

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 58 (1978)
Heft: 1-2

Artikel: Die Terra Sigillata von La Péniche (Vidy/Lausanne)
Autor: Küpfer, Theo / Maggetti, Marino
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-45198>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 30.06.2025

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

Die Terra Sigillata von La Péniche (Vidy/Lausanne)

Von Theo Küpfer und Marino Maggetti, Fribourg *)

Abstract

The Terra Sigillata of good quality (TS) and the one of bad quality (TH) from the workshop of La Péniche (mid-1st century A.D.) are of similar mineralogical, chemical and porosimetrical composition. Both are very Ca-rich products and differ markedly from the Terra Sigillata of the other known Terra Sigillata workshops; differentiation can be made with the aid of the CaO/MgO, Ba/Cr + Ni and MnO/K₂O ratios.

The good fired products show the paragenesis: basic plagioclase + diopside + quartz + hematite + glassy matrix (± wollastonite?); illite is only present in lower fired sherds; calcite is clearly secondary (decomposition of gehlenite or immigration after the bury).

Our firing experiments and porosimetric investigations infer that the TS has been fired at 1000–1050° C and the TH at temperatures of 950–1000° C.

Zusammenfassung

Die gute Terra Sigillata (TS) und die helvetische Imitation (TH) aus dem Atelier von La Péniche (Mitte 1. Jh. n. Chr.) sind mineralogisch, chemisch und porosimetrisch ähnlich zusammengesetzt. Beide sind Ca-reich und bilden eine eigenständige Gruppe, die sich anhand ausgewählter Korrelationsdiagramme (CaO/MgO, Ba/Cr + Ni, MnO/K₂O) gut von allen bisher bekannten Terra-Sigillata-Produktionsstätten trennen lässt.

Gut gebrannte Proben weisen die Paragenese basischer Plagioklas + Diopsid + Quarz + Hämatit + Glasphase (± Wollastonit?) auf, während Illit in schlecht gebrannten Proben nachzuweisen ist. Calcit kann auch in gut gebrannten Proben vorkommen und ist dann sekundärer Herkunft (retrograd nach Gehlenit oder Einwanderung während der Bodeneinlagerung). Nach eigenen Brennversuchen und porosimetrischen Untersuchungen ist die TS zwischen 1000–1050° C, die TH zwischen 950–1000° C gebrannt worden.

INHALT

I. Untersuchungen für eine Referenzgruppe «Terra Sigillata von La Péniche»	190
1. Die Töpferware von La Péniche	190
2. Makro- und mikroskopische Ansprache	191
3. Röntgenographische Phasenanalyse	194
4. Chemismus	194
5. Porosimetrische Charakterisierung	199

*) Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Péroilles, CH-1700 Fribourg, Schweiz.

II. Die Herstellung der Terra Sigillata: archäokeramische Auswertung	202
1. Vergleich mit anderen Lokalitäten	202
2. Zur Herstellung der Terra Sigillata von La Péniche	206
a) Der Rohton und seine Aufbereitung	206
b) Die Brenntemperatur	208
c) Die Bodenlagerung	211
Literatur	212

I. UNTERSUCHUNGEN FÜR EINE REFERENZGRUPPE «TERRA SIGILLATA VON LA PÉNICHE»

1. Die Töpferware von La Péniche

Die Ausgrabungen einer Töpferei bei Lausanne, welche um die Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. in Betrieb war, lieferte ausreichend Material, um die dortige Ware, besonders aber die Terra Sigillata mineralogisch und chemisch zu untersuchen. Da von den Produktionszentren Italiens, Frankreichs und Deutschlands entsprechende Daten vorliegen, war es unsere Aufgabe, eine Referenzgruppe für das Lausanner Vorkommen zu schaffen und die Eigenständigkeit dieser Töpferei zu sichern.

Um Anhaltspunkte für die lokale Produktion zu gewinnen (stets ist auch Importware zugegen), darf man aber nicht nur die Terra Sigillata berücksichtigen, sondern muss auch die andere Ware des Fundpunktes untersuchen und das Ganze mit dem damals wahrscheinlich abgebauten Tonlager vergleichen.

Fundstelle

Der Fundort ergab sich im Zuge der Vorbereitung zur EXPO 1964, wo im Ostteil des römischen Vicus von Lousonna (heute Lausanne) Reste eines Töpferateliers freigelegt wurden, das den Namen La Péniche erhielt (LAUFER, 1967; KAENEL, 1977). Aus einer Grube konnte LAUFER 1965/66 ca. 10 000 Scherben (darunter viele Fehlbrände) sowie die Überreste eines Töpferofens (Sandsteinfragmente der Mauerung, Brennstützen) bergen. Es ist somit anzunehmen, dass hier eine Abfallgrube der Töpferei vorliegt und dass die gefundenen Scherben zumeist aus der örtlichen Produktion stammen.

Fundmaterial

Ausser Grobkeramik liegt folgende Feinkeramik vor:

1. Terra Sigillata
 - a) TS («gute Ware», mit stabilem rotem Überzug).
 - b) TH («schlechte Ware», mit schlecht haftendem Überzug). Name nach DRACK (1945): Helvetische Imitation.
2. Terra Nigra, TN; graue bis schwarze Feinkeramik (mit oder ohne Überzug) und graue Brennstützen.

Untersuchungsmaterial

Über 100 Scherben wurden für mineralogische, chemische und porosimetrische Untersuchungen ausgewählt, davon 42 TS, 49 TH und 14 TN; dazu noch 7 rote Brennstützen,

1 Mörser, 1 Webgewicht und 1 Rohton. Da die letztgenannten Objekte sicher aus der lokalen Werkstatt stammen, dienen sie zum Vergleich der Bodenständigkeit der übrigen Feinkeramik.

Die makroskopisch archäologische Klassifizierung nach TS, TH und TN erweist sich auch bei der genaueren chemisch-keramischen Kennzeichnung als richtig; lediglich die Proben 6 und 9 wurden statt zur TS zur TH gestellt. Bei der quantitativen Auswertung haben sich die Proben 20, 65, 66 als Importe erwiesen. Sie wurden bei der Bildung der Referenzgruppe La Péniche nicht berücksichtigt.

2. Makro- und mikroskopische Ansprache

Die Unterscheidung TS/TH erfolgte durch die Archäologen nach der Güte des Überzuges (Fig. 1):

TS rotbrauner, gut haftender glänzender Überzug;

TH matt dunkelbrauner, schlecht haftender und mehrheitlich nur noch reliktisch vorhandener Überzug. Dieser ist teilweise zu einer orange-gelben pulvrigen Schicht zersetzt.

Nach Abschleifen des Überzuges zeigen sich bei den TS- und TH-Scherben keine Unterschiede; beide Typen sind homogen und gut gebrannt. Die TN hingegen ist manchmal relativ weich und führt millimetergrosse Einschlüsse von Quarz und Feldspat.

Die TN hat als reduzierend gebrannte Keramik graue Töne (CEC Farbton A–B), die oxidierend gebrannten TS und TH hingegen sind gelb bis rot: 63% der TS zeigen Farbton E–F, 89% der TH Farbton C–D. Der schon von KLAARENBECK (1961) und PETERS und JENNI (1973) beschriebene Zusammenhang

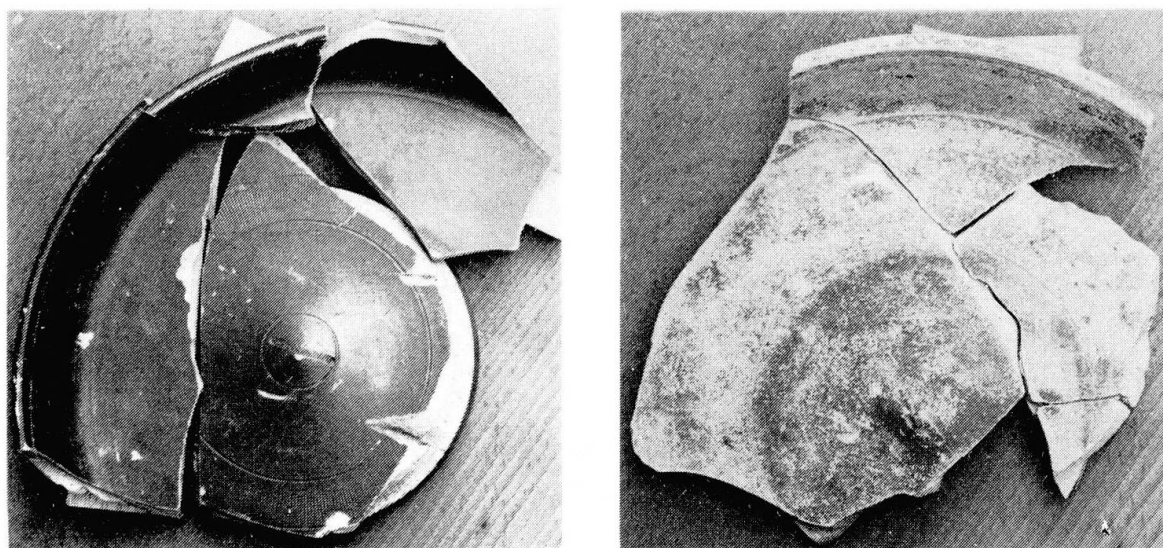


Fig. 1. Die beiden Terra-Sigillata-Typen von La Péniche. Links die gute (TS, Nr. 135), rechts die sogenannte «Imitation» (TH, Nr. 136) mit abgeblättertem Überzug. Durchmesser beider Teller ca. 16 cm.

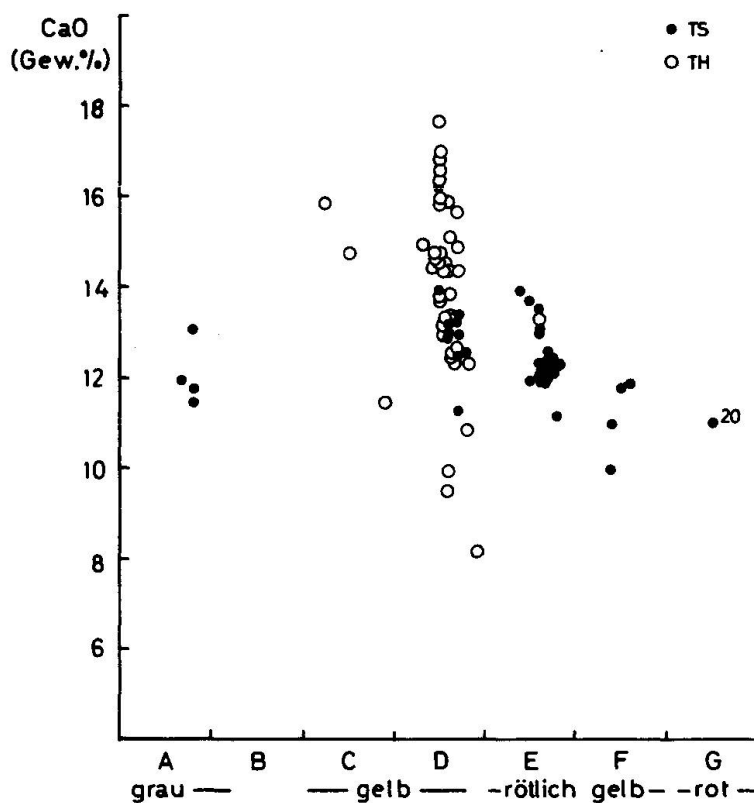


Fig. 2. Korrelation Brennfarbe-CaO-Gehalt. Die TS hat mehrheitlich rötliche, die TH mehr gelbe Farbtöne. Eine Korrelation zum CaO-Gehalt ist bedingt durchführbar. Die Nr. 20 und die grauen TS-Scherben (Nr. 23, 121, 122, 123) fallen deutlich heraus.

Tabelle 1. Mikroskopische Analyse der Magerung

x = wenig xx = häufig xxx = sehr viel

	Schliff															
	6	9	20	36	55	72	94	103	106	111	115	119	120	138	139	140
Minerale																
Quarz	xx	x	x	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	xx	xx	xx	xxx	xx
Kalzit	x	xxx	xx	xx	x	x		xxx	xxx	xxx	xx	x	x	x		
Plagioklas		x		x			x		x		x		x	x	x	x
Kalifeldspat														x	x	x
Hellglimmer		x			x		x	xx	xx	xx	x	x	x	x	x	x
Biotit		x			x		x	x	x	x	x		x	x	x	x
Gesteinsbruch- stücke																
Kalk															x	
Quarzit							x		x	x	x		x	x	x	x
Biotit-Quarzit		x		x	x	x						xx		x		x
Gang-Quarz							x						x		x	
Gneis					x										x	x
Schamotte														x		

von CaO-Gehalt und Farbton ergibt sich aus Fig. 2. Scheidet man die vier grauen TS aus, so bleibt ein Mittelfeld um den Farbwert D mit hohen CaO-Werten für die TH.

Nach der Farbeinteilung von ETLINGER und STEIGER (1971) ergeben sich folgende Farbcodes: TS 11 (hell), TH 1 (dunkel), TN 24 (hell). Probe 20 wäre 17 (hell), die Proben 3 und 4 wären 13 (hell); sie sind als überbrannt einzustufen.

Im *Dünnschliff* zeigen sich die in der dichten und mit Hämatitflittern durchsetzten Matrix liegenden Bestandteile der Magerung (mittlerer Korndurchmesser 0,03–0,1 mm). Die Feinkeramik und die Brennstützen 115, 116 und 120 sind arm an Magerung, die Proben 138–140 (Webgewicht und zwei Brennstützen) fallen durch einen reichen Anteil an grober Magerung auf; sie stellen wohl die ursprünglichen, nicht geschlammten Rohtone der näheren Umgebung dar. Den Hauptbestandteil der Magerung (Tabelle 1) bildet Quarz in eckig begrenzten Körnern. Interner polygonaler Kornaufbau ist wohl auf die Spannungen beim Abkühlen zurückzuführen. Die Feldspäte (überwiegend Plagioklas) zeigen keine Anzeichen von Schmelzbildung. Weiter finden sich noch Hellglimmer, teilweise oxidiertes Biotit, Karbonat (3 Varietäten) und gneisige bis quarzitisches Gesteinsbruchstücke in der Magerung.

Nach den Röntgendiagrammen ist *Calcit* das vorwaltende Karbonat und kommt in drei Varietäten vor: 1. Rundliche, grosse (reliktische) Kalkkörner mit braungelber Randzone fanden sich nur im Webgewicht Nr. 138. Diese Probe ist schlecht gebrannt. Da jedoch die Dissoziationstemperatur des Kalkes gerade überschritten wurde (siehe Teil II), ist die jetzt vorliegende Masse wohl retrograd aus CaO bzw. Ca(OH)_2 gebildet. 2. Feinverteilt bis fleckig-wolkige angereicherte kleine Individuen in der Grundmasse. 3. Klare grössere Individuen in Poren und Rissen.

Die beiden letztgenannten Varietäten sind sicher sekundär. Die Frage ist nur, ob sie sich retrograd aus mineralischer Substanz des Scherbens gebildet

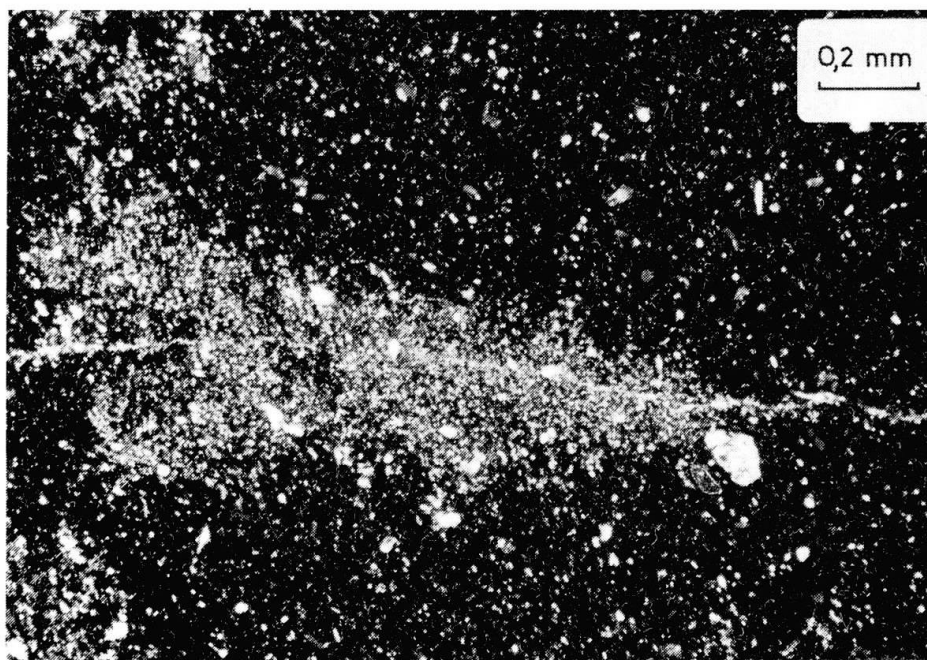


Fig. 3. Dünnschliff Nr. 9, Nicols gekreuzt. Calcit ist in der Scherben-Grundmasse entlang eines mit sekundärem Calcit gefüllten Risses wolkig angereichert. Während der Risscalcit sicher eingewandert ist, besteht über die Herkunft des Grundmassecalcites Unklarheit: er könnte von aussen zugeführt worden sein oder sich retrograd aus dem Zerfall von Ca-Silikaten des Scherbens gebildet haben.

haben (also aus Portlandit, Diopsid, Wollastonit, Gehlenit) oder aber von aussen zugeführt wurden. Besonders bei Rissfüllung ist mit zirkulierenden Lösungen zu rechnen (vgl. Fig. 3) und Calcitzufuhr in den Scherben hinein ist nicht auszuschliessen. Solcher CaO-Anteil erschwert natürlich jede Referenzgruppenbildung auf rein chemischer Basis.

Der rote Überzug (max. Dicke 0,03 mm) kann optisch isotrop (z. B. an Probe 36) sein. Hier hat die Brandf hrung (Temperatur und Haltezeit bei gegebenem Chemismus) eine amorphe Struktur erzeugt. In anderen F llen (so z. B. bei Probe 9) ist der Überzug anisotrop geblieben (wie dies schon von OBERLIES und KOEPPEN 1953 nachgewiesen wurde) und es können noch intakte Hellglimmer erkannt werden. Nach den Porenradienverteilungskurven (s. S. 199) ist die Temperatur selber der ausschlaggebende Faktor gewesen, ob der Überzug glasiert wurde oder nicht.

3. Röntgenographische Phasenanalyse

Ergänzend zum Dünnschliff liefert die Pulverdiffraktometrie (40 analysierte Proben) Aussagen über die mineralogische Zusammensetzung. In TS, TH und TN sind, je nach erreichter Brenntemperatur, nachweisbar: basischer Plagioklas, Kalifeldspat, Diopsid, Quarz, Hämatit, Calcit, Hellglimmer/Illit. Wollastonit konnte nicht eindeutig erkannt werden. Daneben ist noch ein amorpher Anteil vorhanden.

Menge und Zusammensetzung der kristallinen Phasen lassen sich aus der chemischen Zusammensetzung (s. S. 198) abschätzen.

Fig. 4 zeigt die typischen F lle. *Probe 32*: Beispielhaft für alle gutgebrannten TS (geringe Variationen nur im H matitgehalt); Ca ist hier $\pm$ vollständig an die Silikate gebunden (Plagioklas, Diopsid, evtl. Wollastonit). *Probe 9*: Calcit, der neben viel Plagioklas und Diopsid auftritt, ist sicher sekundär; entweder bei der Bodenlagerung von aussen eingedrungen oder im Scherben durch Umsetzung anderer Phasen unter CO₂-Zufuhr entstanden. *Probe 103*: Diese schwachgebrannte Probe zeigt wenig Plagioklas und Diopsid, aber neben viel Calcit noch starke Reflexe von Tonmineralen (Hellglimmer/Illit). Der grosse Illit-Peak ist durch die Matrix (also die Tonfraktion) bestimmt, während bei den Proben 9 und 32 nur noch sehr schwache Illit-Peaks vorhanden sind. Diese repräsentieren den mikroskopisch noch erkennbaren Hellglimmer/Illit-Anteil der Magerung. Die Matrix-Illite sind bei diesen Proben ihrer Kleinheit wegen schon zerfallen!

Metastabile Phasen wie CaO, Ca(OH)₂ konnten in keiner schwachgebrannten Probe sicher identifiziert werden.

4. Chemismus

Die quantitative Analyse erfolgte mit einem Siemens-Sequenzspektrometer (Cr-Strahlung). Haupt- und Nebenelemente (ausser Na und P) wurden

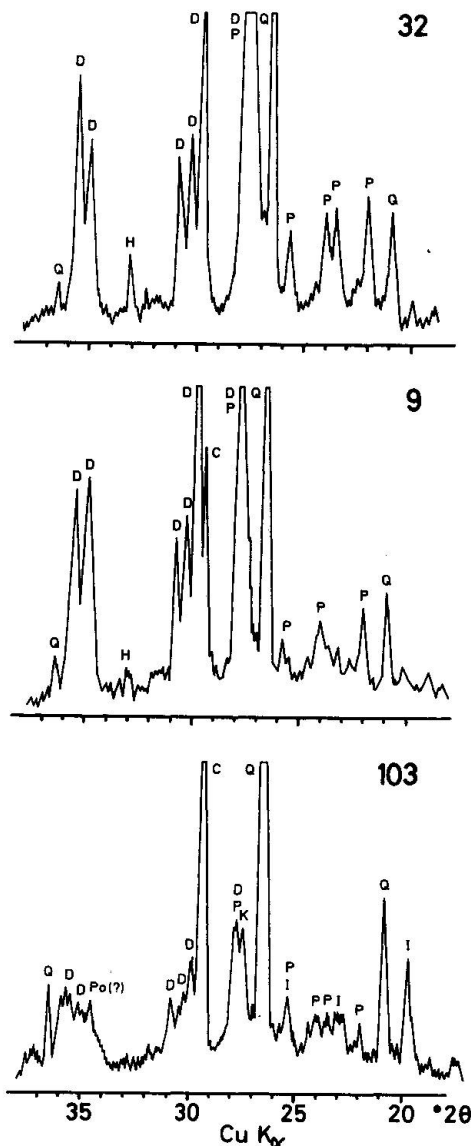


Fig. 4. Röntgendiffraktogramme. C = Calcit, D = Diopside, H = Hämatit, I = Illit/Muskowit, K = Kalifeldspat, P = Plagioklas, Po = Portlandit, Q = Quarz.

Nr. 32: gut gebrannte TS, bestehend aus Plagioklas + Diopside + Quarz + Hämatit (+ Glasphase).

Nr. 9: gut gebrannte TH. Zusätzlich zur oben genannten Paragenese ist sekundärer Calcit vorhanden.

Nr. 103: schlecht gebrannte Terra Nigra (TN). Vorwiegend Calcit und Quarz, wenig Diopside, Feldspat und Matrix-Illit.

an Glaspillen gemessen, Na, P und die Spurenelemente an Pulverpillen. Es wurden keine Matrixkorrekturen durchgeführt. Als Referenzproben dienten Gesteins- und Keramik-Standards (USGS, CRPG, GSU, NIM-roc, PRE) sowie verschiedene synthetische Standards.

Vorbereitung

Waschen, Entfernung des Überzuges auf der Schleifscheibe. Pulverisierung von jeweils 10 g mit der Scheibenschwingmühle (Wolframcarbid). Trocknung bei 110° C. Glühverlustbestimmung bei 1100° C (1 h).

Glaspillen

900 mg des geglühten Probenmaterials wird mit der 5fachen Menge von Li-Tetraborat und -Karbonat (als Flussmittel) + La^{III}-Oxid (als Heavy-absorber) gemischt und im PtAu-Tiegel 10 Minuten lang bei 1050° C geschmolzen.

Pulverpillen

4 g des getrockneten Probenmaterials werden mit 8 Tropfen 2,5%-Mowiol-Lösung gemischt und unter Vakuum bei 2,5 t Druck zu $\pm$ gewichts- und volumenkonstanten Pillen gepresst.

Reproduzierbarkeit und Probennahmefehler (Tabelle 2)

Die Reproduzierbarkeit ist nur für Zr signifikant grösser als der Probennahmefehler. Abgesehen von Cr, Na, P und Rb sind die Scherben relativ homogen zusammengesetzt, was auf eine gute Aufbereitung schliessen lässt.

Tabelle 2. Reproduzierbarkeit (A) und Probennahmefehler (B)

Die Reproduzierbarkeit wurde für jedes Element aus je 15–20 Messungen desselben Standards als s rel. bestimmt, der Probennahmefehler aus Mehrfach-Probennahmen ($n = 3–4$), -Aufbereitungen und -Messungen grösserer Scherben ebenfalls als s rel.

	A	B		A	B
SiO ₂	0,78	0,81	Ba	0,32	1,65
TiO ₂	0,48	1,38	Cr	1,24	3,01
Al ₂ O ₃	0,44	0,87	Cu	0,62	2,78
Fe _{tot}	0,20	0,39	Ni	1,14	2,08
MnO	0,68	2,38	Rb	3,51	5,63
MgO	0,61	1,24	Sr	0,50	0,89
CaO	0,34	0,90	Zn	0,47	2,15
Na ₂ O	1,46	3,72	Zr	2,07	0,91
K ₂ O	0,54	2,46			
P ₂ O ₅	2,05	8,00			

Tabelle 3 enthält die Mittelwerte für TS, TH, TN und F (rote Brennstützen)¹⁾. Fig. 5 veranschaulicht den Chemismus im Dreieck SiO₂-CaO + MgO + FeO-Al₂O₃.

Demnach ist die Feinkeramik von La P n che erstaunlich gleichmässig zusammengesetzt. Sie ist im ganzen Ca-reich (und entsprechend Si-arm) und ähnelt in dieser Hinsicht den Produkten von Arezzo sowie S dgalien.

Eine zusätzliche statistische Auswertung der Einzelanalysen bestätigt die gesamthaft einheitliche Zusammensetzung der Feinkeramik und ermöglicht die Sonderung einzelner abweichender Proben (s. Cluster-Analyse S. 206). Auch die sehr ähnlichen K/Rb- und Ca/Sr-Verhältnisse verweisen auf das gleiche Rohmaterial für alle Scherben.

Variationen im einzelnen:

- TS Homogenste Gruppe (geringste Standardabweichung), niedrigster Glühverlust. Im Vergleich zur TH hohe Si- und Alkaligehalte, sowie kleinere Ca-, P-, Ba- und Sr-Werte.
- TH Die Streuung ist etwa doppelt so gross wie bei der TS, der Glühverlust höher. Im Vergleich zu TS umgekehrtes Verhalten der Kationenanteile.
- TN Bilden die heterogenste Gruppe. Etwas Al- und Fe-reicher als TS und TH, zum Teil sehr hohe P-Gehalte.
- F Eher mit TS und TH vergleichbar.

¹⁾ Die detaillierte Liste aller chemischen Analysen ist auf Anfrage beim Min. Petr. Institut der Universität Fribourg erhältlich.

Tabelle 3. Mittelwerte $\bar{x}$ und Standardabweichung s

Gew.-%	TS (n = 41)			TH (n = 47)			TN (n = 14)			F (n = 7)		
	$\bar{x}$	s	s %	$\bar{x}$	s	s %	$\bar{x}$	s	s %	$\bar{x}$	s	s %
SiO ₂	52,98	0,863	1,63	51,11	1,404	2,75	50,38	1,080	2,14	52,22	1,297	2,48
TiO ₂	0,742	0,015	2,06	0,752	0,042	5,56	0,789	0,041	5,18	0,757	0,031	4,10
Al ₂ O ₃	18,78	0,265	1,41	19,00	0,694	3,65	19,78	0,810	4,10	18,96	0,463	2,44
Fe _{tot}	6,30	0,118	1,87	6,42	0,317	4,94	6,71	0,338	5,03	6,47	0,399	6,17
MnO	0,087	0,003	3,32	0,091	0,006	6,98	0,093	0,009	9,64	0,105	0,044	41,90
MgO	3,60	0,096	2,66	3,72	0,266	7,15	3,57	0,184	5,15	3,72	0,143	3,84
CaO	12,45	1,013	8,14	13,96	1,957	14,02	13,61	1,280	9,41	12,26	2,384	19,45
Na ₂ O	0,91	0,057	6,26	0,79	0,170	21,41	0,62	0,288	46,52	0,93	0,100	10,75
K ₂ O	3,41	0,247	7,25	2,80	0,458	16,37	2,59	0,523	20,21	3,10	0,307	9,90
P ₂ O ₅	0,205	0,090	44,09	0,473	0,305	64,61	0,985	0,505	51,32	0,429	0,262	61,07
GV	(0,77)	0,368	47,75)	(2,18	1,410	64,54)	(4,53	2,573	56,85)	(1,45	0,671	46,28)
Summe	99,46			99,12			99,13			98,95		
ppm												
Ba	508	32	6,30	572	96	16,80	653	101	15,50	543	82	15,10
Cr	149	8	5,53	148	15	10,48	158	12	7,90	146	12	8,22
Cu	37	3	7,99	38	6	15,19	34	7	20,22	43	10	23,26
Ni	92	3	3,53	92	5	5,37	95	4	3,79	91	3	3,30
Rb	117	16	13,41	92	18	- 19,86	95	15	15,98	103	13	12,62
Sr	319	13	3,98	360	29	8,16	359	36	10,00	346	18	5,20
Zn	95	4	4,32	89	14	15,69	86	16	18,85	103	10	9,71
Zr	107	4	3,61	109	8	7,23	113	6	5,35	112	12	10,71
K/Rb	242			253			226			250		
Ca/Sr	279			277			271			253		

Fe_{tot} als Fe₂O₃

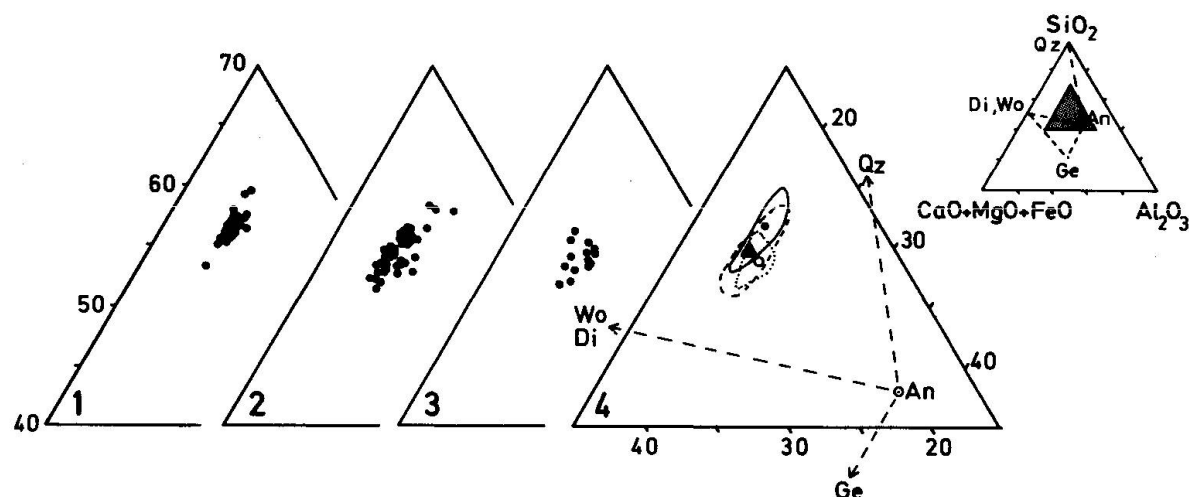


Fig. 5. Konzentrations-Dreieck $\text{SiO}_2\text{-CaO+MgO+FeO-Al}_2\text{O}_3$. An = Anorthit, Di = Diopsid, Ge = Gehlenit, Wo = Wollastonit, Qz = Quarz.

1) gute Ware (TS, $n = 41$), 2) schlechte Ware (TH, $n = 47$), 3) Terra Nigra (TN, $n = 14$), 4) Zusammenstellung aller Variationsfelder mit Mittelwerten der einzelnen Typen (Punkt: TS, Dreieck: TH, Kreis: TN). Alle Typen liegen im Dreieck Di/Wo-Qz-An und differieren sehr wenig.

Tabelle 4. Barth-Niggli-«Kationennorm» (Gew.-%)

Berechnet aus den Mittelwerten (Tabelle 3) inklusive GV, ohne Berücksichtigung der Korrektur $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ auf die Summe.

Als amorph werden die Normativkomponenten Or und C betrachtet. Der gesamte GV wurde als Cc verrechnet, was für die TS und eventuell die TH zutrifft; für die TN ist dieser Wert sicher zu hoch, da ein Teil des GV als Wasser vorliegt (röntgenographischer Nachweis von Tonmineralien).

	TS ($n = 41$)	TH ($n = 47$)	TN ($n = 14$)
Cc	1,98	5,64	11,67
Ap	0,46	1,01	2,05
Il	1,07	1,07	1,08
Hm	2,24	2,22	2,34
Di	20,11	20,53	19,12
He	5,03	5,13	4,78
Ac	1,76	1,80	1,67
Or	20,36	16,44	14,86
Ab	6,14	4,89	3,20
An	24,71	19,89	0,20
Q	10,54	12,85	21,70
C	5,61	8,52	17,32
Plag			
An norm.	80,1	80,3	5,9
Px norm.	$\text{Di}_{74,8}\text{He}_{18,7}\text{Ac}_{6,5}$	$\text{Di}_{74,8}\text{He}_{18,7}\text{Ac}_{6,5}$	$\text{Di}_{74,8}\text{He}_{18,7}\text{Ac}_{6,5}$
Anteil Kristalle	74	75	68

Aus der chemischen Analyse lässt sich mittels der Kationennorm (nach BARTH/NIGGLI) folgende mineralogische Zusammensetzung für TS und TH errechnen (Tabelle 4):

25–30% Diopsid (Fe-reich, etwas Na),
 25–30% Plagioklas (Bytownit),
 10–15% Quarz,
 5–10% Nebengemengteile (Calcit, Apatit, Ilmenit, Hämatit).

Die Hauptmenge des K liegt im röntgenamorphen Anteil vor.

5. Porosimetrische Charakterisierung

Die Art der Porosität ist ein wichtiges Kennzeichen keramischer Ware (Tabelle 5). Ergibt sich die Gesamtporosität (ϵ) aus dem Verhältnis von Raumgewicht und spezifischem Gewicht (bei unserer Ware um 50%), so benötigt man für die spezifische Oberfläche (SO) die Porenradienteile (Messung mit dem Porosimeter). Da bei nichtgesinterten Scherben nur etwa 10% der Poren geschlossen sind, erfasst diese Methode 90% der Poren (offene Makro- und Mikroporosität).

Bestimmung des *Raumgewichtes* (RG) nach der Auftriebsmethode in Quecksilber. Bestimmung des *spezifischen Gewichtes* (ρ) mit dem Pycnometer in Wasser. *Gesamtporosität*

$$\epsilon = \frac{\rho - \text{RG}}{\rho} \cdot 100 (\%)$$

Bestimmung der *offenen Porosität* mit dem Quecksilber-Druckporosimeter. (C. ERBA, 0–2000 atm.) Auswertung mit Rechenprogramm an einem Tischrechner.

Wird zur evakuierten Probe Quecksilber gegeben, so dringt dieses bei Atmosphären-

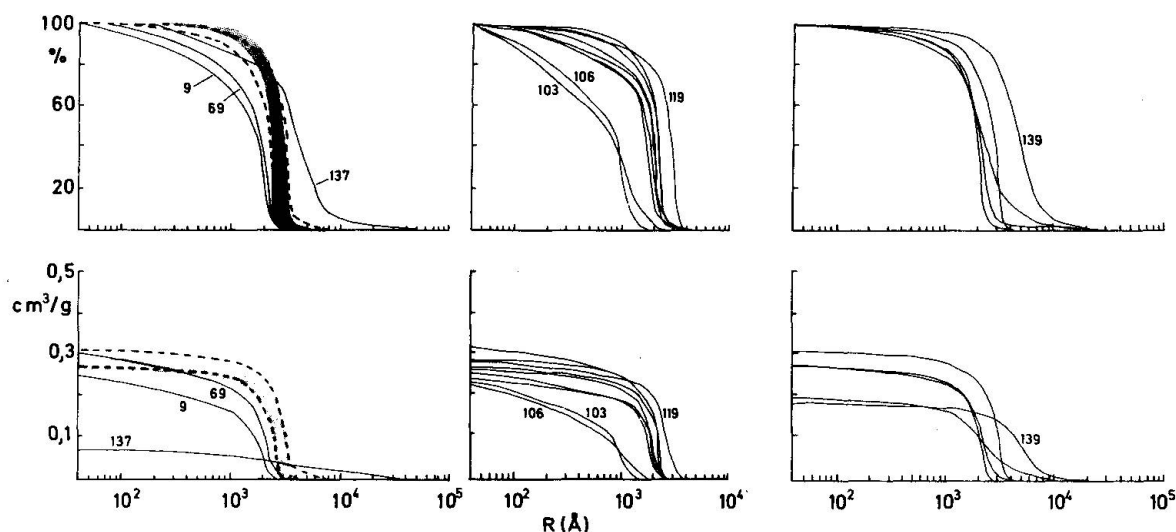


Fig. 6. Porenradienverteilungen (PRV) der Keramik von La Péniche. Oben = prozentualer Porenanteil gegen Porenradien (relative PRV), unten = Mikroporositäts-Porenanteil gegen Porenradien (absolute PRV). Links = TS (grauer Bereich, $n = 6$), und TH (gestrichelter Bereich, $n = 6$). Beide Typen haben gleichsinnige, in engen Grenzen verlaufende PRV. Die TH besitzt eine leicht höhere Mikroporosität. Nr. 9 und 69 sind schlechter gebrannt, Nr. 137 ist überbrannt.

Mitte = Terra Nigra (TN, $n = 9$). Die PRV dieser Gruppe ähnelt auch derjenigen der TS und TH, ist aber zu niedrigeren Porenradien verschoben. Die Nr. 103 und 106 sind schlechter gebrannt.

Rechts = PRV der Brennstützen ($n = 5$).

Tabelle 5. Porosimetrie-Daten

Nr.	Raum- Gewicht g/cm ³	Spez. Gewicht g/cm ³	Spez. Oberfläche m ² /g	Mikro- Porosität cm ³ /g	Gesamt-P. (ϵ)	Porosität (%)		Geschl. Porosität
						Offene Porosität Makro-P.	Mikro-P.	
6	1,46	2,91	3,93	0,2995	49,8	1,2	43,7	4,9
9	1,47	2,82	9,12	0,2468	47,9	0,3	36,3	11,3
20	1,65	2,73	n.b.	0,2199	39,5	0,7	36,2	2,4
23	1,55	2,88	2,79	0,2631	46,2	0,7	40,8	4,7
32	1,54	2,86	2,54	0,2686	46,2	0,9	41,4	3,9
36	1,52	2,89	2,40	0,2835	47,4	1,8	43,1	2,5
43	1,56	2,88	5,52	0,2762	45,8	1,3	43,0	1,5
53	1,49	2,91	n.b.	0,2864	48,8	0,7	42,7	5,4
55	1,50	2,86	4,83	0,3023	47,5	2,1	45,3	0,1
69	1,44	2,78	7,11	0,2971	48,2	0,6	42,8	4,8
72	1,46	2,91	2,96	0,3113	49,8	1,1	45,4	3,3
94	1,45	2,90	2,48	0,2839	50,0	1,2	41,1	7,7
95	1,50	2,94	2,86	0,2963	48,9	1,4	44,4	3,1
103	1,50	n.b.	17,29	0,2307	n.b.	-	34,6	n.b.
106	1,42	n.b.	15,87	0,2359	n.b.	0,8	33,5	n.b.
107	1,52	n.b.	4,94	0,2387	n.b.	1,2	36,3	n.b.
115	1,51	2,84	4,72	0,2786	46,8	0,7	42,0	4,1
116	1,56	2,81	4,23	0,2771	44,5	0,7	43,5	0,3
117	1,46	2,94	3,54	0,3130	50,3	1,2	45,6	3,5
119	1,50	2,83	3,99	0,2833	46,9	1,1	42,4	3,4
120	1,41	2,75	9,57	0,3206	48,7	1,4	47,2	0,1
122	1,52	2,72	6,87	0,2570	44,1	1,9	39,0	3,2
123	1,59	2,82	3,13	0,2761	43,6			
129	1,48	2,69	6,20	0,2779	45,0	1,6	41,1	2,3
132	1,59	2,88	4,38	0,2896	44,8			
133	1,60	2,83	3,78	0,2548	43,4			
134	1,59	2,87	3,17	0,2636	44,5	1,7	41,8	1,0
135a	1,55	2,85	3,13	0,2650	45,5	2,4	41,0	2,1
135b	1,50	2,84	n.b.	0,2628	47,1	-	39,3	7,8
135c	1,53	2,70	3,14	0,2596	43,3	1,5	39,7	2,1
135d	1,44	2,84	n.b.	0,2635	49,3	0,7	37,9	10,7
137	2,15	2,75	0,90	0,0711	21,8	1,5	15,3	5,0
138	1,70	2,62	2,80	0,1893	35,0			
139	1,75	2,78	1,13	0,1749	37,0			

druck in Poren bis $7,5 \mu$ Radius (= offene Makroporosität). Druckerhöhung füllt systematisch die kleineren Poren (= offene Mikroporosität, MP). Die (Mikro-)Porenradienverteilung PRV kann man *absolut* angeben (Porenradien auf Porenmenge – cm^3/g – bezogen) oder *relativ* (%-Anteile innerhalb des mit Poren besetzten Porenradienintervalls).

Tabelle 5 zeigt, dass die (offene) Makroporosität um 1 schwankt; sie ist bei TS (Proben 6–43, 123, 135) durchschnittlich etwas kleiner als bei TH (Proben 53–95, 132–134, 137). Die für uns wichtige (offene) Mikroporosität liegt bei TS etwas tiefer als bei TH. Sie ist aber auch bei TN (Proben 103–107, 119–122, 129) nicht hoch. Bei den Brennstützen (Proben 115–117, 139) und dem Webgewicht (138) sind grössere Schwankungen verständlich.

Aussagekräftiger sind die PRV der offenen Mikroporosität, Fig. 6. Hier zeigt sich für TS und TH ein sehr enges Porenradienintervall von $2500\text{--}3500 \text{ \AA}$, wobei TH leicht zu kleineren Poren verschoben ist.

Abweichungen: Proben 9 und 69 (schlecht gebrannt; grösserer Anteil an klei-

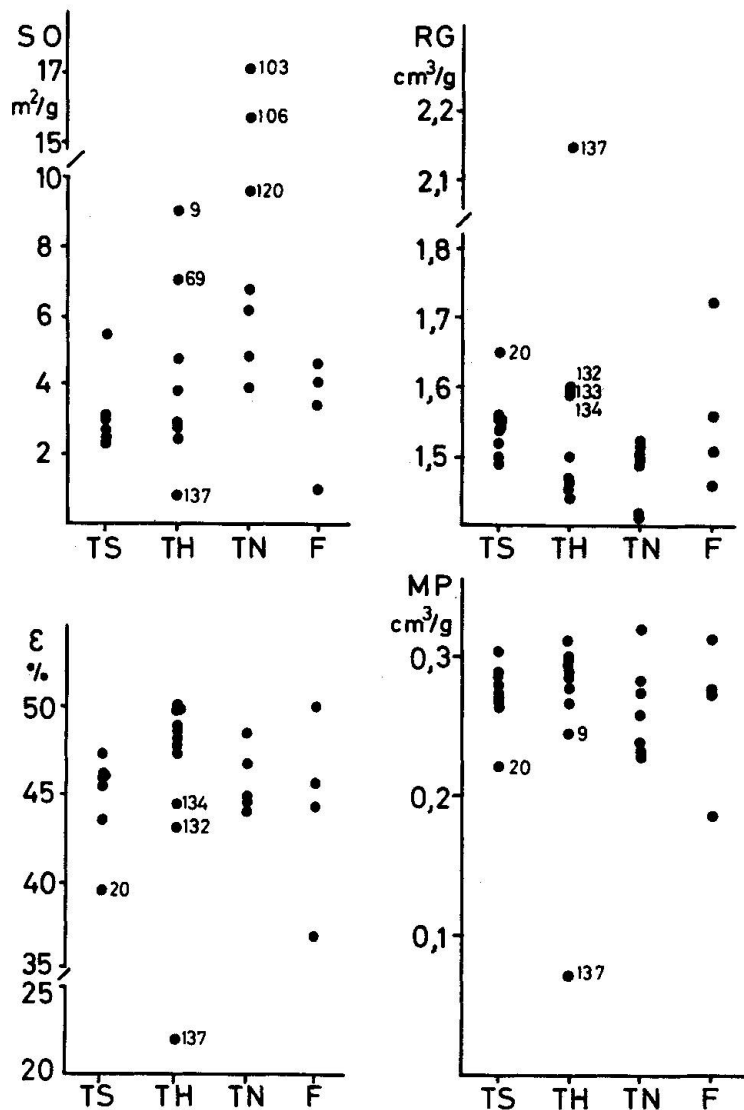


Fig. 7. Porositätsdaten. Links oben die spez. Oberfläche (SO), rechts oben das Raumgewicht (RG), links unten die Gesamtporosität (ϵ), rechts unten die offene Mikroporosität (MP). Erläuterung im Text.

neren Poren, flacherer Kurvenverlauf). Proben 137 (überbrannt; Vorwalten von groben Poren, deutlich niedrigere Mikroporosität, hier auch Schmelzanzeichen, Sinterung, gelbe Scherbenfarbe!).

TN zeigt ähnlichen Kurvenverlauf, doch liegt das Porenintervall bei kleineren Radien (2000–2500 Å), nur Probe 119 entspricht TS-Werten.

Abweichungen: Proben 103 und 106 sind schlecht gebrannt. Die Kurven der Brennstützen streuen über ein breiteres Porenintervall.

Vergleicht man die Mikroporosität und die Lage der Porenintervalle der drei Hauptgruppen, so steigt die Porengrösse in der Abfolge TN → TH → TS an, und es verringert sich die Mikroporosität. Bei vergleichbaren Scherben deutet dies auf eine jeweils grössere Brenntemperatur hin (Lit. dazu bei MAGGETTI und KAHR, 1978). Abweichungen von der Regel könnten bei schlechtgebrannten Scherben auf sekundäre Porenfüllung zurückzuführen sein.

Fig. 7 vergleicht nochmals die Porositätsdaten. Homogenste Gruppe ist jeweils die «gute Ware» (TS). Die Brennstützen (F) hingegen streuen stark (mehrfacher Brand, unterschiedliche Magerung). Hohe Brenntemperatur äussert sich in geringer spezifischer Oberfläche; schlecht gebrannte Scherben (9, 69, 103, 106) behalten daher hohe SO, 137 hingegen ist überbrannt. Gegenläufig ist die Tendenz beim Raumgewicht und der Mikroporosität. Die Proben 20, 132–134 sind daher ebenfalls als höher gebrannt einzustufen. Zwischen Mikroporosität und Gesamtporosität besteht eine gewisse Parallelität.

Auch porosimetrisch lassen sich also (trotz Vergleichbarkeit im allgemeinen) die drei Gruppen voneinander unterscheiden, und man kann die durch falschen Brand herausfallenden Scherben aushalten.

II. DIE HERSTELLUNG DER TERRA SIGILLATA: ARCHÄOKERAMISCHE AUSWERTUNG

Es ist nun zu prüfen, ob die experimentellen Daten genügen, um die verschiedenen Werkstätten (bei gegebenen Rohstoffquellen und angewandten Techniken) auseinanderzuhalten.

1. Vergleich mit anderen Lokalitäten

Für die wichtigsten Produktionszentren der Terra Sigillata (in Italien, Frankreich und Deutschland) liegen Daten zur chemischen Charakterisierung vor, und zwar für:

Ar	Arezzo	(WIDEMANN et al., 1975)
Ba	Banassac	(PICON et al., 1975)
Bw	Blickweiler	(SCHNEIDER und HOFFMANN, 1976)
CF	Chémery-Faulquemont	(SCHNEIDER und HOFFMANN, 1976)

Gr	La Graufesenque	(PICON et al., 1975)
Le	Lezoux	(PICON et al., 1971)
Lo	Loyasse	(WIDEMANN et al., 1975)
MA	La Mulette A	(PICON und VICHY, 1974)
MB	La Mulette B	(PICON und VICHY, 1974)
Mo	Montans	(PICON et al., 1975)
Pf	Pfaffenhofen	(PICON, 1974)
TF	Terre-Franche	(PICON und VAUTHEY, 1975)
Rh	Rheinzabern	(SCHNEIDER und HOFFMANN, 1976)
We	Westerndorf	(PICON, 1974)

Mit den Daten dieser Lokalitäten wurden die TS und TH von La Péniche verglichen. Es ergibt sich sowohl aus den Haupt- wie den Spurenelementen, dass unsere Werkstatt eine *eigenständige Produktion* darstellt. Drei ausgewählte Korrelationsdiagramme (Fig. 8–10) mögen dies veranschaulichen und zugleich zeigen, wie sich Überlappungen aus dem Vergleich mehrerer Diagramme auseinanderhalten lassen. Beim CaO/MgO-Verhältnis überlappen sich Montans und Arezzo mit der Ware von La Péniche, wobei die Ähnlichkeit mit Arezzo den

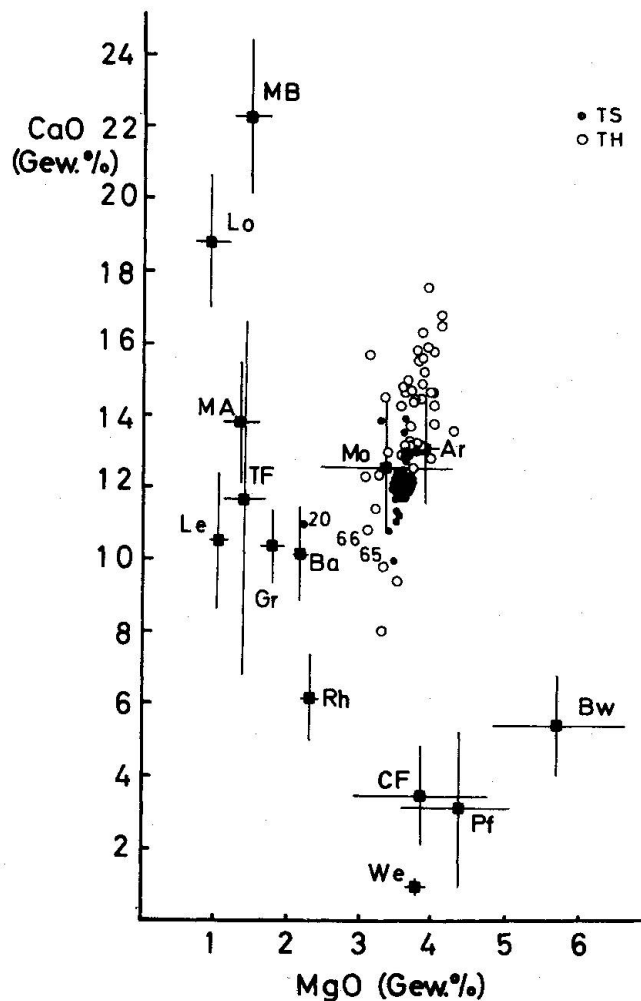


Fig. 8. CaO/MgO-Variationsdiagramm. Erläuterung der Abkürzungen im Text. Die TS bilden eine homogene Gruppe, während die TH stärker streut. Eine Abgrenzung gegen die bisher bekannten Terra-Sigillata-Werkstätten gelingt mit diesem Diagramm nur für Arezzo und Montans nicht.

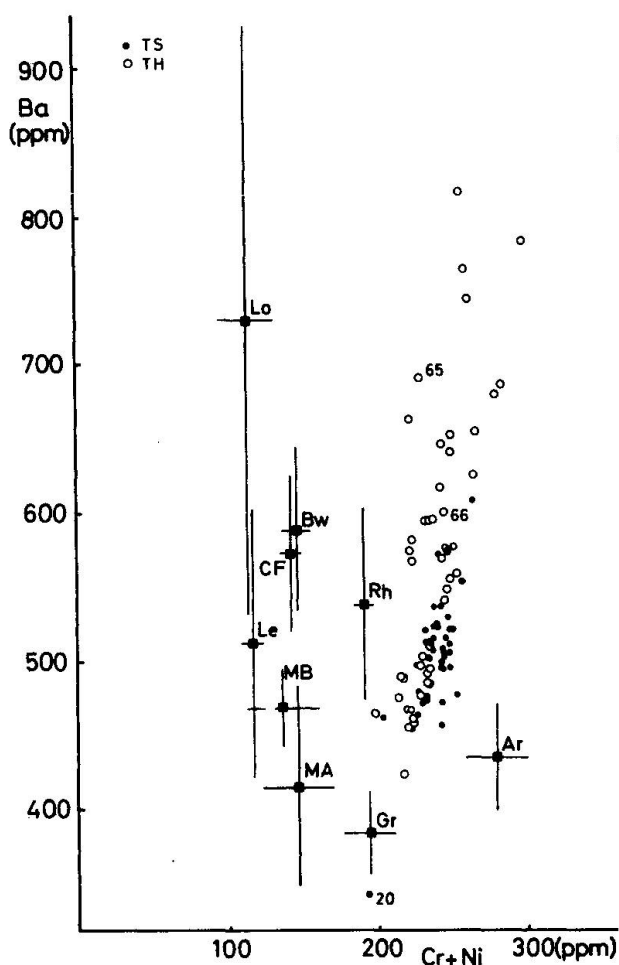


Fig. 9. Ba/Cr+Ni-Korrelationsdiagramm. Auch mit Hilfe der Spuren können die Produkte von La P n che gut von denen anderer Lokalitäten getrennt werden; Arezzo ist deutlich ausserhalb des Variationsfeldes von La P n che. Die TH streut wiederum sehr stark. Die Nr. 20 fällt in den Bereich der Werkstätte von La Graufesenque.

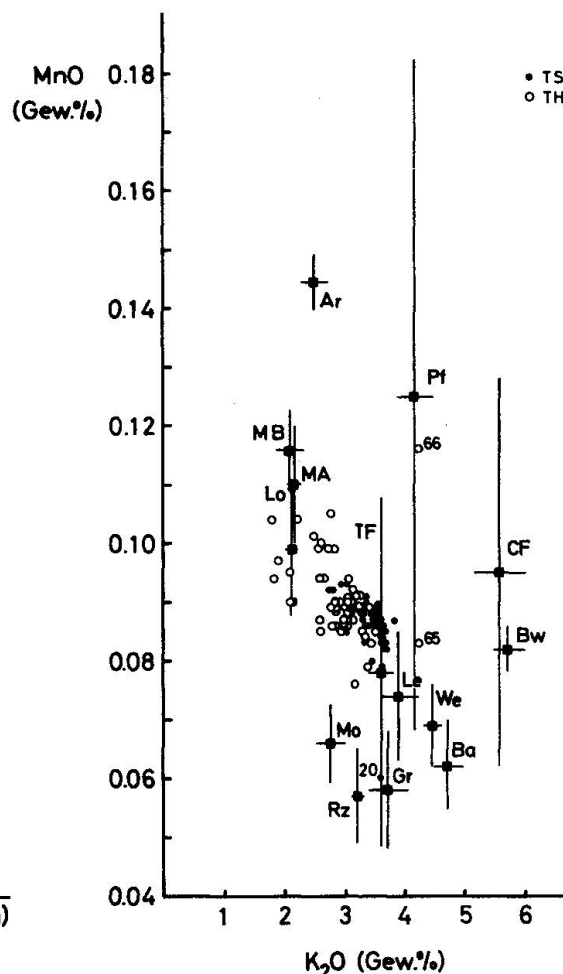


Fig. 10. MnO/K₂O-Variations-Diagramm. Anhand dieses Diagramms ist eine gute Trennung der Produkte von La P n che von denjenigen aus Arezzo und Montans möglich.

Archäologen schon makroskopisch aufgefallen war. Doch lässt sich Arezzo mit dem Ba/Cr+Ni-Diagramm abtrennen, Montans mit dem MnO/K₂O-Verhältnis.

Von den archäologischen Vermutungen, dass einige Scherben von Importware stammen (9: Arezzo; 16 und 73: Lyon; 20: S dgallien), bestätigt sich Probe 20 als fremd. Sie passt nach unseren Daten nach La Graufesenque oder Banassac, müsste aber infolge des niedrigen K₂O-Anteils aus La Graufesenque stammen (Mittelwerte für K₂O: La Graufesenque 3,7 Gew.-%, Banassac 4,7 Gew.-%).

Die anderen Vermutungen finden keine Bestätigung, und die Scherben gehören demnach zu La P n che. – Hingegen könnten Nr. 65 und 66 infolge der

Tabelle 6. Cluster-Analyse, Gruppierung nach Gesamtgesteinschemismus bei 96,5prozentiger Wahrscheinlichkeit

Die zweite Zahl bei (n) gibt die für die Mittelwertbildung nicht berücksichtigte Anzahl Importscherben an

Typ	(n)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TS	(41+1)	36	5										
F	(7)	2	3							Nr. 140	Nr. 20		Nr. 139
TH	(47+2)	21	7		18	Nr. 65, 66		Nr. 81					
TN	(14)	2			9		Nr. 103, 106		Nr. 119				
Andere	(3)		Nr. 113	Nr. 141								Nr. 138	
Total	(115)	61	16	1	27	2	2	1	1	1	1	1	1

über 4 Gew.-% liegenden K_2O -Gehalte Importe sein; die Herkunft bleibt aber offen.

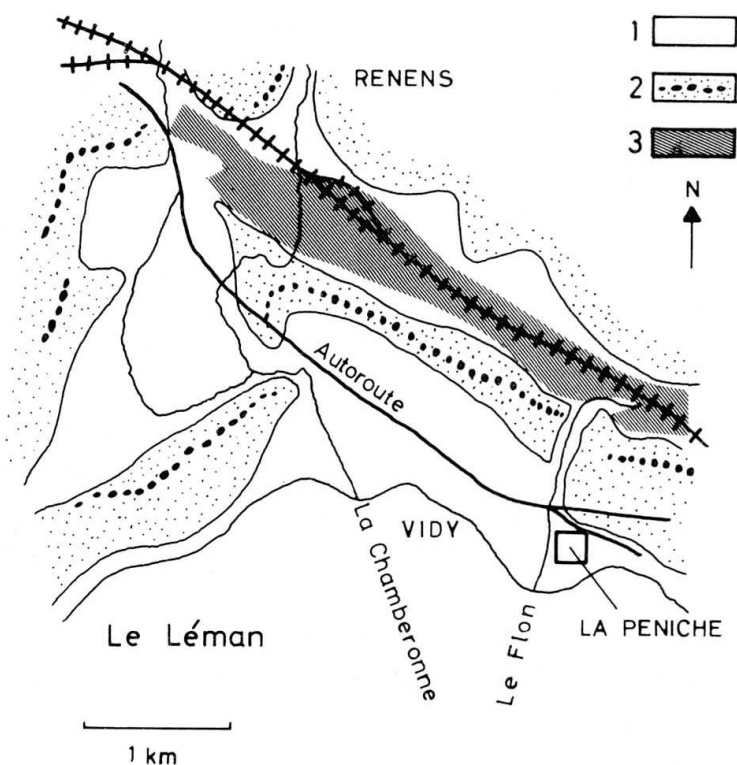
Nach diesem Ergebnis war es lohnend, zur Verfeinerung der Abgrenzung noch eine Überprüfung der Homogenität mit der Cluster-Analyse durchzuführen (Tabelle 6). So wurde das gesamte chemische Datenmaterial mittels Grossrechners (CDC 6500/6400) am EIR mit dem ALCA-Verfahren (Average-Link-Cluster-Analysis, Programm CLADIS) durchgerechnet. Das prinzipielle Vorgehen ist bei PRAG et al. (1974) erläutert. Die statistische Auswertung mit Hilfe der Cluster-Analyse (wobei *alle chemischen Elemente* berücksichtigt wurden) bestätigt im wesentlichen die Ergebnisse der Korrelationsdiagramme. Sämtliche Proben liegen innerhalb der 94%-Streuung. Die Gruppierung nach der 96,5-prozentigen Streuung veranschaulicht die geringe chemische Variation der TS und der roten Brennstützen, die alle in den Gruppen I und II liegen. Die Variation der TH und TN ist deutlich grösser, wobei die Zugehörigkeit der Proben Nr. 81, 103, 106 und 119 zu diesen Scherbangattungen in Frage gestellt werden könnte. Klar veranschaulicht wird der Fremdcharakter der Probe 20, etwas weniger auch derjenige der Proben 65 und 66. Die Proben 138 (Webgewicht) und 139 (Brennstütze) wurden aus einem anderen Rohmaterial hergestellt als die Feinkeramik, im Gegensatz zum Mörser 113. Von Bedeutung ist ferner die Feststellung, dass die chemische Zusammensetzung der Tonprobe Nr. 141 derjenigen der Feinkeramik sehr ähnlich ist. Die Cluster-Analyse nach *ausgewählten* Elementen zeigt gegenüber derjenigen nach dem Gesamt-Chemismus nur geringfügige Veränderungen.

2. Zur Herstellung der Terra Sigillata von La Péniche

a) Der Rohton und seine Aufbereitung

Die nähere Umgebung von La Péniche wurde von VILLARET und BURRI (1965) geologisch anhand von Profilen, Sondierungen und Autobahnbau-Aufschlüssen sorgfältig untersucht und ist im weiteren auf dem Blatt «Thonon» (GAGNEBIN, 1950) der geologischen Karte von Frankreich 1 : 80 000 dargestellt. Nach VILLARET und BURRI (1965) ist das einzige oberflächlich anstehende Vorkommen von Tonen bzw. Mergel/Lehm in den quartären «dépôts glacio-lacustres» anzutreffen, einer Formation, die ca. 1 km N von La Péniche liegt und durch die Bäche Flon und Mèbre (linker Seitenarm der Chamberonne) durchschnitten wird (Fig. 11). Diese Zone ist leider heutzutage ganz überbaut, der Flon unterirdisch kanalisiert. Aber noch zu Beginn unseres Jahrhunderts bezog die inzwischen stillgelegte Ziegelei von Renens ihr Rohmaterial aus diesen Ablagerungen. Es ist anzunehmen, dass den Römern die natürlichen Aufschlüsse an den Ufern beider genannten Bäche bekannt waren und dass sie ihren Rohstoff aus diesem Tonlager holten.

Fig. 11. Geologische Übersichtskarte der Umgebung von La Péniche, vereinfacht nach VILLARET und BURRI (1965). 1 = Quartär s. l. (mehrheitlich sandig), 2 = Moräne mit Moränenwall, 3 = glaziale Seenablagerungen. Nur in den glazialen Seenablagerungen kommen Tone vor, die den Römern sehr wahrscheinlich bekannt waren und von ihnen abgebaut wurden.



Nach DE QUERVAIN (1969) sind diese quartären, eiszeitlichen Lehme in der grossen Mehrzahl kalkreich, wobei als mittlere Karbonatgehalte 20–40 Gew.-% angenommen werden können. Aus den chemischen Analysen lässt sich mit Hilfe von Norm-Mineralien für die untersuchte Feinkeramik von La Péniche ein Rohmaterial folgender Zusammensetzung berechnen (in Gew.-%):

Tonmineralien 50–55 (Illit 35–45, Chlorit 10–15), Calcit 20–25, Quarz 10–15, Feldspäte 5–10, Goethit 3–5.

Diese Zusammensetzung passt gut zum Röntgendiagramm des Rohtones 141.

Die chemischen Unterschiede zwischen TS und TH sind zwar gering, es gibt aber doch signifikante Abweichungen, z. B. im K_2O -Gehalt. Weiter ist die TS durch eine niedrigere Streuung der chemischen Elementkonzentrationen gekennzeichnet; dies könnte zwar mit einer besseren Aufbereitung und Homogenisierung der TS erklärt werden, doch sprechen die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung zwischen TS und TH eher für die Verwendung von zwei verschiedenen Tonschichten desselben Lagers, einer schon primär K-reicheren (Illit-reicheren!) und Ca-ärmeren für die TS und einer K-ärmeren und Ca-reicheren für die TH. Da die römischen Töpfer beide Terra-Sigillata-Typen signierten, ist anzunehmen, dass ihnen die zwei unterschiedlichen Schichten im Gelände gar nicht aufgefallen sind und diese demnach makroskopisch sehr ähnlich ausgesehen haben müssen.

b) Die Brenntemperatur

Die röntgenographische Phasenanalyse hat gezeigt, dass die meisten Scherben dieselbe *Brennparagenese* aufweisen (Plagioklas, Diopsid, Quarz, Hämatit, Glas). Dies stimmt mit dem theoretisch erwartbaren Mineralbestand gut überein (Fig. 5) und könnte als ein erreichtes Gleichgewicht gedeutet werden. Trotz identischem Mineralbestand unterscheiden sich aber einige Scherben (z. B. Nr. 9) in ihrer PRV, was auf niedrigere Brenntemperaturen deuten würde, andere wiederum (z. B. Nr. 103) fallen durch eine abweichende Paragenese auf, wie die Führung von Matrix-Illit und sehr viel Calcit.

Um zu wissen, durch wie hohe Brenntemperaturen ein vorliegender Scherben entstanden ist, gibt es verschiedene Methoden (s. HEIMANN, 1976); wir haben hierzu Brennversuche an einem ähnlich zusammengesetzten Rohstoff durchgeführt, sowie ein kontrolliertes Nachbrennen der archäologischen Scherben.

Das Nachbrennen (Haltezeit 1 h, Elektroofen) ändert bis 1050° C nichts am Aussehen von TS und TH. Bei 1100° C erfolgt starke Sinterung (und der Scherben wird dunkler). Demnach wurde unser Material nicht höher als 1050° C erbrannt.

Vom karbonatreichen Ton Nr. 141 wurden im Temperaturbereich von 750–1100° C Proben in Abständen von je 50° C gebrannt und anschliessend geröntgt. Die Versuche erfolgten in einem Elektroofen (Aufheizgeschwindigkeit 10–11° C/min, Haltezeit 1 und 3 Stunden). Die Ergebnisse der einstündigen Brennserie sind in Fig. 12 zusammengefasst. Calcit ist bis ca. 800° C noch nachzuweisen, Matrix-Illit bis 950° C. Quarz nimmt ab 800° C kontinuierlich ab. Von 850° C

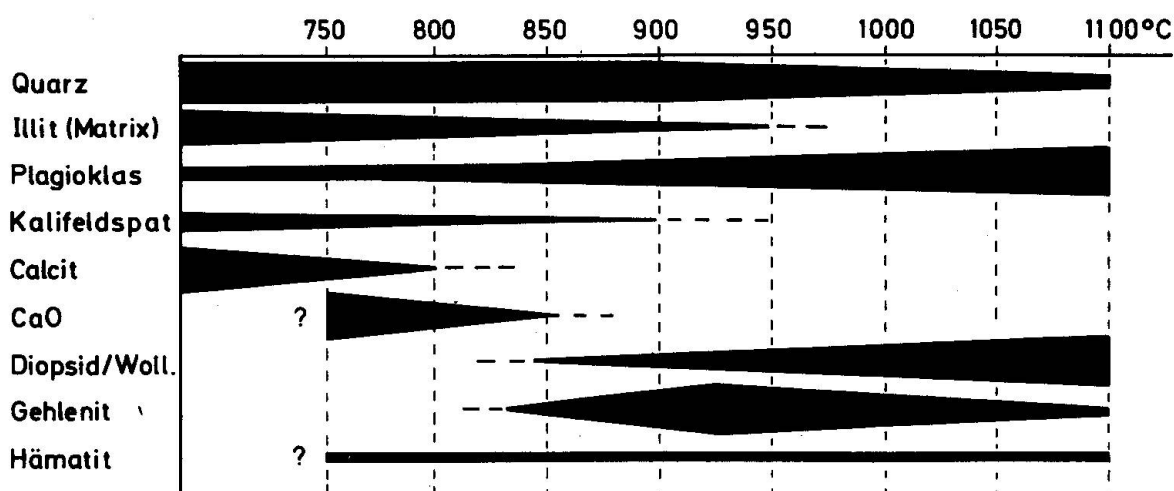


Fig. 12. Brennversuche an der Probe Nr. 141 (Ton der Umgebung). Bedingungen: Elektroofen, Aufheizgeschwindigkeit 10–11° C/min, 1 Stunde Haltezeit. Im Diffraktogramm zeigt der Hämatit-peak zwar eine Zunahme mit steigender Brenntemperatur. Da dies aber auch durch Korngrösseneffekte bedingt sein kann, wurde keine Hämatitzunahme eingetragen. Weitere Erläuterungen im Text.

an entwickeln sich neue Calcium-Silikate; Diopsid (+ Wollastonit?) nimmt progressiv zu, Gehlenit hat ein Maximum um 900–950° C und verschwindet gegen 1100–1150° C. Plagioklas nimmt deutlich ab 950° C zu, während Kalifeldspat nur bis ca. 900° C nachzuweisen ist. Diese Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit denjenigen von PETERS und JENNI (1973).

Die Röntgendiffraktogramme zeigen also, wie sich aus dem Illit- und Calcit-Zerfall über einen kurzen CaO-Stabilitätsbereich die Minerale Diopsid (+ Wollastonit?), Gehlenit und Plagioklas entwickeln. Der Kalifeldspat wird wohl in die Schmelzphase übergehen. Problematisch ist die Präsenz von Gehlenit; nach dem Phasendiagramm (Fig. 5) dürfte er gar nicht auftreten, denn der darstellende Punkt des Tones 141 liegt im Dreieck Plagioklas-Diopsid-Quarz. Gehlenit muss demnach eine metastabile Phase sein, die bei höheren Temperaturen abgebaut wird.

Gestützt auf diese Brennversuche können die untersuchten Scherben bezüglich Brenntemperatur wie folgt klassiert werden:

Schlecht gebrannte Scherben

Hier sind röntgenographisch Calcit, Quarz, Diopsid (Wollastonit?), Plagioklas, Kalifeldspat und Matrix-Illit zu erkennen. Die Brenntemperaturen werden bei 800–900/950° C gelegen haben. Die untere Temperaturlimite entspricht der Minimaltemperatur für den ersten Nachweis von Diopsid, die obere für den letzten Nachweis von Kalifeldspat bzw. Matrix-Illit.

Allfällig erkennbarer Calcit ist entweder retrograd aus noch freiem CaO, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bzw. einem anderen Calcium-Silikat (s. weiter unten) oder in der Bodenlagerungsphase neu zugeführt worden. Diese Scherbengruppe ist charakterisiert durch einen hohen Glühverlust (Illit-Entwässerung, Calcit-Zersetzung) und durch eine hohe spezifische Oberfläche ($> 11 \text{ m}^2/\text{g}$). In diese Gruppe fallen die Scherben 65, 66, 81, 103, 106.

Gut gebrannte Scherben (Normalfall)

Röntgenographisch sind Quarz und Diopsid (Wollastonit?) neben stark entwickeltem Plagioklas, aber ohne Kalifeldspat und Matrix-Illit, nachzuweisen. Die Minimaltemperatur liegt – wie oben ausgeführt – bei mindestens 950° C. Zu dieser Gruppe gehört die Mehrzahl der analysierten Scherben. Wie hoch war aber die effektive Brenntemperatur? Vergleicht man den Mineralbestand der Scherben mit demjenigen der Brennproben des Tones 141, so fällt auf, dass in den Scherben *kein Gehlenit* zu finden ist. Für dessen Abwesenheit könnten vier Gründe massgebend sein:

1. Gehlenit wurde nie gebildet. Dagegen sprechen unsere Versuche mit einem chemisch ähnlich zusammengesetzten Ton sowie die Ergebnisse von PETERS und JENNI (1973), die in weit Ca-ärmeren Ausgangsmaterial immer Gehlenit

fanden. Aufgrund dieser Experimente ist anzunehmen, dass sich Gehlenit auch in einem stark kalkhaltigen Scherben bilden muss.

2. Die Brenntemperatur war so hoch, dass Gehlenit total abgebaut wurde; nach unseren Versuchen also über 1100° C. Dagegen sprechen aber die Nachbrände archäologischer Scherben, s. oben.
3. Lange Haltezeiten (über 1 Stunde) beim römischen Brand. Dagegen spricht die plausible Annahme, dass die Römer die Höchsttemperatur nicht unnötig lange gehalten haben werden und die Tatsache, dass in unseren dreistündigen Haltezeit-Versuchen mit dem Ton 141 der Gehlenit-Gehalt sich nicht merklich ändert. PETERS und JENNI (1973) kamen zum gleichen Ergebnis.
4. Gehlenit hat sich zwar gebildet, wurde aber in der Bodenlagerungsphase retrograd zu Calcit zersetzt. Diese Möglichkeit scheint uns die plausibelste zu sein und würde den höheren Glühverlust der TH und die merklich höhere Calcit-Führung in den TH (im Vergleich zur TS) erklären. Ist nämlich unsere Annahme richtig, dass die TH niedriger gebrannt worden ist als die TS, so müssen die TH – gestützt auf die Brennversuche mit dem Ton 141 – nach dem Brand einen gesamthaft höheren Gehlenit-Gehalt besessen haben als die TS. Die Zersetzung dieses Gehlenites würde zu einem höheren Calcit-Gehalt in den TH und damit automatisch zu einem höheren Glühverlust führen. Dass unsere Hypothese nicht so abwegig ist, zeigt TROEGER (1969), wonach sich Gehlenit unter atmosphärischen Bedingungen rasch in Calcit umwandelt. Inwieweit dabei zuerst Bicchulit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gebildet wird (HUKKENHOLZ, 1977), kann nicht entschieden werden, da diese Phase im Diffraktogramm nicht zu finden ist.

Der Grundmasse-Calcit wäre demnach retrograd aus Gehlenit entstanden!

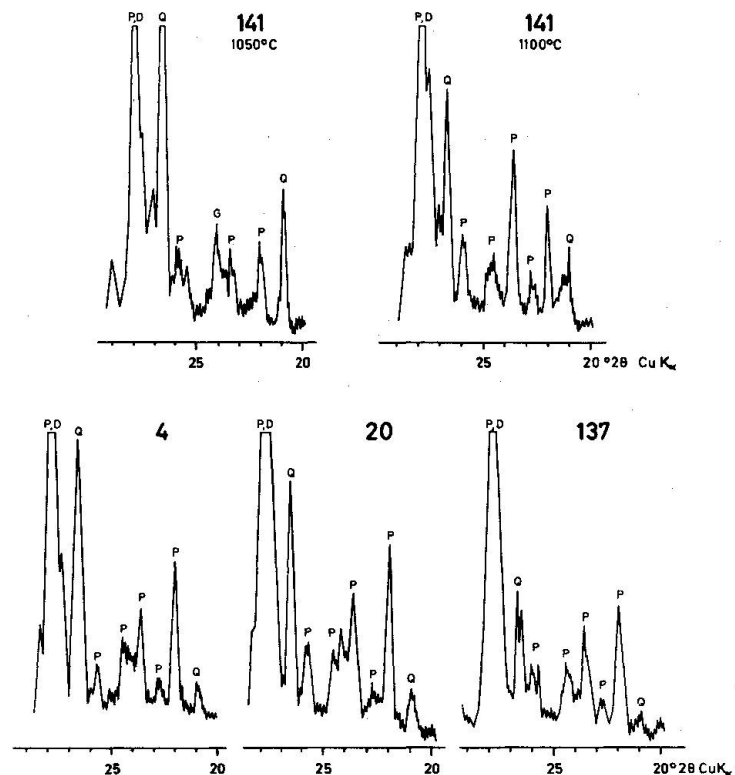
Alle angeführten Argumente führen zum Schlusse, dass die Brenntemperaturen für die TH bei 950–1000° C und für die TS bei 1000–1050° C gelegen haben werden.

Hochgebrannte bzw. überbrannte Scherben

Aus unseren Brennversuchen mit dem Ton 141 hat sich ergeben, dass der Quarzgehalt zwischen 1050–1100° C drastisch abnimmt (Fig. 13). Bei Scherben vergleichbaren SiO_2 -Gehaltes kann die Höhe des Quarzpeaks ($d = 3,34 \text{ \AA}$) somit auch für eine grobe Abschätzung von hohen Brenntemperaturen ($\geq 1050^\circ \text{C}$) herangezogen werden. Ist also der Hauptquarzpeak in einem Diffraktogramm eines Scherbens klein, so zeigt dies, dass mindestens 1050° C erreicht worden sind.

Die untere Reihe der Figur 13 zeigt die Gegenüberstellung von Scherben, die in diese Gruppe fallen. Klar als sehr gut gebrannt bzw. überbrannt sind die Scherben Nr. 20 (La Graufesenque!) und Nr. 137 zu werten, die schon makro-

Fig. 13. Der röntgenographisch sichtbare Quarzgehalt als Indiz für überbrannte Scherben. Oben von uns gebrannter Ton (Nr. 141), unten 3 Scherben (Nr. 4, 20, 137). Bei 1050° C ist der Quarz-Hauptreflex des Tons noch sehr hoch, bei 1100° C hingegen ist er deutlich gesunken. In der unteren Reihe sind die Scherben mit abnehmendem Quarzgehalt (und demnach zunehmender Brenntemperatur über 1050° C) aufgetragen. Die Nr. 137 ist auch makroskopisch eindeutig überbrannt.



skopisch als solche erkannt wurden. Eine weitere Bestätigung lieferten die porosimetrischen Untersuchungen (PRV, niedrige spezifische Oberfläche, hohes RG). Von den von den Archäologen als überbrannt bezeichneten Scherben 3, 4 ist nur der Scherben 4 als höher gebrannt zu bezeichnen. Die Nr. 3 zeigt ein ganz normales Diffraktogramm.

c) Die Bodenlagerung

Einflüsse der Bodenlagerung lassen sich nur im Falle des Calcites erkennen. Er bildet sich teils aus dem Zerfall des metastabilen Gehlenites, teils durch Zuwanderung von aussen (Risskalzit). Ob die merklich höheren Phosphorkonzentrationen der TH und TN gegenüber der TS auch auf Bodenlagerungseinflüsse zurückzuführen sind, kann nicht entschieden werden; hierfür interessant wäre festzustellen, in welcher Form dieser Phosphor in den Scherben vorliegt.

Danksagung

Frau Prof. Ettlinger, Herrn Laufer und Herrn Kaenel danken wir für die Bereitstellung der Proben und die rege Anteilnahme am Fortgang der Arbeiten. Wir danken auch Herrn Dr. Schubiger (EIR, Würenlingen) für die Cluster-Analysen, sowie Herrn Prof. Nickel für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- DRACK, W. (1945): Die helvetische Terra-Sigillata-Imitation des 1. Jh. n. Chr., Basel.
- ETTLINGER, E. und R. STEIGER (1971): Formen und Farben römischer Keramik. Augst, Römermuseum.
- GAGNEBIN, E. (1970): Carte géologique de France au 1 : 80 000. Feuille Thonon.
- HEIMANN, R. (1976): Methoden zur Ermittlung der Original-Brenntemperatur von antiker Keramik. INW 7, 5.1–5.8.
- HUCKENHOLZ, H. G. (1977): Gehlenite stability relations in the join $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7\text{--H}_2\text{O}$ up to 10 kbar. N. Jb. Miner. Abh. 130, 3, 169–186.
- KAENEL, G. (1977): Lousonna, la promenade archéologique de Vidy. Guides Archéologiques de la Suisse 9, 1–40.
- KLAARENBECK, F. W. (1961): The development of yellow colours in calcareous bricks. Trans. Brit. Ceram. Soc. 60, 738–772.
- LAUFER, A. (1967): Un atelier de poterie sigill e du milieu du 1er siècle av. J.-C.   Lousonna. Communicationes rei cret. rom. fautores 8, 19.
- MAGGETTI, M. und G. KAHR (1978): Homogenität archäologischer keramischer Objekte. Teil I. Porosität und Porenradienverteilung. Archäologie und Naturwissenschaften. Im Druck.
- OBERLIES, F. und N. KOEPPEN (1953): Untersuchungen an Terra Sigillata und griechischen Vasen. Ber. Dt. Keram. Ges. 30, 102–110.
- PETERS, Tj. und J.-P. JENNI (1973): Mineralogische Untersuchungen über das Brennverhalten von Ziegeltonen. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, 50.
- PICON, M. (1974): Recherches techniques sur les céramiques de Westerndorf et Pfaffenhofen. Bayer. Vorgeschichtsbl tter 39, 185–191.
- PICON, M., M. VICHY und E. MEILLE (1971): Composition of the Lezoux, Lyon and Arezzo Samian Ware. Archaeometry 13, 2, 191–208.
- PICON, M. und M. VICHY (1974): Recherches sur la composition des céramiques de Lyon. Rev. Arch ol. Est et Centre-Est 25, 1, 37–59.
- PICON, M. und M. VAUTHEY (1975): Les céramiques de l'atelier de Terre-Franche, problèmes de composition et problèmes techniques. Rev. Arch ol. Est et Centre-Est 26, 55/56, 285–302.
- PICON, M., C. CARRE, M. L. CORDOLIANI, M. VICHY, J. A. HERNANDEZ und J. L. MIGNARD (1975): Composition of the La Graufesenque, Banassac and Montans Terra Sigillata. Archaeometry 17, 2, 191–199.
- PRAG, A. J. N. W., F. SCHWEIZER, J. L. WILLIAMS und P. A. SCHUBIGER (1974): Hellenistic glazed wares from Athens and Southern Italy: analytical techniques and implications. Archaeometry 16, 2, 153–187.
- DE QUERVAIN, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Kümmerly und Frey, Bern.
- SCHNEIDER, G. und B. HOFFMANN (1976): Bestimmung der Herkunft antiker Keramik (Terra Sigillata) mit Hilfe von R ntgenfluoreszenzanalysen. Ber. Dt. Keram. Ges. 53, 417–422.
- VILLARET, P. und M. BURRI (1965): Les découvertes palynologiques de Vidy et leur signification pour l'histoire du lac Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 317, 69, 1–19.
- WIDEMANN, F., M. PICON, F. ASARO, H. V. MICHEL und I. PERLMAN (1975): A Lyons branch of the pottery-making firm of Ateius of Arezzo. Archaeometry 17, 1, 45–59.