

GYÖRGY DUMA

FAYENCEN AUS DEM SUDAN

Der Grundstoff der von den Archäologen als „Ägyptische Fayence“ bezeichneten Fundmaterialien besteht im Wesentlichen aus Quarzkörnern, deren Oberfläche meist mit einer glasartigen Schicht bedeckt ist. Da diese Materialien mit keramischer Technologie, also durch Brennen, hergestellt sind, gehören sie mit Recht in die Gruppe der keramischen Produkte. Die in der Geschichte der Keramik allein stehenden, tonfreien, aus glasebundenen Sandkörnern bestehenden Gegenstände wurden lange Zeit mit ähnlicher Technologie außer in Ägypten auch in dem mit diesem geographisch zusammenhängenden weiten Bereich erzeugt.

Solche keramischen Gegenstände wurden auch bei den archäologischen Arbeiten der Humboldt-Universität zu Berlin während der 1958 durchgeführten Butana-Expedition in Naqa¹⁾ sowie während der Grabungen zwischen 1960 und 1968 in Musawwarat es Sufra²⁾ gefunden.

Neben dem aus Ton erzeugten keramischen Material³⁾ haben die Ausgrabungen verschiedene fayenceähnliche Gegenstände wie eine tiegelförmige Opferschale,⁴⁾ Perlen, einige Bruchstücke vermutlich von Skulpturen, und eines Kästchens⁵⁾ zutage gebracht, deren äußere Merkmale sehr ähnlich sind.

Im Jahre 1973 wurden die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen begonnen. Sie dienten der Feststellung von Übereinstimmungen oder Abweichungen der aus dem Sudan stammenden Materialien durch naturwissenschaftliche Methoden. Zur Klärung ihrer stofflichen Merkmale wurden mikroskopische (mineralogisch-petrographische) Untersuchungen und zur Bestimmung der chemischen Hauptkomponenten bzw. der Spurenelemente quantitativ-chemische Analysen angewandt. Diese Untersuchungen wurden mit technologischen Versuchen ergänzt.

BESCHREIBUNG DER KERAMISCHEN MATERIALIEN

Zur Untersuchung wurden uns fünf Proben durch die Humboldt-Universität zur Verfügung gestellt (Nr. 1 – 5),⁶⁾ hinzu kamen elf Proben von Vergleichsmaterial, das mit Sicherheit aus Ägypten stammt (Nr. 6 – 16).⁷⁾ Die Ordnung des ägyptischen Materials erfolgte nach ihrer chemischen Zusammensetzung (Anteil von Kieselsäure SiO₂).

1) F. Hintze, *Vorbericht über die Butana-Expedition 1958*, in: *Forschen und Wirken. Festschrift zur 150-Jahr-Feier der Humboldt-Universität zu Berlin*, Bd. III. Berlin 1960: 361-399.

2) F. Hintze, *Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin in Musawwarat es Sufra, 1960-1961*, in: *Wiss. Zeitschr. der HUB, Ges.wiss. R. Bd. 11*. Berlin 1962: 441-488. Ders., *Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin in Musawwarat es Sufra, 1961-1962 (Dritte Kampagne)*, in: *Wiss. Zeitschr. der HUB, Ges.wiss. R. Bd. 12*. Berlin 1962: 63-77. Ders., *Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin in Musawwarat es Sufra, 1963-1966 (vierte bis sechste Kampagne)*, in: *Wiss. Zeitschr. der HUB, Ges.wiss. R. Bd. 17*. Berlin 1968: 667-684. Ders., *Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin in Musawwarat es Sufra 1968 (siebente Kampagne)*, in: *Wiss. Zeitschr. der HUB, Ges.wiss. R. Bd. 20*. Berlin 1971: 227-245.

3) Siehe dazu K.-H. Otto, *Zur Klassifizierung der meroitischen Keramik von Musawwarat es Sufra (Republik Sudan)*, in: *Zeitschrift für Archäologie*, Bd. 1. Berlin 1967: 1-32. Ders., *Die Drehscheibenkeramik von Musawwarat es Sufra und die Klassifikation der meroitischen Keramik*, in: *Meroitica Bd. 1*. Berlin 1973: 221-225.

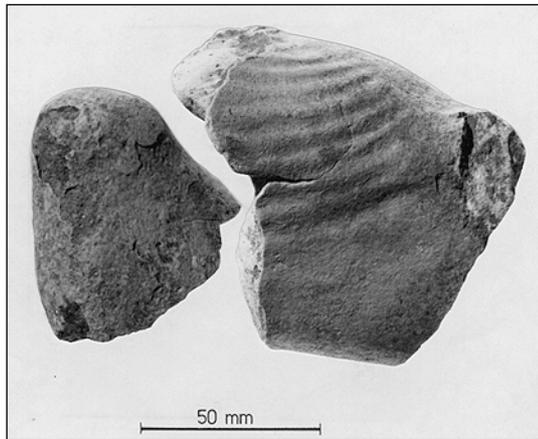
4) *Aus der Großen Anlage. Fund-Nr. I A/100*. S. Hintze 1971: 243.

5) *Die Bruchstücke des verzierten Kästchens wurden in der Vorhalle des Tempels II D gefunden*, s. Hintze 1962: 456, Abb. 18.

6) *Die Serie stellte Frau Dr. G. Buschendorf-Otto zusammen*.

7) *Das Vergleichsmaterial erhielten wir vom Ägyptischen Museum Berlin mit freundlicher Zustimmung von Dr. W. Müller. Die Serie stellte Dr. St. Wenig zusammen. Grund für die Hinzufügung von Material aus Ägypten war die Absicht, verlässlichere Werte zu bekommen*.

Abb. 1:
Probe 2: Fayence-
fragment aus dem
Löwentempel von
Musawwarat es
Sufra (F.Nr. II
C/42)



1. MUSAWWARAT ES SUFRA,
LÖWENTEMPEL - F.NR. SO/II

Unregelmäßiges Bruchstück eines Fayencegefäßes, an dem die Spuren der türkisblauen, glanzlosen Glasur in einer dünnen Oberflächenschicht stellenweise noch sichtbar sind. Das Material ist weich, leicht zerreibbar, erinnert an Sandstein. Der Bruch ist uneben, die Bruchfläche fein gekörnt, ihre Farbe weiß mit einem mattröten Stich (Abb. 3).⁸⁾

2. MUSAWWARAT ES SUFRA,
LÖWENTEMPEL - F.NR. II C/42

Zwei Bruchstücke vom Flügelteil einer Statuette (?). Die Oberfläche überzieht eine türkisblaue, stellenweise sich dunkel verfärbende, glanzlose, manchmal auch fettglänzende, überaus dünne glasartige Schicht, die sich bei einem Bruchstück bereits teilweise gelöst hat (Abb. 1, links). Aufgrund ihrer äußeren Merkmale dürften sie mit dem Bruchstück der Probe 1 identisch sein. Unter der festen, dünnen, glasigen Deckschicht befindet sich auch hier ein weicher, leicht zerreibbarer, sandiger Grundstoff. Der Bruch ist uneben, die Bruchfläche feinkörnig, die Farbe gelblich-weiß (Abb. 1, 4).

3. MUSAWWARAT ES SUFRA,
TEMPEL II D - F.NR. ST/6

Das Probestück ist Teil der Bodenplatte eines viereckigen Kästchens, dessen äußere Flächen bemalte und zum Teil reliefierte Verzierungen tragen. Die Innen- und Außenseiten des Käst-

chens bedeckt eine hellblaugrün-fettglänzende Glasurschicht, an der stellenweise Spuren von Nadelstichen zu beobachten sind. Der Grundstoff ist noch immer hinreichend fest. Sein Bruch ist eckig, uneben, die Bruchfläche fein gekörnt, die Farbe ist weiß (Abb. 2, 5).

4. BUTANA FUNDORT 61

Kleineres Bruchstück eines unbestimmbaren Gegenstandes. Die Oberfläche überzieht eine grünlichblaue, deckkräftige, schwach fettglänzende Glasurschicht mit Nadelstichen. Der Grundstoff ist nicht leicht zerreibbar, der Bruch eckig, uneben, die Bruchfläche fein gekörnt, die Farbe hell, nahezu weiß (Abb. 6).

5. BUTANA FUNDORT 63

Unregelmäßige kleine Bruchstücke, deren Oberfläche mit glänzender, stark haarrissiger Glasur bedeckt ist. Die Farbe der Glasur ist tief türkisblau. Der Grundstoff ist steinhart, sein Bruch eckig, splitterig, die Bruchflächen sind dunkel gefärbt und haben einen Fettglanz. Aufgrund der äußeren Merkmale dürfte es sich in diesem Fall um dichtgebrannte Tonscherben handeln.

6. AMARNA

Bruchstück eines unbestimmbaren glasierten Gegenstandes. Die Glasur ist mäßig deckend, stellenweise scheint der Grundstoff durch, ihre Oberfläche ist glanzlos, nur teilweise fettglänzend, und hat eine türkisblaue Farbe. Der Grundstoff ist feinkörnig und von weißer Farbe (Abb. 7).

7. SAKKARA – STUFENPYRAMIDE

Bruchstück eines unbekanntes Gegenstandes. Die beiden Seiten des Fragments sind glasiert. Die Glasur hat hinreichende Deckkraft. Die Farbe ist türkisblau, ihre Oberfläche fettglänzend, teilweise abgewetzt, die innere Seite ist mit Nadelstichen besetzt. Der Grundstoff ist feinkörnig und von weißer Farbe.

8. AMARNA

Quadratförmiges glasiertes Basisbruchstück einer kleinen Statuette. Die dünne Glasurschicht hat gute Deckkraft, ist schwach fettglänzend, teilweise glanzlos, mit grünlicher Farbtonung. Der Grundstoff ist feinkörnig und von gelblicher Farbe.

8) Publiziert von G. Buschendorf-Otto, *Katalog der Funde in: Hintze et al., Musawwarat es Sufra. Bd. I, 1: Der Löwentempel (Textband). Berlin 1993: 285. - Das Ergebnis der chemischen Analyse durch G. Duma wurde ebd. S. 329 mitgeteilt.*

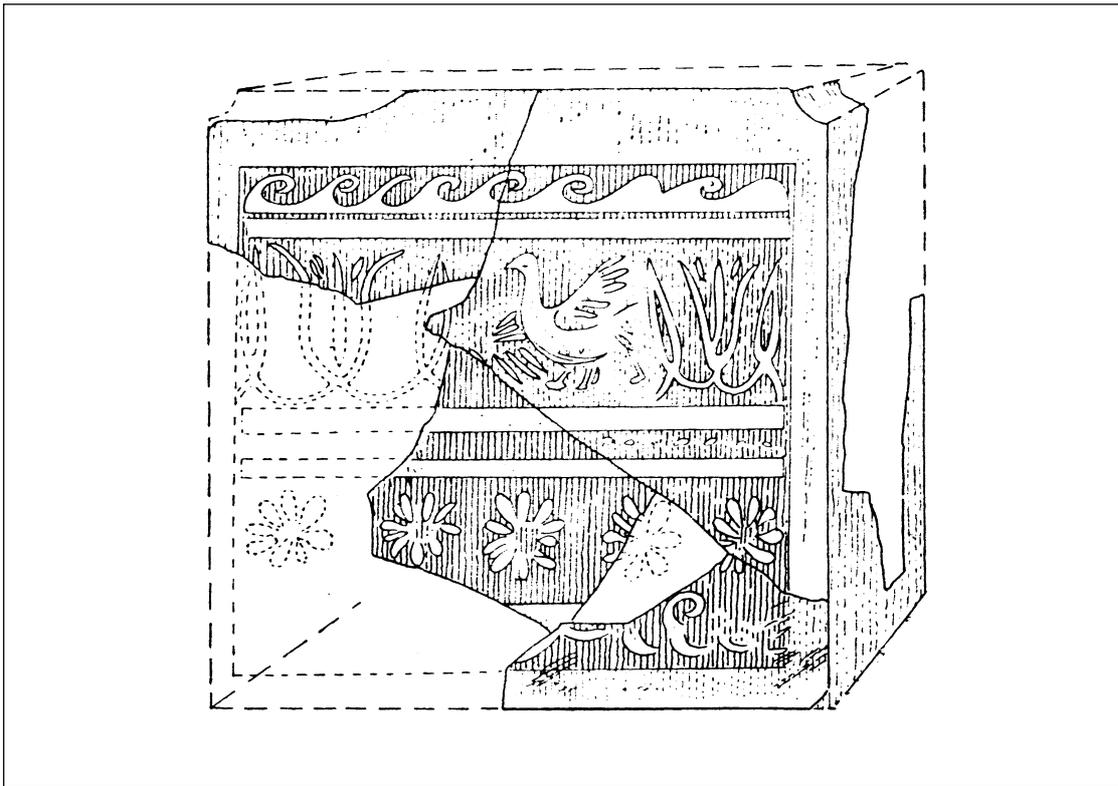


Abb. 2:
Probe 3: Fayence-
fragment aus dem
Tempel II D von
Musawwarat es
Sufra (F.Nr. St/6)

9. AMARNA

Bruchstück eines unbestimmbaren glasierten Gegenstandes. Die Glasur ist glänzend, tief türkisblau, an der Oberfläche sind Nadelstiche häufig. Der Grundstoff ist feinkörnig, von weißer Farbe und mit einer Engobeschicht bedeckt.

10. AMARNA HAUS P 47,23 FJ NR. 615 1913/14

Henkelteil eines glasierten Gefäßes. Die Glasur ist fettglänzend, ihre Farbe lebhaft türkisblau. Unter der überaus dünnen Glasurschicht wird eine blaue Penetration in Richtung des Grundstoffes sichtbar. Der Grundstoff ist feinkörnig und von weißer Farbe.

11. ÄGYPTEN, SPÄTZEIT

Kleines Bruchstück eines unbestimmbaren Gegenstandes, der nur einseitig glasiert ist. Die Oberfläche ist glanzlos, etwas rau, die Farbe grünlich-grau. Der Grundstoff ist feinkörnig, grau verfärbt.

12. ÄGYPTEN, SPÄTZEIT

Teil des Kopfes einer Statuette. Die Glasur ist glänzend, die Farbe dunkelgrün. Der Grundstoff ist grobkörnig und grau gefärbt.

13. AMARNA HAUS N 50,27 FJ NR. 1223 1911/12

Beidseitig glasiertes Bruchstück eines unbekanntes Gegenstandes. Die Glasur ist deckend, fettglänzend, ihre Oberfläche ist wellig mit Nadelstichen, die Farbe türkisblau. Unter der Glasur liegt eine dünne, weißfarbige Engobeschicht. Der Grundstoff besteht aus grobkörnigem Sand, seine Farbe ist grau.

14. ÄGYPTEN, SPÄTZEIT

Fragment einer Uschebti-Statuette. Die Oberfläche ist glanzlos, spröde, körnig und hat eine türkisblaue Farbe. Der Grundstoff ist weiß und hat in Oberflächennähe eine bläuliche Abtönung.

15. ÄGYPTEN, SPÄTZEIT

Fragment einer Uschebti-Statuette. Den äußeren Merkmalen nach ist das Material unglasiert. Sowohl die Oberfläche wie auch die inneren Teile sind feinkörnig und von weißer Farbe (Abb. 8).

16. AMARNA

Kleines, einseitig glasiertes Bruchstück eines

Abb. 3:
Probe 1: Fayence-
fragment aus dem
Löwentempel von
Musawwarat es
Sufra
(F.Nr. SO/11).
Mikroskopische
Aufnahme in
polarisiertem
Licht.

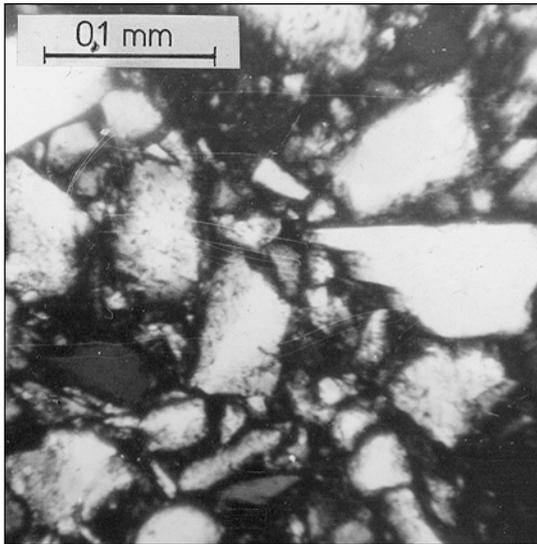


Abb. 4:
Probe 2: Mikro-
skopische Auf-
nahme in polari-
siertem Licht.

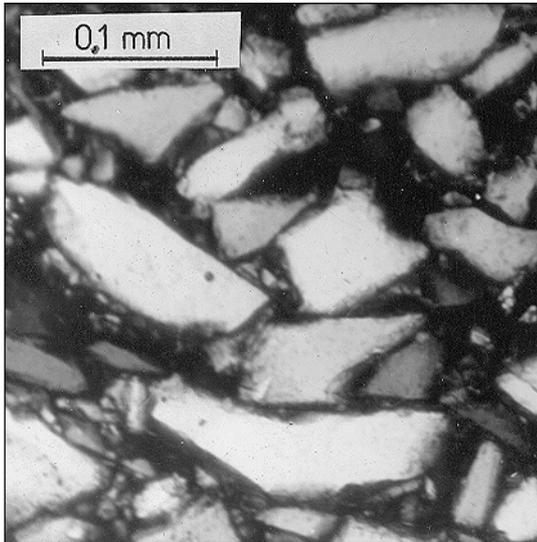
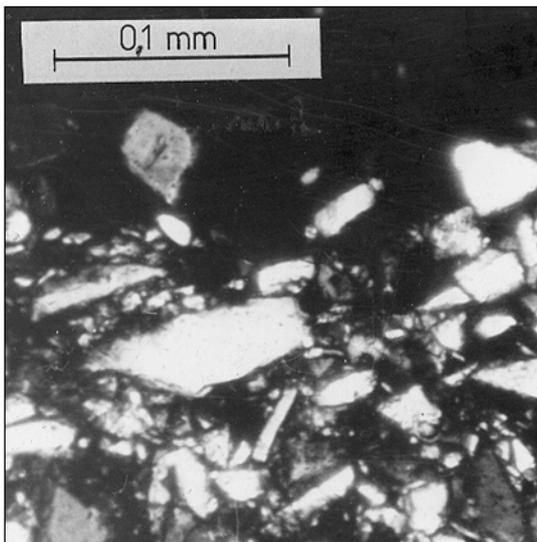


Abb. 5:
Probe 3: Mikro-
skopische Auf-
nahme in polari-
siertem Licht.



unbekannten Gegenstandes. Die Glasur ist fettglänzend, deckend, ihre Farbe ist türkisblau mit dunkelgrünlicher Tönung, an der Oberfläche sind Nadelstiche sichtbar. Der Grundstoff ist feinkörnig und hat eine grünbläuliche Abtönung.

MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN⁹⁾

Die aufgrund ihrer äußeren Merkmale scheinbar zusammengehörenden Proben Nr. 1 bis 4, im Folgenden als Fayencen bezeichnete sandige Materialien, und die anders aussehende Probe Nr. 5 erwiesen sich auch in ihrer mineralischen Zusammensetzung als signifikant verschieden.

Bei den Fayencen Nr. 1 bis 4 sind kugelförmige Hohlräume von etwa 0.05 – 1.00 mm Größe zu beobachten. Die technologischen Versuche konnten die frühere Feststellung bestätigen,¹⁰⁾ daß es sich dabei um typische Spuren der Bearbeitung mit Wasser handelt. Diese sind für alle mit ähnlicher Technologie erzeugten Produkte – das gilt für sämtliche ägyptischen Proben (6 – 16) – bezeichnend. Sie sind aufgrund der charakteristischen Struktur voller Kugelhohlräume von den Sandsteinen jederzeit unschwer zu unterscheiden.

Es ist eine weitere gemeinsame Eigenheit der Proben 1 bis 4, daß sie – ebenso wie die ägyptischen Fayencen (Proben 6 bis 16) – eckige, splittige, häufig längliche, säulenförmige, unnatürlich wirkende Sandkörner enthalten, die nur infolge Zerstückelung entstehen konnten (Abb. 3 – 8).

Für sämtliche Stoffe dieser Gruppe ist das Vorhandensein des die Körner zusammenhaltenden Glases mit reichlichen Gaseinschlüssen und einem kleineren Brechungsindex als der des Kanada-Balsams, das sich stellenweise und in wechselndem Maße zu einem Stoff mit größerem Brechungsindex rekristallisiert hat, bezeichnend. Die Prüfungen führten zu dem Ergebnis, daß die enthaltene Menge der Glasschmelze im Verhältnis zur Gesamtmenge des Sandes – sowohl bei den sudanesischen als auch bei den ägyptischen Fayencen – durchweg überaus gering ist.

Der in den Fayencen Nr. 1 und 2 (Abb. 3 – 4) und Nr. 4 (Abb. 6) enthaltene Quarzsplit besteht ausschließlich aus Körnern von 0.20 – 0.60 mm und 0.05 – 0.10 mm Durchmesser. Es gibt also zwei Maximalwerte, und das

⁹⁾ s. Ravasz, *Mineralogisch-petrographische Untersuchungen. Bericht über die im Auftrag des Archäologischen Instituts der Ung. Akademie der Wissenschaften durchgeführten Prüfungen*, J-200/1971.

¹⁰⁾ Le Chatelier, *Archäologisch-keramische Untersuchungen*, in: *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 20: 1907: 517 – 523.

zeigt den sortierten Zustand des Produktes an. Die Bruchstücke der Quarzkörner sind zum Teil wasserklar, Einschlüsse kommen selten vor, sie sind vulkanischer Herkunft, zeigen gerade Auslöschung. Es finden sich aber auch welche, wo ondulierende Auslöschung zu beobachten ist; diese rühren von der Verwüstung magmatischer und metamorpher Gesteine her. Bei der Probe Nr. 4 überwiegen die erstgenannten, bei Probe Nr. 2 die letztgenannten. Aufgrund des sporadisch erscheinenden Mikrolins (Nr. 1), Kalifeldspats und Albits mit Zwillingsplatten (Nr. 4) und des hier und da auftretenden Biotits (Nr. 1 und 4) lassen sich die Fayencen nicht mit Sicherheit voneinander absondern.

Das Fayencematerial Nr. 3 (Abb. 5) zeigt – neben weitreichender Übereinstimmung mit den anderen Proben und innerhalb derselben – bereits charakteristische Abweichungen. Die gleichfalls zerkleinerten, wasserklaren, nicht viel Einschlusß enthaltenden Quarzkörner zeigen gerade Auslöschung; sie sind vulkanischer Herkunft. Die Körnung weicht in gewissem Maße von der vorerwähnten ab: Die Korngrößen liegen zwischen den Grenzwerten 0.03 – 0.30 mm, überwiegend zwischen 0.03 und 0.05 mm. Der grundlegende Unterschied manifestiert sich jedoch im Vorhandensein von Serizitkristallen. Es lassen sich in einer Tiefe von etwa 1 mm unter der Oberfläche des Objektes, dicht zerstreut oder auch in Gruppen verdichtet, Serizitschuppen von 0.005 – 0.015 mm Größe beobachten. In dieser Schichttiefe ist ihre Menge gleich der des Glasmaterials. Die Serizitkristalle kommen aber auch an der Wandung der größeren – den Wert 0.15 – 0.20 mm erreichenden – Kugelhöhlungen vor, und zwar als dicht aneinandergereihte anwachsende Kristalle. Das Vorhandensein von Serizitkristallen, die unter den Fayencen aus dem Sudan allein bei der Probe Nr. 3 zu beobachten war, konnte bei den ägyptischen Fayencen oft festgestellt werden (z.B. Nr. 9 und 14).

Beachtet man – um einem systematisierenden Blickpunkt der Sedimentpetrographie Genüge zu leisten – neben den quantitativen Verhältnissen der mineralischen Zusammensetzung auch die Korngrößen des sandigen Anteils, dann kommt man zu dem Schluß, daß dieser bei den drei Proben Nr. 1, 2 und 4 (Abb. 3, 4, 6) hinreichend ähnlich, bei Probe Nr. 3 (Abb. 5) dagegen überaus abweichend ist.

Probe Nr. 5 zeigt unter dem Mikroskop grundlegende Unterschiede zu den anderen Fayencen und läßt sich nicht in dieselbe Gruppe wie Nr. 1 bis 4 einreihen. Es handelt sich unseres Erachtens um einen dichtgebrannten sandigen Ton.

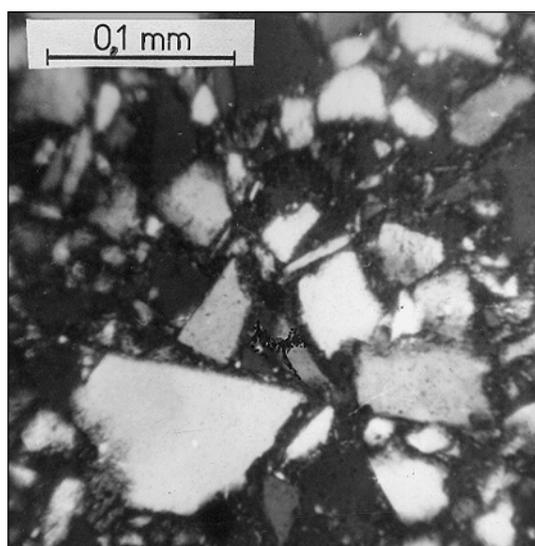


Abb. 6:
Probe 4: Fayence-
fragment aus Naqa
(Fundort 61).
Mikroskopische
Aufnahme in polari-
siertem Licht.

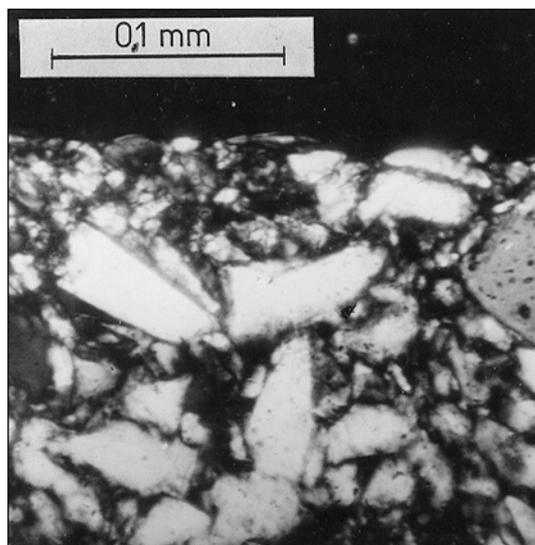


Abb. 7:
Probe 6: Fayence-
material aus Ägypten.
Mikroskopische
Aufnahme in polari-
siertem Licht.

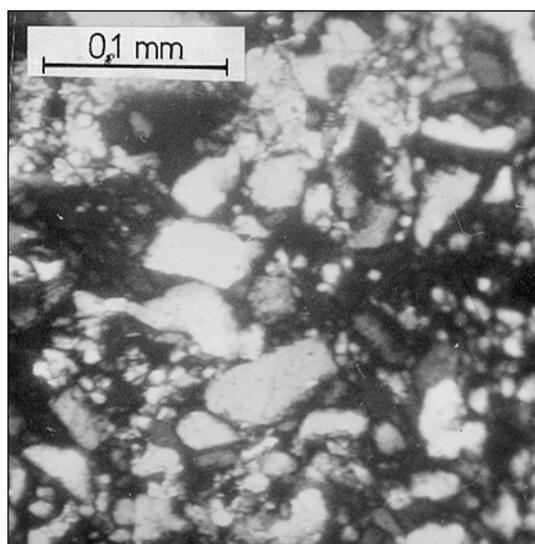


Abb. 8:
Probe 15: Fayence-
material aus Ägypten.
Mikroskopische
Aufnahme in polari-
siertem Licht.

Tabelle I:

Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Glühverlust
1.	95.00	0.80	0.68	1.90	0.01	0.19	0.36	1.02
2.	96.30	0.42	0.45	1.40	0.01	0.25	0.42	0.28
3.	93.67	0.76	1.00	1.68	Sp.	0.01	0,24	2,18
4.	97.01	0,56	0,54	0.77	0.01	0.04	0.47	0.24
5.*	78.74	7.35	7.05	4.03	0.02	0.31	0.68	1.60
6.	98.63	0.37	0.20	0.40	0.01	0.01	0.15	0.20
7.	96.88	0.20	0.24	0.73	0.31	0.14	0.32	0.76
8.	96.46	0.19	0.27	0.95	0.19	0.10	0.22	1.17
9.	95.23	0.40	0.77	0.84	0.30	0.11	0.66	0.60
10.	94.75	0.48	1,62	0.65	0.23	0.23	0.65	0.55
11.	93.69	0.57	0.41	1.94	0.49	0.27	0.57	1.95
12.	93.45	1.01	1.79	0.62	0.41	0.56	0.86	0.90
13.	93.44	1.44	0.62	1.66	0.34	0.28	0.82	1.20
14.	93.02	0.48	1.44	1.56	0.86	0.04	0.86	1.24
15.	91.90	0.50	1.40	2.20	0.01	0.04	0.50	2.80
16.	89.94	1.65	0.57	1.00	1.60	0.30	2.34	1.08

* keine Fayence

CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Durchschnittsproben der einzelnen Scherbenmaterialien wurden einer quantitativ-chemischen Prüfung unterworfen. Die Verteilung der Komponenten wurde in Tabelle I – teils nach ihrem Fundort (Nr. 1 – 5), teils in einer Reihenfolge, die die Abnahme ihres Kieselsäuregehaltes beachtet (Nr. 6 – 16) – zusammengefaßt.

Wegen der korrosiven Einwirkungen zeigen alle Fayencematerialien einen beachtlichen und voneinander abweichenden Glühverlust, wodurch sich die mit den Analysen erfaßten Daten nicht für einen unmittelbaren Vergleich eignen. Wir haben deshalb bei unseren Berechnungen in jedem Fall die Menge der chemischen Komponenten als Gesamtmenge, ohne den Glühverlust, betrachtet.

Bei Erfassung dieser Vergleichsgrundlage in Bezug auf die chemischen Komponenten der ägyptischen Fayencen ergibt sich, daß ihre stofflichen Eigenschaften grundlegend durch den Natriumoxid-, Calciumoxid- und Kieselsäuregehalt bestimmt werden können. Die Mengenverhältnisse der ausgewählten drei chemischen Komponenten haben wir zuerst in der üblichen Form der Dreikomponentensysteme in einem gleichseitigen Dreieck dargestellt (Abb. 9). Dabei kommt es im Bereich der besonders hohen SiO₂- und überaus niedrigen Na₂O-Werte zur Konzentration jener Punkte, die eine Anreicherung der Fayencestoffe anzeigen. Innerhalb die-

ses verhältnismäßig engen Gebietes befinden sich sowohl die im Sudan als auch die in Ägypten gefundenen Materialien in unregelmäßiger Verteilung. Auffallend ist, daß sich auch diesmal Probe Nr. 5 absondert.

Die Ausnahme bildet also Probe Nr. 5, die bereits bei den mikroskopischen Prüfungen abweichende Eigenschaften aufwies und die sich von den aus Sandkörnern hergestellten Fayencen durch den hohen Aluminium-, Calcium- und Eisenoxidanteil unterscheidet. Die Fachliteratur zählt auch Stoffe mit noch höherem Aluminiumoxidgehalt zu den ägyptischen Fayencen, als „ordinary faience“ bezeichnet.¹¹⁾ Wir halten das untersuchte Stück vielmehr für einen aus Ton erzeugten keramischen Gegenstand.

Zur Charakterisierung beider Fayencegruppen suchten wir mit Hilfe der Regressionsanalyse solche Geraden, die die Datenpunkte in den Gruppen gleichförmig trennen (Abb. 10). Sowohl die den sudanesischen (S) wie auch den ägyptischen (Ä) Fayencen entsprechenden Punkte zeigen in dieser Darstellung eine besonders enge lineare Regression.

Die graphische Darstellung der Analyseergebnisse zeigte eindeutig, daß aus dem unregelmäßig verteilten Punktschwarm, der die Fayen-

11) Ägyptische Fayencen sind mit 4.0 - 13.5% Al₂O₃-Gehalt in der Literatur als „Body Material (ordinary faience)“ erwähnt: A. Lukas - J.R. Harris, *Ancient Egyptian Materials and Industries*. London 1962.

TABELLE II:

Kation	Valenz	Koordinationszahl	Dissoziationsenergie	Bindungskraft	Kation-O Distanz
Si	4	4	424	106	1.61
Al	3	4	402	100	1.78
Mg	2	4	222	55	1.96
Ca	2	6	257	43	2.40
Na	1	5	120	24	2.40
K	1	8	115	15	2.79

ce repräsentiert, weder von den sudanesischen noch von den ägyptischen getrennte Gruppen entstehen können (Abb. 11).

Bei allen sudanesischen Proben ist der MgO-Gehalt unter 0.01%. Bei den ägyptischen Proben haben wir nur in zwei Fällen – Proben 6 und 15 – ähnlich geringen MgO-Gehalt gefunden. Ägyptische Fayencen mit geringem oder ohne MgO-Gehalt sind aus der Literatur wohlbekannt.¹²⁾

Die quantitativ-chemische Analyse führte zum Schluß, daß man die sudanesischen Fayencen allein aufgrund ihrer chemischen Komponenten nicht voneinander unterscheiden kann.

Man kann die ägyptischen Fayencen als keramische Produkte auffassen, deren aus mittelgroßen Quarzkörnern bestehendes Gefüge ein Alkali-Kalk-Silikatglas zusammenfügt. Sollte es gelingen, die Glasschmelze, die die Quarzkörner verbindet, zu isolieren, dann würde sich diese gewiß als irgendein tiefschmelzendes Glas aus dem System der Natron-Kalk-Silikatgläser erweisen. Bekanntlich gibt es im Na₂O-CaO-SiO₂ System zwei nennenswerte Eutektika, die mit den beiden Kristallisationstemperaturen 821°C und 725°C charakterisiert werden können und die der Zusammensetzung 37.5% Na₂O, 1.8% CaO, 60.7% SiO₂ bzw. 21.3% Na₂O, 5.2% CaO, 73.5% SiO₂ entsprechen.¹³⁾ Indem aus praktischen Gründen nur das zweitgenannte Glas infrage kommt, unterliegt es folglich keinem Zweifel, daß auch das Bindemittel der Quarzkörner in den Fayencen über eine ähnliche Zusammensetzung verfügt. Dieses Glas hat bei seiner Liquidustemperatur bei 725°C eine Viskosität 10⁷ Poise ($\eta = 7$).¹⁴⁾ Es dürfte bereits

als hinreichend gelten, daß die vorderhand noch zahlreiche Glaseinschlüsse enthaltende Schmelze die Oberfläche der Quarzkörner mit vorteilhafter Lyophilie überziehen und diese die unter ihnen befindlichen Hohlräume teilweise anfüllen, einschließen und somit binden können.

Im System Na₂O-CaO-SiO₂ ist jedes Glas gewissermaßen „wasserlöslich“; den geringsten Widerstand leisten die in der Nähe des Eutektikums befindlichen Gläser.¹⁵⁾ Zu diesen letzteren gehören – wie es aus dem Vorangehenden notwendigerweise folgt – auch die in Fayencematerialien vorhandenen, die Quarzkörner zusammenhaltenden Glasschmelzen. Indem selbst geringe Mengen des Aluminiumoxids zu einer wesentlichen Minderung der „Löslichkeit“ von Gläsern führen,¹⁶⁾ können demzufolge die mineralischen Verunreinigungen der Natursande die Widerstandsfähigkeit von Fayencen gegen korrosive Einwirkungen entsprechend steigern (Abb. 9, Nr. 16).

Man kann folglich annehmen, daß sich das Verhältnis der chemischen Komponenten der Fayencen infolge der Zerstörung des Glasbindemittels während der Lagerung im Boden verändert hat. Die heute wegen ihres Umfangs kaum mehr überblickbare Fachliteratur zur Korrosion von Gläsern glaubt die Grundlage einer hydraulischen Zersetzung von Glas darin zu sehen, daß die Alkalien an der Oberfläche aufgehen. Die Bindungsstärke der das Glasgefüge bildenden Ionen ist – wegen ihrer elektronegati-

12) Lukas - Harris, a.a.O., S. 474-475. - A. Kaczmarczyk - R.E.M. Hedges, *Ancient Egyptian Fayence. An Analytical Survey of Egyptian Fayence from Predynastic to Roman Times*, Warminster 1983: 196-197.

13) W. Hinz, *Silikate - Grundlage der Silikatwissenschaft und Silikattechnik*. Berlin 1969.

14) H.J. Dickson, *Glass*. London 1951.

15) F. Kohlrusch, *über die Löslichkeit einiger Gläser in kaltem Wasser*, in: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 24 (1891) II: 3560-3575. A. Dietzel, *Das Dreistoffsystem Natriumsilikat-Calcium-Silikat-Kieselsäure*, in: *Sprechsaal* 50, 1927: 5-7.

16) G. Keppeler - H. Ippach, *Die Haltbarkeit von Gläsern im Natron-Kalk-Kieselsäure System*, in: *Sprechsaal* 60, 1927: 261-264, 281-284, 297-300. - *Ausführliche Literaturangaben über die Löslichkeit des Glases*: W. Eitel, *Physikalische Chemie der Silikate*. Leipzig 1940.

TABELLE III:

	1.	2.	3.	4.
Th	0.2x10 ⁻⁴ %	0.2x10 ⁻⁴ %	0.01x10 ⁻⁴ %	0.02x10 ⁻⁴ %
Bi	-	-	0.05	-
Pb	60.0	1.0	400.0	10.0
Nd	2.0	0.5	-	0.5
Pr	0.3	0.1	-	0.2
Ce	2.0	0.2	0.5	1.0
La	1.0	0.2	0.2	0.5
Ba	20.0	4.0	7.0	7.0
J	-	0.1	-	-
Sb	4.0	-	20.0	-
Sn	6.0	-	400.0	-
Rh	-	-	0.2	0.2
Mo	1.5	0.1	0.5	0.3
Zr	3.0	2.0	3.0	6.0
Nb	1.5	1.0	0.2	1.0
Y	3.0	20.0	20.0	20.0
Sr	9.0	6.0	30.0	6.0
Rb	3.0	-	-	2.0
As	2.0	1.0	5.0	1.0
Cu	100.0	30.0	3500.0	10.0
Co	2.0	0.5	10.0	2.0
Mn	70.0	100.0	2000.0	100.0
Cr	30.0	-	-	50.0
V	5.0	1.0	2.0	5.0
Sc	150.0	100.0	800.0	20.0
Ti	350.0	80.0	1000.0	250.0
P	300.0	200.0	2000.0	500.0

ven Beschaffenheit und Größe - recht verschieden.¹⁷⁾ Man erhält in Bezug auf die Reihenfolge von Bindungsstärken typische Werte, wenn man den Quotienten der Dissoziationsenergie sich in neutrale Atome umsetzender Oxide (kcal/g Kation) und der Koordinationszahl des Kations zur Grundlage wählt (Tabelle II).¹⁸⁾ Die Löslichkeitsunterschiede der Komponenten des im Fayencematerial enthaltenen Glases führen zu einer Veränderung der ursprünglichen chemischen Verhältnisse: Es kommt im Verhältnis zum Glasanteil zu einer Anreicherung der praktisch kaum löslichen klastischen Mineralien, an

17) A. Dietzel, *Die Kationfeldstärken und ihre Beziehungen zu Entglasungsvorgängen zur Verbindungsbildung und Schmelzpunkten von Silikaten*, in: *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie* 48, 1942: 9-23.

18) K.H. Sun, *Fundamental Condition of Glass Formation*, in: *Journal of the American Ceramic Society* 30, 1947: 277-281.

erster Stelle der des Quarzgehaltes (Abb. 9 – 11). Wir haben die korrosive Veränderung der Fayencematerialien durch die Löslichkeit des Na₂O-Gehaltes der erwähnten Natron-Kalk-Silikatgläser - die letztlich zum Zerfall der Fayencestoffe führt - mit in einem Dampfraum von hohem Druck und hoher Temperatur (25 atm, 225°C) durchgeführten Versuchen untersucht. Es konnte festgestellt werden, daß bei gleichen Verhältnissen das Maß der hydraulischen Zersetzung der Fayencematerialien von mehreren Faktoren abhängt. Unter anderem wird es vom Raumabstand der Quarzkörner sowie von der Menge und der chemischen Zusammensetzung des Glasanteils entscheidend beeinflusst.

Da eine der Komponenten dieser keramischen Materialien Silikatglas ist, das den korrosiven Einwirkungen geringen Widerstand leistet, kann nur auf dem Wege der chemischen Analyse ihre veränderte Zusammensetzung erklärt werden. Es können also die quantitativ-

TABELLE IV:

Nr.	Bi	Nd	Pr	J	Sb	Sn	Rh	Rb	Cr
1.	0	+	+	0	+	+	0	+	+
2.	0	+	+	+	0	0	0	0	0
3.	+	0	0	0	+	+	+	0	0
4.	0	+	+	0	0	0	+	+	+

TABELLE V:

	Pb %	Sn %	Cu %	Mn %	Sc %	Ti %	P %
1.	0.0060	0.0006	0.0400	0.0070	0.0150	0.0350	0.0300
2.	0.0001	-	0.0030	0.0100	0.0100	0.0080	0.0200
3.	0.0400	0.0400	0.3500	0.2000	0.0800	0.1000	0.2000
4.	0.0010	-	0.0010	0.0100	0.0020	0.0250	0.0500

chemischen Analysenresultate keineswegs als soweit charakteristisch erfaßt werden, daß allein auf ihrer Grundlage eine Gruppenbildung - wie das heute noch allgemein üblich ist - möglich wäre.

Die technologischen Versuche ermöglichten, die ursprüngliche, noch unveränderte Zusammensetzung der ägyptischen Fayencen zu erkennen und so das vermeintliche Gebiet der möglichen Varianten des Materials festzustellen. Diese verbreiten sich in dem System $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ zwischen den zwei Grenzwerten ihrer chemischen Zusammensetzung, die unsere (D) und in der Literatur angegebenen¹⁹⁾ Versuche (K) bestimmen können (Abb. 9).

QUANTITATIVE FESTSTELLUNG DER SPURENELEMENTE²⁰⁾

Die beschriebenen mikroskopischen Prüfungen führten zum Ergebnis, daß die bei den Ausgrabungen zutage geförderten Fayencen nahezu gänzlich aus klastischen Mineralien bestehen, die den korrosiven Einwirkungen Widerstand leisten und die wir als gefügebildende Bestandteile bezeichnet haben, deren relative Verteilung also auch unverändert erhalten bleiben konnte. Auf dieser Grundlage war es möglich, die im Mikroskop feststellbaren Übereinstimmungen

und die innerhalb derselben erscheinenden Abweichungen als signifikant für ihre stofflichen Eigenheiten anzusehen. Eine weitere Kenntnis der Fayencematerialien ermöglichte die Bestimmung der auf chemischem Wege nicht isolierbaren elementaren Bestandteile des für signifikant angesehenen Anteils. Aufgrund der mengenmäßigen Prüfung von 27 ausgewählten Spurenelementen führten wir einen Vergleich der Fayencematerialien durch (Tabelle III). Anhand der beobachteten typischen Divergenzen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Die Fayencen Nr. 1 und 2 können - wie das aus ihrem Sb-, Sn- bzw. Rb-Gehalt folgt - nicht identisch sein. Bei Nr. 2 fehlen Sb, Sn, Rh, Rb und Cr, dagegen konnte ausschließlich hier das Element J nachgewiesen werden.

Die Probe Nr. 3 weicht von den beiden vorgenannten Proben ab, da die in jenen enthaltenen Nd- und Pr-Spuren fehlen; als einzige Probe enthält sie Bi (Tabelle IV). Die Fayenceproben zeigen aufgrund des relativen Mengengehaltes der einzelnen Elemente charakteristische Abweichungen. Die Probe 3 nimmt aufgrund der Elemente Pb, Sn, Cu, Mn, Sc und Ti unter den sudanesischen Fayencen deutlich eine Sonderstellung ein (Tabelle V). Selbst von einer Ähnlichkeit kann nicht gesprochen werden, was übrigens auch durch die anderen Untersuchungen zu erwarten war.

Die Fayencen Nr. 1, 2 und 4 sind aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung an Spurenelementen nicht identisch. Die Übereinstimmungen deuten jedoch darauf hin, daß ihre Rohstoffe von benachbarten Bereichen herühren.

Über die einwandfrei festgestellten Abweichungen hinaus können Unterscheidungen auch

19) K. Kühne, *Zur Kenntnis silikatischer Werkstoffe und Technologie ihrer Herstellung im 2. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1969: 11-26.

20) G. Jancsó, *Bestimmung der Spurenelemente sudanesischer Fayencen. Bericht über die im Auftrag des Archäologischen Instituts der Ungar. Akademie der Wissenschaften durchgeführten Untersuchungen. J-175/1973.*

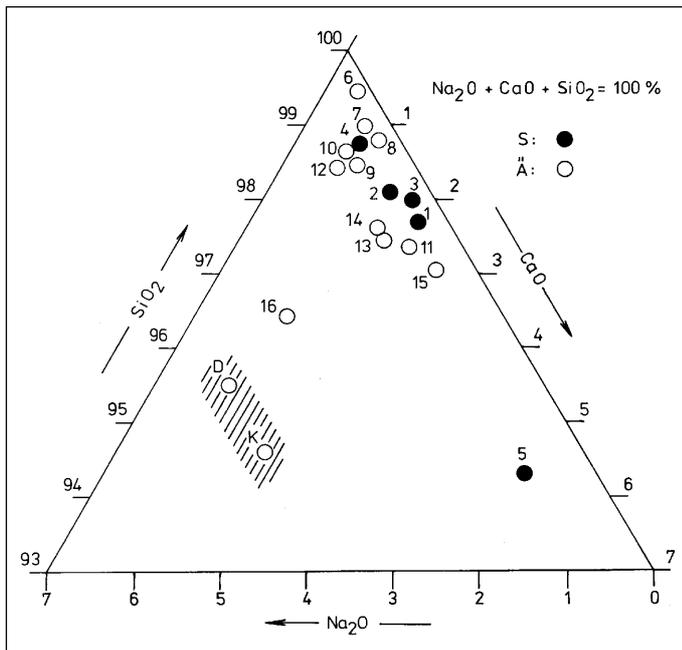


Abb. 9:
Gruppierung der aus dem Sudan (1 - 4) und aus Ägypten (6 - 15) stammenden Fayencen im Dreikomponentensystem: $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ aufgrund der prozentualen Verteilung der chemischen Grundkomponenten. Versuchsmaterialien: D = Duma, K = Kühne.

hinsichtlich der Bodenmuster, in denen sich die Proben befanden, gemacht werden. Denn durch die Bestimmung der Spurenelemente läßt sich auch die Frage beantworten, welche fremden Elemente im Laufe der Zeit mit den Fayencen in Berührung kamen.

Das Element P haben wir nicht zur Charakterisierung der Fayencen verwendet, weil wir im Laufe früherer Untersuchungen die Erfahrung machten, daß die beim Abbau von organischen Stoffen entstehende Phosphorsäure im keramischen Material in gebundener Form zu verbleiben vermag²¹⁾. Der auffallend hohe Phosphorgehalt der Probe 3 (0.46% P_2O_5) rührt wahrscheinlich nicht vom Boden her, sondern scheint auf organische Substanzen, mit denen die Probe zusammen aufbewahrt wurde, hinzudeuten.

21) G. Duma, Azcgetett agyag foszforfelvctele (Die Phosphoraufnahme von gebrannten Tonen), in: *Epitöanyag* 20, 1968: 450-456. - Ders., Methode zum Feststellen der Bestimmung von urzeitlichen Gefäßen, in: *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 20, 1968: 359-372.

FOLGERUNGEN AUFGRUND TECHNOLOGISCHER EIGENHEITEN

Bei der Herstellung ägyptischer Fayencen wandte man mehrere Technologien an.²²⁾ Die dadurch bedingten typischen Abweichungen findet man auch bei den Proben aus dem Sudan.

Die Analysen haben gezeigt, daß von den sudanesischen Fayencen nur bei Probe 3 ein nennenswerter Cu-Gehalt (0.36% CuO) vorliegt. Der Kupferoxidgehalt des Grundstoffes ist eine Folge der angewandten Herstellungsmethode, folglich kann man auch von einer bezeichnenden technologischen Abweichung sprechen.

Die sudanesischen Fayenceglasuren sind meist getrübt, mitunter sogar deckend. Diese Erscheinung kann teils die Folge eines Pigmentstoffes sein, teils dadurch entstehen, daß die Glasuren während des Brennens ihre Glattbrandtemperatur noch nicht erreicht haben. Die Glasuroberflächen sind häufig gewellt, darauf sind kleine nadelstichtartige Löcher sichtbar. Bei dem Nachbrennen werden die welligen Glasuroberflächen nicht mehr glatt, die Glasuren erreichen die Glattbrandtemperatur nie. Die Oberfläche der Glasuren wird bei der Wärmebehandlung mit steigender Temperatur mehr und mehr spröde, denn die leicht flüssig gewordenen Glasschmelzen dringen allmählich in die Kapillaren des Scherbenstoffes ein. Dies ist auch bei der Glasur von Probe 3 der Fall.

Die stark korrodierten Glasurspuren von Probe 1 waren für die nachträgliche Wärmebehandlung nicht geeignet. Bei den Proben 2 und 4 konnte aber die überraschende Beobachtung gemacht werden, daß dieser bei den Fayencen mehrfach beobachtete Prozeß – das Eindringen der Glasschmelze in den Grundstoff – unter Verschwärzung der Oberfläche vonstatten ging. Dieses Phänomen ist der sichere Beweis dafür, daß im vorliegenden Fall die blaue Farbe der Glasur nicht – wie bei Probe 3 – von den im Glas anwesenden Kupferionen herrührt. Die blaue Farbe kann bei der erwärmten Glasur nur durch ein Pigment entstehen, das sich während des Brennens in der Glasschmelze zersetzt und letztlich ein „schwarz färbendes Oxid“ (schwarzes Kupferoxid CuO) bildet.

Bei den ägyptischen und sudanesischen Fayencen kann der Pigmentstoff nur Kupfersilikat (Ägyptisch-Blau) oder Kobaltaluminat (Thenardblau) sein, da in Ägypten nur diese blauen Pigmente bekannt waren.

22) K. Kühne, *op.cit.* 22-26.

Ägyptisch-Blau wurde als blaues Pigment der Glasuren in der Literatur vermutet,²³⁾ aber nur in einem Fall – bei einer Glasur aus Amarna – als Farbstoff festgestellt.²⁴⁾

Durch die Einwirkung der Wärme können sich von Ägyptisch-Blau – teils durch thermische Zersetzung, teils wegen der aufschließenden Wirkung der Silikatschmelzen – in den dünnen Glasurschichten die färbenden Kupferionen anreichern und tiefschwarze Schmelzen bilden. Da diese schwarzgewordene Glasur auch weiterhin allmählich in die Kapillaren des Grundstoffes eindringt, entsteht zuletzt eine rauhe, von den Glasurspuren noch schwach fettglänzende schwarze Oberfläche.

Teils wegen der schwarzgewordenen Oberflächen der Proben Nr. 2 und 4, teils weil wir bei den qualitativen Analysen in der Glasurschicht Kobalt nicht nachweisen konnten, haben wir vermutet, daß das blaue Pigment in diesem Fall ausnahmsweise Ägyptisch-Blau sei.

Wir konnten den Schwärzungsvorgang bei den unter Laborverhältnissen durchgeführten technischen Versuchen wiederholen. Als Glasur wurde das eutektische Glas des Systems $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ mit der Kristallisationstemperatur von 725°C – mit 2% CuO -Zusatz – verwendet, die der chemischen Zusammensetzung der ägyptischen Fayenceglasuren sehr nahe kommt. Das Pigment Ägyptisch-Blau wurde nach alten Literaturangaben²⁵⁾ hergestellt und in Form eines Granulats als Zusatz in die Glasur gegeben.

Wir können somit die Verwendung des Pigmentes Ägyptisch-Blau bei den sudanesischen Fayencen (Nr. 2 und 4) nur als eine seltene, ungünstige Technologie betrachten, die für die ägyptischen Fayencen nicht charakteristisch ist. Demzufolge könnte u.a. die aufgrund dieser Prüfung bestimmte, bereits erwähnte Abweichung der mit Kupferoxid gefärbten Glasur des Materials Nr. 3 die abweichende Herkunft des Fayencekästchens bestätigen. •

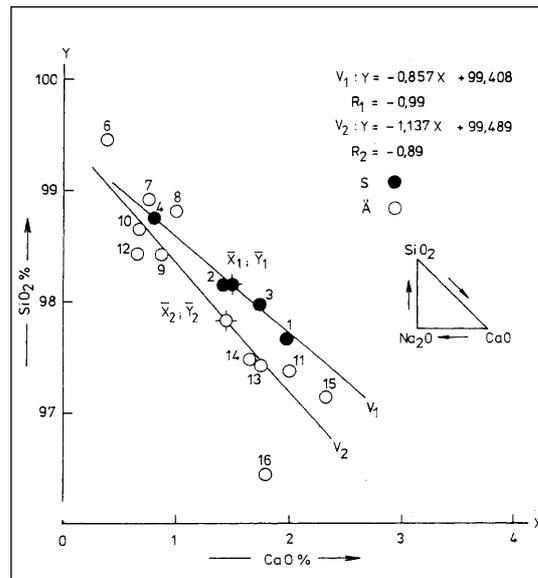


Abb. 10: Verteilung der Fayencen aus dem Sudan (S) und aus Ägypten (Ä) aufgrund ihrer chemischen Komponenten im System $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2 = 100\%$. Dargestellt im rechteckigen Koordinatensystem. Die beiden Gruppen sind mit den Regressionsgeraden (V_1 ; V_2) gekennzeichnet.

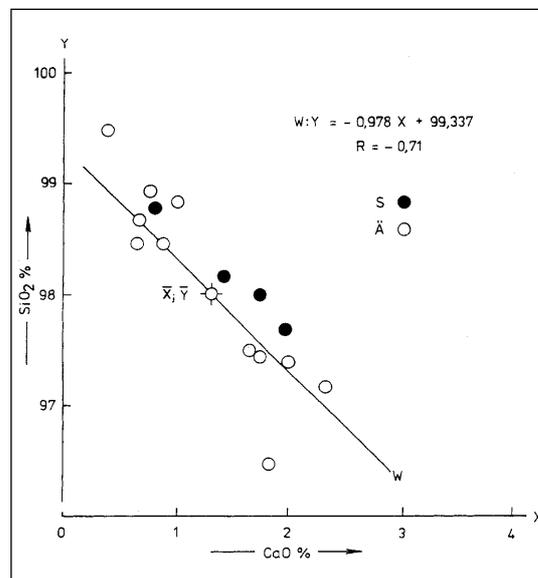


Abb. 11: Die Gesamtgruppe der untersuchten Fayencen im System $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, gekennzeichnet durch die Regressionsgerade (V).

23) K. Kühne a.a.O., 22.

24) E.M. Jope - G. Huse, Examination of „Egyptian Blue“ by X-ray powder photography, in: Nature 146, 1940: 26.

25) H. Le Chatelier 1907: 521-522.