

10 METHODISCHES VORGEHEN BEI DER GEOCHEMISCHEN ANALYSE DER KERAMIK VON BASEL-GASFABRIK

10.1	EINFÜHRUNG	286
10.2	METHODISCHES VORGEHEN	287
10.3	RESULTATE	289
10.4	SYNTHESE	296

Corina Gottardi

10.1

EINFÜHRUNG

Rund 270 der Keramikgefäße, welche Johannes Wimmer in seiner Dissertation bearbeitet hat, wurden im Rahmen meiner Masterarbeit (Gottardi 2019) mittels der handgehaltenen Röntgenfluoreszenzanalyse (pXRF – portable X-Ray Fluorescence) untersucht. Die pXRF-Analyse erlaubt eine Bestimmung und Quantifizierung der chemischen Zusammensetzung der Keramik (Guthrie 2012). Ziel dieser Analysen war es, lokal hergestellte von nicht lokal hergestellter Keramik zu unterscheiden (s. Wimmer, Kap. 5.5). Zudem sollte untersucht werden, ob sich innerhalb der lokalen Keramik einzelne Produktionsserien charakterisieren lassen.

Im vorliegenden Beitrag wird vorwiegend auf das methodische Vorgehen eingegangen. Als erstes soll die Frage beantwortet werden, welche Genauigkeit und Präzision bei dieser Methode mit einem sinnvollen Arbeitsaufwand erreicht werden kann. Die «Genauigkeit» repräsentiert, wie nahe die gemessenen Elementkonzentrationen an der tatsächlichen chemischen Zusammensetzung liegen. Die «Präzision» beschreibt die zufällige Streuung der Messwerte und wird durch Mehrfachmessungen an ein und derselben Stelle bestimmt (Hull 2017). Zusätzlich werden die Auswirkungen der Probenaufbereitung, der Messdauer und der Anzahl der Messstellen pro Gefäß analysiert. Bestimmte Resultate werden mit Messresultaten eines laborbasierten WD-XRF-Geräts (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence) verglichen. Des Weiteren wird untersucht, bei welchen Elementen mit einer Kontamination aufgrund der Bodenlagerung zu rechnen ist. Unabhängig von diesen Messungen wird eine makroskopische Gruppenbildung der Keramik vorgenommen. Zum Schluss wird auf die statistische Auswertung der Messdaten eingegangen. Diese Ausführungen sollen das Aussagepotential von pXRF-Analysen aufzeigen und ihre Vor- und Nachteile darlegen. Die im Text erwähnten Supplemente sind online zugänglich.¹⁵⁶

Für die Analysen wurde ein Gerät vom Typ Thermo Fisher Scientific Niton XL3t 950 GOLDD+ verwendet, das ein Messfenster mit einem Durchmesser von 8 mm besitzt. Das Gerät enthält eine 2-Watt-Röntgenröhre mit einer Silberanode (50 kV, 200 μ A) und wurde von der Firma Thermo Fisher Scientific Niton Eurpoe GmbH in München kalibriert. Diese Kalibration wurde anschliessend von der Analyticon Instruments GmbH in Rosbach v. d. H., Deutschland, für die Modi «Soil» und «Mining» mittels zertifizierten Standards

überprüft und auf das Programm «Mining Archaeometry» angepasst (Stapfer et al. 2019, 221). Auf eine Feinkalibration der Messdaten nach Regine Stapfer et al. wurde verzichtet, da diese primär darauf ausgelegt ist, die Verzerrung durch unebene Messstellen zu verringern (s. Kap. 10.2.1). Die Röntgenstrahlung des Geräts ionisiert die Atome in der Keramik, welche dadurch eine charakteristische, messbare Röntgenfluoreszenzstrahlung abgeben (Guthrie 2012). Die Eindringtiefe der Strahlung ist abhängig von der Matrix des Materials sowie der Energie der Röntgenstrahlen (Brucker Corporation o. J.). Sie ist jedoch nicht mit der Informationstiefe gleichzusetzen, denn die reflektierte Strahlung wird zu einem Teil auf dem Weg von der Probe zum Gerät absorbiert und bei einer zu langen Distanz nicht mehr erfasst. Elemente mit hoher Strahlungsenergie (z. B. Rb und Sr) werden auch dann noch gemessen, wenn sie sich innerhalb der Probe im Millimeterbereich befinden, während Elemente mit niedriger Energie (z. B. Si und Al) nur im Mikrometerbereich registriert werden. Wie die Eindringtiefe ist die Informationstiefe ausserdem von der Matrix – bei Keramik handelt es sich um eine Si-reiche Matrix – des jeweilig untersuchten Gegenstandes abhängig (Helfert, Böhme 2010, 15–18). Mit dem Modus «Mining» resp. «Mining Cu/Zn», welcher für diese Analysen verwendet wird, kann das Gerät die folgenden Elemente messen (Stapfer et al. 2019, 221): Cer (Ce), Lanthan (La), Barium (Ba), Antimon (Sb), Zinn (Sn), Cadmium (Cd), Palladium (Pd), Silber (Ag), Molybdän (Mo), Niob (Nb), Zirkonium (Zr), Yttrium (Y), Strontium (Sr), Uran (U), Rubidium (Rb), Thorium (Th), Arsen (As), Selen (Se), Bismut (Bi), Gold (Au), Blei (Pb), Quecksilber (Hg), Wolfram (W), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Chrom (Cr), Vanadium (V), Titan (Ti), Calcium (Ca), Kalium (K), Aluminium (Al), Phosphor (P), Silicium (Si), Chlor (Cl), Schwefel (S) und Magnesium (Mg).

Neben dem pXRF-Gerät werden für Untersuchungen der geochemischen Zusammensetzung in der Archäologie oft laborbasierte WD-XRF-Geräte verwendet. Diese können mehr Elemente erfassen als pXRF-Geräte, ansonsten ist die Leistung der beiden Instrumente jedoch vergleichbar (Speakman et al. 2011, 3484). Das pXRF-Gerät besitzt den Vorteil, dass die Probe nicht oder nur minimal beschädigt wird, während sie bei WD-XRF-Untersuchungen zermahlen und homogenisiert wird. Da durch die pXRF-Probenaufbereitung (s. Kap. 10.2.1) unebene Messstellen entstehen können und bereits dünne Luftpolster einen Teil der Röntgenstrahlung absorbieren – wobei wiederum die leichten Elemente stärker betroffen sind –, haben die homogenisierten und zu Pellets gepressten WD-XRF-Proben den Vorteil, dass sie über ebene Oberflächen verfügen (Forster et al. 2011, 392–393; 396–397). Dadurch wird ein solches Abbremsen durch die Luft vermieden, was zu genaueren Messwerten führt.

10.2

METHODISCHES VORGEHEN

10.2.1 Aufbereitung des Scherbens

Aufgrund der Bodenlagerung muss damit gerechnet werden, dass die Oberflächen und alten Brüche der Scherben durch Anlagerungen kontaminiert sind und die chemische Signatur dadurch beeinflusst wird. Um diese oberflächlichen Verunreinigungen zu umgehen, wird eine frische Bruch- resp. Schnittstelle erstellt. Dafür bieten sich zwei Methoden an: das Anknipsen der Scherbe mit einer Zange oder das Ansägen mit einem Dremel. Für den Dremel wird ein Diamantsägeblatt verwendet, damit möglichst keine Kontamination entsteht, denn Kohlenstoff, aus dem Diamant besteht, kann vom Gerät nicht gemessen werden. Weiterhin werden die frisch gesägten Flächen der Scherben und die Zange jeweils mit Iso-Propanol-Alkohol gereinigt.

Um herauszufinden, welche der beiden Aufbereitungsmethoden die genaueren Resultate liefert, werden fünf Gefässe¹⁵⁷ der Fundstellen Basel-Gasfabrik und Basel-Münsterhügel neu beprobt, die bereits in den 1980er-Jahren von Marino Maggetti und Giulio Galetti (Maggetti o. J.; Maggetti, Galetti 1981; Maggetti et al. 1988) mittels eines laborbasiereten WD-XRF-Geräts untersucht worden waren. Sowohl die Bruchfläche als auch die gesägte Fläche werden pro Gefäss an drei verschiedenen Stellen 6 min lang gemessen; dies mit Ausnahme des Gefässes BGpXRF 001, welches aufgrund von Nachmessungen insgesamt fünf Mal beprobt wird.¹⁵⁸ Berücksichtigt werden vorerst nur feinkeramische Gefässe, da hier beim Anknipsen glattere Flächen entstehen als bei der Grobkeramik. Da ebene Flächen zu genaueren Resultaten führen, soll damit gezeigt werden, welche Genauigkeit beim Anknipsen im bestmöglichen Fall erreicht werden kann. Es wird der relative Standardfehler der Elementkonzentrationen zwischen den beiden Aufbereitungsweisen verglichen. Zuerst wird dieser pro Gefäss berechnet, anschliessend werden die relativen Standardfehler aller fünf Gefässe einmal für die geknipste und einmal für die gesägte Fläche gemittelt.

10.2.2 Präzision des Messgeräts und Messdauer

Die Präzision des Messgeräts wird durch mehrfaches Messen an ein und derselben Stelle getestet (Helfert, Böhme 2010, 21). Je geringer die Standardabweichung der Elementkonzentrationen, desto präziser das Gerät. Insgesamt werden an fünf Gefässen¹⁵⁹ je zwei Messserien durchgeführt. Bei der ersten Serie beträgt die Messdauer 2 min, bei der zweiten Serie 6 min. Die Messung wird zwischen drei- und fünfmal wiederholt. Es werden Gefässe mit einer unterschiedlichen Art und Menge von Magerung gewählt, damit für diese Analyse ein möglichst breites Spektrum der Keramik abgedeckt ist.

Im Gegensatz dazu kann durch das Messen an unterschiedlichen Stellen an einer Probe beschrieben werden, wie stark die Elementkonzentrationen innerhalb eines Gefässes variieren. Ist die Standardabweichung innerhalb der Elementkonzentrationen bei der Mehrfachmessung an einer Stelle eine Grössenordnung kleiner als bei den Messungen an verschiedenen Stellen, kann die Präzision des Geräts als ausreichend gelten. Weil für diese Untersuchung drei Gefässe herangezogen werden, welche auch in Zusammenhang mit der Präzision des Geräts Berücksichtigung finden (BGpXRF 006, 008 und 016), kann ein Vergleich des relativen Standardfehlers der Elementkonzentrationen bei beiden Messverfahren – der dreifachen Messung an ein und derselben Stelle einerseits und der Messung an drei verschiedenen Messstellen andererseits – angestellt werden. Die Ergebnisse dieser Analyse werden ebenfalls dazu verwendet, zu entscheiden, ob die Messzeit für die weiteren Proben 2 oder 6 min betragen soll.

10.2.3 Anzahl der Messstellen

Da das Messfenster des verwendeten pXRF-Geräts mit 8 mm relativ klein ist, ist eine einzige Messung pro Scherbe, gerade bei heterogener Keramik, oft nicht repräsentativ für das ganze Gefäss. Deshalb empfiehlt sich eine Beprobung an mehreren Stellen (Behrendt et al. 2012, 98–99). Um zu untersuchen, wie viele Messstellen idealerweise heranzuziehen sind, werden vier grobkeramische Gefässe mit unterschiedlicher Magerung, darunter eines mit mittelfeiner Magerung, sowie zwei feinkeramische Gefässe beprobt.¹⁶⁰ Die Gefässe werden an sechs bis neun Stellen je einmal 6 und einmal 2 min lang gemessen.

10.2.4 pXRF im Vergleich mit WD-XRF

Um zu überprüfen, ob die Messdaten des verwendeten pXRF-Geräts vergleichbar sind mit denen eines WD-XRF-Geräts, werden Gefässe beprobt, welche bereits in den 1980er Jahren durch Maggetti und Galetti analysiert wurden (Maggetti o. J.; Maggetti, Galetti 1981). Bei der Evaluierung für die Aufbereitung des Scherbens wurden davon bereits fünf feinkeramische Gefässe untersucht, nun werden zusätzlich acht grobkeramische Gefässe hinzugezogen.¹⁶¹ Einerseits wird die prozentuale Abweichung der pXRF- zu den WD-XRF-Messresultaten bestimmt, andererseits werden die Messdaten der beiden Geräte einander in einem Scatterplot gegenübergestellt und das Bestimmtheitsmass (R^2) errechnet. R^2 bewegt sich zwischen 0 und 1, wobei bei einem Wert von 1 die pXRF- und WD-XRF-Messungen identische oder perfekt miteinander korrelierende Resultate liefern und diese im Scatterplot exakt auf einer Diagonale zu liegen kommen. Bei einem Wert von $R^2 = 0,8$ erklären die WD-XRF-Werte hingegen nur 80 % der Variabilität der pXRF-Werte, während 20 % durch andere Ursachen, beispielsweise durch Messungenauigkeit, bedingt sind (Enders 2013).¹⁶²

10.2.5 Kontamination durch Bodenlagerung

In mehreren Studien wurde nachgewiesen, dass die Bodenlagerung zu einer Kontamination der geochemischen Zusammensetzung der Keramik führen kann (u. a. Franklin, Vitali 1985; Goltiko et al. 2012; Schneider 2016). Um herauszufinden, welche Elemente potenziell durch Kontamination beeinflusst sein könnten, werden bei zwei feinkeramischen, einem mittelfein gemagerten grobkeramischen sowie bei drei fossilgemagerten, grobkeramischen Gefässen die Oberflächen – entweder an der Innen- oder an der Aussenseite – sowie jeweils eine frisch angesägte Fläche gemessen und die Elementkonzentrationen verglichen.¹⁶³ Gleich drei fossilgemagerte Gefässe werden beprobt, da die Vermutung besteht, dass diese Phosphor möglicherweise stärker absorbieren als nicht kalkhaltige Keramik, weil Phosphate bevorzugt an Kalk binden.¹⁶⁴ Phosphate können beispielsweise aufgrund von Düngung im Boden stark erhöht sein (Blume et al. 2010, 412–413).

10.2.6 Makroskopische Gruppeneinteilung der Keramik

Die Messwerte der pXRF-Analyse haben als «abstrakte» Angabe chemischer Konzentrationen eine beschränkte Aussagekraft, da ihre Interpretation alles andere als trivial ist. Deshalb wird vor dem Messen eine makroskopische Gruppeneinteilung der Keramik am frischen Bruch/Schnitt vorgenommen, mit der anschliessend festgestellt werden kann, ob Keramik, welche vom Auge her ähnlich erscheint, auch eine ähnliche chemische Zusammensetzung hat. Eine erste grobe Aufteilung erfolgt in Form der zwei Gruppen «handgemachte Grobkeramik» und «scheibengedrehte Feinkeramik» (s. Wimmer, Kap. 5.4.3); typologische Eigenschaften werden bei dieser Gruppenbildung nicht berücksichtigt. Innerhalb der Grobkeramik erfolgt die weitere Unterteilung aufgrund der Korngrösse, der Menge und der Art der Magerung sowie in einzelnen Fällen aufgrund der Tonfarbe. Zur Unterstützung bei der Bestimmung der Gesteins- und Mineralarten wurde David Brönnimann (Geoarchäologie am IPNA, Universität Basel) hinzugezogen. Da bei der Feinkeramik aufgrund der kleinen Korngrössen eine Zuordnung der Magerungsart in den meisten Fällen nicht möglich ist, wird hier verstärkt auf die Tonfarbe im Bruch geachtet.

Um Unklarheiten zu umgehen, werden im Folgenden die hier verwendeten Begrifflichkeiten erläutert: «Ton» wird in erster Linie als eine Korngrösse von Sediment verstanden. Solche Sedimente weisen aufgrund der enthaltenen Tonminerale plastische Eigenschaften auf und lassen sich deshalb gut formen. Sie bilden den wesentlichen Teil der sog. «Matrix» oder «plastischen Bestandteile» der Keramik. Dabei handelt es sich um die «Grundmasse», die sich vom Auge her nicht weiter differenzieren lässt und sich zwischen den Magerungskörnern befindet. Davon abgetrennt werden die «nicht plastischen Bestandteile» oder «Komponenten», die Umgangssprachlich als «Magerung» bezeichnet werden. Per Definition muss «Magerung»

eigentlich absichtlich zugegeben werden, «Komponenten» hingegen nicht. Da sich aber meist nicht entscheiden lässt, welche Komponenten im Rohmaterial bereits enthalten sind und welche intentionell beigemischt wurden, wird hier die Umgangssprachliche Definition von Magerung verwendet.

Die Grobkeramik wird anhand dieser Kriterien in zehn Haupt- und neun Untergruppen eingeteilt (s. Abb. 198): Die Gruppen 6.1 und 7 unterscheiden sich von der restlichen Keramik durch ihre Kalk- oder Fossil-magerung: Gruppe 6.1 enthält Kalkmagerung, ihre Oberfläche ist stark geglättet und sie besitzt eine vergleichsweise feine Magerung. Gruppe 7 mit insgesamt sechs Untergruppen enthält Fossilien als Magerung, abgesehen von Gruppe 7.1, die grobe Kalkmagerung besitzt. Gruppe 8 hebt sich durch eine sehr grobe Magerung (> 5 mm) und goldigen Glimmer (Muskovit) von der restlichen Keramik ab. Sie kann deshalb makroskopisch der Keramik vom *type Besançon* zugeordnet werden (s. Wimmer, Kap. 5.4.4.8). Gruppe 9 besteht nur aus zwei Gefässen, welche sich typologisch von der restlichen Grobkeramik abheben und eine sehr homogene Quarzmagerung und graue Tonfarbe im Bruch erkennen lassen. Gruppe 6.2 enthält eine für Grobkeramik sehr feine Magerung bestehend aus Quarz und Feldspat, die Oberfläche ist stark geglättet. Die restlichen Gruppen besitzen Quarz, Feldspat sowie zerstoßenes granitisches Material als Komponenten. Gruppe 1 und 4 unterscheiden sich vor allem aufgrund der Korngrösse und der Menge der Magerung. Gruppe 2 weist eine sehr ähnliche Magerung wie Gruppe 1 auf, wurde aber oxidierend gebrannt und hat im Bruch ebenfalls einen rötlichen Farbton. Gruppe 5 und 10 enthalten neben dem Quarz, dem Feldspat und dem zerstoßenen granitischen Material schwarz umrandete Poren, welche vermutlich von verbrannten organischen Bestandteilen herrühren. Gruppe 10 zeichnet sich zusätzlich durch sehr kompakten Ton aus.

Die feinkeramischen Gruppen 101, 301 und 501 zeigen alle sehr kleine Korngrössen, haben jedoch unterschiedliche Farben im Bruch; dasselbe gilt für die Gruppen 102, 302 und 502, nur dass diese etwas grössere Magerungskörner besitzen (Abb. 197). Die 100er, 300er und 500er Gruppen haben dabei jeweils dieselbe Farbe. Eine Ausnahme bildet Gruppe 103: Sie weist für Feinkeramik grosse Magerungskörner auf; aufgrund der geringen Gefässanzahl wurde hier aber die Tonfarbe nicht berücksichtigt. Gruppe 200 zeigt einen sich abrupt ändernden Wechselbrand sowie einen sehr kompakten Ton und hat oft sehr grosse Poren. Die Gruppen 400 und 600 lassen einen beigen resp. bräunlichen Farbton im Bruch erkennen, wobei dieser bei Gruppe 600 wohl von einer sekundären Hitzeüberprägung stammt. Gruppe 401 besitzt sehr grosse, rötlich-braune Einlagerungen, bei denen es sich um Tonbrocken einer sehr feinkörnigen Fazies der Hochflutsande handelt (Rentzel, Pümpin 2009, 15). Gruppe 700 weist Kalkmagerung auf.

10.2.7 Statistische Auswertung der makroskopischen Waren

Die Auswertung der Messdaten stellt die grösste Herausforderung bei pXRF-Analysen dar, da eine grosse Probenanzahl ($n = 279$) einer ganzen Reihe von Elementkonzentrationen gegenübersteht und zusätzlich die Warenzuweisung zu berücksichtigen ist. In einem ersten Arbeitsschritt wird deshalb mit multivariater Statistik gearbeitet. Als erstes kommt die Hauptkomponentenanalyse zum Einsatz. Mit ihr soll ein erster Überblick darüber gewonnen werden, ob die jeweiligen makroskopischen Waren auch eine einheitliche geochemische Zusammensetzung besitzen. Die Hauptkomponentenanalyse oder *Principal Component Analysis* (PCA) sucht innerhalb eines multivariaten Datensatzes nach der grössten Streuung (Varianz), ohne dabei bestehende Gruppenzugehörigkeiten (z. B. Ware) zu berücksichtigen. Sie versucht Daten durch lineare Kombination ihrer wichtigsten Merkmale (Hauptkomponenten) abzubilden. Die Distanz zwischen Daten mit ähnlichen Merkmalen, in diesem Fall eine ähnliche geochemische Zusammensetzung, ist gering, während sich die Distanz zwischen Daten mit unterschiedlichen Merkmalen vergrössert. Dabei sollte beachtet werden, dass die zweidimensionalen Abbildungen der PCA jeweils nur den Varianzanteil von zwei Hauptkomponenten, typischerweise den ersten beiden, anzeigen. Der Varianzanteil gibt an, wie viel Prozent der Streuung durch die jeweilige Hauptkomponente abgedeckt wird. Da für die Analysen 17 Elemente verwendet werden, gibt es auch 17 Hauptkomponenten, wobei die erste Hauptkomponente den grössten Varianzanteil besitzt und die letzte den geringsten. Weil die ersten beiden Hauptkomponenten nie den gesamten Varianzanteil abdecken, kann es sein, dass bei den ersten beiden Hauptkomponenten Gruppen zusammenfallen, welche sich beispielsweise bei der dritten oder vierten Hauptkomponente trennen lassen würden. Je höher der Varianzanteil der ersten beiden Hauptkomponenten ist, desto unwahrscheinlicher ist dieses Szenario (Lever et al. 2017; Nostrom 2014, 63–65).

Als zweites statistisches Verfahren wird die Diskriminanzanalyse angewendet. Anders als die PCA geht die Diskriminanzanalyse grundsätzlich davon aus, dass zwischen den Variablen und der vorgegebenen Gruppierung eine Verbindung besteht. Aus diesem Grund wird zuerst die PCA durchgeführt, um zu prüfen, ob überhaupt ein Zusammenhang zwischen makroskopischer Ware und chemischer Zusammensetzung besteht. Die anschliessend durchgeführte Diskriminanzanalyse soll zusätzlich eine Einschätzung darüber ermöglichen, wie stark dieser Zusammenhang ist (Nostrom 2014, 66–68). Je weniger sich die vorgegebenen Gruppen innerhalb der Diskriminanzanalyse überlappen resp. je klarer sie voneinander getrennt sind, desto besser korrespondieren die makroskopisch gebildeten Warenarten mit einer jeweils einheitlichen chemischen Zusammensetzung. Ähnlich wie bei der Hauptkomponentenanalyse werden pro Diagramm nur die ersten beiden Diskriminanzkomponenten angezeigt, zusammen mit der Angabe, welchen Prozentanteil der

Varianz innerhalb der Gruppe sie abdecken. Anders als bei der Hauptkomponentenanalyse hängt die Anzahl der Diskriminanzkomponenten nicht von der Anzahl der Elemente, sondern von der Anzahl der vorgegebenen Gruppen ab (Carlson 2017, 243–263; Döring 2018). Sowohl die PCA wie auch die Diskriminanzanalyse wurden mit dem Statistikprogramm «R» durchgeführt.

Da in der Hauptkomponentenanalyse viele Elemente einander gegenübergestellt und ausgewertet werden, ist meist nicht auf den ersten Blick erkennbar, welche davon für eine Gruppenbildung verantwortlich sind. Diesbezüglich ist das Darstellen der Elementgewichtungen in Form von Pfeilen im PCA-Diagramm hilfreich (s. Abb. 194). Diese Pfeile zeigen an, um welchen Betrag eine gemessene Elementkonzentration in welche Richtung verschoben wird. Weist also der Pfeil einer solchen Elementgewichtung in die Richtung zweier sich trennender Gruppen, sind bei den Konzentrationen des entsprechenden Elementes mit grosser Wahrscheinlichkeit Unterschiede zwischen den beiden Gruppen feststellbar (Carlson 2017, 243–277). Als zusätzliche Interpretationshilfe werden Streudiagramme eingesetzt, in denen jeweils nur zwei Elemente gleichzeitig betrachtet werden. Besonderes Augenmerk wird auf die Elementkombination $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ gelegt. Da Sand (2–0,063 mm) einen hohen SiO_2 -Gehalt hat und Ton (< 0,002 mm) im Vergleich dazu einen hohen Al_2O_3 -Gehalt, können aufgrund des Verhältnisses der SiO_2 - zu den Al_2O_3 -Konzentrationen Annahmen darüber getroffen werden, welches Verhältnis die Sand- resp. Siltfraktion (nicht plastisch) und die Tonfraktion (plastisch) in einer Keramikprobe besitzen (Blume et al. 2010, 33–34).

10.3

RESULTATE

10.3.1 Aufbereitung des Scherbens

Entgegen der ursprünglichen Erwartung weichen die Messresultate der gesägten und geknipsten Flächen ungefähr gleich stark von den WD-XRF-Messdaten ab. Deshalb wird diejenige Aufbereitungsweise als geeigneter angesehen, bei welcher der relative Standardfehler der Elementkonzentrationen niedriger ist. Es zeigt sich, dass dieser Parameter über alle fünf Proben gesehen beim Anknippen der Scherben bei 19 von 24 Elementen höher ist (Abb. 188). Aufgrund dessen wird als Aufbereitungsweise das Sägen der Scherbe gewählt.

10.3.2 Präzision des Messgeräts

Bei den Elementen SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , CaO , K_2O , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Zr , Sr , Rb und Zn liegt der relative Standardfehler sowohl bei einer Messzeit von 2 wie auch von 6 min bei jedem Gefäss unter 5 %. Ba liegt nur bei einem einzigen Gefäss bei einer Messzeit von 2 min über 5 %. Y, Pb und Cr überschreiten in beiden Fällen die Fünfprozentmarke ebenfalls

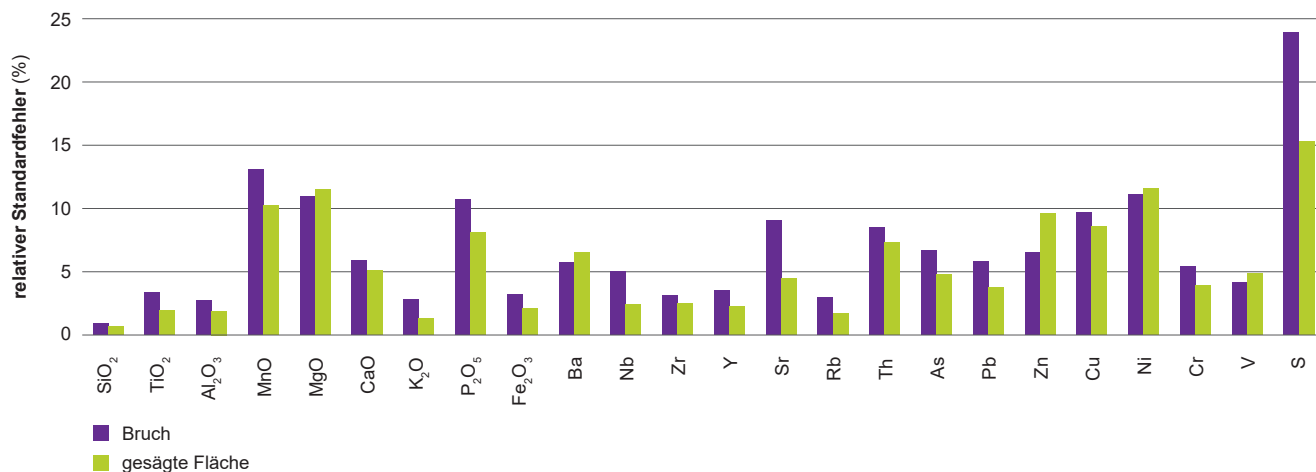


Abb. 188 Fünf Gefässe wurden jeweils drei- bis fünfmal beprobt. Aus diesen drei bis fünf Proben wurde der relative Standardfehler pro Gefäss einmal für die Brüche und einmal die gesägte Fläche errechnet. Die Graphik zeigt das Mittel der errechneten fünf relativen Standardfehler für beide Aufbereitungsarten.

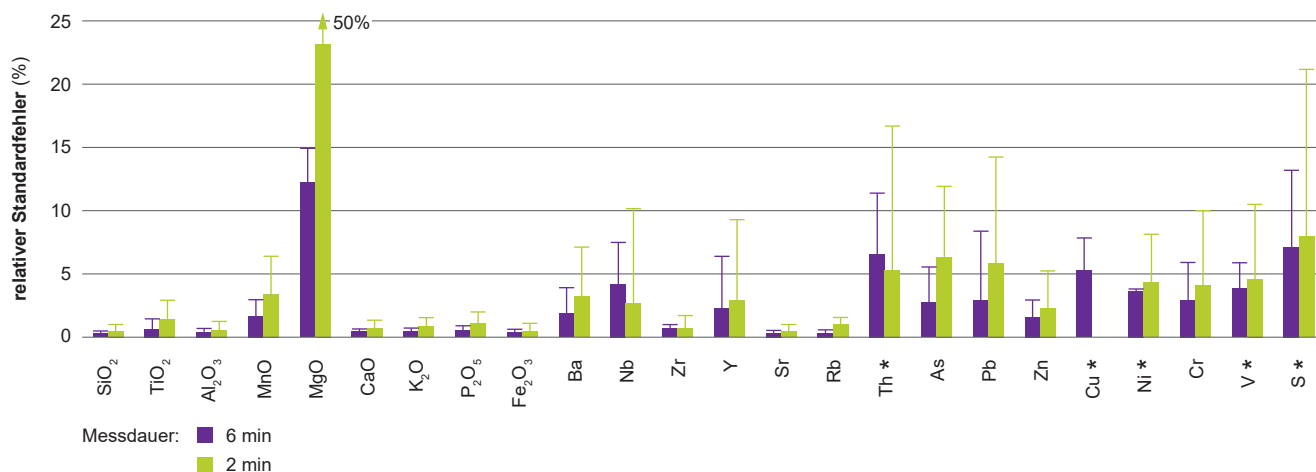


Abb. 189 Vergleich des relativen Standardfehlers bei einer Messdauer von 2 resp. 6 min. Dieser wird durch ein dreifaches Messen an ein und derselben Stelle (Mehrfachmessung), gemittelt über fünf Gefässe, vorgenommen (Balken). Zusätzlich wird für jedes Element der Wert des Gefässes mit dem jeweils höchsten relativen Standardfehler angezeigt (Fehlerbalken). * Element nicht bei allen Messungen erfasst.

nur bei einem Gefäss, V bei zwei stark gemagerten grobkeramischen Gefässen. Bei einem dritten ebenfalls stark gemagerten grobkeramischen Gefäss wird V bei der zweiminütigen Messung überhaupt nicht erfasst. Es ist daher zu vermuten, dass die Messung dieses Elements vor allem bei der Grobkeramik unpräzise ausfällt (s. Suppl. 1 und 2). Mittelt man den relativen Standardfehler über alle fünf Gefässe hinweg, so zeigt sich, dass nur Cu, Cl und Nb bei einer Messzeit von 2 min präziser erfasst werden (Abb. 189). Bei Cu lässt sich der höhere relative Standardfehler aber damit erklären, dass die Konzentration nahe der Nachweisgrenze liegt und bei einer Dauer von 2 min deshalb seltener gemessen wird. Dadurch verringert sich der relative Standardfehler, die Messung ist dennoch weniger aussagekräftig. Cl wird nur bei einem Gefäss registriert und der Unterschied zwischen den Messzeiten liegt bei nur 0,12%. Sehr unpräzise fällt die Messung im Fall von MgO aus, das im Mittel einen relativen Standardfehler von 12% bei 6 min resp. 23% bei 2 min aufweist.

Der Vergleich des relativen Standardfehlers zwischen der Mehrfachmessung an ein und derselben Stelle (Präzision) und an drei verschiedenen Messstellen (Variabilität innerhalb des Gefässes) zeigt, dass dieser mit Ausnahme von Nb bei einer einzigen Messstelle grundsätzlich kleiner ist (Abb. 190). Die Präzision des Geräts kann deshalb für die meisten Elemente – die Mehrfachmessungen bei MgO, Nb, Th, Pb und V erreichen die Grössenordnung der ohnehin gegebenen Variabilität innerhalb des Gefässes – als ausreichend angesehen werden. Des Weiteren sind bei den Elementen MnO, MgO, P₂O₅, Ba, Cu, Cl und S hohe relative Standardfehler von über 10% bei der Beprobung dreier verschiedener Messstellen an ein und demselben Gefäss festzustellen. Dies bedeutet, dass die Konzentrationen dieser Elemente innerhalb der einzelnen Gefässe relativ stark schwanken. Weiterhin wird Ni beim Messen einer einzigen Stelle nur bei einem Gefäss erfasst, während dies beim Messen verschiedener Stellen bei zwei Gefässen der Fall ist. Wie untenstehend ausgeführt, sind die meisten dieser Elemente von Kontamination

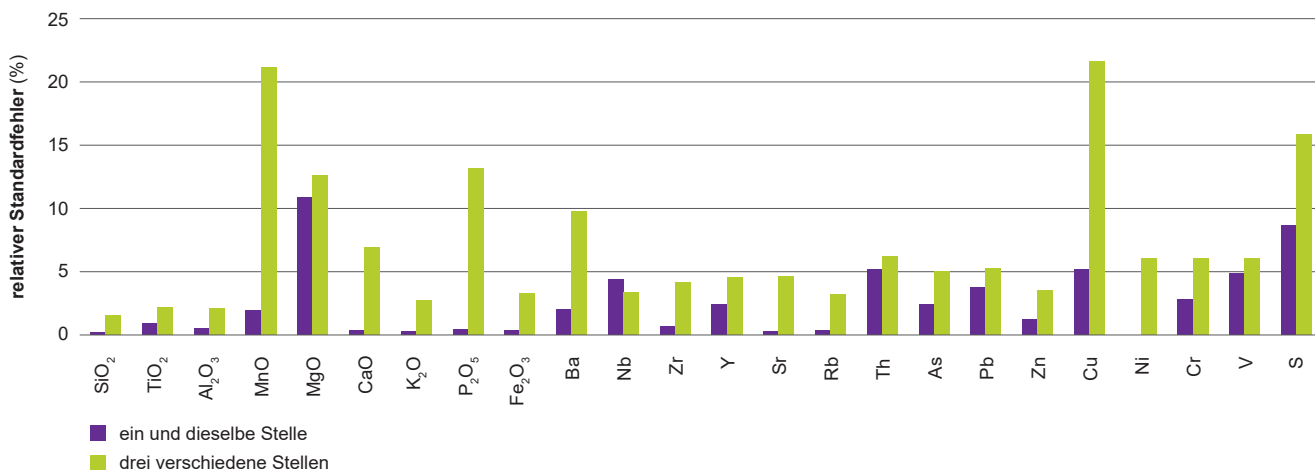


Abb. 190 Vergleich des relativen Standardfehlers beim dreifachen Messen ein und derselben Stelle und drei verschiedenen Messstellen. Die Graphik zeigt das Mittel des relativen Standardfehlers über drei Gefässe.

durch die Bodenlagerung betroffen. Hervorzuheben ist ausserdem, dass CaO bei einzelnen Gefässen ebenfalls einen deutlich erhöhten Standardfehler aufweisen kann.

10.3.3 Anzahl der Messstellen

Mit zunehmender Anzahl beprobter Messstellen an einem Gefäss wird der relative Standardfehler der gemittelten Elementkonzentrationen stetig kleiner (Abb. 191; Suppl. 3 und 4). Bei Elementen, deren relativer Standardfehler bereits bei zwei Messungen unter 5 % liegt, verringert sich dieser meist ab fünf Messstellen kaum mehr. Bei der Grobkeramik zeigen die meisten Elemente einen höheren relativen Standardfehler als bei der Feinkeramik, was wohl auf ihre stärkere Heterogenität zurückzuführen ist. Das mittelfein gemagerte, grobkeramische Gefäss weist im Vergleich zur übrigen Grobkeramik ebenfalls geringere Standardfehler auf.

Aus zeitlichen Gründen war es nicht möglich, bei der Grobkeramik mehr als sechs Messstellen pro Gefäss zu beproben. Da die Abnahme des relativen Standardfehlers bei sechs gegenüber von fünf Messungen in Bezug auf die meisten Elemente nur noch unter 1 % liegt, wird die Anzahl der Messstellen für die Grobkeramik mit fünf festgelegt. Einzig auf die Elemente MgO, Cu, Cl und S trifft dies nicht zu, wobei hier aber die grössere Differenz vermutlich der Kontamination durch die Bodenlagerung geschuldet sein wird (s. Kap. 10.3.5). Weil der relative Messfehler bei den beiden feinkeramischen Gefässen oft schon bei nur zwei Messungen kleiner ist als bei fünf im Fall der Grobkeramik, wird beschlossen, diese nur dreimal pro Scherbe zu beproben. Eine Mindestanzahl von drei Einzelmessungen ist notwendig, um beurteilen zu können, ob es sich bei einer davon um einen Ausreisser handelt.

10.3.4 pXRF im Vergleich mit WD-XRF

Betrachtet man die prozentuale Abweichung der pXRF-Messresultate gegenüber denjenigen des WD-XRF-Geräts, so lagen allein die SiO₂-Werte bei jedem Gefäss unter 10 % Differenz. Berücksichtigt man nur die Feinkeramik, so trifft dies auch auf die Elemente Al₂O₃ und Rb zu. Sehr grosse Abweichungen

lassen die Elemente MnO, MgO, P₂O₅, Ba, Zn, Cu, Ni und Cr erkennen (s. Suppl. 5 und 6). Bereits im Kapitel 10.3.2 konnte festgestellt werden, dass sich MgO nur sehr unpräzise messen lässt. Bei MnO und P₂O₅ zeigte sich hingegen, dass diese Elemente zwar relativ präzise gemessen werden, ihre Konzentrationen innerhalb der einzelnen Gefässe aber stark variieren können (s. Kap. 10.3.2). Cu und Ni werden vom pXRF-Gerät nicht bei jeder Messung erfasst, da es gegenüber dem WD-XRF-Gerät eine geringere Sensibilität für diese Elemente hat. Bei Cr, das beim pXRF-Gerät deutlich höhere Konzentrationen aufweist, ist unklar, bei welchem der beiden Geräte eine Ungenauigkeit der Messung vorliegt.

Trotz dieser komplexen Ausgangslage stellte sich heraus, dass bei mehreren Elementen eine starke Gleichläufigkeit zwischen den beiden Messmethoden gegeben ist und daraus hohe R₂-Werte resultieren. Dies trifft auf SiO₂, CaO, K₂O, MgO, Sr, Rb und Zr zu, bei denen R₂ ≥ 0,9 ist, und auf die Elemente TiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, Fe₂O₃ und Ni mit R₂ ≥ 0,8 (Abb. 192; für die Darstellung aller Elemente s. Suppl. 7 und 8). Das bedeutet, dass mit einer Umrechnungsformel von den Messresultaten des pXRF-Geräts bei den allermeisten Hauptelementen zuverlässig auf diejenigen des WD-XRF-Geräts geschlossen werden kann, während dies bei den Spurenelementen nur auf Sr, Rb, Zr und Ni zutrifft. Diese Beobachtungen haben jedoch nur für das hier verwendete pXRF-Gerät und das WD-XRF-Gerät von Maggetti und Galetti (Maggetti et al. 1988, 6) Gültigkeit. Die Resultate können bei anderen Geräten aufgrund einer unterschiedlichen Kalibrierung (Speakman, Shackley 2013, 1436) und/oder eines unterschiedlichen Gerätetyps (Goodale et al. 2012, 879–880) durchaus abweichen.

10.3.5 Kontamination durch Bodenlagerung

Wie in Abbildung 193 erkenntlich, weisen fast alle gemessenen Elemente starke Abweichungen zwischen der Oberfläche und den frisch gesägten Messstellen auf. Im Mittel liegt diese Differenz bei den nicht fossilgemagerten Gefässen bei den Elementen TiO₂, MnO, Cu, Ni und Cl über 20 %, bei

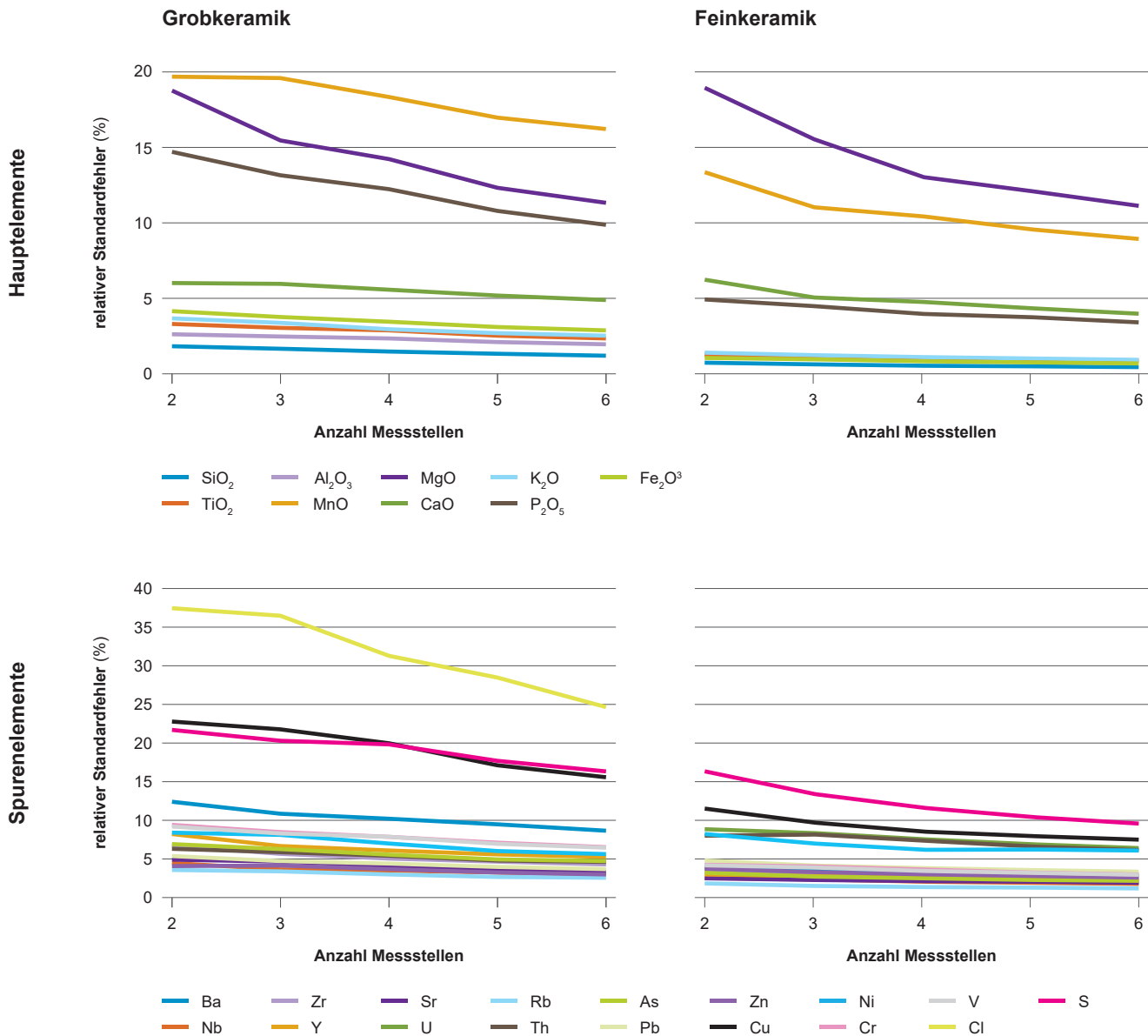


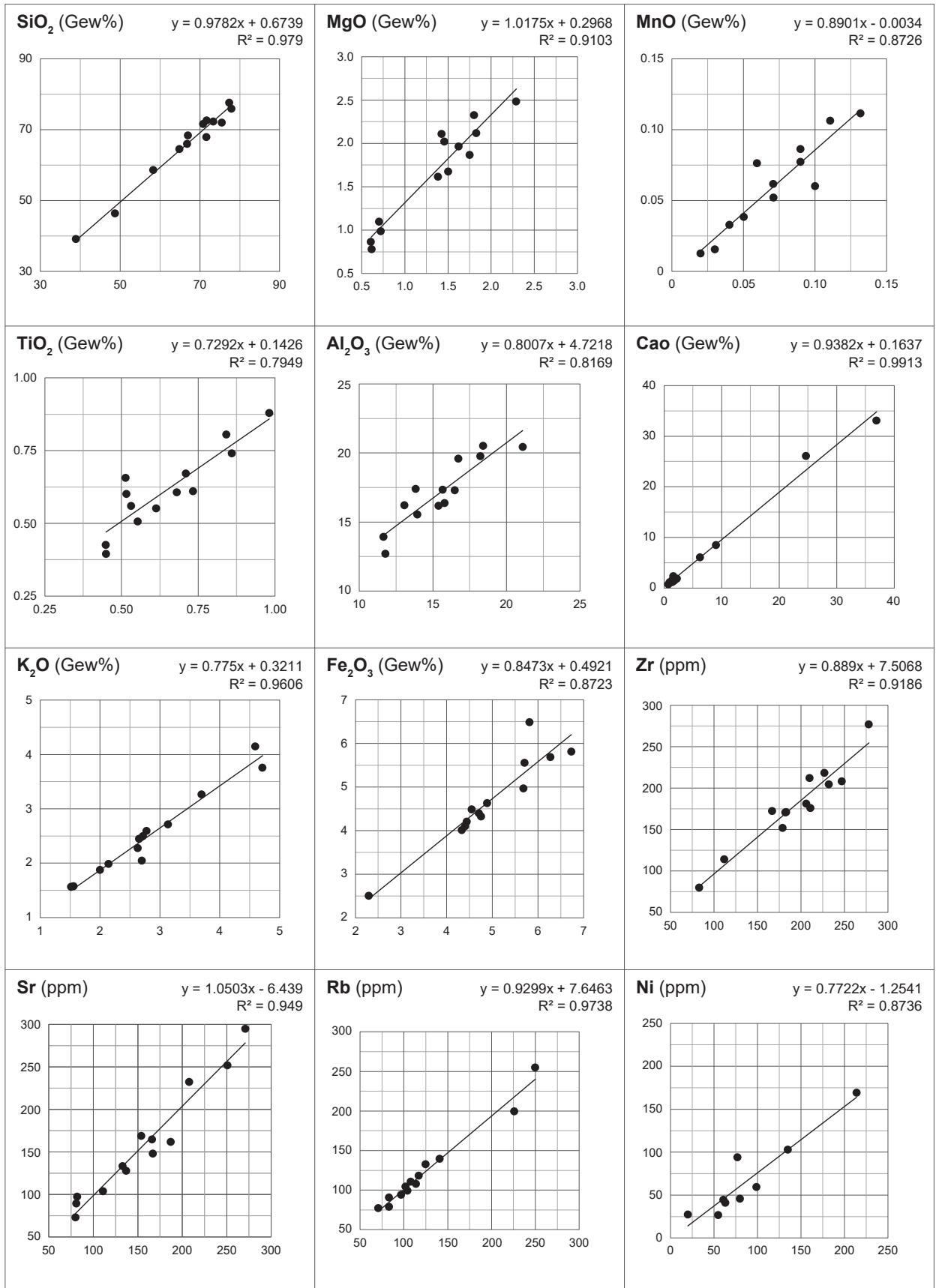
Abb. 191 Der relative Standardfehler nach Anzahl der beprobten Messstellen. Links befinden sich die Daten gemittelt über drei grobkeramische Gefäße (das Exemplar mit mittelfeiner Magerung wurde ausgeschlossen), rechts gemittelt über zwei feinkeramische Gefäße.

CaO, P₂O₅, Zn und S sogar über 90 %. Bei den fossilgemagerten Gefäßen erreicht die Abweichung bei den Elementen SiO₂, TiO₂, MnO, CaO, K₂O, P₂O₅, Fe₂O₃, Rb, As, Pb, Cr, V und S über 20 %, bei Zn, Cu, Ni und Cl über 90 %. Dies zeigt deutlich, dass die Keramik oberflächlich stark von Kontamination betroffen sein kann und es deshalb wichtig ist, frische Bruchstellen resp. frisch gesägte Schnitte zu generieren. Kontamination kann allerdings auch im Scherbeninnern auftreten. Dort ist sie weniger einfach als solche zu erkennen, die hohe Variabilität der Elemente MnO, P₂O₅, Cu, Cl und S innerhalb einzelner Gefäße stellt diesbezüglich aber ein wichtiges Indiz dar. Ebenfalls fällt auf, dass die fossilgemagerte Keramik anfälliger für Kontamination zu sein scheint als die nicht fossilgemagerte Ware. Dies könnte mit ihrer Porosität in Zusammenhang stehen. Hingegen wird die Vermutung

widerlegt, dass die fossilgemagerte Keramik stärker von P₂O₅-Kontamination betroffen ist als diejenige ohne fossile Zusätze. Ebenfalls eine interessante Beobachtung ist, dass bei Ersterer CaO an der Oberfläche angereichert sein kann, während es dort bei Letzterer reduziert ist. Denkbar wäre, dass die fossile Magerung im Bereich der Oberfläche zum Teil durch Anlagerungen überdeckt ist und deswegen der CaO-Gehalt der Keramik unterschätzt wird.

10.3.6 Verwendete Elemente

Aufgrund der vorangehenden Untersuchungen konnte entschieden werden, welche Elemente für die Analysen der Herkunfts- und Produktionsserienbestimmung ausgeschlossen werden sollten. P₂O₅, Cl und S kommen wegen potenzieller Kontamination durch die Bodenlagerung nicht



WD-XRF

WD-XRF

WD-XRF

Abb. 192 Vergleich der pXRF- und WD-XRF-Messdaten. Scatterplots für die Elemente mit einem R²-Wert von 0,8 oder höher.

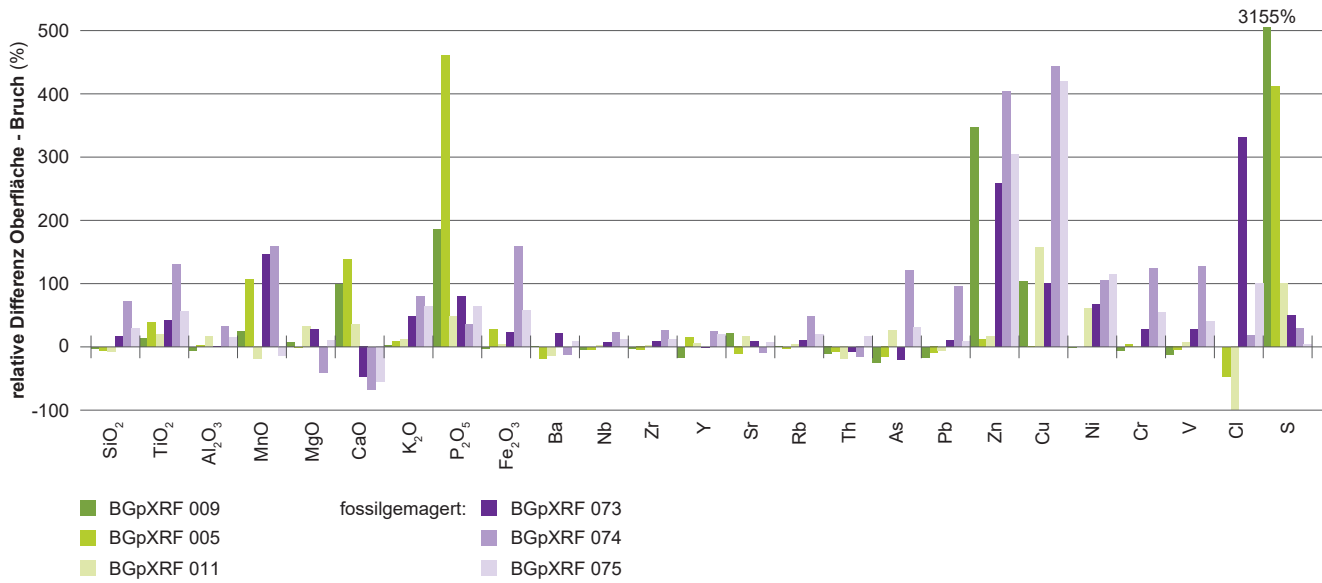


Abb. 193 Relative Differenz der Elementkonzentrationen der Oberflächen der Keramik im Vergleich zu frisch gesägten Flächen, die Werte der letzteren dargestellt als 0-Linie. Fossilhaltige und nicht fossilhaltige Keramik sind farblich voneinander abgehoben. Es wird nur der Ausschnitt bis 500 % gezeigt, bei Schwefel ist die Abweichung mit 3155 % deutlich höher. Liegt der Wert genau bei 100 %, wurde das betreffende Element nur auf der Oberfläche, aber nicht im frischen Schnitt erfasst. Liegt der Wert bei -100 %, wurde das Element nur im frischen Schnitt, nicht aber auf der Oberfläche erfasst.

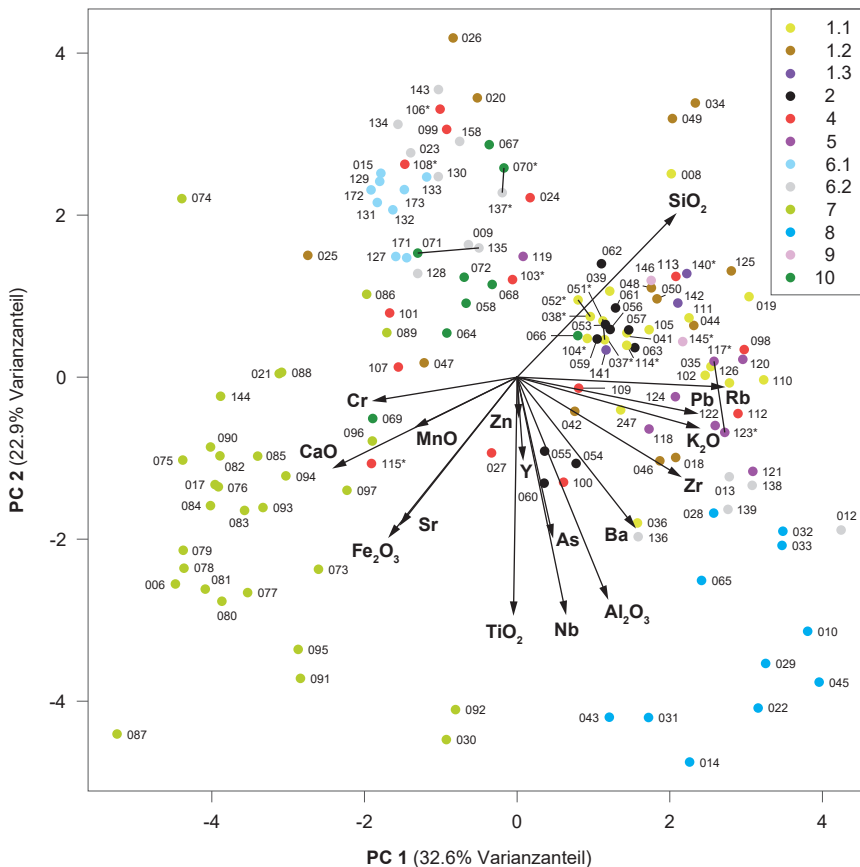
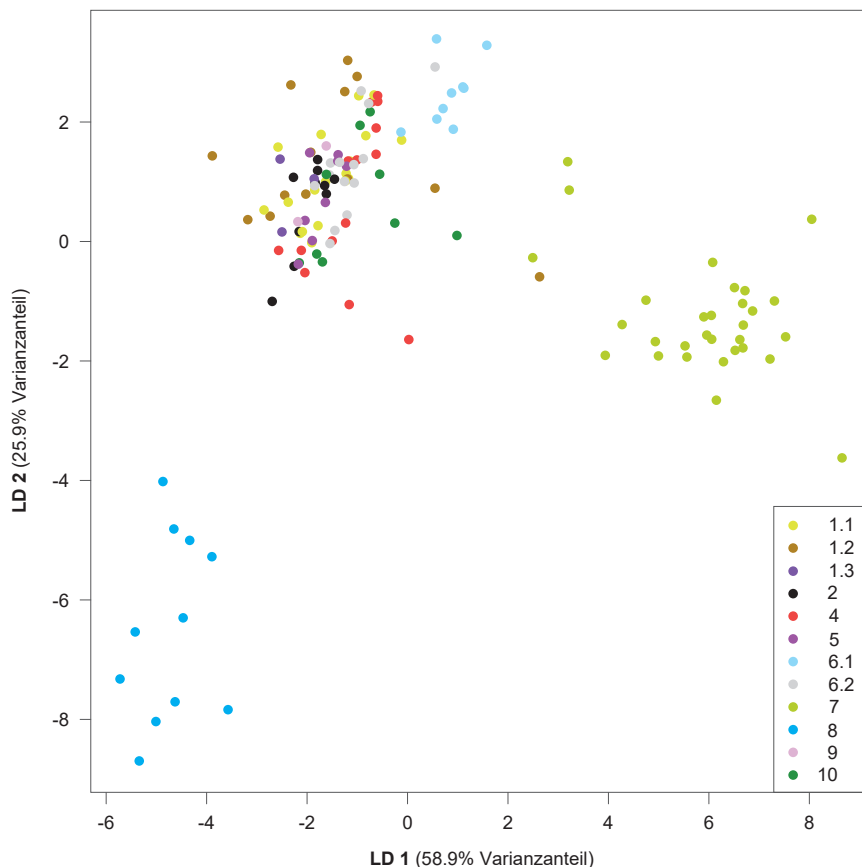


Abb. 194 Hauptkomponentenanalyse (PCA) der grobkeramischen Waren, in Dunkelblau die Ware 8. Mit einer Linie verbundene Proben stammen von ein und demselben Gefäß; * Gefäß wurde bei petrographischen Untersuchungen als lokale Ware bestimmt.

in Frage. MgO und Th werden nicht miteinbezogen, da sie vom Messgerät nur unpräzise erfasst werden. Dasselbe gilt für V, dessen Messungen vor allem bei der Grobkeramik unpräzise zu sein scheinen. Sn, U, Cu und Ni werden nicht bei jedem Gefäß erfasst, weil ihre Konzentration zu nahe an der Nachweisgrenze liegt. Da im Weiteren unter anderem mit der Hauptkomponentenanalyse gearbeitet wird, welche mit Null-

werten nicht umgehen kann, werden diese Elemente ebenfalls weggelassen. Letztlich wäre das pXRF-Gerät eigentlich auch in der Lage, die Elemente Ce, La, Sb, Cd, Pd, Ag, Mo, Bi, Au, Hg, W und Co zu messen, diese wurden jedoch fast oder gar nie registriert. Aufgrund dessen lassen sich die Analysen auf die Elemente SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, MnO, CaO, K₂O, Fe₂O₃, Ba, Nb, Zr, Y, Sr, Rb, As, Pb, Zn und Cr beschränken.

Abb. 195 Diskriminanzanalyse der grobkeramischen Waren, in Dunkelblau die Ware 8.



10.3.7 Statistische Auswertung der makroskopischen Waren

Da die Auswertung der geochemischen Messdaten bereits im Kapitel 5.5 bei Wimmer erfolgt ist, werden an vorliegender Stelle beispielhaft nur die Ergebnisse für die makroskopische Ware 8, mit einem Fokus auf die statistischen Methoden, erläutert.

Wie in Abbildung 194 erkenntlich, trennt sich die Ware 8 in der Hauptkomponentenanalyse (PCA) mit Ausnahme eines Gefässes deutlich vom Rest der Grobkeramik ab. In der Diskriminanzanalyse ist die Distanz der gesamten Ware 8 zur restlichen Keramik sogar noch grösser (Abb. 195). Weiterhin kommen die Resultate bei keinem dieser Gefässe in die Nähe einer bei petrographischen Untersuchungen (Joray 2013; Rentzel, Pümpin 2009) als lokal bestimmten Keramik. Für eine nicht lokale Herkunft spricht ebenfalls, dass der Scherben dieser Keramik makroskopisch dem *type Besançon* zugeordnet werden kann, welche ihren Ursprung in Ostfrankreich hat (Barral et al. 2013).

In den Streudiagrammen (Abb. 196; Suppl. 9 und 10) wird ersichtlich, dass sich die Ware 8 vor allem bezüglich der Elemente SiO_2 , Al_2O_3 und Ba gut von der restlichen Keramik abtrennen lässt. Dies kommt daher, dass sie die höchsten Al_2O_3 - und Ba-Konzentrationen besitzt. Die hohen Al_2O_3 -Werte können einerseits auf einen erhöhten Tongehalt in der Keramik zurückzuführen sein, andererseits könnte auch die Al-haltige Muskovitmagerung (Blume et al. 2010, 11) einen Einfluss darauf haben. Die SiO_2 -Werte sind, abgesehen von

der Ware 7 sowie vereinzelt Gefässen anderer Warenarten, die niedrigsten der gesamten untersuchten Keramik. Da die allermeisten Gefässe der Ware 7 aber noch niedrigere Werte haben, ist die Ware 8 auch klar von dieser abgetrennt. In den Messdaten zeigt sich, dass bei der nicht kalkhaltigen Keramik SiO_2 und Al_2O_3 bei den Hauptelementen zusammen zwischen rund 80 und 92 % der Gewichtsprozente ausmachen. Das führt dazu, dass eine Erhöhung des Al_2O_3 -Gehalts zu einer Senkung des SiO_2 -Gehalts führt. Bei einer Keramik mit hohem Kalkgehalt sinkt dagegen sowohl der SiO_2 - wie auch der Al_2O_3 -Gehalt (Abb. 196). Im Falle der Ware 8, wie auch bei weiteren grobkeramischen Warenarten (s. Wimmer, Kap. 5.5.2 bis 5.5.5), stimmt die makroskopische Gruppierung folglich mit einer einheitlichen geochemischen Zusammensetzung überein. Die makroskopische Gruppeneinteilung ist allerdings nicht immer zuverlässig möglich; dies zeigen beispielsweise einige doppelt beprobte Gefässe, deren Scherben makroskopisch teilweise unterschiedlichen Waren zugeordnet wurde. Die geochemischen Messwerte der beiden Proben liegen in der PCA aber in der Regel nahe beieinander (s. Abb. 194), sodass anhand dieser Beobachtung gewissermaßen die Homogenität innerhalb eines Gefässes zu erahnen ist. Bei der Feinkeramik ist die Warenzuordnung aufgrund der kleinteiligeren Magerungsbestandteile weniger zuverlässig möglich; hier kann nur in sehr beschränktem Mass ein Zusammenhang zwischen der makroskopischen Ware und der geochemischen Zusammensetzung festgestellt werden (s. Wimmer, Kap. 5.5.6).

10.4

SYNTHESE

Die pXRF-Analyse ist schnell und leicht anwendbar. Damit aber die gewonnenen Daten in einem weiteren Kontext verwertbar und vergleichbar sind, ist es wichtig, dass mehrere Voraussetzungen erfüllt sind. So sollten die Messdaten reproduzierbar erhoben werden. Die Reproduzierbarkeit beginnt mit der Kalibration des Messgeräts, welches anhand von internationalen Standards und im Idealfall spezifisch auf die zu untersuchenden Materialien eingestellt sein sollte. Da die Kalibration in diesem Kapitel nur ganz am Rande erwähnt wird, sei an dieser Stelle auf Robert R. Speakman und M. Steven Shackley (2013) verwiesen. Zur Reproduzierbarkeit gehört ebenfalls, dass genaue Angaben zur Probenaufbereitung, der Messzeit sowie zur Anzahl und Lage der Messstellen vorhanden sind.¹⁶⁵

Neben dem Vorgehen beim Messen ist eine Entscheidung bezüglich der Art der Weiterbearbeitung der Daten wichtig. Eine erste Herausforderung stellt dabei die Qualitätssicherung der Rohdaten dar: Ab wann gilt eine Messung als Ausreisser? Wie wird mit Ausreissern umgegangen? Die zweite Herausforderung stellt die statistische Auswertung dar: Bei einer geringen Anzahl von Gefässen ist möglicherweise eine relativ simple Auswertung möglich; bei grossen Daten- resp. Gefässmengen sind multivariate statistische Methoden hingegen unumgänglich. Dies setzt eine vertie-

fende Einarbeitung voraus, die es nicht zu unterschätzen gilt; das Auswerten und Interpretieren umfangreicher Datensätze stellt zweifelsohne die wesentlich grössere Herausforderung dar als das Erheben der Daten selbst.

Letztlich ist zu bedenken, dass die Aussagekraft einer pXRF-Analyse beschränkt ist, wenn sie für sich alleine steht. Eine vorherige makroskopische Gruppenbildung ist für die Interpretation der Messdaten meist unabdingbar. Zwar können im Idealfall Gefässgruppen mit deutlich voneinander abweichender geochemischer Zusammensetzung erkannt werden – dies ist beispielsweise bei der Ware 8 der Fall –, bei geringeren Unterschieden überlagern sich aber oft unterschiedliche Waren in gewissen Bereichen, sodass sie ohne makroskopische Warenansprache nicht voneinander trennbar sind. Will man nicht nur geochemische Gruppen bilden, sondern auch der Herkunft der Waren nachgehen, braucht es weiterführende Überlegungen: Wann ist beispielsweise ein Scherben als lokal anzusehen, wann nicht? Hilfreich sind hierbei insbesondere mikromorphologische Untersuchungen an möglichen lokalen Tonquellen einerseits und der Keramik andererseits. Die Definition und die Problematik der Bestimmung lokaler Ware werden ausführlich im Kapitel 5.5 bei Wimmer diskutiert. Festzuhalten ist, dass je mehr Informationen man aus den pXRF-Analysen ziehen will, desto mehr Vorwissen braucht es, damit die erhobenen Daten korrekt interpretiert werden können. Unabdingbar vor einer solchen Analyse ist daher eine klare Auseinandersetzung mit der Fragestellung, wovon wiederum die benötigten Zusatzinformationen abhängen.

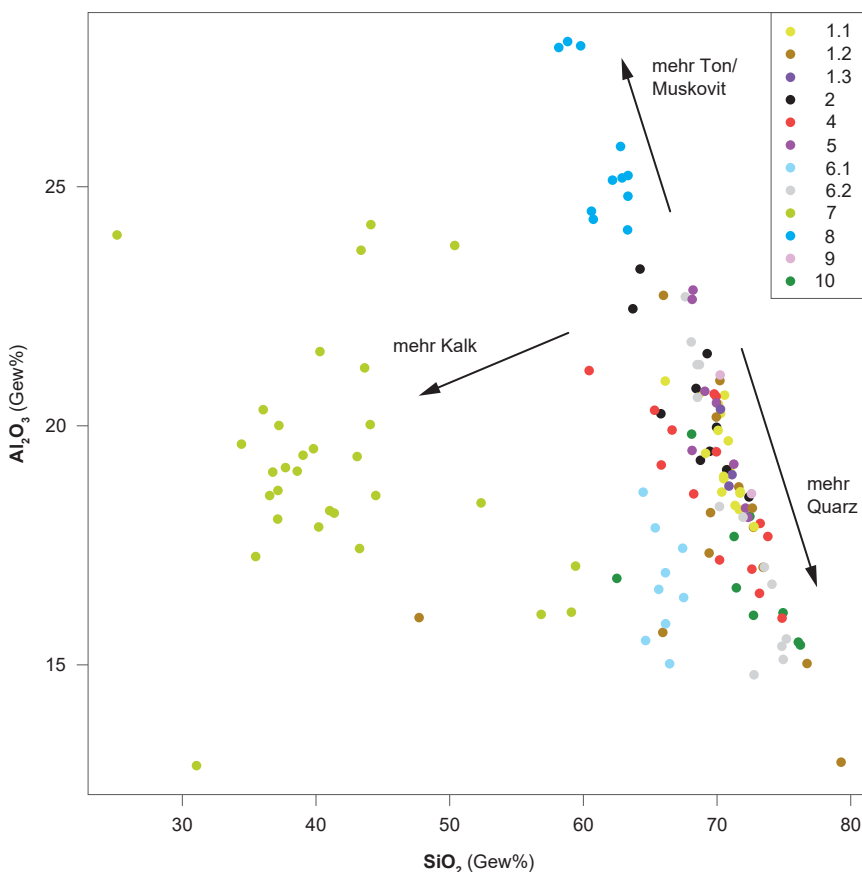


Abb. 196 Streudiagramme für die Elemente SiO_2 und Al_2O_3 . Die Ware 8 (dunkelblau) lässt sich in dieser Elementkombination deutlich von der restlichen Keramik abtrennen.





Ware	Foto	Inv.	Korngrössen	Tonfarbe/-art	Anmerkungen
101		2002/13.50583.1	sehr klein: +	hellgrau bis schwarz	
102		2002/13.49354.1	sehr klein: ++ klein: +	hellgrau bis schwarz	
103		2002/13.50452.1	sehr klein: + klein: + mittel: ++	farblich heterogen	Sammelgruppe von feinkeramischen Proben mit relativ viel und grober Magerung.
200		1990/42.3826.1	Korngrössen und Mengen sind uneinheitlich	abrunder Farbwechsel, dadurch farblich heterogen; sehr kompakter Ton	Charakteristisch sind die grossen Poren, der hohe Klang, der abrunder Farbwechsel sowie der sehr kompakte Ton.
301		1990/42.3579.1	sehr klein: +	braun bis rotbraun	
302		1992/1.3035.1	sehr klein: + klein: + mittel: +	braun bis rotbraun	

Abb. 197a Die Korngrösseneinteilung ist unabhängig von derjenigen der Grobkeramik, da bei der Feinkeramik mit wenigen Ausnahmen alle Korngrössen < 1 mm liegen. Da die Magerung aufgrund ihrer Grösse vom blossen Auge her von Verf. nicht typologisch eingeordnet werden konnte, wurde bei der Gruppeneinteilung, anders als bei der Grobkeramik, vor allem auf Grösse und Menge geachtet.






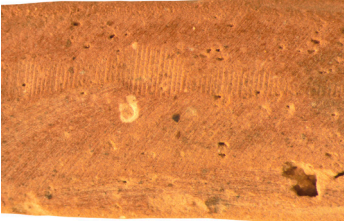
Ware	Foto	Inv.	Korngrößen	Tonfarbe/-art	Anmerkungen
400		2002/13.50688.1	Korngrößen- und Mengen sind uneinheitlich	beige	Charakteristisch ist die beige Farbe im Bruch.
401		1992/1.3990.1	Korngrößen- und Mengen sind uneinheitlich	farblich heterogen	Charakteristisch sind die sehr grossen, rotbraunen Einlagerungen (möglicherweise Schamotte).
501		1990/42.9368.4	sehr klein: +	rotbraun bis fast orange	
502		1990/42.8494.1	sehr klein: + klein: + mittel: +	rotbraun bis fast orange	
600		1990/42.5877.3	Korngrößen- und Mengen sind uneinheitlich	braun-gräulich	Charakteristisch ist die braun-gräuliche Tonfarbe, welche wahrscheinlich durch sekundäre Verbrennung entstand.
700		2002/13.34574.1	Korngrößen- und Mengen sind uneinheitlich; enthält Kalk	orange-rötlich	Charakteristisch ist die Kalkmagerung.

Abb. 197b Die Korngrösseneinteilung ist unabhängig von derjenigen der Grobkeramik, da bei der Feinkeramik mit wenigen Ausnahmen alle Korngrößen < 1 mm liegen. Da die Magerung aufgrund ihrer Grösse vom blossen Auge her von Verf. nicht typologisch eingeordnet werden konnte, wurde bei der Gruppeneinteilung, anders als bei der Grobkeramik, vor allem auf Grösse und Menge geachtet.

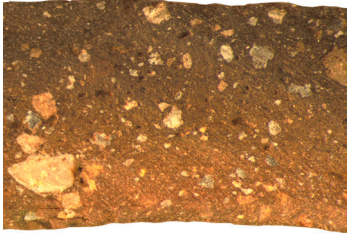
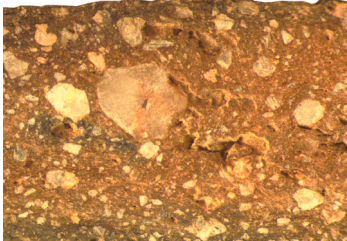
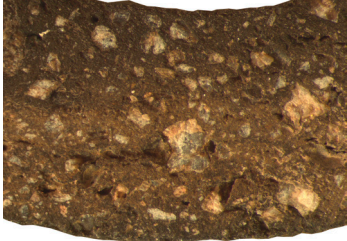

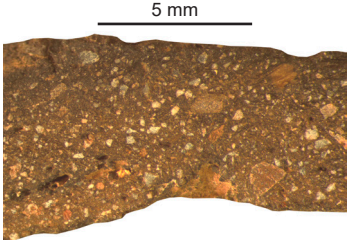
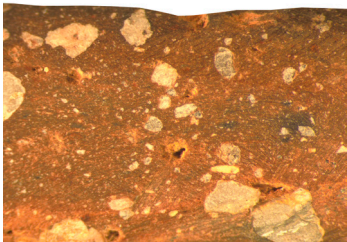
Ware	Foto	Inv.	Magerungsart	Korngrößen	Tonfarbe/-art	Anmerkungen
1.1		1992/1.3397.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material; homogen	klein: +++ mittel: +++ gross: + sehr gross: -	braun-rötlich bis schwarz	Unterscheidung der Untergruppen 1.1 bis 1.3 aufgrund zunehmender Korngrösse.
1.2		1990/42.7853.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material; heterogen	klein: +++ mittel: +++ gross: ++ sehr gross: +	braun-rötlich bis schwarz	Unterscheidung der Untergruppen 1.1 bis 1.3 aufgrund zunehmender Korngrösse.
1.3		1992/1.3260.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material; heterogen	klein: ++ mittel: ++ gross: ++ sehr gross: ++	dunkelgrau bis schwarz	Unterscheidung der Untergruppen 1.1 bis 1.3 aufgrund zunehmender Korngrösse.
2		2002/13.49650.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material; homogen	klein: +++ mittel: +++ gross: ++ sehr gross: - bis +	orange bis rötlich; Oberfläche oxidierend gebrannt	Charakteristisch ist nebst der Magerungsart der oxidierende Brand.
4		1975-A.5410.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material, Fein- und Mittelsand; homogen	klein: +++ mittel: ++ gross: -	dunkelgrau-schwarz und/oder dunkelbraun-rötlich; sandiger Lehm	Charakteristisch ist nebst der Magerungsart die dunkle Tonfarbe.
5		1975-A.5413.1	Quarz, Feldspat, zerstossenes granitisches Material, Fein- und Mittelsand, schwarz umrandete Poren; heterogen	klein: ++ mittel: ++ gross: + sehr gross: - bis +	braun-rötlich, dunkelbraun, beige-rosa	Charakteristisch ist nebst der Magerungsart die Tonfarbe sowie die schwarz umrandeten Poren.

Abb. 198a Zusammenstellung der Gruppen der Grobkeramik. Die Korngrösseneinteilungen «klein» (ca. < 1 mm), «mittel» (ca. 1 bis < 2 mm), «gross» (ca. 2–4 mm) und «sehr gross» (ca. > 4 mm) wurden von der Verf. festgelegt. Sie wurden nicht bei jeder Scherbe nachgemessen, sondern meistens vom Auge her eingeschätzt. Die Mengenangaben der Magerung reichen von - (vereinzelt) bis zu +++ (sehr häufig).

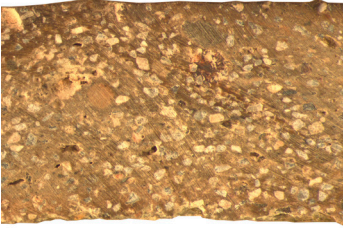
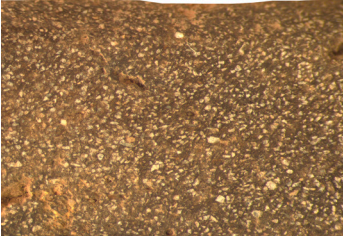


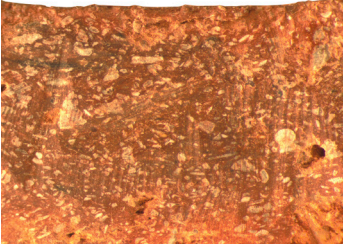

Ware	Foto	Inv.	Magerungsart	Korngrößen	Tonfarbe/-art	Anmerkungen
6.1		1990/42.8078.1	Quarz, Feldspat, Kalk; homogen	klein: +++ mittel: -	schwarz, dunkelgrau, braungrau, selten leicht rötlich; niedriger Tongehalt, sandig	Charakteristisch ist eine kalkhaltige, vergleichsweise feine Magerung von homogener Zusammensetzung.
6.2		1990/42.9372.1	Quarz, Feldspat; homogen	klein: +++ mittel: -	schwarz, dunkelgrau, braungrau, selten leicht rötlich; niedriger Tongehalt, sandig	Charakteristisch ist die vergleichsweise feine Magerung, die im Unterschied zu Ware 6.1 nicht kalkhaltig ist.
7.1		1990/42.2567.1	Kalk; heterogen	klein: ++ mittel: ++ gross: ++ sehr gross: ++	hellrötlich bis rotbraun, schwarz	Charakteristisch ist die grobe, kalkhaltige Magerung.
7.2		2002/13.34554.1	Fossilmagerung; homogen	klein: +++ mittel: - gross: -	hellrötlich bis rotbraun, schwarz	Charakteristisch ist eine gegenüber den anderen fossilhaltigen Waren feine Magerung.
7.3		2002/13.34609.1	Kalk, wenige Fossilien; homogen	klein: +++ mittel: - gross: -	rotbraun, eventuell oxidierend gebrannt	Einzelgefäss mit einer auffälligen, rotbraunen Farbe.
7.4		1996/1.8484.1	Fossilmagerung; homogen	klein: + mittel: +	hellrötlich bis rotbraun, schwarz	Charakteristisch ist der geringe Anteil an Magerung.

Abb. 198b Zusammenstellung der Gruppen der Grobkeramik. Die Korngrösseneinteilungen «klein» (ca. < 1 mm), «mittel» (ca. 1 bis < 2 mm), «gross» (ca. 2–4 mm) und «sehr gross» (ca. > 4 mm) wurden von der Verf. festgelegt. Sie wurden nicht bei jeder Scherbe nachgemessen, sondern meistens vom Auge her eingeschätzt. Die Mengenangaben der Magerung reichen von - (vereinzelt) bis zu +++ (sehr häufig).

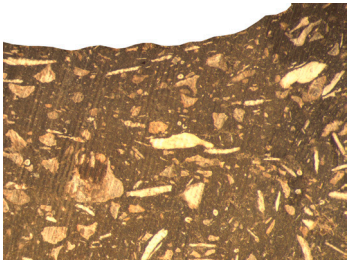
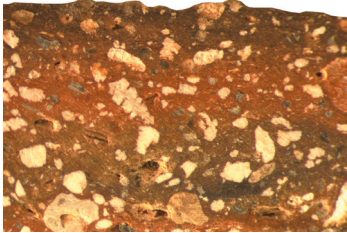

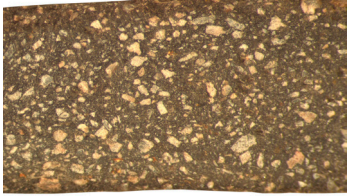

Ware	Foto	Inv.	Magerungsart	Korngrössen	Tonfarbe/-art	Anmerkungen
7.5		1992/1.151.1	Fossilmagerung; heterogen	klein: + mittel: ++ gross: ++	hellrötlich bis rot- braun, schwarz	Im Vergleich zu den restlichen fos- silhaltigen Waren wenig, dafür aber eher grobe Magerung.
7.6		1990/42.8959.1	Fossilmagerung; homogen	klein: +++ mittel: +++ gross: -	hellrötlich bis rot- braun, schwarz	Charakteristisch sind die vielen mittleren sowie gut sichtbaren klei- nen, ca. 1 mm grossen Mager- ungskörner.
8		1990/42.3804.1	Muskovitmagerung; heterogen	klein: + mittel: + gross: +++ sehr gross: +++	schwarz bis dun- kelgrau, selten braun-rötlich	Charakteristisch ist die sehr grobe, scharfkantige Magerung aus Gra- nit und Muskovit (Glimmer).
9	 5 mm	2004/37.6826.1	Feldspat, Mittel- sand; homogen	klein: +++ mittel: +++ gross: -	dunkelgrau	Zu dieser Ware gehören lediglich zwei Gefässe, die sich bezüglich der Magerung aus weissen Feld- späten der Mittelsandfraktion so- wie der Tonfarbe sehr ähnlich sind.
10		1990/42.9803.1	Quarz, Feldspat, teilweise schwarz umrandete Poren, teilweise Schamot- te; homogen	klein: +++ mittel: + gross: -	schwarz, grau, dunkelbraun	Charakteristisch sind der sehr kompakte Ton sowie die Korngrös- senverteilung.

Abb. 198c Zusammenstellung der Gruppen der Grobkeramik. Die Korngrösseneinteilungen «klein» (ca. < 1 mm), «mittel» (ca. 1 bis < 2 mm), «gross» (ca. 2–4 mm) und «sehr gross» (ca. > 4 mm) wurden von der Verf. festgelegt. Sie wurden nicht bei jeder Scherbe nachgemessen, sondern meistens vom Auge her eingeschätzt. Die Mengenangaben der Magerung reichen von - (vereinzelt) bis zu +++ (sehr häufig).