

CHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON ARCHÄOLOGISCHEN KERAMIKARTEFAKTEN AUS RHEINLAND-PFALZ

Einleitung	595	Diskriminanz der Keramikgruppen mittels der ternären Darstellung (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)	640
Problematik und Methodisches	596	Das binäre Darstellungsdiagramm Cr-Zr	648
Analytisches	599	Zuordnung der Produkte der Keramikgruppen	655
Diskussion der Ergebnisse	600	Schlußfolgerungen	663
Diskussion der Einzelgruppen	604	Literaturverzeichnis	664
Binäre und ternäre Korrelationen der Keramikgruppen	634		

Eine wichtige materielle Gruppe historischer Objekte, die für archäometrische Untersuchungen besonders gut prädestiniert sind, bilden die tonkeramischen Produkte (vgl. Kritsotakis 1998). Da Keramikprodukte, auch die historischen, aus chemisch und thermisch weitgehend resistenten Mineralphasen bestehen, wird allgemein angenommen, daß ihre chemische und mineralische Ausgangszusammensetzung unter normalen physikalisch-chemischen Bodenlagerungsbedingungen im Laufe der Zeit nur geringfügig verändert werden kann.

Wegen dieser scheinbar quasi »Konservierung« der chemischen und mineralischen Zusammensetzung gelten historische Keramikprodukte allgemein als besonders gute Informationsträger für archäometrische Untersuchungen. So kann die chemische Zusammensetzung der Keramikprodukte als weitgehend repräsentativ für den Chemismus des für die Herstellung eingesetzten tonigen Rohstoffes betrachtet werden, während aus deren mineralischer Phasenzusammensetzung Informationen über die Brenntemperatur und die Brenntechnik erhalten werden können (Wilson 1978).

Der Haupt- und Spurenelementchemismus der für die Keramikherstellung verwendeten Tone und Kaoline wird als »*streng regionalspezifisch*« angenommen und per se als charakteristisch für den Produktionsraum einer Keramikgruppe definiert (fingerprint-Theorie?).

Obwohl diese allgemeine Ansicht geochemisch nur bedingt zutrifft, sind durch die Erfassung und die exakte Quantifizierung der chemischen Zusammensetzung von historischen Keramikartefakten deren Gruppierung und Zuordnung zu bestimmten regionalen Besiedlungsräumen unter gewissen Voraussetzungen möglich.

So wird die Summe aller mineralogischen und chemischen Merkmale einer Keramikgruppe als ortsspezifisch oder sogar als charakteristisch für einen ganzen Besiedlungsraum angesehen (Matson 1951; Millet et al. 1966; Peacock 1971; De Buin et al. 1976; Maggetti 1986).

Mit Hilfe der chemischen Pauschalzusammensetzung können »gruppenfremde« Scherben aus der Gruppe diskriminiert werden. Außerdem ist es möglich, Rückschlüsse über die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Rohstoffe zu ziehen, was unter Umständen zur Lokalisierung der abgebauten Paleolagerstätten führen kann.

Röntgendiffraktometrische, durchlicht-, auflicht- und rasterelektronenmikroskopische (in Verbindung mit EDS oder WDS) Untersuchungen an Keramikproben liefern qualitative und quantitative Informa-

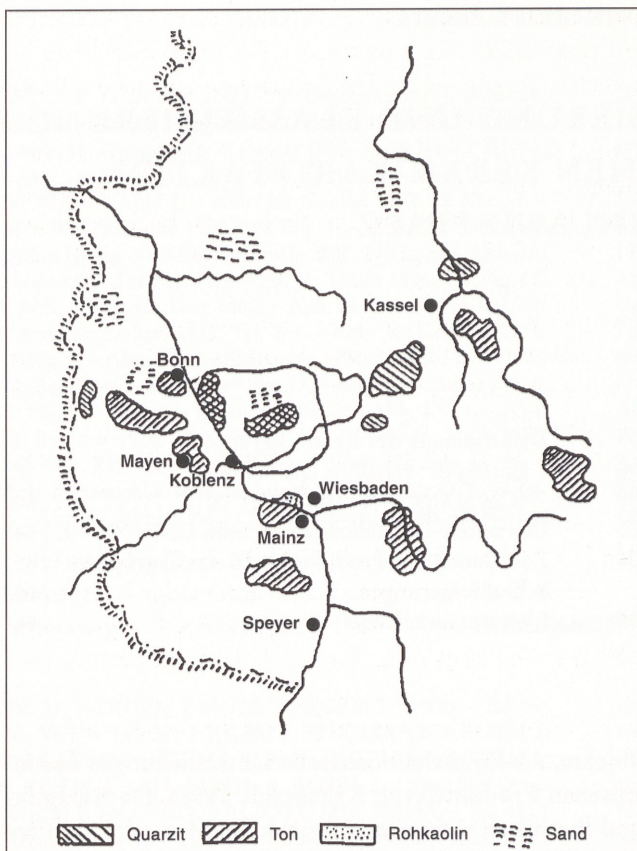


Abb. 1 Das Verbreitungsgebiet feuerfester Rohstoffe in Westdeutschland (nach R. Schicht [1967], ergänzt um die ungefähre Lage von Mayen, Mainz, Speyer).

Handelswege rekonstruiert und, auf Grund der Phänomenologie und der stofflichen Qualität der Ware, die soziopolitischen und kulturellen Strukturen eines Siedlungsraumes und damit eines historischen Zeitabschnittes besser verstanden werden.

Problematik und Methodisches

Bei der archäologischen Erforschung der kulturhistorischen Entwicklung Zentraleuropas nimmt das Land Rheinland-Pfalz, und hier insbesondere der Raum des Städtedreiecks Mainz - Speyer - Mayen, eine besonders exponierte Stellung ein. Die kulturhistorische und ethnologische Entwicklung dieser Region wird durch die prärömische und römische Periode sowie durch das Mittelalter besonders geprägt. Diese historisch bedeutsame Region von Rheinland-Pfalz mit dem Städtedreieck Mayen - Mainz - Speyer gilt als eines der wichtigsten Keramik-Produktionszentren Zentraleuropas. Innerhalb dieses Besiedlungsraumes entwickelte sich bereits in der frühromischen Zeit (1.-2. Jh. n. Chr.) eine Art »Industrie für feuerfeste Produkte« (Keramik, Ziegel), welche ihre Bedeutung bis zum späten Mittelalter behielt. Der Grund für die Ausbreitung der historischen Keramikproduktion im Bereich des Mittelhaines wird deutlich, wenn man die Verbreitung wichtiger Kaolinlagerstätten in Westdeutschland betrachtet (Abb. 1). Es ist zu erkennen, daß sich ein linksrheinischer Gürtel von relativ großen Kaolinvorkommen von der Pfalz über Mainz, Eifel und Bonn bis Frechen hin erstreckt. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind

tionen über die Textur und die Struktur sowie über die koexistierenden (stabile/metastabile) Mineralassoziationen der Proben. Diese Informationen in Verbindung mit Ergebnissen, die mittels der thermisch-physikalischen Methoden Differential-Thermoanalyse (DTA), Differential-Thermogravimetrie (DTG) und der Differential-Scanning-Kalorimetrie (DSC) gewonnen werden, ermöglichen schließlich eine integrierende materialstoffliche Charakterisierung von historischen Artefakten.

So sind in der Regel Aussagen über die chemische und mineralogische Zusammensetzung der verwendeten Tone, über die Art, die Menge und die thermische Wirkung der Magerung, über die erreichten Brenntemperaturen sowie über den Brenn- und Herstellungsprozeß ohne weiteres möglich (Schneider und Hoffmann 1976; Wilson 1978; Maggetti 1980; Kritsotakis, 1987, 1993, 1995).

Durch die Synthese der archäometrischen Daten mit den archäologischen Vorgaben lassen sich Keramikprovinzen relativ zuverlässig eingrenzen und innerhalb dieser mögliche Produktionszentren spezifizieren (Morel and Picon 1994). Es können daraus historische

hier die Tonvorkommen innerhalb der Niederrheinischen Bucht (Brüen-Kaldenkirchen) sowie die Tone im Raume Bonn (Witterschlick, Röttgen, Adendorf, Frechen, Antweiler). Die Tonvorkommen im Bonner Raum verteilen sich sowohl links- wie auch rechtsrheinisch. Bei den rechtsrheinischen Tönen handelt es sich vorwiegend um tertiäre, recht reine, graue bis graublaue Tone von hoher Plastizität.

Bedeutende Tonlagerstätten treten auch am Ostabfall der Eifel auf, und zwar überall da, wo die devonischen Gesteine über weite Flächen hin von Ergußgesteinen, ihren Tuffen sowie von Tonen und Sanden tertiären Alters bedeckt sind. Diese Ablagerungen liegen vorwiegend im Neuwieder Becken. Neben zahlreichen Tongruben bei Burgbrohl gibt es weitere große Tonlager bei Rübenach, Kärlich und Kettig. Auch in der Zentraleifel sind nördlich und nordöstlich von Mayen relativ große Tonlager bekannt, die durch die Verwitterung tertiärer vulkanischer Aschen entstanden sind und heute als Rohstoffe für die Steinzeugindustrie Verwendung finden. Hier liegt unter einer Abraumschicht von etwa 2-3 m Dicke ein gelber Ton von 3-4 m Mächtigkeit und darunter eine gleichmäßige und ungestörte graue Tonschicht vor. Zu erwähnen ist ferner ein großes Tonvorkommen nördlich von Trier bei Speicher an der Kyll.

Die größten Tonlagerstätten von Rheinland-Pfalz kommen in der Pfalz, und zwar in dem Raum innerhalb des Städtedreiecks Hettenleidenheim - Eisenberg - Ebersheim vor. Es handelt sich dabei um auf Bundsandstein liegende, bis zu ca. 70 m dicke Tonschichten. Die Tone sind teils fett teils feinsandig und liegen unter einer Abraumschicht von Klebsanden (15-28 m mächtig, 85-90% SiO_2 , 7-10% Tonanteile). Auch bei Göllheim und Lautersheim liegen relativ große Tonvorkommen vor. Während der Lautersheimer Ton weiß und fein ist, sind die Tone von Hettenleidenheim - Eisenberg gelbgrün, blaugrau oder braungrau gefärbt und unter der Bezeichnung »Pfälzer-Ton« bekannt. Ausgedehnte Tonlager kommen auch im Gebiet von Mainz und Wiesbaden vor.

Von den rechtsrheinischen Tonvorkommen sind hier die mächtigen Tonlagerstätten des Westerwaldes zu erwähnen. Das wichtigste Tonrevier liegt im Südwesten des Westerwaldes und hier vor allem im Gebiet von Krug- und Kannenbäckerland, dessen Tonvorkommen sich bis auf die linke Seite des Rheines im Raume Kärlich bei Koblenz erstrecken. Das Kärlicher Tonvorkommen liegt am Rande des Neuwieder Beckens und besteht hauptsächlich aus einem 6 m mächtigen und keramisch hochwertigen Blauton.

Zählt man zu den rheinischen und Westerwälder Tonlagerstätten auch die Tonvorkommen der Pfalz hinzu, so kann behauptet werden, daß der rheinische Raum das Zentrum der Tonproduktion in Deutschland ist; etwa 60% des Tonbedarfs in Deutschland stammen aus den Lagerstätten dieser Region.

Dieser Besiedlungsraum bot deshalb schon in historischen Zeiten fast optimale Bedingungen (Rohstoffe, Brennmaterial) für die Ansiedlung keramischer Werkstätten. Durch die Besetzung und Besiedlung des linksrheinischen Raumes durch die Römer wuchs der Bedarf nach tonkeramischen Erzeugnissen (Baumaterial, Gebrauchsgegenstände). Um die steigende Nachfrage schnell befriedigen zu können, begann offensichtlich eine »vor Ort-Keramikproduktion« unter Ausnutzung der lokalen tonigen Rohstoffe. Dazu trugen die technologischen Kenntnisse der Römer über die Keramikproduktion für die Herstellung qualitativ hochwertiger keramischer Objekte erheblich bei.

In der mittelhheinischen Region wird der Mayener Raum (Zentraleifel) archäologisch als eines der bedeutendsten historischen Keramik-Produktionszentren angesehen. Keramikfunde »Mayener Abstammung« in Lokaltäten innerhalb und außerhalb dieser Region deuten auf eine starke Exportaktivität dieser Keramikwerkstätten hin.

Diese archäologisch fundierte Feststellung basiert vorwiegend auf vergleichenden phänomenologischen Untersuchungen von Keramikfunden aus verschiedenen Lokaltäten. Es ergab sich nun die Frage, inwieweit diese Meinung auch mittels materialstofflicher Kriterien belegbar ist.

In einer früheren Arbeit (Kritsotakis 1986) konnte mit Hilfe mineralogisch-geochemischer Untersuchungen gezeigt werden, daß Keramikfunde aus den Lokaltäten Mayen-Ofen (rauhwandige Keramik) und Rheinzabern (Terra sigillata) in sich konsistente und chemisch gut voneinander trennbare Keramikgruppen darstellen.

Im Rahmen dieser Arbeit, welche die Weiterführung eines im Römisch-Germanischen Zentralmuseum langfristig angelegten Forschungsvorhabens ist und die Verbreitung der Mayener Keramik in Rheinland-Pfalz zum Schwerpunkt hat, wurde archäologisch gut sortiertes und datiertes Keramikmaterial »Maye-

Gruppenbezeichnung	Scherbenzahl	Jahrhundert
Ahrweiler	15	4.
Altrip	31	4./5.
Altrip (Terra nigra)	40	4./5.
Alzey	35	4./5.
Breisach	35	4./5.
Eisenberg (KIB Burgus)	15	4./5.
Lahnstein	37	4./5.
Mayen-Eich	31	4./5.
Mayen-Ofen	63	6./7.
Mertloch	88	6-12.
Rheinzabern	33	3./4.
Speyer-Domhügel (1. Lieferung)	11	4./5.
Speyer-Domhügel (2. Lieferung)	17	7.
Speyer-Vogelgesang (1. Lieferung)	26	6./7.
Speyer-Vogelgesang (2. Lieferung)	16	7
Speyer-Vogelgesang (3. Lieferung)	72	8./12.
Speyer-Keller (Terra Nigra)	10	2./3.
Speyer St.-Klara	14	12.
Thür (Frauenkirch)	15	4./5.
Weissenthurm	32	2./3.
Zullestein	27	4./5.

Tab. 1 Daten der untersuchten Keramikgruppen aus Rheinland-Pfalz.

ten Keramikprodukte in Gruppen zusammenzufassen, die übergreifenden Gruppenbeziehungen zu bestimmen und in letzter Konsequenz, die daraus resultierenden historischen Deutungsmöglichkeiten zu diskutieren.

Die chemisch-analytische Erfassung der Elementkonzentrationen historischer Keramikfunde erlaubt in der Regel, auf Grund des unterschiedlichen Elementkonzentrationsmusters einiger geochemisch immobilisierender Elemente, ihre Zuordnung in Scherbenassoziationen. Solche Assoziationen können für ein Keramikzentrum räumlich wie auch zeitlich charakteristisch sein und werden deshalb als Keramik-Referenzgruppen der betreffenden Keramikprovinz betrachtet (Schneider und Hoffman 1976; Maggetti 1986; Kritsotakis 1986). Die geochemisch-mineralogischen Merkmale solcher Referenz-Keramikgruppen gelten als weitgehend regionalspezifische Referenzdaten, werden deshalb zu Vergleichszwecken sowohl als Bezugs- als auch als Normierungskenngrößen eingesetzt.

Als Referenz-Keramikgruppen eignen sich erfahrungsgemäß nur solche Scherbenassoziationen, die aus archäologisch einwandfrei identifizierten und dokumentierten Keramikherstellungsregionen stammen. Referenz-Keramikgruppen bestehen aus Scherbenassoziationen mit relativ homogenem Haupt- und Spurenelementchemismus, bilden deshalb in binären, ternären und quaternären Elementkorrelationsplots weitgehend geschlossene Clusterungsbereiche, die als Referenzbereiche der jeweiligen Keramikgruppe definiert werden können. Keramikartefakte unbekannter Abstammung lassen sich durch Projektion der entsprechenden Elementkorrelationsplots in der Regel mit guter »Treffsicherheit« einer der bekannten Referenz-Keramikgruppen zuordnen und dadurch deren Herstellungsregion dokumentieren (Kritsotakis 1986, 1994, 1998; Schneider 1978; Wilson 1978). Wichtige Voraussetzung für eine statistisch gesicherte Zuordnung von Keramikartefakten mit Hilfe von Referenz-Keramikgruppen ist die Aufstellung einer ausreichenden Anzahl von archäologisch und geochemisch gut gesicherten Referenzfeldern in Form von chemographischen Elementplots für die verschiedenen Keramikherstellungs-Regionen (Provinzen).

Um Herkunftsregionen (Provenienz) von Keramikartefakten einigermaßen zuverlässig definieren zu können, ist die vergleichende Einbeziehung solcher Referenz-Keramikfelder notwendig.

Keramikprodukte, und besonders die historischen, können, wie alle bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, sowohl mineralogisch als auch chemisch unterschiedlich stark inhomogen sein. Zusätzlich zu

ner Art« chemisch und mineralogisch untersucht. Das Untersuchungsmaterial umfaßte insgesamt 21 Keramikgruppen, die aus verschiedenen Fundlokalitäten des Landes Rheinland-Pfalz stammen und verschiedene historische Zeitabschnitte (2.-12. Jh.) repräsentieren.

In der Tabelle 1 sind die Fundlokalität, die analysierte Scherbenzahl sowie das Zeitalter der untersuchten Keramikgruppen zusammengefaßt.

Die Keramikgruppen Mayen-Ofen und Mertloch wurden uns von Herrn Dr. H.-G. Kohnke und die Keramikgruppen Weissenthurm und Zullestein von Herrn Dr. Böhme zu Verfügung gestellt; die restlichen Keramikgruppen von Herrn Dr. H. Bernhard, Landesamt für Denkmalpflege, Außenstelle Speyer.

Ziel der Untersuchung war es, anhand der ermittelten stoffspezifischen und herstellungstechnischen Merkmale, die vorgeleg-

dieser natürlichen Materialinhomogenität überlagert sich die mehr oder weniger inhomogene Beprobung (Lokalität, Alter) des Scherbenmaterials. Ursachen für die mineralogische und chemische Inhomogenität der keramischen Scherben sind sowohl die natürlichen geochemischen und mineralischen Inhomogenitäten innerhalb der Kaolin- und Tonlagerstätten als auch die nicht standardisierten historischen Produktionsverfahren (magere oder fette Tone, Art, Menge und Reinheit der nicht plastischen Zuschlagsstoffe usw.). Das Zusammenwirken dieser Heterogenitätsparameter kann inkonsistente analytische Ergebnisse liefern, die, auch bei Betrachtung der Daten mittels multivarianter statistischer Methoden, zu archäologisch inadäquaten Klassifikationen und nicht eindeutig interpretierbaren Resultaten führen können.

Chemische und mineralogische Inhomogenitäten können jedoch auf ein Minimum reduziert werden wenn,

1. eine große Anzahl von archäologisch gut definierten Scherben (wenigstens 30) untersucht wird,
2. wenn wenigstens 5 g Material aus verschiedenen Stellen einer Scherbe entnommen werden und nach guter Homogenisierung des Pulvermaterials jeweils 0.2 g Aliquote der Probe 2x-3x analysiert werden und,
3. wenn so viele chemische Elemente wie möglich (mehr als 15) mit sehr guter Genauigkeit analytisch quantifiziert werden.

Durch die mehrfache Analyse der Probe werden die chemischen Inhomogenitäten in der Scherbe minimiert und analytische Fehler (zufällige und systematische) erkannt, während durch die Untersuchung einer großen Zahl von Scherben die Streuung innerhalb der Gruppe eingegrenzt wird. Schließlich werden durch die genaue Erfassung einer großen Anzahl von chemischen Elementen die Clusterungstendenz bzw. die Diskriminierungssignifikanz erhöht.

Die nach diesem Schema gewonnenen analytischen Daten liefern mit Hilfe binärer und ternärer Elementkorrelationen, die auf Grund geochemischer Kriterien angewandt werden, erstaunlich gute Gruppierungsergebnisse (Kritsotakis 1986, 1995, 1998; Schneider 1991).

Analytisches

Probenvorbereitung

Aus jeder Lokalität stand uns ein ausreichender Probenquerschnitt zu Verfügung, so daß die analytischen Ergebnisse als weitgehend repräsentativ für die übergeordnete archäologische Gruppe betrachtet werden können. Die Scherben wurden mit einem etwas aufwendigen Präparationsverfahren für die analytischen Untersuchungen vorbereitet. Zunächst erfolgte eine sorgfältige Säuberung mit einer Kunststoffbürste (Zahnbürste), und lose haftende Partikel wurden mit Preßluft abgeblasen. Das Analysenmaterial wurde durch Abbrechen verschiedener Scherbenstellen mit einer Edelstahlzange gesammelt und dann in einer Retsch-Mühle mit Achateinsatz bis auf eine Korngröße von ca. $\pm 60\mu$ gemahlen, in PVC-Flaschen abgefüllt und mit Hilfe einer Schütteleinrichtung für ca. 4 Stunden homogenisiert.

Obwohl uns nicht für sämtliche zu untersuchenden archäologischen Gruppen 30 Scherben zu Verfügung standen, konnten wir aus allen Scherben der vorgelegten Keramikgruppen genug Material (5g-10g) für die Analyse gewinnen.

Jeweils 1-2g des analysenfein pulverisierten Materials wurden in einem flachen Porzellantiegel bis auf vier Nachkommastellen genau eingewogen und in einem Ofen bei 950° C für fünf Stunden unter Raumtemperaturatmosphäre geglüht, um durch Dehydratation, Dehydroxylierung, Decarbonatisierung und Oxidation Gewichtskonstanz zu erreichen. Die noch etwa 300° C warmen Proben wurden in einem Exicator gestellt und bis auf Raumtemperatur abgekühlt.

Der Glüh-Gewichtsverlust (L.O.I: Loss on Ignission) der Proben in Gew.-% wurde durch erneute Probeeinwaage ermittelt und die Daten zusammen mit den chemischen Analysedaten als LOI-Werte in Gew.-% zusammengefaßt.

Der LOI-Wert ist ein Maß für den Gehalt der Proben an leichtflüchtigen Bestandteilen. Deshalb kann die thermische Vorbehandlung der Proben über längere Zeit und bei hoher Temperatur zu erheblichen Verlusten auch an leichtflüchtigen Elementen, wie z.B. K, Na, Fe, Hg, Tl, Se, As, Sb u.a. führen, was zu berücksichtigen ist, wenn diese Elemente in den geglühten Proben mitbestimmt werden sollen. Um dadurch verursachte Fehlbestimmungen zu vermeiden sollte die chemische Analyse möglichst an ungeglühtem Material durchgeführt werden und die Ergebnisse, wenn erforderlich, auf die geglühte Probe umgerechnet werden.

Für die chemische Analyse wurde ungeglühtes Probenmaterial verwendet.

Chemische Analyse

Jeweils 2 x 0,1-0,15 g des ungeglühten und homogenisierten Pulvermaterials der Scherben wurden direkt in dem Tefloneinsatz eines Druckaufschlußbehälters bis auf vier Nachkommastellen genau eingewogen, 15 ml einer Säuremischung, bestehend aus 10 Teilen konz. Flußsäure (40% HF p. a.) und 5 Teilen Salpetersäure (65% HNO₃ p. a.) hinzugefügt, und die Tefloneinsätze in dem Aufschlußbehälter verschlossen. Die Druckbehälter wurden in einen Trockenschrank gestellt und die Proben bei 160° C in sechs Stunden aufgeschlossen. Nach der Abkühlung der Aufschlußbehälter auf Raumtemperatur wurden diese geöffnet und die Lösungen in den Tefloneinsätzen isotherm bei 130° C abgeraucht, der Rückstand mit 10 ml 2n HNO₃ aufgenommen und mit der gleichen Säure auf 20 ml Endlösungsvolumen verdünnt. Der Verdünnungsfaktor der Lösungen lag zwischen 130x-200x.

Diese Lösungen wurden mit einem simultan-sequentiell messenden ICP-OES (ARL) auf 21 Elemente (Haupt- und Spurenelemente) analysiert, jede Lösung wurde dabei mit einer Meßintegrationszeit von 10 sec 5x gemessen. Daraus ergaben sich der Konzentrationsmittelwert, die Standard- und die Relative Standardabweichung. Die instrumentelle Meßpräzision (Relative Standardabweichung), die elementabhängig ist, betrug im ppm-Konzentrationsbereich für die hier gemessenen Elemente und bei den eingestellten Meßbedingungen zwischen 0.5%-2.0%. Mögliche instrumentelle Drifteffekte und die Meßgenauigkeit sind durch die Messung von jeweils einer synthetischen Multielement-Standardlösung sowie einer Aufschlußlösung eines internationalen Referenz-Gesteinsstandards (Granit MA-N, 976) nach jeder fünften Probelösung erfaßt und, wenn erforderlich, rechnerisch korrigiert. Die Rekalibrierung des Gerätes erfolgte, sobald die Drift mehr als 2% betrug, oder alle drei Betriebsstunden. Spektrale Interferenzen wurden durch additive Korrekturalgorithmen rechnerisch korrigiert.

Die Elementkonzentrationen in den Lösungen wurden aus den untergrund-, drift- und interferenzkorrigierten Meßintensitäten mit Hilfe gespeicherter Mehrsequenz-Eichkurvenpolynome bestimmt.

Das Meßprinzip, die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der ICP-OES sind in einer früheren Arbeit (Kritsotakis 1986) ausreichend diskutiert worden.

Diskussion der Ergebnisse

Die chemische Charakterisierung der Scherben der archäologisch definierten Keramikgruppen erfolgte durch die quantitative Erfassung der Konzentrationen der Hauptelemente Si, Al, Fe, Ti, Mn, Mg, Ca, K, Na und P sowie der Spurenelemente Sr, Zn, V, Cr, Cu, Ni, Be, Co, Zr, Ba und Li.

Wie in der Geochemie üblich, sind die Konzentrationen der Hauptelemente in Gewichtsprozent (Gew.-%) der Elementoxide SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO, MgO, CaO, K₂O, Na₂O und P₂O₅ angegeben, während die Konzentrationsangabe der Spurenelemente in der ppm-Einheit (≈ mg/kg) erfolgt.

Bei korrekter chemischer Analyse einer Probe liefert die Summe aus den Gewichtsprozenten der Hauptelementoxide (Σ HE Gew.-%), der Spurenelemente ($10^{-4} \Sigma$ SE ppm) sowie des L.O.I. Gew.-%-Wertes einen Wert größer als 98 Gew.-%, es gilt also

$$(\Sigma \text{ HE Gew.-%}) + (10^{-4} \Sigma \text{ SE ppm}) + \text{L.O.I. Gew.-%} > 98\%.$$

Ist das nicht der Fall, so darf die Analyse nicht als repräsentativ für die Probe betrachtet werden.

Da die Tabellen mit den erfaßten Elementkonzentrationen der analysierten Scherben aller archäologischen Keramikgruppen umfangreich sind, wurden aus den Konzentrationsdaten der jeweiligen Keramikgruppe eine Reihe von signifikanten statistischen Daten berechnet.

Bei der Berechnung sind dabei alle Daten berücksichtigt, d. h. es wurden keine sogenannten »Ausreißer-Scherben« aus der Gruppe ausgeschlossen, da Ausreißertests (Dean and Dixon 1951) gezeigt haben, daß für die meisten Gruppen keine Scherbe mit einer 99%-igen ($P = 0.997$) Sicherheit als Ausreißer definiert werden kann. Lediglich in den Gruppen Mayen-Ofen, Rheinzabern, Altrip und Altrip Terra nigra wurde jeweils eine Scherbe als nicht gruppenzugehörig klassifiziert.

Die Tabellen mit den statistischen Kenngrößen der Keramikgruppen sind als Anlage beigefügt.

Bei den hier analysierten Keramikgruppen handelt es sich um Scherbenassoziationen, die archäologisch auf Grund der Fundlokalität sowie morphologisch-phänomenologischer Kriterien als Gruppen definiert wurden. Diese Vorselektion erleichtert zwar die Vorklassifizierung, bedeutet aber nicht a priori, daß alle Scherben der Gruppe stofflich konsistent und deshalb lokalitätsspezifisch sind.

Als weitgehend lokalitätsspezifisch erwiesen sich solche Scherbenassoziationen, die entweder aus Ofenfüllungen oder aus Lokalitäten mit bekannten Brennöfen stammen (Kritsotakis 1986). Von den untersuchten Keramikgruppen können die rauhwandigen Keramikprodukte aus Mayen-Ofen, Mayen-Eich sowie die Terra sigillata aus Rheinzabern als ortsspezifisch und damit auch als gesicherte Referenzgruppen angesehen werden (Kritsotakis 1986).

Im Rahmen dieser Diskussion soll zunächst mit Hilfe der chemischen Daten geprüft werden, inwieweit die untersuchten Scherben stofflich konsistente Keramikgruppen bilden, und ob weitgehend homogene Gruppenbereiche als lokalitätsspezifisch bzw. als Referenz-Keramikgruppen definiert werden können. Es soll ferner die Möglichkeit untersucht werden, ob »unbekannte« Scherben sich einer der festgelegten Referenzgruppen zuordnen lassen.

Chemographische Darstellung der Keramikgruppen

Die Homogenität der archäologischen Gruppen wurde durch binäre Plots der Häufigkeitsverteilungen der Elemente Ti (als TiO_2) und Zr sowie durch Gruppierung der Objekte (Scherben) mittels des taxonomischen Datenanalysenverfahrens der Cluster-Analyse getestet.

Für die binären Häufigkeits-Verteilungsplots (HVP) wurden die Konzentrationen der Komponente TiO_2 und des Spurenelementes Zr verwendet, da deren Minerale (Rutil, Anatas $\rightarrow \text{TiO}_2$; Zirkon $\rightarrow \text{Zr}[\text{SiO}_4]$) unter Oberflächenbedingungen (T, p, pH, Eh) äußerst stabil sind, und deshalb keinerlei Veränderungen in den Ausgangskonzentrationen dieser Elemente während der Bodenlagerung der Scherben zu erwarten sind. Aus diesem Grunde eignen sie sich für die Charakterisierung der Scherben besonders gut.

Binäre HVP entsprechen der zweidimensionalen Projektion der Werte der Häufigkeits-Verteilungsfunktion (normal oder lognormal) von zwei unabhängigen Variablen (Konz. TiO_2 , Konz. Zr) auf der Grundebene, wobei die Werte ($\mu \pm u\sigma$) [$\mu \rightarrow$ Mittelwert, $\sigma \rightarrow$ Standardabweichung, $\pm u$ eine positive, negative Zahl oder auch 0 ist] der zwei Zufallsvariablen die Koordinaten bilden. Die Mittelwerte μ_i und μ_j ($u=0$) der Variablen i und j definieren das Maximum, während die Koordinatenpunkte ($\mu-1\sigma$) und ($\mu+1\sigma$) jeweils die Wendepunkte W1 und W2 der Verteilungskurve entsprechen (Doerffel 1984, Kap. 3; Davis 1973; Koch and Link 1971).

Für die Charakterisierung der Keramikgruppen wurden die Werte $(\mu \pm u\sigma)\text{Zr}$ gegen die Werte $(\mu \pm u\sigma)\text{TiO}_2$ geplottet. Geht man vom Gauß'schen Integral

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-u\sigma}^{+u\sigma} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

(mit, $u = [c_i - \mu_i]/\sigma_i$; c_i = Konzentration des i -ten Elementes) aus und integriert in den Grenzen von $-u\sigma$ bis $+u\sigma$ ($u = \dots 2, 1, 0, -1, -2, \dots$), so erhält man eine Teilfläche f der Gesamtfläche $F = 1,000$ (100%). Diese Teilfläche definiert die Wahrscheinlichkeit f , mit der ein Meßwert (Scherbe) innerhalb des Wertintervalls $-u\sigma \dots +u\sigma$ zu erwarten ist (siehe Davis 1973, Seiten 83-88). Für die Wahrscheinlichkeit, daß ein Meßwert außerhalb des obigen Intervalls liegt, gilt dann $w = 1-f$. Die Teilfläche f wird auch in Prozent der Gesamtfläche angegeben und als statistische Sicherheit oder auch als Vertrauensbereich bezeichnet. Je größer das Integrationsintervall definiert wird, desto mehr Meßwerte liegen innerhalb und desto weniger außerhalb der definierten Grenze.

Gauß'sche Normalverteilung vorausgesetzt, liegen im Bereich $(-\sigma \dots +\sigma)$ 68,3% aller Meßwerte, rund 15% sind kleiner als $-\sigma$ und rund 15% größer als $+\sigma$. Innerhalb der Grenzen $(-1,96\sigma \dots +1,96\sigma)$ befinden sich 95% der Meßwerte, während jeweils 2,5% der Meßwerte unterhalb und oberhalb des Grenzbereiches liegen. Schließlich umfaßt das Intervall $(-3\sigma \dots +3\sigma)$ 99,73% aller Meßwerte, während die restlichen 0,27% außerhalb dieses Bereiches zu finden sind.

Äquivalente Beziehungen zwischen den Integrationsgrenzen und der Teilfläche f lassen sich auch für beliebige Verteilungen (Poissonsverteilung, t-Verteilung, F-Verteilung) angeben. In solchen Fällen befinden sich aber wesentlich weniger Meßwerte innerhalb der durch das Integrationsintervall festgelegten Fläche f .

Meßwertverteilungen bei HV-Plots bilden in der Regel mehr oder weniger gut ausgebildete elliptische Grundflächen, deren Mittelpunkt durch den Schnittpunkt der Mittelwerte bestimmt wird, während die Ellipsenachsen mittels $(\mu \pm u\sigma)$ festgelegt werden können. Die Lage der Ellipsen ist vom Korrelationsgrad der betrachteten Variablen abhängig.

Neben den HV-Plots wurde die Homogenität der vorgelegten Scherbenassoziationen auch mittels der Clusteranalyse untersucht.

Der Terminus *Clusteranalyse* umfaßt eine Reihe unterschiedlicher mathematisch-statistischer und heuristischer Verfahren, mit deren Hilfe eine meist umfangreiche Menge von Elementen (z.B. Scherben) durch Bildung von weitestgehend homogenen Klassen, Gruppen oder Cluster so optimal strukturiert wird, daß die entstehenden Elementassoziationen nur aus *ähnlichen* Elementen bestehen, während die Elemente verschiedener Assoziationen möglichst *unähnlich* sind.

Bei der Diskriminierung der Elemente wird dabei davon ausgegangen, daß ihre Ähnlichkeit untereinander quantifizierbar sei und sich somit durch reelle Zahlenwerte ausdrücken läßt. Diese Zahlenwerte bilden die Grundlage der Gruppierung, die ausschließlich nach strengen mathematisch-statistischen Kriterien und nicht etwa nach subjektiven oder sonstigen Kriterien erfolgt. Die Clusteranalyse erzeugt deshalb »objektive« Elementgruppierungen.

Aufgabe der clusteranalytischen Verfahren ist, generell betrachtet, die vereinfachende Darstellung der inneren Ähnlichkeitsstruktur einer vorgegebenen Menge von Elementen. Dabei wird das Prinzip der Informationsverdichtung so eingesetzt, daß aus einer Fülle von Einzeldaten wesentliche Strukturcharakteristika der Objektmengen erkennbar werden. Clusteranalysen haben deshalb die Datenstrukturierung als Ziel und nicht etwa die Quantifizierung diskreter Parameter einer Objektpopulation. Aus diesem Grunde kann man die Clusteranalyse als deskriptives statistisches Verfahren betrachten, obwohl die Datenorganisation auf einem etwas höherem Niveau erfolgt als die Berechnung normaler statistischer Kenngrößen.

Für die Berechnung der *Ähnlichkeit* oder *Unähnlichkeit* zwischen Elementen oder Elementgruppen verwendet die Clusteranalyse Ähnlichkeits- und Distanzfunktionen. Je nach Aufgabe können dabei bestimmte Merkmale hervorgehoben und andere vernachlässigt werden. Das Quantifizieren der Ähnlichkeit läßt sich formal als reellwertige Funktion definieren, wodurch je zwei Elementen $e_i, e_j \in E$ eine reelle Zahl s_{ij} zugeordnet wird, die dann als Ähnlichkeits- oder Distanzmaß dient.

Bei quantitativen Variablen (z.B. Elementkonzentrationen) ist eine der am häufigsten verwendeten Ähnlichkeitsdistanz die euklidische Distanz d_{ij} . Wird jedes Objekt einer aus n -Objekten bestehenden Objektgruppe durch insgesamt m Variable definiert, so ergibt sich eine Datenmatrix von (nm) -Daten. Der euklidische Distanzkoeffizient (Ähnlichkeitskoeffizient) für zwei Objekte i und j wird durch die Beziehung gegeben,

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}{m}}$$

wobei x_{ik} den Wert der k -ten Variablen im Objekt i und x_{jk} den Wert der gleichen Variablen im Objekt j bedeuten. Die Summation erfolgt dabei über alle gemessenen m -Variablen. Je kleiner die euklidische Distanz d_{ij} ist, um so größer ist der Ähnlichkeitsgrad der Objekte i und j . Dagegen wird die Unähnlichkeit (Dissimilarität) um so signifikanter je größer der d_{ij} -Wert wird.

Die Werte der (nm) -Datenmatrix werden vor der Berechnung der euklidischen Distanzen so standardisiert, daß jede der m -Variablen die gleiche Gewichtung erhält. Die Standardisierung der Daten erfolgt in der Regel durch z -Transformation, wodurch alle Daten auf den Mittelwert 0 und die Varianz 1 normiert werden. Objektgruppierungen mit jeweils unterschiedlichen Distanz- oder Ähnlichkeitsebenen können mit Hilfe sogenannter hierarchischer Verfahren erstellt und in einer Hierarchie von Clustern dargestellt werden. Die Clusterung erfolgt in der Regel durch agglomerative hierarchische Verfahren, indem die einzelnen Objekte sukzessiv zu Clustern und diese zu immer umfangreicheren Gruppen zusammengefaßt werden. Das Ergebnis der schrittweisen Agglomeration der Objekte einer Population besteht in der Anordnung der Cluster auf unterschiedlichen Distanz- oder Ähnlichkeitsebenen und kann graphisch veranschaulicht werden. Solche graphische Darstellungen werden als *Dendrogramme* bezeichnet.

Es existieren mehrere hierarchische agglomerative Verfahren, die als Clusterungsalgorithmen Verwendung finden (Späth, 1977). Von uns angewandt wird das sog. Ward's-Verfahren. Bei Zugrundelegung der quadrierten euklidischen Distanz als Ähnlichkeitsmaß führt dieses Verfahren, im Gegensatz zu den restlichen Clusterungsverfahren, nicht zu der sukzessiven Fusionierung der ähnlichsten Gruppen. Vielmehr wird hier versucht, eine möglichst homogene Gruppierung dadurch zu erreichen, daß schrittweise nur diejenigen Gruppen assoziiert werden, die zum geringsten Zuwachs eines »Homogenitätsmaßes« am stärksten beitragen. Als Homogenitätsmaß wird dabei das Varianzkriterium angewandt.

Bei diesem Verfahren besteht die Distanzmatrix nicht wie üblich aus den Distanzen der Objekte oder der Objektgruppen, sondern es gibt den Homogenitätszuwachs (Varianzzuwachs) bei jeder Vereinigung wieder. Dadurch werden bei jedem Agglomerationsschritt nur diejenigen Cluster vereinigt, welche das Varianzkriterium am wenigsten vergrößern. Obwohl dieses Clusterungsverfahren hauptsächlich zusammen mit der quadrierten euklidischen Distanz verwendet wird, läßt es sich auch mit anderen Distanzfunktionen (Tanimoto-Distanz, Mahalanobis-Distanz) anwenden.

Bei der Gruppierung der in dieser Arbeit untersuchten Scherbenassoziationen lieferte das Ward's-Verfahren in Verbindung mit der quadrierten euklidischen Distanz (Intervall-skalierte Variablen erforderlich) durchaus vernünftige Ergebnisse.

Voraussetzung für eine zuverlässige Clusterung historischer Keramikartefakte ist, daß die Anzahl n der zu gruppierenden Objekte mindestens gleich der Anzahl m der klassifizierenden Variablen ($n \geq m$) sein muß, gesicherte Informationen erhält man wenn $n \geq 2m$ ist.

Für die Clusterung der vorgelegten Scherbengruppen wurden als klassifizierende Variable die Konzen-

trationen der Elemente Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , Sr , Zn , V , Cr , Be , Zr , Ba , Li eingesetzt. Bei Scherbengruppen, die weniger als 15 Scherben (Anzahl der Objekte = 15) enthielten, wurde die Anzahl der Variablen an die maximale Scherbenzahl angepaßt. Die Elementkonzentrationen wurden vor der Berechnung der Ähnlichkeitsdistanz durch z-Transformation normiert.

Die HV-Plots und die Dendrogramme der untersuchten Keramikgruppen werden getrennt für die einzelnen Gruppen präsentiert und diskutiert.

Diskussion der Einzelgruppen

Mayen-Ofen-Keramikgruppe

Vom Töpfereizentrum Mayen standen uns insgesamt 63 Keramikscherben aus der Füllung eines frühmittelalterlichen Töpfereiofens sowie Scherben aus dessen Mauerung zur Verfügung.

Die statistischen Kenngrößen der analytischen Daten dieser Keramikgruppe sind zusammengefaßt in der Tabelle 1 des Anhangs angegeben.

Der Homogenitätsgrad der Scherbenassoziation aus Mayen-Ofen wird durch die darstellenden Punkte der einzelnen Scherben im TiO_2 -Zr-HV-Diagramm (HVD) dokumentiert. In der Abb. 2 fallen alle Scherben dieser Keramik innerhalb des Vertrauensbereiches von 100% ($f = F=1,000$). Wird aber der Vertrauensbereich auf 99,97% ($f = 0,9973$) reduziert (Abb. 2.1), so liegt der darstellende Punkt der Scherbe 4 außerhalb dieses Bereiches, was auf eine Nichtzugehörigkeit dieser Scherbe zu der Kern-Scherbengruppe hinweist.

Obwohl von den 63 Scherben der Mayen-Ofen-Keramik 62 Stücke sich im 99,73%-Vertrauensbereich akkumulieren (Abb. 2.1), ist deren Verteilung nicht homogen. Erkennbar sind zwei deutliche Gruppierungen, nämlich eine Kerngruppe im Bereich $(-1\sigma \dots +1,5\sigma)\text{TiO}_2 - (-1\sigma \dots +1,5\sigma)\text{Zr}$ und eine kleine Gruppe aus den Scherben 59, 60, 63, 56 und 57 sowie die Einzelscherben 62 und 34.

Die fünf Scherben der kleinen Gruppe stellen mit Sicherheit keine ortsfremden Produkte dar, da sie direkt aus der Ofenmauerung stammen. Ihre deutliche Diskriminierung von der Kerngruppe ist wahrscheinlich auf eine unterschiedliche Verarbeitung des tonigen Rohstoffes zurückzuführen. So konnte man sich vorstellen, daß die keramischen Produkte, aus welchen diese Scherben stammen, aus einem Ton hergestellt wurden, in dem der Anteil der nicht plastischen Schwerminerale Rutil, Zirkon absichtlich z.B. durch »Schlämmung« des Ausgangstons erniedrigt wurde, um dadurch die Plastizität und die Feuerfestigkeit des tonigen Materials zu erhöhen. Dafür spricht der relativ hohe Al_2O_3 -Gehalt ($\geq 19\%$). Die Scherben 62, 61, 58 und 55, die ebenfalls zu der Ofenmauerung gehören, koinzidieren nicht mit der kleinen Gruppe. Das ist möglicherweise ein weiterer Indiz dafür, daß für den Bau der Ofenmauerung Keramikbruchstücke unterschiedlicher Qualität verwendet wurden.

Der größte Teil der Scherben der Mayen-Ofen Keramik konzentriert sich innerhalb des $(-\sigma \text{ bis } +\sigma)$ -Signifikanzbereiches, was auf eine relativ homogene Scherbenassoziation hinweist. Bei genauer Betrachtung sind aber auch bei dieser Gruppe feine Untergruppierungen (zwei bis drei) erkennbar. Die Homogenitätsstruktur der Mayen-Ofen-Keramik wird durch das Dendrogramm der Scherben veranschaulicht (Abb. 3).

Bei einem Distanzniveau gleich oder kleiner als 14,5 werden die 63 Keramikscherben der Mayen-Ofen-Keramik in vier Gruppen geclustert. Die Scherben der Kerngruppe bilden drei Untergruppen, während im oberen Bereich (nach Scherbe 4) des Dendrogramms die fünf Scherben der kleinen Gruppe zusammen mit der Scherbe 62 zu einem vierten Cluster zusammengefaßt werden. Dabei ist zu beachten, daß der Ähnlichkeitsgrad der Scherbencluster zueinander um so größer ist, je kleiner die Vereinigungsdistanz ist.

Diese feine Gruppenstruktur der Kerngruppe wird hauptsächlich durch die geringe Schwankungsbreite der chemischen Zusammensetzung der Scherben und weniger durch chemisch-analytische Instabi-

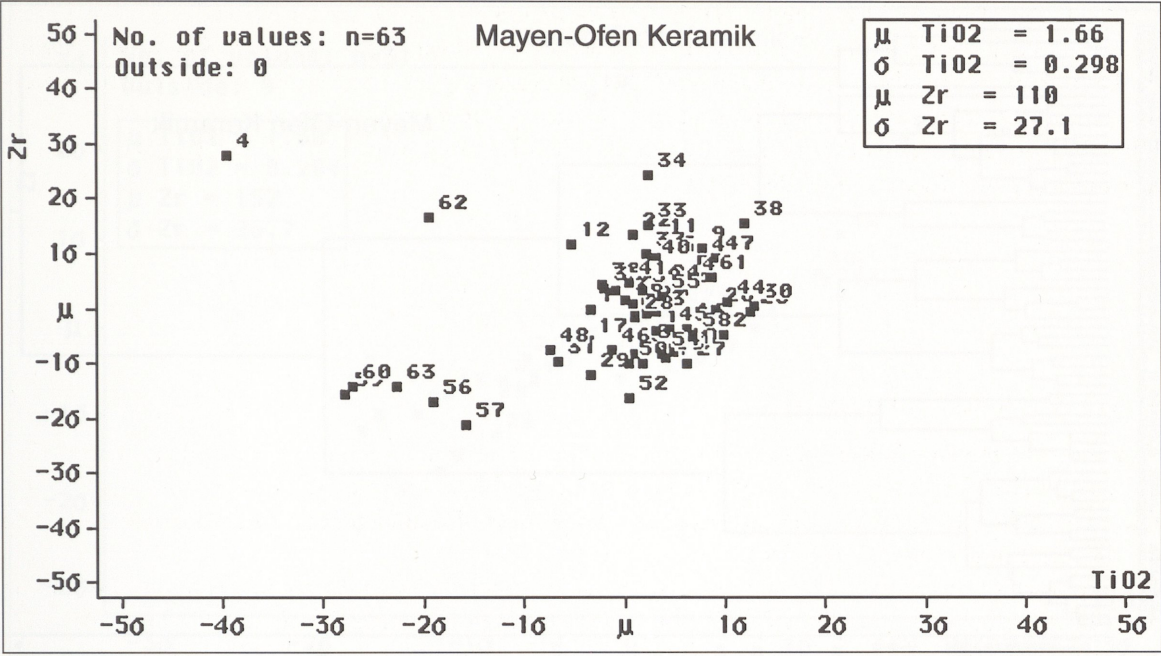


Abb. 2 Darstellende Punkte der 63 Keramikscherben aus Mayen-Ofen im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 100%.

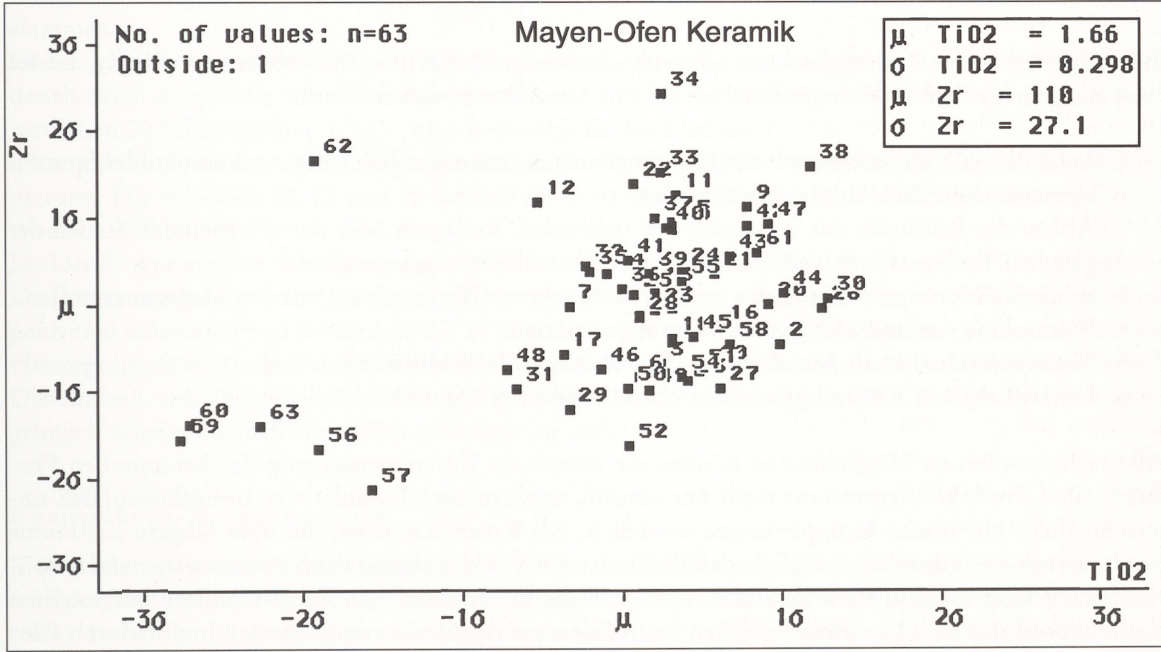


Abb. 2.1 Darstellende Punkte der 63 Keramikscherben aus Mayen-Ofen im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

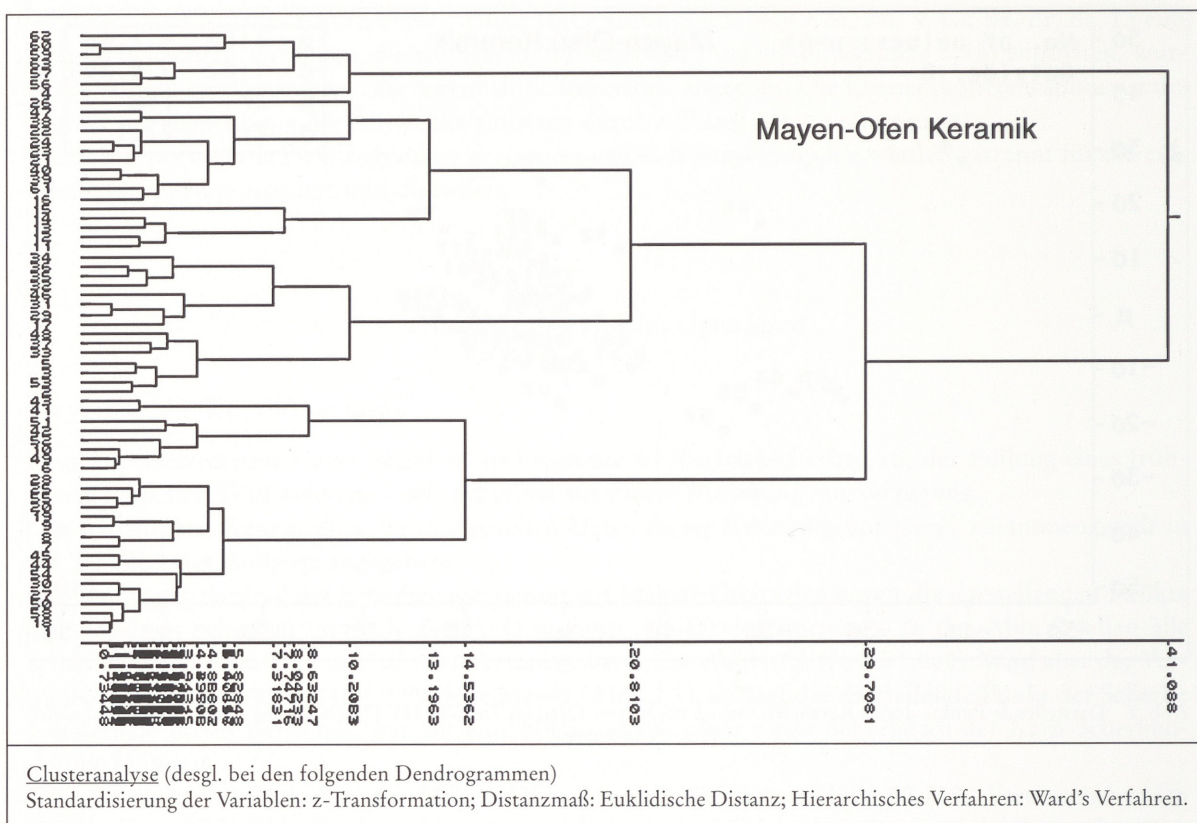


Abb. 3 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Mayen-Ofen.

litäten hervorgerufen. Die beobachtete schwache chemische Variabilität der Scherben ist vorwiegend auf folgende geochemische und herstellungstechnische Ursachen zurückzuführen.

1. Laterale und vertikale chemische Inhomogenitäten (hauptsächlich einiger inkompatibler Spurenelemente) innerhalb eines großen Tonlagers.
2. Abbau der Rohstoffe aus verschiedenen regionalen Tonlagern oder aus wechselnden Stellen der gleichen Tonlagerstätte (variierende Spurenelementkonzentrationen).
3. Schlechte Homogenisierung des tonigen Materials und Vermischung mit den Magerungstoffen.
4. Wechselnde Art und Menge des Magerungsmaterials.
5. Nicht reproduzierbare Verarbeitung (Schlämmung) des Rohstoffes.
6. Herstellung von Keramikprodukten unterschiedlicher Qualität.

Alle sechs erwähnten Möglichkeiten können die chemische Zusammensetzung der keramischen Produkte eines Produktionszentrums nicht nur einzeln, sondern auch kumulativ so beeinflussen, daß unterschiedliche chemische Gruppierungen entstehen. Bei Keramikzentren, die über längere Zeiträume produzierten, ist es durchaus möglich, daß durch den Einfluß der obigen Faktoren vorwiegend der Spurenelementchemismus so stark verändert wird, daß die in verschiedenen Zeitabschnitten hergestellten Keramikprodukte sich signifikant in ihren Spurenelementchemismus unterscheiden und dadurch Cluster mit großen Unähnlichkeitsdistanzen liefern.

Der Homogenitätsgrad der Scherben-Kerngruppe der Mayen-Ofen-Keramik berechtigt dazu, diese Scherbengruppe als Referenz-Keramikgruppe zu charakterisieren.

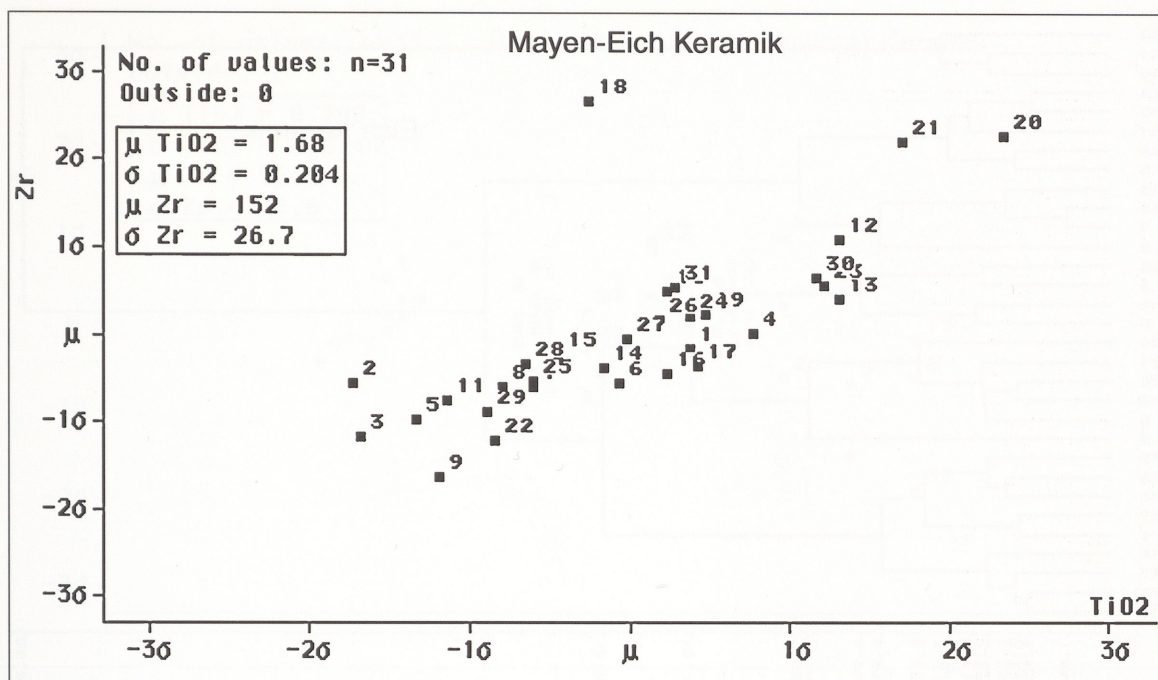


Abb. 4 Darstellende Punkte der 31 Keramikscherben aus Mayen-Eich im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

Mayen-Eich-Keramikgruppe

Diese Keramikgruppe umfaßt insgesamt 31 Scherben, die alle aus einer Ausgrabung im Ort Mayen stammen.

In der Abbildung 4 ist das TiO_2 -Zr HV-Diagramm dieser Scherbenassoziation für den 99,73%-Konfidenzbereich dargestellt. Mit Ausnahme der Scherben 18, 21 und 20 liegen die darstellenden Punkte der restlichen 28 Scherben im $(-1.5\sigma \dots +1.5\sigma)$ -Bereich beider Elemente.

Diese chemisch homogene Hauptgruppe besitzt eine feine, offenbar herstellungsbedingte Dreier-Gruppierung. Die Scherben 18, 21 und 20 werden als nicht gruppenzugehörig, d.h. als nicht ortscharakteristisch betrachtet.

Im Dendrogramm der Scherbengruppe (Abb. 4.1) werden die Scherben 18, 21 und 20 mit der großen Dissimilaritätsdistanz von 26,2 mit der Hauptgruppe vereinigt, was deren Charakterisierung als gruppenfremd unterstreicht. Die Gruppe der 28 Scherben setzt sich aus drei Hauptgruppen zusammen. Zwei Hauptgruppen vereinigen sich mit einem Distanzmaß von 12,3, während die dritte Gruppe mit einem Distanzmaß von 15,1 mit den zwei vereinigt wird. Die Gruppierung der 28 Scherben in drei Untergruppen scheint ebenfalls herstellungsbedingt zu sein.

Rheinzabern-Keramikgruppe

Eine weitere wichtige Keramikgruppe, die von uns a priori als Referenz-Keramikgruppe betrachtet wird, ist die Terra sigillata aus Rheinzabern. Es handelt sich bei dieser Keramik um eine recht feine CaO -reiche Keramik, die allein Quarz als Magerungsstoff enthält. Davon wurden 33 Scherben untersucht. Die darstellenden Punkte im TiO_2 -Zr HV-Diagramm sind in der Abbildung 5 dokumentiert. Erkennbar sind drei Scherbengruppen. Eine Hauptgruppierung, bestehend aus 24 Scherben, liegt für beide Elemente innerhalb des $(-1\sigma \dots +1\sigma)$ -Bereiches, eine zweite Gruppe aus 5 Scherben (15, 5, 6, 14, 33) kon-

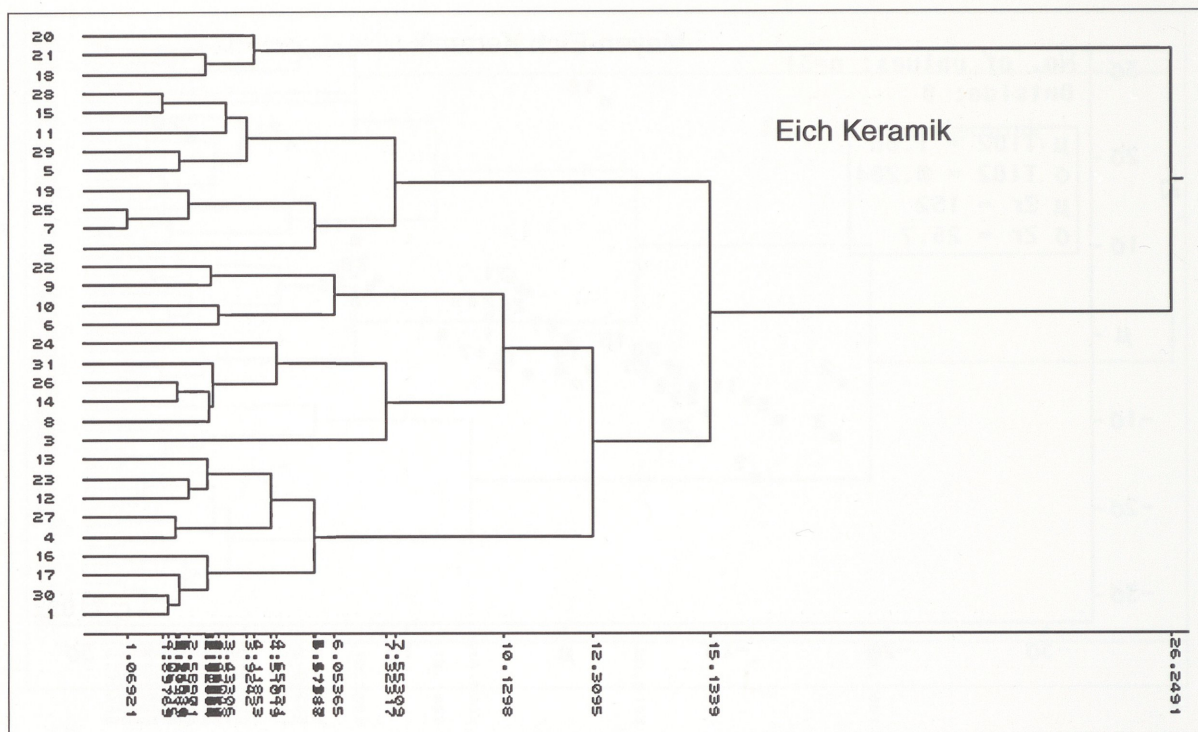


Abb. 4.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Mayen-Eich.

zentriert sich im Bereich zwischen $(+1\sigma \dots +2\sigma)\text{TiO}_2$, und die dritte Gruppe mit den Scherben 1, 2, 9 und 10 ist im Bereich $(-1\sigma \dots -2\sigma)\text{TiO}_2$ lokalisiert.

Außerdem werden die 24 Scherben der Zentralgruppe durch den $\mu\text{-TiO}_2$ -Wert in zwei Untergruppen verteilt. Eine Scherbe (Scherbe Nr. 7) liegt mit den Koordinaten $(+4\sigma\text{Zr}, \mu\text{TiO}_2)$ deutlich außerhalb des 99,73% -Vertrauensbereiches, ist deshalb als ortsfremd zu betrachten.

Das Dendrogramm dieser Keramikgruppe (Abb. 5.1) wird durch eine Hauptgruppe von 25 Scherben charakterisiert, welche durch die Vereinigung von zwei Untergruppen mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 10,4 gebildet wird. Die größte dieser Untergruppen, die 21 Scherben umfaßt, wird wiederum durch die Assimilation von zwei fast gleich großen Scherbengruppen mit einem Distanzmaß von 9,2 zu einer Gruppe vereinigt. Eine kleine Scherbengruppe von acht Scherben vereinigt sich mit einer großen Dissimilaritätsdistanz von 27,4 zu der Hauptgruppe.

Die Scherben-Clusterung dieser Keramikgruppe entspricht nur partiell der binären Scherbenverteilung. So wird die Scherbe 7, die bei der Häufigkeitsverteilung außerhalb des 99,73% Konfidenzbereiches liegt, der Hauptgruppe zugeordnet. Diese Diskrepanz tritt in diesem Fall deshalb auf, weil die Verteilung der hohen CaO-Gehalte in den Scherben dieser Gruppe bei der Clusterung stärker gewichtet wird als die $\text{TiO}_2\text{-Zr}$ -Verteilung. Ferner sind die Feinheit der Scherbenmatrix, die niedrige TiO_2 - und Zr-Konzentration und der relativ hohe CaO-Gehalt der Scherben möglicherweise ein Hinweis dafür, daß für die Herstellung dieser Keramikprodukte ein durch Schlammung aufbereiteter mergeliger Ton verwendet wurde. Dabei deutet die Verteilungsstruktur der Scherben im binären HV-Diagramm auf nicht reproduzierbare Aufbereitungsverfahren hin.

Trotz der partiellen Diskrepanz in den zwei Verteilungsmustern kann der größte Teil der Scherben dieser Keramikgruppe als weitgehend homogen und deshalb als repräsentativ für die Keramik dieser Lokalität qualifiziert werden.

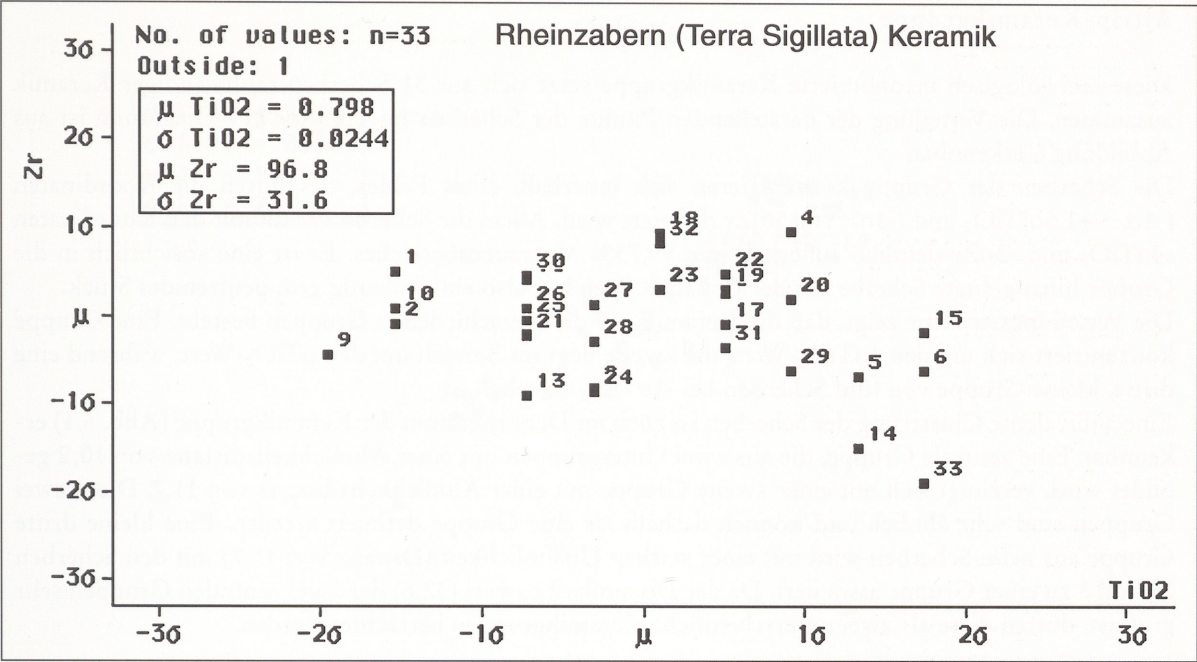


Abb. 5 Darstellende Punkte der 33 Keramikscherben aus Rheinzabern im TiO₂-Zr-HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

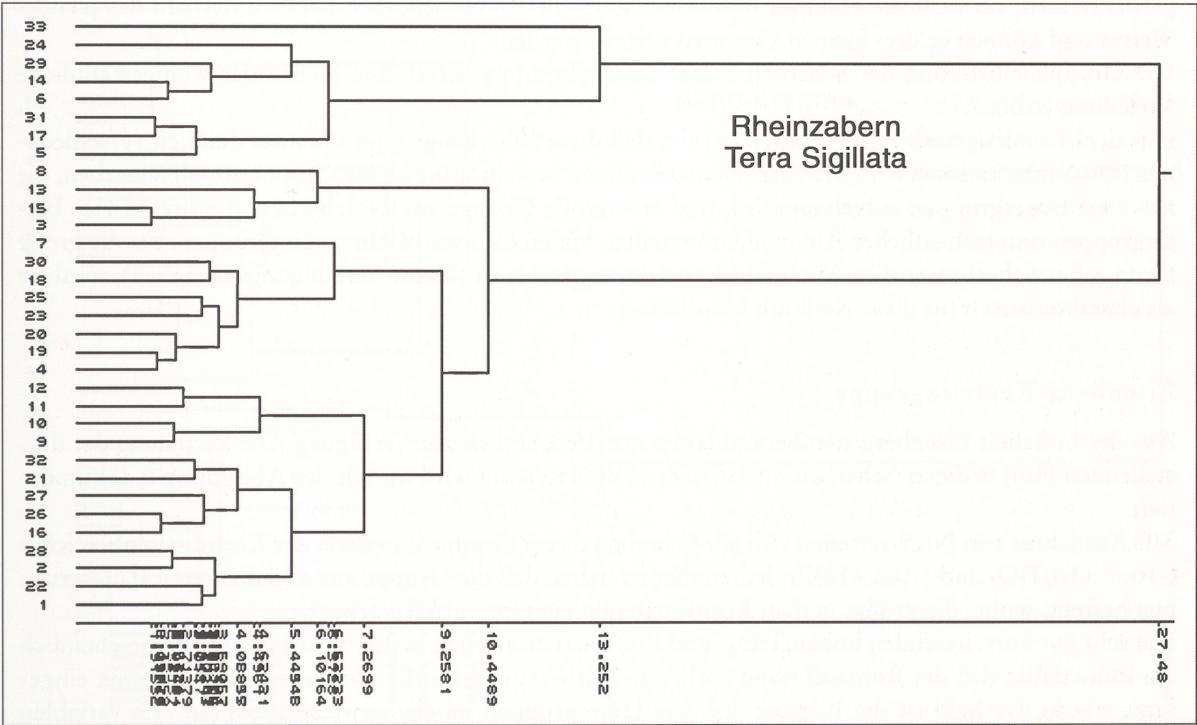


Abb. 5.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Rheinzabern Terra sigillata.

Altrip-Keramikgruppe

Diese archäologisch taxonomierte Keramikgruppe setzt sich aus 31 Scherben rauhwandiger Keramik zusammen. Die Verteilung der darstellenden Punkte der Scherben im TiO_2 -Zr HV-Diagramm ist aus Abbildung 6 erkennbar.

Die Scherben der Gruppe konzentrieren sich innerhalb eines Feldes, das durch die Koordinaten $(-1\sigma \dots +1.5\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-1\sigma \dots +1.5\sigma)\text{Zr}$ definiert wird. Allein die Scherbe 29 fällt mit den Koordinaten $-4\sigma\text{TiO}_2$ und $-3\sigma\text{Zr}$ deutlich außerhalb des 99,73% Vertrauensbereiches. Es ist eine absichtlich in die Gruppe hinzugefügte Scherbe aus der Lokalität Speicher, also ein eindeutig gruppenfremdes Stück.

Die Verteilungsstruktur zeigt, daß die Keramik aus drei verschiedenen Gruppen besteht. Eine Gruppe konzentriert sich um den $1\sigma\text{TiO}_2$ -Wert, die zweite liegt im Bereich um den μTiO_2 -Wert, während eine dritte, kleine Gruppe von fünf Scherben bei $-1\sigma\text{TiO}_2$ zu sehen ist.

Eine äquivalente Clusterung der Scherben ist auch im Dendrogramm der Keramikgruppe (Abb. 6.1) erkennbar. Eine zentrale Gruppe, die aus zwei Untergruppen mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 10,2 gebildet wird, vereinigt sich mit einer zweiten Gruppe mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 11,7. Diese zwei Gruppen sind sehr ähnlich und können deshalb als eine Gruppe definiert werden. Eine kleine dritte Gruppe aus neun Scherben wird mit einer starken Unähnlichkeit (Distanz von 15,7) mit den Scherben 29 und 3 zu einer Gruppe assoziiert. Da der Dissimilaritätswert (32,6) der zwei zentralen Gruppen sehr groß ist, dürfen diese als zwei unterschiedliche Keramikgruppen betrachtet werden.

Alzey-Keramikgruppe

Das TiO_2 -Zr HV-Diagramm dieser archäologischen Keramikgruppe, die aus 35 vorwiegend rauhwandigen Scherben bestand, ist in der Abbildung 7 dargestellt.

Erkennbar ist in dieser Abbildung, daß der größte Teil der Scherben (24) sich im Koordinatenbereich $(\mu \dots -1\sigma)\text{TiO}_2$ – $(\mu \dots +1\sigma)\text{Zr}$ konzentriert. Diese Gruppe ist sehr homogen und läßt keine Untergruppen erkennen, sie stellt die Hauptgruppe dar. Die restlichen elf Scherben liegen unterhalb des μTiO_2 -Wertes und können in drei kleinen Gruppen verteilt werden.

Die Gruppenclusterung der Scherben dieser Keramikgruppe liefert eine mehr oder weniger ähnliche Verteilung (Abb. 7.1).

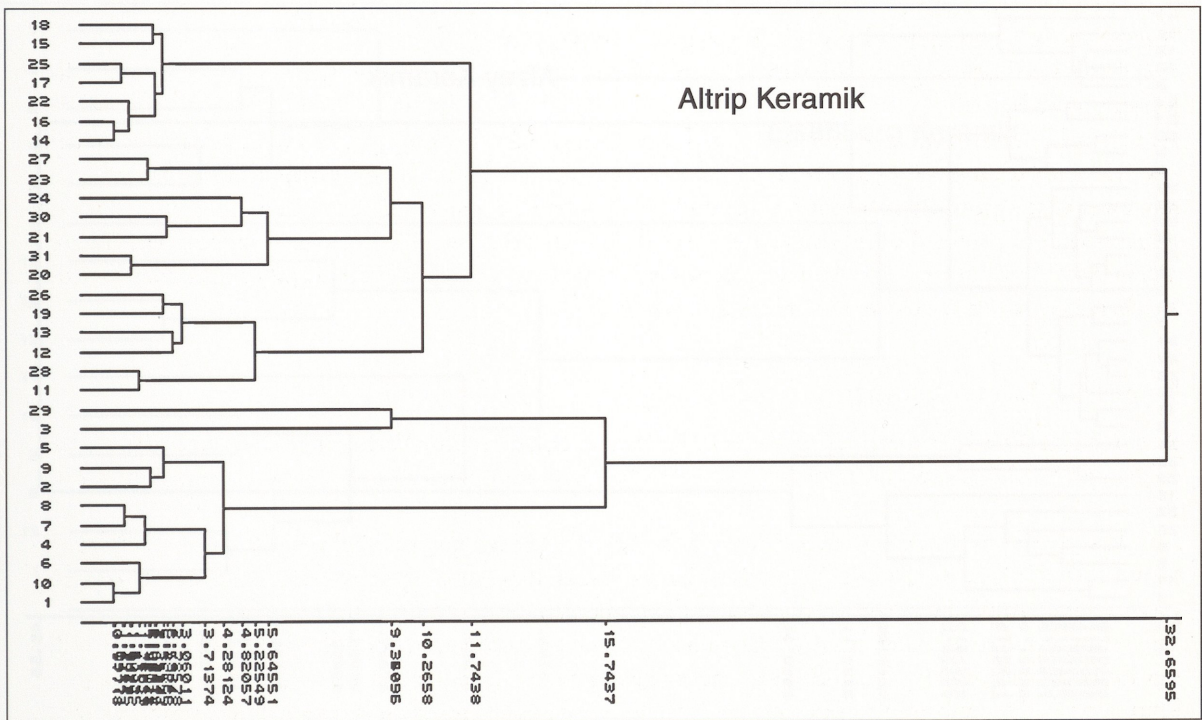
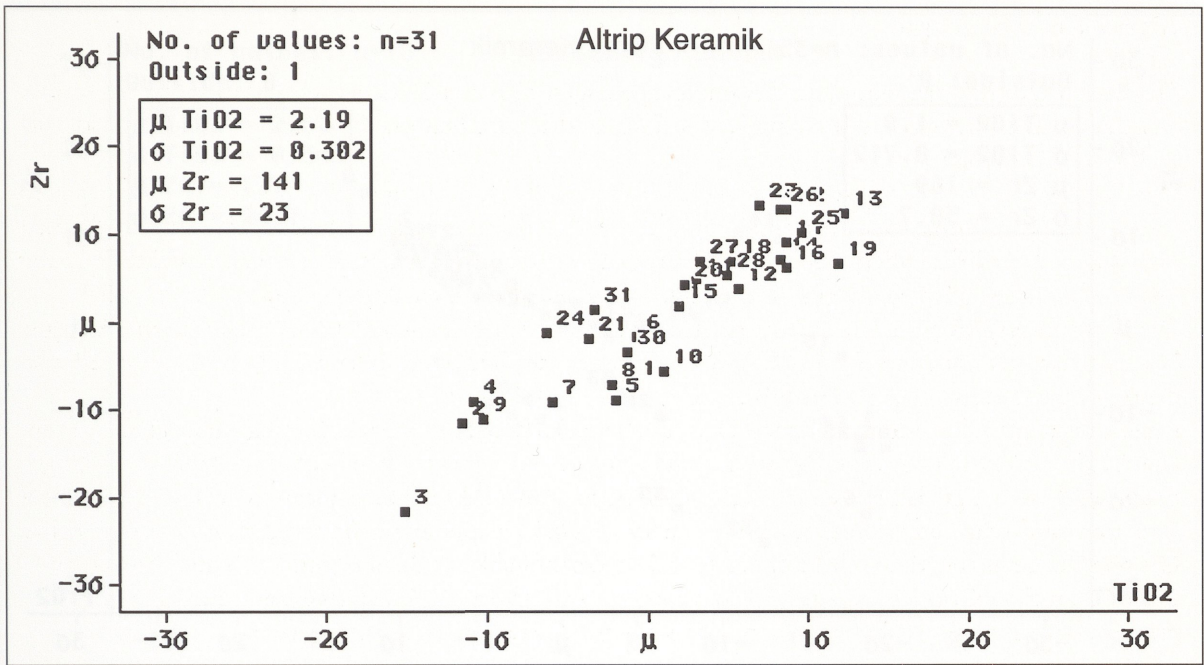
Aus dem Dendrogramm geht deutlich hervor, daß diese Scherbengruppe aus zwei deutlich verschiedenen (Dissimilaritätsmaß = 45,5) Scherbenassoziationen besteht. Eine kleine Gruppe aus elf Scherben, die aus zwei Untergruppen aufgebaut wird, und eine große Gruppe aus 24 Scherben, die sich in vier Untergruppen unterschiedlicher Ähnlichkeit verteilen, bilden die zwei wichtigsten Gruppen. Da die große Gruppe aus Scherben großer Ähnlichkeit zusammengesetzt ist (kleine Vereinigungsdistanzen), wird sie als charakteristisch für diese Keramik klassifiziert.

Eisenberg-Keramikgruppe

Aus der Lokalität Eisenberg standen uns leider nur 15 Scherben zur Verfügung. Die Verteilung der darstellenden Punkte dieser Scherben im TiO_2 -Zr HV-Diagramm wird mittels der Abbildung 8 dokumentiert.

Mit Ausnahme von Nr. 9 verteilen sich alle Scherben dieser Gruppe innerhalb des Koordinatenbereiches $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}$. Erkennbar ist dabei, daß die Gruppe aus drei diskreten Untergruppen besteht, wobei die größte in dem Koordinatenbereich $(\mu \dots 1\sigma)\text{TiO}_2$ liegt.

Die sehr gut korrelierenden hohen TiO_2 - und Zr-Konzentrationen in den Scherben sind wahrscheinlich ein Indiz dafür, daß der Rohstoff ohne vorherige Aufbereitung für die Herstellung der Keramik eingesetzt wurde. Deshalb ist die Bildung der drei Untergruppen möglicherweise allein auf den variablen Chemismus des verwendeten tonigen Rohstoffes zurückzuführen. Diese Scherben können als weitgehend homogene und für die Lokalität charakteristische Keramik angesehen werden.



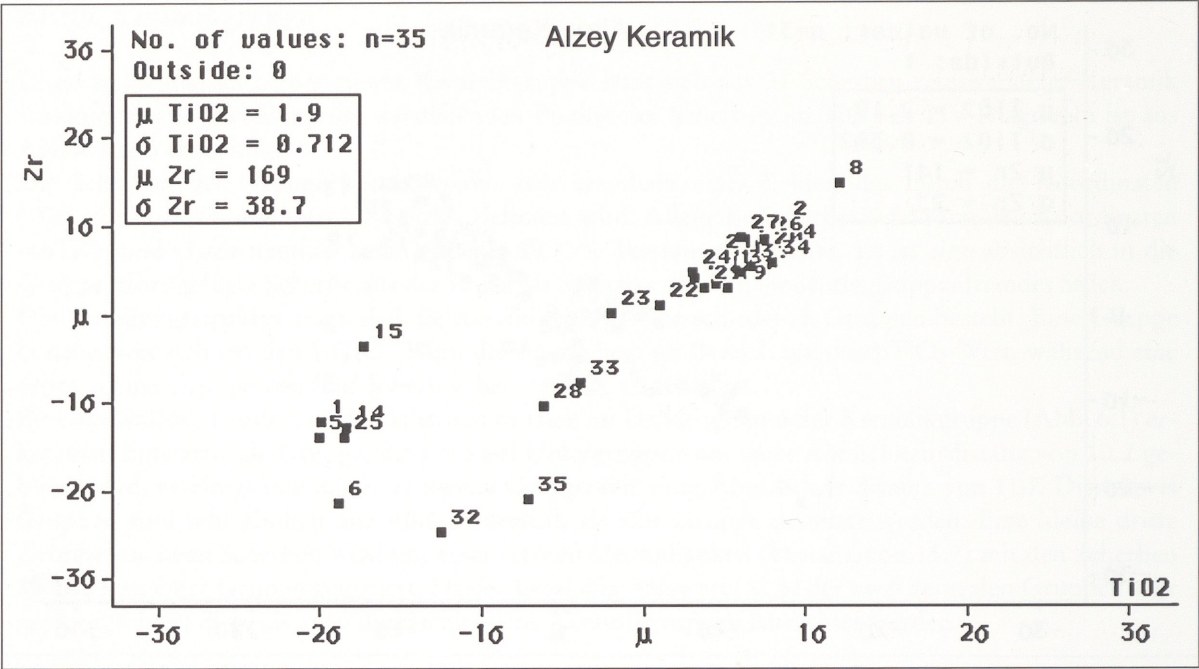


Abb. 7 Darstellende Punkte der 35 Keramikscherben aus Alzey im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

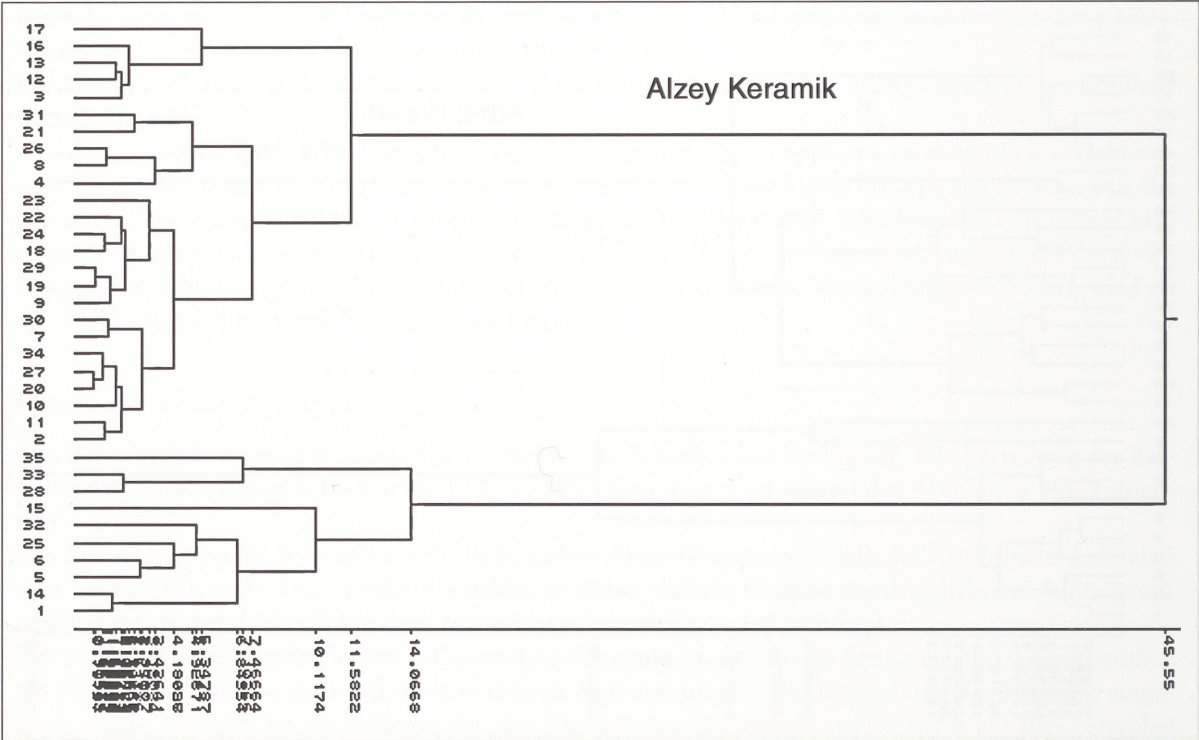


Abb. 7.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Alzey.

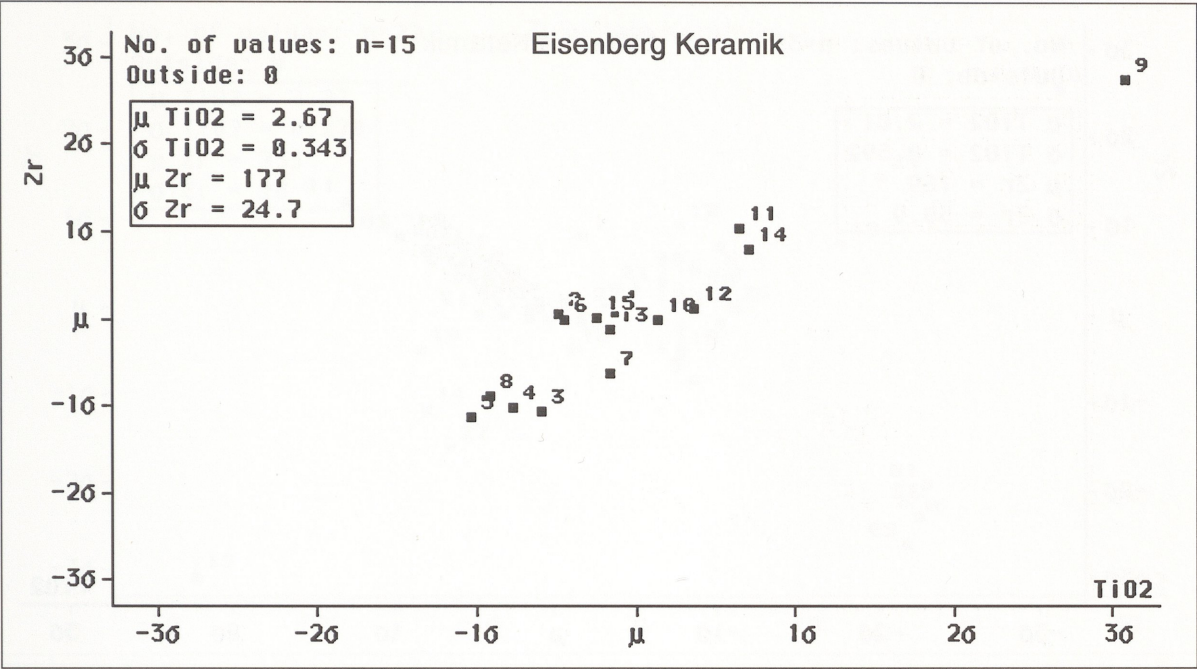


Abb. 8 Darstellende Punkte der 15 Keramikscherben aus Eisenberg im TiO₂-Zr-HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

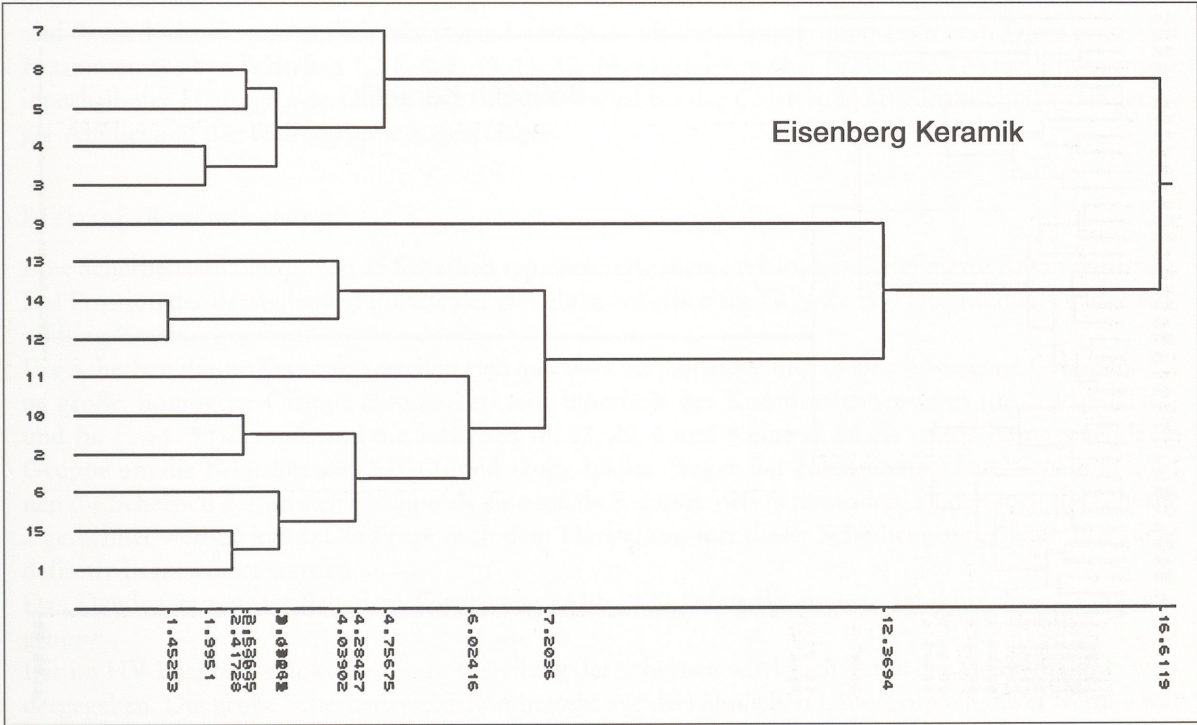


Abb. 8.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Eisenberg.

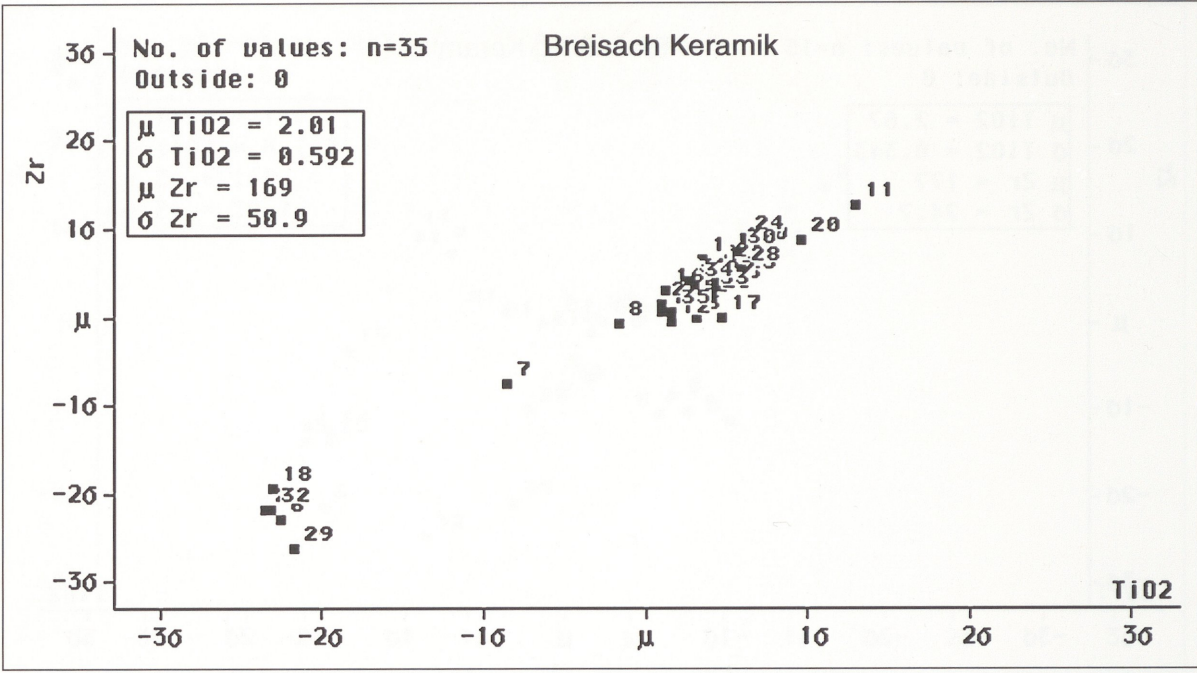


Abb. 9 Darstellende Punkte der 35 Keramikscherben aus Breisach im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

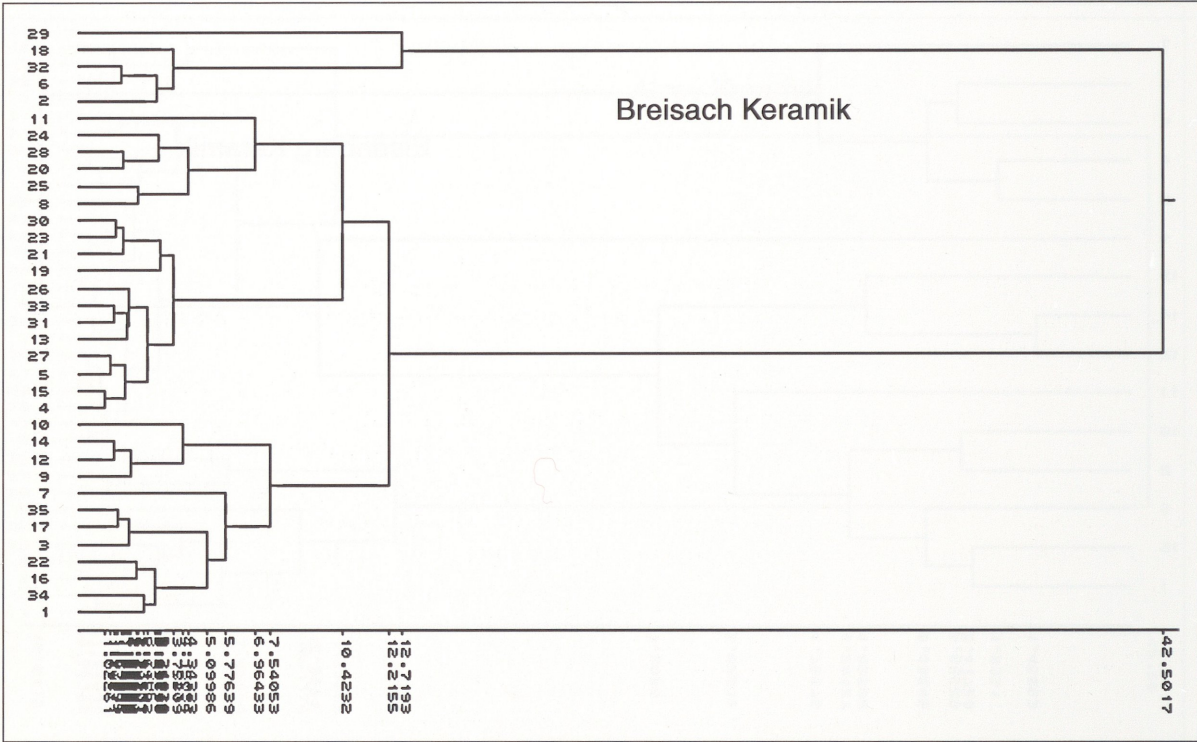


Abb. 9.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Breisach.

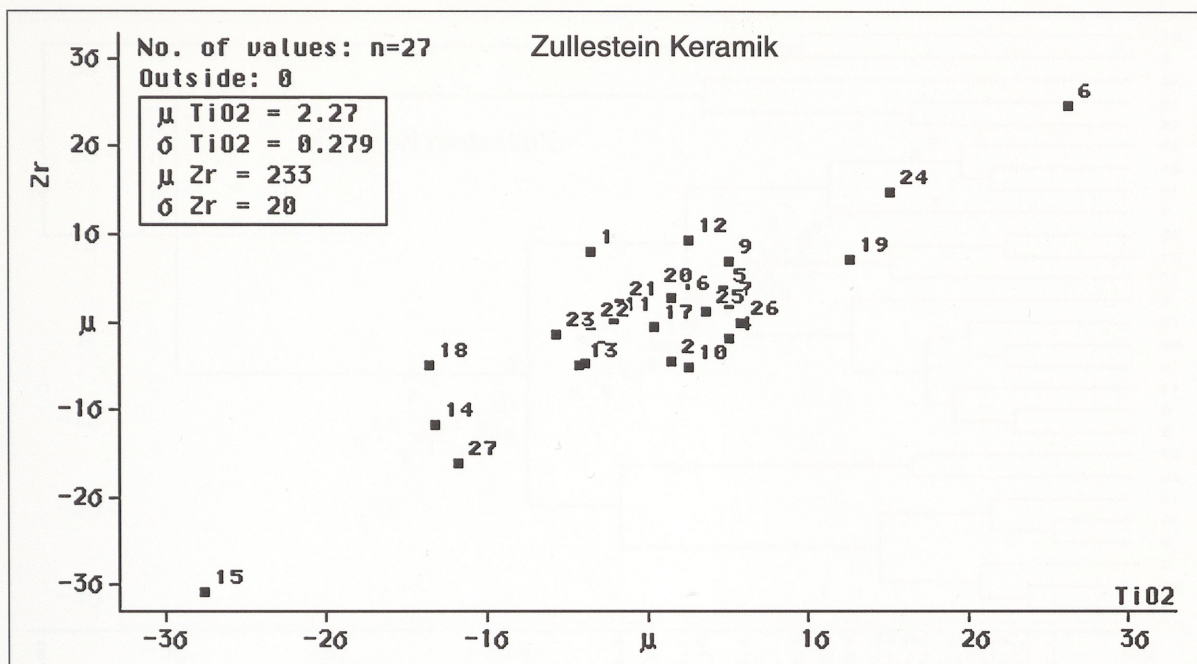


Abb. 10 Darstellende Punkte der 27 Keramikscherben aus Zullestein im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

Aus dem Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 8.1) geht hervor, daß die Scherbenassoziation in zwei deutlich diskreten Gruppen aufgebaut wird. Die kleinere, bestehend aus den Scherben 3, 4, 5, 8 und 7, wird mit einem Ähnlichkeitsabstand von 16,6 mit der Hauptgruppe assoziiert. Diese setzt sich zusammen aus den Scherben 1, 15, 6, 2, 10, 11, 12, 14, 13 und 9, wobei 12, 14 und 13 eine Untergruppe innerhalb der Hauptgruppe bilden. Die Scherbe 9 wird bei der Clusterung als Einzelscherbe mit geringer Ähnlichkeit der Hauptgruppe zugeschlagen.

Breisach-Keramikgruppe

Eine Scherbenassoziation von 35 Scherben repräsentierte diese archäologisch definierte Keramikgruppe. Die Position der darstellenden Punkte der einzelnen Scherben im TiO_2 -Zr HV-Diagramm ist in der Abbildung 9 wiedergegeben.

Die Scherben dieser Keramik verteilen sich auf zwei verschiedene und in sich homogene Gruppen. Eine große, homogene Gruppe akkumuliert sich innerhalb des Koordinatenbereiches ($\mu \dots +1.5\sigma$) TiO_2 und ($\mu \dots +1.5\sigma$)Zr, während die Scherben 18, 32, 29, 6 und 8 eine ebenfalls relativ homogene kleine Gruppe um die Koordinaten $-2\sigma\text{TiO}_2$ und $-2\sigma\text{Zr}$ bilden. Wegen der guten homogenen Verteilung können die Scherben der großen Gruppe als eine lokale Keramik definiert werden, zu der auch die Scherbe 7 gerechnet werden kann. Die Frage nach dem Herstellungsort dieser Scherbengruppe kann hier nicht definitiv beantwortet werden.

Das Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 9.1) liefert die interne Struktur dieser Keramikgruppe.

Die im HV-Diagramm dokumentierte Verteilung der Scherben wird auch durch das Dendrogramm wiedergegeben. Die große Scherbenassoziation besteht aus drei ähnlichen Untergruppen, zwei werden mit einem Ähnlichkeitsabstand von 10,4 zu einer Gruppe vereinigt und dieser schließlich die dritte Untergruppe mit einer Distanz von 12,2 zugeordnet.

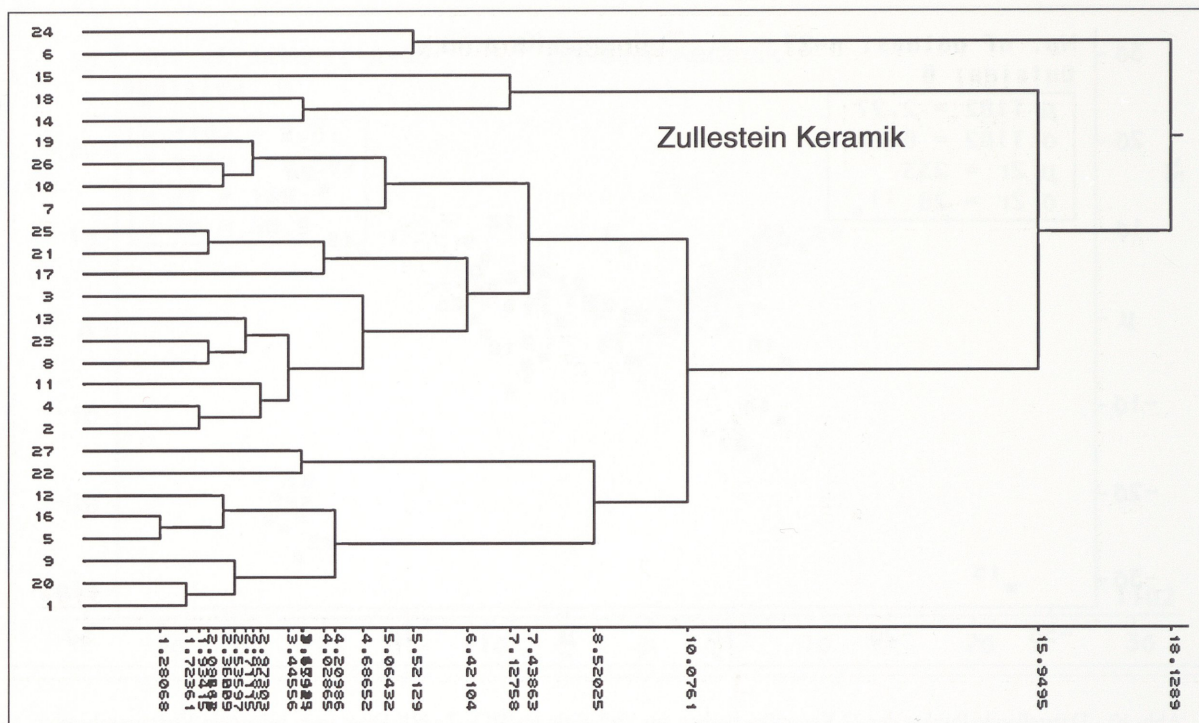


Abb. 10.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Zullestein.

Die zweite kleine Gruppe mit den Scherben 2, 6, 32, 18 und 29 wird mit einer großen Unähnlichkeitsdistanz (42,5) mit der Hauptgruppe vereinigt. Diese unterscheidet sich also erheblich von den Scherben der Hauptgruppe. Die Frage, ob dieser Unterschied herstellungsbedingt ist oder von der nicht lokalen Abstammung der Scherben verursacht wird, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Dagegen dürfte die Bildung der drei Untergruppen innerhalb der Hauptgruppe herstellungsbedingt sein.

Zullestein-Keramikgruppe

Die archäologisch definierte Keramikgruppe aus Zullestein besteht aus 27 Scherben, deren Projektionspunkte im TiO_2 -Zr HV-Diagramm in der Abbildung 10 zu sehen sind. Auffallend bei dieser Keramik ist, daß mit Ausnahme der Scherben 6 und 15 alle übrigen sich innerhalb des Koordinatenbereiches $(-1.5\sigma \dots +1.5\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-1.5\sigma \dots +1.5\sigma)\text{Zr}$ konzentrieren.

Aus der Verteilungsstruktur der Scherben geht hervor, daß diese Gruppe weitgehend homogen zusammengesetzt ist. Eine Charakterisierung der aus der Hauptgruppe diskriminierten Scherben 18, 14, 27, 19 und 24 als gruppenzugehörig oder gruppenfremd ist nicht ohne weiteres möglich, lediglich die Scherben 6 und 15 können mit großer Wahrscheinlichkeit als gruppenfremd klassifiziert werden.

Im Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 10.1) werden die Scherben 6, 24, 15, 18 und 14 als nicht gruppenzugehörig geclustert. Die Scherbe 27 wird hier zusammen mit der Scherbe 22 vereinigt und als Untergruppe der Hauptgruppe definiert. Die Scherben der Hauptgruppe werden in zwei Untergruppen verteilt, die sich mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 10.0 zu der Hauptgruppe vereinigen. Die Scherben der Hauptgruppe scheinen eine mehr oder weniger geschlossene Keramikgruppe zu bilden, die möglicherweise als lokalspezifisch anzusehen ist.

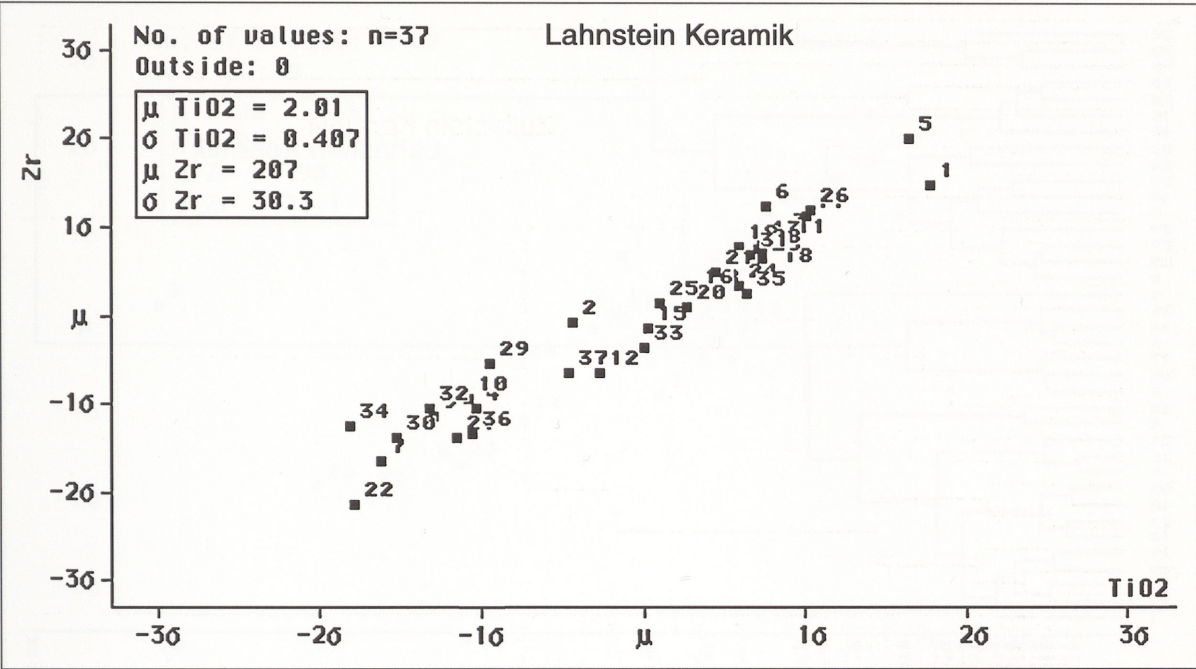


Abb. 11 Darstellende Punkte der 37 Keramikscherben aus Lahnstein im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

Lahnstein-Keramikgruppe

Die 37 Scherben dieser Keramikgruppe verteilen sich im TiO_2 -Zr HV-Diagramm in zwei großen Gruppen, wobei lediglich die Scherben 5 und 1 außerhalb liegen (Abb. 11).

Der größte Teil der Scherben konzentriert sich innerhalb der Koordinaten $(\mu \dots +1.5\sigma)\text{TiO}_2 - (-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}$, während sich die restlichen Scherben im Bereich zwischen $(-1\sigma \dots -2\sigma)\text{TiO}_2 - (\mu \dots -2\sigma)\text{Zr}$ verteilen. Die Beziehung dieser Gruppen zueinander wird im Dendrogramm der Keramik ersichtlich (Abb. 11.1).

Beide Keramikgruppen werden mit einem großen Dissimilaritätsmaß (33,3) vereinigt, was auf unähnliche Gruppen hinweist. Die Gruppe, die alle Scherben von 34 bis 4 beinhaltet, scheint in sich etwas inhomogen zu sein, da sie aus drei Untergruppen besteht. So vereinigen sich die relativ ähnlichen Scherben 33, 20, 15 und 12 mit einer Distanz von 12,5 mit der nächst größeren Gruppe, und dieser werden die Scherben 34, 30 und 7 mit einer Distanz von 14,4 zugeschlagen. Die Scherbe 1 wird mit sehr guter Ähnlichkeit und die Scherbe 5 mit geringer Ähnlichkeit in der zweiten Gruppe klassifiziert.

Weissenthurm-Keramikgruppe

Diese Keramikgruppe umfaßt insgesamt 32 Scherben. Die chemische Homogenität wird durch die darstellenden Punkte im TiO_2 -Zr HV-Diagramm (Abb. 12) zum Ausdruck gebracht.

Erkennbar ist in dieser Abbildung eine deutliche Verdichtung der darstellenden Punkte der meisten Scherben im Koordinatenbereich $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}$; es sind 24 Scherben, welche diese homogene Hauptgruppe bilden. Vier (14, 29, 22, 20) liegen im $(-1\sigma \dots -2\sigma)\text{TiO}_2$ -Zr-Bereich, während sich die Scherben 24, 25, 9 und 6 im $(+1\sigma \dots +2\sigma)\text{TiO}_2$ -Zr-Bereich konzentrieren. Die Scherbe 2 fällt deutlich außerhalb des signifikanten Bereiches.

Im Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 12.1) werden 2, 11, 12, 28, 29, 14, 20 und 22 zu einer Gruppe zusammengefaßt; dabei wird die Scherbe 2 mit einer relativ großen Unähnlichkeit (19, 1) zuge-

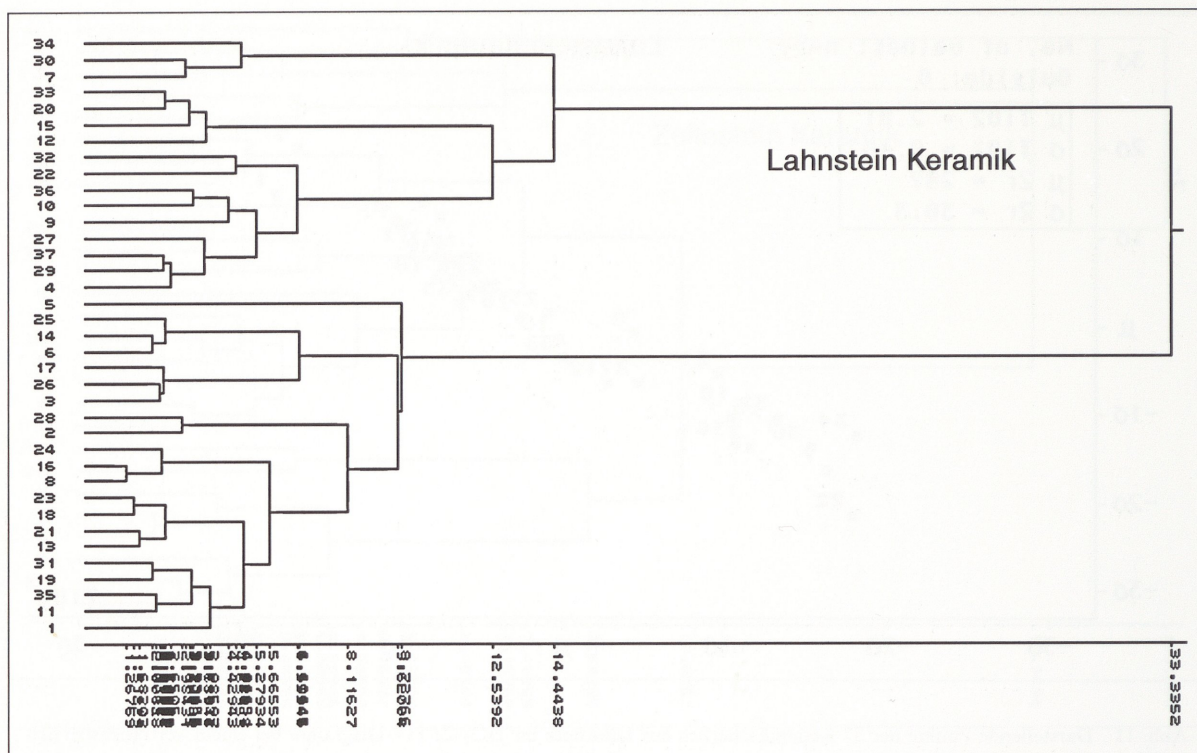


Abb. 11.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Lahnstein.

rechnet. Diese kleine Scherbengruppe wird mit einer großen Dissimilarität (27, 4) zu der Hauptgruppe agglomeriert. Die Hauptgruppe selbst setzt sich aus vier Untergruppen zusammen, die mit unterschiedlichen Distanzen zu der Hauptgruppe vereinigt werden. So wird die Untergruppe der Scherben 6, 9, 24, 25 und 30 mit einer Distanz von 10,9 zu der restlichen Gruppe assoziiert. Die geringen stofflichen Unterschiede der Untergruppen in der Hauptgruppe sind sehr wahrscheinlich herstellungsbedingt.

Thür-Keramikgruppe

Von dieser Keramikgruppe standen uns lediglich 15 Scherben für die Untersuchungen zur Verfügung. Wie aus dem TiO_2 -Zr HV-Diagramm (Abb. 13) ersichtlich, konzentrieren sich mit Ausnahme der Scherben 8 und 5 alle Scherben im $(-1\sigma \dots +1\sigma)$ -Koordinatenbereich von TiO_2 und Zr, wobei Untergruppierungen erkennbar sind. Dies wird auch durch das Dendrogramm (Abb. 13.1) bestätigt. 8 und 5 werden mit 7, 12 und 9 zu einer Gruppe vereinigt. Die restlichen Scherben bilden zwei Untergruppen, die zu einer übergeordneten Gruppe agglomeriert werden. Die Scherben dieser Gruppe sind weitgehend ähnlich.

Ahrweiler-Keramikgruppe

Die 15 Scherben dieser Keramikgruppe verteilen sich im TiO_2 -Zr HV-Diagramm (Abb. 14) auf Grund der TiO_2 -Konzentration in vier kleine Gruppen.

Die Scherben 9, 4, 2 und 4 akkumulieren sich im Bereich $(-1\sigma \dots \mu)\text{TiO}_2$ und $(-1\sigma \dots \mu)\text{Zr}$, die Scherben 7, 6, 3, 8 und 1 sind im Bereich $(\mu \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(\mu \dots -1\sigma)\text{Zr}$ konzentriert, und schließlich bilden 11, 13, 15 und 12 ein Cluster im Bereich $(+1\sigma \dots +2\sigma)\text{TiO}_2$ und $(+1\sigma \dots +2\sigma)\text{Zr}$. Als eine weitere Gruppe

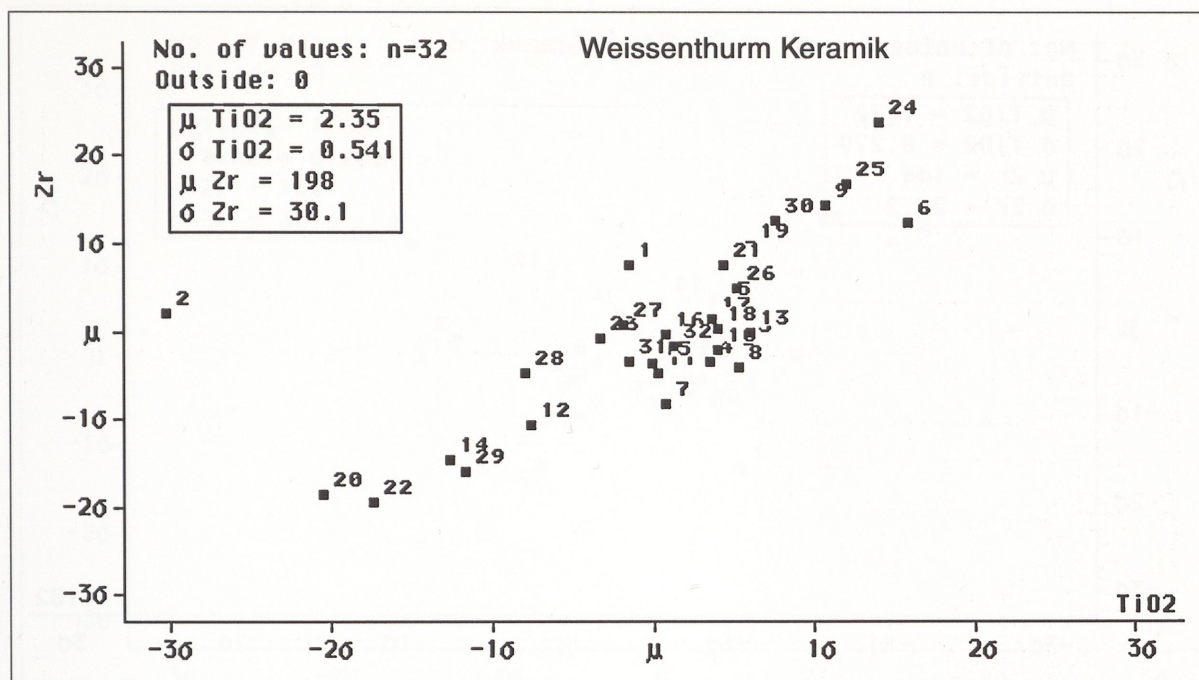


Abb. 12 Darstellende Punkte der 32 Keramikscherben aus Weisenthurm im $\text{TiO}_2\text{-Zr}$ HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

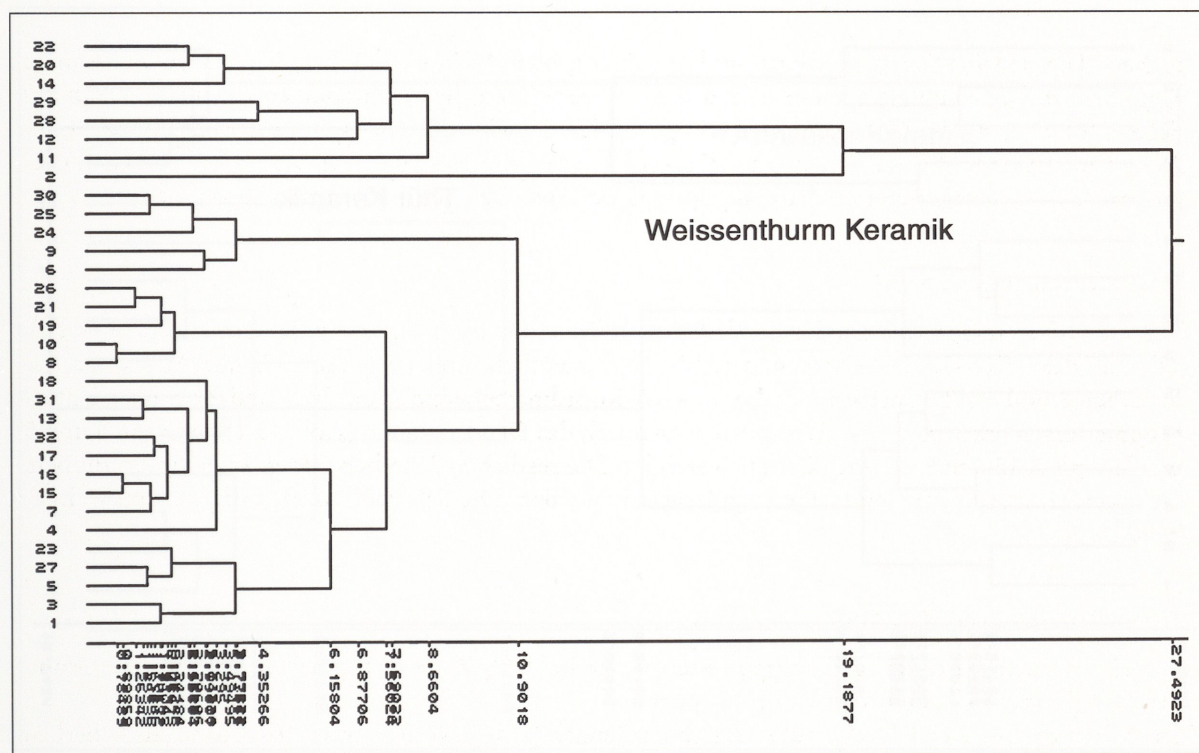


Abb. 12.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Weissenthurm.

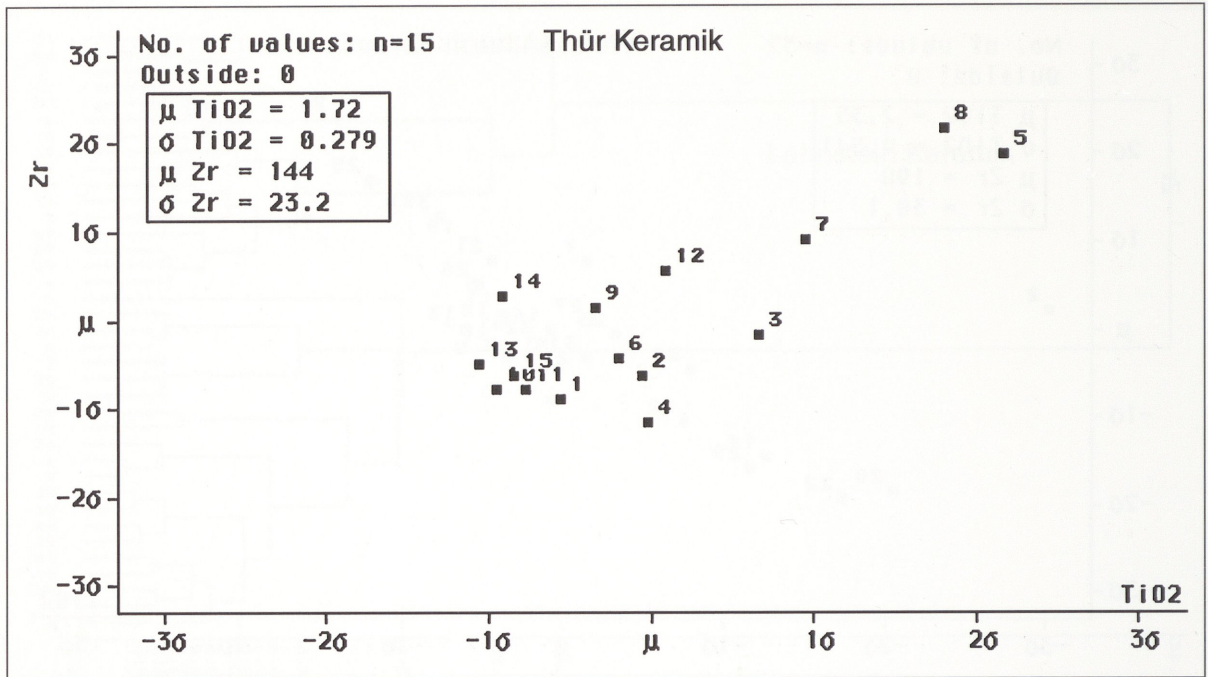


Abb. 13 Darstellende Punkte der 15 Keramikscherben aus Thür im $\text{TiO}_2\text{-Zr}$ HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

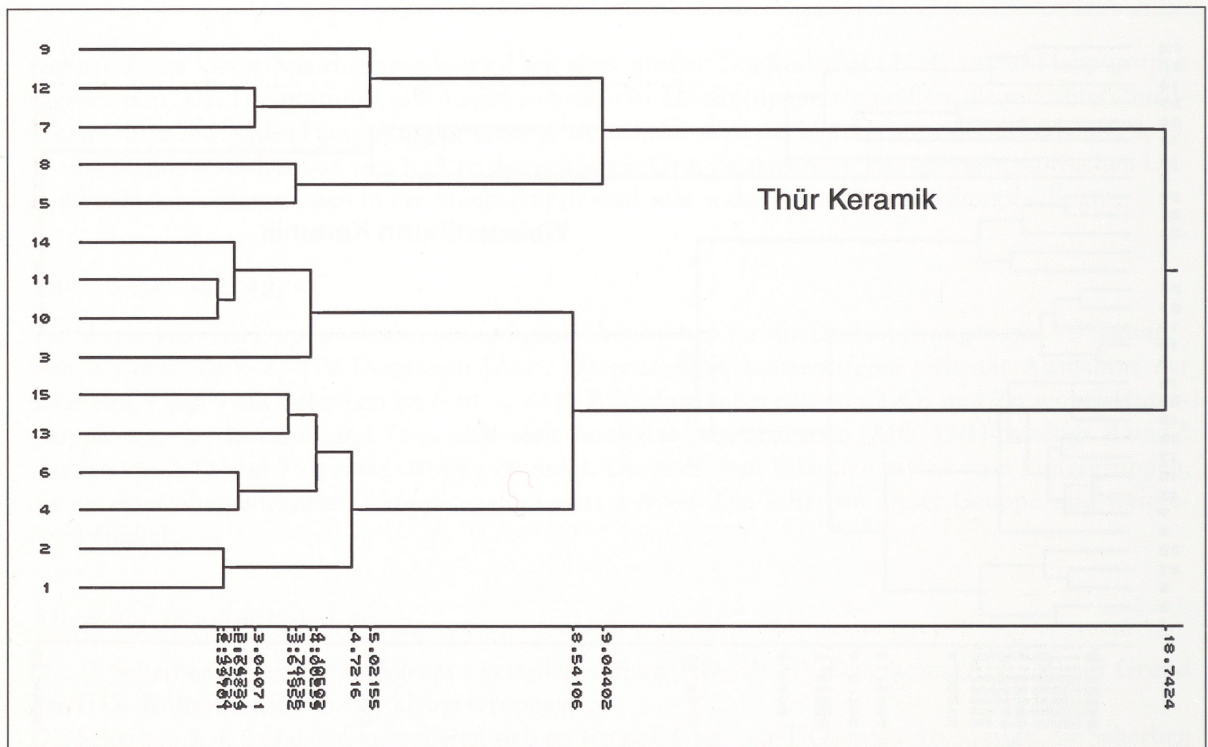


Abb. 13.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Thür.

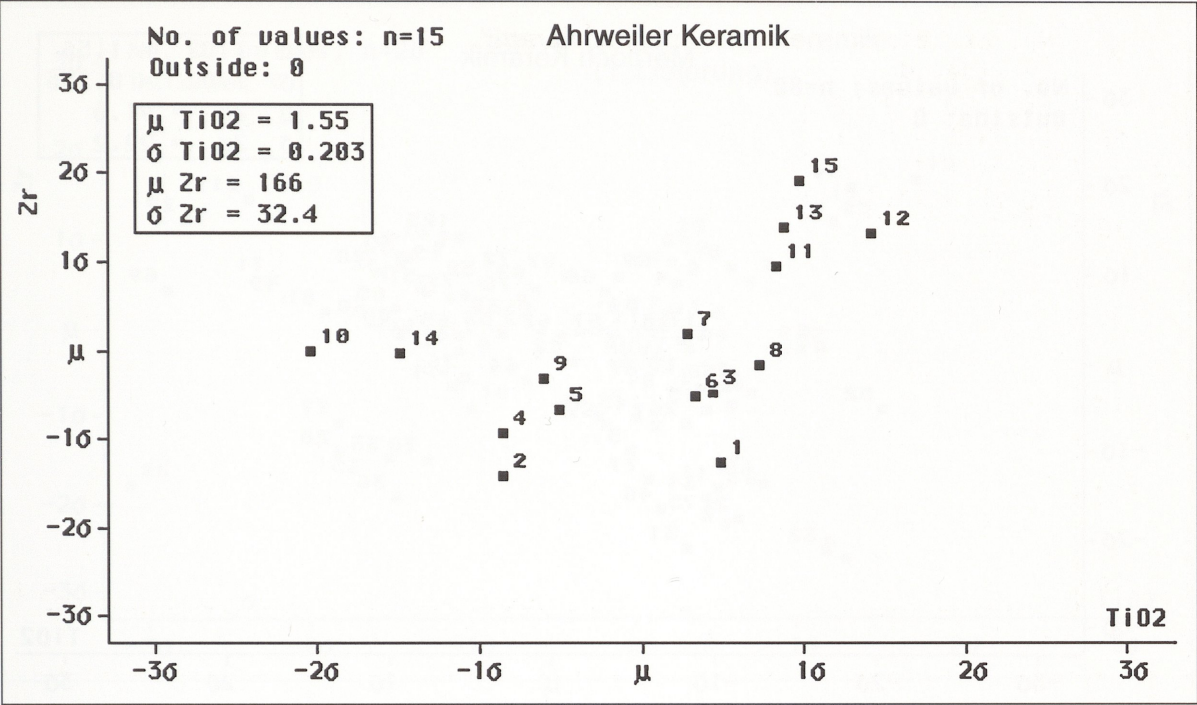


Abb. 14 Darstellende Punkte der 15 Keramikscherben aus Ahrweiler im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

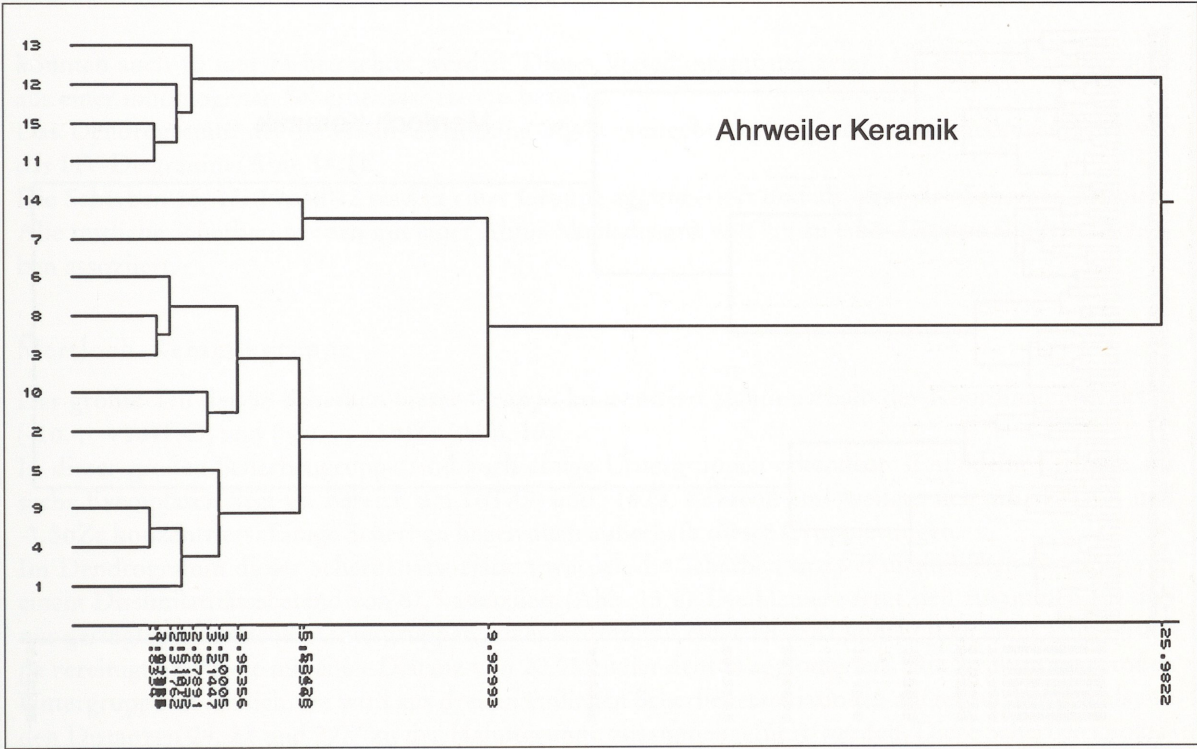


Abb. 14.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Ahrweiler.

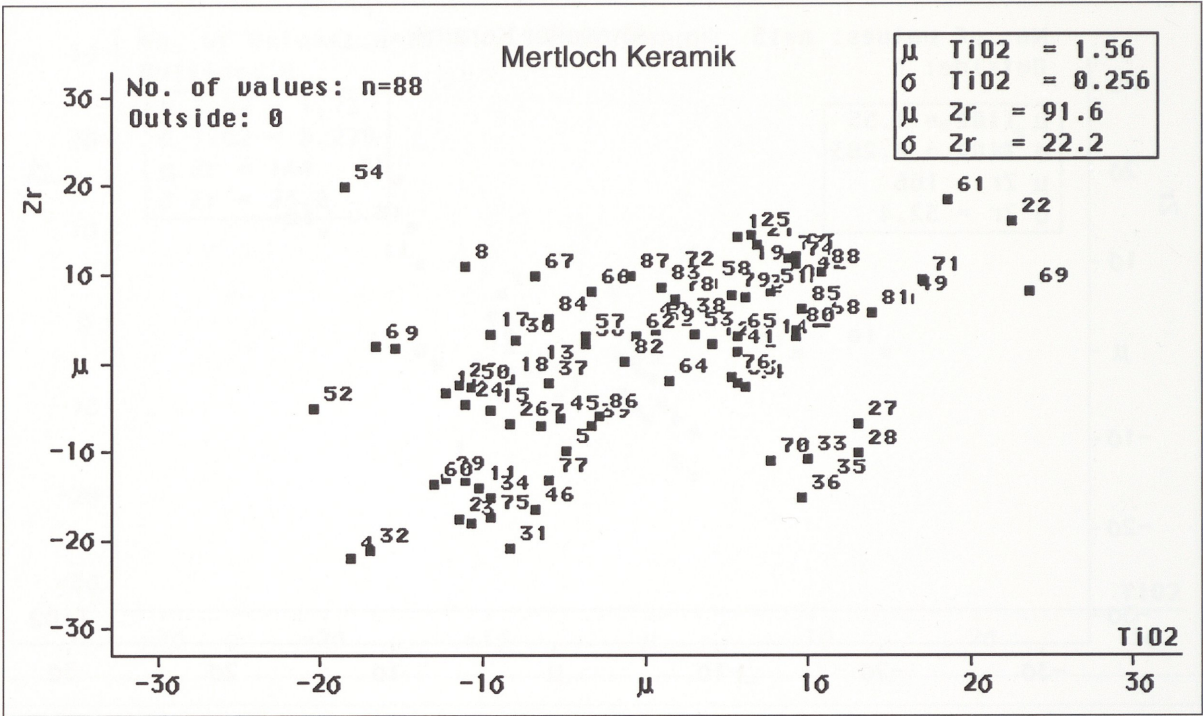


Abb. 15 Darstellende Punkte der 88 Keramikscherben aus Mertloch im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

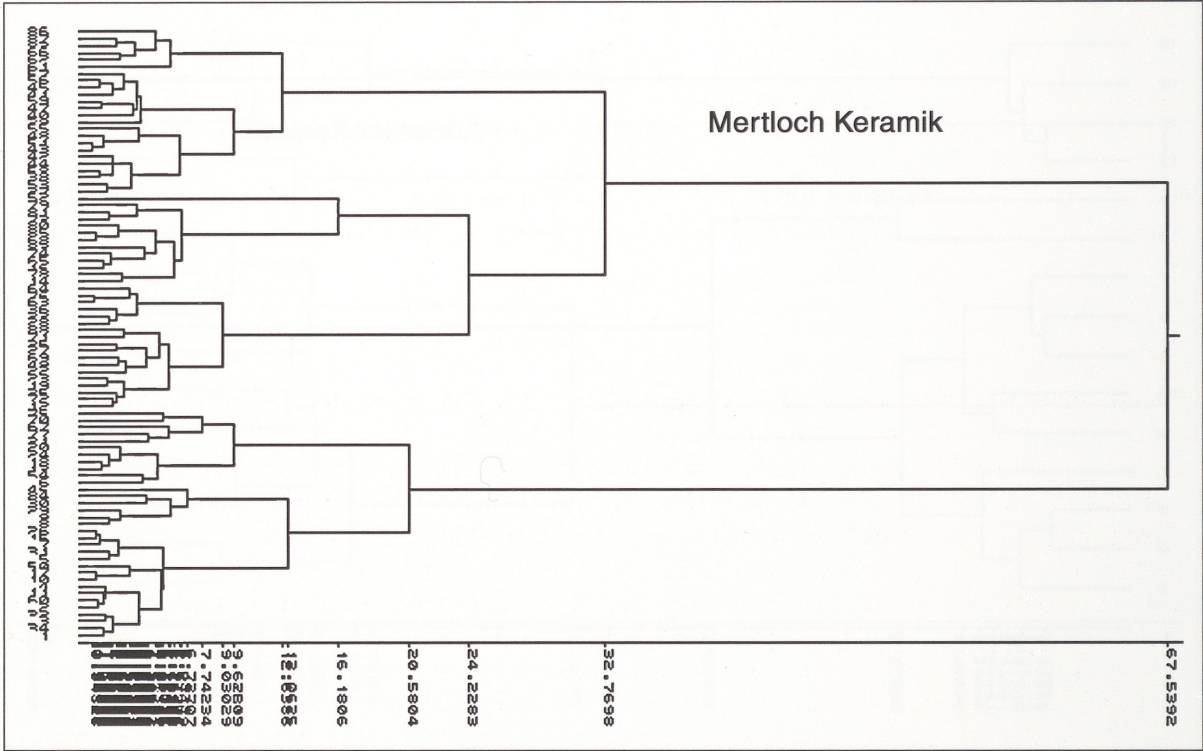


Abb. 15.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Mertloch.

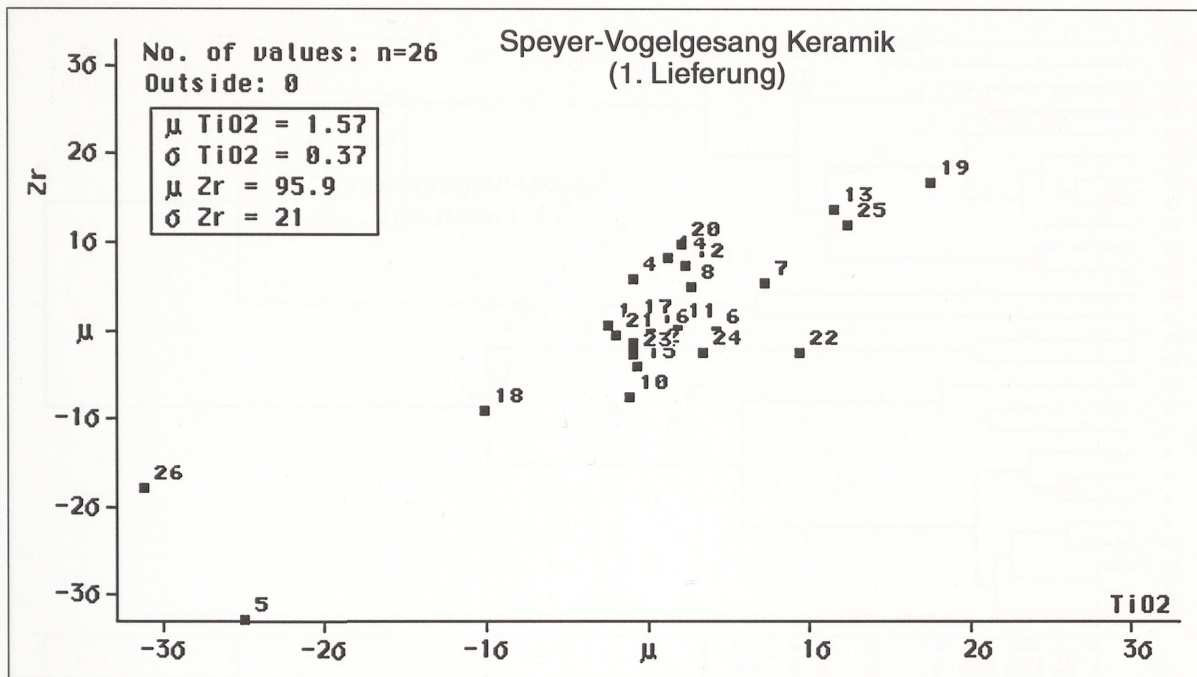


Abb. 16 Darstellende Punkte der 15 Keramikscherben aus Speyer-Vogelgesang (1. Lieferung) im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

könnten auch 10 und 14 betrachtet werden. Dieses Verteilungsmuster zeigt, daß diese Keramikgruppe aus einer inhomogenen Scherbenassoziation besteht.

Das Dendrogramm der Scherben-Clusterung ergibt weitgehend das gleiche Gruppierungsmuster wie das HV-Diagramm (Abb. 14.1).

Die Scherben 15, 13, 11 und 12 sind in einer Gruppe agglomeriert und als »fremde« Scherben definiert. Alle restliche Scherben werden mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 9,9 zu einer Gruppe ähnlicher Scherben assoziiert.

Mertloch-Keramikgruppe

Der größte Teil der 88 Scherben dieser Gruppe konzentriert sich innerhalb des Koordinatenbereiches $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}$ (Abb. 15).

In dieser großen Scherbengruppe sind auch einige Untergruppen erkennbar. Eine kleine Gruppe aus sechs Exemplaren liegt im Bereich um $1\sigma\text{TiO}_2$ und $-1\sigma\text{Zr}$, während eine weitere sich um $-1\sigma\text{TiO}_2$ und $-1.5\sigma\text{Zr}$ konzentriert. Einige Scherben liegen auch außerhalb dieser Gruppierungen.

Im Dendrogramm dieser Scherbenassoziation werden die Scherben in zwei unähnlichen Gruppen mit einem Dissimilaritätsabstand von 67,5 assoziiert (Abb. 15.1). Die kleinere setzt sich zusammen aus drei nur geringfügig ähnlichen Untergruppen; zwei werden mit einer Distanz von 12,6 zu einer Untergruppe vereinigt und diese mit einer Distanz von 20,05 zu der dritten agglomeriert. Die Struktur der großen Untergruppe ist ähnlich. Sie wird aus drei unähnlichen Scherbenassoziationen aufgebaut, die jeweils mit den Distanzen 24, 22 und 32,7 zu der Hauptgruppe zusammengeführt werden. Diese Scherbenassoziation besteht aus zwei unterschiedlichen Scherbengruppen, die wiederum aus jeweils drei unähnlichen Untergruppen aufgebaut werden.

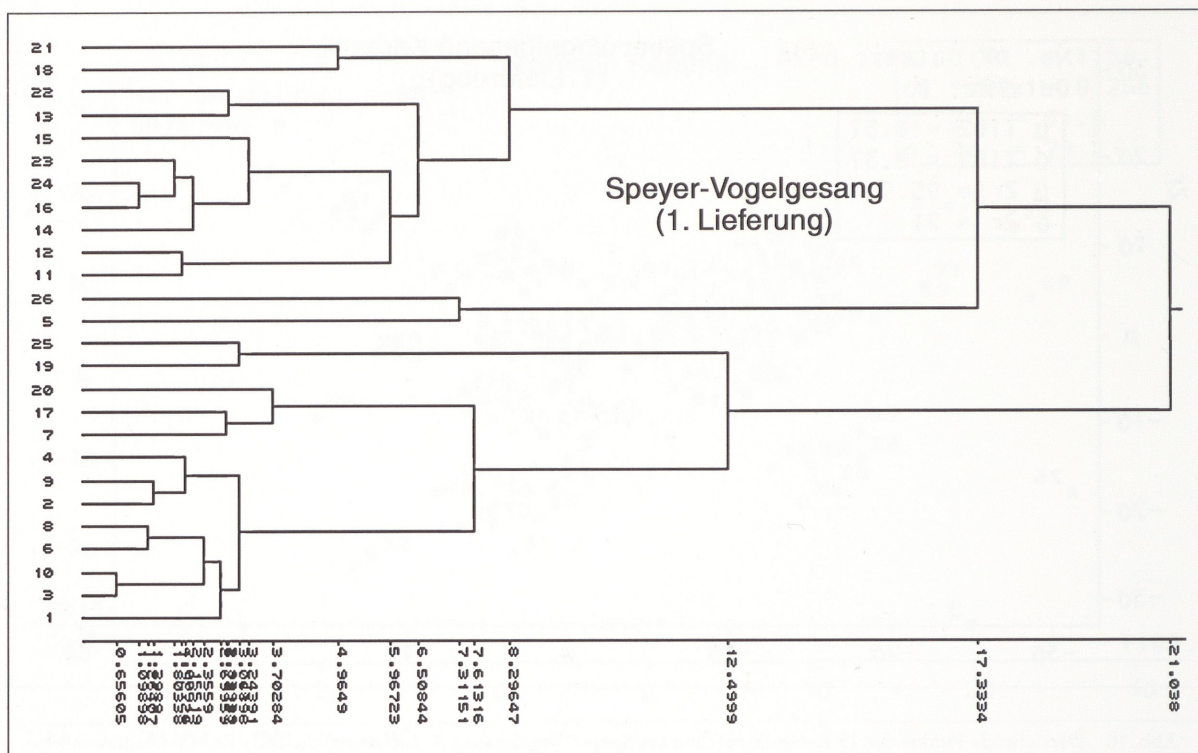


Abb. 16.1 Dendrogramm der Scherben-Clusterung der Keramikgruppe Speyer-Vogelgesang (1. Lieferung).

Speyer-Vogelgesang-Keramik (1. Lieferung)

Die darstellenden Punkte der 26 Scherben dieser Keramikgruppe im TiO_2 -Zr HV-Diagramm werden in der Abbildung 16 angegeben. Der größte Teil der Scherben konzentriert sich im Koordinatenbereich ($\mu \dots +1\sigma$) TiO_2 und ($-1\sigma \dots +1\sigma$)Zr, wobei die Gruppe durch den μZr -Wert dichotomiert wird. Diese Gruppe kann trotzdem als homogene Scherbenassoziation angesehen werden. Die Scherben 26 und 5 sowie die Scherben 18, 13, 25, und 19 unterscheiden sich erheblich von der Hauptgruppe.

Im Dendrogramm der Scherben-Clusterung werden zwei Gruppen mit einer Distanz von 21,0 diskriminiert (Abb. 16.1). Die Scherben 26 und 5 sowie 25 und 19 werden als unähnlich zu den Scherben der zwei anderen Gruppen klassifiziert.

Speyer-Vogelgesang-Keramik (2. Lieferung)

Die 2. Lieferung der Speyer-Vogelgesang Keramik enthielt 16 Scherben, deren TiO_2 -Zr HV-Diagramm in der Abbildung 17 angegeben wird. Mit Ausnahme von 6 und 12 verteilen sich die Scherben innerhalb des Koordinatenbereiches ($-1\sigma \dots +1\sigma$) TiO_2 und ($-1\sigma \dots +1\sigma$)Zr. Die Streuung der darstellenden Punkte innerhalb dieses Bereiches ist möglicherweise auf herstellungsbedingte chemische Inhomogenitäten zurückzuführen.

Das Dendrogramm (Abb. 17.1) zeigt eine Clusterung der Scherben in zwei Gruppen mit einer Vereinigungsdistanz von 13,9, was auf eine weitgehende Ähnlichkeit der Scherben schließen lässt. Es handelt sich hier um eine recht homogene Scherbenassoziation.

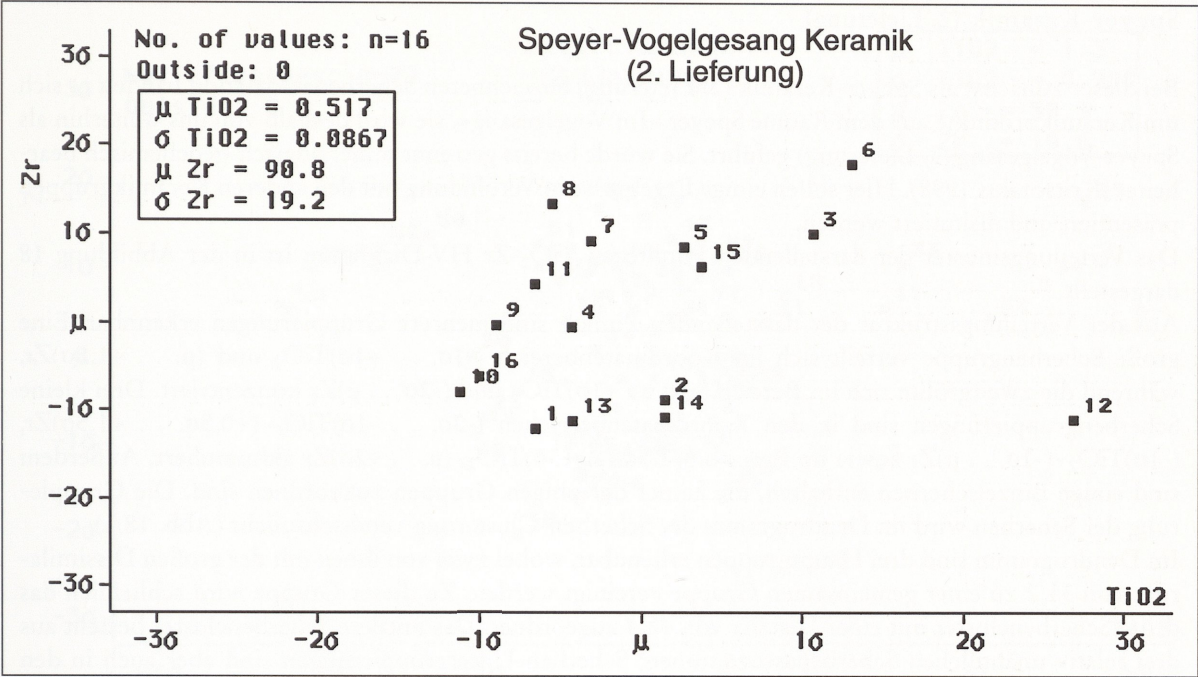


Abb. 17 Darstellende Punkte der 16 Keramikscherben aus Speyer-Vogelgesang (2. Lieferung) im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

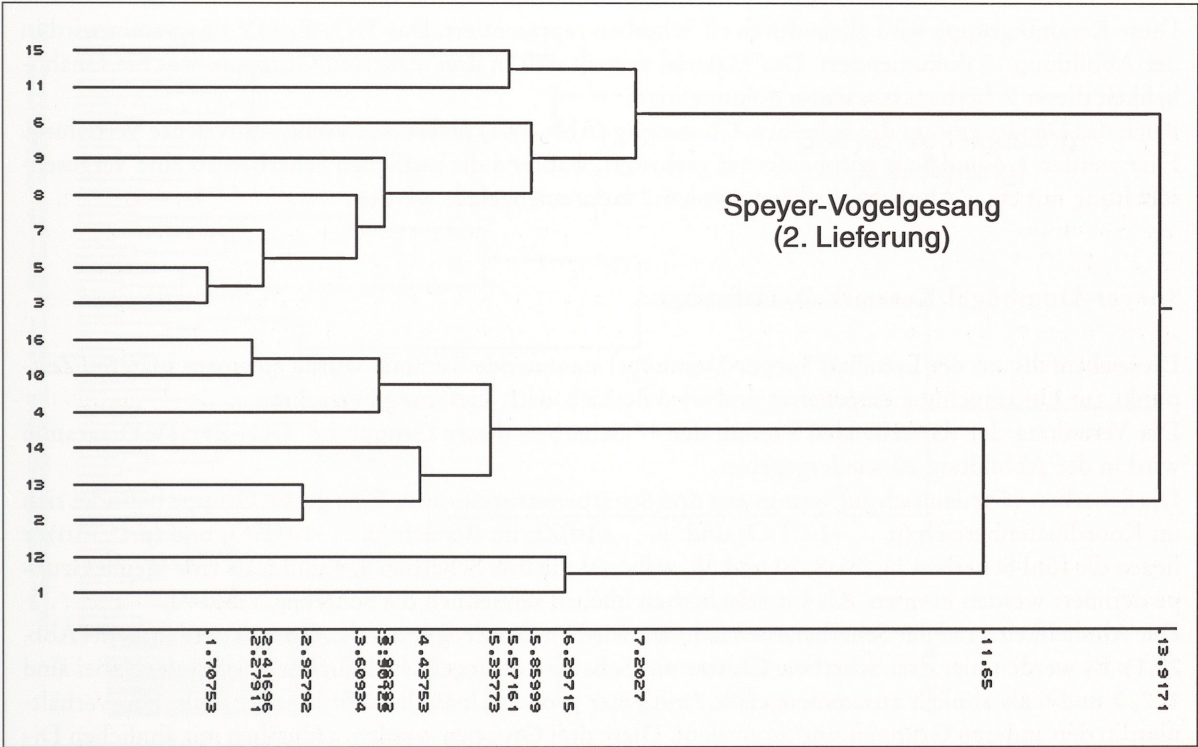


Abb. 17.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Speyer-Vogelgesang (2. Lieferung).

Speyer-Keramik (2. Lieferung)

Bei dieser zunächst als Speyer-Keramik (2. Lieferung) bezeichneten Scherbenassoziation handelt es sich um Keramikprodukte aus dem Raume Speyer »Im Vogelgesang«, sie wird deshalb von uns weiterhin als Speyer-Vogelgesang (3. Lieferung) geführt. Sie wurde bereits getrennt mineralogisch-geochemisch bearbeitet (Kritsotakis 1998). Hier sollen einige Ergebnisse in Verbindung mit den anderen Keramikgruppen präsentiert und diskutiert werden.

Das Verteilungsmuster der darstellenden Punkte im TiO_2 -Zr HV-Diagramm ist in der Abbildung 18 dargestellt.

Aus der Verteilungsstruktur der darstellenden Punkte sind mehrere Gruppierungen erkennbar. Eine große Scherbengruppe verteilt sich im Koordinatenbereich $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(\mu \dots +1.5\sigma)\text{Zr}$, während die zweitgrößte sich im Bereich $(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(-2\sigma \dots \mu)\text{Zr}$ konzentriert. Drei kleine Scherbengruppierungen sind in den Koordinatenbereichen $(-2\sigma \dots -1\sigma)\text{TiO}_2-(+0.5\sigma \dots +1.5\sigma)\text{Zr}$, $(-1\sigma)\text{TiO}_2-(-1\sigma \dots \mu)\text{Zr}$ sowie im Bereich $(+1.5\sigma \dots +3\sigma)\text{TiO}_2-(\mu \dots +2\sigma)\text{Zr}$ akkumuliert. Außerdem sind einige Einzelscherben enthalten, die keiner der obigen Gruppen zuzuordnen sind. Die Gruppierung der Scherben wird im Dendrogramm der Scherben-Clusterung veranschaulicht (Abb. 18.1).

Im Dendrogramm sind drei Hauptgruppen erkennbar, wobei zwei von ihnen mit der großen Dissimilarität von 33,2 zu einer gemeinsamen Gruppe vereinigt werden. Zu dieser Gruppe wird schließlich das dritte Scherbencluster mit einer Distanz von 42,4 zugeordnet. Das mittlere Scherbencluster besteht aus drei relativ unähnlichen Scherbenassoziationen. Scherben-Untergruppierungen sind aber auch in den anderen Hauptgruppen erkennbar. Durch das Dendrogramm tritt die inhomogene Scherbenstruktur dieser Keramikgruppe deutlich hervor.

Speyer-Domhügel-Keramik (1. Lieferung)

Diese Keramikgruppe wird allein durch elf Scherben repräsentiert. Das TiO_2 -Zr HV-Diagramm wird in der Abbildung 19 dokumentiert. Das Material verteilt sich in drei diskreten Gruppen, was die Unähnlichkeit dieser Scherbenassoziation dokumentiert.

Auch das Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 19.1) liefert eine völlig äquivalente Verteilung. Hier werden 1, 6 und 5 als gruppenfremd geclustert, während die restlichen Scherben als eine Vergesellschaftung mit einer Ähnlichkeitsdistanz von 6,2 zusammengefaßt werden.

Speyer-Domhügel Keramik (2. Lieferung)

Diese ebenfalls aus der Lokalität Speyer-Domhügel stammende Keramik wurde zu einem späteren Zeitpunkt zur Untersuchung eingeliefert und wird deshalb als 2. Lieferung bezeichnet.

Die Verteilung der darstellenden Punkte der 17 Scherben dieser Gruppe im TiO_2 -Zr HV-Diagramm wird in der Abbildung 20 wiedergegeben.

Die Scherben verteilen sich auf wenigstens drei Scherbenassoziationen. Eine große Gruppe befindet sich im Koordinatenbereich $(\mu \dots +1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(\mu \dots +1\sigma)\text{Zr}$; im Bereich $(\mu \dots -1\sigma)\text{TiO}_2$ und $(\mu \dots -1\sigma)\text{Zr}$ liegen die fünf Scherben 11, 16, 8, 10 und 30, während die drei Scherben 9, 4 und 5 als eine kleine Gruppe definiert werden können. Als Einzelscherben bleiben schließlich die Scherben 3 und 7.

Der Ähnlichkeitsgrad der Scherbenassoziationen wird im Dendrogramm der Gruppe verdeutlicht (Abb. 20.1). Es werden hier drei Scherben-Cluster mit Scherben geringer Unähnlichkeit definiert. Dabei sind 1, 2, 3 und 6 als ähnlich zusammengefaßt, 7 mit einer großen Unähnlichkeit hinzugezählt. Die Verhältnisse in den anderen Gruppen sind äquivalent. Diese drei Gruppen werden schließlich mit ähnlichen Distanzen von ca. 11,1 zu einer Gruppe integriert. Da die Dissimilaritätsdistanz 11,1 nicht so signifikant ist, können die Scherben dieser Gruppe als relativ ähnlich betrachtet werden.

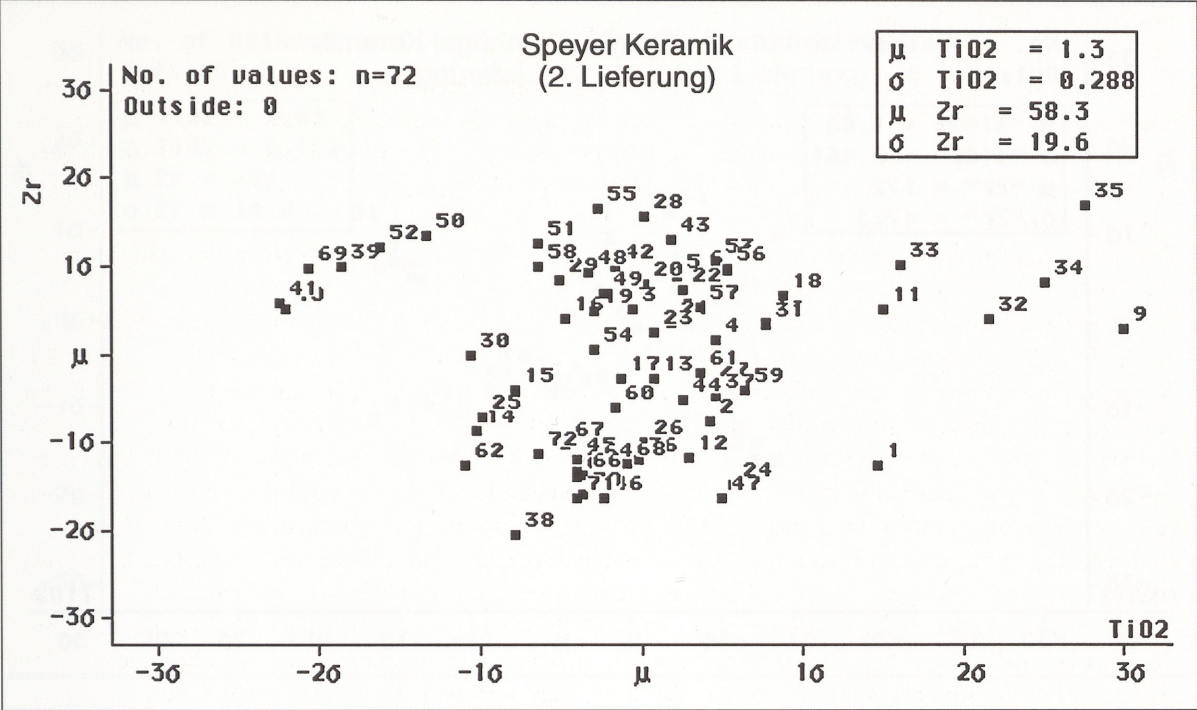


Abb. 18 Darstellende Punkte der 72 Keramikscherben aus Speyer-Vogelgesang (3. Lieferung) im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

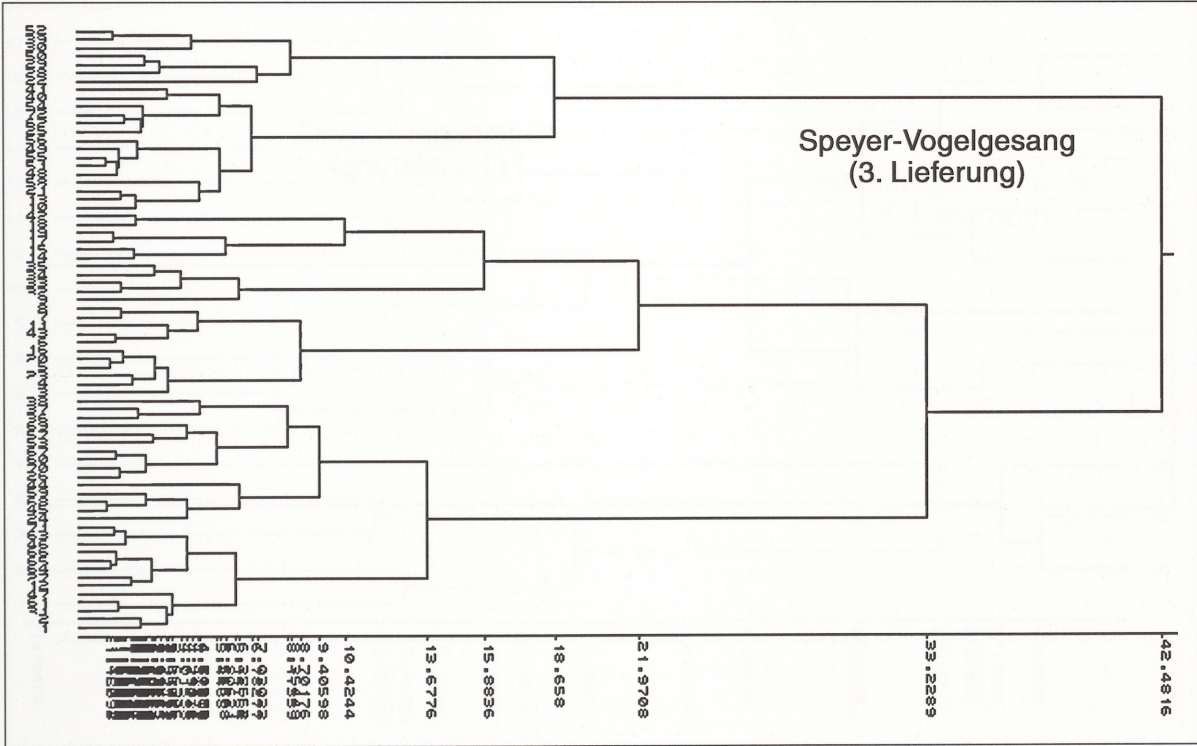


Abb. 18.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Speyer-Vogelgesang (3. Lieferung).

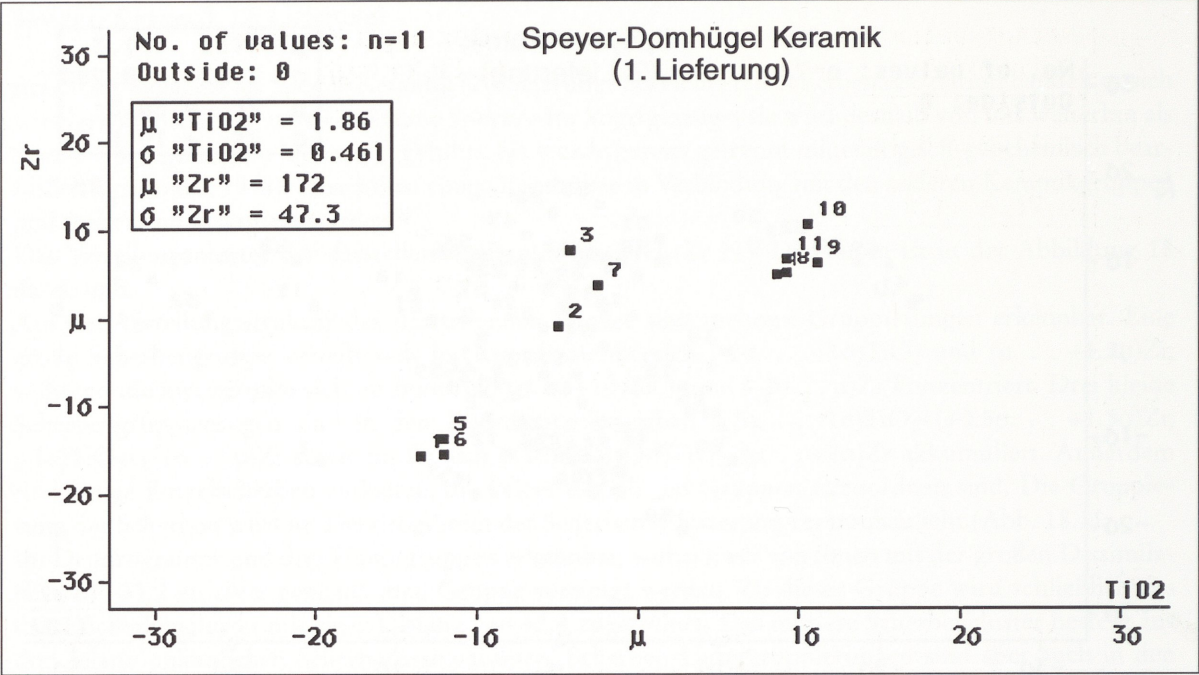


Abb. 19 Darstellende Punkte der 11 Keramikscherben aus Speyer-Domhügel (1. Lieferung) im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

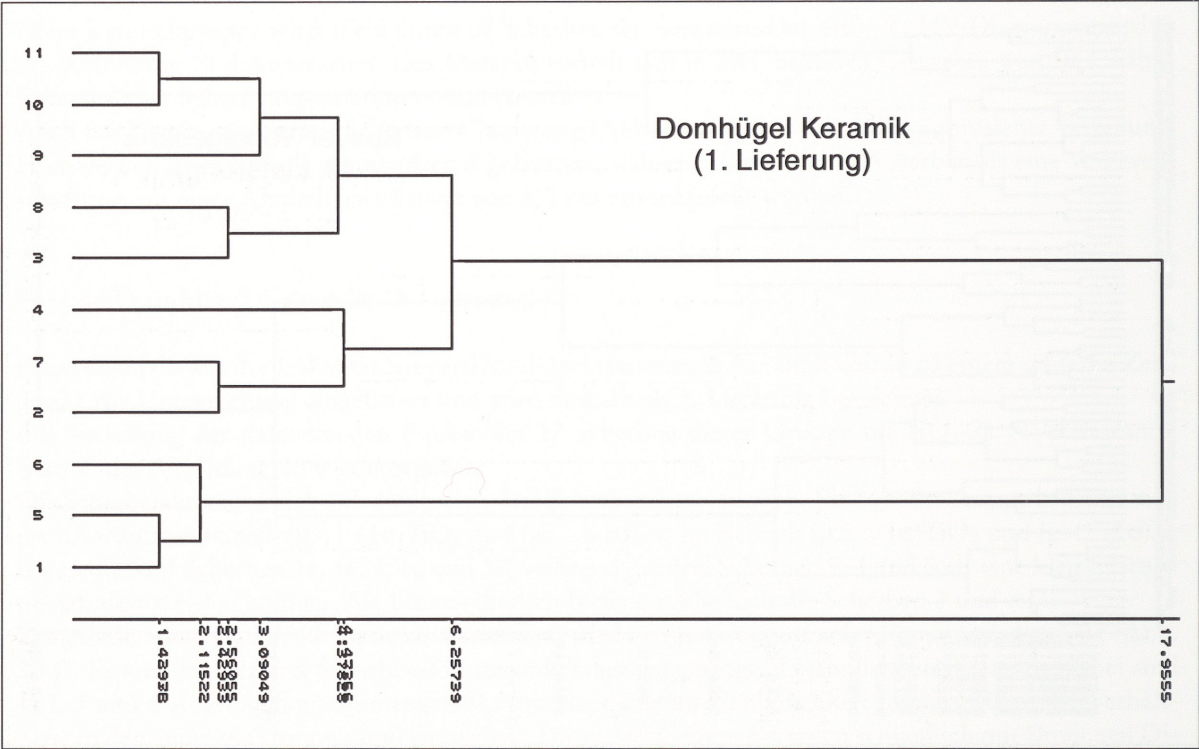


Abb. 19.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Speyer-Domhügel (1. Lieferung).

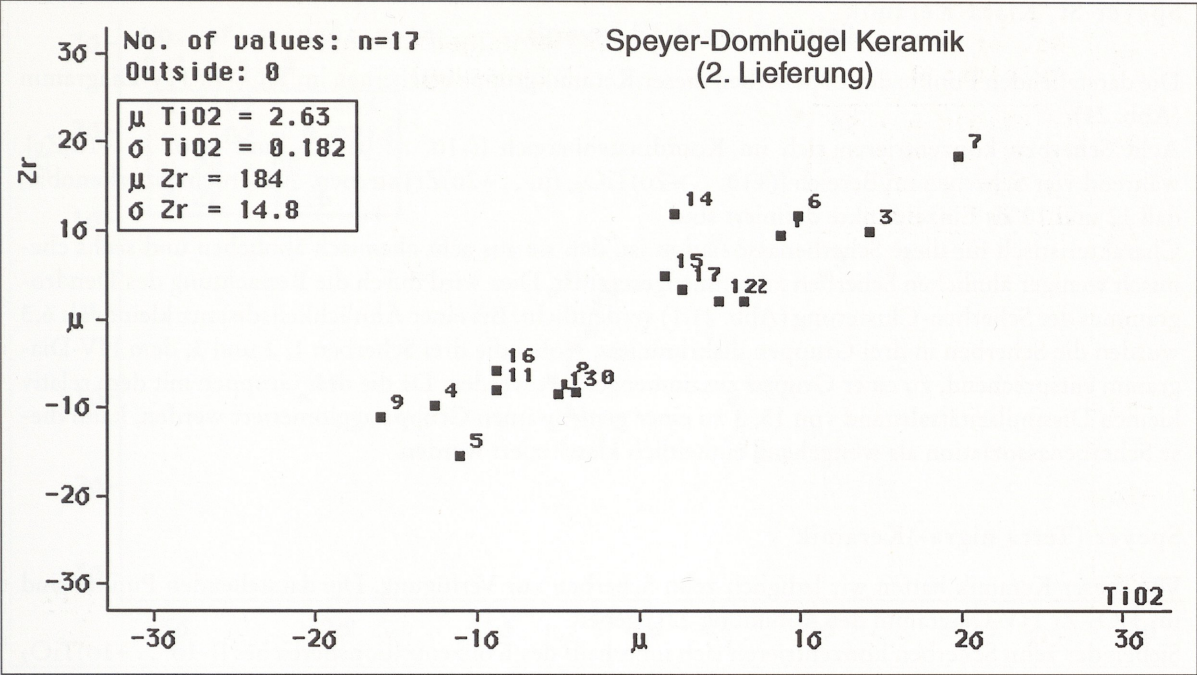


Abb. 20 Darstellende Punkte der 17 Keramikscherben aus Speyer-Domhügel (2. Lieferung) im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

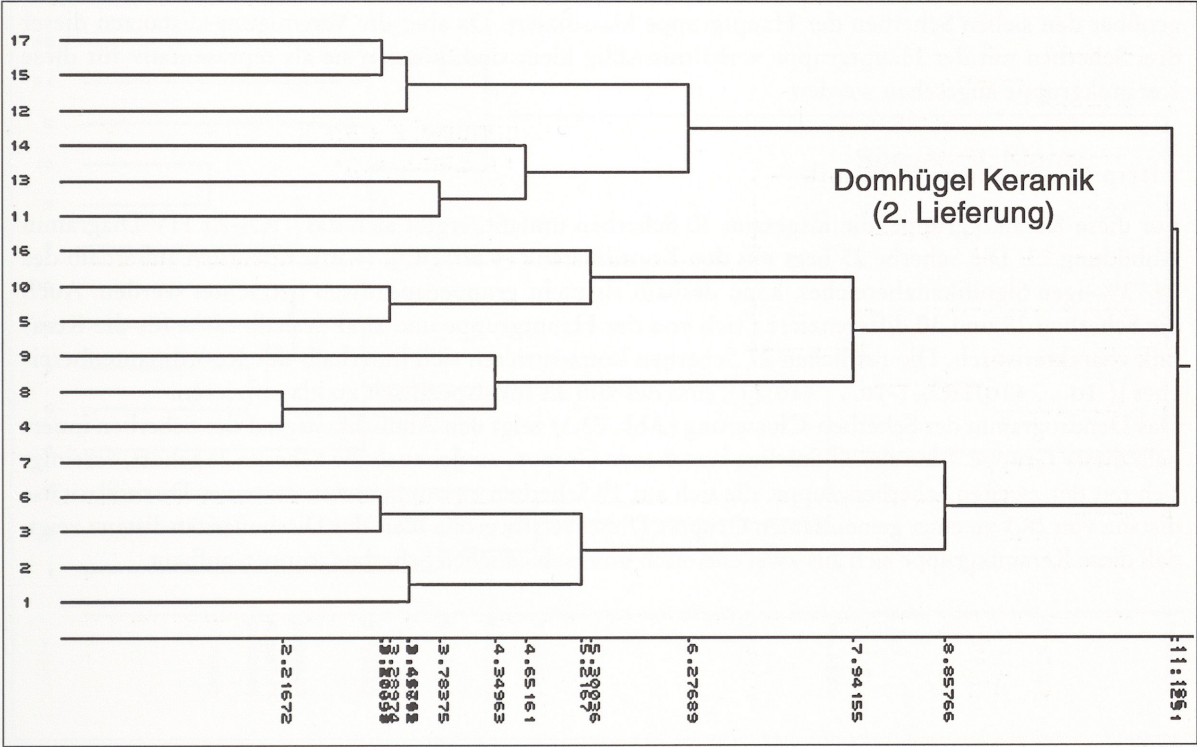


Abb. 20.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Speyer-Domhügel (2. Lieferung).

Speyer-St. Klara-Keramik

Die darstellenden Punkte der 14 Scherben dieser Keramikgruppe erscheinen im TiO_2 -Zr HV-Diagramm (Abb. 21).

Acht Scherben konzentrieren sich im Koordinatenbereich $[(-1\sigma \dots \mu)\text{TiO}_2 \text{ und } (-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}]$, während vier Scherben im Bereich $[(+1\sigma \dots +2\sigma)\text{TiO}_2, (\mu \dots +2\sigma)\text{Zr}]$ streuen. Außerdem ist erkennbar, daß 12 und 10 als Einzelpunkte definiert sind.

Charakteristisch für diese Scherbenassoziation ist, daß sie aus acht chemisch ähnlichen und sechs chemisch weniger ähnlichen Scherben zusammengesetzt ist. Dies wird durch die Betrachtung des Dendrogrammes der Scherben-Clusterung (Abb. 21.1) verdeutlicht. Bei einer Ähnlichkeitsdistanz kleiner als 6,3 wurden die Scherben in drei Gruppen diskriminiert, wobei die drei Scherben 1, 2 und 3, dem HV-Diagramm entsprechend, zu einer Gruppe zusammengeführt werden. Da die drei Gruppen mit dem relativ kleinen Dissimilaritätsabstand von 15,3 zu einer gemeinsamen Gruppe agglomeriert werden, kann diese Scherbenassoziation als weitgehend einheitlich klassifiziert werden.

Speyer (Terra nigra-)Keramik

Von dieser Keramik hatten wir lediglich zehn Scherben zur Verfügung. Die darstellenden Punkte sind im TiO_2 -Zr HV-Diagramm der Abbildung 22 gegeben.

Sieben der zehn Scherben konzentrieren sich innerhalb des Konzentrationsbereiches $[(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2 \text{ und } (-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}]$, während die Scherben 1, 5 und 9 außerhalb liegen. Mit Ausnahme dieser drei Scherben bilden die restlichen eine chemisch homogene Scherbenassoziation.

Die Ähnlichkeit der zehn Scherben dieser Keramikgruppe wird durch das Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 22.1) veranschaulicht.

Die Clusterung der Scherben im Dendrogramm entspricht im großen und ganzen der Verteilung der Scherben im HV-Diagramm. Die Scherben 4 und 9 sowie die Scherbe 1 werden als relativ unähnlich gegenüber den sieben Scherben der Hauptgruppe klassifiziert. Da aber die Vereinigungsdistanzen dieser drei Scherben mit der Hauptgruppe verhältnismäßig klein sind, können sie als repräsentativ für diese Keramikgruppe angesehen werden.

Altrip (Terra nigra-)Keramik

Für diese Keramikgruppe, die insgesamt 30 Scherben umfaßt, ergibt sich das TiO_2 -Zr HV-Diagramm Abbildung 23. Die Scherbe 25 liegt mit den Koordinaten $(+4.5\sigma)\text{TiO}_2, (+3\sigma)\text{Zr}$ deutlich außerhalb des 99,73%-igen Signifikanzbereiches, kann deshalb als nicht gruppenspezifisch betrachtet werden. Auch die Scherben 28 und 30 differenzieren sich von der Hauptgruppe und sind deshalb nicht für die Keramik charakteristisch. Die restlichen 27 Scherben konzentrieren sich innerhalb des Koordinatenbereiches $[(-1\sigma \dots +1\sigma)\text{TiO}_2, (-1\sigma \dots +1\sigma)\text{Zr}]$, sind deshalb als lokalspezifisch zu klassifizieren.

Das Dendrogramm der Scherben-Clusterung (Abb. 23.1) zeigt den Ähnlichkeitsgrad der Scherben innerhalb dieser Gruppe. Eine aus elf Stücken bestehende Gruppe, zu der auch die Scherbe 25 gehört, vereinigt sich mit der zweiten Scherbengruppe, die sich aus 19 Scherben zusammensetzt, mit einer Dissimilaritätsdistanz von 28,1 zu einer gemeinsamen Gruppe. Dieser relativ große Wert der Dissimilaritätsdistanz zeigt, daß diese Keramikgruppe sich aus zwei chemisch unterschiedlichen Scherbengruppen aufbaut.

*

Bei der Diskussion über den Homogenitätsgrad der hier betrachteten Keramikgruppen hat sich gezeigt, daß alle vorgelegten Scherbenassoziationen aus einer Hauptgruppe und einem oder mehreren

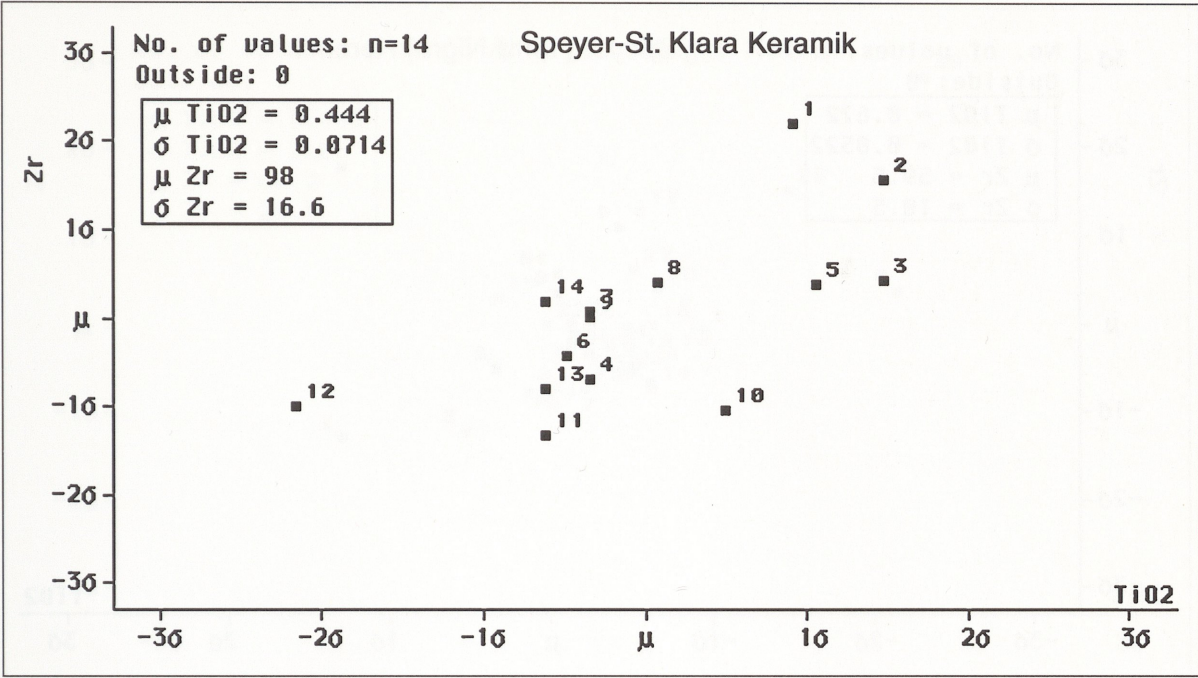
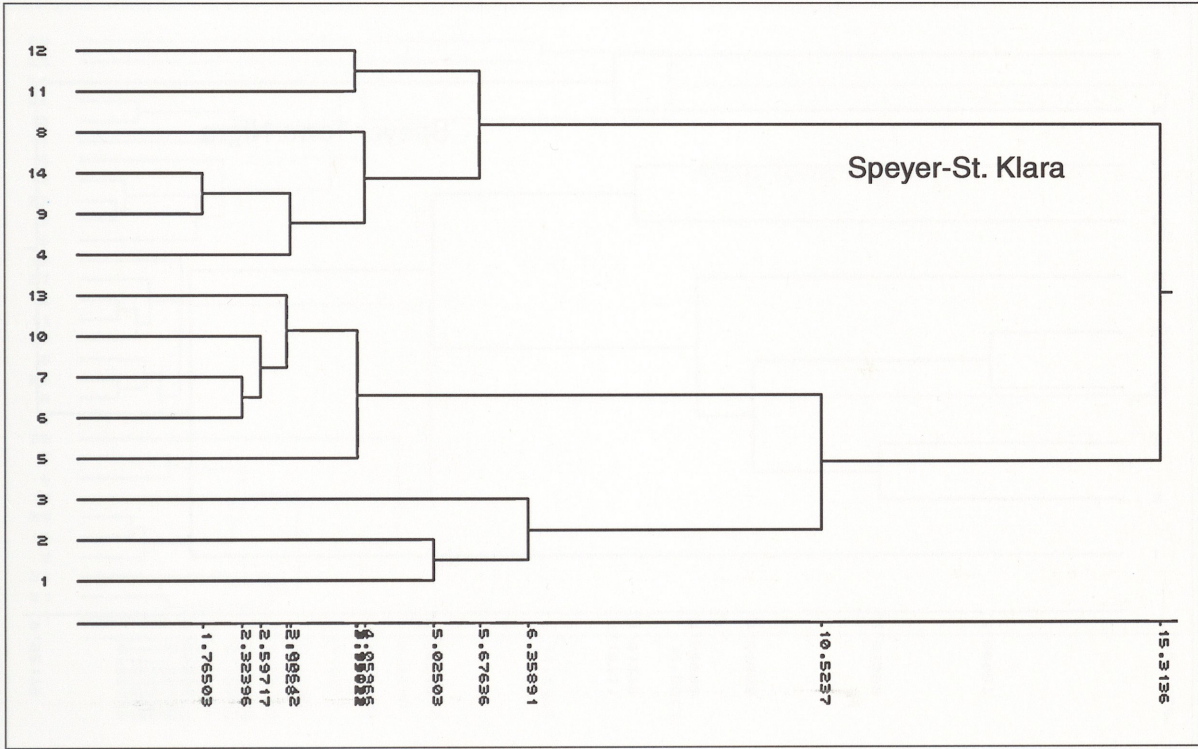


Abb. 21 Darstellende Punkte der 14 Keramikscherben aus Speyer-St. Klara im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.



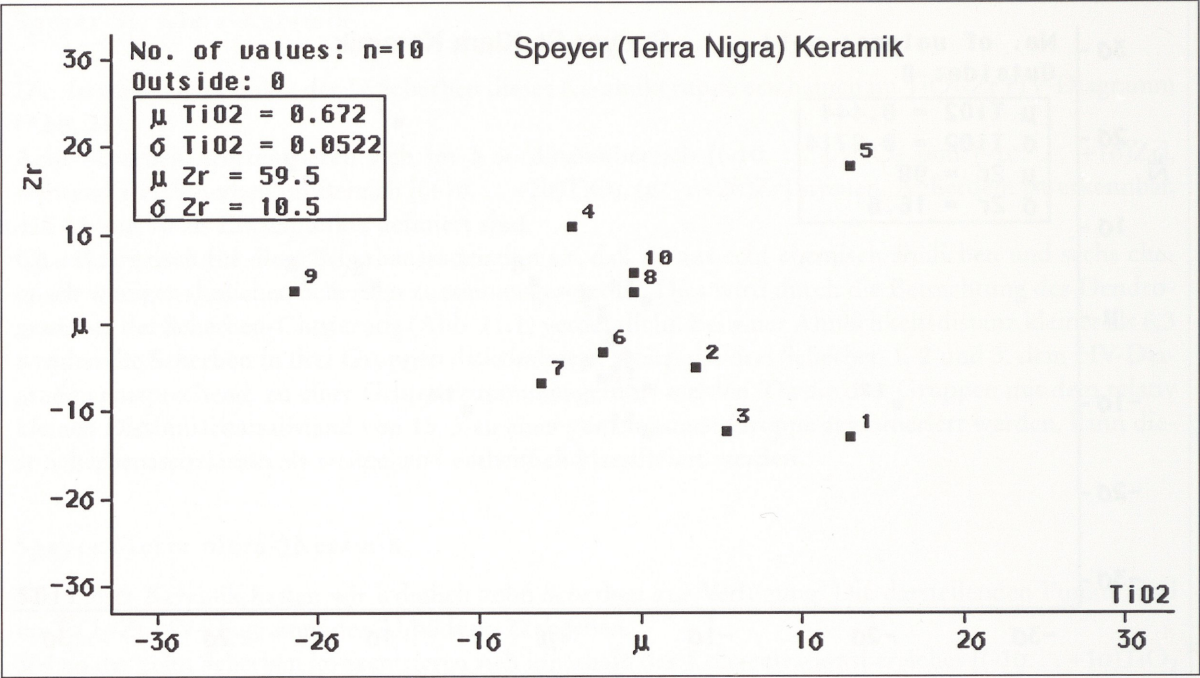


Abb. 22 Darstellende Punkte der 11 Terra nigra-Keramikscherben aus Speyer im TiO_2 -Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

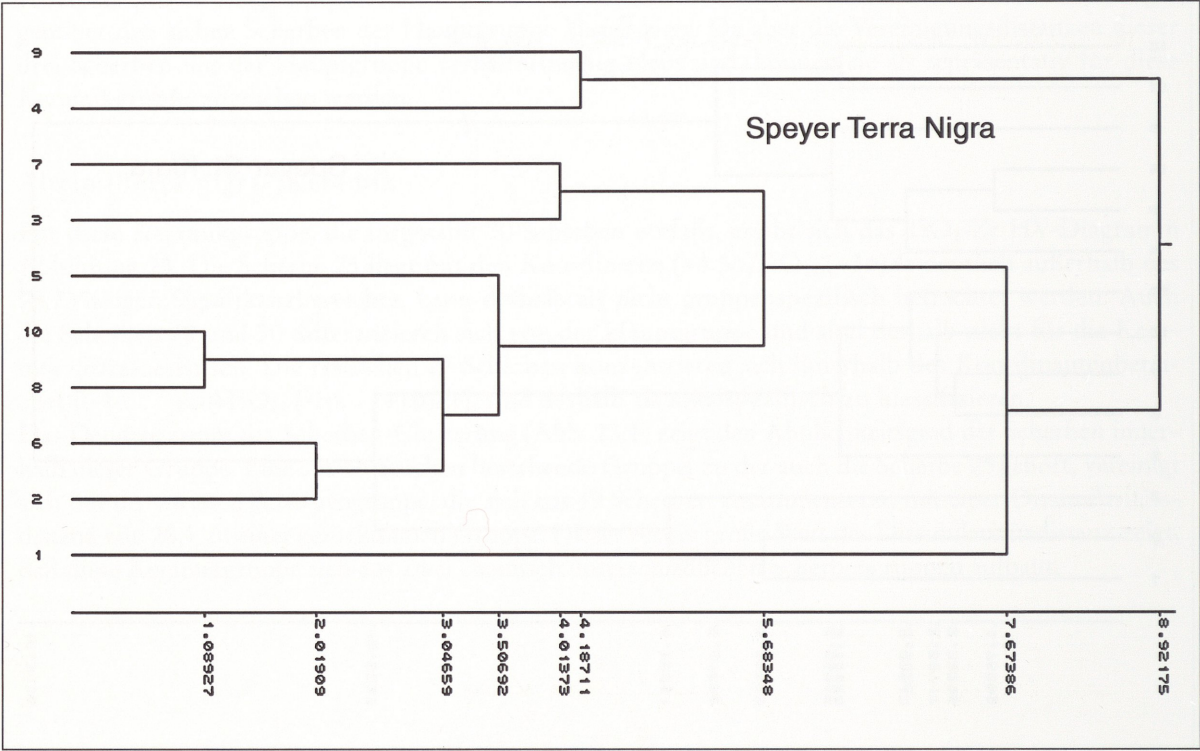


Abb. 22.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Speyer (Terra nigra).

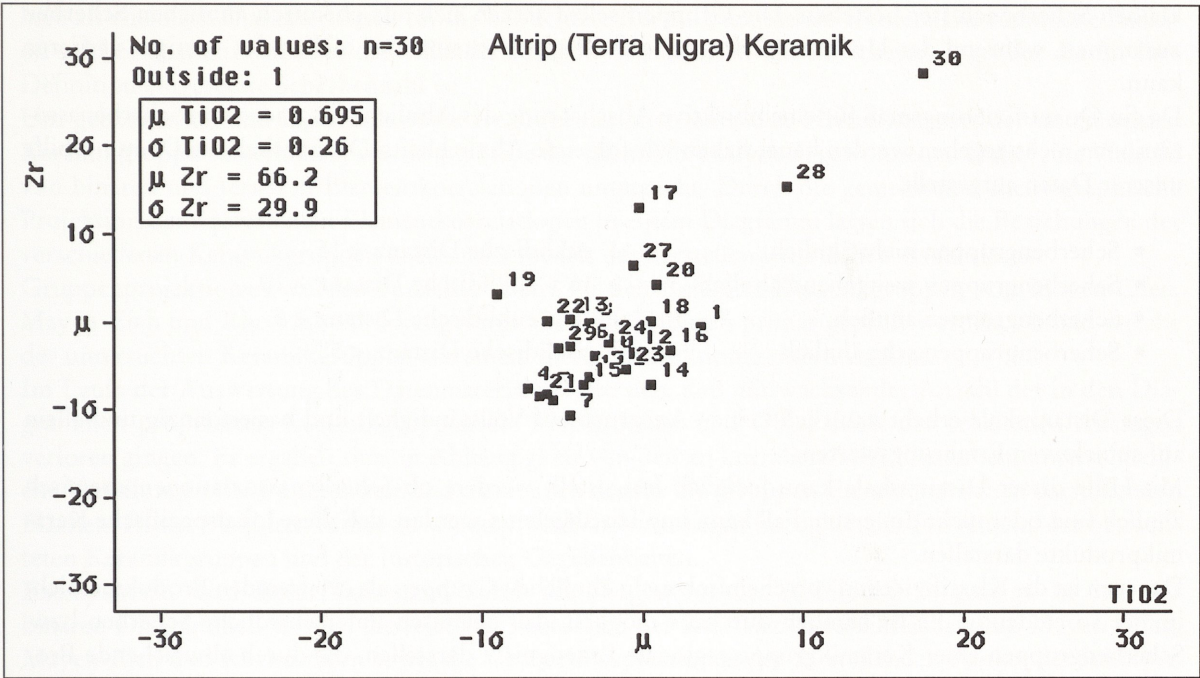


Abb. 23 Darstellende Punkte der 30 Terra nigra Keramikscherben aus Altrip im TiO₂-Zr HV-Diagramm bei einem Vertrauensbereich von 99,73%.

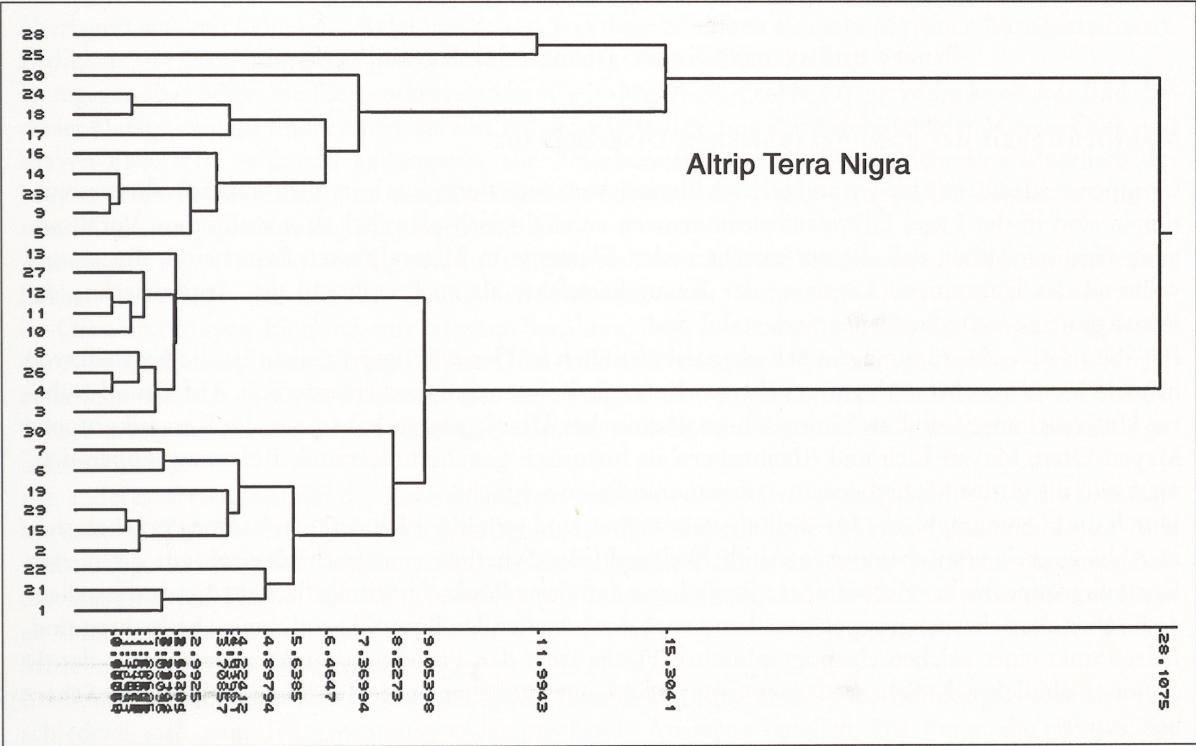


Abb. 23.1 Dendrogramm der Scherben-Clustering der Keramikgruppe Altrip Terra nigra.

kleinen Scherbencluster bestehen. Die Gruppen selbst setzen sich aus chemisch ähnlichen Scherben zusammen, während der Unähnlichkeitsgrad der Gruppen zueinander mehr oder weniger variieren kann.

Da ein Quantifizierungsmaß für eine objektive Abschätzung des Ähnlichkeitsgrades von Scherbenassoziationen nicht gegeben werden kann, haben wir folgende Ähnlichkeits-Distanzskala als Deutungshilfe unserer Daten aufgestellt.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Scherbengruppen nicht ähnlich | ÷ euklidische Distanz ≥ 15 |
| • Scherbengruppen weitgehend ähnlich | ÷ $15 >$ euklidische Distanz ≥ 10 |
| • Scherbengruppen ähnlich | ÷ $10 >$ euklidische Distanz ≥ 5 |
| • Scherbengruppen sehr ähnlich | ÷ euklidische Distanz < 5 |

Diese Distanzskala erhebt natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit und basiert einzig und allein auf subjektiven Erfahrungswerten.

Mit Hilfe dieser Distanzskala kann lediglich festgestellt werden, ob Scherbenassoziationen chemisch ähnlich sind oder nicht. Im ersten Fall kann implizit abgeleitet werden, daß diese lokalspezifische Keramikprodukte darstellen.

Dagegen ist die Klassifizierung von chemisch nicht ähnlichen Gruppen als ortsfremden Produkten nicht immer so eindeutig. Es ist nämlich durchaus möglich, daß chemisch unterschiedliche Scherben bzw. Scherbengruppen einer Keramikgruppe regionale Erzeugnisse darstellen, die durch abweichende Produktionsverfahren und/oder aus chemisch unterschiedlichen Tönen, z.B. als Folge der Ausbeutung mehrerer Tonlager, hergestellt wurden. Auch innerhalb einer lokalen Produktion sind wegen der räumlich und zeitlich bedingten, geringfügigen Schwankungen der Rohstoff- und/oder der Herstellungsqualität schwache chemische Differenzierungen möglich oder gar unvermeidlich.

Binäre und ternäre Korrelationen der Keramikgruppen

Mehrdeutigkeit der chemographischen Diskriminanz

Gruppenvergleichende binäre und ternäre Elementkonzentrationsplots von mehreren Scherbenassoziationen sind in der Lage, Gruppendiskriminanz archäologisch plausibel zu visualisieren. Voraussetzung hierfür ist aber, daß die zu korrelierenden Elemente in Mineralphasen fixiert sind, die sowohl während der langzeitigen Lagerung der Keramikartefakte als auch während der Argilitisierung der Primärgesteine weitgehend chemisch stabil sind.

Für die relative Zuordnung von Scherbenassoziationen in Herstellungsprovinzen ist die Existenz von historisch und geochemisch gut gesicherten Keramik-Referenzgruppen erforderlich. Auf Grund früherer Untersuchungen und archäologisch-geochemischer Überlegungen haben wir die Keramikgruppen Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern als historisch gesicherte Keramik-Referenzgruppen definiert und die übrigen Scherbenassoziationen mit diesen verglichen.

Durch die chemographische Darstellung von binären und ternären Elementkorrelationen ergeben sich, in Abhängigkeit vom chemischen Ähnlichkeitsgrad der Scherben einer archäologisch gut definierten Keramikgruppe, mehr oder weniger räumlich gut definierte Punktclusterungsflächen, die als darstellende Flächen der Scherbengruppen und damit auch der betreffenden Keramikprodukte zu betrachten sind. Jeder Punkt einer solchen chemographischen Fläche stellt den Projektionspunkt einer Scherbe dar. Je chemisch ähnlicher die Scherben einer Gruppe sind, um so kleiner ist die darstellende Fläche der Scherbengruppe.

Der Verdichtungsbereich der Punkte, der wenigstens 80% aller Scherben umfassen sollte, bildet eine darstellende Fläche, welche die chemische Variabilität der Scherbengruppe kennzeichnet; sie kann des-

halb als chemisch charakteristisch für die betrachtete Keramik angesehen werden. Die räumliche Position solcher charakteristischer darstellender Flächen ist statistisch um so sicherer, je größer die für ihre Definition eingesetzte Scherbenzahl ist.

Um geochemisch und historisch objektive Informationen über den Herstellungsort der untersuchten Keramikgruppen zu erhalten, wurde mit Hilfe der chemisch-analytisch gewonnenen Daten eine Vielzahl von binären und ternären Elementkorrelationen untersucht. Durch die gemeinsame chemographische Projektion der äquivalenten Elementkorrelationen in einem Diagramm lassen sich die Beziehungen der verschiedenen Keramikgruppen zueinander mittels der darstellenden Flächen visualisieren.

Gruppenprojektionen wurden zunächst relativ zu den Referenz-Keramikgruppen von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern durchgeführt. Es sollte dadurch primär geprüft werden, ob und welche der untersuchten Keramikgruppen aus einem dieser Produktionszentren stammt.

Im Laufe der Auswertung des Datenmaterials zeigte sich, daß mit wachsender Anzahl der in den Diagrammen projizierten Keramikgruppen die Eindeutigkeit und Objektivität der erhaltenen Aussagen verloren gingen. Es ergaben sich, in Abhängigkeit von den zu korrelierenden Elementen, unterschiedliche Verteilungen der Punktcluster und damit auch der für die Gruppen charakteristischen darstellenden Flächen. Dieses Verhalten führte zu widersprüchlichen Aussagen bezüglich der Provenienz der betrachteten Keramikgruppen und der historischen Gegebenheiten.

Exemplarisch wird dieser Tatbestand durch die Diagramme der Abbildung 24 gezeigt. In den vier binären Diagrammen werden die relativen Positionen der Referenz-Keramikflächen von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern sowie die Clusterungspositionen der darstellenden Punkte der Scherben der Altrip-Keramikgruppe chemographisch dargestellt.

Binäre Diskriminanzdiagramme

Bei der binären Elementkorrelation $\text{TiO}_2\text{-(Al}_2\text{O}_3/10)$ werden alle drei Referenz-Keramikgruppen deutlich voneinander getrennt (Abb. 24,1). Der größte Teil der darstellenden Punkte der Altrip-Scherben überlagert sich mit keiner der Referenzflächen, was diese Scherben als nicht Mayener Ware klassifiziert. Lediglich vier Projektionen liegen im Bereich der des Mayen-Ofen-Feldes.

Demgegenüber liefert die Elementkorrelation $(\text{CaO}+\text{MgO})\text{-(K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ ein völlig konträres Bild. Bei dieser Darstellung (2) findet einerseits eine teilweise Überlagerung der Referenzfelder Mayen-Ofen und Mayen-Eich statt, während andererseits alle Projektionspunkte der Altrip-Scherben innerhalb des Mayen-Ofen-Feldes fallen. Dies charakterisiert alle Scherben der Altrip-Gruppe, im Gegensatz zum ersten Diagramm, als eindeutig Mayener Produkte.

Aus dem Cr-Zr-Korrelationsdiagramm (3) ergibt sich eine andere Verteilung, sowohl der Referenzflächen als auch der darstellenden Punkte der Altrip-Scherben. Während die Referenzflächen von Mayen-Ofen und Mayen-Eich sich nur schwach berühren, liegt nur etwa die Hälfte der Projektionspunkte der Altrip-Scherben innerhalb des Mayen-Ofen-Feldes. Die andere Hälfte akkumuliert in einem Bereich außerhalb des Mayen-Ofen-Feldes. Dieses Verteilungsmuster impliziert den Eindruck, daß ein Teil der Scherben aus der Mayen-Ofen Produktion stammt, während der Rest aus einer weiteren Werkstatt geliefert wurde.

Ein anderes Verteilungsbild der Referenzflächen und der Altripscherben zeigt schließlich die Elementkorrelation $(\text{Zr}/100)\text{-TiO}_2$ (4). Dabei überlagern sich die Referenzflächen Mayen-Ofen und Mayen-Eich vollständig, und lediglich ein kleiner Teil der darstellenden Punkte der Altrip-Scherben liegt innerhalb der Mayen-Ofen-Fläche. Die daraus abzulesende Information ist, daß die Keramikprodukte aus Mayen-Ofen und Mayen Eich aus der gleichen Töpferei stammen und daß nur ein kleiner Teil der Altrip-Scherben aus Mayen-Ofen geliefert wurde.

Bei der Betrachtung und Interpretation der vier Korrelationsdiagramme der Abbildung 24 sind also verschiedene, sich zum Teil gegenseitig widersprechende Aussagen möglich. Die Frage, die sich bei der Analyse dieser Diagramme stellt lautet, welche der möglichen sich ergebenden Aussagen die historisch korrekte Information liefert?

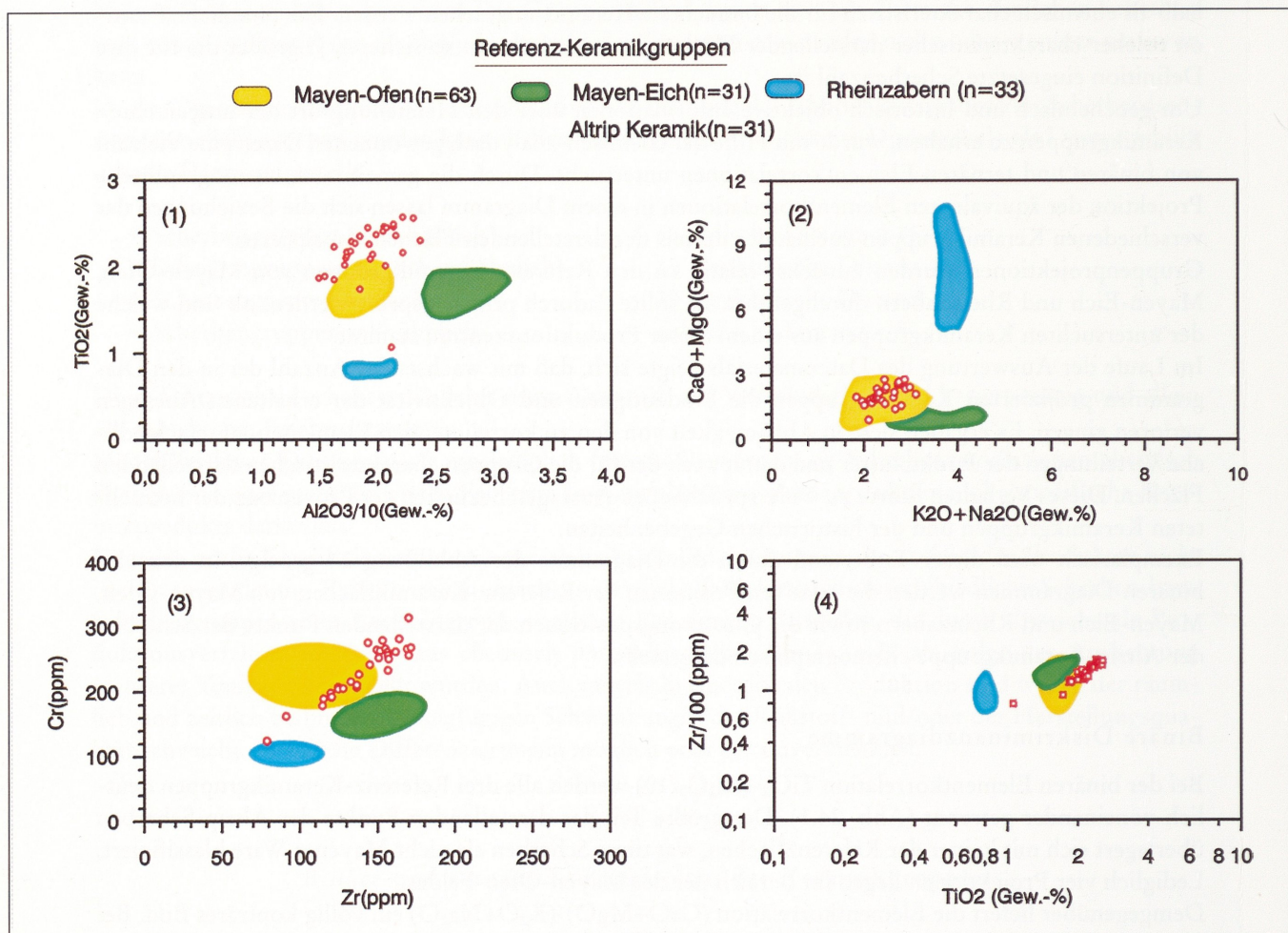


Abb. 24 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppe Altrip in verschiedenen binären Elementkorrelationen.

Ternäre Diskriminanzdiagramme

Das gleiche Interpretationsdilemma stellt sich auch bei der Betrachtung von ternären Elementkorrelationen. Bei dieser chemographischen Darstellungsart werden drei statt zwei Elemente für die klassifikatorische Korrelation herangezogen. Um auch diese Problematik zu veranschaulichen, werden drei verschiedene ternäre Korrelationsdiagramme, die in der Abbildung 25 zusammengefaßt sind, kurz diskutiert. Es ergeben sich ebenfalls mehrere Deutungsmöglichkeiten bezüglich des historischen Inhaltes der Aussagen.

So sind im ersten Diagramm die drei Referenzflächen deutlich voneinander getrennt, und nur ein Teil der Altrip-Scherben wird im Mayen-Ofen-Feld projiziert. Beim Diagramm (2) ist die Trennung der Mayener Referenzflächen nicht mehr so eindeutig, und die darstellenden Punkte der Altrip-Scherben fallen alle innerhalb des Mayen-Ofen-Feldes. Schließlich ergibt sich beim Diagramm (3) eine vollständige Überlagerung sowohl des Eich-Referenzfeldes als auch aller Projektionspunkte der Altrip-Scherben mit der Mayen-Ofen-Fläche.

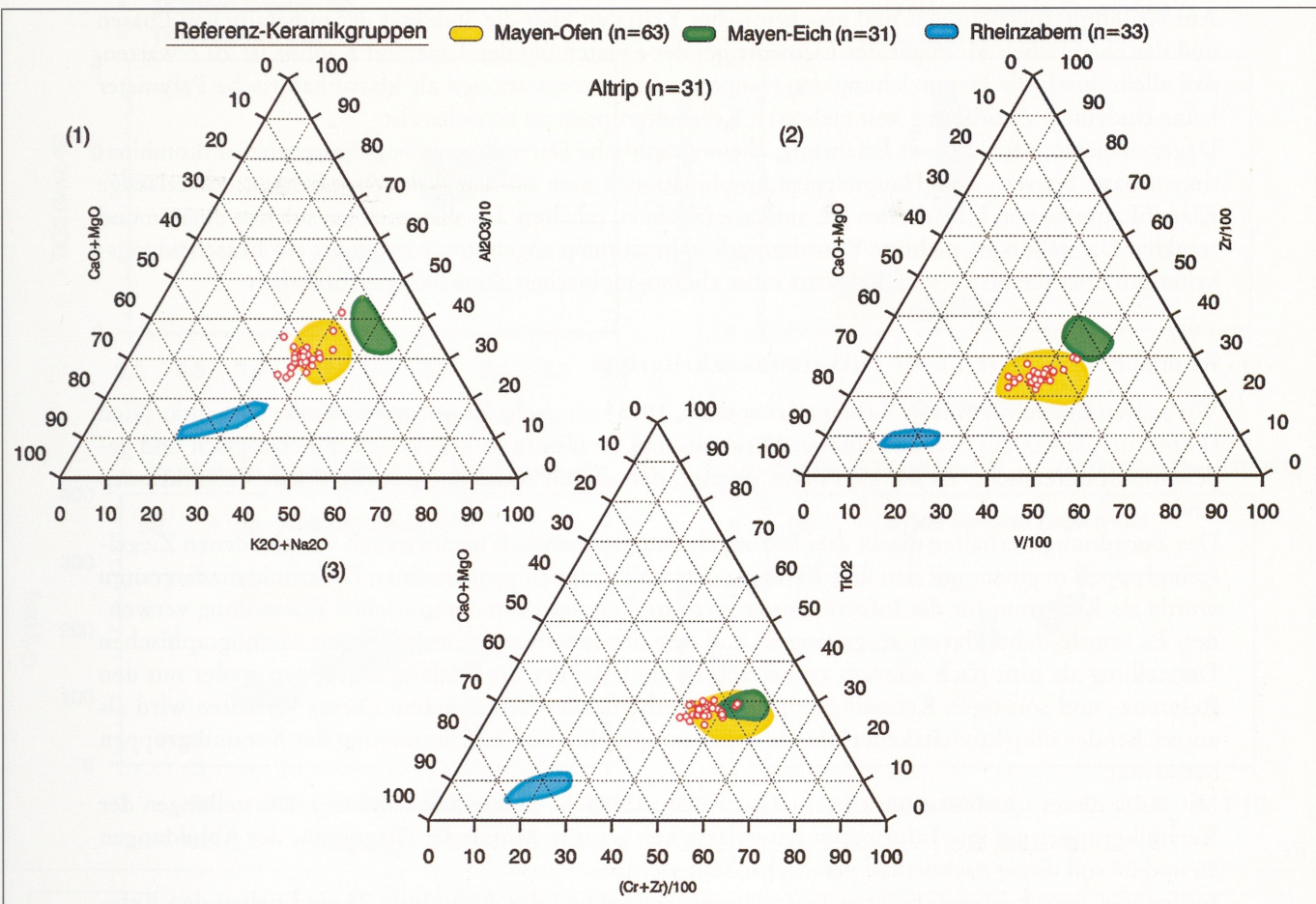


Abb. 25 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppe Altrip in drei verschiedenen ternären Elementkorrelationen.

Vergleicht man die Aussagen der binären Diagramme mit denen der ternären Diagramme, so ist keine übereinstimmende Informationsäquivalenz erkennbar.

Diese hier exemplarisch diskutierten Beispiele, die durch die Heranziehung weiterer Darstellungssysteme ergänzt werden können, dokumentieren sehr eindringlich die Problematik der chemographischen Klassifizierung von historischen Keramikartefakten. Eine sichere und objektive Aussage über die Provenienz von Keramikartefakten auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung scheint nicht immer möglich zu sein. So ergeben sich aus den diskutierten binären und ternären Diagrammen für die Keramikprodukte aus Altrip drei verschiedene Provenienzzuordnungen:

1. Alle Keramikprodukte aus Altrip stammen aus der Produktion von Mayen-Ofen.
2. Nur ein Teil der Keramikprodukte aus Altrip stammt aus der Mayen-Ofen-Produktion.
3. Keines der Keramikprodukte aus Altrip stammt aus der Mayen-Ofen-Produktion.

Welche dieser drei Aussagen ist die historisch relevante? Dem Historiker könnte nun aus den drei Interpretationsmöglichkeiten diejenige angeboten werden, die seinen Ansichten weitgehend entspricht. Dies kann jedoch wissenschaftlich nicht akzeptabel sein. Es müssen deshalb weitere zuverlässige Kriterien erarbeitet werden, mit deren Hilfe eine objektive und eindeutige Entscheidung über die Provenienz einer historischen Scherbenvergesellschaftung getroffen werden kann.

Auf Grund petrogenetischer und geochemischer Kriterien über die Stabilität der mineralischen Phasen und der chemischen Mobilität der Elemente bei der Entstehung der Tone und Kaoline ist zu erwarten, daß allein durch die Heranziehung der Hauptelementkonzentrationen als klassifikatorische Parameter keine eindeutige Zuordnung von mehreren Keramikgruppen zu erreichen ist.

Dagegen bieten, nach unserer Erfahrung, chemographische Darstellungen von Spurenelementkombinationen bzw. Spuren- und Hauptelementkombinationen eine höhere Wahrscheinlichkeit, zuverlässige Klassifikationen von historischen Keramikartefakten zu erhalten. Da aber auch bei solchen binären und ternären Darstellungen mehrere Zuordnungskombinationen angeboten werden, ist ein Entscheidungskriterium über die historische Relevanz einer chemographischen Zuordnung erforderlich.

Römische Ziegelsteine als Diskriminanzkriterium

Wir hatten in einer früheren Arbeit (Kritsotakis, 1995) römische Ziegelsteine aus der Lokalität Nied (Frankfurt) sowie aus den Lokalitäten Mirebeau und Straßburg in Frankreich mineralogisch und geochemisch untersucht. Es hat sich dabei gezeigt, daß diese Produkte eindeutig lokale Produktionen sind.

Das Zuordnungsverhalten dieser drei historisch und geochemisch nachweislich verschiedenen Ziegelsteingruppen in einem mit den drei Referenz-Keramikgruppen gemeinsamen Diskriminanzdiagramm wurde als Kriterium für die Informationszuverlässigkeit der chemographischen Darstellung verwendet. Es wurde dabei davon ausgegangen, daß nur die Informationen derjenigen chemographischen Darstellung als historisch relevant zu betrachten sind, bei der die Ziegelsteingruppen weder mit den Referenz- und sonstigen Keramikgruppen noch miteinander koinzidieren. Dieses Verhalten wird als ausreichendes Objektivitätskriterium für die chemographische Diskriminierung der Keramikgruppen betrachtet.

Mit Hilfe dieses Qualifikationskriteriums wurden zahlreiche Elementdiskriminanz-Darstellungen der Keramikgruppen auf ihre Informationszuverlässigkeit geprüft. Mittels der Diagramme der Abbildungen 26 und 27 soll dieser Sachverhalt veranschaulicht werden.

In den vier verschiedenen binären Korrelationsdiagrammen der Abbildung 26 sind neben den Referenz-Keramikflächen auch die darstellenden Punkte der drei Ziegelsteingruppen eingetragen. Beim Diagramm (1) fällt der größte Teil der darstellenden Punkte der Nieder Ziegelsteine in das Mayen-Ofen-Feld, während die darstellenden Bereiche von Mirebeau und Straßburg sich nur teilweise überlagern.

Da mit Sicherheit auszuschließen ist, daß ein Teil der Nieder Ziegelsteine aus der Mayen-Ofen-Produktion stammt, und daß die Ziegelsteine aus Mirebeau und Straßburg im gleichen Ort produziert wurden, ist diese graphische Darstellung für Provenienzaussagen nicht gut geeignet.

Auch bei der im Diagramm (2) gezeigten Elementkorrelation liegen die darstellenden Punkte der Ziegelsteingruppen Nied und Straßburg voll im Mayen-Ofen-Referenzbereich, was deren Abstammung aus Mayen-Ofen impliziert. Dies ist jedoch ohne Zweifel falsch, so daß sich auch diese Elementenkorrelation für die Diskriminanz von Keramikgruppen als nicht brauchbar erweist.

Dagegen scheinen die binären Cr-Zr- und (Zr/100)-TiO₂-Plots der Diagramme (3) und (4) realistische Zuordnungsinformationen zu liefern. In beiden werden die Ziegelsteingruppen sowohl voneinander als auch von den Referenz-Keramikgruppen deutlich diskriminiert. Das Diagramm (4) wird aber als weniger aussagekräftig betrachtet, da sich die Referenzflächen von Mayen-Ofen und Mayen-Eich völlig

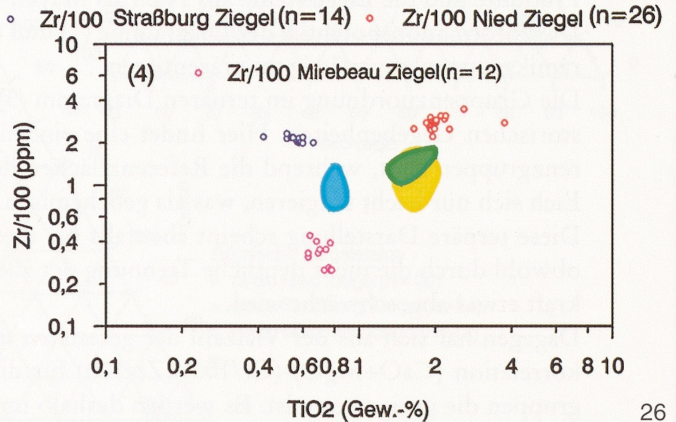
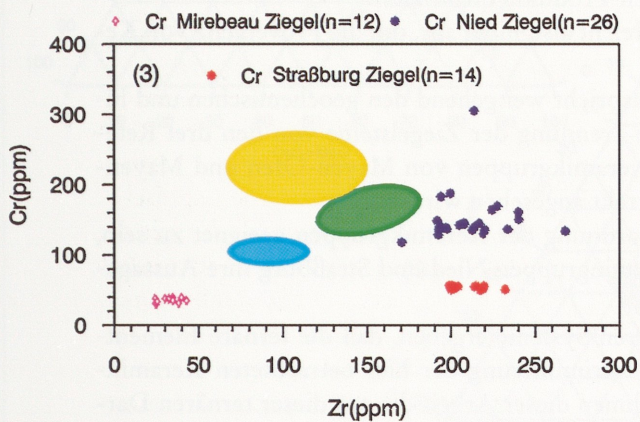
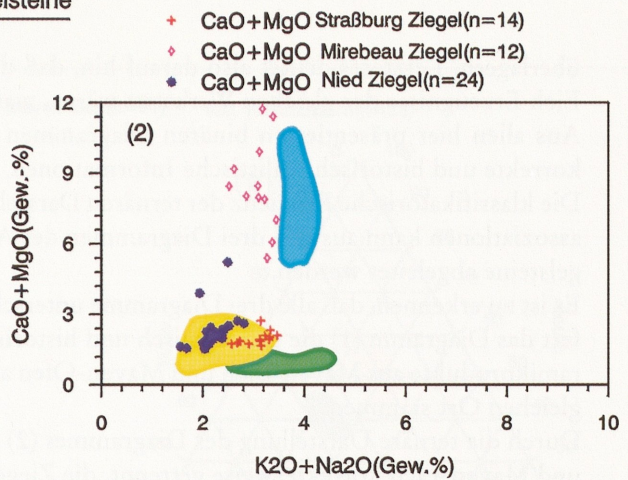
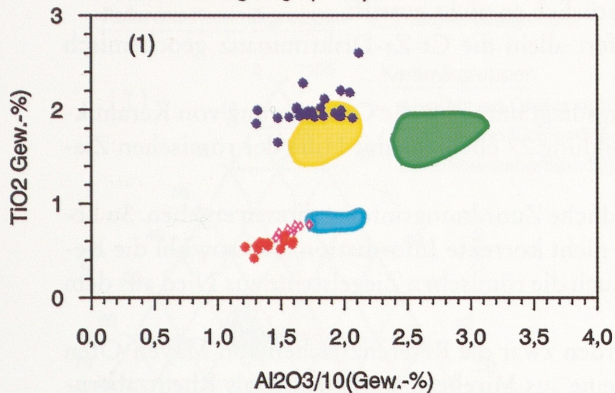
Abb. 26 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der römischen Ziegelsteine aus Nied, Mirebeau und Straßburg in vier verschiedenen binären Systemen. →

Abb. 27 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der römischen Ziegelsteine aus Nied, Mirebeau und Straßburg in drei verschiedenen ternären Systemen. →

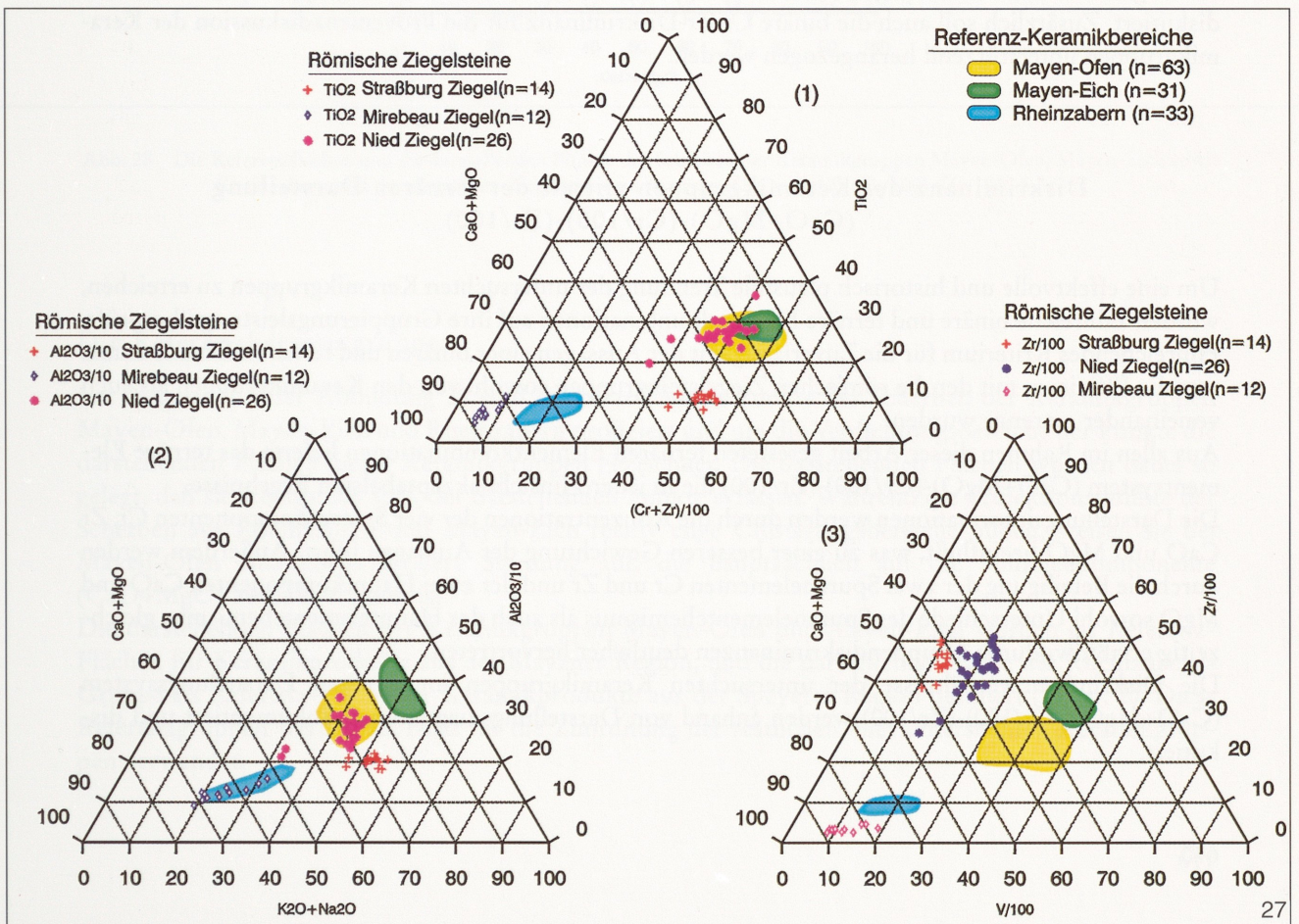
Referenz-Keramikbereiche ■ Mayen-Ofen (n=63) ■ Mayen-Eich (n=31) ■ Rheinzabern (n=33)

Römische Ziegelsteine

- ♦ TiO_2 Mirebeau Ziegel(n=12)
- ♦ TiO_2 Nied Ziegel(n=26)
- ♦ TiO_2 Straßburg Ziegel(n=14)



26



27

überlagern. Letzteres deutet also darauf hin, daß die Keramikprodukte aus Mayen-Ofen und Mayen-Eich Erzeugnisse der gleichen Werkstatt wären, was natürlich so nicht zutrifft.

Aus allen hier präsentierten binären Diagrammen liefert allein die Cr-Zr-Diskriminanz geochemisch korrekte und historisch realistische Informationen.

Die klassifikatorische Effizienz der ternären Darstellungsdiagramme für die Gruppierung von Keramikassoziationen kann aus den drei Diagrammen der Abbildung 27 ebenfalls mit Hilfe der römischen Ziegelsteine abgeleitet werden.

Es ist zu erkennen, daß alle drei Diagramme unterschiedliche Zuordnungsinformationen ergeben. So liefert das Diagramm (1) die geochemisch und historisch nicht korrekte Information, daß sowohl die Keramikprodukte aus Mayen-Eich und Mayen-Ofen als auch die römischen Ziegelsteine aus Nied aus dem gleichen Ort stammen.

Durch die ternäre Darstellung des Diagrammes (2) werden zwar die Referenzflächen von Mayen-Ofen und Mayen-Eich korrekterweise getrennt, die Ziegelsteine aus Mirebeau werden aber als Rheinzabern-Produkte und die Ziegelsteine aus Nied als Mayen-Ofen-Produkte qualifiziert.

Das Informationspotential der Diagramme (1) und (2) reicht also nicht aus, um die Provenienz von Keramikgruppen zuverlässig zu präsentieren.

Die Gruppenzuordnung im ternären Diagramm (3) entspricht weitgehend den geochemischen und historischen Gegebenheiten. Hier findet eine eindeutige Trennung der Ziegelsteine von den drei Referenzgruppen statt, während die Referenzflächen der Keramikgruppen von Mayen-Ofen und Mayen-Eich sich nur leicht tangieren, was als geochemisch korrekt angesehen wird.

Diese ternäre Darstellung scheint ebenfalls für die Zuordnung der Keramikgruppen geeignet zu sein, obwohl durch die nicht deutliche Trennung der Ziegelsteingruppen Nied und Straßburg ihre Aussagekraft etwas abgeschwächt wird.

Dagegen hat sich aus der Vielzahl der getesteten ternären Systeme ergeben, daß die ternäre Elementkorrelation $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$ für die Diskriminierung der hier betrachteten Keramikgruppen die geeignetste ist. Es werden deshalb im Rahmen dieser Arbeit die aus dieser ternären Darstellung erhaltenen Zuordnungsinformationen über die untersuchten Keramikgruppen präsentiert und diskutiert. Zusätzlich soll auch die binäre Cr-Zr-Diskriminanz für die Provenienzdiskussion der Keramikgruppen unterstützend herangezogen werden.

Diskriminanz der Keramikgruppen mittels der ternären Darstellung $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$

Um eine effektvolle und historisch plausible Trennung der untersuchten Keramikgruppen zu erreichen, wurden zahlreiche binäre und ternäre Elementkombinationen auf ihre Gruppierungsleistung überprüft. Hinreichendes Kriterium für die Zuverlässigkeit der Aussagen einer binären und ternären Diskriminanz war die Effizienz, mit der die römischen Ziegelsteingruppen sowohl von den Keramikgruppen als auch voneinander getrennt wurden.

Aus allen im Rahmen dieser Arbeit getesteten ternären Elementkombinationen lieferte das ternäre Elementsystem $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$ die in jeder Hinsicht akzeptabelsten Ergebnisse.

Die Darstellungsinformationen werden durch die Konzentrationen der vier Systemkomponenten Cr, Zr, CaO und MgO beeinflusst, was zu einer besseren Gewichtung der Aussagen führt. Außerdem werden durch die Beteiligung der zwei Spurenelementen Cr und Zr und der zwei Hauptkomponenten CaO und MgO sowohl Unterschiede des Spurenelementchemismus als auch des Hauptelementchemismus gleichzeitig erfaßt, wodurch Gruppendiskriminanzen deutlicher hervortreten.

Die Diskriminanzverhältnisse der untersuchten Keramikgruppen im ternären Darstellungssystem $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$ werden anhand von Darstellungsdiagrammen dokumentiert und diskutiert.

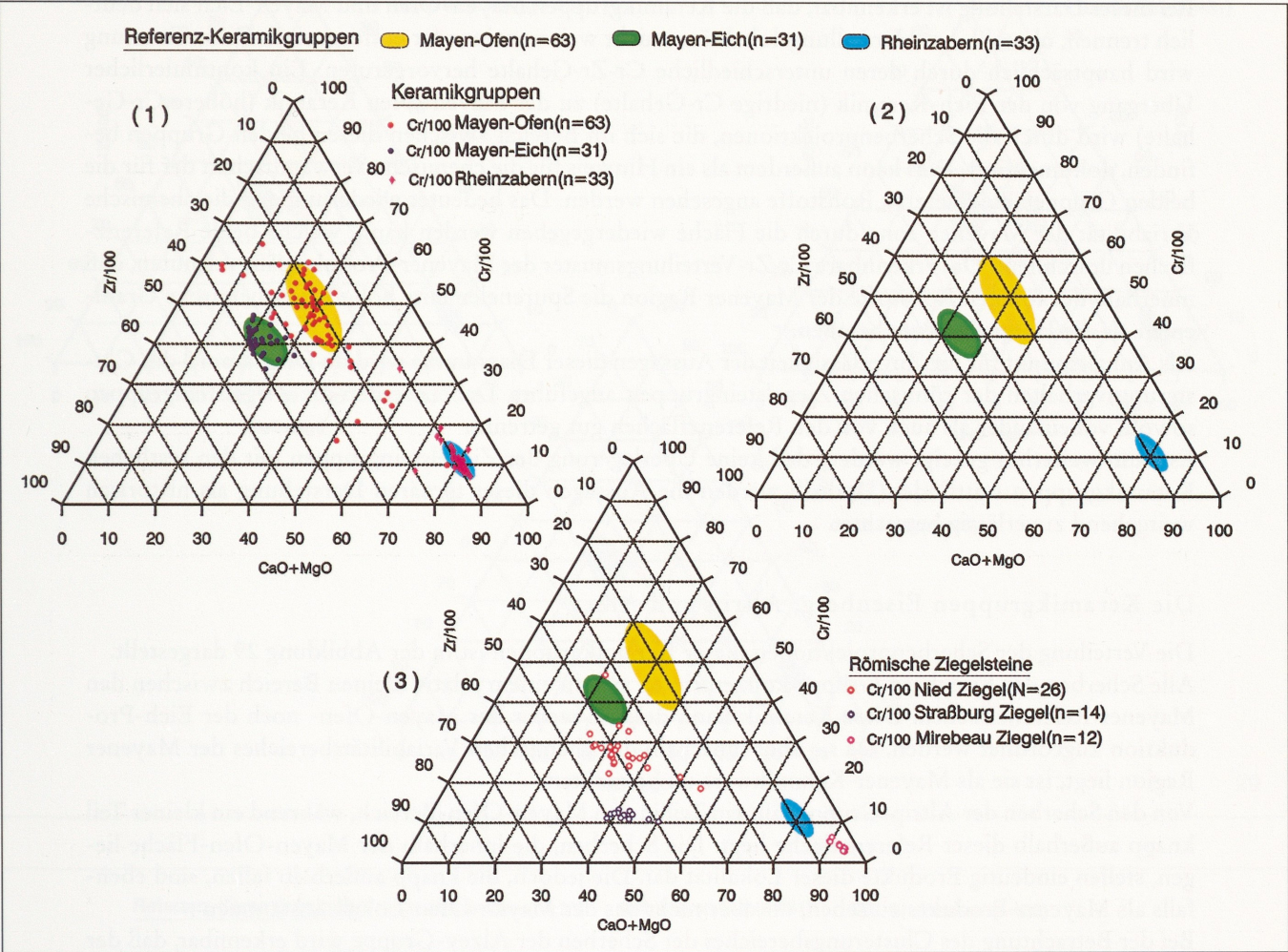


Abb. 28 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Mayen-Ofen, Mayen-Eich sowie Rheinzabern und der römischen Ziegelsteine im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System.

Die Referenzkeramikgruppen

Im Diagramm 1 der Abbildung 28 sind die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern projiziert und um die Verdichtungsgebiete der Punkte die darstellenden Flächen dieser Keramikgruppen gezeichnet. Die darstellenden Flächen wurden dabei so gelegt, daß sie wenigstens 80% der darstellenden Punkte erfassen. Während die Projektionspunkte der Scherben aus Rheinzabern und Mayen-Eich relativ enge Clusterungsbereiche bilden, weisen sie bei Mayen-Ofen eine etwas größere Streuung auf, die hauptsächlich auf die Summenkomponente (CaO+MgO) zurückzuführen ist.

Die darstellenden Flächen der Keramikgruppen Mayen-Ofen und Mayen-Eich wurden als Referenzflächen für Keramikprodukte aus der Mayener Region, und die darstellende Fläche der Rheinzabern-Gruppe als Referenzfläche für Keramikprodukte aus der Speyerer Region definiert (Diagr. 2). Diese Referenzgruppen werden als Basis für die Zuordnung der restlichen, hier untersuchten Keramikgruppen verwendet.

Bei dieser Darstellung ist erkennbar, daß die Keramikgruppen Mayen-Ofen und Mayen-Eich sich deutlich trennen, obwohl ihre Herstellungslokalitäten nicht weit voneinander entfernt sind. Diese Trennung wird hauptsächlich durch deren unterschiedliche Cr-Zr-Gehalte hervorgerufen. Ein kontinuierlicher Übergang von der Eich-Keramik (niedrige Cr-Gehalte) zu der Mayen-Ofen Keramik (höhere Cr-Gehalte) wird durch die Scherbenprojektionen, die sich im Bereich zwischen diesen beiden Gruppen befinden, dokumentiert. Dies kann außerdem als ein Hinweis für die chemische Verwandtschaft der für die beiden Gruppen eingesetzten Rohstoffe angesehen werden. Das bedeutet wiederum, daß die chemische Variabilität der Mayener Tone durch die Fläche wiedergegeben werden kann, welche beide Referenzflächen umschließt. Das erkennbare Cr-Zr-Verteilungsmuster der Mayener-Produkte läßt vermuten, daß innerhalb der tonigen Rohstoffe der Mayener Region die Spurenelemente höhere geochemische Gradienten als die Hauptelemente besaßen.

Als Anhaltspunkt für die Zuverlässigkeit der Aussagen dieser Diagramme wird im Diagramm 3 das Clusterungsverhalten der römischen Ziegelsteingruppen angeführt. Dabei werden die Ziegelsteingruppen sowohl voneinander als auch von den Referenzflächen gut getrennt.

Es kann weiterhin gezeigt werden, daß keine Überlagerung der Ziegelsteingruppen mit den restlichen Keramikgruppen stattfindet. Deshalb werden die Aussagen dieser ternären Darstellung als historisch weitgehend zuverlässig betrachtet.

Die Keramikgruppen Eisenberg, Altrip und Alzey

Die Verteilung der Scherbenprojektionen dieser Keramikgruppen ist in der Abbildung 29 dargestellt. Alle Scherben der Eisenberg-Gruppe konzentrieren sich in einem relativ kleinen Bereich zwischen den Mayener Referenzflächen. Diese Keramik kann deshalb weder der Mayen-Ofen- noch der Eich-Produktion zugeordnet werden. Da sie aber innerhalb des chemischen Variabilitätsbereiches der Mayener Region liegt, ist sie als Mayener-Keramikware zu betrachten.

Von den Scherben der Altrip-Gruppe fällt ein Teil in den Mayen-Ofen-Bereich, während ein kleiner Teil knapp außerhalb dieser Referenzfläche liegt. Die Scherben, die innerhalb der Mayen-Ofen-Fläche liegen, stellen eindeutig Produkte dieser Lokalität dar. Die jedoch, die knapp außerhalb fallen, sind ebenfalls als Mayener Produkte zu sehen, die aber nicht aus der Mayen-Ofen-Lokalität stammen.

Bei der Betrachtung des Clusterungsbereiches der Scherben der Alzey-Gruppe wird erkennbar, daß der weitaus größte Teil sich mit der Eisenberg-Gruppe überlagert. Einige Scherben fallen innerhalb der Eich-Fläche, zwei liegen in der Nähe der Rheinzabern-Fläche und einige zeigen keine Zugehörigkeit zu den Referenzflächen. Der Scherbenanteil der Alzey-Gruppe, der sich mit der Eisenberg-Gruppe überlagert, stammt offensichtlich aus dem gleichen Produktionsort wie diese Mayener Ware.

Die Keramikgruppen Breisach, Zullestein und Speyer-Domhügel (1. Lieferung)

Äquivalent zu der Eisenberg- und Alzeykeramik ist auch die Verteilung der Scherben der Breisach-Gruppe (Abb. 30). Der größte Teil überlagert sich fast vollständig mit dem Alzey-Eisenberg-Bereich, was auf die Zugehörigkeit zu der gleichen Mayener Gruppe hinweist. Einige fallen außerdem in den Eich-Bereich, und einige weitere können nicht zugeordnet werden.

Die darstellenden Punkte der Keramikscherben aus Zullestein bilden ein Cluster, das sich nur partiell mit der Eich-Fläche überlagert. Der größte Teil akkumuliert sich in einer Fläche, die deutlich außerhalb

Abb. 29 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Eisenberg, Altrip und Alzey im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System. →

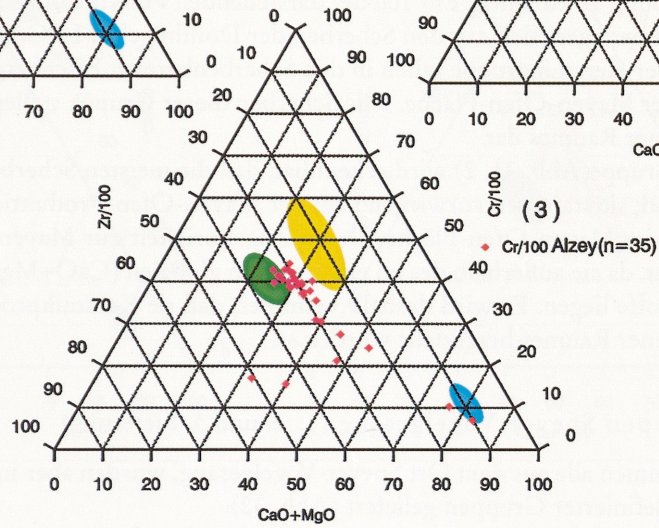
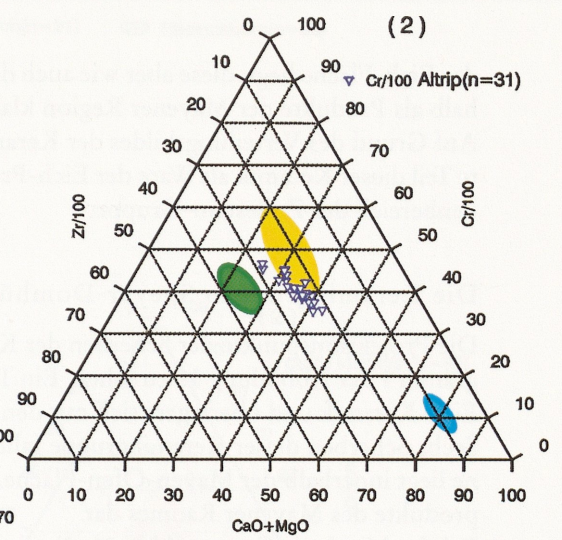
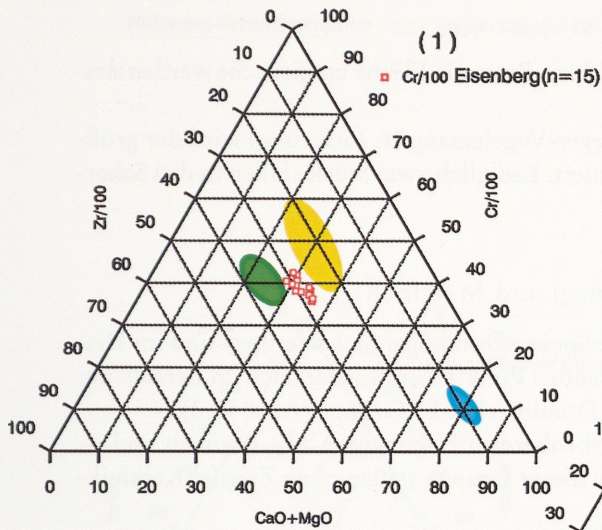
Abb. 30 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Breisach, Zullestein und Speyer-Domhügel (1. Lieferung) im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System. →

Referenz-Keramikgruppen

Mayen-Ofen(n=63)

Mayen-Eich(n=31)

Rheinzabern(n=33)



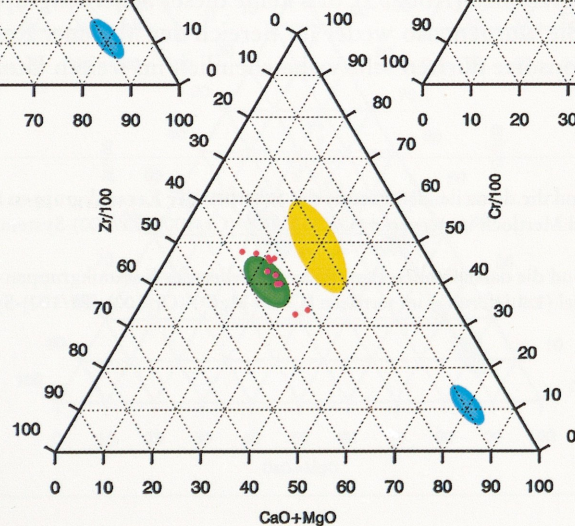
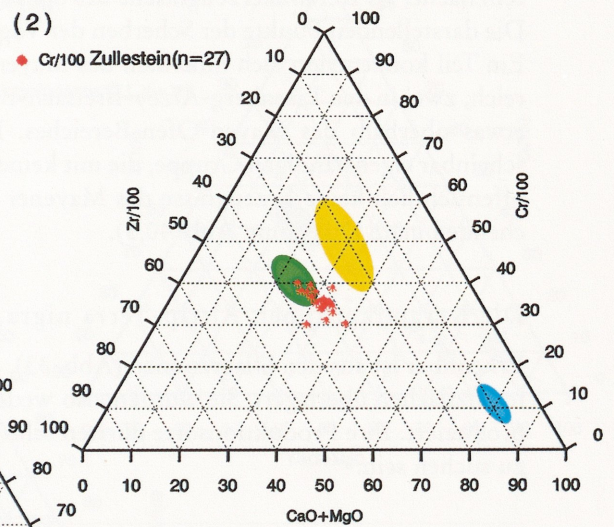
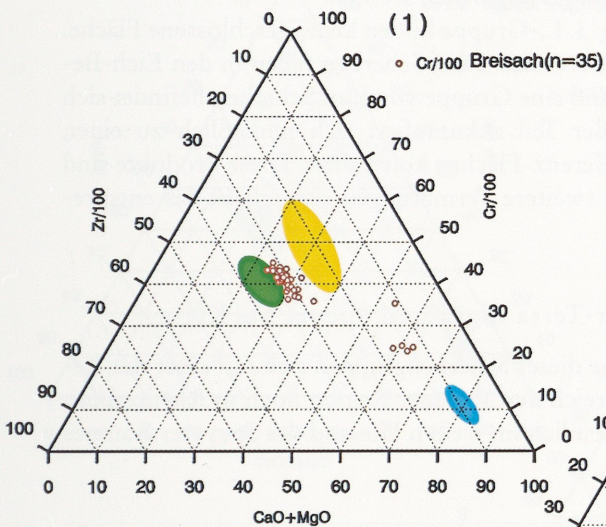
29

Referenz-Keramikgruppen

Mayen-Ofen(n=63)

Mayen-Eich(n=31)

Rheinzabern(n=33)



30

der Eich-Fläche liegt, diese aber wie auch die Eisenberg-Alzey-Breisach-Fläche tangiert. Sie werden deshalb als Produkte der Mayener Region klassifiziert.

Auf Grund des Verteilungsbildes der Keramikgruppe Speyer-Vogelgesang (1. Lieferung) wird der größte Teil dieser Keramik als Ware der Eich-Produktion definiert. Lediglich zwei Stücke fallen in den Scherbenbereich der Zullestein-Gruppe.

Die Keramikgruppen Speyer-Domhügel (2. Lieferung) und Mertloch

Die Projektionspunkte der Scherben der Keramikgruppe Speyer-Domhügel (2. Lieferung) sind im Diagramm 1 der Abbildung 31 zu sehen. Ein Teil der darstellenden Punkte konzentriert sich im Bereich der Eich-Keramik und überlagert sich mit den Scherben der Domhügel-1. L.-Gruppe (Abb. 30,3).

Sechs Scherben dieser Keramikgruppe fallen in den Scherbenbereich Eisenberg-Alzey-Breisach und eine liegt innerhalb der Mayen-Ofen-Fläche. Alle Scherben dieser Gruppe stellen ohne Zweifel Keramikprodukte des Mayener Raumes dar.

Bei der Mertloch-Gruppe (Abb. 31, 2) wird erkennbar, daß die meisten Scherben Keramikprodukte der Mayener Region sind; sie stammen vorwiegend aus der Mayen-Ofen-Produktion. Ein Teil erstreckt sich deutlich außerhalb der Mayen-Ofen-Fläche. Deren Zugehörigkeit zur Mayener Region ist nicht ohne weiteres postulierbar, da sie außerhalb des zu erwartenden globalen (CaO+MgO)-Variabilitätsbereiches der Mayener Rohstoffe liegen. Es wird deshalb vermutet, daß sie Keramikprodukte repräsentieren, die außerhalb des Mayener Raumes hergestellt wurden.

Die Keramikgruppen Speyer-Vogelgesang (1., 2. und 3. Lieferung)

Diese Scherben stammen alle aus dem Ort Speyer-Vogelgesang, wurden aber in Form dreier verschiedener, archäologisch definierter Gruppen geliefert (Abb. 32).

Während die meisten Scherben der Vogelgesang-1. L.-Gruppe der Mayener Produktion zugeordnet werden, bilden die Scherben der Vogelgesang-2. L.-Keramik eine eigenständige, mehr oder weniger homogene Gruppe, die sich mit keiner der Referenz-Flächen überlagert. Sie wurden mit Sicherheit nicht im Mayener Raum hergestellt, können jedoch, wegen ihrer chemischen Nähe zu der Rheinzabern Referenzfläche, als Keramikerzeugnisse des Speyerer Umlandes angesehen werden.

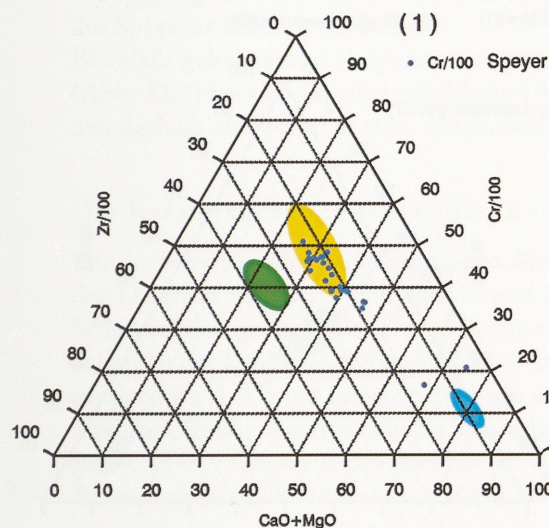
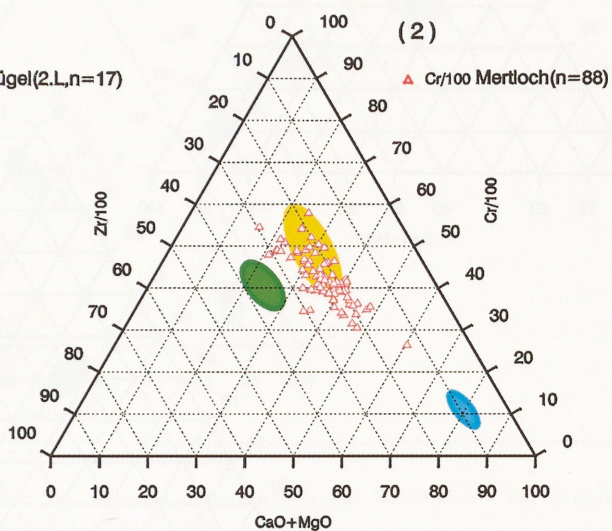
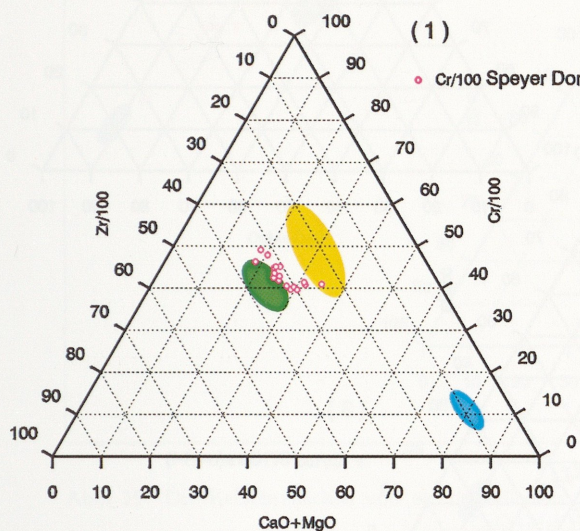
Die darstellenden Punkte der Scherben der Vogelgesang-3. L.-Gruppe bilden keine geschlossene Fläche. Ein Teil konzentriert sich innerhalb des Mayen-Ofen-Bereiches. Fünf Scherben fallen in den Eich-Bereich, zwei in den Eisenberg-Alzey-Breisach-Bereich, und eine Gruppe von fünf Scherben befindet sich etwas oberhalb des Mayen-Ofen-Bereiches. Ein großer Teil akkumuliert sich schließlich zu einer, scheinbar eigenständigen Gruppe, die mit keiner der Referenz-Flächen koinzidiert. Diese Produkte sind offensichtlich keine Erzeugnisse des Mayener Raumes (weitere Vermutungen ermöglicht das entsprechende binäre Diagramm Abb. 40,3).

Die Keramikgruppen Altrip-Terra nigra, Speyer-Terra nigra und Speyer St. Klara

Erkennbar ist aus den Diagrammen (Abb. 33), daß keine dieser Scherbengruppen sich mit einer der Referenzflächen überlagert. Sie wurden also weder im Bereich der Mayener Region noch in Rheinzabern produziert. Ihre Produktionsorte dürften sehr wahrscheinlich im weiten Umland des Speyerer Raumes zu suchen sein.

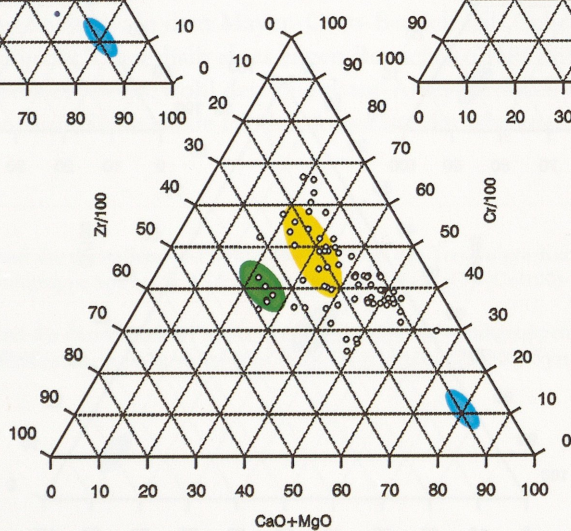
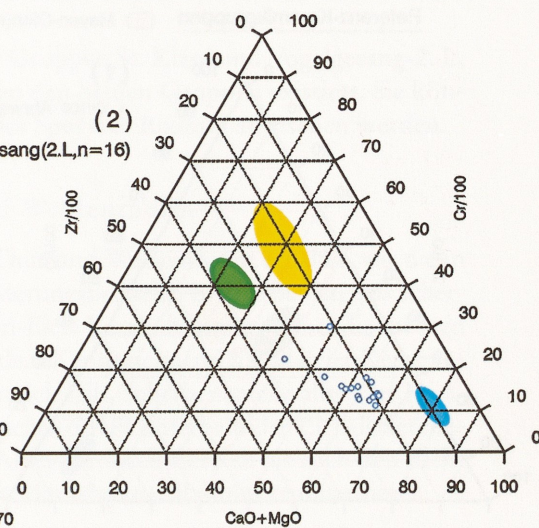
Abb 31 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Speyer-Domhügel (2. Lieferung) und Mertloch im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System. →

Abb. 30 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Breisach, Zullestein und Speyer-Domhügel (1. Lieferung) im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System. →



(2)

• Cr/100 Speyer Vogelgesang(2.L,n=16)

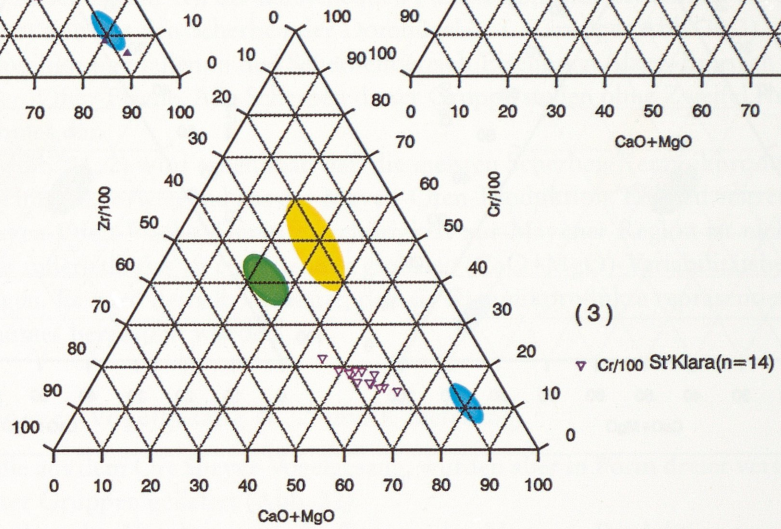
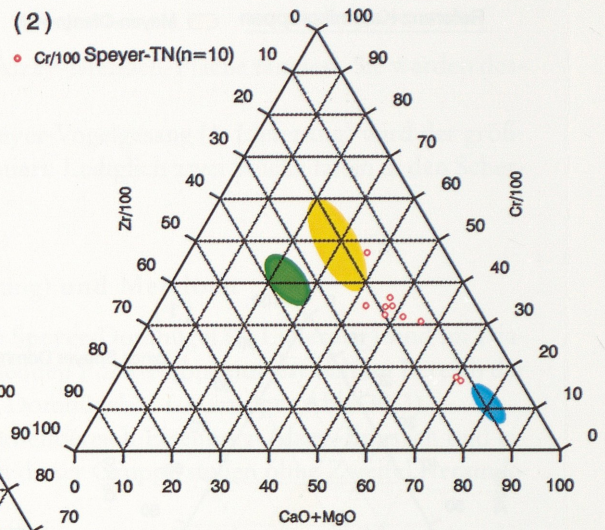
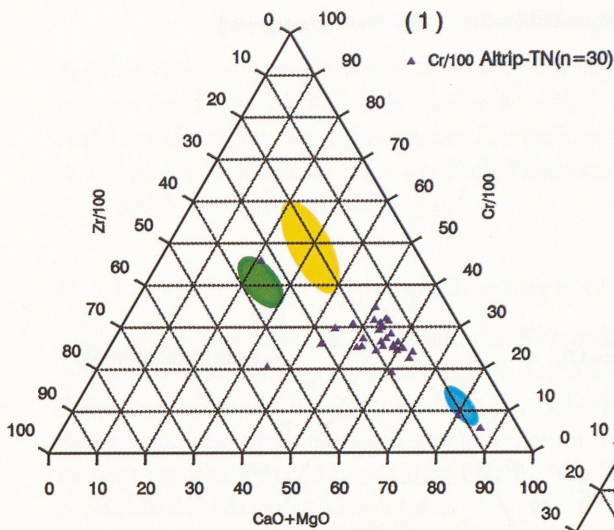


Referenz-Keramikgruppen

Mayen-Ofen(n=63)

Mayen-Eich(n=31)

Rheinzabern(n=33)



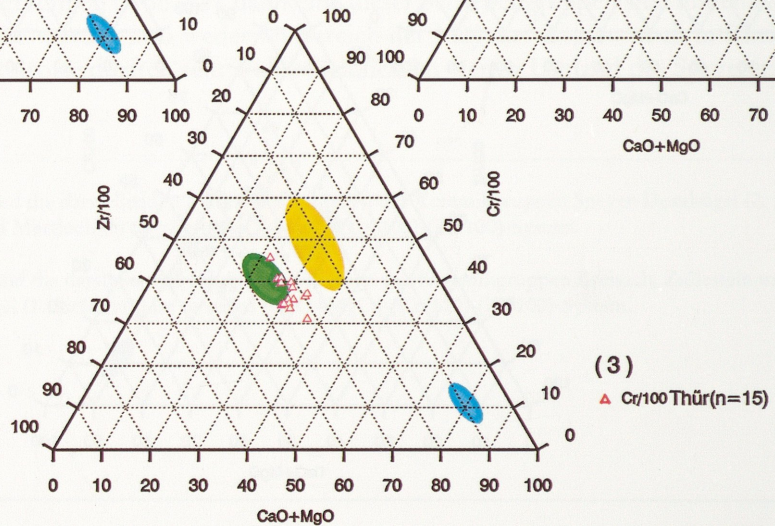
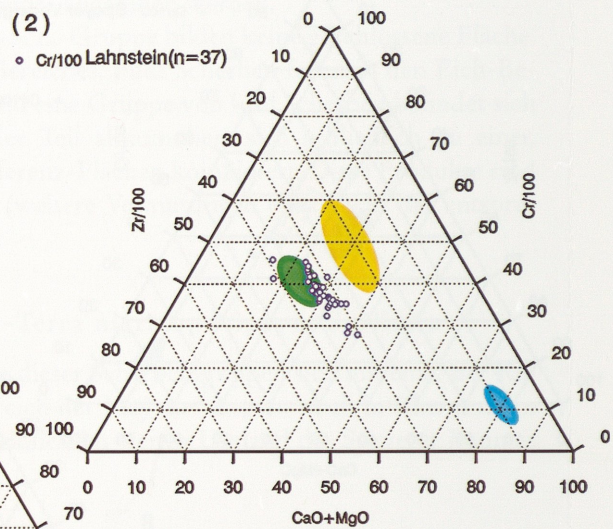
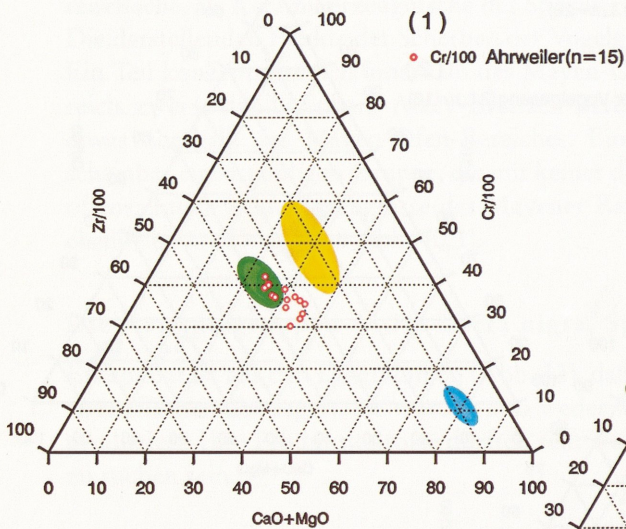
33

Referenz-Keramikgruppen

Mayen-Ofen(n=63)

Mayen-Eich(n=31)

Rheinzabern(n=33)



34

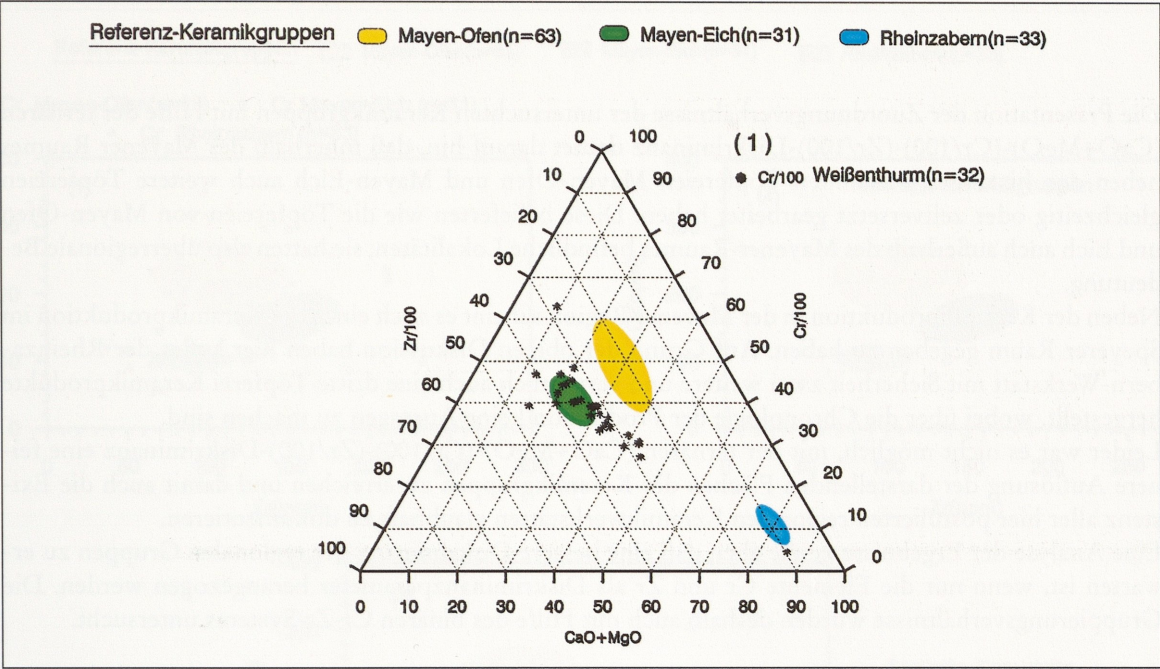


Abb. 35 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppe Weißenthurm im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System.

Vergleicht man die Clusterungsbereiche der Gruppen Altrip-Terra nigra und Speyer-Terra nigra, so wird erkennbar, daß sie sich deutlich überlagern, was auf die Verwendung des gleichen Rohstoffes für ihre Herstellung hinweist. Es handelt sich möglicherweise um eine lokale Töpfereiwerkstatt, die innerhalb des Speyerer Raumes produzierte.

Ebenfalls geht aus dem Vergleich der Darstellungsbereiche der Gruppen St. Klara und Vogelgesang-2. L. (Abb. 32,2) hervor, daß eine erhebliche Überlagerung zwischen den beiden Gruppen existiert. Sie können deshalb als Produkte einer möglichen lokalen Werkstatt des Speyerer Raumes angesehen werden.

Die Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm

Für die Scherben der Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm erhalten wir die in den Diagrammen der Abbildungen 34 und 35 angegebenen Clusterungsbereiche. Erkennbar ist, daß Scherbenprojektionspunkte aller Gruppen nur im Bereich der Mayen-Eich-Keramik liegen, wobei die meisten Scherben der Lahnsteingruppe als Eich-Produkte definiert werden. Kennzeichnend für alle vier Keramikgruppen ist, daß keine einzige Scherbe in dem Mayen-Ofen-Bereich fällt. Scherbenanteile aller vier Keramikgruppen überlagern sich jedoch innerhalb eines engen Bereiches direkt unterhalb der Eich-Referenzfläche. Dieser Clusterungsbereich, der sowohl den Eisenberg-Alzey-Breisach-Bereich als auch den Eich-Bereich tangiert, dürfte eine zusätzliche lokale Produktionsstätte des Mayener Raumes repräsentieren.

Abb. 33 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Terra nigra-Keramikgruppen Altrip und Speyer und der Keramikgruppe Speyer St. Klara im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System.

Abb. 34 Die Referenzflächen und die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm im ternären (CaO+MgO)-(Cr/100)-(Zr/100)-System.

Die Präsentation der Zuordnungsverhältnisse der untersuchten Keramikgruppen mit Hilfe der ternären $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$ -Diskriminanz deutet darauf hin, daß innerhalb des Mayener Raumes neben den historisch bekannten Töpfereien Mayen-Ofen und Mayen-Eich auch weitere Töpfereien gleichzeitig oder zeitversetzt gearbeitet haben. Diese belieferten wie die Töpfereien von Mayen-Ofen und Eich auch außerhalb des Mayener-Raumes befindliche Lokalitäten; sie hatten also überregionale Bedeutung.

Neben der Keramikproduktion in der Mayener Region scheint es auch eine rege Keramikproduktion im Speyerer Raum gegeben zu haben. Auf Grund der obigen Diskussion haben hier außer der Rheinzabern-Werkstatt mit Sicherheit zwei weitere und vermutlich auch eine dritte Töpferei Keramikprodukte hergestellt, wobei über die Chronologie der Produktion keine Aussagen zu machen sind.

Leider war es nicht möglich, mit der ternären $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Cr}/100)-(\text{Zr}/100)$ -Diskriminanz eine feinere Auflösung der darstellenden Flächen der Keramikgruppen zu erreichen und damit auch die Existenz aller hier postulierten regionalen Keramikwerkstätten glaubhaft zu dokumentieren.

Eine Analyse der Ergebnisse zeigte aber, daß eine bessere Diskriminanz der regionalen Gruppen zu erwarten ist, wenn nur die Elemente Cr und Zr als Diskriminanzparameter herangezogen werden. Die Gruppierungsverhältnisse wurden deshalb auch mit Hilfe des binären Cr-Zr-Systems untersucht.

Das binäre Darstellungsdiagramm Cr-Zr

Bei der Diskussion der ternären Diagramme des Systems $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Zr}/100)-(\text{Cr}/100)$ konnte gezeigt werden, daß sich die untersuchten Keramikgruppen hauptsächlich zwei Herstellungsprovinzen zuordnen lassen. Für die Terra nigra aus Altrip und Speyer, die Keramikgruppen Rheinzabern, St. Klara, Vogelgesang-2. L. sowie für zahlreiche Scherben aus Mertloch und dem größten Teil der Keramik Vogelgesang-3. L. ist eine geochemische Beziehung zu den Produkten des Mayener Raumes nicht erkennbar. Deshalb werden dafür Produktionsstätten des Speyerer Raumes angenommen. Neben dem auch historisch dokumentierten Produktionsort Rheinzabern sind auch für die Terra nigra Altrip und Speyer und für die Gruppen St. Klara und Vogelgesang-2. L. regionale Betriebe des Speyerer Raumes in Betracht zu ziehen. Ebenfalls scheint ein großer Teil der Scherben der Vogelgesang-3. L.-Gruppe sowie zahlreiche Scherben der Mertloch-Gruppe aus einem lokalen Betrieb, möglicherweise des Speyerer Raumes, zu stammen. Diese Keramikgruppen können deshalb als Speyerer Ware bezeichnet werden, womit der Speyerer Raum und nicht der Ort Speyer gemeint sein soll.

Außer den Keramikgruppen Mayen-Ofen und Mayen-Eich werden die Keramikgruppen aus Alzey, Altrip, Eisenberg, Breisach, Zullestein, Ahrweiler, Lahnstein, Thür, Speyer-Domhügel (1. und 2. Lieferung), der größte Teil der Mertloch-Keramik sowie zahlreiche Scherben der Speyer-Vogelgesang-Keramik (3. Lieferung) als Produkte des Mayener Raumes ausgewiesen, sind also historisch gesehen als Mayener Keramikware zu klassifizieren.

Während die Gruppierungen der Speyerer Keramikprodukte bei den ternären Diagrammen deutlich hervortreten, ist die Diskriminierung der Mayener Gruppen nicht eindeutig genug. Abgesehen von der deutlichen Diskriminierung der Gruppen Mayen-Ofen und Mayen-Eich und der zwischen diesen beiden Feldern befindlichen Gruppen von Alzey+Eisenberg+Breisach ist die Trennung der restlichen Keramikgruppen und damit auch der Hinweis für die Existenz weiterer Keramikwerkstätten nur andeutungsweise erkennbar.

Nun stellt sich die Frage, inwieweit diese schlecht diskriminierbaren Keramikgruppen Erzeugnisse einer oder mehrerer Mayener Werkstätten sind. Wenn tatsächlich mehrere Werkstätten im Mayener Raum in unmittelbarer räumlicher Nachbarschaft existierten und ihren Rohstoffbedarf aus verschiedenen Ab-

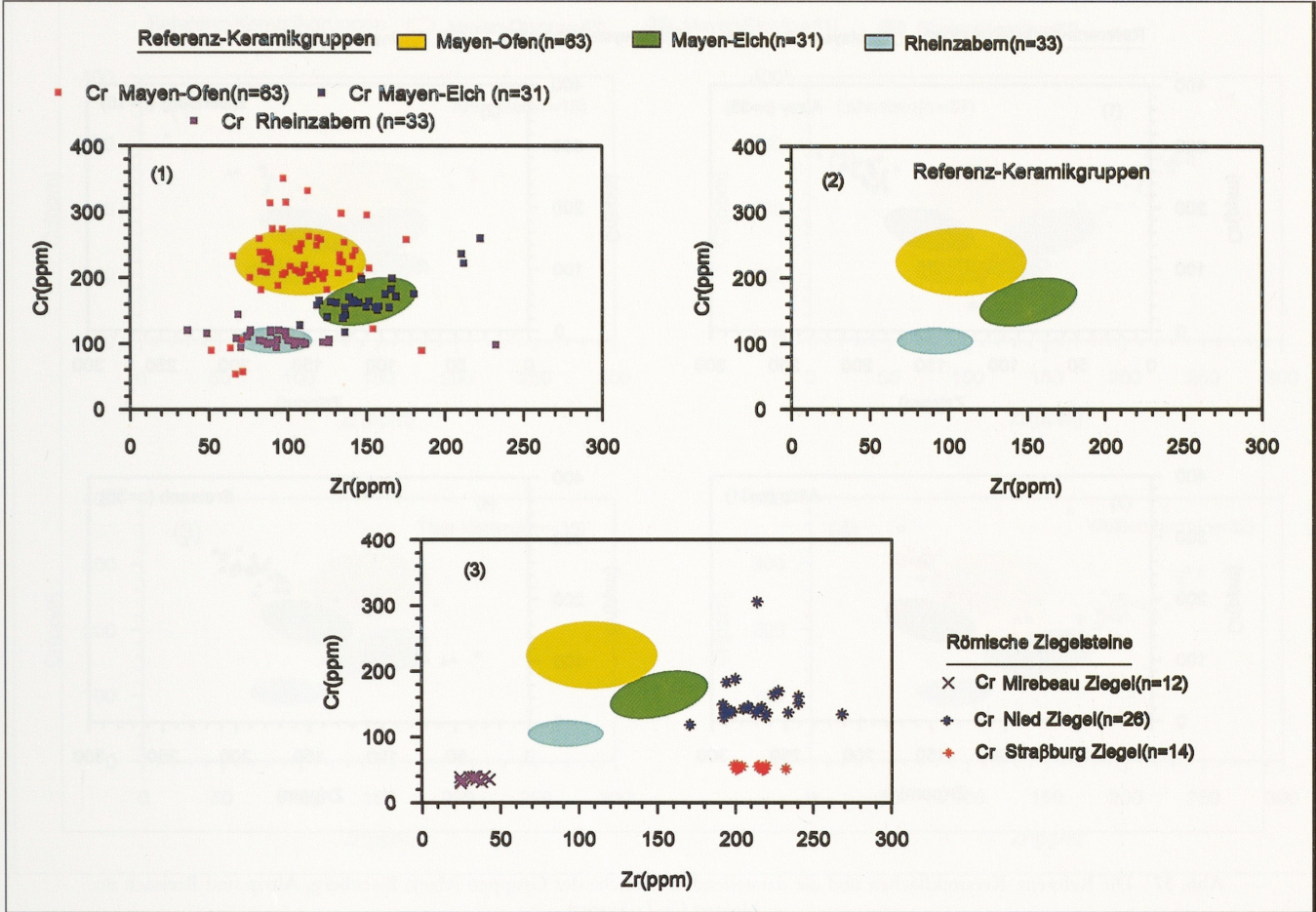


Abb. 36 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der römischen Ziegelsteine im binären Cr-Zr-System.

baustellen des gleichen Tonlagers bezogen haben, so dürfte es möglich sein, durch eine wirkungsvollere chemographische Auflösung der darstellenden Bereiche das Vorhandensein solcher Werkstätten innerhalb des Mayener Raumes deutlicher hervorzuheben.

Eine bessere chemographische Auflösung der Gruppenkoinzidenzen ist in der Regel zu erreichen, wenn nur bestimmte Spurenelemente als Diskriminanzparameter herangezogen werden, da mit Sicherheit innerhalb eines großen Tonlagers markante räumliche geochemische Gradienten bezüglich einiger Spurenelemente zu erwarten sind, die zu mehr oder weniger signifikanten Gruppenauflösungen führen könnten.

Als Diskriminanzparameter wurden die Spurenelemente Cr und Zr der ternären Darstellung (CaO+MgO)-(Zr/100)-(Cr/100) zu einer binären Korrelation kombiniert. Der geochemische Gradient dieser Spurenelemente kann sowohl in lateraler als auch in vertikaler Richtung eines bezüglich der Hauptelemente sonst chemisch homogenen Tonlagers Werte annehmen, die möglicherweise für verschiedene Bereiche einer regionalen Lagerstätte charakteristisch sein können.

Auch bei dieser binären Darstellung galt als Plausibilitätskriterium, daß sich die darstellenden Bereiche der römischen Ziegelsteine weder miteinander noch mit den Referenzflächen von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern sich überlagern dürfen. Die binären Zuordnungsverhältnisse der betrachteten Keramikgruppen im Cr-Zr-Korrelationsdiagramm werden mittels chemographischer Diagramme, die in mehreren Abbildungen zusammengefaßt sind, präsentiert und diskutiert.

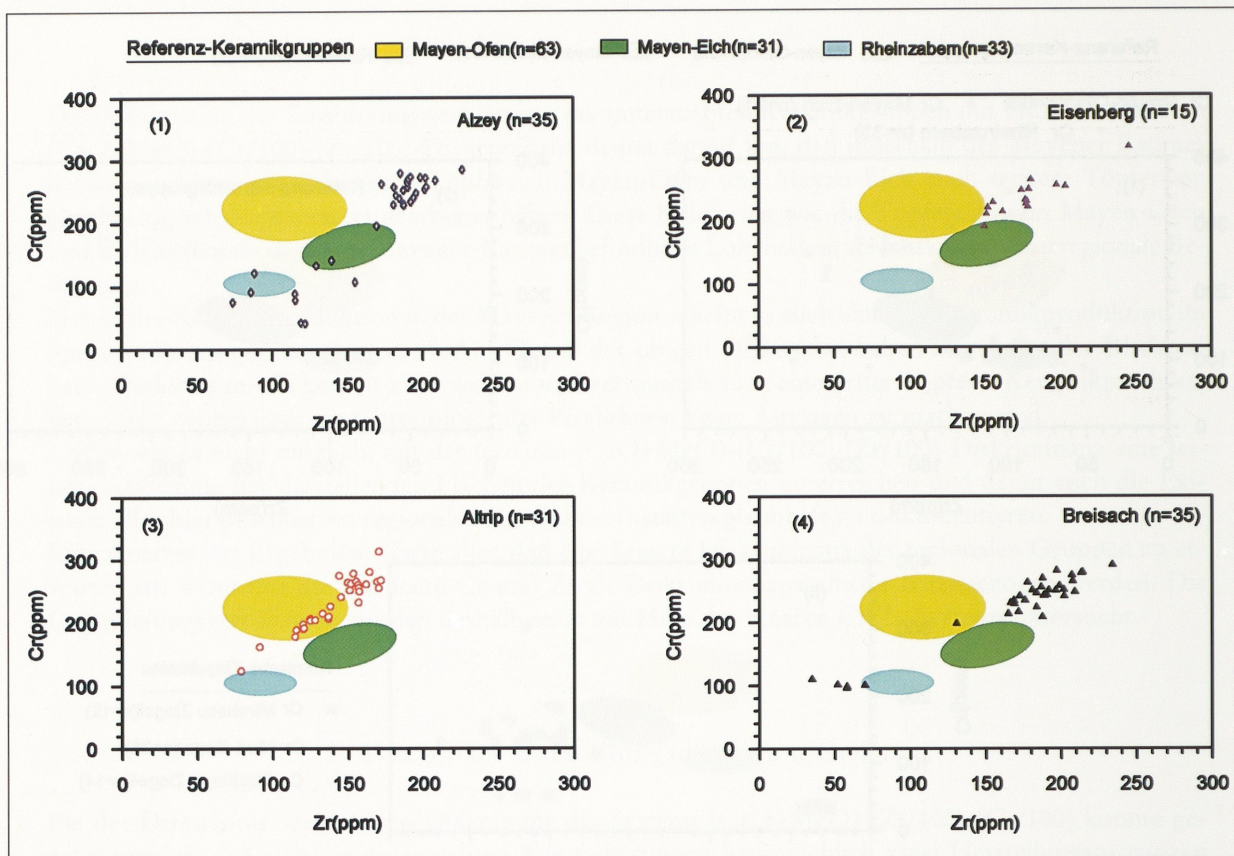


Abb. 37 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der Gruppen Alzey, Eisenberg, Altrip und Breisach im binären Cr-Zr-System.

Die Referenz-Keramikgruppen und die römischen Ziegelsteingruppen

Charakteristisch für diese Darstellung ist, daß die Referenzflächen Mayen-Ofen und Mayen-Eich sich leicht berühren, was ihre chemische und räumliche Verwandtschaft andeutet. Außerdem trennen sich die darstellenden Bereiche der römischen Ziegelsteine (Abb. 36,3) sowohl von den Referenzflächen als auch voneinander deutlich genug. Die Darstellungsverhältnisse dieses Diagrammes und die daraus zu ziehenden Rückschlüsse können deshalb als weitgehend historisch plausibel angesehen werden.

Die Keramikgruppen Alzey, Eisenberg, Altrip und Breisach

Die Abbildung 37 dokumentiert die Verteilung der darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen von Alzey, Eisenberg, Altrip und Breisach relativ zu den Keramikreferenzflächen im binären Cr-Zr-System. Es ist erkennbar, daß sich die Keramikgruppen Alzey, Eisenberg und Breisach deutlich überlagern, also eine gemeinsame Gruppe bilden, die vermutlich aus einer nicht bekannten Keramikwerkstatt des Mayener Raumes stammt. Diese unbekannte Töpferei wird Mayen 2-Töpferei genannt. Erkennbar ist außerdem, daß drei Scherben der Alzey-Gruppe aus Eich und zwei weitere aus Rhein Zabern stammen. Von den Eisenberg-Scherben könnten zwei aus Mayen-Ofen und eine aus Eich geliefert worden sein.

Referenz-Keramikgruppen ■ Mayen-Ofen(n=63) ■ Mayen-Eich(n=31) ■ Rheinzabern(n=33)

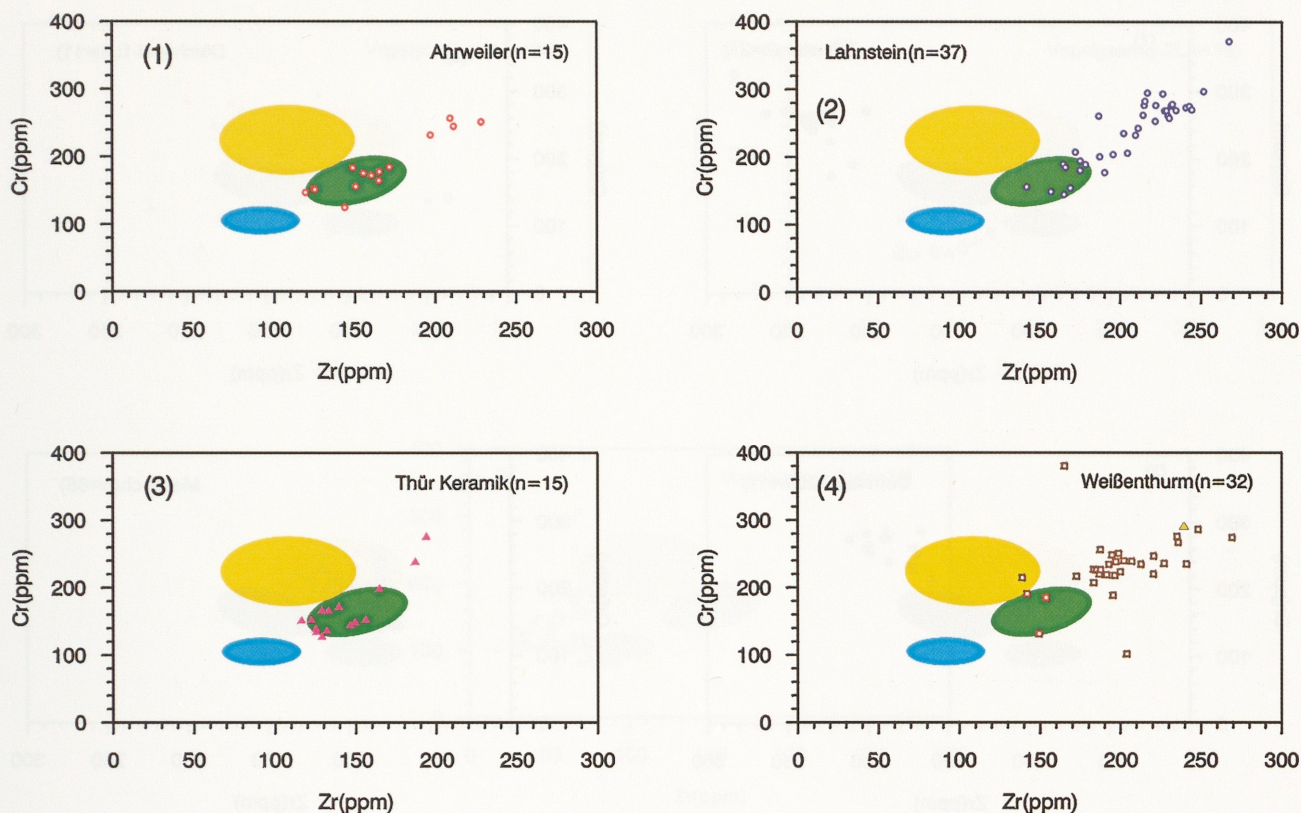


Abb. 38 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der Gruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm im binären Cr-Zr-System.

Für die Altrip-Keramik ergibt sich eine Aufteilung in zwei Gruppen. Ein Teil liegt eindeutig im Mayen-Ofen-Feld, während der Rest eine eigenständige Scherbengruppe bildet, die möglicherweise das Produkt einer ebenfalls nicht bekannten Mayener Werkstatt ist, für welche in dieser Arbeit der Name Mayen 1-Töpferei eingeführt wurde.

Die Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm

Die Beziehungen der Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm zueinander und zu den Referenz-Keramikgruppen werden in den Diagrammen der Abbildung 38 wiedergegeben. Wie bereits aus den ternären Diagrammen hervorging, sind die meisten Scherben der Gruppen Ahrweiler und Thür Produkte aus Eich, was auch für zahlreiche Scherben aus Lahnstein und für einige Weißenthurm-Scherben gilt. Der größte Teil des Materials aus Weißenthurm und Lahnstein sowie vier Scherben aus Ahrweiler fallen innerhalb eines engen Bereiches zusammen. Die darstellende Fläche ko-
inzidiert weder mit der Mayen-Ofen- noch mit der Eich-Referenzfläche. Diese Scherben können deshalb nicht als Ware dieser Produktionsorte betrachtet werden; sie können vielmehr als Erzeugnisse einer weiteren, eigenständigen Töpferei des Mayener Raumes angesehen werden. Dieser Herstellungsort wird als Mayen 3-Töpferei bezeichnet.

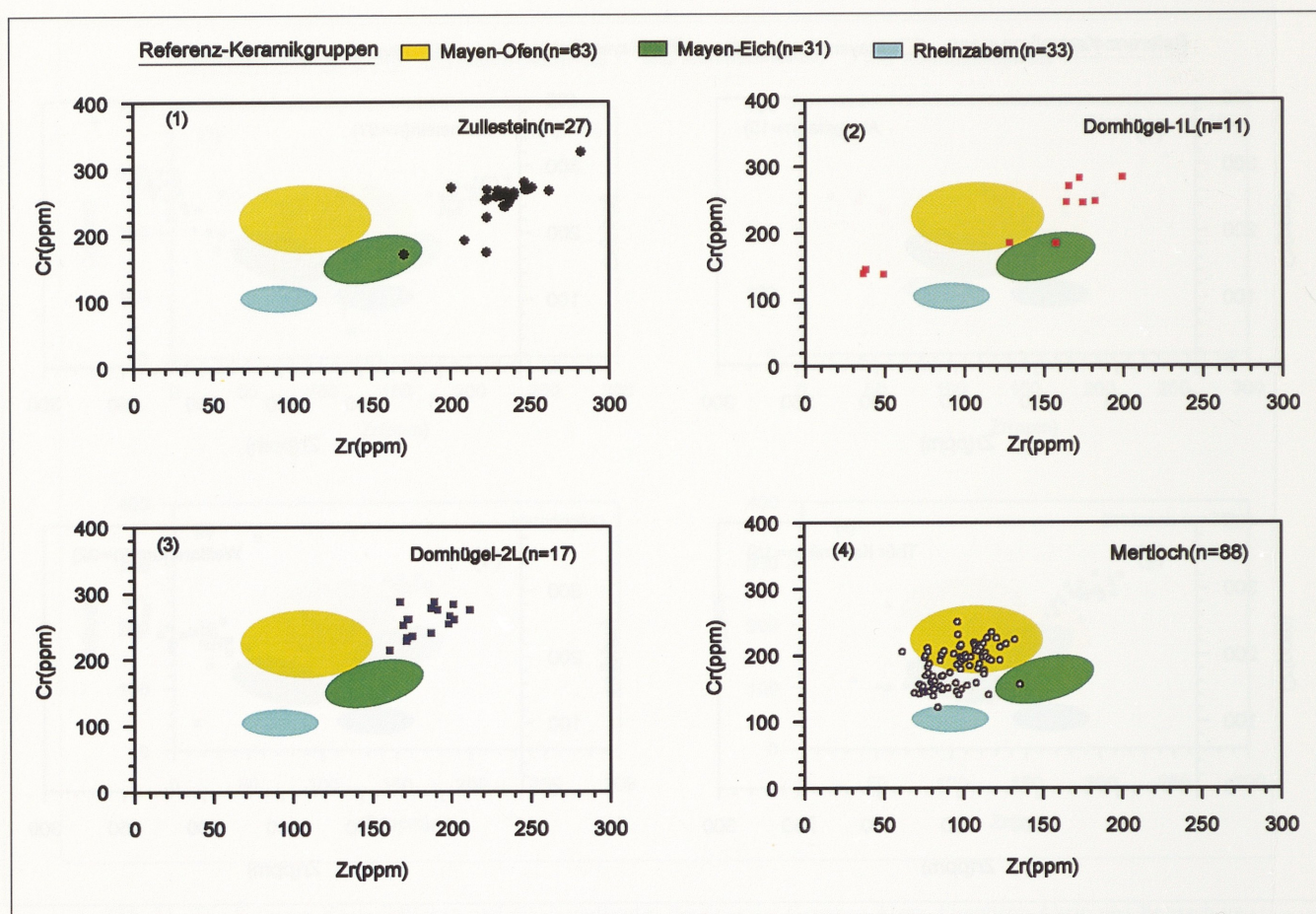


Abb. 39 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der Gruppen Zullestein, Speyer-Domhügel (1. und 2. Lieferung) und Mertloch im binären Cr-Zr-System.

Die Keramikgruppen Zullestein, Speyer Domhügel (1. und 2. Lieferung) und Mertloch

Aus den vier Diagrammen der Abbildung 39 sind die Clusterungsflächen der Keramikgruppen Zullestein, Speyer-Domhügel (1. Lieferung), Speyer-Domhügel (2. Lieferung) und Mertloch erkennbar. Die Zullestein-Scherben bilden einen gut definierten Cluster, der sich mit einem Teil der Lahnsteinscherben deutlich überlagert. Im Gegensatz zu dem ternären Diagramm wird bei dieser Darstellung nur eine einzige Scherbe als Produkt aus Mayen-Eich klassifiziert. Die Zullestein-Keramikgruppe und die damit ko- inzidierenden Lahnstein-Scherben stellen möglicherweise eine zusätzliche, historisch noch nicht doku- mentierte Mayener Keramikwerkstatt dar, die hier als Mayen 4-Töpferei bezeichnet wird.

Auch die Domhügel-Scherben beider Lieferungen diskriminieren sich, im Gegensatz zum ternären Dia- gramm, deutlich von den Referenzflächen Mayen-Ofen und Mayen-Eich, stellen also keine Produkte die- ser Töpfereien dar. Während sich die Domhügel-2. L.-Gruppe mit der Mayen 2-Keramikgruppe vollstän- dig überlagert, verteilen sich die Scherben der Domhügel-1. L.-Gruppe zwischen den Keramikgruppen Mayen 1 und Mayen 2. Nur zwei der elf untersuchten Scherben der Domhügel-1. L.-Gruppe liegen in den Referenzflächen Mayen-Ofen und Eich, und drei Scherben können nicht klassifiziert werden.

Für die Mertloch-Scherbengruppe ergibt sich bei dieser Darstellung ein anderes Verteilungsbild. So wer- den ca. 70% als Ware aus der Mayen-Ofen-Produktion charakterisiert, während die restlichen 30% ei- ne eigenständige Akkumulation darstellen, die zwischen den Referenzflächen Mayen-Ofen und Rhein-

Referenz-Keramikgruppen ■ Mayen-Ofen(n=63) ■ Mayen-Elch(n=31) ■ Rheinzabern(n=33)

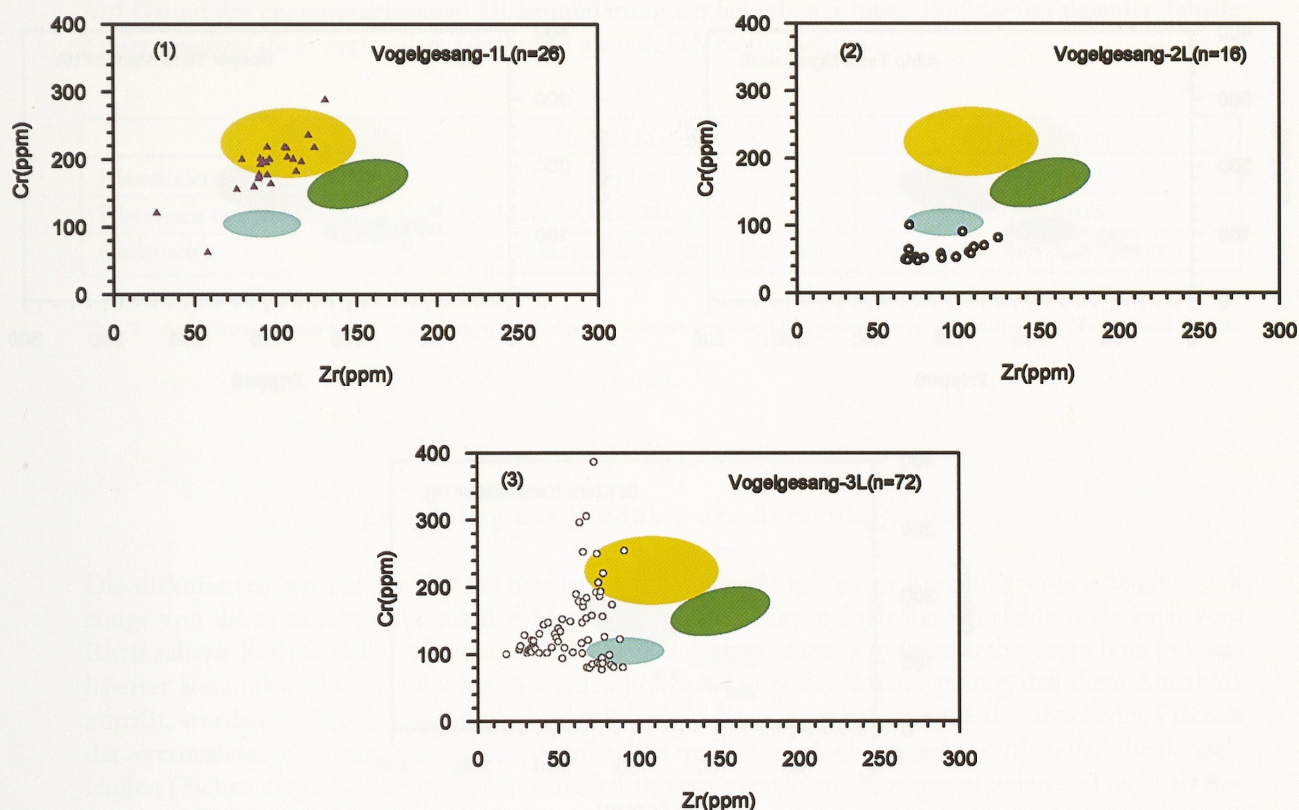


Abb. 40 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der Gruppen Speyer-Vogelgesang (1., 2. und 3. Lieferung) im binären Cr-Zr-System.

zabern liegt. Eine eindeutige Zuordnung ist z.Z. nicht möglich, obwohl man spekulieren kann, daß sie aus einem nicht definierten Produktionsort des Speyerer Raumes stammt.

Die Keramikgruppen Speyer Vogelgesang (1., 2. und 3. Lieferung)

Für die Scherben der aus dem Speyerer Raum stammenden Vogelgesang-Keramikgruppen ergibt sich die in der Abbildung 40 angegebene Verteilung. Der größte Teil aus der 1. Lieferung stammt mit Sicherheit aus der Mayen-Ofen-Produktion, während die Scherben der 2. Lieferung eine eigenständige Gruppe bilden, die sich, wie es im ternären Diagramm gezeigt wurde, mit der Speyer-St. Klara-Keramikgruppe vollständig überlagert. Die darstellenden Punkte der 3. Lieferung aus Vogelgesang zeigen ein relativ inhomogenes Verteilungsbild. Einige Scherben fallen in das Mayen-Ofen-Feld, einige weitere konzentrieren sich in der unmittelbaren Nähe des Rheinzabern-Referenzfeldes, während die meisten keine Koinzidenz aufweisen und sich zum Teil nur mit dem Bereich der Mertloch-Scherben überlagern, welcher außerhalb des Mayen-Ofen-Feldes liegt.

Eine Zuordnung des Bereiches, der sich aus den restlichen Scherben diskriminiert, kann, wie bei den Mertlochscherben, nicht mit Sicherheit vorgenommen werden. Beide Scherbengruppen stellen möglicherweise eine Keramikware dar, die vermutlich in einer Töpferei des Speyerer Raumes hergestellt wurde (Speyer 3-Töpferei).

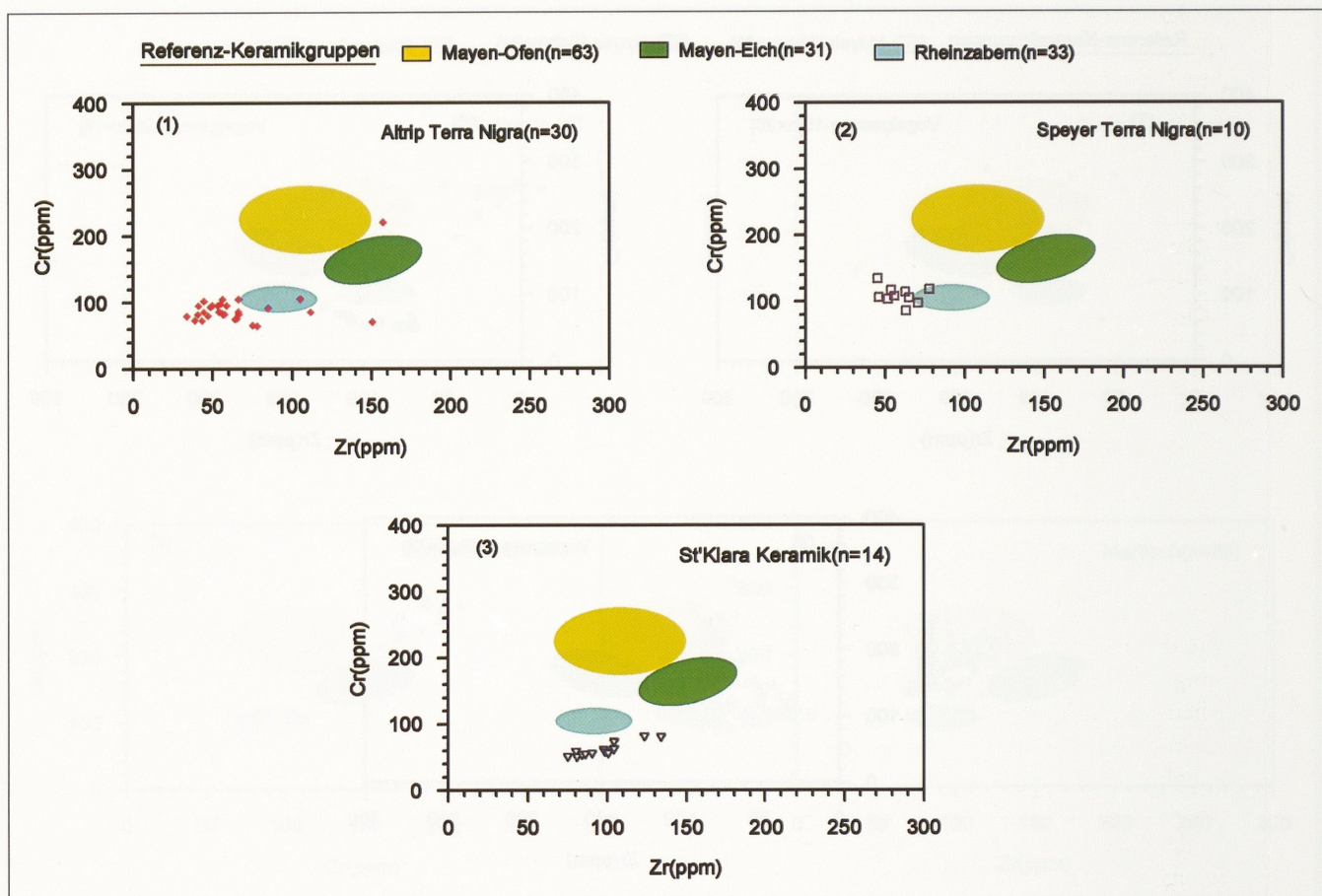


Abb. 41 Die Referenz-Keramikflächen und die darstellenden Bereiche der Gruppen Altrip Terra nigra, Speyer Terra nigra und Speyer St. Klara im binären Cr-Zr-System.

Die Keramikgruppen Altrip Terra nigra, Speyer Terra nigra und Speyer St. Klara

Wie bei dem ternären Diskriminanzdiagramm, geht auch aus den binären Darstellungen der Abbildung 41 hervor, daß es sich bei diesen drei Keramikgruppen mit Sicherheit nicht um Keramikprodukte des Mayener Raumes handelt. Wegen ihrer Nähe zu dem Rheinzabern-Feld können sie eher als Keramikprodukte des Speyerer Raumes angesehen werden. Die darstellenden Flächen der Terra nigra-Gruppen aus Altrip und Speyer koinzidieren völlig; sie scheinen deshalb eine eigenständige Produktionswerkstatt zu repräsentieren, aus welcher möglicherweise auch ein Teil der Scherben Vogelgesang 3.-L.-Gruppe stammt. Diese historisch nicht dokumentierte Werkstatt wird Speyer 1-Töpferei genannt.

Die Scherben der Keramikgruppe Speyer St. Klara bilden eine gut geschlossene Fläche, die als ein Hinweis für die Existenz einer weiteren lokalen Töpferei innerhalb des Speyerer Raumes betrachtet werden kann. Aus dieser stammen sehr wahrscheinlich auch die Scherben der Vogelgesang 2.-L.-Gruppe. Außerdem kann die Nähe der darstellenden Flächen dieser Keramikgruppen zu der Rheinzabernfläche als ein Indiz für die räumliche Nachbarschaft dieser Töpfereien zu Rheinzabern interpretiert werden. Diese ebenfalls historisch unbekannte Werkstatt wird Speyer 2-Töpferei bezeichnet.

Aus der Diskussion der chemographischen Cr-Zr-Diskriminierungsdiagramme der Keramikgruppen geht hervor, daß innerhalb der Mayener Region neben den historisch gut dokumentierten Töpferei-

werkstätten von Mayen-Ofen und Mayen-Eich auch die Existenz weiterer Töpfereien anzunehmen ist. Auch für die Speyerer Region zeichnet sich die Gegenwart einiger eigenständiger Töpfereien ab. Auf Grund der chemographischen Diskriminierung der Scherbengruppen sind die in folgender Tabelle 2 zusammengefaßten regionalen Töpfereien als möglich zu betrachten.

	Region Mayen	Region Speyer
Klassifizierung	Töpferei	Töpferei
Historisch und chemisch	Mayen-Ofen, Mayen-Eich	Rheinzabern
Chemisch	Mayen 1, Mayen 2, Mayen 3, Mayen 4	Speyer 1, Speyer 2, Speyer 3

Tab. 2 Auf Grund historischer und chemischer Kriterien anzunehmende Töpfereien in den Regionen von Mayen und Speyer.

Zuordnung der Produkte der Keramikgruppen

Die diskutierten binären Cr-Zr-Diskriminanzdiagramme der einzelnen Keramikgruppen zeigten, daß einige von ihnen sich sowohl aus den Mayen-Ofen- und Mayen-Eich-Referenzfeldern als auch vom Rheinzabern-Referenzfeld trennen und deshalb als *charakteristische Produkte* archäologisch nicht lokalisierter Keramikwerkstätten deklariert werden können. Unter der Voraussetzung, daß diese Annahme zutrifft, wurden die Verdichtungsbereiche der Scherben dieser Keramikgruppen als darstellende Flächen der »vermuteten Keramikwerkstätten« definiert. Es muß hier jedoch bemerkt werden, daß die darstellenden Flächen dieser Keramikgruppen lediglich als vermutete lokale Bezugstöpfereien und nicht als Referenzwerkstätten zu betrachten sind.

In das Cr-Zr-Diskriminanzdiagramm mit den Referenzflächen und den Bezugsflächen der lokalen Töpfereien können dann die Scherben der Keramikgruppen, einzeln oder gemeinsam, erneut projiziert werden, um dadurch eine realistische Zuordnung an mögliche Herstellungsorte zu erreichen.

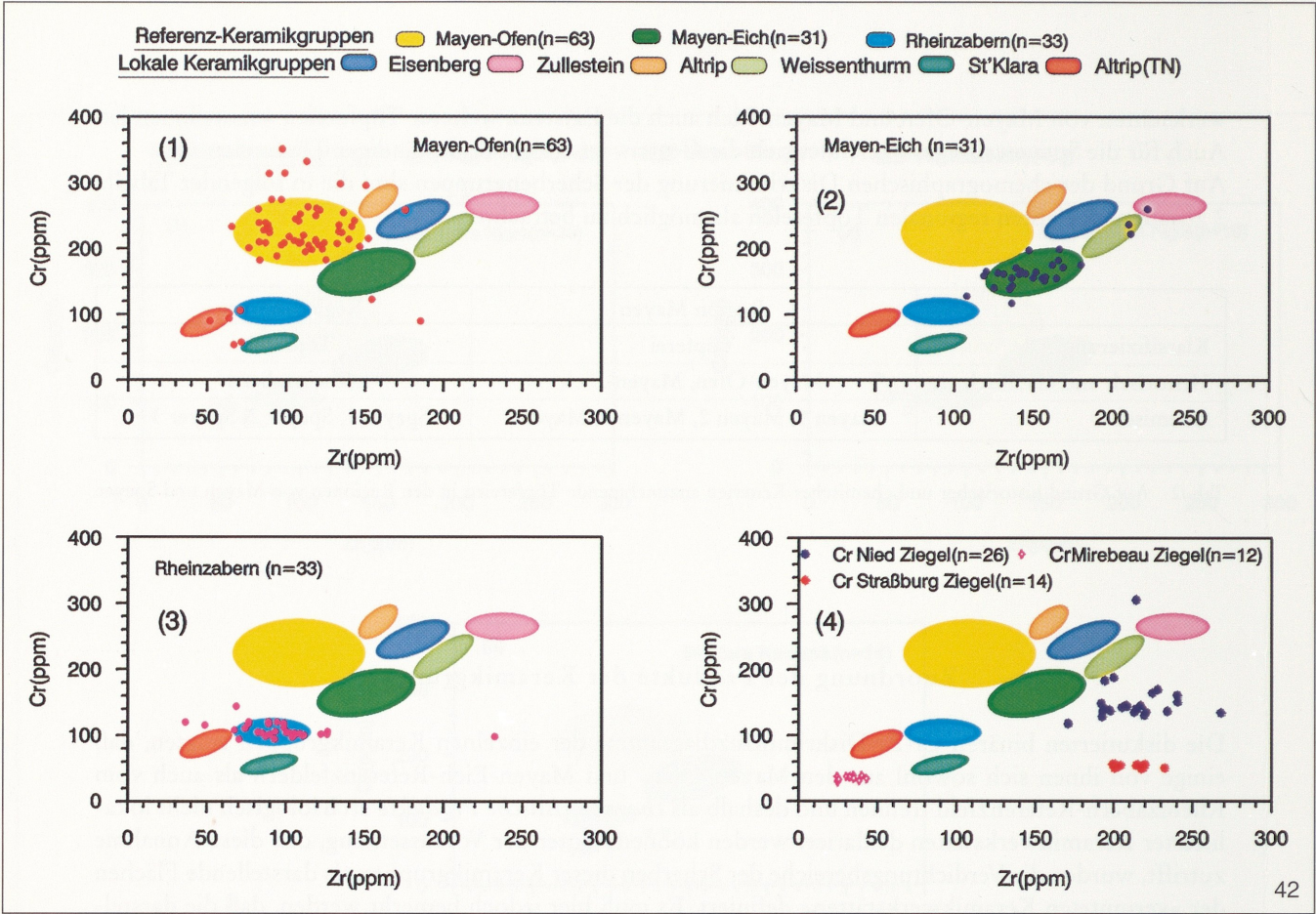
In den Diagrammen der Abbildung 42 wurden neben den Referenzfeldern von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern auch die darstellenden Felder der postulierten Töpfereien Mayen 1, Mayen 2, Mayen 3 und Mayen 4 als zusätzliche Bezugstöpfereien der Mayener Region sowie die darstellenden Flächen der Keramikgruppen Speyer 1 und Speyer 2 als charakteristische Bezugstöpfereien der Speyerer Region gezeichnet.

In den Diagrammen 1, 2 und 3 sind die darstellenden Punkte der Scherben der Referenz-Keramikgruppen ebenfalls geplottet. Die Rheinzabern-Scherbe mit den Koordinaten Cr(100), Zr(230) gehört dabei nicht zu dieser Gruppe, sondern sie stammt aus der Lokalität Speicher und wurde absichtlich zu Testzwecken in die Gruppe gelegt.

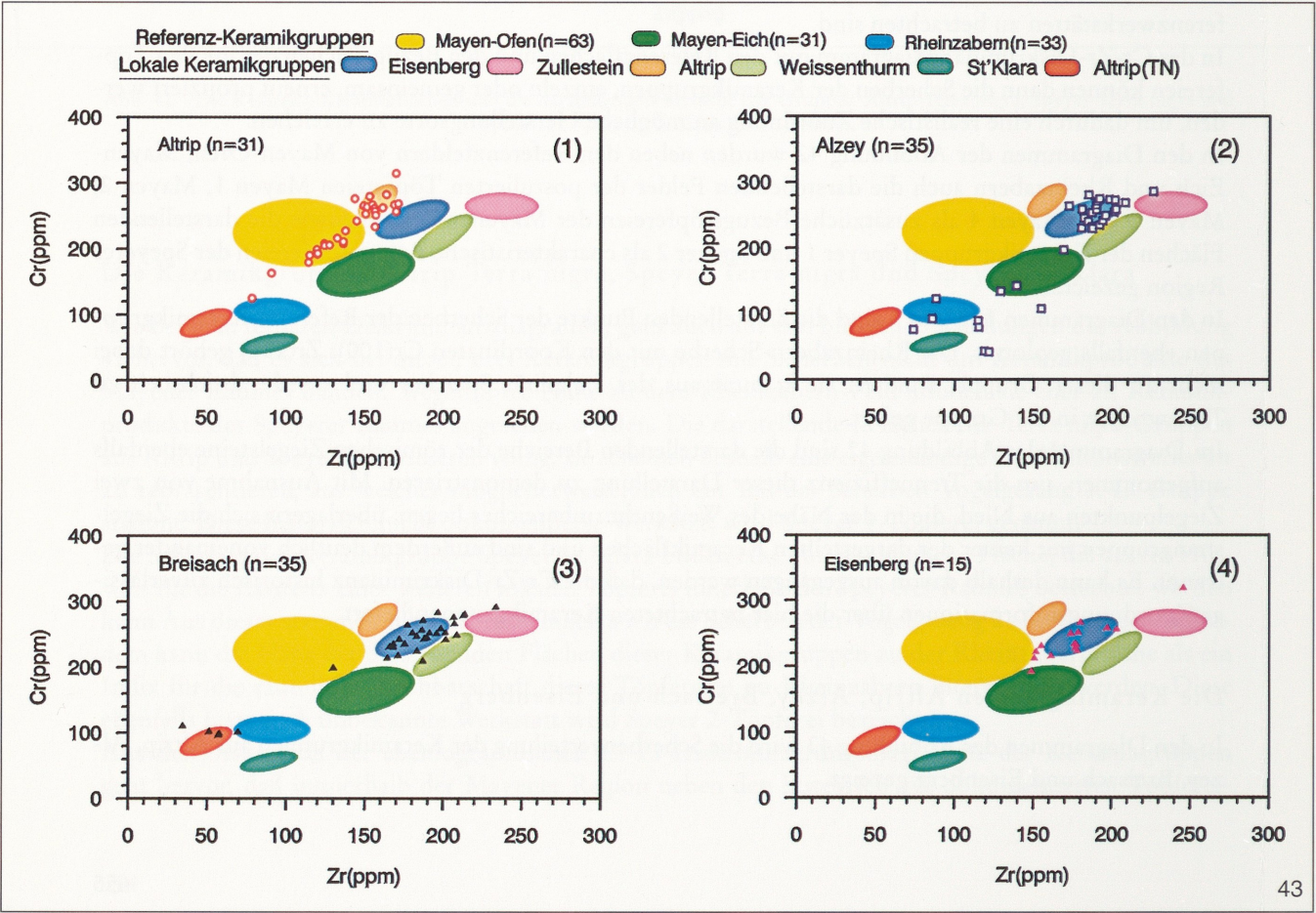
Im Diagramm 4 der Abbildung 42 sind die darstellenden Bereiche der römischen Ziegelsteine ebenfalls aufgenommen, um die Trenneffizienz dieser Darstellung zu demonstrieren. Mit Ausnahme von zwei Ziegelpunkten aus Nied, die in der Nähe des Weißenthurbereiches liegen, überlagern sich die Ziegelsteingruppen mit keiner der dargestellten Keramikflächen und sind außerdem deutlich voneinander getrennt. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß die Cr-Zr-Diskriminanz historisch zuverlässige Zuordnungsinformationen über die hier betrachteten Keramikgruppen liefert.

Die Keramikgruppen Altrip, Alzey, Breisach und Eisenberg

In den Diagrammen der Abbildung 43 wird die Scherbenverteilung der Keramikgruppen aus Altrip, Alzey, Breisach und Eisenberg gezeigt.



42



43

Abb. 42. 43 Die Referenz- und Töpfereiflächen sowie die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Mayen-Ofen, Mayen-Eich, Rheinzabern und der römischen Ziegelsteine (42) sowie der Scherben der Keramikgruppen Altrip, Alzey, Breisach und Eisenberg (43) im binären Cr-Zr-System.

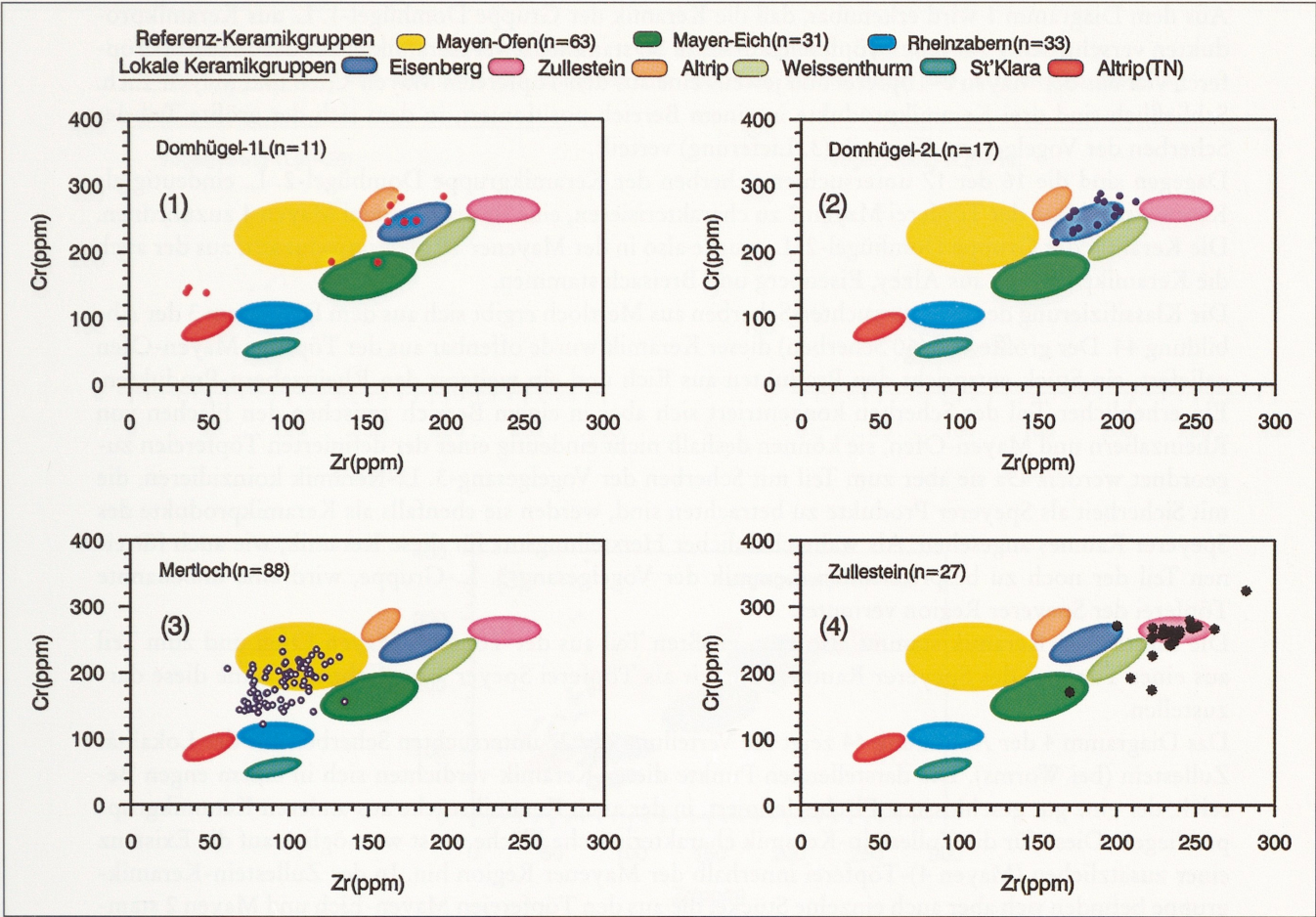


Abb. 44 Referenz- und Töpfereiflächen sowie die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Domhügel-1. L., Domhügel-2. L., Mertloch und Zullestein im binären Cr-Zr-System.

Die Scherben der Altrip-Keramik verteilen sich hauptsächlich zwischen der Mayen-Ofen-Referenzfläche (12 Scherben) und der Fläche der Mayen 1-Töpferei (15 Scherben). Es zeigt sich also, daß Altrip hauptsächlich aus zwei Töpfereien der Mayener Region, nämlich aus der bekannten Töpferei Mayen-Ofen und aus der Töpferei Mayen 1, beliefert wurde. In der Altrip-Gruppe sind auch eine Scherbe aus Rheinzabern und zwei Scherben aus der Töpferei Mayen 2 vorhanden.

Für die Keramikgruppen Alzey, Breisach und Eisenberg ist aus den Diagrammen erkennbar, daß der größte Teil der Keramikprodukte im Bereich der Mayen 2-Töpferei liegt, was auf die Belieferung dieser Ortschaften hauptsächlich aus dieser Töpferei des Mayener Raumes schließen läßt. Diese Ortschaften bezogen ihre keramischen Produkte jedoch nicht ausschließlich aus der Töpferei Mayen 2, sondern auch aus den Töpfereien Eich und Rheinzabern (Alzey), Mayen-Ofen und Eich (Eisenberg) und Mayen-Ofen, Mayen 3, Mayen 4, Rheinzabern und Speyer 1 (Breisach).

Die Keramikgruppen, Speyer-Domhügel (1. und 2. Lieferung), Mertloch und Zullestein

Eine Zuordnung der Scherben der Keramikgruppen Speyer-Domhügel (1. Lieferung), Speyer-Domhügel (2. Lieferung), Mertloch und Zullestein bezüglich der Referenz-Keramikflächen und der Töpferei-Bezugsflächen liefern die Diagramme der Abbildung 44.

Aus dem Diagramm 1 wird erkennbar, daß die Keramik der Gruppe Domhügel-1. L. aus Keramikprodukten verschiedener Mayener Töpfereien besteht. So stammen zwei Keramiken aus der Mayen 1-Töpferei, vier aus der Mayen 2-Töpferei und jeweils eine aus den Töpfereien Mayen-Ofen und Mayen-Eich. Schließlich sind drei Keramikprodukte in einem Bereich positioniert, in dem sich der größte Teil der Scherben der Vogelgesang-Keramik (3. Lieferung) verteilt.

Dagegen sind die 16 der 17 untersuchten Scherben der Keramikgruppe Domhügel-2. L. eindeutig als Keramikprodukte der Töpferei Mayen 2 zu charakterisieren, eine ist der Töpferei Mayen 4 zuzuordnen. Die Keramik der Gruppe Domhügel-2. L. wurde also in der Mayener Töpferei produziert, aus der auch die Keramikprodukte aus Alzey, Eisenberg und Breisach stammen.

Die Klassifizierung der 88 untersuchten Scherben aus Mertloch ergibt sich aus dem Diagramm 3 der Abbildung 44. Der größte Teil (60 Scherben) dieser Keramik wurde offenbar aus der Töpferei Mayen-Ofen geliefert, ein Stück entspricht den Produkten aus Eich und ein weiteres den Rheinzabern-Produkten. Ein erheblicher Teil der Scherben konzentriert sich aber in einem Bereich zwischen den Flächen von Rheinzabern und Mayen-Ofen, sie können deshalb nicht eindeutig einer der definierten Töpfereien zugeordnet werden. Da sie aber zum Teil mit Scherben der Vogelgesang-3. L.-Keramik koinzidieren, die mit Sicherheit als Speyerer Produkte zu betrachten sind, werden sie ebenfalls als Keramikprodukte des Speyerer Raumes angesehen. Als wahrscheinlicher Herstellungsort für diese Keramik, wie auch für einen Teil der noch zu besprechenden Keramik der Vogelgesang-3. L.-Gruppe, wird eine unbekannte Töpferei der Speyerer Region vermutet.

Die Mertlocher Keramik stammt also zum größten Teil aus der Töpferei Mayen-Ofen und zum Teil aus einer Töpferei des Speyerer Raumes, die wir als Töpferei Speyer 3 bezeichnen – ohne diese darzustellen.

Das Diagramm 4 der Abbildung 44 zeigt die Verteilung der 27 untersuchten Scherben aus der Lokalität Zullestein (bei Worms). Die darstellenden Punkte dieser Keramik verdichten sich in einem engen Bereich, der eine gut geschlossene Fläche definiert, in der auch Keramikstücke aus anderen Keramikgruppen liegen. Diese für die Zullestein-Keramik charakteristische Fläche weist womöglich auf die Existenz einer zusätzlichen (Mayen 4)-Töpferei innerhalb der Mayener Region hin. In der Zullestein-Keramikgruppe befinden sich aber auch einzelne Stücke, die aus den Töpfereien Mayen-Eich und Mayen 2 stammen, sowie vier zu keiner Gruppe gehörende Scherben.

Die Keramikgruppen Speyer Vogelgesang (1., 2. und 3. Lieferung)

In den Diagrammen der Abbildung 45 wird die Verteilung der darstellenden Punkte der Keramikgruppen Speyer-Vogelgesang (1. Lieferung, 2. Lieferung und 3. Lieferung) relativ zu den Referenz- und Bezugsflächen dokumentiert.

Obwohl die Scherben aller drei Gruppen aus der Lokalität Speyer-Vogelgesang stammen, zeigen sie unterschiedlichen Zuordnungen. Während die Keramikprodukte der Vogelgesang-1. L.-Gruppe zum größten Teil als Produkte der Töpferei Mayen-Ofen zugewiesen werden, stammen die meisten Keramiken der Vogelgesang-2. L.-Gruppe aus der gleichen Produktion wie die Keramik der St. Klara-Gruppe (Töpferei Speyer 2). Zwei Keramikstücke der Vogelgesang-2. L.-Gruppe sind außerdem als Rheinzabern-Ware zu betrachten.

Die Keramik der Vogelgesang-3. L.-Gruppe wird, wie aus dem Diagramm 3 hervorgeht, verschiedenen Töpfereien zugeordnet. Acht Scherben werden als Keramikprodukte der Mayen-Ofen-Töpferei qualifiziert, elf Keramiken könnten aus der Rheinzabern-Produktion und vier Keramikprodukte aus der Töpferei Speyer 1 (Altrip-Terra nigra-Töpferei) stammen.

Insgesamt 49 Keramikprodukte lassen sich aber zu keiner der dargestellten Töpfereien mit Sicherheit einordnen. Wie aus dem Diagramm 3 erkennbar, verteilen sich diese in einer Fläche, die direkt unterhalb des Mayen-Ofen-Bereiches beginnt und sich bis hinunter zu der Altrip-Terra nigra-Fläche erstreckt. Die Tatsache jedoch, daß die größte Verdichtung der Keramikprodukte innerhalb dieser Fläche in der unmittelbaren Nähe der Fläche der Speyer 1-Töpferei liegt, läßt vermuten, daß diese in einer nicht be-

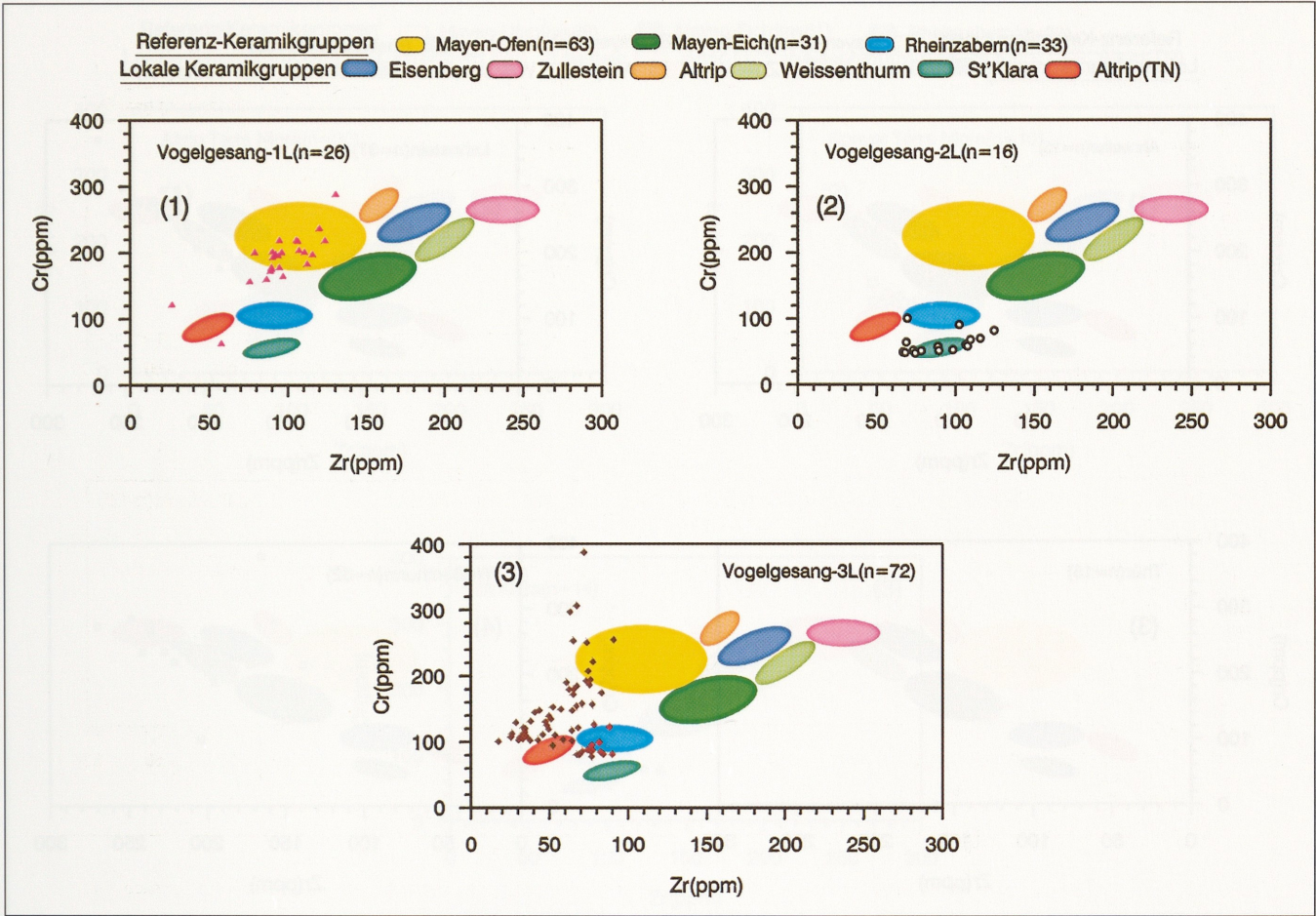


Abb. 45 Die Referenz- und Töpfereiflächen sowie die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen 1. Lieferung, 2. Lieferung und 3. Lieferung aus Speyer-Vogelgesang im binären Cr-Zr-System.

kannten Töpferei des Speyerer Raumes (Töpferei Speyer 3) hergestellt wurden. Aus der gleichen Töpferei dürften auch die bereits diskutierten 26 Keramikprodukte der Mertloch-Gruppe, sechs der Vogelgesang-1.L.-Gruppe sowie dreier Domhügel-1.L.-Gruppe stammen. Die Existenz der Töpferei Speyer 3 wird also hauptsächlich durch Keramikprodukte der Gruppen Mertloch und Speyer Vogelgesang-3. L. angedeutet.

Die Keramikgruppen aus Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm

Die Zuordnung der Keramikprodukte aus den Lokalitäten Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm wird in den vier Diagrammen der Abbildung 46 angegeben. Elf der 15 Keramiken der Ahrweiler Keramik sind Produkte der Eicher Töpferei, drei stammen aus der Töpferei Mayen 3 und ein Stück aus der Töpferei Mayen 4.

Für die Keramikprodukte aus der Lokalität Lahnstein lassen sich mehrere Töpfereien des Mayener Raumes als Zulieferer erkennen. So stammen zehn aus der Eicher Töpferei, sechs aus der Töpferei Mayen 3 und 19 aus der Töpferei Mayen 4.

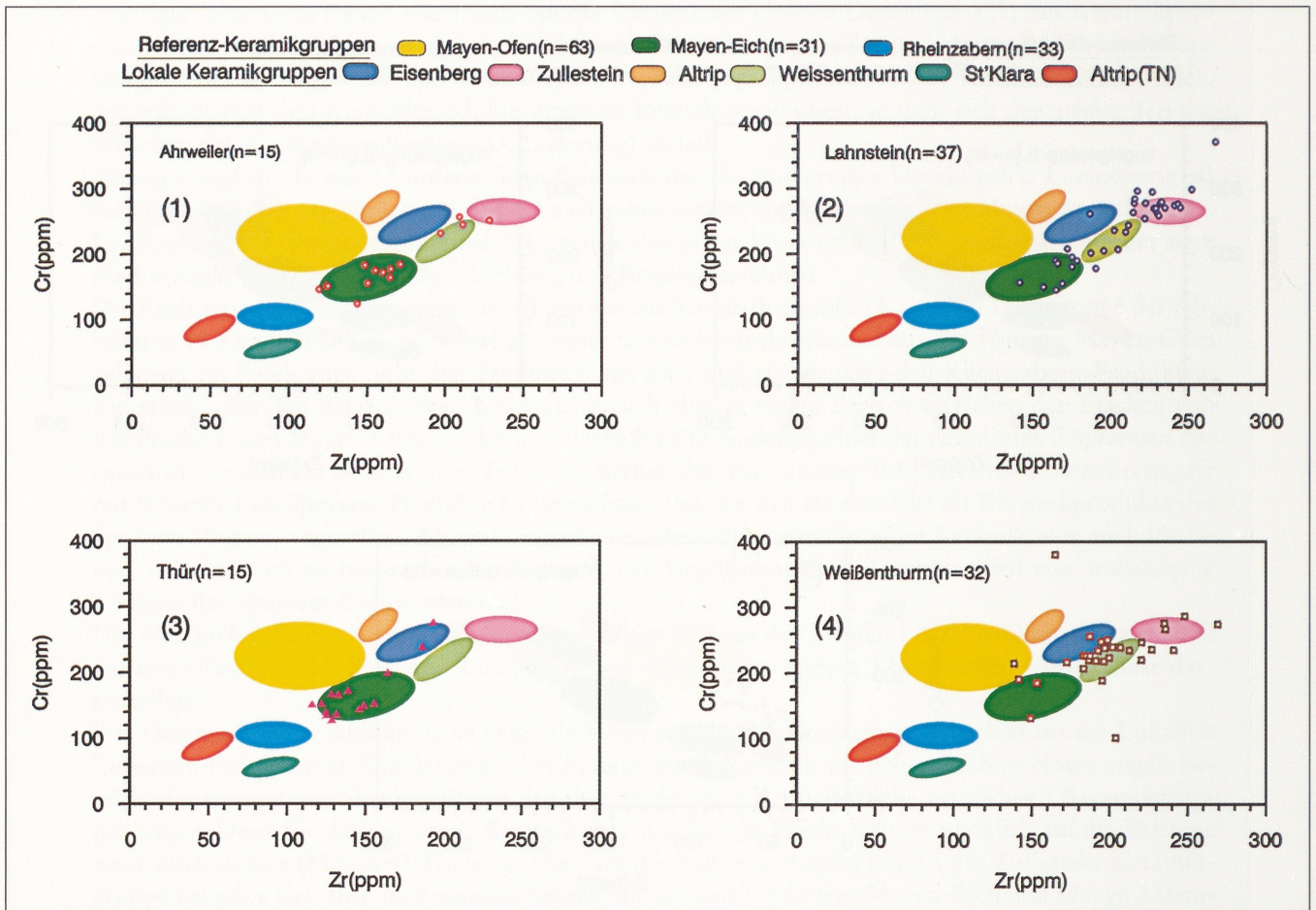


Abb. 46 Die Referenz- und Töpfereiflächen sowie die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Ahrweiler, Lahnstein, Thür und Weißenthurm im binären Cr-Zr-System.

Auch Keramikware (ein Stück) aus der Töpferei Mayen 2 ist offenbar nach Lahnstein geliefert worden. Eine Scherbe dieser Keramikgruppe kann keiner der betrachteten Töpfereien zugeordnet werden. Wie aus dem Diagramm 3 erkennbar, stammen 13 Keramikprodukte der Thür-Gruppe aus der Produktion der Eicher Töpferei und nur zwei aus der Töpferei Mayen 2.

Der größte Teil der Keramikprodukte (16 Stück) aus Weißenthurm (Diagr. 4) wurde in der als Mayen 3 definierten Töpferei hergestellt. Auch Produkte von anderen Töpfereien sind in dieser Keramikgruppe enthalten. So stammt eine aus der Töpferei Mayen-Ofen, drei aus der Töpferei Eich, fünf aus der Produktion der Töpferei Mayen 2, während vier Stücke aus der Töpferei Mayen 4 geliefert worden zu sein scheinen. Lediglich drei Scherben dieser Keramikgruppe lassen sich nicht zuordnen.

Die Keramikgruppen, Altrip Terra nigra, Speyer Terra nigra und Speyer St. Klara

Einen Überblick über die Zuordnung dieser Keramikprodukte liefern die Diagramme der Abbildung 47. Der größte Teil der Terra nigra aus Altrip (23 Stücke) und aus Speyer (sieben Stücke) stammt aus der Produktion der Töpferei Speyer 1. Die Gruppe Altrip enthält außerdem auch Ware aus Rheinzabern (drei Stücke), aus der Töpferei Speyer 2, die durch die St. Klara-Fläche definiert wird, und aus der Töpferei Mayen 2, während ein Keramikstück nicht charakterisierbar ist.

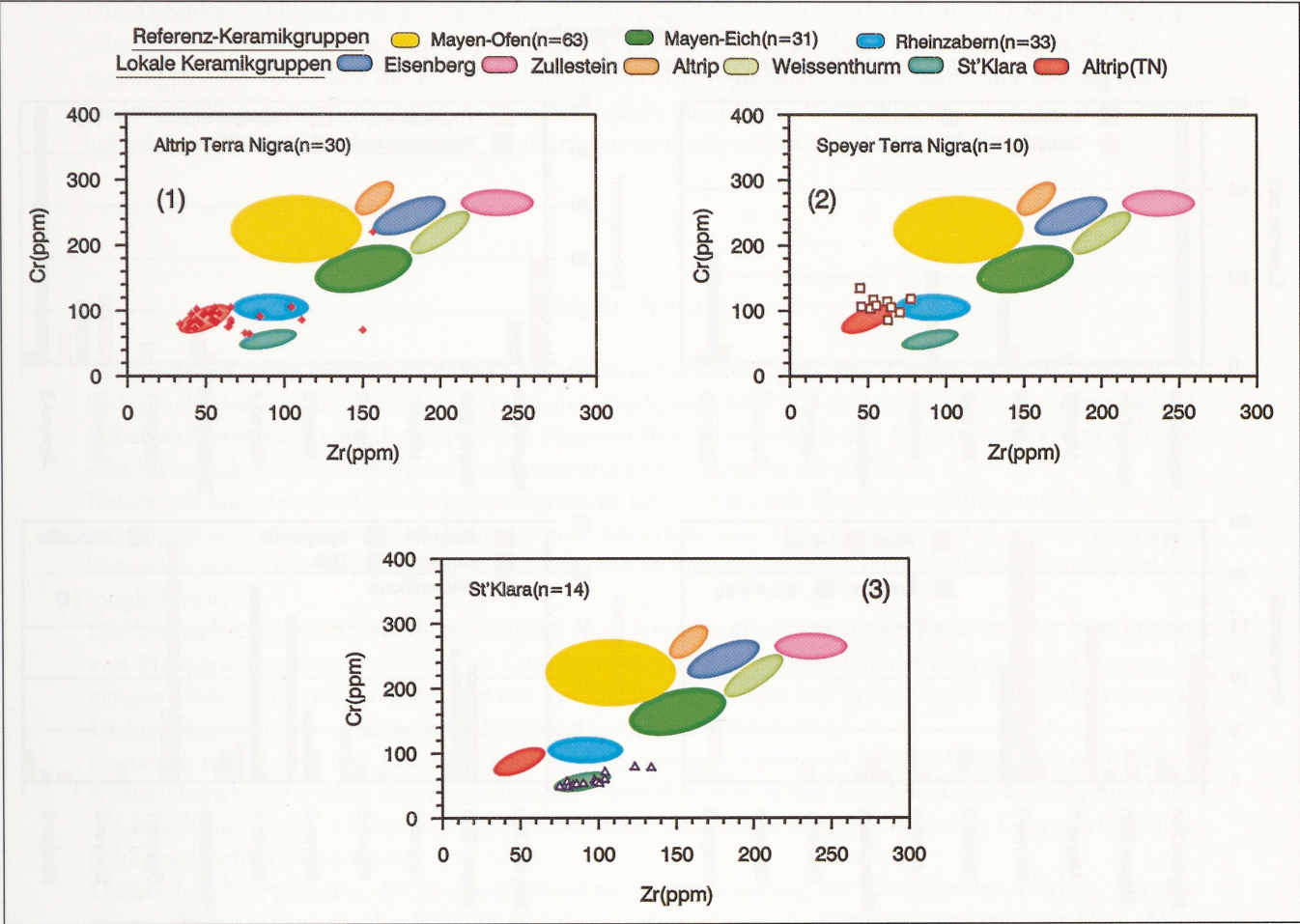


Abb. 47 Die Referenz- und Töpfereiflächen sowie die darstellenden Punkte der Scherben der Keramikgruppen Altrip-Terra nigra, Speyer-Terra nigra und St. Klara im binären Cr-Zr-System.

Unter der Terra nigra aus Speyer sind zwei Keramiken, die aus Rheinzabern stammen, und nur ein Stück scheint unbekannter Herkunft zu sein.

Die Keramikgruppe St. Klara beinhaltet Produkte, die, bis auf zwei, alle aus der Töpferei Speyer 2 stammen, aus der auch die 13 Keramikstücke der Vogelgesang-2. L.-Gruppe geliefert wurden.

*

Mit Hilfe der geochemisch und archäologisch gesicherten Referenz-Keramikflächen sowie der geochemisch definierten Töpferei-Bezugsflächen der Cr-Zr-Diskriminanzdiagramme läßt sich eine »feinere« Zuordnung der historischen Keramikprodukte aus der Mayener und aus der Speyerer Region erreichen. So können Scherbengruppen sowie einzelne Scherben mehr oder weniger eindeutig historisch bekannten und unbekannten Töpfereiwerkstätten zugewiesen werden.

Einen graphischen Überblick über die Verteilung der Keramikprodukte der vorgelegten Keramikgruppen in den auf Grund der Cr-Zr-Diskriminanz definierten regionalen Töpfereien vermittelt die Abbil-

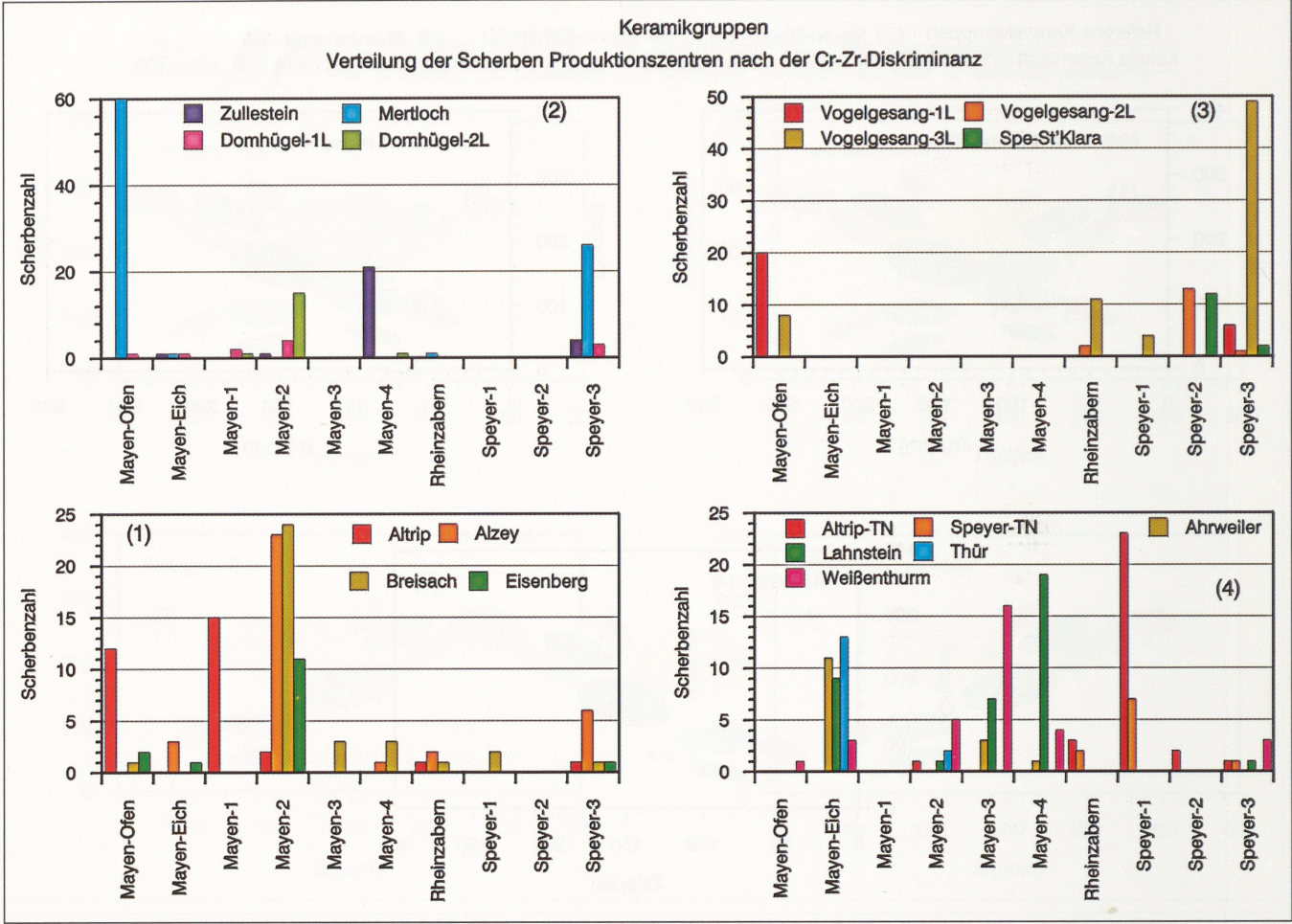


Abb. 48 Graphische Darstellung der Zuordnung der Keramikartefakte aus den untersuchten Keramikgruppen zu den regionalen Töpfereiwerkstätten.

dung 48. In der Abszisse wurden die lokalen Werkstätten der Töpferei-Regionen Mayen und Speyer eingetragen, während die Ordinate die Anzahl der Keramikartefakte der in den einzelnen Diagrammen zusammengefaßten Keramikgruppen angibt, die den jeweiligen Töpfereien zugeordnet werden. So ist z. B. aus dem Diagramm (1) erkennbar, daß der größte Teil der Keramikprodukte aus Alzey, Breisach und Eisenberg sowie zwei Keramikstücke von Altrip aus der Produktion der Mayen 2-Töpferei stammen. Aus derselben Töpferei kommen fast alle Keramikprodukte der Gruppe Domhügel-2. L., einige Keramikstücke der Gruppe Domhügel-1. L. (Diagr. 2) sowie Keramikprodukte der Keramikgruppen Altrip-Terra nigra, Lahnstein, Thür und Weißenthurm (Diagr. 4). Dagegen befindet sich in den Speyer-Vogelgesang-Keramikgruppen und in der Speyer-St. Klara-Keramikgruppe (Diagr. 3) kein Keramikartefakt aus der Mayen 2-Töpferei. Nach dem diskutierten Deutungsschema kann also festgestellt werden, welche Lokaltäten eine bestimmte Töpferei beliefert hat oder von welchen Töpfereien eine bestimmte Lokaltät beliefert wurde. So scheinen z.B. für die Lokaltät Altrip die Töpfereien von Mayen-Ofen und Mayen 1 die Hauptlieferanten gewesen zu sein. Zum Teil aber bezog Altrip keramische Produkte auch von den Töpfereien Mayen 2, Rheinzabern und Speyer 3. Auch Breisach wurde teilweise von anderen Töpfereien, wie z.B. Mayen 3, Mayen 4, Rheinzabern, Speyer 1 und Speyer 3, beliefert.

Die Abbildung skizziert nur einige der möglichen Handelsbeziehungen innerhalb der betrachteten, geschichtlich äußerst interessanten Region. Aussagen über die Chronologie der aufgezeigten Handelsbeziehungen sind aber ohne die Berücksichtigung der überregionalen historischen Entwicklung und der Gegebenheiten dieses Siedlungsraumes nicht möglich. Solch eine Information wäre z.B. für die Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Töpfereiregionen Speyer und Mayen von Wichtigkeit.

Schlußfolgerungen

Bei der graphischen Präsentation und Diskussion der chemographischen Zuordnungsmöglichkeiten aller betrachteten Keramikgruppen in regionalen Töpfereien mit Hilfe der geochemisch und historisch gesicherten Referenz-Keramikgruppen von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern zeigte sich, daß eine historisch widerspruchsfreie Zuordnung nicht ohne weiteres möglich ist.

Binäre wie auch ternäre Diskriminanzdiagramme lieferten je nach Elementkombination Scherbangruppierungsmuster, die sich erheblich voneinander unterschieden. Das führte dazu, daß eine objektive und historisch eindeutige Interpretation der erhaltenen chemographischen Gruppendiskriminanz fast unmöglich war.

Die beobachtete historische Mehrdeutigkeit der Gruppierungen trat in der Regel bei der Verwendung von Hauptelementkombinationen als Diskriminanzparameter besonders deutlich hervor. Dagegen erzeugen Diskriminanzdiagramme nur mit Spurenelementen oder mit Spuren- und Hauptelementen als Diskriminanzparameter historisch plausiblere Gruppenzuordnungen.

Es zeigte sich dabei, daß neben den Referenz-Keramikgruppen von Mayen-Ofen, Mayen-Eich und Rheinzabern auch weitere Referenzkriterien erforderlich waren, um eine eindeutige Entscheidung über die klassifikatorische Effizienz und die historische Signifikanz der verschiedenen Gruppierungsmöglichkeiten treffen zu können.

Durch die Heranziehung der chemographischen Diskriminierung der darstellenden Flächen, der geochemisch und historisch ebenfalls gut charakterisierten römischen Ziegelsteingruppen aus Nied, Mirebeau und Straßburg als zusätzliches Referenzkriterium konnte gezeigt werden, daß sowohl die ternäre $(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{Zr}/100)-(\text{Cr}/100)$ als auch die binäre Cr-Zr-Diskriminanz objektive und historisch interpretierbare Informationen liefern.

Als Konsequenz der ausführlichen Diskussion der ternären und binären Diskriminanzdiagramme ergab sich eine Reihe archäologisch relevanter Informationen über die regionale Zuordnung der untersuchten Keramikgruppen.

- Die untersuchten Keramikgruppen lassen sich den zwei mittelhheinischen Herstellungsregionen Mayen und Speyer zuordnen.
- Innerhalb der jeweiligen Region arbeiteten offensichtlich mehrere Töpfereiwerkstätten (zeitgleich oder zeitversetzt?).
- In der Speyerer Region haben neben der Rheinzabern-Töpferei sehr wahrscheinlich drei weitere Töpfereien (Speyer 1, Speyer 2 und Speyer 3) Keramikprodukte hergestellt und an verschiedene Orte geliefert. Sie verwendeten dabei tonige Rohstoffe, die allgemein etwas höhere Erdalkaligehalte (CaO, MgO) besaßen als die Tone des Mayener Raumes. Diese Töpfereien bezogen ihren Ton entweder aus verschiedenen benachbarten Tonvorkommen oder aus verschiedenen Bereichen der gleichen Lagerstätte, was durch die unterschiedlichen Cr- und Zr-Gehalte der Keramikprodukte zum Ausdruck kommt.
- Auch innerhalb der Mayener Region dürften neben Mayen-Ofen und Mayen-Eich zumindest weitere vier Töpfereiwerkstätten (Mayen 1, Mayen 2, Mayen 3 und Mayen 4) produziert und Ortschaften innerhalb und außerhalb der Region beliefert haben.

Die Rohstoffe wurden hier offenbar aus kleinen regionalen Tonvorkommen oder verschiedenen Be-

reichen eines großen Tonlagers gewonnen. Die abgebauten tonigen Rohstoffe des Mayener Raumes besaßen niedrigere Erdalkaligehalte und etwas höhere Cr- und Zr-Gehalte als die entsprechenden Rohstoffe des Speyerer Raumes.

- Während die Speyerer Töpfereien nur Ortschaften innerhalb der Region beliefert zu haben scheinen, erlangten die Mayener Töpfereien offensichtlich überregionale Bedeutung, indem sie ihre keramischen Produkte auch nach außerhalb der Region »exportierten«.

Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen historischen Informationen sollten nicht unbedingt dogmatisch betrachtet werden, denn sie basieren auf pauschalen chemischen Informationen, die in den Keramikscherben »gespeichert« sind. Bedingt durch den Herstellungsprozeß der Keramikprodukte, kann aber diese »gespeicherte« chemische Information z.T. erheblich von der primären chemischen Zusammensetzung der verwendeten Tone abweichen.

Durch den Einsatz von leistungsfähigeren chemisch-analytischen Methoden, separate Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Magerungsbestandteile und der tonigen Matrix der Scherben sowie durch die Erkundung und Beprobung der Palaeolagerstätten mit anschließender analytischer Erfassung und Quantifizierung der chemischen Zusammensetzung der Rohstoffe könnte es zu Verschiebungen der darstellenden Bereiche der postulierten Werkstätten kommen, die dann auch zu einer teilweisen Anpassung der hier präsentierten Aussagen führen würden.

Es wird außerdem, auf Grund der begrenzten geochemischen und mineralischen Variabilität der natürlichen Tone, möglicherweise nicht zu vermeiden sein, daß sich bei der Berücksichtigung weiterer Keramikgruppen historisch widersprüchliche Koinzidenzen der darstellenden Flächen ergeben. Es wird deshalb erforderlich sein, weitere und nach Möglichkeit unabhängige Klassifizierungskriterien für historische Keramikprodukte zu erarbeiten.

LITERATURVERZEICHNIS

- Allen, R. and Hamroush, H. (1984): The application of geochemical techniques to the investigation of two predynastic sites in Egypt, pp. 67-77. In: *Archaeological Chemistry III*. Lambert, J. B. (Ed.), *Advances in chemistry*, series 205, ACS, Washington D. C.
- Annis, B. N. and Jacobs, L. (1986): Ethnoarchaeological research. Pottery production in Oristano (Sardinia). Relationships between raw materials, manufacturing techniques and artefacts. Newsletter, Department of Pottery Technology, University of Leiden. The Netherlands, pp. 56-78.
- Argyropoulos, V. (1995): A characterization of the compositional variations of Roman Samian pottery manufactured at the Lezoux production centre. *Archaeometry* 37, 2, pp. 271-285.
- Brooks, D., Bieber, Jr. A. M., Harbottle, G. and Sayre, E. V. (1974): Biblical studies through activation analysis of ancient pottery, pp. 48-80. In: *Archaeological chemistry*. Beck, C. W. (Ed.), *Advances in chemistry*, series 138, ACS, Washington D. C.
- Davis, J. C. (1973): *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley, London, pp. 550.
- De Bruin, M., Korthoven, P. I. M., Steen, A. I. V. D., Houtman, I. P. W. and Duin, R. P. W. (1976): The use of trace elements in the identification of objects. *Archaeometry* 18, pp. 75-83.
- Dean, R. B. and Dixon, W. J. (1951): Simplified statistics for small numbers of observations. *Analytic. Chem.* 303, pp. 636-639.
- Doerffel, K. (1984): *Statistik in der analytischen Chemie*. Verlag Chemie, pp. 192.
- Don Brothwell (1983): Petrology and archaeology: an introduction, pp. 1-25. In: Kempe, D. R. C. and Harvey, A. P. (Eds.), *The petrology of archaeological artefacts*. Clarendon Press.
- Kempe, D. R. C. and Templeman, J. A. (1983): Techniques, pp. 26-52. In: Kempe, D. R. C. and Harvey, A. P. (Eds.), *The petrology of archaeological artefacts*. Clarendon Press.
- Knoll, H. (1976 b): Aspekte der Materialuntersuchung antiker Objekte. *Informationsblätter zu Naturwissenschaften der Ur- und Frühgeschichte* 7, Arch. Koord., p. 7.
- Koch, G. S. Jr. and Link, R. F. (1971): Statistical analysis of geological data. John Wiley, London; Vol. I, pp. 375; Vol. II, pp. 438.
- Kritsotakis, K. (1986): Mineralogische und geochemische

- Untersuchungen zur Charakterisierung Rheinzaberner Terra Sigillata und rauhwandiger Keramik Mayener Art. *Jahrb. Röm.-Germ. Zentralmus.* 33, pp. 753-782.
- (1992): Mineralogische und geochemische Charakterisierung der prähistorischen Keramik aus Hellbrunnerberg bei Salzburg, pp. 1-3. In: Klemm, D. D. u. Brumster, A. (Eds.), Tagungsbeiträge der gemeinschaftlichen Tagung der Arbeitskreise Archäometrie und Denkmalpflege, der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft und Archäometrie der Gesellschaft Deutscher Chemiker.
- (1995): Vergleichende chemisch-mineralogische Untersuchungen an römischen Ziegeln aus Straßburg, Mirebeau, Nied, Heddernheim, Okarben und Wagbach, pp. 268-310. In: Goguet, R. und Reddé, M., *Le camp légionnaire de Mirebeau. Monogr. Röm.-Germ. Zentralmus.* 36.
- (1998): Mineralogische und chemische Charakterisierung von Keramik aus der früh- bis hochmittelalterlichen Siedlung »Im Vogelgesang«, Speyer. *Jahrb. Röm.-Germ. Zentralmus.* 45, pp. 647- 678.
- Hrouda, B. (1978): Methoden der Archäologie: Eine Einführung in ihre naturwissenschaftlichen Techniken. Beck-Verlag, München, pp. 392.
- Maggetti, M. (1980): Recherches minéralogiques, chimiques et technologiques sur la terre sigillée de l'atelier de la Péniche (Vidy/Lausanne) pp. 81-95. In: *Cahiers d'Archéologie Romande* 20, Lousonna 4.
- (1986): Majolika aus Mexiko – ein archäometrisches Fallbeispiel. *Fortschr. Miner.* 64, pp. 87-103.
- Maggetti, M., Schubiger, A. u. Wytenbach, A. (1981): Homogenität archäologischer keramischer Objekte, Teil II: Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse, pp. 21-32. In: *Archäologie und Naturwissenschaften (Mainz)* 2.
- Maniatis, Y., Aloupi, H. and Hourmouziadi, A. (1989): An attempt to identify flint origin and heat treatment by SER Spectroscopy, pp. 645-659. In: Maniatis, Y. (Ed.), *Archaeometry*. Elsevier Verlag.
- Matson, F. R. (1951): Ceramic technology as an aid to cultural interpretation – techniques and problems. In: Griffin, J. B. (Ed.), *Essays of archaeological methods. Proceedings of a conference held under auspices of the Viking Found., march 1950. Anthropological Papers* 8, Museum of Anthropology, Univ. of Michigan.
- (1974): Archaeological ceramic study. Possibilities with a thermal gradient furnace, pp. 34-47. In: Beck, C. W. (Ed.), *Archaeological chemistry. Advances in chemistry, series* 138. ACS, Washington D. C.
- Millett, A. and Calting, H. W. (1966): Composition and provenience: a challenge. *Archaeometry* 9, pp. 92-97.
- Mommsen, H., Kreuser, A., Weber, J. and Podzuweit, Ch. (1989): Classification of Mycenaean Pottery from Castanas by Neutron Activation Analysis, pp. 515-523. In: Maniatis, Y. (Ed.), *Archaeometry*. Elsevier Verlag.
- Morel, J.-P. and Picon, M. (1994): Les céramiques Étrusco-Campaniennes: Recherches en Laboratoire, pp. 23-46. In: Olcese, G. (Ed.), *Ceramica Romana e archeometria: Lo stato degli studi. Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia Delle Arti, Sezione Archeologia – Università di Siena*.
- Norton, F. H. (1959): Clay deposits as a mean of identifying pottery. *Res. Lab. Mus. Fine Arts, Boston*, pp. 139-144.
- Nungässer, W., Maggetti, M. u. Stöckli, W. E. (1985): Neolithische Keramik von Twan – Mineralogische und petrographische Untersuchungen. *Jahrb. Schweiz. Ges. Ur- u. Frühgesch.* 68, pp. 6-39.
- Peacock, D. P. S. (1970): The scientific analysis of ancient ceramics: a review. *World Archaeology* 1, pp. 375-389.
- Picon, M., Vichi, M. and Meille, E. (1971): Composition of the Lezoux, Lyon and Arezzo samian ware. *Archaeometry* 13, pp. 191-208.
- Rapp, G. (1977): Archaeological geology. *Geotimes* 22, p. 16.
- (1978): Archaeological geology. *Geotimes* 23, p. 17.
- Riederer, J. (1976): Der gegenwärtige Stand der Archäometrie. *Berl. Beitr. Archäom.* 1, pp. 33-98.
- (1985): Analytische Methoden in der kulturhistorischen Forschung, pp. 3 -32. In: W. Fresenius et al. (Eds.), *Analytiker Taschenbuch, Bd. 5*. Springer Verlag.
- Schicht, R. (1967): Die Lagerstätten der keramischen Rohstoffe, 1-27. In: *Handbuch der Keramik, Gruppe I A 1*.
- Schneider, G. (1976): Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse und statistischer Methoden bei der Untersuchung von Terra Sigillata. *Informationsblätter zu Naturwissenschaften der Ur- und Frühgeschichte* 7. Physik 3, p. 14.
- (1978): Anwendung quantitativer Materialanalysen auf Herkunftsbestimmungen antiker Keramik. *Berl. Beitr. Archäom.* 3, pp. 63-122.
- (1994): Studies of Roman lamps from the northern provinces and from Rome, pp. 127- 142. In: Olcese, G. (Ed.), *Ceramica Romana e archeometria: Lo Stato Degli Studi. Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia Delle Arti, Sezione Archeologia – Università di Siena*.
- Schneider, G. u. Hoffmann, B. (1976): Bestimmung der Herkunft antiker Keramik (Terra Sigillata) mit Hilfe von Röntgenfluoreszenzanalysen. *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* 53, pp. 417-422.
- Schneider, G. u. Rother, A. (1991): Chemisch-mineralogische Untersuchungen völkerwanderungszeitlicher Keramik vom Runden Berg, pp. 190-223. In: Roth-Rubi, K. (Ed.), *Die scheibengedrehte Gebrauchskeramik vom Runden*

- Berg. Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Verlag Jan Thorbecke, Sigmaringen.
- Shepard, A. O. (1954): *Ceramics for the archaeologist*. Carnegie Institute of Washington, Pub. 609, Washington D. C., pp. 41-4.
- Späth, H. (1977): *Cluster - Analyse - Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion*. Oldenburg Verlag, München.
- Taylor, R. J. and Robinson, V. J. (1996): Neutron activation analysis of Roman African red slip Kilns. *Archaeometry* 38, 2, pp. 231-234.
- Tite, M. S. and Maniatis, Y. (1975): Scanning electron microscopy of fired calcareous clays. *Trans. Brit. Cer. Soc.* 74, pp. 19-22.
- Williams, D. F. (1983): Petrology of ceramics, pp. 301-327. In: Kempe, D. R. C. and Harvey, A. P. (Eds.), *The petrology of archaeological artefacts*. Clarendon Press.
- Willson, A. L. (1978): Elemental analysis of pottery in the study of provenance: a review. *Journal Archaeol. Science* 5, pp. 219-236.

ANHANG

Mittelwerte der chemischen Zusammensetzung der untersuchten Keramikgruppen. Konzentrationsangaben:
Hauptelementoxide in Gew.-%, Spurenelemente in ppm (mg/kg)

Keramikgruppen, Mittelwerte

	Ahrweiler	Altrip	Alzey	Breisach	Domhü.-1L	Domhü.-2L	Eich	Eisenberg	Lahnstein	Mayen-Ofen	Mertloch
SiO ₂	59.00	66.01	63.32	64.61	64.61	67.45	60.12	59.30	63.46	71.99	68.72
Al ₂ O ₃	24.71	19.39	21.87	20.65	19.32	15.67	26.29	21.84	19.23	17.05	18.95
Fe ₂ O ₃	5.46	7.13	7.16	7.57	6.98	7.84	3.97	8.94	7.37	4.76	5.73
TiO ₂	1.55	2.19	1.90	2.01	1.86	2.63	1.68	2.67	2.01	1.66	1.56
MnO	0.08	0.16	0.13	0.11	0.07	0.09	0.05	0.14	0.13	0.06	0.09
MgO	0.25	0.69	0.32	0.38	0.19	0.56	0.09	0.68	0.72	0.62	0.72
CaO	1.25	1.36	1.89	1.46	1.09	1.02	0.90	1.32	1.11	0.98	0.82
K ₂ O	2.59	1.75	2.36	2.08	1.65	1.96	2.81	1.88	1.86	1.95	2.24
Na ₂ O	0.78	0.71	0.62	0.72	0.65	0.87	1.39	0.78	0.66	0.37	0.37
P ₂ O ₅	0.74	0.43	0.20	0.17	0.14	0.30	0.13	0.62	0.36	0.40	0.65
Sr	289.65	322.22	336.18	334.80	212.72	220.16	187.64	305.95	238.56	187.75	204.79
Zn	99.94	108.00	120.33	108.00	104.23	127.77	82.10	147.15	95.89	100.91	99.56
V	206.20	219.72	215.68	254.75	205.14	257.38	203.96	273.42	202.10	162.04	155.21
Cr	184.40	232.39	206.79	228.23	214.63	257.71	166.98	240.11	237.70	217.36	183.16
Cu	18.08	33.45	29.71	33.67	31.67	43.46	16.09	47.40	38.09	26.68	19.33
Ni	107.86	131.48	105.42	138.19	101.88	160.42	111.75	175.03	186.34	93.22	76.99
Be	2.89	3.06	4.38	4.19	3.71	2.98	3.59	4.26	2.86	2.30	2.92
Co	31.37	26.12	40.99	41.51	33.41	43.89	8.69	86.24	77.47	15.63	16.39
Zr	165.30	141.14	169.37	169.22	172.46	184.16	151.85	177.15	206.56	110.11	95.67
Ba	514.06	422.44	545.74	422.91	430.99	755.75	402.37	417.53	460.50	475.67	481.69
Li	115.81	80.21	131.45	135.15	91.01	94.33	121.99	93.29	83.33	50.86	46.13

	Altrip(TN)	Speyer(TN)	Speyer-2L	Vogelg.1L	Vogelg.2L	St'klara	Thür	Weissenthurm	Rheinzaubern	Züllestein
SiO ₂	72.15	71.52	71.35	66.25	70.65	70.53	61.96	61.41	61.74	64.04
Al ₂ O ₃	16.10	16.99	17.42	19.90	14.68	14.74	25.15	25.55	19.51	19.48
Fe ₂ O ₃	4.37	4.99	3.34	7.43	3.04	2.66	4.70	2.93	5.99	7.90
TiO ₂	0.70	0.67	1.30	1.57	0.52	0.44	1.72	2.35	0.80	2.27
MnO	0.07	0.05	0.02	0.07	0.04	0.05	0.07	0.05	0.11	0.16
MgO	0.50	0.62	0.67	0.80	0.66	0.31	0.20	0.16	1.13	0.77
CaO	1.74	1.37	0.56	0.99	1.76	1.66	1.11	2.09	6.87	1.47
K ₂ O	3.08	2.55	2.47	2.12	2.99	2.98	2.44	1.40	3.16	1.90
Na ₂ O	0.73	0.72	0.25	0.40	0.65	0.52	0.71	0.47	0.69	0.78
P ₂ O ₅	0.43	0.33	0.74	0.32	0.44	0.58	0.46	0.43	0.10	0.25
Sr	150.00	121.90	104.53	194.63	149.24	129.17	263.89	185.41	239.54	291.48
Zn	122.29	122.75	51.53	104.93	87.26	92.83	87.35	98.94	146.18	109.18
V	129.87	142.74	126.53	188.26	94.44	83.74	194.58	245.02	178.18	217.42
Cr	90.05	108.75	139.17	190.71	63.00	60.20	167.95	229.76	107.25	252.88
Cu	25.55	42.33	24.11	28.47	18.32	18.94	21.63	55.36	33.56	34.17
Ni	56.41	73.48	88.39	107.79	63.57	62.37	90.44	133.27	38.94	136.63
Be	3.65	4.36	3.05	3.82	4.63	5.14	2.31	2.35	3.94	2.42
Co	20.55	24.53	4.22	26.47	13.66	14.84	20.27	16.93	25.78	75.84
Zr	66.22	59.53	58.31	95.93	90.79	97.96	143.66	197.80	96.82	232.55
Ba	446.56	422.52	419.01	519.74	971.08	596.66	429.11	290.13	460.96	474.91
Li	51.43	59.40	98.57	54.67	48.29	45.58	108.40	112.58	65.18	88.30

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	884.95	370.63	81.83	23.29	1.20	3.78	18.79	38.82	11.74	11.11
Mean	59.00	24.71	5.46	1.55	0.08	0.25	1.25	2.59	0.78	0.74
Standard deviation	7.74	5.14	1.96	0.20	0.04	0.05	0.19	0.62	0.10	0.12
Standard error	2.00	1.33	0.51	0.05	0.01	0.01	0.05	0.16	0.03	0.03
Lower 1% confidence	54.90	21.99	4.42	1.45	0.06	0.23	1.15	2.26	0.73	0.68
Lower 5% confidence	55.72	22.53	4.62	1.47	0.06	0.23	1.17	2.32	0.74	0.69
Upper 5% confidence	62.28	26.88	6.29	1.64	0.10	0.27	1.33	2.85	0.82	0.79
Upper 1% confidence	63.10	27.43	6.49	1.66	0.10	0.28	1.35	2.92	0.83	0.80
Median	61.00	25.31	4.78	1.62	0.06	0.24	1.22	2.69	0.76	0.73
Lower quartile	57.55	18.28	3.97	1.38	0.05	0.22	1.14	1.96	0.73	0.65
Upper quartile	62.93	27.96	7.94	1.72	0.11	0.29	1.28	2.90	0.79	0.82
Interquartile range	2.69	4.84	1.99	0.17	0.03	0.04	0.07	0.47	0.03	0.09
Minimum	40.77	16.25	3.45	1.14	0.03	0.17	1.05	1.59	0.69	0.58
Maximum	68.35	33.53	9.10	1.84	0.17	0.34	1.75	3.78	1.10	1.00
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Hammonic mean	57.81	23.63	4.91	1.53	0.06	0.24	1.23	2.43	0.77	0.73
Geometric mean	58.45	24.18	5.16	1.54	0.07	0.25	1.24	2.51	0.78	0.73

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	4344.76	1499.11	3093.05	2766.02	271.22	1617.91	43.38	470.49	2479.44	7710.97	1737.16
Mean	289.65	99.94	206.20	184.40	18.08	107.86	2.89	31.37	165.30	514.06	115.81
Standard deviation	39.49	36.34	30.01	41.70	8.39	25.03	0.50	14.95	33.20	83.49	27.23
Standard error	10.20	9.38	7.75	10.77	2.17	6.46	0.13	3.86	8.57	21.56	7.03
Lower 1% confidence	268.75	80.70	190.32	162.33	13.64	94.61	2.63	23.45	147.72	469.87	101.40
Lower 5% confidence	272.93	84.55	193.49	166.74	14.53	97.26	2.68	25.04	151.24	478.71	104.28
Upper 5% confidence	306.37	115.33	218.91	202.06	21.63	118.46	3.10	37.70	179.35	549.42	127.34
Upper 1% confidence	310.55	119.18	222.09	206.48	22.52	121.11	3.15	39.28	182.87	558.25	130.22
Median	275.75	83.66	209.95	174.86	14.92	103.65	2.79	25.51	160.59	513.25	101.98
Lower quartile	257.80	77.01	198.78	151.43	13.18	86.59	2.68	20.85	144.19	437.17	93.86
Upper quartile	332.12	129.25	227.18	231.43	26.00	134.06	3.18	49.57	197.10	570.51	142.09
Interquartile range	37.16	26.12	14.20	40.00	6.41	23.74	0.25	14.36	26.46	66.67	24.12
Minimum	227.06	72.98	141.21	124.10	8.13	80.01	1.99	15.25	119.85	365.70	82.87
Maximum	345.51	202.92	255.23	256.41	35.92	158.19	3.79	58.71	228.47	650.70	157.98
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Hammonic mean	284.62	91.66	201.43	176.36	15.12	103.16	2.81	26.31	159.37	500.62	110.34
Geometric mean	287.13	95.22	203.94	180.24	16.48	105.39	2.85	28.54	162.28	507.47	112.97

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2046.20	601.00	221.04	67.85	4.83	42.17	21.24	54.36	21.98	13.40
Mean	66.01	19.39	7.13	2.19	0.16	1.36	0.69	1.75	0.71	0.43
Standard deviation	4.06	2.27	1.98	0.30	0.11	0.34	0.20	0.24	0.15	0.13
Standard error	0.73	0.41	0.36	0.05	0.02	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02
Lower 1% confidence	64.51	18.55	6.40	2.08	0.12	1.23	0.61	1.66	0.65	0.38
Lower 5% confidence	64.81	18.72	6.55	2.10	0.12	1.26	0.63	1.68	0.67	0.39
Upper 5% confidence	67.20	20.06	7.71	2.28	0.19	1.46	0.74	1.83	0.75	0.47
Upper 1% confidence	67.50	20.22	7.86	2.30	0.20	1.49	0.76	1.84	0.76	0.48
Median	66.03	19.39	7.68	2.25	0.13	1.38	0.72	1.71	0.70	0.42
Lower quartile	62.52	17.41	5.74	2.08	0.09	1.16	0.63	1.58	0.64	0.34
Upper quartile	69.53	21.37	8.40	2.44	0.19	1.61	0.78	1.92	0.82	0.51
Interquartile range	3.51	1.98	1.33	0.18	0.05	0.23	0.08	0.17	0.09	0.09
Minimum	58.78	14.95	0.31	1.06	0.03	0.18	0.02	1.12	0.12	0.15
Maximum	74.07	23.67	10.43	2.56	0.63	1.99	0.90	2.28	0.91	0.84
Number of cases	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
Harmonic mean	65.77	19.12	4.14	2.13	0.11	1.12	0.22	1.72	0.62	0.39
Geometric mean	65.89	19.26	6.50	2.16	0.13	1.29	0.58	1.74	0.68	0.41

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	9988.95	3348.14	6811.37	7204.17	1036.80	4075.78	94.89	809.84	4375.47	13095.63	2486.58
Mean	322.22	108.00	219.72	232.39	33.45	131.48	3.06	26.12	141.14	422.44	80.21
Standard deviation	61.94	18.16	39.51	41.52	9.40	20.32	1.01	9.19	22.99	52.64	23.04
Standard error	11.12	3.26	7.10	7.46	1.69	3.65	0.18	1.65	4.13	9.45	4.14
Lower 1% confidence	299.42	101.32	205.17	217.10	29.98	123.99	2.69	22.74	132.68	403.06	71.73
Lower 5% confidence	303.98	102.66	208.08	220.16	30.68	125.49	2.76	23.42	134.37	406.93	73.43
Upper 5% confidence	340.47	113.35	231.36	244.62	36.21	137.46	3.36	28.83	147.92	437.95	87.00
Upper 1% confidence	345.03	114.69	234.27	247.68	36.91	138.96	3.43	29.51	149.61	441.82	88.70
Median	318.09	108.96	222.43	241.68	32.67	134.41	2.90	25.42	145.45	417.82	78.17
Lower quartile	275.39	94.63	180.84	204.27	27.76	121.78	2.52	21.36	124.94	384.38	71.02
Upper quartile	376.78	121.82	253.33	264.74	37.99	143.35	3.18	28.19	157.10	467.66	82.23
Interquartile range	50.70	13.60	36.25	30.24	5.12	10.79	0.33	3.42	16.08	41.64	5.61
Minimum	129.62	59.36	130.29	124.28	13.65	63.14	2.19	10.89	79.15	301.54	52.53
Maximum	412.38	143.33	278.45	313.94	63.87	181.76	7.84	66.53	171.86	512.80	191.20
Number of cases	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
Harmonic mean	306.23	104.66	212.05	223.99	30.74	127.43	2.89	23.96	136.73	415.70	76.56
Geometric mean	315.24	106.41	216.02	228.43	32.15	129.68	2.96	24.96	139.09	419.14	78.09

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2216.26	765.55	250.71	66.53	4.57	66.08	11.10	82.73	21.56	7.07
Mean	63.32	21.87	7.16	1.90	0.13	1.89	0.32	2.36	0.62	0.20
Standard deviation	4.43	3.58	2.20	0.71	0.08	1.91	0.15	0.83	0.24	0.12
Standard error	0.75	0.60	0.37	0.12	0.01	0.32	0.03	0.14	0.04	0.02
Lower 1% confidence	61.79	20.63	6.40	1.65	0.10	1.23	0.26	2.07	0.53	0.16
Lower 5% confidence	62.09	20.88	6.55	1.70	0.11	1.36	0.27	2.13	0.55	0.17
Upper 5% confidence	64.55	22.86	7.77	2.10	0.15	2.42	0.36	2.59	0.68	0.23
Upper 1% confidence	64.86	23.11	7.93	2.15	0.16	2.55	0.37	2.65	0.70	0.24
Median	62.89	21.83	8.13	2.23	0.12	1.51	0.28	2.01	0.72	0.18
Lower quartile	60.06	19.81	5.59	1.46	0.08	1.31	0.26	1.80	0.43	0.11
Upper quartile	64.85	23.76	8.64	2.37	0.17	1.72	0.33	2.92	0.78	0.24
Interquartile range	2.40	1.98	1.53	0.46	0.05	0.21	0.04	0.56	0.18	0.07
Minimum	55.85	13.67	2.39	0.47	0.03	0.50	0.08	1.69	0.05	0.02
Maximum	75.36	28.48	10.44	2.77	0.41	11.70	0.97	4.58	0.90	0.62
Number of cases	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Harmonic mean	63.03	21.25	6.21	1.41	0.09	1.39	0.27	2.16	0.40	0.13
Geometric mean	63.18	21.57	6.74	1.70	0.11	1.56	0.29	2.25	0.54	0.17

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	11766.15	4211.50	7548.80	7237.61	1039.73	3689.59	153.14	1434.59	5927.87	19100.95	4600.90
Mean	336.18	120.33	215.68	206.79	29.71	105.42	4.38	40.99	169.37	545.74	131.45
Standard deviation	109.15	23.32	62.55	77.68	12.80	38.11	0.83	15.09	38.68	231.37	96.89
Standard error	18.45	3.94	10.57	13.13	2.16	6.44	0.14	2.55	6.54	39.11	16.38
Lower 1% confidence	298.35	112.25	194.01	179.87	25.27	92.21	4.09	35.76	155.96	465.57	97.88
Lower 5% confidence	305.92	113.86	198.34	185.26	26.16	94.85	4.15	36.80	158.64	481.60	104.59
Upper 5% confidence	366.43	126.79	233.02	228.32	33.25	115.98	4.61	45.17	180.09	609.88	158.31
Upper 1% confidence	374.00	128.41	237.35	233.71	34.14	118.62	4.66	46.22	182.77	625.91	165.03
Median	355.07	121.01	223.14	240.87	33.34	119.19	4.46	43.27	187.29	475.03	106.94
Lower quartile	280.18	110.96	181.42	133.08	22.27	70.32	3.92	28.63	139.63	385.22	81.57
Upper quartile	373.08	131.12	267.32	264.23	38.64	133.45	4.79	50.43	192.24	612.41	143.34
Interquartile range	46.45	10.08	42.95	65.58	8.19	31.57	0.44	10.90	26.31	113.60	30.89
Minimum	101.26	73.29	81.57	41.08	3.83	19.77	2.66	14.41	74.23	320.72	50.43
Maximum	784.28	184.21	297.96	285.10	48.32	168.39	6.16	75.54	226.35	1290.81	578.16
Number of cases	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Harmonic mean	295.80	115.59	189.90	153.53	17.58	82.62	4.21	33.73	157.16	483.39	99.96
Geometric mean	318.26	118.03	204.31	184.85	24.99	95.91	4.29	37.68	163.94	510.06	112.15

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2261.22	722.73	265.00	70.45	3.85	51.23	13.17	72.80	25.32	5.83
Mean	64.61	20.65	7.57	2.01	0.11	1.46	0.38	2.08	0.72	0.17
Standard deviation	3.64	2.55	1.43	0.59	0.05	0.22	0.24	0.54	0.22	0.08
Standard error	0.61	0.43	0.24	0.10	0.01	0.04	0.04	0.09	0.04	0.01
Lower 1% confidence	63.35	19.77	7.08	1.81	0.09	1.39	0.29	1.89	0.65	0.14
Lower 5% confidence	63.60	19.94	7.18	1.85	0.10	1.40	0.31	1.93	0.66	0.15
Upper 5% confidence	65.61	21.36	7.97	2.18	0.12	1.52	0.44	2.23	0.79	0.19
Upper 1% confidence	65.87	21.53	8.07	2.22	0.13	1.54	0.46	2.27	0.80	0.19
Median	64.17	20.59	7.86	2.22	0.11	1.44	0.28	1.89	0.77	0.17
Lower quartile	62.57	19.12	6.56	2.07	0.08	1.31	0.26	1.78	0.69	0.11
Upper quartile	65.75	22.39	8.20	2.32	0.14	1.60	0.33	2.09	0.82	0.22
Interquartile range	1.59	1.64	0.82	0.13	0.03	0.15	0.04	0.16	0.07	0.06
Minimum	55.46	13.88	4.72	0.62	0.02	0.87	0.22	1.52	0.14	0.04
Maximum	74.72	24.92	11.69	2.78	0.22	1.91	1.02	3.81	1.28	0.34
Number of cases	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Harmonic mean	64.41	20.31	7.30	1.66	0.08	1.43	0.31	1.98	0.58	0.12
Geometric mean	64.51	20.49	7.44	1.87	0.10	1.45	0.33	2.02	0.67	0.15

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	11717.92	3780.16	8916.21	7988.21	1178.55	4836.77	146.73	1452.88	5922.80	14801.93	4730.37
Mean	334.80	108.00	254.75	228.23	33.67	138.19	4.19	41.51	169.22	422.91	135.15
Standard deviation	93.82	13.74	34.42	55.92	9.34	45.50	0.73	10.94	50.91	93.36	73.54
Standard error	15.86	2.32	5.82	9.45	1.58	7.69	0.12	1.85	8.61	15.78	12.43
Lower 1% confidence	302.29	103.24	242.82	208.86	30.44	122.43	3.94	37.72	151.58	390.56	109.67
Lower 5% confidence	308.79	104.19	245.21	212.73	31.08	125.58	3.99	38.48	155.11	397.03	114.77
Upper 5% confidence	360.81	111.81	264.29	243.74	36.26	150.81	4.39	44.54	183.34	448.79	155.54
Upper 1% confidence	367.31	112.77	266.68	247.61	36.91	153.96	4.44	45.30	186.86	455.26	160.64
Median	366.89	104.89	258.60	244.46	34.53	140.93	4.09	42.16	186.88	405.10	107.94
Lower quartile	313.68	99.93	240.56	218.52	28.30	122.03	3.80	33.35	168.84	383.80	92.33
Upper quartile	388.22	116.13	271.18	259.42	39.96	173.58	4.37	45.61	198.87	452.83	166.44
Interquartile range	37.27	8.10	15.31	20.45	5.83	25.78	0.29	6.13	15.02	34.52	37.06
Minimum	123.15	68.94	114.52	97.80	9.85	19.90	3.12	20.03	35.28	267.58	47.53
Maximum	487.85	148.83	307.91	292.52	49.44	211.91	6.70	69.17	233.82	727.02	416.53
Number of cases	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Harmonic mean	289.99	106.27	247.70	205.85	30.08	109.42	4.09	38.50	136.03	405.14	111.76
Geometric mean	316.16	107.15	251.79	218.80	32.11	127.51	4.14	40.05	156.56	413.75	121.59

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	710.72	212.51	76.78	20.49	0.77	11.99	2.09	18.13	7.16	1.57
Mean	64.61	19.32	6.98	1.86	0.07	1.09	0.19	1.65	0.65	0.14
Standard deviation	3.72	2.21	2.19	0.46	0.04	0.46	0.08	0.51	0.17	0.10
Standard error	1.12	0.67	0.66	0.14	0.01	0.14	0.02	0.15	0.05	0.03
Lower 1% confidence	62.31	17.95	5.63	1.58	0.05	0.81	0.14	1.33	0.55	0.08
Lower 5% confidence	62.77	18.22	5.90	1.63	0.05	0.86	0.15	1.40	0.57	0.09
Upper 5% confidence	66.45	20.41	8.06	2.09	0.09	1.32	0.23	1.90	0.73	0.19
Upper 1% confidence	66.91	20.69	8.33	2.15	0.09	1.37	0.24	1.96	0.75	0.21
Median	64.45	19.51	7.16	1.75	0.08	1.16	0.19	1.62	0.71	0.12
Lower quartile	61.03	18.56	4.95	1.31	0.03	0.60	0.12	1.52	0.41	0.06
Upper quartile	66.25	20.19	8.82	2.29	0.09	1.41	0.26	1.97	0.77	0.21
Interquartile range	2.61	0.82	1.94	0.49	0.03	0.41	0.07	0.23	0.18	0.08
Minimum	60.01	15.22	3.02	1.24	0.02	0.31	0.08	0.80	0.40	0.03
Maximum	70.96	24.07	9.71	2.38	0.15	1.67	0.30	2.45	0.86	0.35
Number of cases	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Harmonic mean	64.42	19.09	6.19	1.75	0.05	0.84	0.16	1.47	0.60	0.08
Geometric mean	64.52	19.20	6.61	1.81	0.06	0.98	0.18	1.56	0.63	0.11

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	2339.96	1146.58	2256.53	2360.88	348.32	1120.70	40.77	367.54	1897.07	4740.85	1001.10
Mean	212.72	104.23	205.14	214.63	31.67	101.88	3.71	33.41	172.46	430.99	91.01
Standard deviation	76.73	30.30	53.22	57.79	11.18	36.00	0.96	11.30	47.28	311.68	29.46
Standard error	23.14	9.14	16.05	17.42	3.37	10.85	0.29	3.41	14.26	93.98	8.88
Lower 1% confidence	165.30	85.51	172.24	178.90	24.76	79.63	3.11	26.43	143.24	238.33	72.80
Lower 5% confidence	174.78	89.25	178.82	186.05	26.14	84.08	3.23	27.83	149.08	276.86	76.44
Upper 5% confidence	250.67	119.22	231.45	243.20	37.19	119.68	4.18	39.00	195.84	585.11	105.58
Upper 1% confidence	260.15	122.96	238.03	250.35	38.57	124.13	4.30	40.40	201.69	623.64	109.22
Median	240.53	106.03	234.23	244.76	29.59	97.51	4.04	34.79	195.93	377.89	94.99
Lower quartile	126.91	75.96	138.87	144.91	23.83	67.74	2.53	24.59	107.97	243.26	57.94
Upper quartile	261.02	132.80	246.01	269.41	42.16	136.75	4.59	44.12	203.87	606.67	111.53
Interquartile range	67.06	28.42	53.57	62.25	9.17	34.51	1.03	9.77	47.95	181.71	26.80
Minimum	73.88	53.11	135.45	137.88	15.28	56.62	2.41	10.00	98.17	87.91	49.75
Maximum	302.60	139.54	272.43	282.87	48.90	152.65	4.66	45.92	222.94	1161.13	143.63
Number of cases	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Harmonic mean	177.30	94.65	191.44	199.17	27.98	90.21	3.45	27.69	157.24	248.92	81.32
Geometric mean	196.71	99.68	198.40	207.02	29.82	95.93	3.58	31.01	165.36	335.02	86.29

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1146.72	266.47	133.35	44.72	1.47	17.33	9.46	33.26	14.82	5.17
Mean	67.45	15.67	7.84	2.63	0.09	1.02	0.56	1.96	0.87	0.30
Standard deviation	3.16	2.91	2.06	0.18	0.04	0.30	0.12	0.22	0.28	0.05
Standard error	0.77	0.71	0.50	0.04	0.01	0.07	0.03	0.05	0.07	0.01
Lower 1% confidence	65.88	14.23	6.82	2.54	0.07	0.87	0.50	1.85	0.73	0.28
Lower 5% confidence	66.20	14.52	7.02	2.56	0.07	0.90	0.51	1.87	0.76	0.29
Upper 5% confidence	68.71	16.83	8.66	2.70	0.10	1.14	0.61	2.05	0.98	0.32
Upper 1% confidence	69.02	17.12	8.87	2.72	0.11	1.17	0.62	2.07	1.01	0.33
Median	66.71	16.85	8.03	2.66	0.07	1.03	0.58	1.89	0.94	0.31
Lower quartile	65.43	12.66	7.56	2.47	0.05	0.82	0.45	1.80	0.85	0.27
Upper quartile	71.17	18.01	8.80	2.77	0.13	1.26	0.65	2.10	1.00	0.34
Interquartile range	2.87	2.68	0.62	0.15	0.04	0.22	0.10	0.15	0.08	0.03
Minimum	62.59	10.20	0.99	2.34	0.03	0.59	0.27	1.62	0.10	0.22
Maximum	72.65	19.45	10.30	2.99	0.16	1.73	0.71	2.49	1.18	0.38
Number of cases	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Harmonic mean	67.32	15.11	5.71	2.62	0.07	0.94	0.52	1.93	0.58	0.30
Geometric mean	67.39	15.40	7.25	2.62	0.08	0.98	0.54	1.94	0.78	0.30

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	3742.69	2172.17	4375.44	4381.03	738.85	2727.16	50.74	746.17	3130.71	12847.69	1603.63
Mean	220.16	127.77	257.38	257.71	43.46	160.42	2.98	43.89	184.16	755.75	94.33
Standard deviation	47.38	15.53	25.70	21.98	9.42	15.02	0.53	7.62	14.78	141.11	13.68
Standard error	11.49	3.77	6.23	5.33	2.28	3.64	0.13	1.85	3.58	34.22	3.32
Lower 1% confidence	196.60	120.05	244.60	246.78	38.78	152.95	2.72	40.10	176.81	685.59	87.53
Lower 5% confidence	201.31	121.60	247.16	248.97	39.72	154.45	2.78	40.86	178.28	699.62	88.89
Upper 5% confidence	239.00	133.95	267.60	266.45	47.21	166.40	3.19	46.92	190.04	811.87	99.77
Upper 1% confidence	243.71	135.50	270.16	268.64	48.14	167.89	3.25	47.68	191.51	825.91	101.13
Median	223.30	121.81	254.48	260.24	43.97	156.82	2.82	43.39	187.23	787.54	92.61
Lower quartile	172.75	114.41	242.59	237.17	35.90	147.47	2.53	37.58	171.98	651.94	86.22
Upper quartile	267.33	145.84	277.17	275.99	50.75	173.73	3.30	50.36	198.53	863.35	105.52
Interquartile range	47.29	15.72	17.29	19.41	7.43	13.13	0.39	6.39	13.27	105.71	9.65
Minimum	144.58	111.57	193.32	213.60	27.50	132.99	2.37	31.46	161.22	472.22	64.59
Maximum	292.15	152.93	296.96	286.47	63.82	190.27	3.94	56.73	211.55	971.44	118.11
Number of cases	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Harmonic mean	210.14	126.10	254.77	255.87	41.53	159.11	2.90	42.65	183.06	727.17	92.33
Geometric mean	215.19	126.92	256.11	256.80	42.50	159.76	2.94	43.27	183.61	742.10	93.35

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1863.81	815.02	122.93	52.16	1.56	27.77	2.80	87.26	43.05	4.04
Mean	60.12	26.29	3.97	1.68	0.05	0.90	0.09	2.81	1.39	0.13
Standard deviation	5.09	3.11	1.21	0.20	0.01	0.20	0.06	0.46	1.81	0.10
Standard error	0.91	0.56	0.22	0.04	0.00	0.04	0.01	0.08	0.32	0.02
Lower 1% confidence	58.25	25.14	3.52	1.61	0.05	0.82	0.07	2.65	0.72	0.09
Lower 5% confidence	58.62	25.37	3.61	1.62	0.05	0.84	0.07	2.68	0.86	0.10
Upper 5% confidence	61.62	27.21	4.32	1.74	0.05	0.96	0.11	2.95	1.92	0.16
Upper 1% confidence	62.00	27.44	4.41	1.76	0.06	0.97	0.11	2.98	2.05	0.17
Median	60.48	25.91	3.66	1.68	0.05	0.85	0.08	2.82	0.79	0.11
Lower quartile	58.16	24.78	3.34	1.52	0.04	0.74	0.05	2.52	0.59	0.09
Upper quartile	62.72	28.67	4.15	1.78	0.06	1.06	0.11	3.17	0.90	0.12
Interquartile range	2.28	1.95	0.41	0.13	0.01	0.16	0.03	0.33	0.16	0.02
Minimum	44.58	17.61	2.63	1.33	0.02	0.63	0.02	1.97	0.43	0.07
Maximum	69.66	31.23	8.24	2.16	0.08	1.37	0.28	3.60	7.42	0.64
Number of cases	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
Harmonic mean	59.66	25.89	3.73	1.66	0.05	0.86	0.06	2.74	0.77	0.11
Geometric mean	59.90	26.10	3.83	1.67	0.05	0.87	0.07	2.78	0.92	0.11

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	5816.75	2544.97	6322.73	5176.30	498.76	3464.26	111.19	269.45	4707.20	12473.48	3781.64
Mean	187.64	82.10	203.96	166.98	16.09	111.75	3.59	8.69	151.85	402.37	121.99
Standard deviation	72.93	13.24	50.97	29.92	11.15	34.62	0.59	4.59	26.73	113.82	32.66
Standard error	13.10	2.38	9.15	5.37	2.00	6.22	0.11	0.82	4.80	20.44	5.87
Lower 1% confidence	160.79	77.22	185.19	155.96	11.98	99.01	3.37	7.00	142.00	360.46	109.96
Lower 5% confidence	166.16	78.20	188.95	158.16	12.81	101.55	3.41	7.34	143.97	368.84	112.37
Upper 5% confidence	209.12	86.00	218.97	175.79	19.37	121.95	3.76	10.04	159.72	435.90	131.61
Upper 1% confidence	214.49	86.97	222.73	177.99	20.19	124.50	3.80	10.38	161.69	444.28	134.01
Median	165.21	79.95	193.23	161.63	14.41	109.59	3.58	7.62	145.55	383.58	121.33
Lower quartile	134.46	75.14	170.32	154.42	10.37	87.51	3.10	5.93	135.73	310.85	100.74
Upper quartile	243.92	88.67	223.83	174.77	19.58	130.38	4.02	9.61	165.17	510.56	139.57
Interquartile range	54.73	6.77	26.76	10.18	4.61	21.44	0.46	1.84	14.72	99.86	19.42
Minimum	81.61	57.52	146.69	116.68	1.77	59.08	2.44	3.97	108.39	200.86	56.02
Maximum	367.11	118.06	399.04	259.46	63.88	196.60	4.95	24.48	222.90	652.80	199.57
Number of cases	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
Harmonic mean	164.91	80.16	194.73	162.54	9.83	102.05	3.49	7.30	147.84	371.04	112.92
Geometric mean	175.47	81.11	198.93	164.65	13.18	106.80	3.54	7.89	149.76	386.66	117.61

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	889.50	327.60	134.17	40.12	2.13	19.83	10.19	28.24	11.74	9.23
Mean	59.30	21.84	8.94	2.67	0.14	1.32	0.68	1.88	0.78	0.62
Standard deviation	5.29	2.97	1.00	0.34	0.05	0.28	0.09	0.36	0.14	0.13
Standard error	1.37	0.77	0.26	0.09	0.01	0.07	0.02	0.09	0.03	0.03
Lower 1% confidence	56.50	20.27	8.42	2.49	0.11	1.17	0.63	1.69	0.71	0.55
Lower 5% confidence	57.06	20.58	8.52	2.53	0.12	1.20	0.64	1.73	0.73	0.56
Upper 5% confidence	61.54	23.10	9.37	2.82	0.16	1.44	0.72	2.04	0.84	0.67
Upper 1% confidence	62.10	23.41	9.47	2.86	0.17	1.47	0.73	2.08	0.85	0.68
Median	60.83	20.66	8.96	2.62	0.15	1.24	0.66	1.80	0.76	0.55
Lower quartile	57.34	20.40	8.36	2.47	0.11	1.06	0.62	1.66	0.64	0.52
Upper quartile	63.04	23.16	9.34	2.80	0.17	1.56	0.73	2.02	0.84	0.78
Interquartile range	2.85	1.38	0.49	0.17	0.03	0.25	0.06	0.18	0.10	0.13
Minimum	44.43	18.45	7.22	2.32	0.05	0.98	0.55	1.34	0.61	0.48
Maximum	66.12	30.28	11.45	3.73	0.24	1.89	0.89	2.62	1.09	0.83
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Harmonic mean	58.79	21.52	8.85	2.64	0.12	1.27	0.67	1.82	0.76	0.59
Geometric mean	59.06	21.67	8.89	2.66	0.13	1.29	0.67	1.85	0.77	0.60

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	4589.21	2207.24	4101.32	3601.70	711.06	2625.46	63.94	1293.66	2657.31	6262.89	1399.39
Mean	305.95	147.15	273.42	240.11	47.40	175.03	4.26	86.24	177.15	417.53	93.29
Standard deviation	55.40	33.60	66.33	29.55	12.56	25.81	0.70	24.62	24.74	143.13	14.00
Standard error	14.30	8.68	17.13	7.63	3.24	6.66	0.18	6.36	6.39	36.95	3.62
Lower 1% confidence	276.62	129.36	238.31	224.47	40.76	161.37	3.89	73.21	164.06	341.77	85.88
Lower 5% confidence	282.49	132.92	245.33	227.60	42.09	164.10	3.97	75.82	166.68	356.92	87.36
Upper 5% confidence	329.41	161.38	301.51	252.63	52.72	185.96	4.56	96.67	187.63	478.13	99.22
Upper 1% confidence	335.27	164.94	308.53	255.75	54.05	188.69	4.63	99.28	190.25	493.28	100.70
Median	306.58	139.35	260.31	233.34	44.30	172.31	4.20	79.67	177.06	357.53	96.70
Lower quartile	256.45	125.13	224.88	222.80	37.37	151.50	3.59	69.25	155.32	313.05	80.74
Upper quartile	340.18	158.22	290.64	256.63	55.55	183.87	4.52	110.80	180.25	511.76	103.00
Interquartile range	41.87	16.55	32.88	16.92	9.09	16.19	0.47	20.78	12.47	99.36	11.13
Minimum	224.37	105.64	188.87	193.34	30.51	140.41	3.12	47.47	149.23	261.39	70.14
Maximum	402.98	229.01	444.50	319.45	74.68	233.96	5.62	128.90	245.21	745.33	118.80
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Harmonic mean	296.54	141.01	261.01	237.02	44.62	171.69	4.16	79.94	174.33	381.86	91.32
Geometric mean	301.24	143.92	266.83	238.52	45.96	173.32	4.21	83.04	175.68	398.02	92.31

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2347.98	711.52	272.81	74.34	4.68	41.07	26.61	68.97	24.36	13.18
Mean	63.46	19.23	7.37	2.01	0.13	1.11	0.72	1.86	0.66	0.36
Standard deviation	4.44	1.73	1.29	0.41	0.10	0.30	0.10	0.53	0.13	0.12
Standard error	0.73	0.28	0.21	0.07	0.02	0.05	0.02	0.09	0.02	0.02
Lower 1% confidence	61.96	18.65	6.94	1.87	0.09	1.01	0.69	1.69	0.61	0.31
Lower 5% confidence	62.26	18.77	7.03	1.90	0.10	1.03	0.69	1.72	0.62	0.32
Upper 5% confidence	64.66	19.70	7.72	2.12	0.15	1.19	0.75	2.01	0.69	0.39
Upper 1% confidence	64.96	19.81	7.81	2.15	0.16	1.21	0.75	2.04	0.70	0.40
Median	64.42	19.21	7.32	2.14	0.10	1.11	0.74	1.73	0.64	0.34
Lower quartile	61.20	17.91	6.69	1.59	0.06	1.00	0.66	1.51	0.58	0.29
Upper quartile	66.57	20.06	8.08	2.31	0.15	1.24	0.78	1.99	0.72	0.39
Interquartile range	2.69	1.08	0.70	0.36	0.05	0.12	0.06	0.24	0.07	0.05
Minimum	49.69	15.51	3.91	1.27	0.03	0.14	0.36	1.26	0.44	0.16
Maximum	70.81	23.06	11.47	2.73	0.45	1.71	0.89	3.48	1.01	0.81
Number of cases	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
Harmonic mean	63.12	19.08	7.14	1.92	0.08	0.88	0.70	1.76	0.64	0.32
Geometric mean	63.30	19.16	7.26	1.97	0.10	1.04	0.71	1.81	0.65	0.34

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	8826.81	3547.80	7477.69	8794.79	1409.26	6894.76	105.64	2866.22	7642.90	17038.65	3083.31
Mean	238.56	95.89	202.10	237.70	38.09	186.34	2.86	77.47	206.56	460.50	83.33
Standard deviation	54.06	22.87	50.52	51.53	8.47	39.20	0.38	20.91	30.32	97.54	19.31
Standard error	8.89	3.76	8.30	8.47	1.39	6.44	0.06	3.44	4.98	16.04	3.17
Lower 1% confidence	220.34	88.18	185.08	220.33	35.23	173.13	2.73	70.42	196.35	427.63	76.83
Lower 5% confidence	223.99	89.72	188.48	223.80	35.80	175.78	2.75	71.83	198.39	434.21	78.13
Upper 5% confidence	253.14	102.05	215.72	251.59	40.37	196.91	2.96	83.10	214.74	486.80	88.54
Upper 1% confidence	256.78	103.59	219.12	255.06	40.94	199.56	2.98	84.51	216.78	493.38	89.84
Median	244.47	94.79	198.23	257.08	40.88	186.73	2.91	72.81	214.10	437.25	84.88
Lower quartile	204.79	80.77	162.94	191.49	31.14	156.41	2.65	64.81	176.82	390.06	66.59
Upper quartile	276.26	112.45	231.05	274.91	44.28	217.61	3.02	86.42	229.93	499.75	93.36
Interquartile range	35.74	15.84	34.06	41.71	6.57	30.60	0.19	10.81	26.56	54.85	13.39
Minimum	78.66	49.04	115.44	144.32	17.59	105.99	2.10	43.01	141.93	346.93	54.63
Maximum	336.92	141.25	386.85	370.48	53.54	245.02	3.81	141.30	267.33	798.96	128.60
Number of cases	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
Harmonic mean	220.69	89.99	190.98	225.95	35.91	177.10	2.81	72.93	201.97	444.41	79.15
Geometric mean	230.98	93.05	196.41	231.96	37.06	181.93	2.83	75.08	204.31	451.89	81.21

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	4535.66	1074.01	299.89	104.40	4.00	61.44	38.86	122.60	23.56	24.94
Mean	71.99	17.05	4.76	1.66	0.06	0.98	0.62	1.95	0.37	0.40
Standard deviation	5.09	3.82	1.61	0.30	0.05	0.56	0.34	0.50	0.21	0.37
Standard error	0.64	0.48	0.20	0.04	0.01	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05
Lower 1% confidence	70.68	16.06	4.34	1.58	0.05	0.83	0.53	1.82	0.32	0.30
Lower 5% confidence	70.94	16.26	4.43	1.60	0.05	0.86	0.55	1.84	0.33	0.32
Upper 5% confidence	73.05	17.84	5.09	1.72	0.07	1.09	0.69	2.05	0.42	0.47
Upper 1% confidence	73.31	18.04	5.18	1.73	0.08	1.12	0.70	2.07	0.43	0.49
Median	71.33	18.38	4.75	1.73	0.04	0.79	0.58	1.94	0.28	0.30
Lower quartile	68.69	15.97	3.37	1.62	0.04	0.64	0.49	1.64	0.24	0.25
Upper quartile	74.06	19.39	5.82	1.82	0.06	1.18	0.67	2.12	0.49	0.37
Interquartile range	2.69	1.71	1.23	0.10	0.01	0.27	0.09	0.24	0.13	0.06
Minimum	62.96	2.44	1.70	0.48	0.03	0.09	0.01	0.82	0.16	0.12
Maximum	92.61	21.14	8.57	2.04	0.26	3.05	2.29	3.46	1.00	2.41
Number of cases	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00
Harmonic mean	71.67	14.86	4.21	1.56	0.05	0.67	0.22	1.83	0.30	0.29
Geometric mean	71.83	16.34	4.49	1.62	0.05	0.84	0.50	1.89	0.33	0.32

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	11828.17	6357.10	10208.25	13693.47	1681.05	5872.70	144.93	984.75	6936.64	29966.99	3204.12
Mean	187.75	100.91	162.04	217.36	26.68	93.22	2.30	15.63	110.11	475.67	50.86
Standard deviation	78.58	27.04	43.10	58.68	24.52	45.86	0.64	12.16	27.12	261.48	19.19
Standard error	9.90	3.41	5.43	7.39	3.09	5.78	0.08	1.53	3.42	32.94	2.42
Lower 1% confidence	167.45	93.92	150.90	202.20	20.35	81.37	2.13	12.49	103.10	408.13	45.90
Lower 5% confidence	171.51	95.32	153.13	205.23	21.62	83.74	2.17	13.12	104.50	421.64	46.89
Upper 5% confidence	203.98	106.49	170.94	229.48	31.75	102.69	2.43	18.14	115.71	529.69	54.82
Upper 1% confidence	208.04	107.89	173.17	232.51	33.02	105.06	2.47	18.77	117.11	543.20	55.81
Median	174.48	98.66	166.49	217.07	18.99	88.89	2.11	11.59	109.40	462.31	49.66
Lower quartile	145.82	86.59	145.47	203.91	15.68	80.25	1.80	9.98	89.71	332.27	36.99
Upper quartile	224.03	108.50	180.38	248.90	27.32	93.70	2.59	18.83	125.60	539.54	61.34
Interquartile range	39.11	10.96	17.46	22.50	5.82	6.73	0.40	4.43	17.95	103.64	12.18
Minimum	20.51	40.54	66.01	53.08	5.66	43.95	0.90	6.28	52.25	4.83	11.09
Maximum	486.44	198.90	407.03	350.25	151.10	413.50	4.15	94.55	185.60	2034.90	119.70
Number of cases	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00
Harmonic mean	139.24	94.60	152.13	189.65	18.85	84.88	2.14	12.43	103.35	162.57	43.33
Geometric mean	169.15	97.72	157.13	206.38	21.66	88.09	2.22	13.57	106.77	400.73	47.30

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	6047.13	1667.90	504.61	137.56	8.33	63.74	71.80	197.11	32.82	57.04
Mean	68.72	18.95	5.73	1.56	0.09	0.72	0.82	2.24	0.37	0.65
Standard deviation	3.68	2.12	1.85	0.26	0.05	0.27	0.30	0.49	0.17	0.49
Standard error	0.39	0.23	0.20	0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.02	0.05
Lower 1% confidence	67.91	18.49	5.33	1.51	0.08	0.67	0.75	2.13	0.33	0.54
Lower 5% confidence	68.07	18.58	5.41	1.52	0.09	0.68	0.76	2.15	0.34	0.56
Upper 5% confidence	69.36	19.32	6.06	1.61	0.10	0.77	0.87	2.33	0.40	0.73
Upper 1% confidence	69.52	19.42	6.14	1.62	0.11	0.78	0.88	2.35	0.41	0.76
Median	68.67	19.21	5.41	1.59	0.08	0.63	0.78	2.24	0.36	0.47
Lower quartile	66.56	17.66	4.23	1.35	0.05	0.54	0.58	1.83	0.25	0.28
Upper quartile	70.78	20.46	6.99	1.76	0.13	0.97	1.02	2.59	0.45	0.86
Interquartile range	2.11	1.40	1.38	0.21	0.04	0.22	0.22	0.38	0.10	0.29
Minimum	61.03	11.99	2.72	1.04	0.04	0.30	0.35	1.24	0.13	0.14
Maximum	80.18	24.90	9.40	2.17	0.28	1.67	2.03	3.75	1.11	2.18
Number of cases	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
Harmonic mean	68.52	18.70	5.16	1.52	0.07	0.63	0.72	2.14	0.31	0.41
Geometric mean	68.62	18.83	5.44	1.54	0.08	0.68	0.77	2.19	0.34	0.51

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	18021.63	8760.99	13658.80	16118.36	1701.24	6775.48	256.55	1442.18	8418.85	42389.14	4059.66
Mean	204.79	99.56	155.21	183.16	19.33	76.99	2.92	16.39	95.67	481.69	46.13
Standard deviation	68.61	22.33	30.45	28.60	6.28	15.15	0.90	7.62	16.46	163.86	19.28
Standard error	7.31	2.38	3.25	3.05	0.67	1.62	0.10	0.81	1.75	17.47	2.06
Lower 1% confidence	189.80	94.68	148.56	176.91	17.96	73.68	2.72	14.72	92.07	445.89	41.92
Lower 5% confidence	192.80	95.65	149.89	178.16	18.24	74.35	2.76	15.06	92.79	453.05	42.76
Upper 5% confidence	216.79	103.46	160.54	188.16	20.43	79.64	3.07	17.72	98.55	510.34	49.50
Upper 1% confidence	219.78	104.44	161.87	189.41	20.70	80.31	3.11	18.05	99.27	517.50	50.35
Median	187.97	95.34	154.22	187.54	18.42	73.60	2.68	14.75	96.57	494.02	45.09
Lower quartile	156.06	85.99	131.00	156.22	15.48	66.76	2.36	11.13	80.68	365.20	33.34
Upper quartile	245.73	113.39	182.20	205.93	22.70	84.32	3.44	19.01	109.40	571.02	60.49
Interquartile range	44.84	13.70	25.60	24.85	3.61	8.78	0.54	3.94	14.36	102.91	13.57
Minimum	92.19	50.83	91.33	122.06	4.05	51.16	0.29	7.62	61.83	135.18	11.67
Maximum	484.11	182.67	219.43	250.80	39.69	145.67	5.12	51.32	135.78	1111.54	109.60
Number of cases	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
Harmonic mean	185.13	95.01	149.20	178.64	16.89	74.49	2.49	14.12	92.89	418.79	36.56
Geometric mean	194.55	97.24	152.22	180.92	18.23	75.68	2.76	15.11	94.27	452.22	41.62

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2164.48	482.89	131.14	20.86	2.24	14.97	52.26	92.27	21.90	13.04
Mean	72.15	16.10	4.37	0.70	0.07	0.50	1.74	3.08	0.73	0.43
Standard deviation	5.98	2.47	1.68	0.26	0.06	0.22	1.96	0.69	0.24	0.24
Standard error	1.09	0.45	0.31	0.05	0.01	0.04	0.36	0.13	0.04	0.04
Lower 1% confidence	69.91	15.17	3.74	0.60	0.05	0.42	1.01	2.82	0.64	0.35
Lower 5% confidence	70.36	15.36	3.87	0.62	0.06	0.43	1.16	2.87	0.66	0.36
Upper 5% confidence	73.94	16.83	4.87	0.77	0.09	0.56	2.33	3.28	0.80	0.51
Upper 1% confidence	74.39	17.02	5.00	0.79	0.10	0.58	2.47	3.33	0.82	0.52
Median	74.29	15.45	3.47	0.64	0.05	0.43	1.26	2.97	0.78	0.38
Lower quartile	68.43	14.39	3.14	0.57	0.03	0.35	0.92	2.59	0.62	0.23
Upper quartile	76.01	17.74	5.86	0.71	0.10	0.69	1.67	3.53	0.89	0.56
Interquartile range	3.79	1.67	1.36	0.07	0.04	0.17	0.38	0.47	0.13	0.17
Minimum	49.76	12.81	1.63	0.46	0.03	0.13	0.70	1.81	0.15	0.15
Maximum	79.82	23.72	9.08	1.88	0.34	1.11	11.22	4.91	1.24	1.03
Number of cases	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Harmonic mean	71.57	15.78	3.80	0.65	0.05	0.41	1.23	2.93	0.60	0.33
Geometric mean	71.88	15.93	4.08	0.67	0.06	0.45	1.38	3.00	0.68	0.38

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	4499.85	3668.60	3896.05	2701.55	766.59	1692.28	109.57	616.50	1986.70	13396.83	1542.89
Mean	150.00	122.29	129.87	90.05	25.55	56.41	3.65	20.55	66.22	446.56	51.43
Standard deviation	60.99	38.79	41.30	27.10	10.89	20.86	0.83	8.14	29.88	117.00	13.47
Standard error	11.14	7.08	7.54	4.95	1.99	3.81	0.15	1.49	5.46	21.36	2.46
Lower 1% confidence	127.17	107.77	114.41	79.91	21.48	48.60	3.34	17.50	55.04	402.77	46.39
Lower 5% confidence	131.73	110.67	117.50	81.94	22.29	50.16	3.40	18.11	57.28	411.53	47.40
Upper 5% confidence	168.26	133.90	142.24	98.17	28.81	62.66	3.90	22.99	75.17	481.59	55.46
Upper 1% confidence	172.82	136.80	145.33	100.19	29.63	64.22	3.96	23.60	77.41	490.35	56.47
Median	134.39	116.39	117.93	85.22	23.23	52.25	3.62	17.30	56.94	452.34	48.26
Lower quartile	116.24	96.22	103.15	77.04	17.81	40.71	2.93	13.72	46.37	343.67	41.21
Upper quartile	173.17	131.70	149.76	95.29	29.81	69.05	4.34	29.05	71.39	499.02	60.95
Interquartile range	28.47	17.74	23.31	9.13	6.00	14.17	0.71	7.66	12.51	77.68	9.87
Minimum	94.13	73.51	40.76	63.99	8.66	27.58	1.99	8.42	34.36	234.41	33.95
Maximum	429.59	272.46	250.51	220.17	63.71	104.07	5.69	36.25	157.78	692.67	85.20
Number of cases	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Harmonic mean	137.31	114.14	116.88	85.78	21.93	49.72	3.46	17.62	57.97	417.99	48.52
Geometric mean	142.50	117.76	123.71	87.53	23.66	52.92	3.56	19.03	61.47	432.11	49.89

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	715.17	169.88	49.89	6.72	0.52	6.19	13.71	25.47	7.19	3.29
Mean	71.52	16.99	4.99	0.67	0.05	0.62	1.37	2.55	0.72	0.33
Standard deviation	2.95	3.00	1.90	0.05	0.02	0.13	0.94	0.70	0.12	0.22
Standard error	0.93	0.95	0.60	0.02	0.01	0.04	0.30	0.22	0.04	0.07
Lower 1% confidence	69.61	15.05	3.76	0.64	0.04	0.54	0.76	2.10	0.64	0.19
Lower 5% confidence	69.99	15.43	4.00	0.64	0.04	0.55	0.89	2.19	0.66	0.21
Upper 5% confidence	73.05	18.54	5.97	0.70	0.06	0.68	1.86	2.91	0.78	0.44
Upper 1% confidence	73.43	18.93	6.22	0.71	0.06	0.70	1.98	3.00	0.80	0.47
Median	70.55	17.85	5.36	0.67	0.05	0.63	0.94	2.51	0.69	0.27
Lower quartile	69.08	15.12	4.56	0.65	0.04	0.56	0.90	1.95	0.62	0.13
Upper quartile	74.60	19.24	5.98	0.72	0.07	0.69	2.07	3.36	0.84	0.60
Interquartile range	2.76	2.06	0.71	0.04	0.02	0.07	0.59	0.71	0.11	0.24
Minimum	68.14	10.02	0.07	0.56	0.03	0.36	0.69	1.47	0.58	0.10
Maximum	77.06	19.30	7.12	0.74	0.08	0.85	3.22	3.46	0.93	0.68
Number of cases	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Harmonic mean	71.41	16.34	0.63	0.67	0.05	0.59	1.07	2.37	0.70	0.21
Geometric mean	71.46	16.70	3.54	0.67	0.05	0.61	1.18	2.46	0.71	0.26

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	1218.99	1227.49	1427.42	1087.46	423.30	734.82	43.58	245.30	595.29	4225.23	593.97
Mean	121.90	122.75	142.74	108.75	42.33	73.48	4.36	24.53	59.53	422.52	59.40
Standard deviation	28.86	12.57	14.95	13.20	9.73	9.86	0.64	4.85	10.54	92.53	6.92
Standard error	9.13	3.97	4.73	4.17	3.08	3.12	0.20	1.53	3.33	29.26	2.19
Lower 1% confidence	103.19	114.60	133.05	100.19	36.02	67.09	3.94	21.38	52.70	362.54	54.91
Lower 5% confidence	106.93	116.23	134.99	101.90	37.28	68.37	4.02	22.01	54.07	374.53	55.81
Upper 5% confidence	136.87	129.27	150.49	115.59	47.38	78.59	4.69	27.05	64.99	470.51	62.99
Upper 1% confidence	140.61	130.90	152.43	117.30	48.64	79.87	4.78	27.68	66.36	482.51	63.88
Median	116.21	119.04	144.68	106.74	40.53	69.94	4.36	23.07	59.51	430.93	58.40
Lower quartile	112.27	113.90	131.11	100.12	32.40	64.36	3.94	21.14	49.28	372.09	55.28
Upper quartile	139.46	135.29	153.62	117.51	52.13	83.34	4.69	27.23	68.27	490.96	65.89
Interquartile range	13.60	10.70	11.26	8.70	9.87	9.49	0.38	3.05	9.50	59.44	5.31
Minimum	68.58	104.64	115.81	85.49	29.73	60.89	3.25	18.27	45.67	219.84	46.51
Maximum	179.49	143.95	168.15	134.37	58.59	89.05	5.72	35.54	78.05	550.52	70.46
Number of cases	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Harmonic mean	115.34	121.63	141.29	107.30	40.38	72.33	4.27	23.78	57.88	397.95	58.65
Geometric mean	118.73	122.18	142.02	108.02	41.34	72.90	4.32	24.14	58.70	411.47	59.03

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1722.39	517.34	193.14	40.88	1.82	25.85	20.69	55.07	10.43	8.24
Mean	66.25	19.90	7.43	1.57	0.07	0.99	0.80	2.12	0.40	0.32
Standard deviation	2.65	2.34	1.72	0.37	0.05	0.41	0.30	0.36	0.16	0.11
Standard error	0.52	0.46	0.34	0.07	0.01	0.08	0.06	0.07	0.03	0.02
Lower 1% confidence	65.18	18.96	6.74	1.42	0.05	0.83	0.68	1.97	0.34	0.27
Lower 5% confidence	65.39	19.14	6.87	1.45	0.05	0.86	0.70	2.00	0.35	0.28
Upper 5% confidence	67.10	20.65	7.98	1.69	0.09	1.13	0.89	2.23	0.45	0.35
Upper 1% confidence	67.31	20.84	8.12	1.72	0.09	1.16	0.92	2.26	0.47	0.36
Median	66.29	19.65	7.75	1.59	0.06	0.91	0.73	2.11	0.43	0.28
Lower quartile	64.22	18.37	6.76	1.54	0.04	0.65	0.69	1.96	0.23	0.24
Upper quartile	67.56	21.35	8.57	1.72	0.07	1.21	0.79	2.34	0.53	0.38
Interquartile range	1.67	1.49	0.91	0.09	0.02	0.28	0.05	0.19	0.15	0.07
Minimum	61.24	15.35	2.81	0.42	0.03	0.58	0.56	1.28	0.16	0.21
Maximum	74.04	25.35	9.97	2.22	0.21	2.25	2.13	2.97	0.67	0.66
Number of cases	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Harmonic mean	66.15	19.63	6.82	1.40	0.05	0.88	0.74	2.06	0.33	0.29
Geometric mean	66.20	19.77	7.17	1.51	0.06	0.93	0.76	2.09	0.37	0.30

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	5060.38	2728.22	4894.71	4958.41	740.09	2802.51	99.35	688.22	2494.10	13513.13	1421.35
Mean	194.63	104.93	188.26	190.71	28.47	107.79	3.82	26.47	95.93	519.74	54.67
Standard deviation	42.71	33.29	34.49	40.17	8.05	28.35	0.84	12.70	21.00	186.24	20.02
Standard error	8.38	6.53	6.76	7.88	1.58	5.56	0.17	2.49	4.12	36.53	3.93
Lower 1% confidence	177.46	91.55	174.39	174.56	25.23	96.39	3.48	21.37	87.48	444.86	46.62
Lower 5% confidence	180.89	94.22	177.17	177.79	25.88	98.67	3.55	22.39	89.17	459.83	48.23
Upper 5% confidence	208.37	115.64	199.35	203.63	31.05	116.91	4.09	30.55	102.68	579.64	61.11
Upper 1% confidence	211.80	118.32	202.12	206.86	31.70	119.19	4.16	31.57	104.37	594.61	62.72
Median	196.30	96.99	194.07	198.58	28.85	100.15	3.81	24.20	95.56	497.45	51.79
Lower quartile	158.29	77.03	175.06	174.20	21.88	90.79	3.22	20.81	90.26	405.20	42.60
Upper quartile	226.19	126.31	205.51	211.26	34.36	115.62	4.36	29.82	109.77	553.32	63.60
Interquartile range	33.95	24.64	15.22	18.53	6.24	12.41	0.57	4.51	9.76	74.06	10.50
Minimum	130.57	57.64	87.26	63.76	13.82	68.11	2.21	8.55	27.21	313.52	21.51
Maximum	274.21	179.78	252.41	288.95	45.16	193.45	5.33	64.33	131.36	1230.36	111.41
Number of cases	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Harmonic mean	185.86	95.84	179.95	177.31	26.02	102.42	3.63	21.52	87.46	476.61	48.37
Geometric mean	190.18	100.18	184.58	185.30	27.28	104.86	3.73	23.94	92.71	495.66	51.46

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1130.38	234.80	48.69	8.27	0.68	28.14	10.60	47.80	10.38	7.00
Mean	70.65	14.68	3.04	0.52	0.04	1.76	0.66	2.99	0.65	0.44
Standard deviation	3.96	2.41	0.41	0.09	0.01	0.51	0.26	0.31	0.09	0.34
Standard error	0.99	0.60	0.10	0.02	0.00	0.13	0.06	0.08	0.02	0.09
Lower 1% confidence	68.62	13.44	2.83	0.47	0.04	1.50	0.53	2.83	0.60	0.26
Lower 5% confidence	69.03	13.69	2.88	0.48	0.04	1.55	0.56	2.86	0.61	0.30
Upper 5% confidence	72.27	15.66	3.21	0.55	0.04	1.97	0.77	3.12	0.69	0.58
Upper 1% confidence	72.68	15.91	3.25	0.56	0.05	2.02	0.79	3.15	0.70	0.61
Median	70.25	14.50	3.13	0.49	0.04	1.75	0.64	2.96	0.65	0.31
Lower quartile	67.52	12.87	2.80	0.46	0.04	1.29	0.48	2.74	0.57	0.19
Upper quartile	72.90	15.89	3.27	0.55	0.05	2.29	0.82	3.15	0.74	0.67
Interquartile range	2.69	1.51	0.24	0.04	0.01	0.50	0.17	0.21	0.08	0.24
Minimum	63.35	11.53	2.22	0.42	0.03	1.07	0.25	2.66	0.49	0.06
Maximum	77.45	21.14	3.65	0.75	0.05	2.54	1.16	3.90	0.78	1.29
Number of cases	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
Hamonic mean	70.44	14.34	2.99	0.51	0.04	1.62	0.57	2.96	0.64	0.21
Geometric mean	70.55	14.50	3.02	0.51	0.04	1.69	0.61	2.97	0.64	0.31

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	2387.90	1396.15	1511.10	1007.95	293.14	1017.11	74.07	218.53	1452.67	15537.24	772.57
Mean	149.24	87.26	94.44	63.00	18.32	63.57	4.63	13.66	90.79	971.08	48.29
Standard deviation	105.45	19.62	12.64	15.83	6.27	10.20	1.10	2.28	19.23	243.85	12.02
Standard error	26.36	4.90	3.16	3.96	1.57	2.55	0.28	0.57	4.81	60.96	3.01
Lower 1% confidence	95.20	77.20	87.97	54.88	15.11	58.34	4.06	12.49	80.94	846.10	42.12
Lower 5% confidence	106.01	79.22	89.26	56.51	15.75	59.39	4.18	12.72	82.91	871.10	43.36
Upper 5% confidence	192.48	95.30	99.63	69.49	20.89	67.75	5.08	14.59	98.68	1071.06	53.21
Upper 1% confidence	203.29	97.31	100.92	71.11	21.53	68.79	5.20	14.82	100.65	1096.05	54.45
Median	131.92	83.99	98.11	58.23	17.37	62.73	4.70	13.31	89.85	955.12	44.82
Lower quartile	98.12	76.11	81.73	51.54	13.15	55.27	3.66	12.47	72.00	732.95	42.67
Upper quartile	147.88	89.88	102.89	69.03	22.41	68.16	5.45	15.38	107.71	1158.05	49.67
Interquartile range	24.88	6.89	10.58	8.74	4.63	6.44	0.90	1.46	17.86	212.55	3.50
Minimum	80.72	63.36	71.37	48.05	9.57	52.37	2.64	8.73	67.52	653.93	35.57
Maximum	531.05	148.11	112.22	100.66	30.38	93.29	6.53	17.09	125.03	1459.89	83.50
Number of cases	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
Hamonic mean	123.27	84.17	92.76	59.99	16.35	62.26	4.37	13.26	87.07	914.36	46.18
Geometric mean	132.29	85.57	93.62	61.38	17.32	62.88	4.50	13.47	88.90	942.42	47.13

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	5137.34	1254.56	240.20	93.31	1.34	48.24	40.53	177.84	18.04	53.59
Mean	71.35	17.42	3.34	1.30	0.02	0.67	0.56	2.47	0.25	0.74
Standard deviation	4.80	3.45	1.91	0.29	0.01	0.30	0.27	0.50	0.11	0.18
Standard error	0.57	0.41	0.23	0.03	0.00	0.04	0.03	0.06	0.01	0.02
Lower 1% confidence	70.19	16.59	2.87	1.23	0.02	0.60	0.50	2.35	0.22	0.70
Lower 5% confidence	70.42	16.76	2.97	1.24	0.02	0.61	0.51	2.37	0.23	0.71
Upper 5% confidence	72.28	18.09	3.71	1.35	0.02	0.73	0.62	2.57	0.27	0.78
Upper 1% confidence	72.51	18.26	3.80	1.37	0.02	0.74	0.63	2.59	0.28	0.79
Median	71.58	17.58	2.82	1.29	0.01	0.67	0.51	2.45	0.21	0.76
Lower quartile	68.37	15.04	2.22	1.17	0.01	0.40	0.38	2.05	0.18	0.64
Upper quartile	74.40	19.87	3.30	1.43	0.02	0.87	0.66	2.85	0.30	0.85
Interquartile range	3.01	2.41	0.54	0.13	0.01	0.24	0.14	0.40	0.06	0.11
Minimum	59.63	10.14	1.61	0.65	0.01	0.13	0.18	1.50	0.13	0.38
Maximum	80.52	24.19	10.41	2.16	0.07	1.59	1.49	3.69	0.64	1.38
Number of cases	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00
Harmonic mean	71.02	16.72	2.75	1.23	0.01	0.52	0.45	2.37	0.22	0.70
Geometric mean	71.19	17.08	2.98	1.26	0.02	0.60	0.51	2.42	0.23	0.72

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	7526.05	3710.19	9110.43	10020.57	1735.64	6364.19	219.26	303.74	4198.28	30168.74	7097.05
Mean	104.53	51.53	126.53	139.17	24.11	88.39	3.05	4.22	58.31	419.01	98.57
Standard deviation	34.59	26.52	43.77	58.97	10.59	38.82	1.05	3.77	19.58	129.60	38.66
Standard error	4.08	3.13	5.16	6.95	1.25	4.57	0.12	0.44	2.31	15.27	4.56
Lower 1% confidence	96.17	45.12	115.96	124.93	21.55	79.01	2.79	3.31	53.58	387.70	89.23
Lower 5% confidence	97.84	46.40	118.07	127.78	22.06	80.89	2.84	3.49	54.53	393.96	91.10
Upper 5% confidence	111.21	56.66	134.99	150.57	26.15	95.89	3.25	4.95	62.09	444.06	106.04
Upper 1% confidence	112.88	57.94	137.11	153.42	26.66	97.77	3.30	5.13	63.04	450.32	107.91
Median	104.73	45.18	112.73	119.67	21.88	79.91	2.78	3.52	64.49	396.29	89.68
Lower quartile	83.92	31.37	94.62	102.51	15.80	62.62	2.29	1.23	38.65	323.54	71.35
Upper quartile	121.54	68.47	163.79	157.20	30.39	96.95	3.53	5.46	75.19	495.85	118.35
Interquartile range	18.81	18.55	34.59	27.35	7.30	17.16	0.62	2.12	18.27	86.15	23.50
Minimum	37.85	9.89	43.42	77.56	7.80	37.59	1.52	0.33	18.31	202.60	32.73
Maximum	209.57	125.11	225.15	386.62	51.78	262.90	7.86	19.81	91.65	740.06	212.27
Number of cases	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00
Harmonic mean	92.01	39.32	112.58	122.77	20.04	76.54	2.77	1.86	50.35	380.67	83.67
Geometric mean	98.54	45.25	119.39	129.88	21.97	81.89	2.90	2.87	54.54	399.63	91.18

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	987.37	206.35	37.29	6.22	0.75	23.18	4.31	41.77	7.29	8.05
Mean	70.53	14.74	2.66	0.44	0.05	1.66	0.31	2.98	0.52	0.58
Standard deviation	3.95	2.78	0.33	0.07	0.03	0.40	0.11	0.45	0.09	0.20
Standard error	1.06	0.74	0.09	0.02	0.01	0.11	0.03	0.12	0.02	0.05
Lower 1% confidence	68.36	13.22	2.48	0.41	0.04	1.44	0.25	2.73	0.47	0.46
Lower 5% confidence	68.79	13.52	2.52	0.41	0.04	1.48	0.26	2.78	0.48	0.49
Upper 5% confidence	72.26	15.96	2.81	0.48	0.07	1.83	0.36	3.18	0.56	0.66
Upper 1% confidence	72.69	16.26	2.85	0.48	0.07	1.87	0.37	3.23	0.57	0.69
Median	69.92	13.65	2.66	0.42	0.05	1.60	0.31	2.98	0.51	0.52
Lower quartile	67.26	12.35	2.39	0.40	0.04	1.31	0.23	2.67	0.45	0.42
Upper quartile	73.72	17.43	2.94	0.52	0.05	1.87	0.41	3.28	0.57	0.79
Interquartile range	3.23	2.54	0.28	0.06	0.01	0.28	0.09	0.31	0.06	0.18
Minimum	63.92	11.01	2.12	0.29	0.03	1.20	0.07	2.17	0.40	0.31
Maximum	76.70	19.40	3.38	0.55	0.14	2.66	0.46	4.04	0.73	1.02
Number of cases	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Harmonic mean	70.32	14.27	2.63	0.43	0.05	1.58	0.25	2.92	0.51	0.52
Geometric mean	70.42	14.50	2.64	0.44	0.05	1.62	0.28	2.95	0.51	0.54

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	1808.38	1299.68	1172.30	842.80	265.20	873.20	71.90	207.80	1371.50	8353.23	638.10
Mean	129.17	92.83	83.74	60.20	18.94	62.37	5.14	14.84	97.96	596.66	45.58
Standard deviation	42.53	20.44	10.28	10.16	6.85	13.43	0.66	3.07	16.59	234.87	9.98
Standard error	11.37	5.46	2.75	2.71	1.83	3.59	0.18	0.82	4.43	62.77	2.67
Lower 1% confidence	105.87	81.63	78.10	54.63	15.19	55.01	4.78	13.16	88.88	467.98	40.11
Lower 5% confidence	110.53	83.87	79.23	55.75	15.94	56.48	4.85	13.50	90.69	493.71	41.21
Upper 5% confidence	147.81	101.79	88.24	64.65	21.95	68.26	5.42	16.19	105.24	699.61	49.95
Upper 1% confidence	152.47	104.03	89.37	65.77	22.70	69.73	5.50	16.53	107.05	725.34	51.04
Median	112.24	86.20	83.60	57.10	18.30	60.50	5.20	14.50	98.75	605.75	45.95
Lower quartile	92.60	79.70	77.15	52.95	14.15	51.75	4.70	12.35	83.05	397.70	38.60
Upper quartile	163.75	106.89	93.85	66.95	23.85	67.05	5.65	17.00	104.85	716.32	52.80
Interquartile range	35.58	13.60	8.35	7.00	4.85	7.65	0.48	2.33	10.90	159.31	7.10
Minimum	77.40	61.80	64.10	49.00	7.90	45.70	3.40	10.70	75.80	281.00	25.80
Maximum	216.80	131.70	97.80	80.20	35.80	94.10	6.10	20.90	134.50	1215.50	63.00
Number of cases	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Harmonic mean	118.02	89.10	82.48	58.81	16.70	60.08	5.04	14.30	95.56	520.28	43.25
Geometric mean	123.25	90.90	83.12	59.47	17.83	61.16	5.09	14.56	96.73	557.30	44.47

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	929.40	377.29	70.54	25.87	1.06	3.05	16.67	36.67	10.59	6.87
Mean	61.96	25.15	4.70	1.72	0.07	0.20	1.11	2.44	0.71	0.46
Standard deviation	3.41	3.83	1.70	0.28	0.03	0.05	0.12	0.49	0.11	0.04
Standard error	0.88	0.99	0.44	0.07	0.01	0.01	0.03	0.13	0.03	0.01
Lower 1% confidence	60.16	23.13	3.80	1.58	0.05	0.18	1.05	2.18	0.65	0.44
Lower 5% confidence	60.52	23.53	3.98	1.61	0.06	0.18	1.06	2.24	0.66	0.44
Upper 5% confidence	63.40	26.77	5.42	1.84	0.08	0.22	1.16	2.65	0.75	0.48
Upper 1% confidence	63.76	27.18	5.60	1.87	0.09	0.23	1.17	2.71	0.77	0.48
Median	61.30	26.87	3.89	1.67	0.06	0.19	1.07	2.59	0.72	0.46
Lower quartile	59.34	20.00	3.56	1.49	0.05	0.16	1.06	1.83	0.62	0.44
Upper quartile	63.83	27.57	5.16	1.91	0.09	0.25	1.14	2.93	0.78	0.49
Interquartile range	2.25	3.79	0.80	0.21	0.02	0.05	0.04	0.55	0.08	0.03
Minimum	57.65	18.45	3.08	1.43	0.04	0.14	0.93	1.60	0.46	0.34
Maximum	69.37	29.60	8.65	2.33	0.15	0.29	1.42	2.97	0.87	0.52
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Harmonic mean	61.79	24.54	4.29	1.69	0.06	0.19	1.10	2.34	0.69	0.45
Geometric mean	61.87	24.86	4.47	1.71	0.07	0.20	1.11	2.39	0.70	0.46

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	3958.39	1310.18	2918.69	2519.19	324.43	1356.65	34.58	304.05	2154.87	6436.67	1625.93
Mean	263.89	87.35	194.58	167.95	21.63	90.44	2.31	20.27	143.66	429.11	108.40
Standard deviation	49.64	15.65	32.16	41.22	9.17	22.31	0.46	8.20	23.19	50.20	19.75
Standard error	12.82	4.04	8.30	10.64	2.37	5.76	0.12	2.12	5.99	12.96	5.10
Lower 1% confidence	237.62	79.06	177.56	146.13	16.78	78.63	2.06	15.93	131.38	402.54	97.94
Lower 5% confidence	242.87	80.72	180.96	150.49	17.75	81.00	2.11	16.80	133.84	407.85	100.03
Upper 5% confidence	284.91	93.97	208.20	185.40	25.51	99.89	2.50	23.74	153.48	450.37	116.76
Upper 1% confidence	290.17	95.63	211.60	189.77	26.48	102.25	2.55	24.61	155.93	455.68	118.85
Median	244.42	80.22	183.54	153.37	19.75	86.08	2.23	19.99	133.57	425.64	107.07
Lower quartile	225.76	75.45	168.91	140.37	14.73	72.04	2.02	13.72	125.85	393.83	96.47
Upper quartile	303.83	97.21	222.95	172.99	26.55	97.51	2.73	22.90	156.57	462.66	112.16
Interquartile range	39.04	10.88	27.02	16.31	5.91	12.74	0.36	4.59	15.36	34.42	7.85
Minimum	206.51	63.47	155.19	128.36	10.70	65.83	1.65	10.70	116.73	311.03	82.67
Maximum	378.71	118.59	259.63	276.61	40.76	138.67	3.04	41.55	193.91	525.50	161.18
Number of cases	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Harmonic mean	256.31	84.90	189.96	160.82	18.59	86.05	2.22	17.78	140.59	423.13	105.52
Geometric mean	259.91	86.09	192.21	164.04	20.00	88.12	2.26	18.93	142.05	426.21	106.89

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1965.02	817.75	93.67	75.23	1.47	67.02	5.13	44.95	14.95	13.72
Mean	61.41	25.55	2.93	2.35	0.05	2.09	0.16	1.40	0.47	0.43
Standard deviation	5.34	3.47	0.98	0.54	0.04	2.96	0.12	0.38	0.16	0.11
Standard error	0.94	0.61	0.17	0.10	0.01	0.52	0.02	0.07	0.03	0.02
Lower 1% confidence	59.47	24.30	2.57	2.15	0.03	1.02	0.12	1.27	0.41	0.39
Lower 5% confidence	59.86	24.55	2.64	2.19	0.03	1.24	0.13	1.29	0.42	0.40
Upper 5% confidence	62.95	26.56	3.21	2.51	0.06	2.95	0.19	1.52	0.51	0.46
Upper 1% confidence	63.34	26.81	3.28	2.55	0.06	3.17	0.20	1.54	0.52	0.47
Median	61.60	25.73	2.65	2.48	0.04	1.53	0.14	1.29	0.45	0.41
Lower quartile	59.56	24.49	2.45	2.21	0.03	1.06	0.12	1.19	0.37	0.39
Upper quartile	63.32	27.97	3.07	2.66	0.04	2.11	0.18	1.42	0.52	0.44
Interquartile range	1.88	1.74	0.31	0.22	0.01	0.52	0.03	0.12	0.08	0.03
Minimum	45.17	15.48	1.96	0.72	0.02	0.38	0.09	0.98	0.03	0.25
Maximum	77.23	31.89	7.46	3.21	0.24	17.80	0.76	2.74	0.84	0.93
Number of cases	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Harmonic mean	60.94	24.99	2.75	2.15	0.04	1.22	0.14	1.33	0.31	0.41
Geometric mean	61.18	25.29	2.82	2.27	0.04	1.51	0.14	1.36	0.43	0.42

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	5933.17	3166.13	7840.61	7352.33	1771.56	4264.53	75.26	541.82	6329.68	9284.20	3602.58
Mean	185.41	98.94	245.02	229.76	55.36	133.27	2.35	16.93	197.80	290.13	112.58
Standard deviation	45.03	122.33	53.96	46.21	18.33	17.25	0.34	3.06	30.05	80.13	37.13
Standard error	7.96	21.63	9.54	8.17	3.24	3.05	0.06	0.54	5.31	14.17	6.56
Lower 1% confidence	169.09	54.61	225.47	213.01	48.72	127.02	2.23	15.82	186.91	261.09	99.12
Lower 5% confidence	172.36	63.48	229.38	216.36	50.05	128.27	2.25	16.04	189.09	266.90	101.82
Upper 5% confidence	198.47	134.41	260.66	243.16	60.68	138.27	2.45	17.82	206.52	313.36	123.35
Upper 1% confidence	201.73	143.27	264.57	246.51	62.00	139.52	2.47	18.04	208.69	319.17	126.04
Median	186.61	69.97	250.46	230.31	59.36	135.12	2.27	16.18	196.01	272.75	118.92
Lower quartile	163.94	63.31	211.66	217.22	43.22	126.80	2.11	14.90	184.44	249.70	80.00
Upper quartile	200.86	91.40	281.77	247.33	68.77	143.37	2.56	18.54	216.66	313.87	146.03
Interquartile range	18.46	14.05	35.05	15.06	12.78	8.29	0.22	1.82	16.11	32.09	33.01
Minimum	94.36	53.82	100.56	101.39	14.64	73.07	1.92	12.01	139.25	172.17	46.52
Maximum	375.01	759.25	334.80	380.11	82.54	168.57	3.27	27.58	269.21	634.98	165.73
Number of cases	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Harmonic mean	176.43	75.38	229.90	218.75	46.58	130.49	2.31	16.47	193.27	275.25	97.99
Geometric mean	180.82	80.87	238.21	224.77	51.52	132.01	2.33	16.69	195.56	281.96	105.68

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	2037.41	643.96	197.63	26.32	3.56	226.63	37.39	104.38	22.71	3.31
Mean	61.74	19.51	5.99	0.80	0.11	6.87	1.13	3.16	0.69	0.10
Standard deviation	1.93	1.42	0.27	0.02	0.03	1.95	0.06	0.24	0.07	0.11
Standard error	0.34	0.25	0.05	0.00	0.00	0.34	0.01	0.04	0.01	0.02
Lower 1% confidence	61.05	19.01	5.89	0.79	0.10	6.17	1.11	3.08	0.66	0.06
Lower 5% confidence	61.19	19.11	5.91	0.79	0.10	6.31	1.12	3.09	0.67	0.07
Upper 5% confidence	62.29	19.92	6.06	0.80	0.12	7.42	1.15	3.23	0.71	0.13
Upper 1% confidence	62.43	20.02	6.08	0.81	0.12	7.56	1.15	3.25	0.71	0.14
Median	61.68	19.54	6.02	0.80	0.11	7.05	1.13	3.12	0.70	0.08
Lower quartile	60.09	18.29	5.84	0.78	0.09	5.67	1.10	3.03	0.64	0.06
Upper quartile	63.02	20.29	6.17	0.82	0.12	8.19	1.18	3.22	0.74	0.11
Interquartile range	1.47	1.00	0.17	0.02	0.02	1.26	0.04	0.10	0.05	0.03
Minimum	57.58	17.62	5.27	0.75	0.04	1.01	0.97	2.91	0.53	0.02
Maximum	66.20	24.79	6.61	0.84	0.18	11.02	1.26	4.23	0.81	0.67
Number of cases	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
Harmonic mean	61.68	19.42	5.98	0.80	0.10	5.68	1.13	3.15	0.68	0.07
Geometric mean	61.71	19.47	5.98	0.80	0.10	6.46	1.13	3.16	0.68	0.08

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	7904.72	4823.79	5879.93	3539.30	1107.45	1285.08	129.91	850.81	3195.07	15211.74	2151.09
Mean	239.54	146.18	178.18	107.25	33.56	38.94	3.94	25.78	96.82	460.96	65.18
Standard deviation	34.66	15.31	12.62	10.45	6.85	17.69	0.25	2.82	31.61	31.05	5.36
Standard error	6.03	2.67	2.20	1.82	1.19	3.08	0.04	0.49	5.50	5.41	0.93
Lower 1% confidence	227.17	140.71	173.67	103.52	31.11	32.63	3.85	24.78	85.54	449.88	63.27
Lower 5% confidence	229.64	141.80	174.58	104.27	31.60	33.89	3.86	24.98	87.80	452.10	63.65
Upper 5% confidence	249.43	150.55	181.78	110.23	35.52	43.99	4.01	26.59	105.84	469.83	66.72
Upper 1% confidence	251.91	151.64	182.68	110.98	36.00	45.26	4.03	26.79	108.10	472.04	67.10
Median	248.81	143.33	183.54	103.85	33.45	32.94	3.88	24.94	93.94	463.32	65.05
Lower quartile	213.93	136.43	168.63	100.07	28.11	24.60	3.80	23.27	80.01	445.59	62.95
Upper quartile	262.00	148.14	186.08	116.17	40.07	53.21	4.14	27.72	107.75	475.06	68.42
Interquartile range	24.04	5.86	8.73	8.05	5.98	14.31	0.17	2.23	13.87	14.74	2.74
Minimum	135.12	130.79	146.78	93.88	20.03	17.56	3.40	21.64	37.13	382.56	55.37
Maximum	305.77	213.99	202.60	143.79	44.95	82.86	4.61	31.52	232.62	540.81	75.29
Number of cases	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
Harmonic mean	233.64	144.94	177.26	106.37	32.10	32.77	3.92	25.50	88.34	458.91	64.75
Geometric mean	236.79	145.51	177.73	106.79	32.85	35.56	3.93	25.64	92.58	459.94	64.97

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5
Sum	1729.07	526.01	213.21	61.25	4.20	20.91	39.65	51.17	21.15	6.64
Mean	64.04	19.48	7.90	2.27	0.16	0.77	1.47	1.90	0.78	0.25
Standard deviation	2.73	1.98	1.08	0.28	0.11	0.08	0.25	0.25	0.12	0.11
Standard error	0.52	0.38	0.21	0.05	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02
Lower 1% confidence	62.96	18.70	7.47	2.16	0.11	0.74	1.37	1.80	0.73	0.20
Lower 5% confidence	63.18	18.86	7.55	2.18	0.12	0.75	1.39	1.82	0.74	0.21
Upper 5% confidence	64.90	20.11	8.24	2.36	0.19	0.80	1.55	1.97	0.82	0.28
Upper 1% confidence	65.12	20.26	8.32	2.38	0.20	0.81	1.57	1.99	0.83	0.29
Median	63.92	19.09	7.80	2.28	0.14	0.77	1.42	1.89	0.78	0.22
Lower quartile	62.15	18.41	7.36	2.16	0.09	0.72	1.31	1.76	0.71	0.20
Upper quartile	66.05	20.43	8.46	2.41	0.19	0.81	1.60	2.05	0.85	0.25
Interquartile range	1.95	1.01	0.55	0.13	0.05	0.04	0.15	0.15	0.07	0.02
Minimum	58.19	14.95	5.15	1.50	0.04	0.62	1.04	1.36	0.53	0.13
Maximum	70.26	25.34	10.20	3.00	0.56	0.96	2.04	2.47	1.05	0.60
Number of cases	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Harmonic mean	63.93	19.30	7.74	2.23	0.11	0.77	1.43	1.86	0.76	0.22
Geometric mean	63.98	19.39	7.82	2.25	0.13	0.77	1.45	1.88	0.77	0.23

	Sr	Zn	V	Cr	Cu	Ni	Be	Co	Zr	Ba	Li
Sum	7869.84	2947.93	5870.25	6827.77	922.66	3689.07	65.33	2047.78	6278.93	12822.48	2384.00
Mean	291.48	109.18	217.42	252.88	34.17	136.63	2.42	75.84	232.55	474.91	88.30
Standard deviation	41.27	26.81	30.05	31.34	8.79	36.36	0.37	22.09	20.05	105.55	13.80
Standard error	7.94	5.16	5.78	6.03	1.69	7.00	0.07	4.25	3.86	20.31	2.66
Lower 1% confidence	275.20	98.61	205.56	240.52	30.70	122.29	2.27	67.13	224.64	433.27	82.85
Lower 5% confidence	278.45	100.72	207.93	242.99	31.40	125.16	2.30	68.87	226.23	441.59	83.94
Upper 5% confidence	304.50	117.64	226.90	262.77	36.95	148.11	2.54	82.82	238.88	508.22	92.65
Upper 1% confidence	307.76	119.76	229.27	265.24	37.64	150.98	2.56	84.56	240.46	516.55	93.74
Median	301.14	106.57	221.68	259.43	35.53	149.20	2.38	71.83	233.41	441.72	90.25
Lower quartile	257.96	95.11	186.58	247.69	29.70	118.48	2.26	60.91	223.00	406.28	75.03
Upper quartile	315.36	117.85	240.55	267.89	39.47	158.91	2.61	86.70	239.97	493.53	97.42
Interquartile range	28.70	11.37	26.99	10.10	4.89	20.22	0.18	12.90	8.49	43.63	11.20
Minimum	210.27	60.38	165.37	171.26	12.18	49.74	1.72	47.56	170.58	349.57	56.93
Maximum	386.26	197.31	278.66	324.29	50.36	195.19	3.45	138.40	282.05	796.51	120.15
Number of cases	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Harmonic mean	285.64	103.44	213.26	248.36	31.11	122.38	2.37	71.02	230.74	457.11	86.12
Geometric mean	288.59	106.26	215.36	250.77	32.83	130.50	2.39	73.23	231.67	465.30	87.23