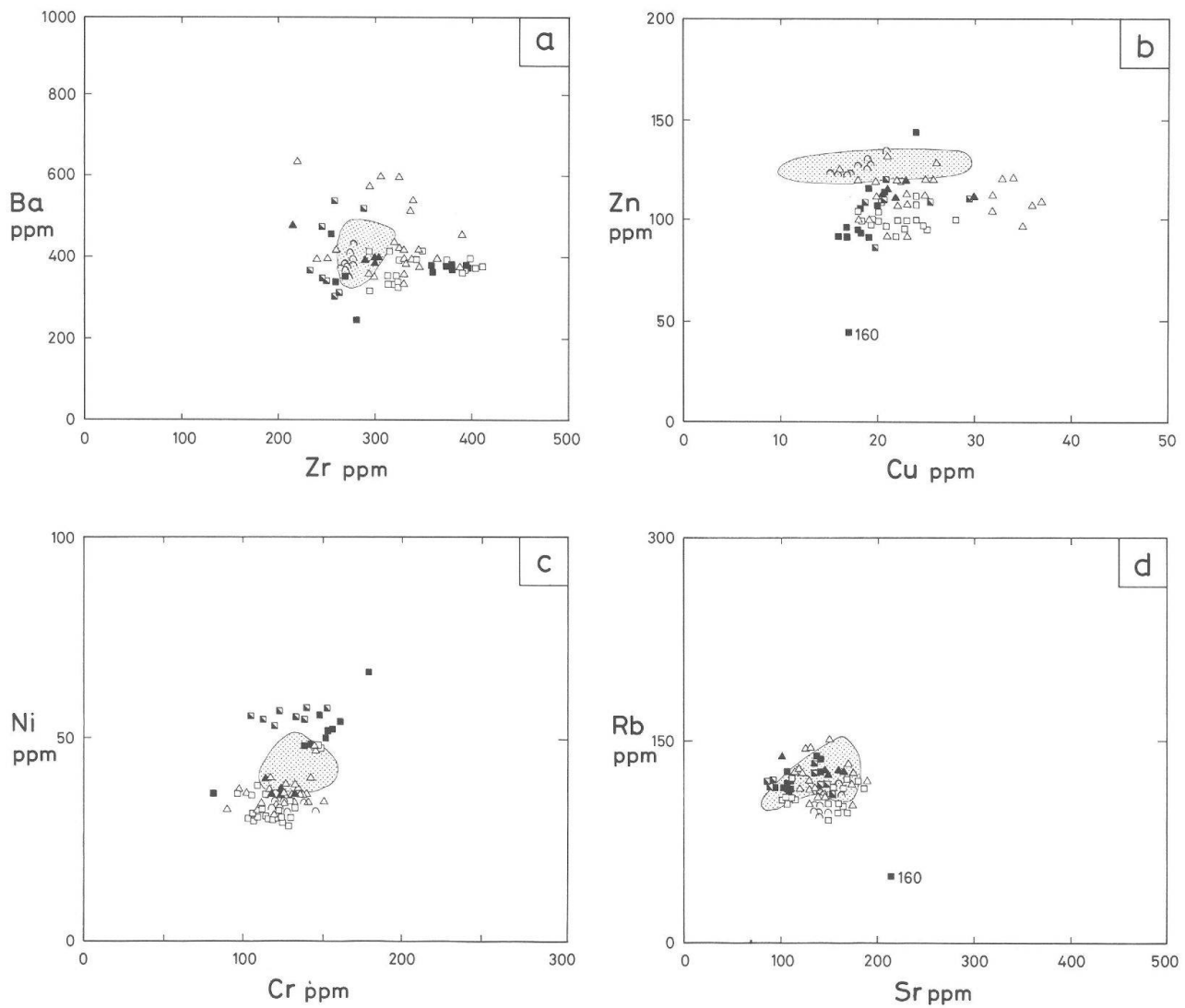


Abb. 7 Wie Abbildung 6, jedoch für ausgewählte Spurenelemente.

Abb. 6 174 chemisch untersuchte Fragmente Kaiseraugster Baukeramik in vier Korrelationsdiagrammen der sog. Hauptelemente. Überlappungen von Punkten wurden nicht speziell markiert.

- Rasterfläche:* Ziegel der Legio I Martia (Fundgruppen 1 + 7 inkl. Proben von T. Kilka [1985; 1987a], n = 99 in Abb. 4a.b.d, n = 98 in Abb. 4c)
- Fundgruppe 2 (n = 18; Kaiseraugst-Liebrüti, kleiner Ziegelbrennofen, ungestempelte Flachziegel)
 - △ Fundgruppe 3 (n = 24; Kaiseraugst-Auf der Wacht II, aus der Ofenmauerung eines Töpferofens, ungestempelte Flachziegel)
 - ▲ Fundgruppe 4 (n = 5; Kaiseraugst-Auf der Wacht II, Ofenmauerung eines Brennofens, ungestempelte Flachziegel)
 - Fundgruppe 5 (n = 9; Kaiseraugst-Liebrüti, grosser Ziegelbrennofen, letzte Charge auf der Lochtenne, Rundziegel)
 - Fundgruppe 8 (n = 11; Kaiseraugst-Liebrüti, Ziegel-Überbrände und div. Baukeramik)
 - ▣ Fundgruppe 9 (n = 8; Nekropole Kaiseraugst-«Thommen» und Ziegelei Kaiseraugst-Liebrüti, z.T. gestempelte Flachziegel).

- In einer scharen sich die gestempelten Legionsziegel (Prima Martia) aller betrachteten Fundorte, die lokalen Rundziegel, ein lokal hergestellter Tubulus und einige ungestempelte Flachziegel (Materialgruppe 1). Die chemische Übereinstimmung der Legionsprodukte mit der lokalen Baukeramik ist ein Beweis für eine *Augster Produktion der Legionsziegel*.
- Die zweite Materialgruppe umfasst die *übrige, ungestempelte Baukeramik*. Überbrände dokumentieren deren lokale Produktion.
- Die chemischen Unterschiede zwischen beiden Materialgruppen sind auf die Verwendung zweier *differierender Rohstoffe* und/oder auf unterschiedliche Aufbereitungstechniken, unter Verwendung desselben oder verschiedener Rohstoffe, zurückzuführen.

Augst²⁶ schien es sinnvoll, die chemische Zusammensetzung der Feinkeramik mit derjenigen der Baukeramik zu vergleichen. Die Ergebnisse der Hauptelement-Korrelationen sind in den Abbildungen 8a bis 8d vorgelegt. Man erkennt sehr gut die \pm homogene Zusammensetzung der Legio I Martia-Ziegelgruppen, die grosse Variabilität der restlichen Baukeramik und die zwei Materialgruppen. Im Gegensatz dazu streuen die feinkeramischen Produkte der diversen Töpferzentren viel weniger, ihre Variationsfelder überlappen sich meistens und sind nie deckungsgleich mit einer der beiden Baukeramik-Hauptgruppen. Demzufolge wurde *für die Herstellung der Feinkeramik ein anderer Rohstoff verwendet* oder einer der Baukeramik-Rohstoffe wurde so aufbereitet, dass ein anderes chemisches Muster entstand; die chemische Charakteristik der Feinkeramik könnte aber auch durch das Zusammenwirken beider Möglichkeiten zu erklären sein.

Vergleich mit der Augster Feinkeramik

Gestützt auf die naturwissenschaftliche Untersuchung der feinkeramischen Herstellungszentren von

26 Jornet 1980; Jornet 1982; Jornet/Maggetti 1985; Jornet/Maggetti 1993; Martin-Kilcher et al. 1987. – Zusammenfassend aus archäologischer Sicht: Furger (wie Anm. 3).

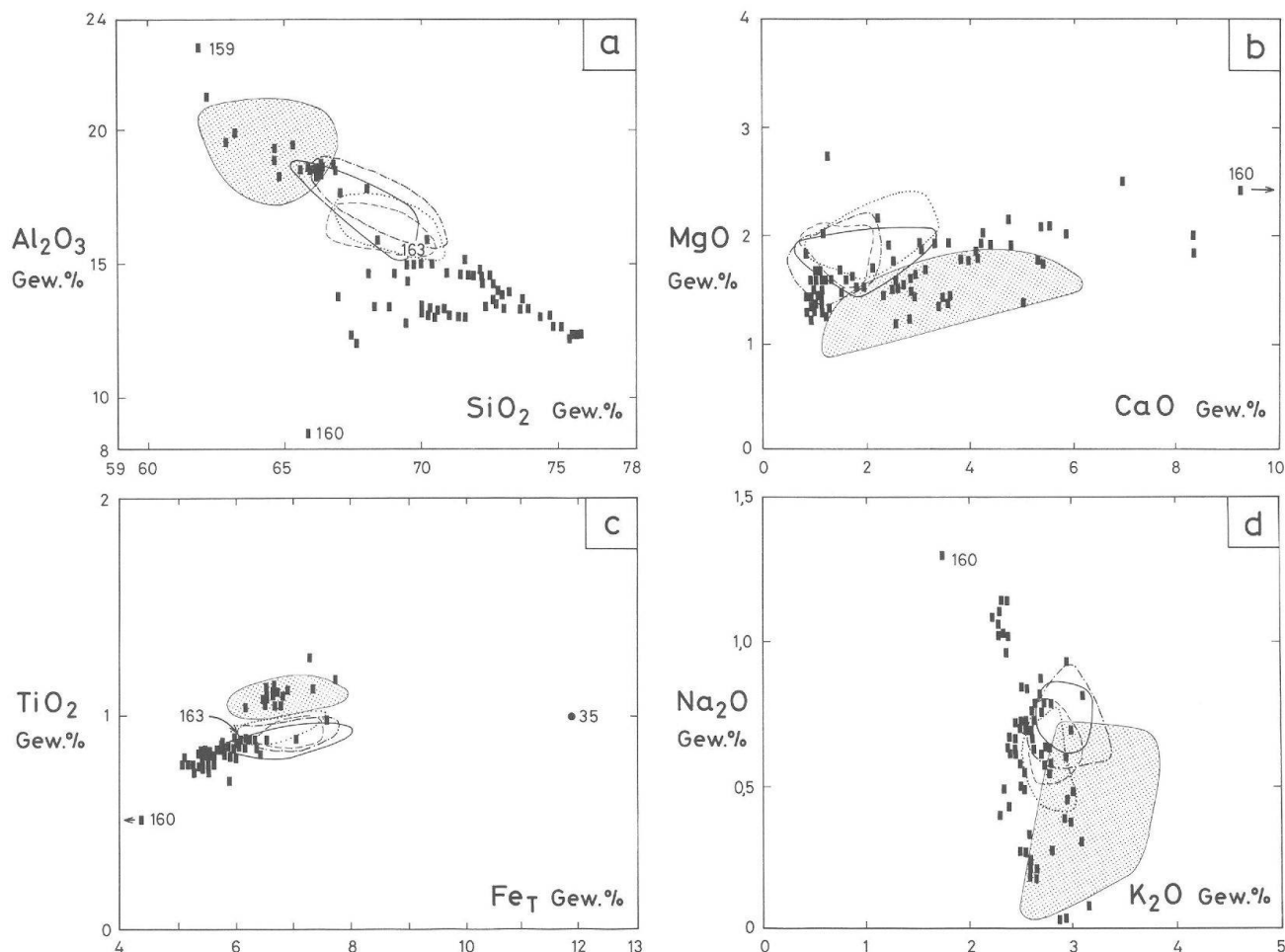


Abb. 8 Vergleich der Kaiseraugster Baukeramik mit der Augster Feinkeramik (Töpferzentren Kurzenbettli, Liebrüti, Osttor, Venusstrasse). Literaturnachweis der feinkeramischen Werkstätten s. Anm. 26.

- Rasterfläche: gestempelte Ziegel (Legio I Martia; n = 99)
 ungestempelte Ziegel (n = 75)
 - - - - Kaiseraugst-Kurzenbettli (n = 24)
 — — — Kaiseraugst-Liebrüti (n = 14)
 - - - - Augst-Osttor (n = 39)
 ······· Augst-Venusstrasse (n = 26)

Mikroskopische Analyse

Die mineralogisch-petrographische Zusammensetzung der Baukeramik ist sehr einheitlich, was die Natur der mikroskopisch erkennbaren Gemengteile angeht. Im Dünnschliff dominiert das Mineral Quarz. Mengenmässig untergeordnet finden sich Plagioklas, Erzagglomerate, Hellglimmer, Epidot und Gesteinsfragmente von Kalk (bzw. rekarbonatisierte Kalkkörner), Glimmerschiefer, Gneis, karbonatische Sandsteine, Chert, Tongallen, Quarzporphyr, Granit sowie Schamotte-Fragmente.

Zwischen den Fundgruppen und den beiden Materialgruppen gibt es also bezüglich Qualität der Magerung keine Unterschiede. Diese eintönige, unspezifische, d.h. keinem bestimmten geologischen Her-

kunftsgebiet zuordenbare Zusammensetzung stimmt sehr gut mit dem mineralogisch-petrographischen Aufbau der Augster Feinkeramik überein.

Deutliche Unterschiede lassen sich hingegen im *Magerungsgehalt* erkennen. Man findet so alle Übergänge zwischen der sehr «fetten», d.h. magerungsarmen Variante Z95 (10–15 Vol.% Magerung, geschätzt) und der sehr «mageren», d.h. magerungsreichen Variante Z96 (60–70 Vol.%). Da – bei vergleichbarem CaO-Gehalt – die Magerungsgehalte mit dem SiO₂- bzw. Al₂O₃-Gehalt gekoppelt sind, können SiO₂-reiche und Al₂O₃-arme Ziegel als magerungsreiche Typen angesprochen werden.

Zur Herkunft des Rohstoffes

Über die mineralogische und chemische Zusammensetzung der im Bereiche der heutigen Schweiz von der Tonindustrie aller Zeiten genutzten Rohstoffe liegen viele Untersuchungen vor²⁷. Beschränkt man sich auf die nähere Umgebung von Augst und Kaiseraugst, so könnten von den römischen Ziegeln folgende Tonvorkommen genutzt worden sein (Abb. 9): Mergel des Keuper, Mergel des Lias (Insektenmergel), Tone des Dogger (Opalinuston), pleistozäne Lehme der Hochterrasse (Lösslehm) und pleistozäne Lehme der Nie-

derterrasse. Diese engere Eingrenzung des Herkunftsraumes ist sicher gerechtfertigt, denn die römischen Handwerker werden das Rohmaterial wohl an Ort und Stelle gesucht und die nötigen beträchtlichen Mengen nicht von weit her beschafft haben.

27 Z.B. Janke 1989; Jornet 1982; Letsch et al. 1907; Maggetti et al. 1988; Niggli et al. 1930; Peters 1962; Peters 1964; Peters 1969; Peters/Jenni 1973; de Quervain 1969.

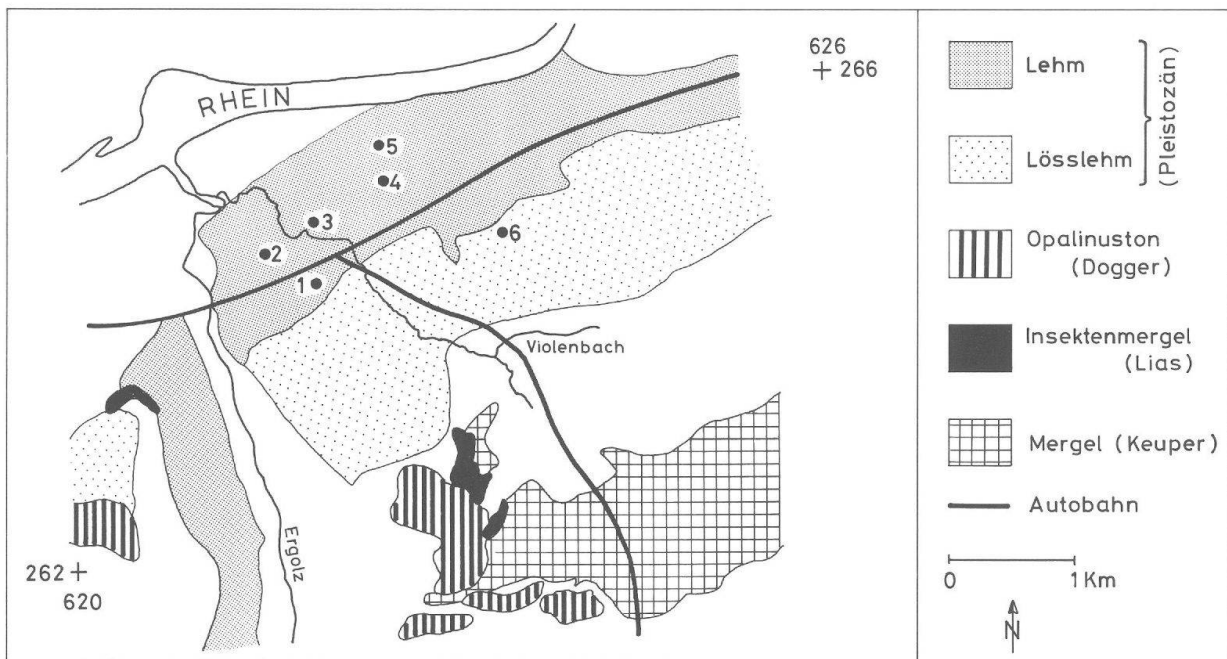


Abb. 9 Vereinfachte geologische Karte der Umgebung von Augst (nach Isler et al. 1984). Eingezeichnet sind nur geologische Formationen mit potentiellen Ton-Rohstoffen. Probenahmestellen:

1 = A-91, A-92 (Jornet 1980); 2 = Z129 (Tab. 1); 3 = A-89 (Jornet 1980); 4 = Z122–Z128 (Tab. 1); 5 = A-93, A-94, A-95 (Jornet 1980); 6 = Abbaustelle von Lösslehm (Letsch et al. 1907).

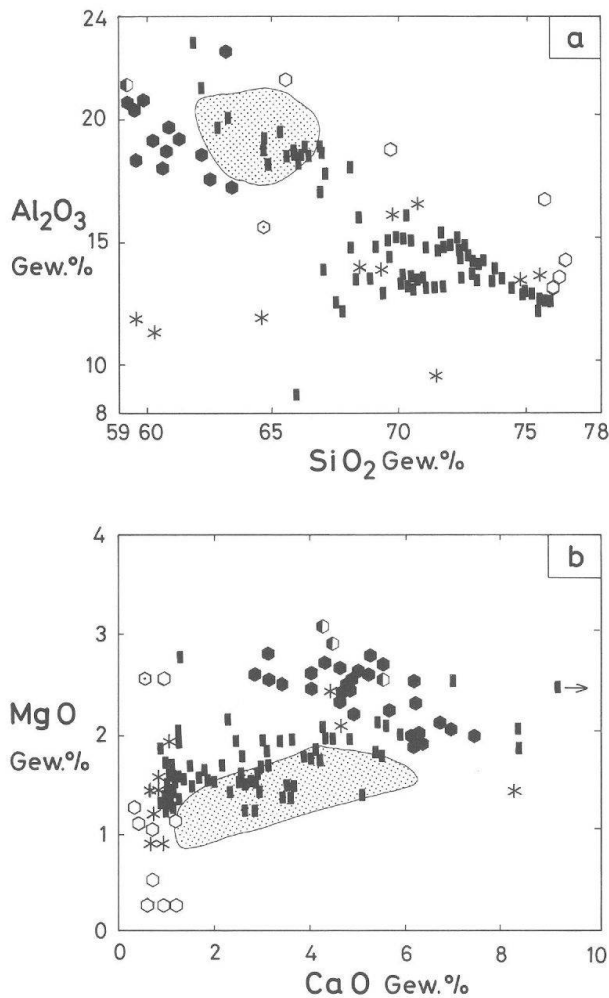


Abb. 10 Vergleich der Kaiseraugster Baukeramik mit den potentiell möglichen Rohstoffen. Die Keupermergel sind ihres hohen CaO-Gehaltes wegen nicht dargestellt worden.

- | | |
|---------------|---------------------------|
| Rasterfläche: | gestempelte Legionsziegel |
| ■ | ungestempelte Ziegel |
| ○ | Keuperton |
| ● | Insektenmergel |
| ● | Opalinuston |
| ○ | Lösslehm |
| * | Lehme der Niederterrasse |

Für die Vergleiche wurden Tonanalysen aus folgenden Quellen verwendet:

- 2 Keupermergel, 1 Keuperton²⁸
- 3 Insektenmergel des Lias²⁹
- 28 Opalinustone³⁰
- 11 Lösslehme³¹
- 14 Niederterrasselehme³².

Die zwei Keupermergel können wegen ihres sehr hohen CaO-Gehaltes (über 14 Gew.%) nicht in Betracht gezogen werden. Der Keuperton hingegen käme schon eher in Betracht, er hat aber keine ähnliche Zusammensetzung (Abb. 10).

Von den drei publizierten Analysen der Insektenmergel passt keine zu den beiden Ziegel-Hauptgruppen (Abb. 10). Dieser Rohstoff ist also auszuschließen. Obwohl von den Lösslehm nur auf elf Analysen zurückgegriffen werden konnte, zeigt deren marginale Position in der Abbildung 10 (Analysenpunkte

teilweise ausserhalb der Diagramme!), dass dieser Rohstoff auch nicht in die engere Wahl zu ziehen ist.

Die pleistozänen Lehme der Niederterrasse schwanken in ihrem SiO₂-Gehalt beträchtlich (Abb. 10a). Dieses Phänomen kann im Lichte ihrer Entstehung ohne weiteres verstanden werden. E. Letsch et al. interpretieren diese Rohstoffe als sedimentierte Feinschlämme des Rheines, die sich bei den periodischen Überflutungen in den Vertiefungen des Schotter der Niederterrasse abgesetzt hätten³³. Solche Vorkommen, deren Mächtigkeit bis 2 m betragen kann, wurden nach diesen Autoren zu Beginn dieses Jahrhunderts im Rheintal zwischen Basel und Koblenz (AG) von mehreren, inzwischen eingegangenen Ziegeleien genutzt. Die im Bereiche der römischen Töpfereien beprobten Pleistozän-Lehme passen in Abbildung 10a und 10b (A-91, Z126, Z127, Z128, Z129) nicht schlecht zur zweiten Ziegel-Materialgruppe. Es ist demnach anzunehmen, dass die Ziegel dieser Gruppe aus den pleistozänen Niederterrasselehmen der nächsten Umgebung gefertigt wurden. Laut A. Jornet³⁴ bestehen diese Tone aus wechselnden Anteilen von Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Dolomit, Kalzit, Illit und Chlorit. Die eigenen Untersuchungen an den Proben Z122–Z129 bestätigen diesen Befund. Es handelt sich aber mehrheitlich um CaO-arme Tone (Tab. 2).

Der Rohstoff für die Herstellung der anderen Ziegel-Materialgruppe, d.h. derjenigen der Legio I Martia, ist schwerer zu fassen. Der beträchtliche Aluminiumgehalt lässt vermuten, dass hier kaolinithaltige Tone verwendet wurden. Nun zeichnen sich die Opalinustone durch den Kaolinit-Gehalt aus³⁵! Die relativ gute Übereinstimmung mit der latènezeitlichen Referenzgruppe Sissach-Brühl (ausser im CaO- und Ba-Gehalt, Tab. 3), deren feinkeramische Produkte laut M. Maggetti et al. aus quartär verschwemmtem Opalinuston hergestellt sein sollen³⁶, kann als weiteres Indiz für den Gebrauch von Opalinuston gewertet werden. Diese Hypothese scheint durch die Abbildung 10a auch gestützt zu werden, denn die Opalinustone liegen relativ nahe beim Feld der Legionsziegel. In der Abbildung 10b hingegen sind sie, wegen ihres signifikant höheren MgO-Gehaltes, beträchtlich vom Bereich der Legio I Martia entfernt.

Die Frage nach der Art des Rohstoffes für die Gruppe der Legio I Martia (verschwemmte Opalinustone = Transport von weit her, artifizelle Tongemische, geschlammte pleistozäne Lehme?) kann momentan nicht schlüssig beantwortet werden.

28 Maggetti et al. 1988.

29 Matter et al. 1988a; Nagra 1984; de Quervain 1969.

30 Janke 1989; Maggetti et al. 1988; Matter et al. 1988 a,b; Nagra 1984; de Quervain/Friedländer 1942; de Quervain 1969.

31 Letsch et al. 1907; de Quervain und Friedländer 1942; de Quervain 1969.

32 Jornet 1982 und Analysen dieser Arbeit.

33 Letsch et al. 1907.

34 Jornet 1982.

35 Peters 1962.

36 Maggetti et al. 1988.

Zur Technik der Fabrikation

Aufbereitung

Die mikroskopische Untersuchung liefert keine Hinweise für eine aufwendige Vorbereitung des Rohmaterials. Die reichliche Präsenz von 3–4 mm grossen Tongallen³⁷ in fast allen untersuchten Objekten spricht gegen eine lange Lagerung (Mauken) des Rohstoffes; das Vorkommen von groben (max. 6 mm grossen) Gesteins- und Schamottebruchstücken zeigt, dass der Rohstoff nicht geschlämmt wurde. Der schlierige Aufbau ist ein Indiz für eine – wenn überhaupt – nur sehr kurzfristige Durchknetung bzw. Homogenisierung des Materials.

Aus allen diesen Merkmalen ist zu folgern, dass die antiken Ziegler die Rohmaterialien ohne intensive Aufbereitung verwendet haben.

Brenntemperaturen

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die Ausgangsminerale, d.h. die im Rohstoff vorhandenen Phasen, während des Brandes zerfallen und sich zu neuen, stabileren Phasen kombinieren. Werden nun ein oder mehrere, mit der Keramik chemisch und mineralo-

gisch vergleichbare Tone kontrolliert gebrannt und die bei den einzelnen Temperaturen röntgenographisch ermittelten Phasenbestände mit den in den antiken Proben nachgewiesenen verglichen, so können die antiken Brenntemperaturen abgeschätzt werden, falls nicht allzugrosse Umbildungen, z.B. während der Bodenlagerungsphase, stattfanden³⁸.

Phasenbestand und Brenntemperaturen der roten Scherben

Der röntgenographisch ermittelte Phasenbestand erlaubt die Gruppierung der roten Scherben in zwei Hauptgruppen:

Hauptgruppe I: Scherben ohne eine Ca-Phase wie Kalzit, Gehlenit, Diopsid.

Hauptgruppe II: Scherben mit einer oder mehrerer Ca-Phasen.

Bezüglich CaO-Gehalt liegt die Grenze bei etwa 3 Gew.% CaO.

37 Whitbread 1986.

38 Heimann 1978/79; Maggetti 1979; Maggetti 1982.

| rote Scherben | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Gruppe / Assoziation | I | | | | II | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 |
| Quarz | [Hatched pattern] | | | | | | | | | | | | |
| Illit (001,002,110) | [Hatched pattern] | | | | [Hatched pattern] | | | [Hatched pattern] | | | | | |
| Illit (110) | | [Hatched pattern] | | | | | [Hatched pattern] | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | | |
| Kalifeldspat | [Hatched pattern] | | | | | | | | | | | | |
| Plagioklas | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] |
| Kalzit | | | | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | [Hatched pattern] |
| Dolomit | | | | | | | | ?? | ?? | | | | |
| Hämatit | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] |
| Spinell | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | [Hatched pattern] | | ?? | [Hatched pattern] | | | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] |
| Gehlenit | | | | | | ?? | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] |
| Diopsid | | | | | | | ?? | | [Hatched pattern] | [Hatched pattern] | | ?? | [Hatched pattern] |
| Wollastonit | | | | | | | | | ?? | | | | |
| Garronit | | | | | | | | | | | | | [Hatched pattern] |
| Anzahl Proben | 21 | 3 | 9 | 9 | 13 | 19 | 12 | 8 | 16 | 5 | 10 | 9 | 3 |
| Brenn-T (°C) | 650-750/800 | 800-950 | 950-1050 | | 650-750 | 750-850 | | 750/800-950 | 850/900-950/1000 | | 950 — 1050 | | |

Abb. 11 Phasenassoziationen in den rot gefärbten Scherben. (001) usw. beim Illit bezeichnet die Präsenz der jeweiligen Reflexe im Diffraktogramm.

Eine weitere Unterteilung innerhalb dieser Hauptgruppen erfolgt nach den Phasenassoziationen (Abb. 11):

Hauptgruppe I:

- R 1** Quarz + Illit (001, 002, 110) + Kalifeldspat ± Plagioklas ± Hämatit ± Spinell
Scherben: Z44, Z79, Z84, Z93, Z98, Z99, Z100, Z104, Z107, Z130, Z131, Z132, Z135, Z136, Z137, Z138, Z140, Z145, Z147, Z148, Z149.
- R 2** Quarz + Illit (110) + Kalifeldspat + Plagioklas + Hämatit + Spinell
Scherben: Z77, Z85, Z90.
- R 3** Quarz + Kalifeldspat + Plagioklas + Hämatit
Scherben: Z70, Z74, Z75, Z76, Z78, Z89, Z91, Z95, Z103.
- R 4** Quarz + Kalifeldspat + Hämatit + Spinell
Scherben: Z96, Z102, Z110, Z133, Z139, Z141, Z142, Z146, Z164.

Hauptgruppe II:

- R 5** Quarz + Illit (001, 002, 110) + Kalifeldspat + Plagioklas + Kalzit
Scherben: Z80, Z106, Z113, Z114, Z116, Z117, Z118, Z119, Z120, Z121, Z163, Z167, Z168.
- R 6** Quarz + Illit (001, 002, 110) + Kalifeldspat ± Plagioklas ± Kalzit + Hämatit ± Spinell(?) ± Gehlenit(?)
Scherben: Z14, Z21, Z34, Z39, Z45, Z47, Z48, Z59, Z65, Z66, Z69, Z81, Z82, Z83, Z101, Z105, Z115, Z134, Z159.
- R 7** Quarz + Illit (110) + Kalifeldspat ± Plagioklas + Kalzit + Hämatit + Spinell + Diopsid(?)
Scherben: Z33, Z35, Z41, Z42, Z43, Z49, Z52, Z53, Z56, Z57, Z64, Z109.
- R 8** Quarz + Illit (001, 002, 110) + Kalifeldspat ± Plagioklas + Kalzit ± Dolomit(?) + Hämatit + Gehlenit
Scherben: Z2, Z5, Z10, Z22, Z25, Z37, Z54, Z63.
- R 9** Quarz + Illit (110) + Kalifeldspat + Plagioklas + Kalzit ± Dolomit(?) + Hämatit + Gehlenit ± Diopsid ± Wollastonit(?)
Scherben: Z3, Z4, Z7, Z8, Z13, Z15, Z16, Z17, Z20, Z26, Z27, Z29, Z30, Z58, Z61, Z162.
- R 10** Quarz + Illit (110) + Kalifeldspat ± Plagioklas ± Kalzit + Hämatit ± Gehlenit + Diopsid
Scherben: Z67, Z68, Z71, Z72, Z73.
- R 11** Quarz + Kalifeldspat ± Plagioklas + Kalzit + Hämatit + Spinell
Scherben: Z86, Z87, Z97, Z111, Z112, Z143, Z158, Z161, Z165, Z166.
- R 12** Quarz + Kalifeldspat + Plagioklas + Hämatit + Spinell + Gehlenit + Diopsid(?)
Scherben: Z1, Z6, Z9, Z12, Z18, Z32, Z60, Z62, Z144.
- R 13** Quarz + Plagioklas ± Kalzit + Hämatit ± Spinell ± Gehlenit + Diopsid ± Garronit
Scherben: Z50, Z92, Z160.

Eine erste Beurteilung der Verteilung der Proben auf die diversen Phasenassoziationen zeigt, dass die Stücke der Materialgruppen 1 und 2 statistisch verteilt sind. Die Abschätzung der Brenntemperatur er-

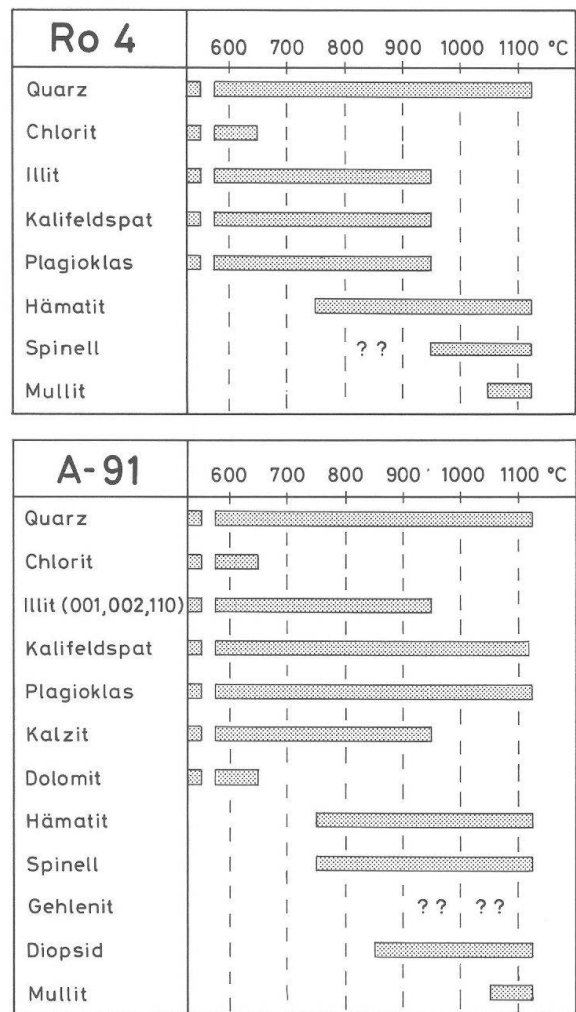


Abb. 12 Veränderung des Mineralbestandes zweier Rohtone mit zunehmender Brenntemperatur (oxidierende Bedingungen, 1 h Haltezeit bei Maximaltemperatur). A-91 (Jornet 1982), Ro 4 (Czys et al. 1984).

folgt im Vergleich zu chemisch ähnlichen Rohstoffen. Für die Proben der Materialgruppe 2, die zur röntgenographischen Hauptgruppe II gehören, haben wir den von A. Jornet minutiös analysierten Rohton A-91³⁹ als Grundlage verwendet; dieser gehört nach den oben gemachten Feststellungen zu den potentiellen antiken Rohstoffen dieser Hauptgruppe. Da in der Diskussion des möglichen Rohstoffes für die Materialgruppe 1 kein eindeutiger Nachweis gelungen ist – wenn auch ein ± veränderter Opalinuston am wahrscheinlichsten scheint – haben wir uns auch für diese Proben des A-91 bedient. Für die Brenntemperaturschätzung der röntgenographischen, CaO-ärmeren Hauptgruppe I, wurde der von W. Czys et al.⁴⁰ untersuchte Ton «Ro 4» verwendet (Abb. 12).

In der *Assoziation R1* ist kein Chlorit mehr nachzuweisen, somit ergibt sich eine *minimale* Brenntemperatur von etwa 650°C. Da Hämatit nur vereinzelt auftritt, wird die obere Temperaturgrenze bei 750/800°C gelegen haben.

39 Jornet 1982.

40 Czys et al. 1984.

Der Illit zeigt in der *Assoziation R2* keine Basalreflexe. Gemäss verschiedener Autoren werden deshalb für diese Assoziation untere Brenntemperaturen von ca. 850°C angezeigt⁴¹. Auch die Präsenz von Hämatit ist ein Indiz dafür, dass Temperaturen von 800°C sicher erreicht wurden. Illit verschwindet im Experimentalbrand bei ca. 950°C, womit die obere Temperatureingabelung gegeben ist.

Das Fehlen von Illitreflexen in den *Assoziationen R3 + R4* ergibt minimale Brenntemperaturen von etwa 950°C. Mullit konnte nirgends nachgewiesen werden, was auf maximal 1050°C hinweist.

Die Proben der *Assoziation R5* sind – wie R1 – schwach gebrannt. Durch das Fehlen von Chlorit und Hämatit + Spinell wird eine untere Brenntemperatur von 650°C bzw. eine obere von 750°C angezeigt. Der Kalzit ist in diesen Stücken demzufolge noch primärer Genese (er verschwindet im Experimentalbrand von A-91 erst über 900°C), was durch das mikroskopische Bild bestätigt wird.

In den *Assoziationen R6 und R7* deuten das Vorhandensein von Hämatit (+ Spinell?) auf minimal 750°C, das Vorkommen von Illit auf maximal 950°C. Diopsid fehlt, somit sind die Maximaltemperaturen noch niedriger anzusetzen (850°C). Obwohl im Experimentalbrand des Tones A-91 die drei Reflexe des Illites gleichsinnig verschwinden, sind wir der Meinung, dass die Assoziation R7 eher bei 800–850°C gebrannt wurde, weil die Illit-Basalreflexe fehlen. R6 wäre dann im Temperaturbereich von 750–800°C gebrannt. Kalzit ist sowohl primärer wie sekundärer Entstehung⁴².

In der *Assoziation R8* kann die gleichzeitige Präsenz von Gehlenit und Illit mit Brenntemperaturen von mindestens 900 bzw. maximal 950°C interpretiert werden. Demgegenüber könnte das Vorhandensein der Basalreflexe aber Maximaltemperaturen von 750–800°C anzeigen, was gut mit dem Fehlen von Spinell zu vereinbaren wäre. Dieses relativ breite Temperaturintervall könnte aber durch den «thermometrisch» inhomogenen Aufbau (s. vorne) gegeben sein! Der Kalzit wurde sekundär retrograd gebildet.

Für die *Assoziation R9 und R10* lässt sich ein Brennintervall, gestützt auf das Vorkommen der Illit(110)-Reflexe, von 800/850–950°C ermitteln. Dies passt gut zum Nachweis von Hämatit (mindestens 750°C) und Diopsid (mindestens 850°C) und Gehlenit (mindestens 900°C). Hingegen fehlt Spinell in beiden Assoziationen, obwohl er laut den Experimentalbränden in diesem Temperaturbereich gebildet wird. Kalzit ist eindeutig sekundärer Genese.

Für die Proben der *Assoziationen R11, R12 und R13* sind Minimaltemperaturen von 950°C, gestützt auf die Abwesenheit von Illit, zu postulieren. Die obere Grenze von etwa 1050°C ist durch die Abwesenheit von Mullit gegeben.

Wie real sind nun diese Temperatureingabelungen, wenn man sie mit den Temperaturbereichen gleichaltriger römischer Keramik vergleicht bzw. wenn man sich überlegt, dass es sich bei diesen Ziegelbruchstücken um dicke Fragmente handelt, die im Ofen wahrscheinlich nicht durchgehend homogen gebrannt wurden und somit je nach Probennahme eine andere Temperatur anzeigen bzw. im Querschnitt eine Tem-

peraturzonierung (d.h. innen schwächer gebrannt als aussen) aufweisen können?

Werden alle 137 roten Scherben gesamthaft analysiert, so lassen sie sich zu drei Temperaturbereiche zusammenfassen:

- 650–850°C (R1, R5, R6, R7): 65 Proben (47%)
- 750/800–950/1000°C (R2, R8, R9, R10): 32 Proben (24%)
- 950–1050°C (R3, R4, R11, R12, R13): 40 Proben (29%).

Die Hälfte der Untersuchungsobjekte gehört also zum niedrigen Temperaturbereich von 650–850°C, ist demnach schwach gebrannt. Die Rundziegel der Gruppe 5, die ja laut T. Tomasevic-Buck die in situ erhaltene letzte Charge im grossen Ziegelbrennofen repräsentieren⁴³, gehören ohne Ausnahme zu diesem Temperaturbereich – es ist demnach zu folgern, dass dieses Intervall von den Ziegeln als Optimum angestrebt wurde. Ein solcher Temperaturbereich stimmt aber gut mit den postulierten Ziegel-Garbrandtemperaturen von 720–810°C⁴⁴ bzw. 750–850°C⁴⁵ überein! Die Brenntemperaturen für die gallorömische schweizerische Feinkeramik sind vergleichsweise bei höheren Temperaturen anzusetzen: 850–1050°C⁴⁶. Sie passen aber gut zu den Temperaturbereichen der gallorömischen Keramik von Aegerten⁴⁷ und Seeb⁴⁸. Einschränkung ist aber zu bemerken, dass es sich hierbei um Töpfereiabfall, also um nicht verhandelte Ware handelt, was für die hier besprochene Baukeramik nicht unbedingt zutrifft. Die in Augst produzierten Weinamphoren ergaben Temperaturen über 850°C⁴⁹.

Die generell niedrige Brenntemperatur der analysierten Augster *Baukeramik* stimmt also mit den Garbrandtemperaturen anderer Ziegelfabrikate überein und ist demnach ein Indiz, dass die Probennahme das Resultat nicht allzustark beeinflusste. Im Einzelfall lassen sich aber solche Temperaturinhomogenitäten in verschiedenen Proben desselben Ziegels fassen, wie z.B. Z75, Z76, Z78 (950–1050°C) und Z77 (800–950°C), Z80 (650–750°C) und Z81 (750–850°C) bzw. Z79 (650–750/800°C) und Z83 (750–850°C). Derartige Unterschiede können problemlos mit den Temperaturfluktuationen im Ofen und/oder der Probennahme erklärt werden.

Eine kritische Wertung der Temperaturbestimmungen muss auch die Tatsache berücksichtigen, dass gewisse Ziegel der Fundgruppen 1, 3 und 4 aus der Ofenmauerung der Ziegelöfen stammen bzw. auf dem Boden eines Ziegelofens (Fundgruppe 2) lagen;

41 Maggetti/Rossmann 1981; Maggetti 1982; Kilka 1987b.

42 Maggetti 1986.

43 Tomasevic-Buck 1982a, 11 und Umschlagbild.

44 Bohn 1962.

45 Maggetti/Galetti 1990.

46 Benghezal 1989; Jornet 1980; Jornet/Maggetti 1983; Kaenel et al. 1981; Küpfer/Maggetti 1978; Maggetti 1980; Maggetti 1981; Maggetti/Küpfer 1978.

47 Kilka 1987b; Kilka 1988: 40% unter 850°C, 24% zwischen 850–950°C, 31% zwischen 950–1100°C, 5% über 1100°C.

48 Benghezal 1989; Benghezal 1990: 41% unter 850°C, 43% zwischen 800/850–950°C, 16% zwischen 900–1050°C.

49 Martin-Kilcher et al. 1987.

letztere entsprechen der zusammengestürzten Überwölbung des Brennofens⁵⁰. Die geschätzte Brenntemperatur könnte demzufolge nicht die ursprüngliche Garbrandtemperatur anzeigen, sondern eventuell die subseque, in der Zweitverwendung erreichte «Betriebstemperatur» des Ofens anzeigen. Dass solche Phänomene fassbar sind, haben wir an Ziegeln nachgewiesen, die in der Ofenmauerung eines Terra Sigillata-Ofens von ursprünglichen Garbrandtemperaturen von 750–850°C sekundär auf über 1050°C erhitzt wurden⁵¹!

Um solche sekundäre Temperatur-Einflüsse zu fassen, müssen die «Nicht-Ofenmauer»-Proben aus den Fundgruppen 1, 5, 7, 9 mit den sog. «Ofenmauer-Proben» (Fundgruppen 2, 3, 4) verglichen werden. Die Abbildung 13 zeigt nun deutliche Unterschiede. Die «Ofenmauer»-Proben haben vergleichsweise einen grösseren Anteil an Stücken im höchsten Intervall von 950–1050°C. Wir interpretieren diesen Befund als Anzeichen einer sekundären Temperatureinwirkung.

Schliesslich muss noch die von T. Tomasevic-Buck⁵² gestellte Frage nach den Ursachen der Farbunterschiede für ihre Farbgruppe F11, E9 und H9 beantwortet werden. Nimmt man z.B. die Proben Z18 und Z42 (beide Farbgruppe F11), so sind beide chemisch gleich, aber verschieden hoch gebrannt (Z18: 950–1050°C; Z42: 750–850°C)! In der Farbgruppe E9 sind beide untersuchten Proben (Z21, Z44) chemisch und temperaturmässig verschieden. Diese beiden Parameter sind demnach nicht für die Farbunterschiede zwischen den Farbgruppen verantwortlich; vielleicht spielen Fluktuationen in der Ofenatmosphäre eine Rolle.

Phasenbestand und Brenntemperaturen der grauen Scherben

Die 18 grauen Proben können – wiederum nach dem CaO-Gehalt – zwei Hauptgruppen zugeordnet werden, die auch in je zwei Assoziationen gegliedert sind (Abb. 14).

- G1** Quarz + Sanidin + Plagioklas + Herzynit + Magnetit
Scherben: Z94, Z108.
- G2** Quarz + Sanidin(?) + Plagioklas ± Kalzit ± Hämatit + Herzynit + Magnetit + Fe-Cordierit + Cristobalit
Scherben: Z150, Z151, Z152, Z153, Z154, Z155, Z156, Z157.
- G3** Quarz + Sanidin + Plagioklas + Kalzit ± Hämatit + Herzynit + Magnetit + Gehlenit + Diopsid
Scherben: Z24, Z31, Z88, Z92.
- G4** Quarz + Sanidin + Plagioklas ± Hämatit + Herzynit + Magnetit + Gehlenit + Fe-Cordierit + Cristobalit(?)
Scherben: Z11, Z38, Z51, Z55.

50 Tomasevic-Buck 1982a

51 Maggetti/Galetti 1990.

52 Tomasevic-Buck 1977, 111.

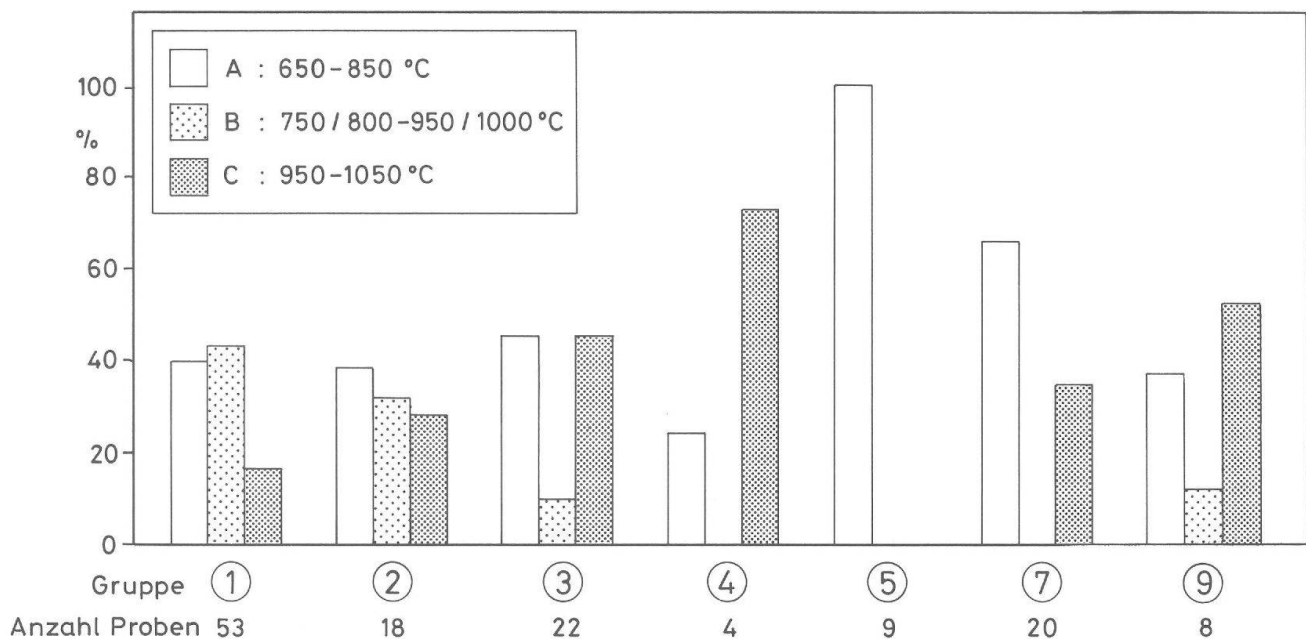


Abb. 13 Prozentuale Verteilung der Fundgruppen 1–5 und 7 auf die drei Brenntemperaturbereiche.

| Gruppe/ Assoziation Phasen | Graue Scherben | | | | "Violetter" Scherben V1 |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| | I | | II | | |
| | G1 | G2 | G3 | G4 | |
| Quarz | [Hatched pattern] | | | | |
| Sanidin | | ?? | | | |
| Plagioklas | [Hatched pattern] | | | | |
| Kalzit | | [Cross-hatched] | [Cross-hatched] | | |
| Hämatit | | [Cross-hatched] | [Cross-hatched] | [Cross-hatched] | |
| Herzynit | [Hatched pattern] | | | | |
| Magnetit | [Hatched pattern] | | | | |
| Gehlenit | | | [Hatched pattern] | | |
| Diopsid | | | [Hatched pattern] | | |
| Fe-Cordierit | | [Cross-hatched] | | [Cross-hatched] | |
| Cristobalit | | | | ?? | ?? |
| Anzahl Proben | 2 | 8 | 4 | 4 | 1 |
| Brenn-T (°C) | 900-1000 | > 1000 | 900-1000 | > 1000 | > 1000 |

Abb. 14 Phasenassoziationen der grau und «violett» gefärbten Scherben.

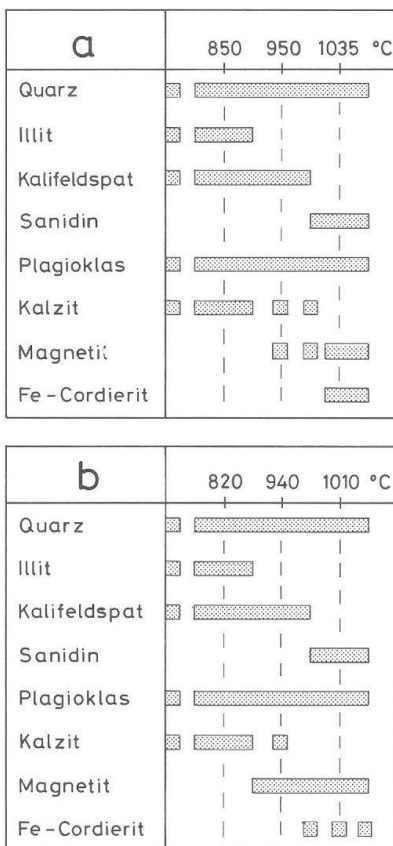


Abb. 15 Veränderung des Mineralbestandes eines illitischen Rohstoffes mit zunehmender Brenntemperatur (Heimann et al. 1980).

a = stark reduzierend, $fO_2 < 10^{-4}$ atm; b = schwach reduzierend, $fO_2 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-1}$ atm.

Mit dem experimentellen Brennverhalten reduziert gebrannter Rohtone haben sich bisher leider nur wenige Autoren befasst. Die beiden kaolinitischen Tone von H.-J. Schwarz⁵³ unterscheiden sich von unseren postulierten Tönen durch den sehr hohen Al_2O_3 -Gehalt (27–31 Gew.-%!). Die von J. W. H. Letsch und W. Noll untersuchten Tone⁵⁴ kommen unseren vermuteten Rohstoffen schon näher. Die beste mineralogische und chemische Übereinstimmung ist durch die illitisch-chloritische Mischung der Experimente von R. B. Heimann et al. gegeben⁵⁵. Nur in diesen Bränden wurde Fe-Cordierit beobachtet (Abb. 15), was mit den zwei Assoziationen G2 und G4 übereinstimmt.

Versucht man nun eine Temperatureingabelung, so sind die sekundären Phasen wie Kalzit und Hämatit nicht zu berücksichtigen. Letzterer hat sich durch Reoxidation des Magnetites beim Abkühlen gebildet. Dieser Prozess ist sehr schön sichtbar im Falle der roten Aussenbereiche der Überbrände (Gruppe 8). In unseren Proben fehlt überall Illit, somit sind Temperaturen von 900°C mit Sicherheit überschritten worden. Enthält eine Probe zusätzlich noch Fe-Cordierit, so müssen minimale Brenntemperaturen von 1000°C angenommen werden. Fehlt diese Phase, ist eine obere Temperaturlimite von 1000°C gegeben. Die Proben der Gruppen G2 und G4 müssen aber noch viel höher gebrannt worden sein, denn sie zeigen makroskopisch und mikroskopisch Anzeichen von Schmelzbildungen! In unseren Proben sind noch zusätzliche Phasen wie Herzynit, Gehlenit, Diopsid, Cristobalit zu erkennen, die in den Experimenten von R. B. Heimann et al. nicht nachgewiesen wurden⁵⁶. Die d-Werte der Cordieritphase stimmen viel besser mit denjenigen eines Fe-Cordierites überein als mit denjenigen eines reinen Mg-Cordierites. Dies ist auch zu erwarten, da die Tone viel mehr Eisen als Magnesium enthalten. Die Ofenatmosphäre war, gestützt auf das reichliche Vorkommen von Fe-Cordierit (Abb. 16), stark reduzierend. Dies wird durch den hohen FeO-Gehalt vieler grauer Scherben bezeugt; ist er niedrig, so spielen Reoxidationsprozesse eine Rolle.

Die in der archäologischen Erstpublikation erwähnten grauen Fehlbrände⁵⁷ erwiesen sich wirklich – mit Ausnahme von Z45 – als höchst gebrannte Fehlbrände. Ob dieser Zustand schon im ersten Garbrand oder erst in Zweitverwendung als Ofenmauerungselement erreicht wurde, muss wegen der fehlenden Funddokumentation offenbleiben. Dass aber auch gewisse Ziegel der Legio I Martia hohe Brenntemperaturen dokumentieren, zeigen die Fragmente der Gruppe 7 (Abb. 14).

53 Schwarz 1989.

54 Vgl. Letsch 1981 sowie Letsch/Noll 1983.

55 Heimann et al. 1980.

56 Heimann et al. 1980.

57 Tomasevic-Buck 1977, 111.

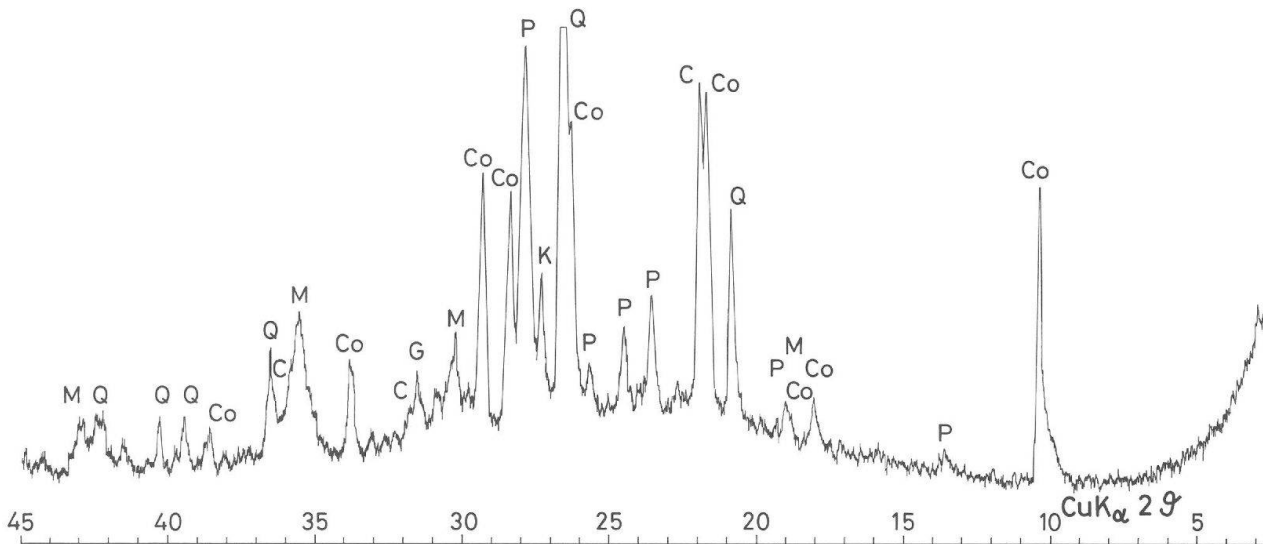


Abb. 16 Diffraktogramm der Probe Z51 (Röntgenographische Gruppe G4).

C = Cristobalit, Co = Fe-Cordierit, G = Gehlenit, K = Kalifeldspat, M = Magnetit, P = Plagioklas.

Phasenbestand und Brenntemperatur des «violetten» Fragments

Eine einzige Probe der Gruppe 1, Z28, hat eine violette Farbe. Makroskopisch ist die starke Sinterung zu erkennen und mittels röntgenographischer Analyse konnte folgender Phasenbestand nachgewiesen werden:

Quarz + Plagioklas + Hämatit + Magnetit + Gehlenit + Fe-Cordierit + Cristobalit(?).

Leider konnte das FeO nicht bestimmt werden, so dass die Ofenatmosphäre nicht zu erfassen ist – wurde oxidierend und/oder reduzierend gebrannt? Bisher wurde Fe-Cordierit nur bei Reduktionsbränden ermittelt, und wir sind deswegen der Meinung, dass diese Probe grösstenteils reduziert gebrannt wurde. Dafür spricht auch die Präsenz von Magnetit. Der Hämatit wäre dann auf Reoxidationsprozesse zurückzuführen. Der Nachweis von Cordierit deutet somit auf Minimaltemperaturen von 1000°C.

Zusammenfassung

Die mineralogische, chemische und technische Analyse von 155 Fragmenten Augster und Kaiseraugster Baukeramik (davon 80 gestempelte Ziegel der Legio I Martia) und 8 Tonproben ergab folgendes:

1. Die untersuchten Proben der Legio I Martia bilden eine homogene, CaO-haltige (ca. 1–6 Gew.%) Gruppe, die sich *chemisch* deutlich von derjenigen der restlichen Baukeramik unterscheidet. Sie kann als Referenzgruppe definiert werden.
2. Von den 75 ungestempelten Baukeramikfragmenten haben aber einige dieselbe chemische Zusammensetzung wie die Legionsziegel. Dazu gehören die Rundziegel, die als letzte Charge auf der Lochtenne im Ziegelbrennofen Kaiseraugst-«Liebrüti» vorgefunden wurden sowie ein Tubulus. Damit ist indirekt bewiesen, dass die Legionsziegel an Ort und Stelle fabriziert worden sind.
3. Eine differenzierte Bewertung der chemischen Analysen zeigt, dass wahrscheinlich jede Ziegelcharge aus einem homogen zusammengesetzten Rohstoff hergestellt wurde, der aber von Charge zu Charge differiert.

4. Die 18 mitanalysierten Legionsziegelfragmente der Fundorte *Frick, Windisch-Oberburg und Biel-Mett* passen chemisch sehr gut zur Referenzgruppe und wurden auch in Augst fabriziert. Auch die von T. Kilka⁵⁸ publizierten 19 Analysen von Ziegeln der Legio I Martia der Fundorte *Biesheim und Strassburg* sind aufgrund des ähnlichen Chemismus als Augster Produktion zu werten.
5. Die chemische Übereinstimmung der Fehlbrände (Überbrände) mit der restlichen ungestempelten, CaO-haltigen (ca. 0–8 Gew.%) Baukeramik zeigt, dass auch diese in Augst/Kaiseraugst hergestellt worden ist.
6. Die chemischen Unterschiede zwischen beiden Hauptgruppen der Kaiseraugster Baukeramik (gestempelte Legionsziegel, ungestempelte Ziegel) sind auf die Verwendung zweier differierender Rohstoffe und/oder auf unterschiedliche Aufberei-

⁵⁸ Kilka 1985; Kilka 1987a.

tungstechniken zurückzuführen. Für die ungestempelten Ziegel sind aufgrund der mineralogischen und chemischen Ähnlichkeit lokale, pleistozäne Lehme der Rhein-Niederterrasse als Rohstoffe anzunehmen, die praktisch unverändert verwendet wurden. Die Frage nach dem Rohstoff für die Herstellung der Legionsziegel kann nicht schlüssig beantwortet werden. Der hohe Aluminiumgehalt könnte mit der Verwendung von Opalinustonem erklärt werden, die aber nicht lokal anstehen.

7. Die Rohstoffe wurden nicht sonderlich aufbereitet. Eine Schlämmung hat nicht stattgefunden.
8. Die Brennatmosfera war oxidierend. Die Hälfte der Untersuchungsobjekte wurde im Temperaturbereich von ca. 650–850°C gebrannt, was als normale Garbrandtemperatur für römische Ziegel interpretiert wird. Die restlichen verteilen sich gleichmässig auf die Bereiche 750/800–950/1000°C und 950–1050°C.

Summary

The mineralogical, chemical and technical analyses of 155 fragments of construction ceramics from Augst (80 of which are stamped tiles Legio I Martia) and 8 clay samples gave the following results:

1. The Legio I Martia tiles form a homogeneous, CaO-bearing (app. 1–6 wt%) group, which can be clearly distinguished from the other construction ceramics. She can be defined as a reference group.
2. Some of the 75 unstamped construction ceramic fragments have the same chemical composition as the legions tiles. They contain semicircular tiles which have been found as last charge in the tile kiln Kaiseraugst-«Liebrüti», as well as one tubulus. Therefore it is indirectly proved that the legion tiles were fabricated on the spot.
3. A differentiated evaluation of the chemical analyses shows that probably every tile charge was made up of a homogeneous raw material, which differed from charge to charge.
4. The 18 analysed legion tiles fragments of *Frick, Windisch-Oberburg and Biel-Mett* coincide chemically with the reference group and were also made in Augst. The 19 analyses published by T. Kilka⁵⁹ of tiles of the Legio I Martia, which were found in *Biesheim and Strasbourg* are of similar chemistry and are therefore also a production of Augst.

5. The chemical correspondance of overfired tiles and the remnant unstamped, CaO-bearing (app. 0–8 wt%) construction ceramics shows that there were also produced in Augst/Kaiseraugst.
6. The chemical differences between the two main groups of construction ceramics of Augst/Kaiseraugst (stamped legion tiles, unstamped tiles) are due to the application of two different raw materials and/or different processing technics. As raw materials for the unstamped tiles the local pleistocene clays of the lower Rheinterrasse are proposed due to mineralogical and chemical similarities. The loam was applied principally unchanged. A solution for the problem of the raw material for the fabrication of the legion tiles can not be offered definitely. The high aluminium content could be inherited from the opalinus clays, which do not outcrop at this place.
7. The raw materials haven't been especially processed. A wash hasn't been performed.
8. The firing temperature was held under oxidizing conditions. Half of the analysed objects were burned in the temperature range between 650–850°C, which is interpreted as the normal firing temperature for roman tiles. The residuals spread equally into the temperature ranges from 750/800–850/1000°C and 950–1050°C.

Literatur

Alexander 1975: W. C. Alexander, A pottery of the Middle Roman Imperial Period in Augst (Venusstrasse-Ost 1968/69). *Forschungen in Augst 2* (Basel/Augst/Liestal 1975).

Benghezal 1989: A. Benghezal, Groupes de reference des poteries gallo-romaines de Seeb (ZH-Suisse) et Oberwinterthur (ZH-Suisse): Caractéristiques mineralogiques, chimiques et techniques (unveröff. Diplomarbeit Universität Freiburg/Schweiz 1989).

Benghezal 1990: A. Benghezal, Les poteries gallo-romaines de Seeb: analyses chimiques et mineralogiques. In: W. Drack, Chr. Meyer-Freuler, K. Roth-Rubi et al., *Der römische Gutshof bei Seeb, Gem. Winkel. Ausgrabungen 1958–1969. Berichte der Zürcher Denkmalpflege. Archäologische Monographien 8* (Zürich 1990) 240–253.

Bohn 1962: P. Bohn, Rómaikori téglák vizsgálata. *Archaeologiai Értesito* 89, 1962, 250ff. (zitiert in P. Arnold, Die römischen Ziegeleien von Hunzenschwil-Rapperswil. *Jahresbericht der Gesellschaft Pro Vindonissa* 1965 [1966] 37–55).

Czysz et al. 1984: W. Czysz, M. Maggetti, G. Galetti, H. Schwander, Die spätrömische Töpferei und Ziegelei von Rohrbach im Landkreis Aiach-Friedberg. *Bayerische Vorgeschichtsblätter* 49, 1984, 215–256.

Duma 1971: G. Duma, Phosphate content of ancient pots as indication of use. *Current Anthropology* 13, 1971, 127–130.

59 Kilka 1985; Kilka 1987a.

- Franklin/Vitali 1985: U. W. Franklin, V. Vitali, The environmental stability of ancient ceramics. *Archaeometry* 27, 1, 1985, 3–15.
- Freestone et al. 1985: I. C. Freestone, N. D. Meeks, A. P. Middleton, Retention of phosphate in buried ceramics: an electron microprobe approach. *Archaeometry* 27, 2, 1985, 161–177.
- Heimann 1978/79: R. B. Heimann, Mineralogische Vorgänge beim Brennen von Keramik und Archaeothermometrie. *Acta Praehist. Archaeol.* 9/10, 1978/79, 79–102.
- Heimann et al. 1980: R. B. Heimann, M. Maggetti, H. C. Einfalt, Zum Verhalten des Eisens beim Brennen eines kalkhaltigen illitischen Tons unter reduzierenden Bedingungen. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft* 57, 6–8, 1980, 145–152.
- Isler et al. 1984: A. Isler, F. Pasquier, M. Huber, Geologische Karte der zentralen Nordschweiz 1:100000. Geologische Spezialkarte Nr. 121 (NAGRA, Schweizerische Geologische Kommission).
- Janke 1989: D. M. Janke, Technik und Herkunft mittelalterlicher Ofenkacheln aus der Nordwestschweiz (unveröff. Diplomarbeit, Universität Freiburg/Schweiz).
- Jornet 1980: A. Jornet, Composition de la céramique romaine d'Augusta Raurica (Augst). *Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen* 60, 1980, 271–285.
- Jornet 1982: Analyse minéralogique et chimique de la céramique romaine en Suisse à enduit brillant. Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Fribourg/Suisse No. 846 (Fribourg 1982).
- Jornet/Maggetti 1983: A. Jornet, M. Maggetti, Die Terra Sigillata von Baden: Ergebnisse einer naturwissenschaftlichen Studie. In: *Handel und Handwerk im Römischen Baden* (Museumskommission Baden 1983) 51–59.
- Jornet/Maggetti 1985: A. Jornet, M. Maggetti, Chemische Analyse von 40 Scherben der Grabungen beim Augster Osttor im Jahre 1966. *JbAK* 5, 1985, 107–122.
- Jornet/Maggetti 1993: A. Jornet, M. Maggetti, Analyse chimique, minéralogique et technologique de la céramique fine de Liebrüti (in Vorbereitung).
- Kaenel et al. 1981: G. Kaenel, D. Paunier, M. Maggetti, G. Galetti, Les ateliers de céramiques gallo-romaine de Lousonna (Lausanne-Vidy VD): analyses archéologiques, minéralogiques et chimiques. *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 65, 1981, 93–132.
- Kilka 1985: T. Kilka, Etude de la composition chimique des tuiles portant la marque de la I Legio Martia trouvées en Alsace (rapport de maîtrise, Université de Strasbourg 1985).
- Kilka 1987a: T. Kilka, Etude chimique des tuiles de la Légion Martia trouvées en Alsace. *Annales de la Société d'Histoire de la Hardt et du Ried*, 1987, 15–18.
- Kilka 1987b: T. Kilka, Groupes de références des poteries romaines d'Aegerten (Ct. Berne) (unveröff. Diplomarbeit Universität Freiburg/Schweiz 1987).
- Kilka 1988: T. Kilka, Groupes de référence des poteries romaines d'Aegerten (canton de Berne-Suisse): caractéristiques minéralogiques, chimiques et techniques. *Revue d'Archéométrie* 12, 1988, 71–80.
- Koritnig 1978: W. Koritnig, Phosphorus. In: *Wedepohl, Handbook of Geochemistry II-1* (Berlin 1978) 15k1–15k5.
- Küpfer/Maggetti 1978: T. Küpfer, M. Maggetti, Die Terra Sigillata von La Péniche (Vidy/Lausanne). *Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen* 58, 1978, 189–212.
- Lemoine/Picon 1981: C. Lemoine, M. Picon, La fixation du phosphore par les céramiques lors de leur enfouissement et ses incidences analytiques. *Revue d'Archéométrie* 6, 1981, 101–112.
- Letsch et al. 1907: E. Letsch, B. Zschokke, L. Rollier, R. Moser, Die schweizerischen Tonlager. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, IV, Lieferung* (1907).
- Letsch 1981: J. W. H. Letsch, Neolithische und chalkolithische Keramik Thessaliens: Material, Rohstoff und Herstellungstechnik (Dissertation Universität Köln 1981).
- Letsch/Noll 1983: J. W. H. Letsch, W. Noll, Phasenbildung in einigen keramischen Teilsystemen bei 600°C–1000°C in Abhängigkeit von der Sauerstoff fugazität. *Ceramic Forum International* 7, 1983, 259–267.
- Maggetti 1979: M. Maggetti, Mineralogische und chemische Zusammensetzung hallstattzeitlicher Keramik von Châtillon-s-Glâne (Kt. Fribourg, CH) und der Heuneburg (Kr. Sigmaringen, BRD). *Fortschritte der Mineralogie* 57, 1, I-II, 1979, 93–94.
- Maggetti 1980: M. Maggetti, Recherches minéralogiques, chimiques et technologiques sur la terre sigillée de l'atelier de La Péniche (Vidy/Lausanne). In: A. Laufer, La Péniche. Un atelier de céramique à Lousonna. *Cahiers d'Archéologie Romande* 20. Lousonna 4 (Lausanne 1980) 81–95.
- Maggetti 1981: M. Maggetti, Composition of roman pottery from Lousonna (Switzerland). *British Museum Occasional Paper* 19, 1981, 33–49.
- Maggetti 1982: M. Maggetti, Phase Analysis and its Significance for Technology and Origin. *Archaeological Ceramics* (Smithsonian Institution Press, Washington 1982) 121–133.
- Maggetti 1986: M. Maggetti, Majolika aus Mexiko – ein archäometrisches Fallbeispiel. *Fortschritte der Mineralogie* 64, 1, 1986, 87–103.
- Maggetti/Küpfer 1978: M. Maggetti, T. Küpfer, Composition of the Terra Sigillata from La Péniche (Vidy/Lausanne, Switzerland). *Archaeometry* 20, 2, 1978, 183–188.
- Maggetti/Rossmann 1981: M. Maggetti, M. Rossmann, Archeothermometry of Kaolinitic Clays. *Revue d'Archéométrie, Supplément* 5, 1981, 185–194.
- Maggetti et al. 1988: M. Maggetti, G. Galetti, R. Schneuwly, Die Feinkeramik von Sissach-Brühl: eine spätlatènezeitliche Referenzgruppe. *Archäologie und Museum* 013 (Amt für Museen und Archäologie des Kantons Baselland, Liestal 1988).
- Maggetti/Galetti 1990: M. Maggetti, G. Galetti, Naturwissenschaftliche Untersuchungen an der Terra Sigillata von Schwabegg (im Druck).
- Martin-Kilcher et al. 1987: S. Martin-Kilcher, M. Maggetti, G. Galetti, Fabrikation von Weinamphoren der Form Dressel 2–4 in Augusta Rauricorum (Augst/BL). *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 70, 1987, 113–132.
- Matter et al. 1988a: A. Matter, Tj. Peters, Ch. Isenschmid, H.-R. Bläsi, H.-J. Ziegler, Sondierbohrung Riniken. *Geologie. Textband, Beilagenband. Geologische Berichte der Landeshydrologie und -geologie* 5 (1988) (sowie NAGRA, Technischer Bericht 86–02).
- Matter et al. 1988b: A. Matter, Tj. Peters, H.-R. Bläsi, J. Meyer, M. Ischi, Ch. Meyer, Sondierbohrung Weiach. *Geologie. Textband, Beilagenband. Geologische Berichte der Landeshydrologie und -geologie* 8 (1988) (sowie NAGRA, Technischer Bericht 86–01).
- Nagra 1984: Die Kernbohrung Beznau. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 66 (Schweizerische Geotechnische Kommission, Bern 1984) (sowie NAGRA, Technischer Bericht 84–34).
- Niggli et al. 1930: P. Niggli, F. de Quervain, R. U. Winterhalter, Chemismus schweizerischer Gesteine. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 14, 1930, 294–301.
- Peters 1962: Tj. Peters, Tonmineralogische Untersuchungen an Opalinuston und einem Oxfordienprofil im Schweizer Jura. *Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen* 42, 1962, 359–380.
- Peters 1964: Tj. Peters, Tonmineralogische Untersuchungen an einem Keuper-Lias-Profil im Schweizer Jura (Frick). *Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen* 44, 1964, 559–588.
- Peters 1969: Tj. Peters, Mineralogische Untersuchungen an einigen schweizerischen Ziegeleirohstoffen. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen* 46, und *Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen* 49, 2, 1969, 391–405.
- Peters/Jenni 1973: Tj. Peters, J.-P. Jenni, Mineralogische Untersuchungen über das Brennverhalten von Ziegeltonen. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 50, 1973.
- Picon 1976: M. Picon, Remarques préliminaires sur deux types d'altération de la composition chimique des céramiques au cours du temps. *Figlina* 1, 1976, 159–166.
- Picon 1985: M. Picon, Un exemple de pollution aux dimensions kilométriques: la fixation du baryum par les céramiques. *Revue d'Archéométrie* 9, 1985, 27–29.
- de Quervain 1969: F. de Quervain, Die nutzbaren Gesteine der Schweiz (Bern 1969)
- de Quervain/Friedländer 1942: F. de Quervain, C. Friedländer, 1. Nachtrag zum Chemismus schweizerischer Gesteine. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 20 (Schweiz. Geotechnische Kommission, Bern 1942).

- Rottländer 1980*: R. C. A. Rottländer, Zum Phosphatgehalt keramischer Scherben. *Archaeophysika* 7, 1980, 87–94.
- Rottländer 1981–83*: R. C. A. Rottländer, Über die Veränderungen von Elementkonzentrationen in keramischen Scherben während der Bodenlagerung. Teil I, *Sprechsaal* 114, 10, (1981) 742–745; Teil II, *Sprechsaal* 115, 3, (1982) 210–218; Teil III, *Sprechsaal* 7, (1983) 571–577.
- Schneider/Hofmann 1976*: H. Schneider, B. Hofmann, Bestimmung der Herkunft antiker Keramik (Terra Sigillata) mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft* 53, 12, 1976, 417–422.
- Schwarz 1989*: H.-J. Schwarz, Chemische und mineralogische Untersuchungen an Keramik und miozänen Tonen aus dem Kröning (Niederbayern) (unveröff. Dissertation Universität München 1989).
- Tomasevic-Buck 1977*: T. Tomasevic-Buck, Die Ziegelstempel der Legio I Martia im Römermuseum Augst. In: *Festschrift Walter Drack zu seinem 60. Geburtstag (Stäfa/Zürich 1977)* 109–119.
- Tomasevic-Buck 1982a*: T. Tomasevic-Buck, Die Ziegelbrennöfen der Legio I Martia in Kaiseraugst, AG und die Ausgrabungen in der Liebrüti 1970–1975. *Archäologische Führer durch Augst und Kaiseraugst 1* (Liestal 1982).
- Tomasevic-Buck 1982b*: T. Tomasevic-Buck, Augusta Raurica – Ein neuentdecktes Gräberfeld in Kaiseraugst AG. *Archäologie der Schweiz* 5, 1982, 141–147.
- Walter/Besnius 1989*: V. Walter, Y. Besnius, Un exemple de pollution en phosphore et en manganèse de céramiques anciennes. *Revue d'Archéométrie* 13, 1989, 55–64.
- Withbread 1986*: I. K. Whitbread, The characterisation of argillaceous inclusions in ceramic thin sections. *Archaeometry* 28, 1, 1986, 79–88.

Abbildungsnachweis

- Abb. 1; 3–16: Entwürfe Marino Maggetti, Reinzeichnungen Jean Charrière.
- Abb. 2: Zeichnung Sylvia Fünfschilling, nach Angaben von Marino Maggetti, Alex R. Furger sowie Wesch-Klein und Fellmann (wie Anm. 3).
- Tab. 1–3: EDV-Grafik Alex R. Furger.

Tabelle 1: Probenverzeichnis der analysierten Ziegel (mit Stempel der Legio I Martia und ungestempelte Stücke), der übrigen Baukeramik und von Vergleichs-Lehmpföben (vgl. Fortsetzung).

| Gruppe 1 (gestempelte Flachziegel der Legio I Martia, Augst/Kaiseraugst und andere Fundorte) | | | | | |
|---|---------------|------------------|--------------|--------------|---|
| Analy- sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund- komplex | Arch. Nr. | Stem- pel | Fundort, Grabungsnummer |
| Z1 | A 1631 | - | A1 | 1 | Augst |
| Z2 | 1906.356b(?) | - | A2 | 1 | Kaiseraugst |
| Z3 | 1906.356d(?) | - | A3 | 1 | Kaiseraugst |
| Z4 | 1906.356f | - | A4 | 1 | Kaiseraugst |
| Z5 | 1906.356g | - | A5 | 1 | Kaiseraugst |
| Z6 | 1906.356h | - | A6 | 1 | Kaiseraugst |
| Z7 | 1906.356k | - | A7 | 1 | Kaiseraugst |
| Z8 | 1906.356r | - | A8 | 1 | Kaiseraugst |
| Z9 | 1937.784 | - | A9 | 1 | Kaiseraugst, Kastellmauer bei Turm 6, 1937.01 |
| Z10 | 1961.136A | V04899 | A10 | 1 | Kaiseraugst, Kirche, 1961.02 |
| Z11 | 1972.3708 | A00952 | A11 | 1 | Kaiseraugst, Liebrüti, 1972.08 |
| Z12 | 1972.6960 | A00938 | A12 | 1 | dito |
| Z13 | 1974.7730 | A00959 | A13 | 1 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, aus der Ofen- mauerung., 1974.11 |
| Z14 | 1974.7731 | A00959 | A14 | 1 | dito |
| Z15 | 1906.356e | - | A15 | 2 | Kaiseraugst |
| Z16 | 1906.356i | - | A16 | 2 | Kaiseraugst |
| Z17 | 1974.7493 | A00968 | A17 | 2 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, 1974.11 |
| Z18 | 1906.356b(?) | - | A18 | 3 | Kaiseraugst |
| Z20 | 1974.7727 | A00974 | A20 | 3 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, 1974.11 |
| Z21 | 1974.7728 | A00959 | A21 | 3 | dito, aus der Ofenmauerung |
| Z22 | 1898.345c | - | A22 | 4 | Wyhlen-Brücken- kopf ("gegenüber von Kaiseraugst") |
| Z24 | 1968.2170 | X08353(?) | A24 | 4 | Kaiseraugst, Liebrüti, 1968.05 |
| Z25 | 1971.9713 | A00861 | A25 | 4 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, 1971.08 |
| Z26 | 1898.345a | - | A26 | 5 | Wyhlen-Brücken- kopf ("gegenüber von Kaiseraugst") |
| Z27 | 1898.345b | - | A27 | 5 | dito |
| Z28 | 1906.356a | - | A28 | 5 | Kaiseraugst |
| Z29 | 1906.356c | - | A29 | 5 | Kaiseraugst |
| Z30 | 1906.356(?) | - | A30 | 5 | Kaiseraugst |
| Z31 | 1953.35 | - | A31 | 5 | Augst, Steinler, Streufofund, 1953.70 |
| Z32 | 1972.3707a.b | A00952 | A32 | 5 | Kaiseraugst, Liebrüti, 1972.08 |
| Z33 | 1974.6082 | A05522 | A33 | 5 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, 1974.11 |
| Z34 | 1974.7725 | A00994 | A34 | 5 | dito |
| Z35 | 1974.7729 | A00959 | A35 | 5 | dito, aus der Ofenmauerung |
| Z37 | 1898.342 | - | A37 | 6 | Augst, Theater, südl. Treppenhaus |
| Z38 | 1906.356(?) | - | A38 | 6 | Kaiseraugst |
| Z39 | 1943.259 | V00456 | A39 | 6 | Augst |
| Z41 | 1971.10600 | A00855 | A41 | 6 | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Ziegelbrenn- ofen, 1971.08 |

| Gruppe 1 (Fortsetzung: gestempelte Flachziegel der Legio I Martia, Augst/Kaiseraugst und andere Fundorte) | | | | | |
|--|---------------------|--------|------|---|--|
| Z42 | 1971.9714 | A00861 | A42 | 6 | dito |
| Z43 | 1971.9715 | A00861 | A43 | 6 | dito |
| Z44 | 1974.7726 | A00994 | A44 | 6 | dito |
| Z45 | 1971.6075 | A00854 | A45 | 7 | dito |
| Z47 | A 1687/ Rc 129a | - | L1 | 6 | Augst |
| Z48 | A 7.22 | - | L2 | 3 | Augst |
| Z49 | - | - | L3 | 6 | Augst oder Kanton Basel-Landschaft |
| Z50 | A 1629/ Aug 7.22 | - | L4 | 6 | Augst |
| Z51 | A 1628/Rc 174 | - | L5 | 3 | Augst |
| Z52 | - | - | L6 | - | Augst oder Kanton Basel-Landschaft |
| Z53 | - | - | L7 | - | dito |
| Z54 | - | - | L8 | - | dito |
| Z55 | - | - | L9 | - | dito |
| Z56 | - | - | L10 | - | dito |
| Z57 | - | - | F1 | - | Frick |
| Z58 | - | - | F2 | - | Frick |
| Z59 | - | - | F3 | - | Frick |
| Z60 | - | - | WO1 | - | Windisch- Oberburg |
| Z61 | - | - | M158 | - | Biel-Mett |
| Z62 | - | - | M181 | - | Biel-Mett |
| Z63 | 1969.11149 | Z02002 | KA1 | - | Kaiseraugst, Hauptstrasse, 1969.01 |
| Z64 | - | - | - | - | Biel-Mett |
| Z65 | - | - | - | - | unbekannt |

| Gruppe 2 (ungestempelte Flachziegel, Kaiseraugst-Liebrüti, kleiner Ziegelbrennofen, auf dem Boden) | | | | | |
|---|---------------|------------------|--------------|--------------|--|
| Analy- sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund- komplex | Arch. Nr. | Stem- pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z66 | 1974.10511 | - | 1 | - | Kaiseraugst, Lieb- rüti, Kleiner Zie- gelbrennofen, 1974.11, Flachzie- gel auf dem Boden |
| Z67 | 1974.10512 | - | 3 | - | dito |
| Z68 | 1974.10513 | - | 4 | - | dito |
| Z69 | 1974.10514 | - | 5 | - | dito |
| Z70 | 1974.10515 | - | 6 | - | dito |
| Z71 | 1974.10516 | - | 7 | - | dito |
| Z72 | 1974.10517 | - | 8 | - | dito |
| Z73 | 1974.10518 | - | 9 | - | dito |
| Z74 | 1974.10519 | - | 10 | - | dito |
| Z75 | 1974.10520 | - | 11A | - | dito |
| Z76 | 1974.10521 | - | 11B | - | dito |
| Z77 | 1974.10522 | - | 11C | - | dito |
| Z78 | 1974.10523 | - | 11D | - | dito |
| Z79 | 1974.10524 | - | 12A | - | dito |
| Z80 | 1974.10525 | - | 13A | - | dito |
| Z81 | 1974.10526 | - | 13B | - | dito |
| Z82 | 1974.10527 | - | 14/19? | - | dito |
| Z83 | 1974.10528 | - | 12B | - | dito |

Tabelle 1: (Fortsetzung)

| Gruppe 3 (ungestempelte Flachziegel, Ofenmauerung eines Töpferofens in Kaiseraugst-Auf der Wacht II) | | | | | |
|---|------------|--------------|-----------|----------|--|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z84 | 1981.21450 | - | - | - | KA, Auf der Wacht II, Töpferofen, Parz. 231, 1981.01, Flachziegel aus der Ofenmauerung |
| Z85 | 1981.21451 | - | - | - | dito |
| Z86 | 1981.21452 | - | - | - | dito |
| Z87 | 1981.21453 | - | - | - | dito |
| Z88 | 1981.21454 | - | - | - | dito |
| Z89 | 1981.21455 | - | - | - | dito |
| Z90 | 1981.21456 | - | - | - | dito |
| Z91 | 1981.21457 | - | - | - | dito |
| Z92 | 1981.21458 | - | - | - | dito |
| Z93 | 1981.21459 | - | - | - | dito |
| Z94 | 1981.21460 | - | - | - | dito |
| Z95 | 1981.21461 | - | - | - | dito |
| Z96 | 1981.21462 | - | - | - | dito |
| Z97 | 1981.21463 | - | - | - | dito |
| Z98 | 1981.21464 | - | - | - | dito |
| Z99 | 1981.21465 | - | - | - | dito |
| Z100 | 1981.21466 | - | - | - | dito |
| Z101 | 1981.21467 | - | - | - | dito |
| Z102 | 1981.21468 | - | - | - | dito |
| Z103 | 1981.21469 | - | - | - | dito |
| Z104 | 1981.21470 | - | - | - | dito |
| Z105 | 1981.21471 | - | - | - | dito |
| Z106 | 1981.21472 | - | - | - | dito |
| Z107 | 1981.21473 | - | - | - | dito |

| Gruppe 4 (ungestempelte Flachziegel, Ofenmauerung eines Brennofens in Kaiseraugst-Auf der Wacht II) | | | | | |
|--|------------|--------------|-----------|----------|--|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z108 | 1981.21474 | - | - | - | KA, Auf der Wacht II, Brennofen unbekannter Verwendung, Parz. 237, 1981.01, Flachziegel aus der Ofenmauerung |
| Z109 | 1981.21475 | - | - | - | dito |
| Z110 | 1981.21476 | - | - | - | dito |
| Z111 | 1981.21477 | - | - | - | dito |
| Z112 | 1981.21478 | - | - | - | dito |

| Gruppe 5 (Rundziegel, Kaiseraugst-Liebrüti, grosser Ziegelbrennofen, letzte Charge auf der Lochtenne) | | | | | |
|--|------------|--------------|-----------|----------|--|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z113 | 1974.10529 | - | - | - | Grabung 1974.11. Letzte Charge auf dem Brennrost (Lochtenne) |
| Z114 | 1974.10530 | - | - | - | dito |
| Z115 | 1974.10531 | - | - | - | dito |
| Z116 | 1974.10532 | - | - | - | dito |
| Z117 | 1974.10533 | - | - | - | dito |
| Z118 | 1974.10534 | - | - | - | dito |
| Z119 | 1974.10535 | - | - | - | dito |
| Z120 | 1974.10536 | - | - | - | dito |
| Z121 | 1974.10537 | - | - | - | dito |

| Gruppe 6 (Lehmproben, Nekropole Kaiseraugst-Im Sager und Augst-Steinlerstrasse/Insula 35) | | | | | |
|--|------------|--------------|-----------|----------|--|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z122 | 1981.21442 | - | 1 (c) | - | KA-Im Sager, 1981.03, Parz. 351/352/360/361, Koord. 622.500/265.120. Aus Sondiergraben Nr. 1, neben Grab 29 |
| Z123 | 1981.21443 | - | 2 (G) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 2, neben nördlicher Mauer |
| Z124 | 1981.21444 | - | 3 (H) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 3, neben Grab 21 |
| Z125 | 1981.21445 | - | 4 (D) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 4, neben Grab 15 |
| Z126 | 1981.21446 | - | 5 (B) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 5, neben Grab 12 |
| Z127 | 1981.21447 | - | 6 (F) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 6, neben Grab 4 |
| Z128 | 1981.21448 | - | 7 (A) | - | dito, aus Sondiergraben Nr. 7, neben Grab 2 |
| Z129 | 1981.21449 | - | - | - | Augst, Insula 35 (Steinlerstrasse), 1981.51, Lehmprobe, Parz. 1101, Koord. 621.420/264.530, Schicht 28, Profil 6 |

Tabelle 1: (Schluss)

| Gruppe 7 (gestempelte Flachziegel der Legio I Martia, Kaiseraugst, Nekropole Im Sager) | | | | | |
|---|-------------|--------------|-----------|----------|---|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z130 | 1981.20743 | B05667 | - | 7 | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 4, Ziegel 1 |
| Z131 | 1981.20744 | B05667 | - | 2 | dito, Ziegel 2 |
| Z132 | 1981.20734 | B05667 | - | 1 | dito, Ziegel 3 |
| Z133 | 1981.20738 | B05667 | - | 6 | dito, Ziegel 4 |
| Z134 | 1981.20735 | B05667 | - | 2 | dito, Ziegel 5 |
| Z135 | 1981.20741 | B05667 | - | 2 | dito, Ziegel 5 |
| Z136 | 1981.20739 | B05667 | - | 2 | dito, Ziegel 6 |
| Z137 | 1981.20745 | B05667 | - | 6 | dito, Ziegel 7 |
| Z138 | 1981.20742 | B05667 | - | 1 | dito, Ziegel 8 |
| Z139 | 1981.20732B | B05666 | - | 3 | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 5, Ziegel 5 |
| Z140 | 1981.20732A | B05666 | - | 5 | dito |
| Z141 | 1981.20731 | B05666 | - | 5 | dito, Fussende |
| Z142 | 1981.20218A | B05604 | - | - | KA-Im Sager, 1981.03, Streufund |
| Z143 | 1981.20746 | B05668 | - | - | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 14, Ziegel 1 |
| Z144 | 1981.20747 | B05668 | - | 5 | dito, Ziegel 2 |
| Z145 | 1981.20797 | B05685 | - | 5 | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 20, Ziegel 1 |
| Z146 | 1981.20810 | B05685 | - | 3 | dito, Ziegel 13 |
| Z147 | 1981.20761 | B05670 | - | 5 | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 21, Ziegel 2 |
| Z148 | 1981.20783 | B05678 | - | 3 | KA-Im Sager, 1981.03, Grab 49, Ziegel 1 |
| Z149 | 1981.20784 | B05678 | - | 1 | dito, Ziegel 2 |

| Gruppe 8 (Ziegel-Überbrände und div. Baukeramik, Kaiseraugst-Liebrüti) | | | | | |
|---|------------|--------------|-----------|----------|---|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Grabungsnummer, Material |
| Z150 | 1971.9999C | A00853 | - | - | KA-Liebrüti, Ziegelbrennofen, 1971.08, Überbrand SS20 |
| Z151 | 1971.9999D | A00853 | - | - | dito |
| Z152 | 1971.9999E | A00853 | - | - | dito |
| Z153 | 1971.9999F | A00853 | - | - | dito |
| Z154 | 1971.9999G | A00853 | - | - | dito |
| Z155 | 1971.9999H | A00853 | - | - | dito |
| Z156 | 1971.9999I | A00853 | - | - | dito |
| Z157 | 1971.9999K | A00853 | - | - | dito |
| Z158 | 1971.9999 | A00865 | - | - | KA-Liebrüti, Ziegelbrennofen, 1971.08, Tubulus SS4 |
| Z159 | 1972.3918A | A00952 | - | - | KA-Liebrüti, Ziegelbrennofen, 1972.08, Leitungsrohr SF3 |
| Z160 | 1974.9468 | A00970 | - | - | KA-Liebrüti, Ziegelbrennofen, 1974.11, Ziegel oder Ziegel-aufstrich? SF9a |

| Gruppe 9 (Flachziegel, Nekropole Kaiseraugst-«Thommen» und Ziegelei Kaiseraugst-Liebrüti) | | | | | |
|--|------------|--------------|-----------|----------|--|
| Analy-sen-Nr. | Inv. (RMA) | Fund-komplex | Arch. Nr. | Stem-pel | Fundort, Material |
| Z161 | 1986.28154 | C02479 | - | ? | KA-«Thommen», 1986.04, Grab 12, Leistenziegelkiste |
| Z162 | 1986.28137 | C02469 | - | 6 | KA-«Thommen», 1986.04, Skelett 4, Abdeckung |
| Z163 | 1971.9426 | A00858 | - | - | KA-Liebrüti, Ziegelbrennofen, 1971.08, SF 1, Flachziegel |
| Z164 | 1971.6076B | A00854 | - | - | dito |
| Z165 | 1971.6076A | A00854 | - | - | dito |
| Z166 | 1971.9425 | A00858 | - | - | dito |
| Z167 | 1971.9307 | A00856 | - | - | dito |
| Z168 | 1971.9308 | A00856 | - | - | dito |

Tabelle 2: Chemische Analysen von Augster Baukeramik und Tonen. GV = Glühverlust. * Fe_{tot} liegt als Fe₂O₃ vor.

| Gew. % | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 64.81 | 65.68 | 64.83 | 64.67 | 64.82 | 65.83 | 64.34 | 64.52 | 63.69 | 64.98 |
| TiO ₂ | 1.08 | 1.05 | 1.06 | 1.09 | 1.05 | 1.04 | 1.08 | 1.08 | 1.05 | 1.05 |
| Al ₂ O ₃ | 18.60 | 18.22 | 17.86 | 18.43 | 17.73 | 18.05 | 18.23 | 18.59 | 18.58 | 18.04 |
| Fe _{tot} * | 6.91 | 6.98 | 6.62 | 6.76 | 6.43 | 7.31 | 6.80 | 6.81 | 6.79 | 6.46 |
| MnO | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
| MgO | 1.53 | 1.43 | 1.55 | 1.46 | 1.57 | 1.39 | 1.51 | 1.56 | 1.48 | 1.50 |
| CaO | 3.44 | 2.24 | 4.32 | 3.78 | 4.11 | 2.46 | 4.49 | 3.62 | 3.84 | 4.10 |
| Na ₂ O | 0.26 | 0.38 | 0.35 | 0.22 | 0.26 | 0.34 | 0.36 | 0.25 | 0.41 | 0.29 |
| K ₂ O | 2.88 | 2.94 | 2.90 | 2.97 | 2.94 | 2.91 | 2.89 | 2.89 | 3.05 | 2.93 |
| P ₂ O ₅ | 0.39 | 0.30 | 0.35 | 0.39 | 0.37 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.43 | 0.38 |
| Total | 99.98 | 99.31 | 99.92 | 99.84 | 99.36 | 99.81 | 100.11 | 99.81 | 99.40 | 99.82 |
| GV | 2.55 | 1.79 | 1.86 | | 1.64 | 1.82 | 2.36 | 2.47 | 1.6 | 2.6 |
| FeO | 0.97 | | | 0.66 | 0.50 | | | 0.41 | 0.33 | 0.24 |
| H ₂ O ⁻ | 0.74 | 0.54 | 0.54 | 5.26 | 0.52 | 0.51 | 0.71 | 4.05 | 1.41 | 0.88 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | | | | | | | | 388 | | 394 |
| Zr | | | | | | | | 285 | | 286 |
| Sr | | | | | | | | 154 | | 158 |
| Rb | | | | | | | | 128 | | 131 |
| Zn | | | | | | | | 132 | | 133 |
| Cu | | | | | | | | 28 | | 23 |
| Ni | | | | | | | | 44 | | 46 |
| Cr | | | | | | | | 126 | | 139 |

| Gew. % | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z20 | Z21 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| SiO ₂ | 62.07 | 64.65 | 62.72 | 64.33 | 64.16 | 63.46 | 64.07 | 64.96 | 65.01 | 64.28 |
| TiO ₂ | 1.11 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.06 | 1.05 | 1.08 | 1.04 | 1.03 | 1.12 |
| Al ₂ O ₃ | 20.53 | 18.89 | 18.20 | 18.92 | 18.30 | 18.27 | 18.97 | 18.41 | 17.53 | 18.59 |
| Fe _{tot} * | 6.19 | 6.53 | 6.51 | 7.41 | 6.32 | 6.34 | 7.16 | 6.25 | 6.22 | 6.43 |
| MnO | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| MgO | 1.81 | 1.55 | 1.69 | 1.55 | 1.55 | 1.66 | 1.49 | 1.65 | 1.41 | 1.49 |
| CaO | 4.24 | 3.06 | 4.98 | 2.02 | 4.50 | 5.47 | 2.83 | 4.20 | 5.00 | 4.14 |
| Na ₂ O | 0.41 | 0.26 | 0.22 | 0.45 | 0.39 | 0.23 | 0.27 | 0.45 | 0.31 | 0.23 |
| K ₂ O | 3.31 | 2.93 | 3.58 | 2.80 | 3.00 | 2.83 | 3.10 | 2.86 | 2.85 | 2.76 |
| P ₂ O ₅ | 0.25 | 0.37 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.35 | 0.31 | 0.33 | 0.30 | 0.34 |
| Total | 99.99 | 99.43 | 99.39 | 98.99 | 99.70 | 99.91 | 99.36 | 100.22 | 99.74 | 99.46 |
| GV | 0.67 | 1.41 | 2.81 | 1.88 | 2.06 | 2.40 | 1.57 | 1.77 | 2.40 | 3.32 |
| FeO | | 0.27 | 1.31 | 0.57 | 0.59 | 0.26 | 0.62 | | 0.20 | |
| H ₂ O ⁻ | 0.38 | 0.55 | 0.64 | 0.73 | 0.45 | 0.60 | 0.44 | 0.49 | 3.62 | 1.46 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | | | 360 | | | | | | 355 | |
| Zr | | | 292 | | | | | | 282 | |
| Sr | | | 162 | | | | | | 171 | |
| Rb | | | 149 | | | | | | 126 | |
| Zn | | | 126 | | | | | | 119 | |
| Cu | | | 20 | | | | | | 18 | |
| Ni | | | 49 | | | | | | 42 | |
| Cr | | | 125 | | | | | | 121 | |

| Gew. % | Z22 | Z24 | Z25 | Z26 | Z27 | Z28 | Z29 | Z30 | Z31 | Z32 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| SiO ₂ | 64.67 | 64.00 | 64.71 | 64.37 | 64.90 | 64.28 | 63.68 | 63.49 | 65.03 | 65.56 |
| TiO ₂ | 0.99 | 0.99 | 1.07 | 1.09 | 1.00 | 1.03 | 1.06 | 1.01 | 1.05 | 1.05 |
| Al ₂ O ₃ | 17.22 | 17.58 | 18.19 | 19.07 | 17.70 | 18.60 | 18.44 | 17.72 | 18.42 | 18.48 |
| Fe _{tot} * | 6.06 | 6.26 | 6.57 | 6.80 | 6.12 | 6.78 | 6.22 | 6.36 | 6.60 | 7.06 |
| MnO | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| MgO | 1.49 | 1.49 | 1.46 | 1.66 | 1.52 | 1.48 | 1.66 | 1.60 | 1.65 | 1.49 |
| CaO | 6.04 | 4.89 | 3.80 | 3.31 | 5.14 | 3.89 | 5.18 | 5.61 | 3.61 | 2.51 |
| Na ₂ O | 0.46 | 0.48 | 0.41 | 0.25 | 0.28 | 0.70 | 0.26 | 0.38 | 0.43 | 0.42 |
| K ₂ O | 2.78 | 3.32 | 3.01 | 2.96 | 2.83 | 2.89 | 2.90 | 2.83 | 2.88 | 2.91 |
| P ₂ O ₅ | 0.33 | 0.30 | 0.36 | 0.33 | 0.29 | 0.32 | 0.33 | 1.17 | 0.47 | 0.41 |
| Total | 100.11 | 99.38 | 99.65 | 99.92 | 99.85 | 100.03 | 99.81 | 100.27 | 100.22 | 99.97 |
| GV | 3.68 | 0.91 | 2.47 | 1.68 | 3.19 | 1.16 | 2.12 | 3.03 | 1.87 | 1.48 |
| FeO | 0.52 | | 0.32 | 0.71 | | | 0.30 | | | 0.70 |
| H ₂ O ⁻ | 0.68 | 0.60 | 0.89 | 0.58 | 1.11 | 0.60 | 1.73 | 0.89 | 0.72 | 0.49 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | | | | | | | | | | |
| Zr | | | | | | | | | | |
| Rb | | | | | | | | | | |
| Zn | | | | | | | | | | |
| Cu | | | | | | | | | | |
| Cr | | | | | | | | | | |

| Gew. % | Z33 | Z34 | Z35 | Z37 | Z38 | Z39 | Z41 | Z42 | Z43 | Z44 |
|--------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 64.12 | 65.70 | 61.71 | 63.73 | 63.26 | 64.41 | 64.77 | 64.39 | 63.51 | 65.44 |
| TiO ₂ | 1.06 | 1.10 | 1.02 | 1.06 | 1.02 | 1.09 | 1.08 | 1.04 | 1.08 | 1.09 |
| Al ₂ O ₃ | 18.47 | 18.76 | 17.66 | 18.49 | 18.07 | 18.82 | 18.20 | 18.21 | 18.71 | 19.07 |
| Fe _{tot} * | 6.69 | 6.98 | 12.14 | 6.90 | 6.14 | 7.30 | 6.44 | 6.63 | 7.84 | 7.31 |
| MnO | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | 0.08 |
| MgO | 1.53 | 1.55 | 1.60 | 1.59 | 1.67 | 1.57 | 1.49 | 1.58 | 1.56 | 1.50 |
| CaO | 4.32 | 2.14 | 2.62 | 4.31 | 5.40 | 3.56 | 4.36 | 4.79 | 3.72 | 2.11 |
| Na ₂ O | 0.42 | 0.38 | 0.36 | 0.39 | 0.40 | 0.42 | 0.35 | 0.41 | 0.43 | 0.35 |
| K ₂ O | 2.87 | 2.84 | 2.71 | 3.07 | 3.03 | 2.68 | 2.81 | 2.81 | 2.88 | 2.90 |
| P ₂ O ₅ | 0.44 | 0.43 | 0.31 | 0.53 | 0.28 | 0.47 | 0.36 | 0.39 | 0.70 | 0.40 |
| Total | 100.00 | 99.96 | 100.22 | 100.19 | 99.35 | 100.39 | 99.93 | 100.33 | 100.52 | 100.25 |
| GV | 2.20 | 2.57 | 1.95 | 2.03 | 0.59 | 3.09 | 2.68 | 1.96 | 2.00 | 2.33 |
| FeO | 0.17 | 0.38 | 0.20 | 0.67 | 4.80 | 1.04 | 0.19 | 0.32 | 0.34 | 0.17 |
| H ₂ O ⁻ | 3.52 | 1.70 | 0.93 | 0.53 | 0.45 | 1.28 | 0.88 | 0.56 | 0.94 | 1.31 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | | | | | | | | | | |
| Zr | | | | | | | | | | |
| Rb | | | | | | | | | | |
| Cu | | | | | | | | | | |
| Ni | | | | | | | | | | |
| Cr | | | | | | | | | | |

Tabelle 2: (Fortsetzung)

| Gew.% | Z45 | Z47 | Z48 | Z49 | Z50 | Z51 | Z52 | Z53 | Z54 | Z55 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 64.80 | 64.88 | 63.94 | 64.26 | 62.95 | 63.31 | 65.01 | 63.96 | 62.91 | 62.81 |
| TiO ₂ | 1.08 | 1.05 | 1.10 | 1.08 | 1.04 | 1.05 | 1.04 | 1.07 | 1.13 | 1.07 |
| Al ₂ O ₃ | 18.31 | 17.94 | 18.56 | 19.02 | 18.06 | 18.34 | 17.96 | 18.95 | 19.21 | 18.38 |
| Fe _{tot} * | 6.53 | 6.38 | 6.63 | 7.04 | 6.48 | 6.47 | 6.49 | 7.18 | 6.74 | 6.59 |
| MnO | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.08 |
| MgO | 1.49 | 1.58 | 1.52 | 1.54 | 1.67 | 1.53 | 1.52 | 1.56 | 1.62 | 1.58 |
| CaO | 3.78 | 4.72 | 4.06 | 3.24 | 5.15 | 5.14 | 4.59 | 3.32 | 4.37 | 4.89 |
| Na ₂ O | 0.39 | 0.37 | 0.25 | 0.45 | 0.65 | 0.50 | 0.42 | 0.34 | 0.15 | 0.33 |
| K ₂ O | 2.84 | 2.81 | 2.81 | 2.77 | 3.74 | 3.77 | 2.84 | 2.79 | 2.69 | 3.41 |
| P ₂ O ₅ | 0.47 | 0.39 | 0.68 | 0.75 | 0.29 | 0.30 | 0.36 | 0.73 | 1.04 | 0.30 |
| Total | 99.76 | 100.19 | 99.63 | 100.23 | 100.11 | 100.48 | 100.30 | 99.98 | 99.93 | 99.43 |
| GV | 2.76 | 3.44 | 3.25 | 2.59 | 1.13 | 0.77 | 3.17 | 2.54 | 3.78 | 0.67 |
| FeO | 0.41 | 0.28 | 0.22 | 0.25 | 1.83 | 4.00 | 0.26 | 0.23 | 0.41 | 3.82 |
| H ₂ O ⁻ | 0.90 | 1.68 | 1.63 | 2.08 | 1.02 | 0.35 | 0.60 | 1.01 | 1.52 | 0.36 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | | | 392 | | | 342 | 381 | | 398 | |
| Zr | | | 293 | | | 284 | 285 | | 307 | |
| Sr | | | 150 | | | 167 | 160 | | 154 | |
| Rb | | | 122 | | | 137 | 130 | | 122 | |
| Zn | | | 129 | | | 123 | 126 | | 133 | |
| Cu | | | 19 | | | 10 | 20 | | 23 | |
| Ni | | | 42 | | | 47 | 47 | | 46 | |
| Cr | | | 140 | | | 126 | 131 | | 138 | |

| Gew.% | Z56 | Z57 | Z58 | Z59 | Z60 | Z61 | Z62 | Z63 | Z64 | Z65 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 63.04 | 63.15 | 63.88 | 65.23 | 63.48 | 64.64 | 63.78 | 63.72 | 63.22 | 63.65 |
| TiO ₂ | 1.05 | 1.08 | 1.06 | 1.07 | 1.09 | 1.05 | 1.03 | 1.05 | 1.05 | 1.04 |
| Al ₂ O ₃ | 18.22 | 19.10 | 18.58 | 17.91 | 18.94 | 18.08 | 18.28 | 18.21 | 18.22 | 17.76 |
| Fe _{tot} * | 6.35 | 6.65 | 6.57 | 6.31 | 7.16 | 6.18 | 6.55 | 5.92 | 6.28 | 6.41 |
| MnO | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.12 | 0.08 | 0.08 |
| MgO | 1.63 | 1.60 | 1.43 | 1.25 | 1.54 | 1.60 | 1.52 | 1.58 | 1.60 | 1.47 |
| CaO | 5.36 | 4.17 | 4.21 | 3.98 | 3.38 | 5.40 | 4.50 | 4.40 | 5.80 | 5.24 |
| Na ₂ O | 0.25 | 0.29 | 0.25 | 0.20 | 0.32 | 0.29 | 0.27 | 0.40 | 0.25 | 0.21 |
| K ₂ O | 3.64 | 2.95 | 2.97 | 2.77 | 2.97 | 2.84 | 2.83 | 3.53 | 2.78 | 2.92 |
| P ₂ O ₅ | 0.29 | 0.46 | 0.48 | 0.62 | 0.56 | 0.32 | 0.32 | 0.67 | 0.32 | 0.84 |
| Total | 99.91 | 99.53 | 99.50 | 99.42 | 99.52 | 100.48 | 99.15 | 99.60 | 99.59 | 99.60 |
| GV | 2.14 | 3.06 | 2.59 | 5.74 | 2.04 | 2.86 | 2.55 | 2.31 | 3.11 | 4.95 |
| FeO | 0.93 | 0.16 | 0.16 | | 0.17 | | | 0.47 | 0.31 | 0.17 |
| H ₂ O ⁻ | 0.54 | 1.75 | 0.93 | 3.41 | 0.99 | 0.55 | 0.58 | 0.82 | 0.49 | 1.84 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 347 | | 380 | | | | | | | 480 |
| Zr | 267 | | 266 | | | | | | | 270 |
| Sr | 179 | | 161 | | | | | | | 171 |
| Rb | 129 | | 127 | | | | | | | 106 |
| Zn | 123 | | 128 | | | | | | | 122 |
| Cu | 20 | | 18 | | | | | | | 19 |
| Ni | 41 | | 41 | | | | | | | 38 |
| Cr | 118 | | 136 | | | | | | | 114 |

| Gew.% | Z66 | Z67 | Z68 | Z69 | Z70 | Z71 | Z72 | Z73 | Z74 | Z75 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
| SiO ₂ | 70.97 | 70.47 | 66.90 | 70.43 | 76.05 | 69.45 | 68.84 | 68.27 | 75.92 | 73.81 |
| TiO ₂ | 0.83 | 0.83 | 0.84 | 0.80 | 0.75 | 0.82 | 0.83 | 0.83 | 0.75 | 0.78 |
| Al ₂ O ₃ | 13.45 | 13.42 | 13.73 | 13.06 | 12.33 | 12.96 | 13.34 | 13.50 | 12.36 | 13.63 |
| Fe _{tot} * | 5.70 | 5.69 | 5.79 | 5.47 | 5.24 | 5.40 | 5.69 | 5.78 | 5.11 | 5.46 |
| MnO | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| MgO | 1.92 | 2.02 | 2.52 | 1.75 | 1.32 | 1.99 | 2.06 | 2.10 | 1.40 | 1.45 |
| CaO | 4.34 | 4.79 | 6.99 | 5.38 | 1.16 | 5.90 | 5.47 | 5.62 | 1.04 | 1.05 |
| Na ₂ O | 0.58 | 0.67 | 0.60 | 0.64 | 1.03 | 0.73 | 0.64 | 0.64 | 1.10 | 0.94 |
| K ₂ O | 2.50 | 2.61 | 2.70 | 2.40 | 2.32 | 2.54 | 2.61 | 2.60 | 2.28 | 2.94 |
| P ₂ O ₅ | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.24 |
| Total | 100.61 | 100.29 | 100.38 | 100.25 | 100.50 | 100.07 | 99.76 | 99.62 | 100.28 | 99.92 |
| GV | 3.25 | 1.27 | 1.90 | 5.25 | 0.63 | 1.49 | 1.74 | 1.28 | 0.54 | 0.70 |
| FeO | 0.09 | 0.11 | 0.34 | 0.06 | 0.09 | 0.17 | 0.13 | 0.12 | 0.09 | 0.08 |
| H ₂ O ⁻ | 0.53 | 0.33 | 0.47 | 0.95 | 0.20 | 0.37 | 0.31 | 0.33 | 0.19 | 0.19 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 423 | 348 | 329 | 415 | 391 | 337 | 346 | 343 | 387 | 397 |
| Zr | 313 | 323 | 294 | 296 | 398 | 320 | 324 | 314 | 410 | 376 |
| Sr | 160 | 157 | 182 | 149 | 106 | 183 | 168 | 167 | 107 | 110 |
| Rb | 101 | 113 | 118 | 91 | 108 | 113 | 117 | 113 | 105 | 117 |
| Zn | 119 | 106 | 96 | 96 | 98 | 92 | 96 | 94 | 101 | 112 |
| Cu | 22 | 24 | 21 | 23 | 28 | 22 | 25 | 25 | 23 | 24 |
| Ni | 30 | 33 | 38 | 30 | 28 | 35 | 36 | 35 | 29 | 32 |
| Cr | 114 | 129 | 107 | 106 | 128 | 97 | 116 | 106 | 124 | 132 |

| Gew.% | Z76 | Z77 | Z78 | Z79 | Z80 | Z81 | Z82 | Z83 | Z84 | Z85 |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 75.44 | 75.05 | 75.67 | 72.54 | 71.45 | 71.23 | 70.55 | 71.81 | 70.44 | 74.00 |
| TiO ₂ | 0.74 | 0.77 | 0.76 | 0.83 | 0.80 | 0.80 | 0.81 | 0.81 | 0.90 | 0.79 |
| Al ₂ O ₃ | 12.30 | 12.66 | 12.58 | 13.43 | 13.11 | 13.03 | 13.04 | 13.24 | 16.03 | 13.56 |
| Fe* | 5.28 | 5.52 | 5.17 | 5.40 | 5.48 | 5.48 | 5.56 | 5.48 | 6.29 | 5.60 |
| MnO | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.08 |
| MgO | 1.25 | 1.37 | 1.33 | 1.60 | 1.81 | 1.77 | 1.78 | 1.73 | 1.48 | 1.43 |
| CaO | 1.16 | 1.18 | 1.13 | 2.63 | 4.17 | 4.23 | 5.39 | 3.86 | 1.17 | 1.00 |
| Na ₂ O | 1.06 | 0.96 | 1.01 | 0.64 | 0.61 | 0.67 | 0.60 | 0.66 | 0.63 | 0.83 |
| K ₂ O | 2.29 | 2.34 | 2.33 | 2.47 | 2.44 | 2.43 | 2.41 | 2.42 | 2.80 | 2.56 |
| P ₂ O ₅ | 0.23 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.25 | 0.23 | 0.35 | 0.25 |
| Total | 99.82 | 100.16 | 100.27 | 99.83 | 100.18 | 99.95 | 100.47 | 100.30 | 100.15 | 100.10 |
| GV | 0.78 | 0.78 | 0.54 | 2.29 | 3.72 | 3.84 | 4.81 | 3.85 | 2.93 | 1.08 |
| FeO | 0.04 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.02 | 0.06 | 0.10 | 0.17 |
| H ₂ O ⁻ | 0.24 | 0.20 | 0.25 | 1.07 | 0.97 | 1.15 | 0.98 | 1.03 | 2.20 | 0.44 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 373 | 385 | 379 | 429 | 359 | 399 | 357 | 408 | 605 | 397 |
| Zr | 404 | 391 | 397 | 350 | 325 | 331 | 313 | 343 | 323 | 330 |
| Sr | 112 | 106 | 109 | 148 | 160 | 158 | 170 | 149 | 177 | 109 |
| Rb | 108 | 107 | 105 | 103 | 101 | 97 | 93 | 98 | 121 | 108 |
| Zn | 99 | 102 | 101 | 101 | 99 | 99 | 99 | 103 | 121 | 107 |
| Cu | 22 | 20 | 24 | 18 | 19 | 20 | 19 | 18 | 33 | 36 |
| Ni | 29 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 31 | 29 | 38 | 34 |
| Cr | 124 | 130 | 118 | 113 | 109 | 105 | 110 | 106 | 133 | 127 |

Tabelle 2: (Fortsetzung)

| Gew. % | Z86 | Z87 | Z88 | Z89 | Z90 | Z91 | Z92 | Z93 | Z94 | Z95 |
|--------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 70.30 | 70.86 | 68.17 | 67.21 | 72.31 | 75.26 | 70.16 | 74.93 | 67.00 | 68.18 |
| TiO ₂ | 0.32 | 0.83 | 0.85 | 0.96 | 0.83 | 0.76 | 0.81 | 0.77 | 0.88 | 0.87 |
| Al ₂ O ₃ | 13.41 | 13.39 | 14.59 | 17.59 | 14.58 | 12.82 | 13.48 | 13.16 | 17.03 | 17.99 |
| Fe _{tot} * | 5.81 | 5.71 | 6.06 | 7.60 | 6.14 | 5.43 | 5.60 | 5.34 | 7.08 | 6.52 |
| MnO | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.10 | 0.05 | 0.09 | 0.07 | 0.03 |
| MgO | 1.93 | 1.76 | 2.14 | 2.00 | 1.57 | 1.32 | 1.95 | 1.18 | 2.17 | 1.83 |
| CaO | 4.52 | 4.07 | 4.77 | 1.17 | 1.07 | 0.90 | 4.89 | 1.05 | 2.30 | 0.90 |
| Na ₂ O | 0.54 | 0.47 | 0.54 | 0.49 | 0.79 | 1.13 | 0.72 | 1.07 | 0.68 | 0.61 |
| K ₂ O | 2.54 | 2.53 | 2.76 | 3.04 | 2.78 | 2.33 | 2.63 | 2.24 | 3.02 | 2.93 |
| P ₂ O ₅ | 0.25 | 0.24 | 0.26 | 0.26 | 0.28 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.22 | 0.16 |
| Total | 100.17 | 99.91 | 100.19 | 100.44 | 100.43 | 100.28 | 100.55 | 100.10 | 100.47 | 100.02 |
| GV | 3.13 | 2.89 | 1.51 | 1.42 | 1.70 | 0.84 | 0.89 | 1.82 | 0.60 | 1.02 |
| FeO | 0.78 | 0.17 | 2.20 | 0.10 | 0.10 | 0.21 | 2.39 | 0.10 | 3.14 | 0.46 |
| H ₂ O ⁻ | 0.58 | 0.58 | 0.49 | 0.48 | 0.85 | 0.24 | 0.30 | 1.16 | 0.24 | 0.34 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 369 | 341 | 369 | 419 | 416 | 393 | 355 | 462 | 390 | 405 |
| Zr | 330 | 332 | 297 | 260 | 325 | 363 | 301 | 389 | 251 | 238 |
| Sr | 147 | 138 | 175 | 125 | 121 | 102 | 164 | 129 | 149 | 130 |
| Rb | 109 | 107 | 127 | 142 | 112 | 109 | 115 | 101 | 148 | 146 |
| Zn | 101 | 100 | 112 | 129 | 119 | 106 | 121 | 110 | 131 | 122 |
| Cu | 18 | 19 | 20 | 26 | 34 | 23 | 20 | 32 | 21 | 16 |
| Ni | 35 | 29 | 40 | 48 | 37 | 33 | 36 | 12 | 47 | 34 |
| Cr | 96 | 117 | 117 | 145 | 132 | 130 | 102 | 124 | 143 | 150 |

| Gew. % | Z96 | Z97 | Z98 | Z99 | Z100 | Z101 | Z102 | Z103 | Z104 | Z105 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| SiO ₂ | 74.50 | 73.25 | 70.53 | 71.70 | 71.62 | 67.83 | 71.97 | 72.11 | 72.39 | 67.60 |
| TiO ₂ | 0.75 | 0.79 | 0.68 | 0.88 | 0.85 | 0.81 | 0.84 | 0.84 | 0.82 | 0.81 |
| Al ₂ O ₃ | 13.09 | 13.29 | 15.05 | 15.29 | 14.83 | 12.73 | 14.75 | 14.65 | 14.65 | 12.36 |
| Fe _{tot} * | 5.45 | 5.11 | 5.89 | 6.29 | 6.20 | 5.43 | 5.94 | 5.97 | 6.02 | 5.47 |
| MnO | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.09 |
| MgO | 1.44 | 1.73 | 2.73 | 1.32 | 1.59 | 2.02 | 1.69 | 1.70 | 1.60 | 1.82 |
| CaO | 1.06 | 2.61 | 1.26 | 1.19 | 0.98 | 8.36 | 1.12 | 1.12 | 1.16 | 8.45 |
| Na ₂ O | 1.13 | 0.69 | 0.81 | 0.75 | 0.75 | 0.39 | 0.78 | 0.87 | 0.83 | 0.47 |
| K ₂ O | 2.40 | 2.56 | 3.12 | 2.68 | 2.65 | 2.32 | 2.67 | 2.68 | 2.57 | 2.34 |
| P ₂ O ₅ | 0.24 | 0.27 | 0.20 | 0.32 | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.24 | 0.26 | 0.36 |
| Total | 100.15 | 100.36 | 100.36 | 100.48 | 99.80 | 99.84 | 100.08 | 100.24 | 100.38 | 99.78 |
| GV | 0.69 | 2.02 | 2.78 | 3.20 | 1.09 | 8.03 | 1.96 | 1.79 | 2.95 | 7.94 |
| FeO | 0.22 | 0.11 | 0.07 | 0.30 | 0.25 | 0.10 | 0.34 | 0.33 | 0.45 | 0.14 |
| H ₂ O ⁻ | 0.22 | 0.49 | 2.01 | 1.99 | 0.40 | 2.47 | 0.42 | 0.37 | 0.72 | 2.46 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 377 | 379 | 640 | 589 | 422 | 513 | 409 | 405 | 437 | 548 |
| Zr | 347 | 388 | 221 | 296 | 324 | 333 | 332 | 337 | 318 | 338 |
| Sr | 105 | 129 | 172 | 192 | 118 | 300 | 116 | 117 | 132 | 267 |
| Rb | 111 | 114 | 131 | 120 | 125 | 83 | 124 | 128 | 120 | 82 |
| Zn | 107 | 105 | 95 | 113 | 119 | 92 | 118 | 119 | 119 | 93 |
| Cu | 37 | 32 | 35 | 23 | 18 | 23 | 55 | 56 | 52 | 21 |
| Ni | 35 | 34 | 37 | 35 | 39 | 31 | 35 | 36 | 35 | 31 |
| Cr | 117 | 112 | 123 | 136 | 141 | 107 | 139 | 137 | 130 | 89 |

| Gew. % | Z106 | Z107 | Z108 | Z109 | Z110 | Z111 | Z112 | Z113 | Z114 | Z115 |
|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 71.16 | 73.90 | 69.67 | 69.58 | 72.71 | 69.90 | 69.09 | 66.41 | 66.14 | 64.90 |
| TiO ₂ | 0.83 | 0.78 | 0.88 | 0.86 | 0.71 | 0.89 | 0.88 | 1.08 | 1.07 | 1.05 |
| Al ₂ O ₃ | 14.68 | 13.46 | 14.92 | 14.45 | 14.73 | 14.92 | 14.70 | 18.69 | 18.48 | 18.22 |
| Fe _{tot} * | 5.93 | 5.62 | 6.13 | 5.93 | 5.52 | 6.35 | 6.00 | 6.60 | 6.61 | 6.20 |
| MnO | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.11 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| MgO | 1.70 | 1.32 | 1.95 | 1.93 | 1.87 | 1.92 | 1.92 | 1.46 | 1.40 | 1.35 |
| CaO | 2.23 | 1.10 | 3.11 | 3.42 | 0.90 | 2.52 | 3.69 | 2.96 | 3.59 | 5.15 |
| Na ₂ O | 0.69 | 1.02 | 0.58 | 0.64 | 0.82 | 0.53 | 0.57 | 0.22 | 0.18 | 0.27 |
| K ₂ O | 2.62 | 2.47 | 2.80 | 2.74 | 2.69 | 2.80 | 2.77 | 2.62 | 2.60 | 2.78 |
| P ₂ O ₅ | 0.30 | 0.27 | 0.26 | 0.26 | 0.17 | 0.29 | 0.28 | 0.30 | 0.30 | 0.29 |
| Total | 100.22 | 99.98 | 100.34 | 99.86 | 100.24 | 100.16 | 99.93 | 100.42 | 100.47 | 100.29 |
| GV | 3.71 | 1.84 | 1.09 | 1.93 | 1.57 | 1.60 | 2.06 | 4.95 | 5.39 | 4.14 |
| FeO | 0.10 | 0.20 | 2.57 | 0.50 | 0.34 | 0.61 | 0.52 | 0.58 | 0.05 | 0.05 |
| H ₂ O ⁻ | 2.66 | 1.84 | 0.40 | 0.60 | 0.47 | 0.46 | 0.66 | 3.05 | 3.00 | 1.81 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 594 | 429 | 394 | 399 | 472 | 390 | 400 | 415 | 372 | 362 |
| Zr | 306 | 344 | 298 | 304 | 217 | 291 | 298 | 277 | 271 | 274 |
| Sr | 176 | 134 | 147 | 160 | 101 | 144 | 166 | 137 | 142 | 164 |
| Rb | 101 | 112 | 126 | 125 | 139 | 123 | 124 | 111 | 104 | 114 |
| Zn | 110 | 108 | 115 | 112 | 112 | 119 | 113 | 134 | 127 | 130 |
| Cu | 25 | 22 | 21 | 22 | 30 | 23 | 20 | 21 | 19 | 19 |
| Ni | 33 | 34 | 39 | 36 | 36 | 35 | 37 | 36 | 34 | 35 |
| Cr | 141 | 119 | 115 | 118 | 133 | 124 | 124 | 124 | 119 | 121 |

| Gew. % | Z116 | Z117 | Z118 | Z119 | Z120 | Z121 | Z122 | Z123 | Z124 | Z125 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 66.94 | 66.12 | 67.05 | 65.99 | 65.74 | 66.39 | 80.63 | 80.29 | 64.80 | 76.42 |
| TiO ₂ | 1.09 | 1.08 | 1.09 | 1.08 | 1.07 | 1.10 | 0.79 | 0.85 | 0.61 | 0.94 |
| Al ₂ O ₃ | 18.75 | 18.55 | 18.66 | 18.60 | 18.53 | 18.78 | 10.30 | 10.99 | 12.16 | 13.27 |
| Fe _{tot} * | 6.82 | 6.53 | 6.53 | 6.57 | 6.47 | 6.54 | 3.59 | 3.61 | 4.50 | 4.62 |
| MnO | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.04 |
| MgO | 1.43 | 1.40 | 1.52 | 1.47 | 1.44 | 1.53 | 0.89 | 0.90 | 2.65 | 1.17 |
| CaO | 2.43 | 3.54 | 2.69 | 3.60 | 3.63 | 2.65 | 0.92 | 0.67 | 11.81 | 0.76 |
| Na ₂ O | 0.27 | 0.25 | 0.28 | 0.17 | 0.20 | 0.33 | 0.88 | 0.81 | 0.91 | 0.54 |
| K ₂ O | 2.53 | 2.62 | 2.51 | 2.63 | 2.61 | 2.58 | 2.06 | 2.14 | 2.42 | 2.31 |
| P ₂ O ₅ | 0.31 | 0.30 | 0.31 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.17 | 0.15 | 0.17 | 0.16 |
| Total | 100.66 | 100.48 | 100.73 | 100.49 | 100.08 | 100.29 | 100.28 | 100.47 | 100.10 | 100.40 |
| GV | 4.71 | 5.16 | 5.02 | 5.13 | 5.45 | 5.69 | 3.36 | 3.33 | 11.54 | 4.41 |
| FeO | 0.37 | 0.04 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.07 | 0.54 | 1.40 | 0.68 | 0.62 |
| H ₂ O ⁻ | 3.47 | 3.08 | 3.47 | 2.86 | 2.85 | 4.15 | 1.81 | 1.84 | 1.83 | 2.41 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 445 | 377 | 408 | 374 | 375 | 404 | 366 | 379 | 279 | 402 |
| Zr | 282 | 269 | 282 | 269 | 265 | 280 | 317 | 330 | 182 | 313 |
| Sr | 136 | 140 | 136 | 139 | 139 | 161 | 100 | 104 | 196 | 107 |
| Rb | 104 | 103 | 99 | 105 | 102 | 120 | 89 | 96 | 94 | 110 |
| Zn | 126 | 125 | 124 | 129 | 124 | 123 | 66 | 70 | 78 | 90 |
| Cu | 18 | 17 | 17 | 19 | 15 | 16 | 11 | 10 | 15 | 12 |
| Ni | 34 | 33 | 37 | 34 | 31 | 32 | 13 | 14 | 27 | 16 |
| Cr | 137 | 126 | 123 | 119 | 130 | 146 | 103 | 110 | 89 | 115 |

Tabelle 2: (Fortsetzung)

| Gew. % | Z126 | Z127 | Z128 | Z129 | Z130 | Z131 | Z132 | Z133 | Z134 | Z135 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 71.01 | 69.98 | 69.46 | 74.97 | 65.29 | 66.32 | 65.55 | 64.91 | 65.26 | 64.94 |
| TiO ₂ | 0.98 | 0.81 | 0.66 | 0.92 | 1.13 | 1.14 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | 1.18 |
| Al ₂ O ₃ | 16.74 | 16.27 | 14.10 | 13.62 | 19.94 | 20.03 | 19.21 | 19.12 | 19.40 | 20.82 |
| Fe _{tot} * | 6.02 | 6.21 | 5.26 | 4.75 | 6.44 | 7.00 | 6.75 | 6.58 | 6.76 | 7.16 |
| MnO | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| MgO | 1.41 | 1.92 | 2.08 | 1.54 | 1.52 | 1.20 | 1.56 | 1.55 | 1.49 | 0.90 |
| CaO | 0.81 | 1.11 | 4.87 | 0.90 | 2.02 | 1.35 | 2.29 | 2.91 | 2.22 | 1.25 |
| Na ₂ O | 0.55 | 0.79 | 0.89 | 0.76 | 0.15 | 0.11 | 0.20 | 0.12 | 0.16 | 0.03 |
| K ₂ O | 2.70 | 2.93 | 2.73 | 2.65 | 2.87 | 2.56 | 2.85 | 2.95 | 2.68 | 2.61 |
| P ₂ O ₅ | 0.17 | 0.20 | 0.20 | 0.29 | 0.38 | 0.45 | 0.46 | 0.39 | 0.40 | 0.67 |
| Total | 100.44 | 100.27 | 100.30 | 100.46 | 99.81 | 100.25 | 100.04 | 99.69 | 99.54 | 99.64 |
| GV | 5.89 | 5.20 | 7.19 | 4.38 | 2.53 | 4.94 | 2.12 | 1.54 | 2.33 | 5.62 |
| FeO | 0.84 | 0.82 | 0.71 | 0.57 | | | | | | |
| H ₂ O ⁻ | 3.52 | 2.82 | 2.38 | 2.47 | 2.12 | 6.29 | 1.88 | 1.14 | 1.79 | 6.33 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 403 | 390 | 339 | 396 | 377 | 467 | 381 | 363 | 388 | 469 |
| Zr | 259 | 204 | 163 | 346 | 297 | 304 | 297 | 291 | 292 | 313 |
| Sr | 111 | 110 | 146 | 102 | 119 | 78 | 131 | 144 | 127 | 90 |
| Rb | 137 | 129 | 113 | 124 | 123 | 101 | 129 | 133 | 116 | 99 |
| Zn | 108 | 109 | 94 | 101 | 124 | 129 | 127 | 129 | 127 | 126 |
| Cu | 17 | 19 | 16 | 18 | 21 | 23 | 21 | 26 | 22 | 24 |
| Ni | 24 | 32 | 28 | 24 | 40 | 45 | 44 | 46 | 41 | 46 |
| Cr | 131 | 135 | 112 | 124 | 155 | 139 | 132 | 144 | 139 | 142 |

| Gew. % | Z136 | Z137 | Z138 | Z139 | Z140 | Z141 | Z142 | Z143 | Z144 | Z145 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 65.59 | 66.66 | 65.55 | 65.77 | 64.88 | 65.67 | 65.49 | 63.73 | 63.78 | 65.46 |
| TiO ₂ | 1.11 | 1.12 | 1.08 | 1.08 | 1.12 | 1.04 | 1.05 | 1.08 | 1.07 | 1.09 |
| Al ₂ O ₃ | 19.72 | 19.68 | 19.29 | 18.84 | 19.90 | 18.26 | 18.56 | 19.30 | 19.31 | 19.97 |
| Fe _{tot} * | 6.81 | 6.76 | 6.60 | 6.65 | 7.06 | 6.40 | 6.41 | 6.81 | 6.98 | 6.96 |
| MnO | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| MgO | 1.39 | 0.96 | 1.49 | 1.54 | 1.58 | 1.53 | 1.59 | 1.55 | 1.53 | 1.48 |
| CaO | 1.77 | 1.39 | 1.92 | 2.53 | 1.84 | 2.87 | 3.00 | 3.65 | 3.61 | 1.91 |
| Na ₂ O | 0.15 | 0.06 | 0.21 | 0.20 | 0.15 | 0.23 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.17 |
| K ₂ O | 2.73 | 2.60 | 2.82 | 2.91 | 2.91 | 2.88 | 2.88 | 2.80 | 2.80 | 2.69 |
| P ₂ O ₅ | 0.56 | 0.63 | 0.71 | 0.51 | 0.49 | 0.56 | 0.53 | 0.64 | 0.61 | 0.36 |
| Total | 99.91 | 99.94 | 99.75 | 100.11 | 100.00 | 99.42 | 99.76 | 99.79 | 99.90 | 100.17 |
| GV | 3.28 | 4.88 | 2.26 | 2.43 | 2.74 | 2.16 | 1.97 | 2.53 | 2.51 | 2.63 |
| FeO | | | | | | | | | | |
| H ₂ O ⁻ | 3.21 | 4.03 | 1.53 | 1.63 | 1.52 | 1.02 | 1.13 | 1.32 | 1.34 | 2.66 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Ba | 411 | 452 | 391 | 369 | 372 | 378 | 362 | 362 | 356 | 383 |
| Zr | 295 | 295 | 295 | 292 | 295 | 284 | 294 | 279 | 276 | 284 |
| Sr | 113 | 96 | 127 | 123 | 115 | 134 | 143 | 144 | 142 | 118 |
| Rb | 113 | 103 | 129 | 124 | 129 | 129 | 139 | 125 | 127 | 118 |
| Zn | 129 | 129 | 131 | 126 | 127 | 127 | 127 | 132 | 131 | 133 |
| Cu | 22 | 21 | 20 | 29 | 21 | 22 | 25 | 22 | 20 | 23 |
| Ni | 42 | 39 | 44 | 41 | 44 | 41 | 49 | 45 | 47 | 42 |
| Cr | 142 | 151 | 149 | 142 | 145 | 142 | 136 | 130 | 146 | 148 |

| Gew. % | Z146 | Z147 | Z148 | Z149 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| SiO ₂ | 64.74 | 65.71 | 66.02 | 65.41 |
| TiO ₂ | 1.08 | 1.09 | 1.05 | 1.09 |
| Al ₂ O ₃ | 19.62 | 19.55 | 19.12 | 19.24 |
| Fe _{tot} * | 7.30 | 6.87 | 6.71 | 6.73 |
| MnO | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| MgO | 1.62 | 1.33 | 1.53 | 1.52 |
| CaO | 1.79 | 2.06 | 2.15 | 2.27 |
| Na ₂ O | 0.20 | 0.16 | 0.16 | 0.18 |
| K ₂ O | 2.89 | 2.58 | 2.84 | 2.86 |
| P ₂ O ₅ | 0.44 | 0.44 | 0.47 | 0.45 |
| Total | 99.77 | 99.87 | 100.14 | 99.84 |
| GV | 1.86 | 3.25 | 2.00 | 2.08 |
| FeO | | | | |
| H ₂ O ⁻ | 0.97 | 3.27 | 1.45 | 1.43 |
| ppm | | | | |
| Ba | 363 | 383 | 374 | 373 |
| Zr | 276 | 293 | 286 | 294 |
| Sr | 124 | 111 | 129 | 135 |
| Rb | 132 | 106 | 125 | 129 |
| Zn | 132 | 131 | 124 | 128 |
| Cu | 23 | 21 | 23 | 23 |
| Ni | 46 | 44 | 41 | 43 |
| Cr | 152 | 139 | 144 | 140 |

| Gew. % | Z150 | Z151 | Z152 | Z153 | Z154 | Z155 | Z156 | Z157 | Z158 | Z159 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 68.49 | 72.54 | 73.10 | 72.78 | 73.50 | 72.84 | 72.97 | 72.86 | 64.62 | 61.88 |
| TiO ₂ | 0.81 | 0.85 | 0.84 | 0.83 | 0.85 | 0.80 | 0.86 | 0.84 | 1.04 | 1.16 |
| Al ₂ O ₃ | 15.99 | 14.43 | 14.14 | 14.55 | 14.06 | 13.90 | 14.17 | 13.86 | 19.29 | 23.11 |
| Fe _{tot} * | 6.44 | 6.06 | 5.97 | 6.34 | 5.78 | 5.93 | 5.96 | 5.92 | 6.78 | 7.73 |
| MnO | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| MgO | 1.88 | 1.60 | 1.57 | 1.64 | 1.56 | 1.56 | 1.52 | 1.55 | 1.70 | 1.63 |
| CaO | 3.12 | 1.82 | 1.73 | 1.21 | 1.00 | 1.97 | 1.18 | 1.93 | 3.19 | 1.38 |
| Na ₂ O | 0.78 | 0.72 | 0.83 | 0.70 | 0.69 | 0.69 | 0.69 | 0.70 | 0.46 | 0.30 |
| K ₂ O | 2.77 | 2.56 | 2.54 | 2.56 | 2.53 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.93 | 3.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.19 | 0.24 | 0.23 | 0.25 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.33 | 0.40 |
| Total | 100.53 | 100.88 | 101.01 | 100.93 | 100.27 | 100.48 | 100.15 | 100.47 | 100.42 | 100.74 |
| GV | 0.84 | 0.20 | 0.67 | 0.14 | 0.15 | 0.45 | 0.10 | 0.63 | 1.84 | 2.14 |
| FeO | 3.77 | 4.33 | 1.815 | 4.27 | 3.46 | 3.595 | 4.235 | 1.42 | 0.115 | 0.135 |
| H ₂ O ⁻ | 0.22 | 0.28 | 0.24 | 0.23 | 0.19 | 0.24 | 0.20 | 0.26 | 0.62 | 0.84 |
| ppm | | | | | | | | | | |
| Nb | 23 | 22 | 22 | 24 | 21 | 20 | 21 | 21 | 22 | 26 |
| Zr | 261 | 360 | 375 | 396 | 397 | 358 | 382 | 382 | 269 | 255 |
| Y | 40 | 43 | 45 | 46 | 43 | 43 | 43 | 46 | 35 | 38 |
| Sr | 142 | 107 | 107 | 104 | 96 | 108 | 99 | 106 | 142 | 139 |
| Rb | 136 | 116 | 116 | 124 | 115 | 114 | 116 | 114 | 126 | 136 |
| Th | 17 | 11 | 17 | 21 | 14 | 15 | 15 | 17 | 10 | 17 |
| Pb | 18 | 16 | 17 | 20 | 14 | 12 | 12 | 19 | 14 | 19 |
| Ga | 19 | 17 | 17 | 19 | 16 | 16 | 17 | 16 | 21 | 26 |
| Zn | 107 | 97 | 95 | 103 | 93 | 92 | 93 | 94 | 114 | 144 |
| Cu | 20 | 17 | 18 | 18 | 17 | 19 | 16 | 18 | 19 | 24 |
| Ni | 56 | 52 | 48 | 54 | 47 | 48 | 48 | 50 | 52 | 66 |
| V | 158 | 144 | 140 | 151 | 151 | 132 | 145 | 141 | 148 | 161 |
| Cr | 147 | 152 | 146 | 159 | 141 | 148 | 139 | 150 | 156 | 176 |
| Ba | 338 | 371 | 374 | 376 | 379 | 364 | 381 | 370 | 357 | 460 |

Tabelle 2: (Schluss)

| Gew. % | Z160 | Z161 | Z162 | Z163 | Z164 | Z165 | Z166 | Z167 | Z168 |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| SiO ₂ | 66.10 | 65.43 | 64.84 | 71.20 | 62.18 | 63.16 | 63.04 | 66.13 | 66.70 |
| TiO ₂ | 0.48 | 1.08 | 1.09 | 0.91 | 1.17 | 1.08 | 1.08 | 1.04 | 1.03 |
| Al ₂ O ₃ | 8.72 | 19.35 | 19.65 | 15.01 | 22.33 | 20.05 | 19.81 | 18.58 | 18.59 |
| Fe _{tot} * | 2.75 | 6.87 | 7.38 | 6.00 | 7.27 | 6.76 | 6.98 | 6.61 | 6.51 |
| MnO | 0.09 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 |
| MgO | 2.79 | 1.55 | 1.57 | 1.62 | 1.76 | 1.64 | 1.62 | 1.39 | 1.29 |
| CaO | 15.65 | 2.91 | 2.78 | 1.74 | 1.64 | 3.35 | 3.60 | 3.10 | 2.70 |
| Na ₂ O | 1.29 | 0.01 | 0.01 | 0.55 | 0.05 | 0.39 | 0.39 | 0.46 | 0.50 |
| K ₂ O | 1.77 | 2.97 | 2.95 | 2.56 | 3.20 | 3.01 | 3.00 | 2.42 | 2.50 |
| P ₂ O ₅ | 0.16 | 0.42 | 0.39 | 0.31 | 0.36 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.40 |
| Total | 99.80 | 100.66 | 100.75 | 99.97 | 100.02 | 99.85 | 99.92 | 100.14 | 100.30 |
| GV | 10.98 | 1.65 | 1.64 | 3.63 | 1.22 | 1.81 | 1.77 | 5.48 | 4.93 |
| FeO | 0.215 | | | | | | | | |
| H ₂ O ⁻ | 1.57 | 0.70 | 0.72 | 2.43 | 0.38 | 0.43 | 0.34 | 3.06 | 3.45 |
| ppm | | | | | | | | | |
| Nb | 12 | 21 | 21 | 17 | 22 | 21 | 23 | 20 | 19 |
| Zr | 279 | 265 | 257 | 297 | 236 | 253 | 258 | 262 | 275 |
| Y | 26 | 38 | 37 | 38 | 40 | 38 | 39 | 35 | 37 |
| Sr | 214 | 164 | 154 | 96 | 145 | 147 | 150 | 97 | 95 |
| Rb | 50 | 128 | 132 | 99 | 146 | 135 | 140 | 96 | 97 |
| Th | 4 | 15 | 15 | 6 | 6 | 4 | 9 | 7 | 8 |
| Pb | 3 | 24 | 22 | 14 | 18 | 10 | 14 | 6 | 10 |
| Ga | 6 | 26 | 26 | 16 | 32 | 26 | 28 | 20 | 21 |
| Zn | 42 | 118 | 118 | 88 | 139 | 118 | 123 | 110 | 111 |
| Cu | 17 | 29 | 24 | 20 | 23 | 21 | 22 | 19 | 21 |
| Ni | 36 | 59 | 61 | 55 | 67 | 61 | 59 | 57 | 57 |
| V | 35 | 118 | 111 | 113 | 177 | 134 | 141 | 141 | 132 |
| Cr | 80 | 139 | 130 | 127 | 154 | 146 | 145 | 121 | 121 |
| Ba | 237 | 369 | 373 | 542 | 371 | 355 | 343 | 473 | 519 |

Tabelle 3: Mittelwerte (x) und Standardabweichungen (s) der Referenzgruppe «Legio I Martia» (Fundgruppen 1+7, n = 80 für die Hauptelemente, n = 31 für die Spuren), der Rundziegel (Fundgruppe 5, n = 9) und der latènezeitlichen Referenzgruppe «Sissach-Brühl» (Maggetti et al. 1988; n = 50).

| Gew. % | Flachziegel Legio I Martia Fundgruppen 1 und 7 | | | Rundziegel Fundgruppe 5 | Referenzgruppe Sissach-Brühl (Latène) | |
|---|--|------|-------|----------------------------|---|------|
| | x | s | s% | x | x | s |
| SiO ₂ | 64.46 | 0.98 | 1.52 | 66.19 | 65.93 | 1.21 |
| TiO ₂ | 1.07 | 0.03 | 2.80 | 1.08 | 1.13 | 0.08 |
| Al ₂ O ₃ | 18.65 | 0.70 | 3.75 | 18.58 | 19.12 | 1.15 |
| Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃ | 6.74 | 0.71 | 10.53 | 6.54 | 6.65 | 0.64 |
| MnO | 0.08 | 0.01 | 12.50 | 0.08 | 0.06 | 0.01 |
| MgO | 1.52 | 0.13 | 8.55 | 1.44 | 1.63 | 0.40 |
| CaO | 3.66 | 1.22 | 33.33 | 3.36 | 1.68 | 1.08 |
| Na ₂ O | 0.30 | 0.12 | 40.00 | 0.24 | 0.24 | 0.43 |
| K ₂ O | 2.92 | 0.24 | 8.22 | 2.61 | 2.77 | 0.29 |
| P ₂ O ₅ | 0.45 | 0.17 | 37.78 | 0.30 | 0.46 | 0.33 |
| ppm | x | s | s% | x | x | s |
| Ba | 387 | 35 | 9.04 | 392 | 472 | 89 |
| Zr | 289 | 11 | 3.81 | 274 | 289 | 24 |
| Sr | 136 | 25 | 18.38 | 144 | 104 | 25 |
| Rb | 124 | 11 | 8.87 | 107 | 103 | 21 |
| Zn | 128 | 4 | 3.12 | 127 | 121 | 13 |
| Cu | 22 | 3 | 13.64 | 18 | 25 | 4 |
| Ni | 44 | 3 | 6.82 | 33 | 71 | 6 |
| Cr | 138 | 10 | 7.25 | 127 | 134 | 13 |

