

# Mineralogie und antike Keramik

Autor(en): **Maggetti, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =  
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **63 (1974)**

Heft 1

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308508>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Mineralogie und antike Keramik

von M. MAGGETTI

Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Freiburg/  
Schweiz. Z. Zt.: Institut für Gesteinshüttenkunde, Technische Hoch-  
schule, D-51 Aachen

Antike keramische Erzeugnisse können unter verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden: dem Kunstfreund bieten sie ästhetischen Genuß, dem Archäologen geben sie Hinweise auf menschliche Siedlungen, untergegangene Kulturen und deren Alter. Für den Mineralogen schließlich sind sie künstliche Gesteine, die er genau wie die natürlichen auf Phasenbestand, Gefüge und Chemismus untersucht. Häufig gelingt ihm dabei die Klärung der Art und Herkunft des verwendeten *Roh-Materials* sowie der benutzten *Technologie* – die Mineralogie wird so zur Hilfswissenschaft der Archäologie!

Gerade über die Fertigungstechnik der Antike und noch älterer Epochen fehlen nämlich schriftliche Dokumente – die damaligen Töpfer und Künstler haben verständlicherweise ihre Erfahrungen geheim gehalten und nur mündlich weitergegeben.

Am Beispiel der attischen Vasen soll im Folgenden gezeigt werden, wie der Mineraloge zur Klärung dieser Fragen beitragen kann. Keramische Produkte sind im allgemeinen so feinkörnig, daß das bewährte Polarisationsmikroskop durch moderne Untersuchungs-Methoden (Röntgenfluoreszenzanalyse, Elektronen-Mikroskop, Raster-Elektronen-Mikroskop, Elektronen-Mikrosonde) ergänzt werden muß. Weiter wird die Rolle einiger Mineralien als Brenntemperatur-Anzeiger besprochen sowie eine Schau der Farb-Pigmente verschiedener antiker keramischer Produkte gegeben.

## Das Geheimnis der attischen Vasen

Die attischen Vasen (Abb. 1, 2) des vorchristlichen 8.-5. Jahrhunderts sind Höhepunkte einer langen Entwicklung, die in der kretisch-mykenischen Zivilisation ihren Ursprung hat. Form und bemalte Oberfläche der Gefäße zeugen vom hohen Können der damaligen Künstler; bis zum 6. Jh. v. Chr. wurden die Vasen schwarzfigurig bemalt, gegen 530 v. Chr. erschien dann die rotfigurige Malerei. Auffallend, und in seinem Zustandekommen lange Zeit vom Geheimnis umgeben, ist der hohe Glanz der schwarzen Partien, weswegen diese Technik der alten Griechen auch als Glanztontechnik bekannt geworden ist.

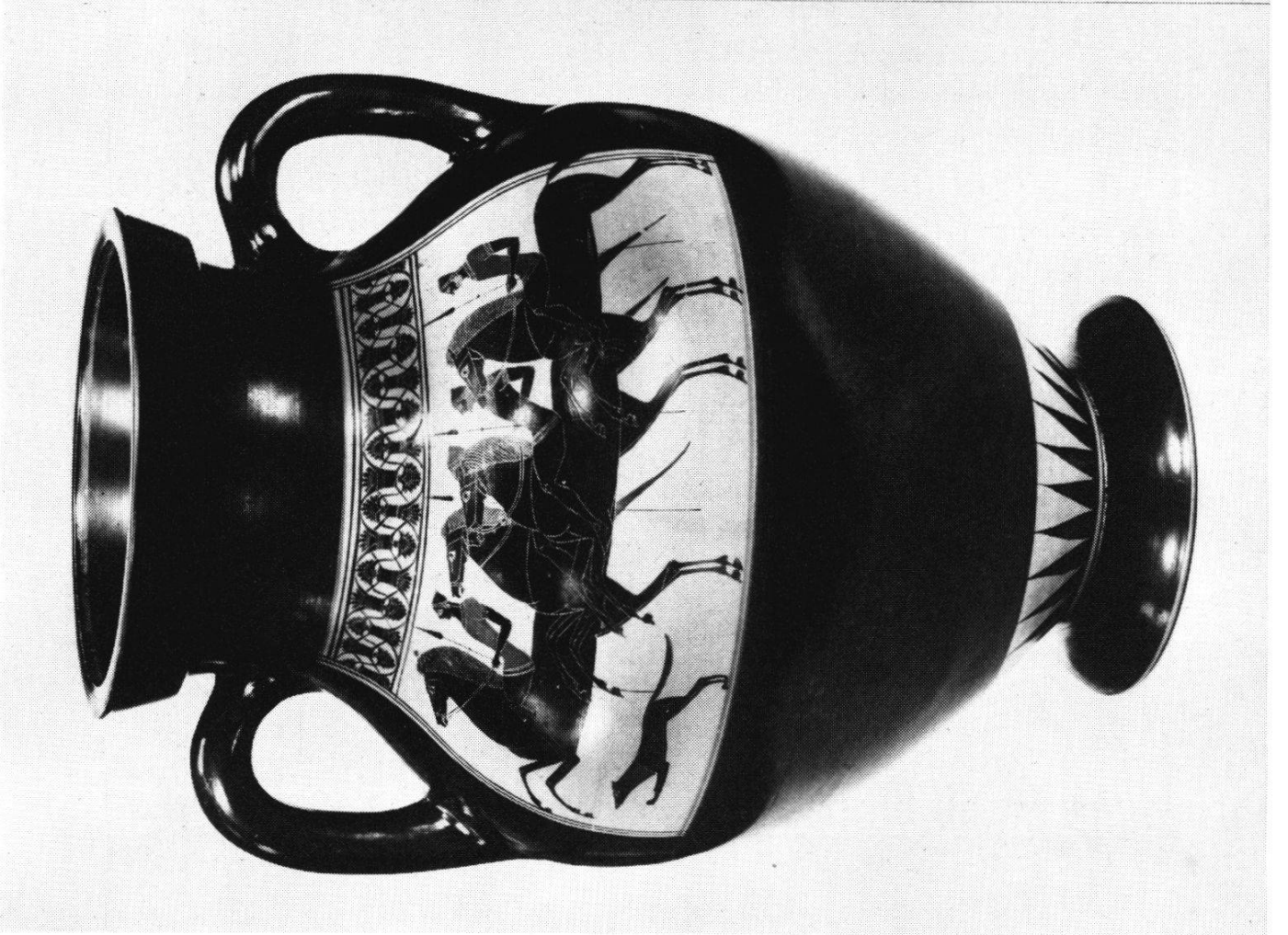
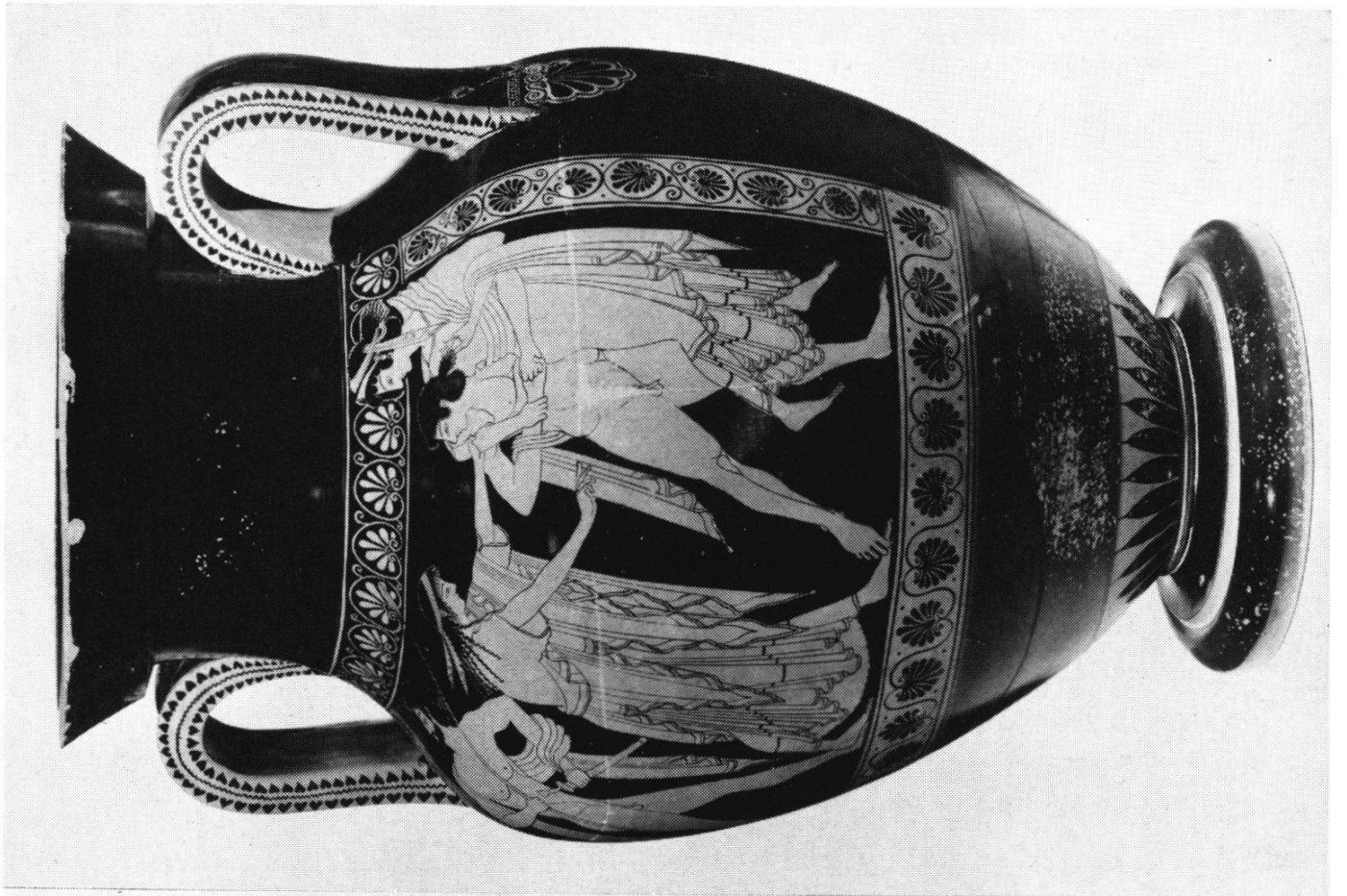
Gerade der Glanz gab Anlaß zur Klärung des Herstellungsverfahrens, und wir können jetzt aus den Ergebnissen vieler Forscher die Entstehung der Vasen rekonstruieren (moderne Literatur s. Literatur-Verzeichnis, ältere Literatur s. bei OBERLIES 1968 und NOLL et al. 1973 a).

Die mineralogische Untersuchung der Gefäße zeigte, daß sich die roten und schwarzen Partien grundsätzlich unterscheiden (Tab. 1). Die schwarze, 30–40  $\mu\text{m}$  dicke Schicht setzt sich mit scharfer Grenze von den roten Bereichen ab, die nichts anderes als die Oberfläche der Vasen darstellen, während die schwarze Schicht aufgemalt wurde. Letztere ist gesintert, also weitgehend porenfrei im Gegensatz zum porösen Scherben <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Scherben = gebranntes Gefäß ohne Überzug (Glasure, Engobe, Bemalung).

*Abb. 1* Schwarzfigurige Amphora des Amasis-Malers, Athen, um 540 v. Chr. → Dargestellt sind vier ausreitende Jäger. Auf diesem Gefäß ist sehr gut der typische Glanz der schwarzen Partien zu erkennen.-Staatliche Antikensammlung München, Inv. Nr. 8763.

*Abb. 2* Rotfigurige Amphora des Malers Euthymides, um 510 v. Chr. Darstellung des Auszugs Hektors, der sich in Gegenwart seiner Eltern Priamos und Hekabe rüstet.-Staatliche Antikensammlung München, Inv. Nr. 8731.



Tab. 1

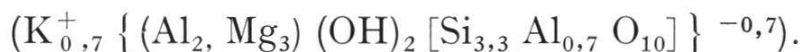
Ergebnis mineralogischer Untersuchungen an attischen Vasen.

	Gefüge	Korngröße $\varnothing$	Chemismus (Gew. %)						Phasen
			C	Si	Al	Fe	K	Ca	
Schwarzmal- schicht	gesintert, Blättchenform reliktisch erhalten	$< 2 \mu\text{m}$	1	18– 43	20– 29	5– 16	3– 6	0,3	Herzynit Magnetit Hypersthen Quarz
rote Oberfläche	porös- körnig	$< 20 \mu\text{m}$	0,2– 0,5	18– 22	10– 15	1– 3	0,6– 1	4– 7	Hämatit Quarz T-Cristobalit

Im Scherben kann man noch Körner von Quarz und Feldspat mit einem mittleren Durchmesser von  $< 20 \mu\text{m}$  erkennen: es wurde demnach ein sehr feinkörniger Ton verwendet, der evtl. geschlämmt wurde. Die ursprüngliche Korngröße der Schwarzmalschicht muß  $< 2 \mu\text{m}$  gewesen sein. So feinkörnige Tone kommen in der Natur aber nicht vor, hingegen sind die meisten Teilchen der Tone in der Kornfraktion  $< 2 \mu\text{m}$  anzutreffen. Die Töpfer mußten deshalb die Tone unter Verwendung eines Dispergiermittels (z. B. Pottasche) sehr fein aufschlämmen und davon die feinste Fraktion abziehen, die dann als Malschlicker aufgetragen wurde.

Auch in der chemischen Zusammensetzung unterscheiden sich Scherben und Malschicht deutlich. Die Schwarzmalschicht ist Fe-, Al- und K-reicher, aber Ca-ärmer als der Scherben. Der hohe Flußmittelgehalt (K, evtl.  $\text{Fe}^{2+}$ ) der Malschicht bewirkte, bei gleichen Brennbedingungen, eine Erniedrigung der Sintertemperatur im Gegensatz zum flußmittelarmen Scherben; darum ist die Malschicht gesintert und das Gefäß porös!

Der unterschiedliche Chemismus ist durch eine ungleiche mineralogische Zusammensetzung der Ausgangs-Tone zu erklären. Tone bestehen vorwiegend aus 2 Mineralien, dem Kaolinit ( $\text{Al}_2 [(\text{OH})_4 \text{Si}_2 \text{O}_5]$ ) und dem glimmerähnlichen Illit



Im Gegensatz zur definierten Zusammensetzung des Kaolinites schwankt der Illit in seinem Chemismus stark.

Der hohe Kalium-Gehalt der Malschicht könnte also seine Ursache

darin haben, daß die attischen Töpfer einen Illit-reichen Ton verwendeten. Natürlich könnte auch ein Teil des Kaliums vom Dispergiermittel stammen. Andere Kali-Lieferanten, wie z. B. die Kalifeldspäte ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) scheiden aus, weil sie meist in groben Körnern vorkommen und nicht in der feinsten Ton-Fraktion angereichert sind, wie die Illite und Kaolinite. Ein weiteres Argument gegen die Feldspäte ist die Tatsache, daß diese im Scherben vorkommen, in der Schwarzmalschicht aber auch mit röntgenographischen Methoden nicht nachgewiesen werden konnten. Da die Brennbedingungen gleich waren, kann dies nur bedeuten, daß die Schwarzmalschicht ursprünglich keine Feldspäte besaß. Zudem wären sie bei den erreichten Brenntemperaturen (s. weiter unten) noch stabil geblieben!

Neben Illit und ein wenig Quarz werden noch Eisen-Oxide (Hämatit,  $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) und - Hydroxide (Goethit,  $\text{Fe O (OH)}$ ) als ursprüngliche Mineralien im Malschlicker vorgelegen haben. *Als Ausgangssubstanz für die Schwarzmalschicht kommt also die feinste Fraktion eines illitischen, eisenreichen Tons in Frage.*

*Für das Gefäß selber wurde ein eisenhaltiger kaolinitischer (niedriger K-Gehalt!) Ton verwendet, dem Kalzit ( $\text{CaCO}_3$ ) zugefügt wurde, um so dem Scherben eine höhere Temperatur-Ausdehnung zu verleihen: damit verhinderten die Töpfer ein Rissig-Werden des Überzuges beim Erkalten!*

Die Schwarzmalschicht zeigt den eigentümlichen schönen Glanz, der durch eine Schicht-Doppelbrechung verursacht wird. Polarisationsoptische Untersuchungen ergaben nämlich die anisotrope Natur dieser Schicht. Sie ist einheitlich gebaut, optisch einachsig negativ, besitzt eine Doppelbrechung von 0.008 und  $n_\gamma$  liegt senkrecht zur Schicht. Es ist also keine Glas-Phase vorhanden, die Malschicht demnach noch keine Glasur, sonst müßte ihr Kali-Gehalt für die erreichten Brenntemperaturen höher sein. Diese Doppelbrechung wird durch den feinen schichtartigen Aufbau des Gefüges hervorgerufen. Beim Brennen blieb die Blättchenform der parallel angelagerten Tonteilchen pseudomorph erhalten und ist im Elektronen-Mikroskop noch gut zu erkennen. Die Brenn-Temperaturen werden also nicht sehr hoch gewesen sein! Wie hoch waren denn diese und wie wurde der Brand durchgeführt? Darauf können die vorhandenen mineralogischen Phasen, in Verbindung mit den geglückten Reproduktionsversuchen von WINTER (1959) eine Antwort geben.

Die schwarze Farbe der Malschicht rührt vorwiegend von schwarzen Spinellen her (Herzynit  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , untergeordnet Magnetit  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , evtl. auch deren Mischkristalle), die rote des Scherben vom Hämatit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). In den Spinellen liegt das Eisen in der zweiwertigen Form vor, im Hämatit ausschließlich in der dreiwertigen. Aus den ursprünglichen dreiwertigen Eisenverbindungen der Ausgangstone müssen die Spinelle demnach durch ein reduzierendes Brennen erzeugt worden sein.

Das Verfahren war kompliziert und ein gutes Gelingen die Frucht langer Erfahrung. Auf das mit der Töpferscheibe geformte, luftgetrocknete und polierte Gefäß wurde die Malschicht als grünlicher Schlicker aufgetragen. Die Brandführung war zu Beginn vielleicht oxydierend, Gefäß wie Malschicht nahmen dabei eine rote Färbung an. In einer zweiten Phase aber schlossen die Töpfer den Ofen luftdicht ab, schürten kräftig Holz (Reisig) nach und erzeugten so eine reduzierende Atmosphäre. Dabei färbten sich Malschicht wie Scherben durch die Reduktion der Hämatite zu Spinellen schwarz. Gleichzeitig sinterte die Malschicht, der flußmittelarme Scherben aber blieb porös. Nach dieser Reduktionsperiode, die vielleicht 10 Minuten gedauert haben mag, wurde der Ofen geöffnet. Bei nun oxydierenden Bedingungen unter fallenden Temperaturen erfolgte die Reoxydation der Eisenverbindungen des porösen Scherbens, er wurde wieder rot. Zu der gesinterten Malschicht hingegen fand der Sauerstoff keinen Zutritt und bewirkte keine Reoxydation – die Schicht blieb schwarz.

Nach den Versuchen von WINTER (1959) sind Temperaturen von  $850^\circ\text{C}$  nicht überschritten worden. Er konnte nämlich nachweisen, daß illitische Tone bei reduzierenden Bedingungen um  $830^\circ\text{C}$  sintern, kaolinitische aber erst bei  $920^\circ\text{C}$ . Bei oxydierenden Bedingungen erhöhen sich die jeweiligen Sintertemperaturen um  $100^\circ\text{C}$ . Diese niedrigen Temperaturen konnten von den Griechen gut erreicht werden, auch wenn sie nur mit Reisig feuerten.

### **Archäologische Thermometer**

Kristalline Phasen sind nur in bestimmten Druck- und Temperaturbereichen beständig. Ihr Fehlen oder ihre Anwesenheit in einem gebrannten Produkt kann deshalb nachträglich noch die Temperatur des Brennprozesses angeben, wenn der Druck bekannt ist. Da bei

keramischen Prozessen immer Atmosphärendrucke herrschen, werden die Mineral-Phasen zu «archäologischen Thermometern» (NOLL et al. 1973a)!

3 Beispiele mögen dies verdeutlichen.

In einem *neolithischen Scherben* wiesen HOFMANN et al. (1966) röntgenographisch Kaolinit nach. Aus Brennversuchen ist bekannt, daß sich der Kaolinit unter normalem Atmosphärendruck ab 500°C in den röntgenamorphen Meta-Kaolinit umwandelt. Das Gefäß muß also unter 500°C gebrannt worden sein.

Die mittel-minoischen schwarzen *Kamares-Vasen* aus der Zeit von 2000–1600 v. Chr. können mit einer Weißmalschicht verziert sein, die NOLL et al. (1973 a) als Protoenstatit ( $\text{Mg}[\text{SiO}_3]$ ) identifizierten. Aus der für Protoenstatit untypischen Blättchenform der Teilchen folgerten sie, daß die minoischen Maler nicht Protoenstatit, sondern das wasserhaltige Mg-Silikat, den Talk  $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$  als Ausgangssubstanz verwendeten. Talk ist blättchenförmig und kommt in der Natur in ausbeutbaren Lagerstätten vor, im Gegensatz zum Protoenstatit, dem instabilen Erhitzungsprodukt. Dieser hat sich also beim Brand pseudomorph aus dem Talk gebildet. Da die Umwandlungstemperatur Talk/Protoenstatit für reinen Talk zwischen 1000–1100°C liegt, müssen für die Kamares-Ware solche Temperaturen erreicht worden sein.

Im 16. und 17. Jahrhundert vor Christus wurden auf Zypern die Vasen mit einer *Mangan-reichen Schwarzmalschicht* überzogen. Die Untersuchungen von NOLL et al. (1973a,b) zeigten, daß darin als färbende Pigmente Mangan-Oxide vorkommen, nämlich Mn-Spinell ( $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ), Bixbyit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) und Hausmannit ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ). Daneben tritt auch noch Hämatit auf. Wie man dem Zustandsdiagramm des Systems  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Mn}_2\text{O}_3$  (Abb. 3) entnehmen kann, ist die Existenz der einzelnen Phasen an bestimmte Temperaturbereiche und  $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Mn}_2\text{O}_3$  - Verhältnisse gebunden. Die in der Schwarzmalschicht gefundenen kritischen Paragenesen Spinell + Hämatit (bei einem totalen  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  - Gehalt von 20–40 Gew %), Bixbyit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$  - Gehalt von 65 %) und Hausmannit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$  - Gehalt von 75–80 %) zeigen, daß die Brenntemperaturen zwischen 900 und etwas mehr als 1000°C gelegen haben müssen.



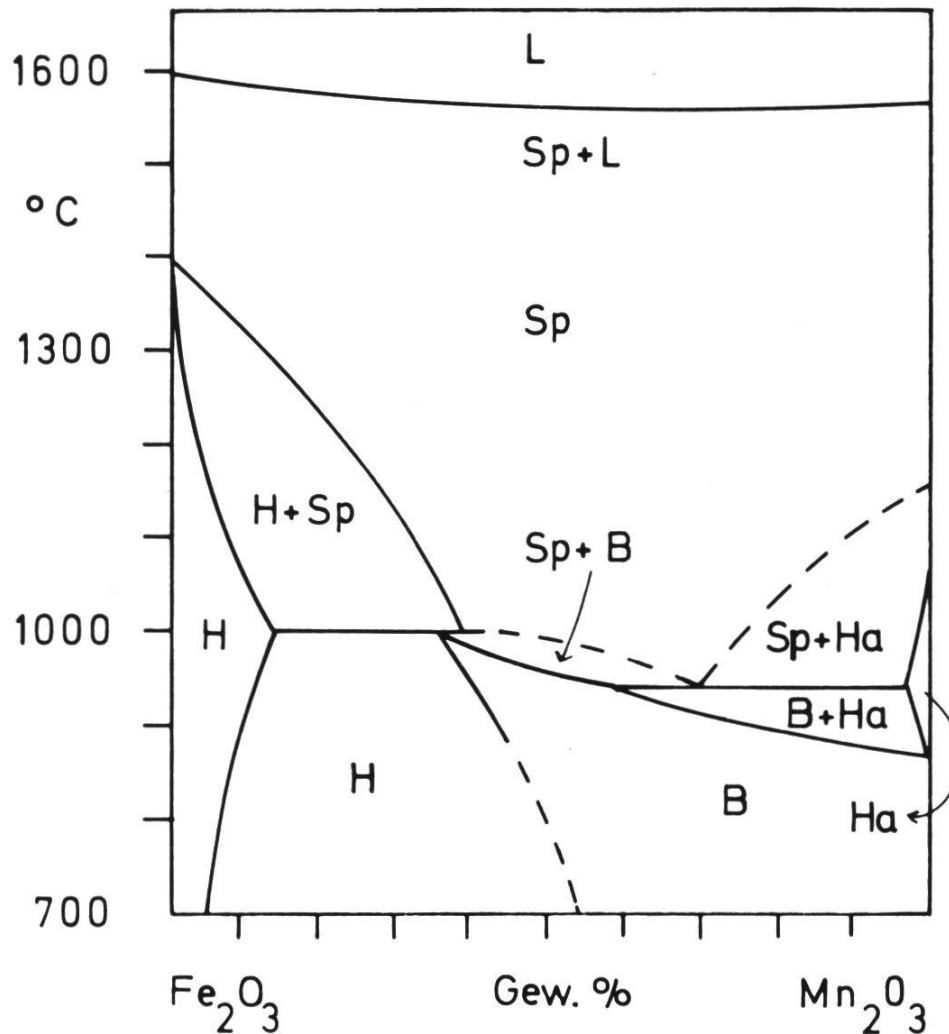


Abb. 3 Phasendiagramm des Systems Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nach A. MUAN und Sh. SOMYIA (1962). B = Bixbyit, Ha = Hausmannit, H = Hämatit, L = Schmelze, Sp = Spinell.

### Farbpigmente und Brennatosphären

Antike, nichtglasierte keramische Gefäße sind überwiegend rot, schwarz oder weiß (Tab. 2). Diese Farben werden durch Pigmente verursacht, die mittels mineralogischer Methoden identifiziert werden können. Das *Rot* rührt meist vom Mineral Hämatit her, nur selten von metallischem Kupfer. Häufig ist der ganze Scherben rot, weil ein eisenreicher Ausgangs-Ton verwendet wurde. Das Rot kann aber auch als deckende Malschicht auf den Scherben aufgetragen worden sein, wofür Ocker (in der Kamares-Technik) oder ein kaolinitischer, eisenreicher Ton (für das intentional red der Griechen) Verwendung fand.

Überall, wo Hämatit nachgewiesen werden kann, ist der pyrotechnische Prozeß (zumindest in seiner letzten Phase) unter oxydierenden Bedingungen abgelaufen.

Die Entstehung der *schwarzen Farbe* ist komplexer zu klären. Sie kann durch  $\text{Fe}^{2+}$  – Oxide, Mangan-Verbindungen oder elementaren Kohlenstoff erzeugt werden. In den Ausgangstonen lag das Eisen in der dreiwertigen Form, gebunden im Hämatit oder Goethit vor, Mangan als Mangan-Hydroxid wechselnder Zusammensetzung. Die Präsenz von Kohlenstoff kann zweierlei Ursache haben. Bei einigen Töpferwaren ist er nur oberflächlich eingelagert – hier drang der bei der stark rauchenden Brandführung gebildete Ruß in die Poren der Oberfläche und wurde dort festgehalten. In andern Fällen ist er im ganzen Scherben homogen verteilt; die Töpfer verwendeten einen Ton mit hohem Gehalt an organischer Substanz (Humus), der sich im Innern als feinverteilter Kohlenstoff ausschied. Diese beiden Techniken stammen aus der Frühzeit der Keramik und waren schon vor 5000 Jahren bekannt. Sehr interessant und merkwürdig ist die Verwendung von Blut als Farbträger – eine Methode, die nicht große Verbreitung fand, denn Blut setzt die Plastizität und damit die leichte Verarbeitbarkeit der Tone herab. Gefäße mit Kohlenstoff und  $\text{Fe}^{2+}$  – Verbindungen sind reduzierend, manganhaltige oxydierend gebrannt.

Als *Weiß-Pigment* schließlich wurden von den verschiedenen Völkern unterschiedliche Substanzen verwendet. In alten Kulturen griffen die Töpfer zum Kalzit, der sich bei den damals üblichen niedrigen Brenntemperaturen noch nicht zersetzte. Erst in späteren Zeiten fanden speziellere Substanzen Verwendung, wie reiner Kaolinit oder Talk.

### **Schlussbetrachtung**

Die besprochenen Beispiele sollten einige Einsatzmöglichkeiten mineralogischer Methoden und Denkweisen in archäologischen Fragestellungen aufzeigen. Die antike Keramik ist aber nur ein Teilbereich der Archäologie; die Mineralogie kann z. B. weiter die Herkunft von Baumaterialien (Bau- und Dekorationsgesteine) und Steinwerkzeugen klären, radiometrische Altersbestimmungen durchführen und Fälschungen (mit Radiographie!) nachweisen. Der interdisziplinären Zusammenarbeit sind keine Grenzen gesetzt!

Tab.2 Mineralogie und Färbung antiker keramischer Gefäße

Farbpigment	Ausgangs-Substanz	Brenn-Atmosphäre Brenn-Temperatur	Kultur	Literatur
Fe <sup>2+</sup>	Spinelle illitischer, eisenreicher Ton	reduzierend	Kreta (Kamares- Technik) 2000-1600 v.Chr.	NOLL 1973a
	Spinelle Magnetit " "	reduzierend- 800-850°C	Griechenland (attisch) 6.-4.Jh.v.Chr.	NOLL 1973a HOFMANN 1962-1966 KOEPPEN + OBERLIES 1954 OBERLIES + KOEPPEN 1953,1962,1968
Mn	Mn-Spinelle Bixbyit Hausmannit	oxydisch 900-1000°C	Zypern 16.-6.Jh.v.Chr.	NOLL 1973a,b
	nur in Ober- fläche	reduzierend, rauchend	Römer (Terra Nigra) 50-150 n.Chr.	HOFMANN 1963 DENNINGER + EBINGER 1952
C	feinverteilt Ton mit hohem Gehalt an organ.Substanz	reduzierend 800°C	Hethiter 1800 v.Chr. Etrusker (Bucchero- Technik) 7.-2.Jh.v.Chr.	HOFMANN 1963 WINTER 1956
	Ton mit Blut vermischt	reduzierend	Präskythisch (Ungarn)	DUMA + LENGYEL 1968
Hämatit	eisenreiche Tone	oxydierend	in allen Kulturen	
	kaolinitische,eisen- haltige Tone	reduzierend- oxydierend 800-850°C	Griechenland (attisch) 6.-4.Jh.v.Chr. Schwarz-Rot-Malerei Intentional Red (5.Jh.) Purpurmalerei	HOFMANN 1962-66 a,b NOLL et al. 1973a KOEPPEN + OBERLIES 1954 OBERLIES + KOEPPEN 1953, 1962, 1968
	illitischer Ton	oxydierend 950°C	Römer (Terra Sigillata) 100 v.Chr.-250 n.Chr.	

SCHWARZMALEREI

ROTALEREI

roter Ocker  
 Kreta (Kamares-Technik) NOLL 1973a  
 2000-1600 v. Chr.  
 Kreta (Kamares-Technik) NOLL 1973a  
 2000-1600 v. Chr.  
 Griechen-land (attisch)  
 6. Jh. v. Chr.

Cu Malachit und  
 Azurit oder  
 Chalkanthit  
 (s. Farbpigment)  
 oxydierend

Kalzit	Kalk	oxydierend	Rössener Kultur 2500-1800 v. Chr.	HOFMANN 1966
$Ca_3(PO_4)_2$	Knochenasche und Kalk		Megalith-Kultur 2300-1800 v. Chr.	GEILMANN + GEBAUHR 1954
Metakaolinit	reiner, Fe-freier kaolinitischer Ton	oxydierend 500-900°C	Griechenland (attisch) 500 v. Chr.	HOFMANN 1966 NOLL 1973a
$SnO_2$		oxydierend <500°C	Neolithische Falerii	HOFMANN 1966
$Ca_3(PO_4)_2$	Knochenasche und illitischer Ton	oxydisch 1000-1050°C	Eisenzeit 500-400 v. Chr.	GEILMANN 1954
Protoenstatit Talk		oxydisch 1000-1100°C	Kreta (minoische Kamares-Technik) 2000-1600 v. Chr.	NOLL 1973a

## *Danksagung*

Herrn Dr. F. W. HAMDORF von der Staatlichen Antikensammlung in München danke ich hiermit herzlich für die Beratung in der Wahl der Abbildungen und die Druckerlaubnis.

## **Zusammenfassung**

Mineralogische Methoden können mit Erfolg zur Klärung der Art und Herkunft von Rohstoffen sowie der benutzten Technologie an antiken keramischen Erzeugnissen eingesetzt werden. Dies wird am Beispiel römischer, attischer, minoischer und neolithischer Vasen vorgeführt.

## **Résumé**

L'origine et le genre des matières premières utilisées, comme certains aspects de la technologie de la céramique ancienne peuvent être élucidés avec des méthodes minéralogiques. Ceci est démontré à l'exemple des vases romains, attiques, minoïques et néolithiques.

## **Abstract**

Mineralogical methods are useful to elucidate the origin of raw materials and the technological aspects in the production of antique pottery. This will be shown at the examples of roman, attic, minoic and neolithic vases.

## *Literaturverzeichnis*

- DENNINGER, E., und H. EBINGER: Versuche über die Rekonstruktion der «Terra nigra» und über das Brennen von Reduktionsglasuren in Holzkohle. Ber. Dt. Keram. Ges. 29, 411–412 (1952).
- DUMA, G., und I. LENGYEL: Nachweis der Hämkomponente des Blutfarbstoffes im keramischen Scherben antiker Gefäße. Ber. Dt. Keram. Ges. 45, 474–477 (1968).
- GEILMANN, W.: Ein durch «Schmelzfarbe» verzierter eisenzeitlicher Scherben. Ber. Dt. Keram. Ges. 37, 101–103 (1954).
- GEILMANN, W., und W. GEBAUHR: Die Inkrustationen jungsteinzeitlicher Gefäße. Ber. Dt. Keram. Ges. 37, 329–354 (1954).

- HOFMANN, U.: The chemical basis of ancient Greek vase painting. *Angewandte Chemie* 7, 341–350 (1962).
- HOFMANN, U., und J. RUSSOW: Untersuchung antiker Keramik mit der Röntgenfluoreszenzanalyse. *Keram. Z.* 11, 676–678 (1963).
- HOFMANN, U., und R. THEISEN: Elektronenmikrosonde und antike Vasenmalerei. *Z. anorgan. u. allgem. Chemie* 341, 207–216 (1965).
- HOFMANN, U.: Die Chemie der antiken Keramik. *Die Naturwissenschaften* 53, 218–223 (1966).
- HOFMANN, U., THEISEN, R. und Y. YETMEN: Die Anwendung der Elektronenmikrosonde und Röntgenanalyse zur Aufklärung der antiken Keramik. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 43, 607–614 (1966).
- KÖPPEN, N., und F. OBERLIES: Tonüberzüge, ein Veredelungsverfahren für Keramiken. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 31, 287–301 (1954).
- MUAN, A., und S. SOMYIA: The system iron-oxide – manganese-oxide in air. *Am. J. Sci.* 260, 230 (1962).
- NOLL, W., HOLM, R., und L. BORN: Material und Technik antiker Vasenmalerei. *Jb. staatliche Kunstsammlungen in Baden-Württemberg* X, 103–126 (1973a).
- – Manganschwarz-Malerei – eine Technik der Ornamentierung antiker Keramik. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 50, 328–333 (1973b).
- OBERLIES, F., und N. KÖPPEN: Untersuchungen an Terra Sigillata und griechischen Vasen. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 30, 102–110 (1953).
- – Untersuchungen an griechischen Gefäßfragmenten aus verschiedenen Jahrhunderten v. Chr. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 39, 19–31 (1962).
- OBERLIES, F.: Keramische Überzüge. *Naturwissenschaften* 55, 277–281 (1968).
- PAVICEVIC, M.: Untersuchung der schwarzen Malschicht attischer Vasen mit der Elektronenmikrosonde. *Ber. Dt. Keram. Ges.* 51, 61–63 (1974).
- WINTER, A.: «Bucchero Nero», die Technik ihrer Herstellung. *Keram. Z.* 8, 614–615, (1956).
- – Die Technik des griechischen Töpfers in ihren Grundlagen. *Techn. Beiträge zur Archäologie I. Röm. germanisches Zentralmuseum zu Mainz* (1959).